

NaCl胁迫下温室内两个砧木的生理响应机制

朱进^{1,2}, 别之龙^{1*}

(1. 华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070; 2. 长江大学园艺园林学院, 荆州 434025)

摘要: 为了探究 NaCl 胁迫下不同砧木耐盐性差异的生理机制, 采用水培, 研究了温室栽培条件下 2 个耐盐性不同的砧木(黑籽南瓜和超丰 8848 瓠瓜)在盐胁迫下的生长量、根系活力、离子含量和酶活性的变化。结果表明, 盐胁迫下, 2 个砧木的地上部和根干质量、根系活力、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量及 K^+/Na^+ 比值均显著降低, 叶片中 Na^+ 的含量虽然显著增加, 但叶中 Na^+ 的含量显著低于根茎; 超丰 8848 瓠瓜的 SOD、POD 活性、MDA 含量均无显著变化, 而黑籽南瓜的 SOD、POD 活性显著增强, MDA 含量显著增加。低盐胁迫下 Na^+ 主要集中在根茎部, 高盐胁迫下 Na^+ 主要集中在茎部。通过根茎阻止 Na^+ 向叶片运输, 是 2 个砧木耐盐的主要生理机制。超丰 8848 瓠瓜较黑籽南瓜耐盐性强的生理机制在于其在盐胁迫下具有更高的根系活力。

关键词: 砧木; 盐胁迫; 离子含量; 根系活力

中图分类号: Q945.78; S642.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0227-05

朱进, 别之龙. NaCl 胁迫下温室内两个砧木的生理响应机制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 227-231.

Zhu Jin, Bie Zhilong. Physiological response mechanism of different salt-resistant rootstocks under NaCl stress in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 227-231. (in Chinese with English abstract)

0 引言

设施栽培土地利用率和经济效益高, 在中国发展迅猛, 2004 年各类设施栽培面积已超过 210 万 hm^2 ^[1]。但随着设施栽培的发展, 土壤次生盐渍化问题显得日益突出。盐胁迫下作物的生育滞缓, 产量和品质下降, 已成为当前设施栽培的一个主要障碍因子^[2]。解决盐渍障碍主要采取 2 种措施: 一是通过工程措施来改良盐渍土, 二是通过生物治理提高作物的耐盐性。前者耗资巨大, 治理效果难以长久保持, 而后者已成为改良盐渍土的研究热点^[3]。嫁接是提高蔬菜耐盐性的有效措施^[4], 已被广泛用于瓜类蔬菜和茄果类蔬菜的设施栽培。目前筛选耐盐砧木的报道较多^[5-9], 但研究耐盐砧木生理机制的较少, 而且仅在光合生理和酶活性方面做了初步研究^[5,10], 在耐盐砧木的矿质机理方面至今鲜见报导。本试验以课题组筛选出的耐盐性具有差异的 2 个耐盐砧木黑籽南瓜和超丰 8848 瓠瓜(黑籽南瓜的耐盐性比超丰 8848 瓠瓜弱)为材料^[9], 采用水培试验, 对其在不同 NaCl 胁迫下的生物量、矿质元素、根系活力等进行了系统研究, 旨在探究 NaCl 胁迫下不同砧木耐盐性差异的生理机制, 为进一步研究嫁接提高耐盐性的生理机制打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料

收稿日期: 2007-06-15 修订日期: 2008-07-12

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD07B04); 湖北省科技攻关(2003AA201C30); 武汉市科技攻关项目(20062002040)。

作者简介: 朱进(1969—), 男, 湖北仙桃人, 博士, 副教授, 主要从事蔬菜逆境生理研究。武汉 华中农业大学园艺林学学院, 430070。

Email: zhujin2010@yahoo.com.cn

*通讯作者: 别之龙(1970—), 男, 湖北松滋人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为设施蔬菜生长发育调控。武汉 华中农业大学园艺林学学院, 430070。Email: biezhilong1@yahoo.com.cn

试验采用的 2 个耐盐砧木品种为黑籽南瓜(*Cucurbit ficifolia* cv. Heizinangua)和超丰 8848 瓠瓜(*Lagenaria siceraria* Standl. var. *clavata* Makino cv. Chaofeng8848), 分别由云南省楚雄市绿苗农业科技开发研究所和中国农业科学院郑州果树研究所提供。

