

NaCl胁迫对番茄嫁接苗保护酶活性、渗透调节物质含量及光合特性的影响

陈淑芳¹ 朱月林^{1*} 刘友良² 李式军¹

(¹南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ²南京农业大学生命科学学院, 南京 210095)

摘要: 在 NaCl胁迫下, 对番茄嫁接苗和自根苗的保护酶活性、渗透调节物质含量及光合特性等进行了比较。结果表明, 番茄嫁接苗叶片超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性以及抗坏血酸 (AsA) 含量均显著高于自根苗, 丙二醛 (MDA) 含量显著低于自根苗; 嫁接苗叶片游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量均显著高于自根苗; NaCl胁迫抑制光合作用, 但嫁接苗仍表现出优势; 嫁接苗根系 Na^+/K^+ 比值显著低于自根苗。以上结果表明, 嫁接苗耐盐性优于自根苗。

关键词: 番茄; 嫁接; NaCl胁迫; 保护酶; 渗透调节物质; 光合特性

中图分类号: S 641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 04-0609-05

Effects of NaCl Stress on Activities of Protective Enzymes, Contents of Osmotic Adjustment Substances and Photosynthetic Characteristics in Grafted Tomato Seedlings

Chen Shufang¹, Zhu Yuelin^{1*}, Liu Youliang², and Li Shijun¹

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Comparison of the activities of protective enzymes, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic characteristics was made between grafted and self-root tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings under NaCl stress. The results showed that activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), ascorbate-specific peroxidase (APX) and content of ascorbic acid (AsA) in leaves of grafted seedlings were significantly higher than those of self-root seedlings. Malondialdehyde (MDA) content in leaves of grafted seedlings was significantly lower than that of self-root seedlings. The contents of free proline, soluble sugar and soluble protein in the leaves of grafted seedlings were significantly higher than those of self-root seedlings. Photosynthesis was inhibited under NaCl stress, but the performance of the grafted seedlings was superior to that of self-root seedlings. The Na^+/K^+ value in the roots of grafted seedlings was significantly lower than that of self-root seedlings. Based on these results, it could be concluded that the resistance to NaCl stress of grafted tomato seedlings was stronger than that of self-root seedlings.

Key words: Tomato; Grafted; NaCl stress; Antioxidant enzyme; Osmotic adjustment substance; Photosynthetic characteristic

土壤次生盐渍化是蔬菜设施栽培中常见的问题, 可导致作物生长发育受到抑制、产量和品质降低^[1]。番茄设施栽培中同样存在这一问题。实施嫁接栽培是克服设施土壤次生盐渍化的一条有效途径。研究表明, 嫁接具有多方面的改良作用, 但目前的研究多集中于改良效果的鉴定与利用方面, 而对这种改良作用机制的研究较少, 尤其与耐盐有关的生理生化机制的研究尚鲜有报道^[2]。作者以番茄嫁接苗为试材, 研究 NaCl胁迫下的生理生化响应, 进一步阐明嫁接换根提高番茄耐盐性的机制, 为利用番茄嫁接技术克服设施土壤盐害提供理论依据。

收稿日期: 2004 - 11 - 01; 修回日期: 2005 - 01 - 23

基金项目: 教育部高校博士点基金资助项目 (20030307020); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 [(2001) 498]

*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: ylzhu@njau.edu.cn)

1 材料与方法

1.1 试材培育及处理

供试的番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 砧木是日本设施栽培上专用的耐盐品种‘影武者’ (购自日本 Takii 种苗公司), 接穗为‘宝大 903’ (购自上海市农业科学院)。

试验在南京农业大学温室内进行。2004年4月20日砧木种子浸种催芽, 2 d后接穗种子浸种催芽。出芽后分别播于直径 10 cm、高 10 cm 的塑料营养钵中, 蛭石作基质。真叶展开后每隔 2 d 浇 1/4 浓度日本园试营养液 (EC 值为 $0.93 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), 每株浇 50 mL, 3 片真叶后每株浇 80 mL。5月15日下午采用劈接法进行嫁接, 此时砧木具有 4~5 片真叶, 接穗具有 3~4 片真叶。

嫁接后用小拱棚塑料薄膜进行覆盖, 保持较高的空气湿度, 嫁接后 3 d 内在小拱棚上加遮阳网覆盖遮荫, 3 d 后早晚进行小通风, 然后逐渐见光通风, 1 周后完全揭除覆盖物。嫁接苗成活后, 每隔 2 d 对嫁接苗和自根苗浇 1/4 浓度日本园试营养液, 每株 150 mL。5月31日, 挑选生长一致的嫁接苗和自根苗移入上直径 39 cm、下直径 26 cm、高 33 cm 的塑料盆中, 每盆栽 1 株, 蛭石作基质, 定植后浇 3 L 水。此后每隔 2 d 浇 1/4 浓度日本园试营养液 1 次, 每盆 300 mL。

6月3日, 当植株具有 7~8 片真叶时进行 NaCl 处理, 浓度为 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, NaCl 溶于 1/4 浓度日本园试营养液中均匀浇入基质中, 每天浇 1 次, 每盆 500 mL, 连续浇 3 d。对照组仅浇营养液, 用量和次数与处理组相同。设 4 种试验处理, 自根苗浇营养液, 自根苗 + NaCl, 嫁接苗浇营养液, 嫁接苗 + NaCl, 每处理 5 株, 3 次重复, 在温室内随机排列。

1.2 测定项目及方法

NaCl 处理结束后第 4 天, 取自上向下数第 4 片完全展开叶测定生理指标, 每处理 5 株分别取样, 3 次重复, 测定时各样品重复测定 3 次。氮蓝四唑 (NBT) 光还原法测定超氧化物歧化酶 (SOD) 活性; 愈创木酚法测定过氧化物酶 (POD) 活性; 比色法测定抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性^[3]; 二联吡啶法测定抗坏血酸 (ASA) 含量^[3]; 硫代巴比妥酸法 (TBA) 测定丙二醛 (MDA) 含量^[3]。磺基水杨酸法测定游离脯氨酸含量^[4]; 苯酚—硫酸法测定可溶性糖含量^[5]; G-250 考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质含量。

NaCl 处理结束后第 5 天, 选取自上向下数第 3 片完全展开叶, 用美国 LICOR 公司产的 LI-6400 便携式光合测定系统, 设定光量子通量密度为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 温度 25℃, CO_2 浓度 $390 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$, 于上午 9:00 测定净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i), 并计算气孔限制值 $L_s = 1 - C_i/C_a$ (C_a 为测定时设定的 CO_2 浓度)。每处理各测定 5 株, 3 次重复, 每株重复测定 3 次。叶绿素含量用丙酮法测定。

NaCl 处理后第 10 天