1.2 试验设计

设施内盐渍化土壤的浓度一般随使用年限的延长而增加, 目前各地设施内盐渍化土壤的浓度一般多在 0.2%~0.6%左右, 相当于 30~100 mmol/L 的 NaCl 胁迫, 严重影响设施蔬菜的生产。本试验采用的 2 个砧木都具有一定的耐盐性, 且在 150 mmol/L 以内的 NaCl 胁迫下耐盐性有差别^[9], 因此, 本试验采用 50、100、150 mmol/L 等 3 个 NaCl 处理浓度。试验于 2005 年在华中农业大学连栋玻璃温室内进行。采用随机区组设计, 2 个品种, 3 个 NaCl 处理浓度(50, 100, 150 mmol/L), 以无 NaCl 处理为对照, 每个处理 3 次重复。

种子浸种催芽后播于装有蛭石:草炭(体积比 1:2)的 50 孔穴盘中育苗, 当第 1 片真叶显露后, 挑选生长一致的幼苗移入长 55 cm, 宽 33 cm, 高 16 cm 的水培槽中, 水培营养液为 1/2Hoagland 配方。待幼苗第 1 片真叶展开后分别用 0, 50, 100, 150 mmol/L 的 NaCl 溶液处理(每天递增 50 mmol/L, 到设定浓度为止), 每处理 3 盆, 每盆 8 株, 试验期间每天补充水分, 白天每隔 1 h 用充气泵通气 1 h, 晚上不通气, 每 5 d 更换 1 次营养液。盐胁迫处理 10 d 后取从植株顶部向下第一完全展开功能叶, 用液氮速冻, 测定其丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等生理指标, 取鲜根测定根系活力, 取全株用去离子水快速冲洗掉灰尘和盐分, 用吸水纸吸干水分, 将植株从茎基部切断, 剪下叶片, 将叶、茎、根放入烘箱以 105℃杀青 15 min, 70℃烘干至恒重, 测定植株地上部和根部干质量, 粉碎, 用盐酸浸提, 测定矿质元素含量。

1.3 测定方法

矿质元素的测定采用原子吸收分光光度法^[11], 准确称取烘干的根、茎、叶样品 0.1 g 于锥形瓶中, 加入 10 mL 1 mmol/L HCl, 在摇床内浸提 2 h, 过滤, 取上清液 1 mL, 用 1 mmol/L HCl 稀释至所需浓度, 采用 SpectrAA 220 型原子吸收分光光度计 (美国, Varian 公司) 测定 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的含量。MDA 测定采用硫代巴比妥酸法^[12], SOD 测定采用氮蓝四唑法^[13], POD 测定方法采用愈创木酚法^[14], 根系活力测定采用 TTC 法^[15]。

1.4 统计方法

数据用 Excel2003 软件作图和计算, 用 SAS 8.1 软件的 ANOVA 过程进行双因子方差分析, 采用邓肯氏新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对不同砧木生物量的影响

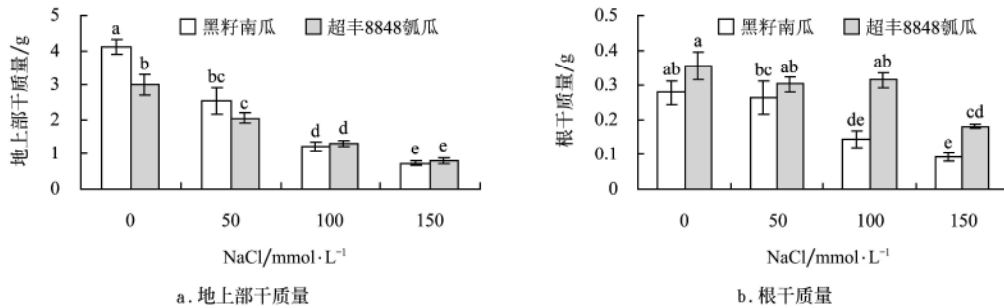


图 1 NaCl 胁迫对不同砧木地上部干质量和根干质量的影响
Fig.1 Effects of NaCl stress on the shoot and root dry weight of different rootstocks

2.2 NaCl 胁迫对不同砧木叶片矿质元素含量的影响

从表 1 中可以看出, 在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 2 个砧木叶片中 Na^+ 的含量与对照相比无显著差异, 在 100、150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 2 个砧木 Na^+ 的含量均显著高于对照, 且这 2 个砧木叶片中 Na^+ 含量无显著差异。

在 100、150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜叶片中 K^+ 的含量与对照相比显著增加, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量及 K^+/Na^+ 比值均显著降低; 超丰 8848 瓠瓜叶片中 K^+ 的含量、 K^+/Na^+ 比值与对照相比显著降低, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的含量在

由图 1a 可知, 随着 NaCl 浓度的增加, 2 个砧木地上部干质量与对照相比均显著降低。在无 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜的地上部干质量显著高于超丰 8848 瓠瓜, 但在 NaCl 胁迫下与超丰 8848 瓠瓜无显著差异。说明黑籽南瓜地上部干质量受抑制比超丰 8848 瓠瓜严重 (图 1a)。

盐胁迫下, 黑籽南瓜的根干质量在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下与对照相比显著降低, 而超丰 8848 瓠瓜的根干质量在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下显著降低。在无盐和 50 mmol/L 的 NaCl 处理下, 2 个砧木的根干质量无显著差异, 但在 100、150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜的根干质量显著低于超丰 8848 瓠瓜的。说明在高盐分浓度下黑籽南瓜根部受抑制程度也比超丰 8848 瓠瓜严重 (图 1b)。

本试验的结果说明, 尽管 2 个砧木都是耐盐砧木, 但在盐胁迫下生长均会受到抑制, 耐盐性较强的超丰 8848 瓠瓜生长受抑制程度较轻。

150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下才显著降低。2 个砧木在 100、150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜叶片中 K^+ 的含量显著高于超丰 8848 瓠瓜。在无盐和 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜叶片中 Ca^{2+} 的含量显著高于超丰 8848 瓠瓜, 在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下显著低于超丰 8848 瓠瓜, 在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下与超丰 8848 瓠瓜无显著差异。无论盐胁迫与否, 黑籽南瓜 Mg^{2+} 的含量显著高于超丰 8848 瓠瓜。黑籽南瓜的 K^+/Na^+ 比值在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下显著高于超丰 8848 瓠瓜。

表 1 NaCl 胁迫对 2 个砧木叶片矿质元素含量的影响
Table 1 Effects of NaCl stress on the contents of mineral element in leaves of two rootstocks

	NaCl 处理浓度/mm $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	Na^+ 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	K^+ 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Ca^{2+} 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	Mg^{2+} 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	K^+/Na^+
黑籽南瓜	0	1.36 \pm 0.12cd	46.60 \pm 1.65b	54.00 \pm 4.05a	12.26 \pm 0.10a	34.75 \pm 2.87ab
	50	1.08 \pm 0.26d	44.45 \pm 1.29b	52.43 \pm 2.63a	11.80 \pm 0.35ab	46.36 \pm 11.02a
	100	3.43 \pm 0.11ab	52.48 \pm 4.24a	31.64 \pm 2.21c	11.19 \pm 0.04b	15.40 \pm 1.58cd
	150	4.14 \pm 0.08a	54.92 \pm 1.86a	21.43 \pm 1.45d	10.25 \pm 0.07c	13.25 \pm 0.20d
超丰 8848 瓠瓜	0	1.81 \pm 0.14c	42.82 \pm 0.43b	43.14 \pm 2.62b	9.27 \pm 0.36de	23.94 \pm 1.57bc
	50	1.70 \pm 0.18c	41.96 \pm 0.52b	42.34 \pm 0.99b	9.72 \pm 0.30cd	25.40 \pm 3.16b
	100	2.99 \pm 0.12b	35.33 \pm 0.75c	37.58 \pm 0.29b	8.71 \pm 0.43e	11.82 \pm 0.35d
	150	3.66 \pm 0.31ab	34.67 \pm 1.33c	20.85 \pm 0.37d	7.62 \pm 0.27f	9.59 \pm 0.79d
方差分析 (F 值)	砧木	1.28 ^{ns}	76.21***	5.01*	154.48***	14.54**
	NaCl	74.96***	0.31 ^{ns}	87.65***	18.35***	25.92***
	砧木 \times NaCl	4.96*	13.26***	6.79**	0.91 ^{ns}	1.30 ^{ns}

注: *, ** 和 *** 分别代表 $P<0.05$, 0.01 和 0.001 的显著差异性, ^{ns} 代表差异不显著; 同列数据后面的不同字母表示邓肯试验 ($P<0.05$) 的显著差异性, 数据表示 3 次重复的平均值 \pm 标准误。

2.3 NaCl 胁迫下不同砧木 Na^+ 在叶、茎和根中的分布

在无盐胁迫下, 2 个砧木的根部 Na^+ 含量显著高于茎叶部位, 黑籽南瓜根中 Na^+ 含量是叶中的 1.6 倍, 超丰 8848 瓠瓜的是 1.7 倍, 因此根是主要的聚 Na^+ 部位 (图 2a)。

在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 根部 Na^+ 向茎部转运, 使得根和茎部 Na^+ 含量相差不大, 但根和茎部 Na^+ 含量显著高于叶部, 黑籽南瓜茎中 Na^+ 含量是根中的 0.9 倍和叶中的 13.2 倍, 超丰 8848 瓠瓜茎中是根中的 1.1 倍和叶中的 8.9 倍, 因此根和茎是主要的聚 Na^+ 部位 (图 2b)。

在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 根部 Na^+ 进一步向茎部转运, 使茎中 Na^+ 含量显著高于根部和叶部, 黑籽南瓜茎中 Na^+ 含量是根中的 2.7 倍和叶中的 12.1 倍, 超丰 8848 瓠瓜茎中 Na^+ 含量是根中的 1.7 倍和叶中的 13.7 倍, 因此茎是主要的聚 Na^+ 部位 (图 2c)。

在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 根部 Na^+ 不再增加, 并进一步转运到茎部, 使得茎中积聚 Na^+ 更多, 黑籽南瓜茎中 Na^+ 含量是根中的 4.6 倍和叶中的 11.7 倍, 超丰 8848 瓠瓜茎中 Na^+ 含量是根中的 2.4 倍和叶中的 15.8 倍, 茎是主要的聚 Na^+ 部位 (图 2d)。

2 个砧木 Na^+ 在器官中分布趋势相同。即低盐胁迫下根茎是主要的聚 Na^+ 部位, 中、高盐胁迫下茎成为主要的聚 Na^+ 部位。

2.4 NaCl 胁迫对不同砧木叶片中 MDA、SOD 和 POD 以及根系活力的影响

盐胁迫下, 与对照相比, 黑籽南瓜的 MDA 含量显著上升, 而超丰 8848 瓠瓜的 MDA 含量与对照无显著差异 (图 3a)。无盐胁迫下, 黑籽南瓜的 MDA 含量与超丰 8848 瓠瓜无显著差异, 但盐胁迫下, 黑籽南瓜的 MDA 含量显著高于超丰 8848 瓠瓜。

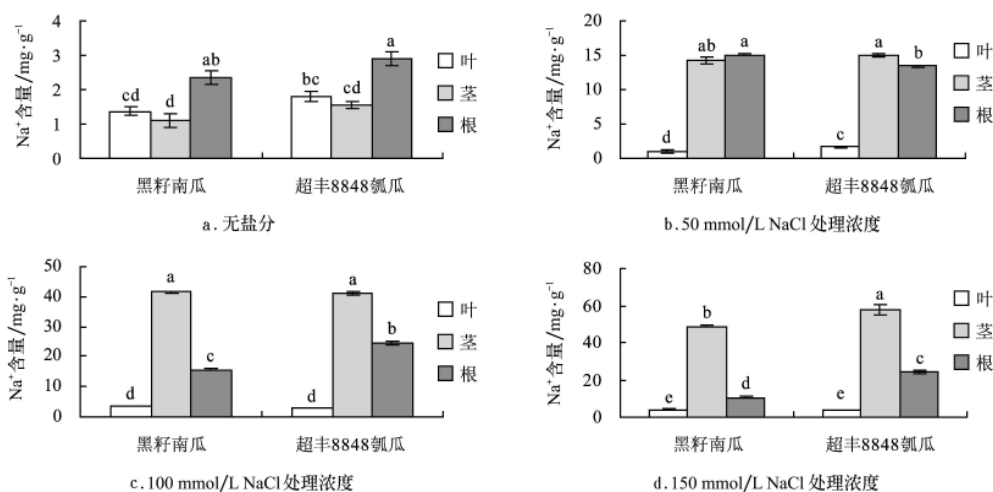


图 2 不同浓度 NaCl 胁迫下 2 个砧木 Na^+ 在根、茎和叶中的分布

Fig.2 Distribution of Na^+ in roots, stems and leaves of two rootstocks under different concentration of NaCl stress

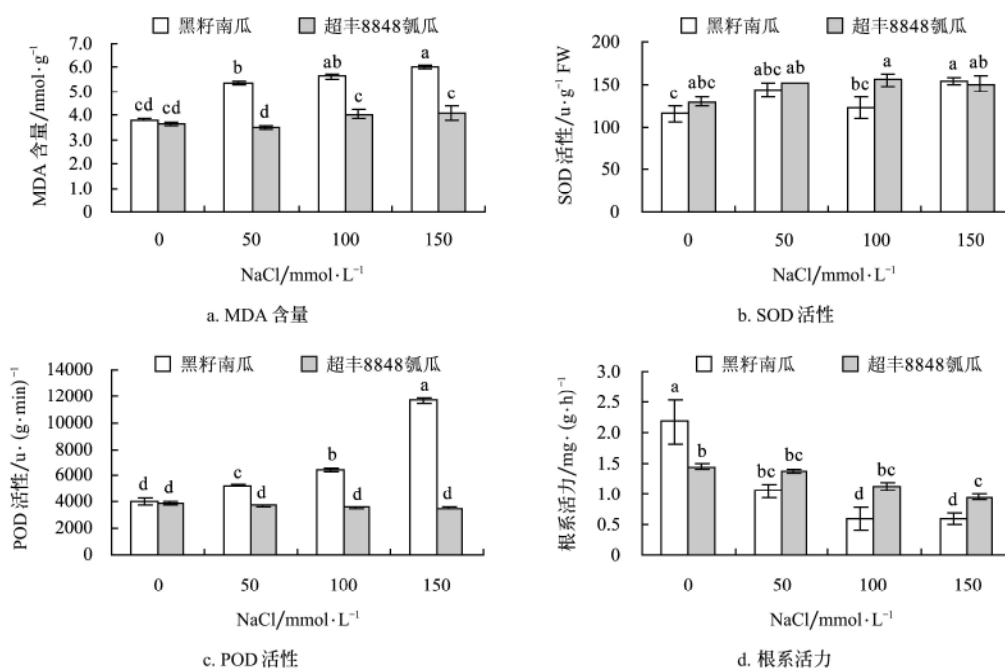


图 3 NaCl 胁迫对 2 个砧木叶片中 MDA、SOD、POD 和根系活力的影响

Fig.3 Effects of NaCl stress on MDA content, SOD, POD and root activity in leaves of two rootstocks

在 0, 50 和 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 2 个砧木的 SOD 活性与对照均无显著差异, 但在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜的 SOD 活性显著增加, 而超丰 8848 瓠瓜的 SOD 与对照仍无显著差异。在 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下超丰 8848 瓠瓜的 SOD 活性显著高于黑籽南瓜 (图 3b)。

随着 NaCl 胁迫浓度的增加, 黑籽南瓜的 POD 活性显著增加, 而超丰 8848 瓠瓜的 POD 活性保持不变。在无盐胁迫下, 2 个砧木 POD 活性无显著差异, 盐胁迫下, 黑籽南瓜 POD 活性显著高于超丰 8848 瓠瓜 (图 3c)。在 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下, 黑籽南瓜的根系活力与对照相比显著降低, 而超丰 8848 瓠瓜的根系活力在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下才显著降低。无盐胁迫下, 黑籽南瓜的根系活力显著高于超丰 8848 瓠瓜, 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下与超丰 8848 瓠瓜的无显著差异, 100、150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下根系活力显著低于超丰 8848 瓠瓜 (图 3d)。

3 讨 论

3.1 2 个砧木耐盐性差异的主要生理机制

盐胁迫下, Na^+ 是引起离子毒害的主要物质^[16], 许多植物能通过根茎阻止 Na^+ 进入叶片来减轻或免除盐胁迫^[17,18]。本试验中, 随着 NaCl 胁迫浓度的增加, 2 个砧木叶片中 Na^+ 的含量显著增加 (表 1), 这与 Chartzoulakis 等在橄榄上的研究结果一致^[19]。但 2 个砧木叶片中 Na^+ 的含量显著低于根和茎部, 特别是茎部 (图 2)。说明 2 个砧木的根和茎 (特别是茎) 都能阻止 Na^+ 向叶片运输, 从而使叶片中 Na^+ 的含量处于较低的水平而免受或缓解离子毒害。因此, 通过根茎阻止 Na^+ 向叶片运输是 2 个砧木耐盐的主要生理机制。

叶片是植物进行光合作用的主要器官, 而光合作用又是对盐胁迫最敏感的生理代谢之一。因此, 非盐生植物的耐盐性主要取决于叶片中维持低水平的 Na^+ , 较高水平的 K^+ 和 K^+/Na^+ 比值^[20], 2 个砧木的耐盐力不同, 超丰 8848 瓠瓜的耐盐性强于黑籽南瓜^[9], 但盐胁迫下 2 个砧木叶片中 Na^+ 的含量无显著差异 (图 2), 说明叶片中 Na^+ 的含量不是 2 个砧木耐盐性差异的原因。

一般地, Na^+ 对 K^+ 的吸收有强烈的竞争作用, 会导致 NaCl 胁迫下 K^+ 含量降低, 然而, 也有报道称盐处理不会影响叶片中 K^+ 含量或使其含量增加, 这种相反的试验结果可能是不同的试验材料导致的^[21]。本研究发现盐胁迫下, 与相同盐浓度的黑籽南瓜相比, 超丰 8848 瓠瓜叶片中 K^+ 的含量和 K^+/Na^+ 比值反而偏低。这可能是因为 2 个砧木在盐胁迫下叶片中 Na^+ 含量增加的均不多, Na^+ 对 K^+ 的吸收无明显的竞争作用, 因而 K^+ 的含量和 K^+/Na^+ 比值也不是 2 个砧木耐盐性差异的原因。

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官, 根系活力直接影响地上部的营养状况^[15]。本试验中, 随着 NaCl 浓度的升高, 黑籽南瓜的根系活力显著降低, 超丰 8848 瓠瓜的根系活力在 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下才显著降低, 且在 100, 150 mmol/L 的 NaCl 胁迫下超丰 8848 瓠瓜的

根系活力显著高于黑籽南瓜 (图 3d)。2 个砧木的根干质量与根系活力出现相似的变化, 虽然 2 个砧木地上部干质量均显著降低, 但超丰 8848 瓠瓜在盐胁迫下地上部生长受抑制程度显著低于黑籽南瓜 (图 1)。这可能是超丰 8848 瓠瓜比黑籽南瓜耐盐性强的重要原因。

3.2 盐胁迫对砧木保护酶活性的影响

盐胁迫下植物体内容易产生活性氧, 丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化的产物, SOD 和 POD 是清除活性氧的关键酶, 植物为了减轻或免除氧化胁迫, 往往提高 SOD 和 POD 的活性^[22]。本试验中, 随着 NaCl 浓度的升高, 黑籽南瓜 SOD、POD 的活性显著增强, MDA 含量显著增加, 而超丰 8848 瓠瓜的 SOD、POD 活性、MDA 含量均无显著变化 (图 3a, 图 3b, 图 3c)。这可能是因为黑籽南瓜的耐盐性比超丰 8848 瓠瓜弱, 虽然黑籽南瓜 SOD、POD 的活性增强了, 但遭受了氧化胁迫, MDA 含量增加; 而超丰 8848 瓠瓜没有遭受氧化胁迫或遭受的胁迫较轻, SOD、POD 仍维持正常的水平, 膜脂没受到伤害, MDA 含量无显著变化。

4 结 论

通过根茎阻止 Na^+ 向叶片运输, 从而使叶片中 Na^+ 的含量处于较低的水平而免受或缓解离子毒害, 是 2 个砧木耐盐的主要生理机制。盐胁迫下超丰 8848 瓠瓜的根系活力高于黑籽南瓜, 是其耐盐性强于黑籽南瓜的重要原因, 而叶片中 Na^+ 的含量、 K^+ 的含量和 K^+/Na^+ 比值不是 2 个砧木耐盐性差异的原因。

盐胁迫下, 超丰 8848 瓠瓜的 SOD、POD 活性、MDA 含量均无显著变化, 而黑籽南瓜的 SOD、POD 活性显著增强, MDA 含量显著增加, 是超丰 8848 瓠瓜耐盐性强于黑籽南瓜的一种表现。

[参 考 文 献]

- [1] 张乃明, 李 刚, 苏友波, 等. 滇池流域大棚土壤硝酸盐累积特征及其对环境的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 215—217.
- [2] 魏国强, 朱祝军, 方学智, 等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1754—1759.
- [3] 杨松杰, 张富春, 刘世贵. 盐渍化土壤改良利用新方法[J]. 世界林业研究, 2006, 19(1): 14—19.
- [4] Maria T E, Maria M M R, Francisco P A, et al. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot[J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 412(56): 703—712.
- [5] 张云起, 刘世琦, 杨凤娟, 等. 耐盐西瓜砧木筛选及其耐盐机理的研究[J]. 西北农业学报, 2003, 12(4): 105—108.
- [6] 杜中军, 翟 衡, 罗新书, 等. 苹果砧木耐盐性鉴定及其指标判定[J]. 果树学报, 2002, 19(1): 4—7.
- [7] 王 冉, 陈贵林, 梁 静, 等. 盐胁迫对黑籽南瓜和白籽南瓜种子萌发特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 42—44.
- [8] 樊秀彩, 刘崇怀, 潘 兴, 等. 水培条件下葡萄砧木对氯化钠的耐性鉴定[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 128—131.
- [9] 朱 进, 别之龙, 李娅娜, 等. 黄瓜种子萌芽期及嫁接砧

- 木幼苗耐盐力评价[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 772—778.
- [10] 杜中军, 翟衡, 潘志勇, 等. 盐胁迫下苹果砧木光合能力及光合色素的变化[J]. 果树学报, 2001, 18(4): 200—203.
- [11] Dasgan H Y, Aktas H, Abak K, et al. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses[J]. Plant Science, 2002, 163: 695—703.
- [12] Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity[J]. Plant Science, 2001, 161: 613—619.
- [13] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A, et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 69—76.
- [14] 周艳虹, 喻景权, 钱琼秋, 等. 低温弱光对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 921—924.
- [15] 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: 119—120.
- [16] Saqib M, Akhtar J, Qureshi R H. Na⁺ exclusion and salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) in saline-waterlogged conditions are improved by the development of adventitious nodal roots and cortical root aerenchyma[J]. Plant Science, 2005, 169: 125—130.
- [17] Gebauer J, Ei-Siddig K, Salih A A, et al. *Tamarindus indica* L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 103: 1—8.
- [18] Chartzoulakis K, Loupassaki M, Bertaki M, et al. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate of six olive cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2002, 96: 235—247.
- [19] 陈亚华, 沈振国, 刘友良, 等. NaCl 胁迫下棉花幼苗的离子平衡[J]. 棉花学报, 2001, 13 (4): 225—229.
- [20] Silberbush M. Potassium influx to roots of two sorghum genotypes grown under saline conditions[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24: 1035—1045.
- [21] Stevens R M, Harvey G. Separating the effects of foliar and root salt uptake on growth and mineral composition of four grapevine cultivars on their own roots and on "Ramsey" rootstock[J]. Journal of the American Society for Horticulture Science, 1996, 121: 569—575.
- [22] Gomez J M, Jimenez A, Olmos E, et al. Location and effects of long-term NaCl stress on superoxide dismutase and ascorbate peroxidase isoenzymes of pea (*Pisum sativum* cv. Puget) chloroplasts[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55: 119—130.

Physiological response mechanism of different salt-resistant rootstocks under NaCl stress in greenhouse

Zhu Jin^{1,2}, Bie Zhilong^{1*}

(1. College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China; 2. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

Abstract: The growth, root activity, ion content and enzyme activity of two salt-resistant rootstock seedlings (*Cucurbit ficifolia* cv. 'Heizinangua', *Lagenaria siceraria* Standl. var. *clavata* Makino cv. 'Chaofeng 8848') were investigated to reveal physiological mechanism of different rootstocks with different salt-resistant under salt stress by using water culture in the greenhouse. The results show that under salt stress, the dry weights of shoot and root, root activity, the contents of Ca²⁺ and Mg²⁺ and the ratio of K⁺ to Na⁺ in leaves decrease significant under salt stress. The content of Na⁺ in leaves decrease but is significantly lower than that in stem and root. The activities of superoxide dismutase(SOD) and peroxidase(POD), and the content of malondialdehyde(MDA) in 'Chaofeng 8848' white-flowered gourd have no obvious change, whereas those of 'Heizinangua' increase under salt stress. The Na⁺ pooled mostly in the root and stem under lower salinity(50 mmol/L NaCl), but in the stem under higher salinity(100 and 150 mmol/L NaCl). Limiting the translocation of Na⁺ from root and stem to leaf is the key physiological mechanism of salt resistance for two rootstocks. 'Chaofeng 8848' white-flowered gourd exhibits a better salt resistance by maintaining higher root activity than 'Heizinangua'.

Key words: rootstock; salt stress; ion content; root activity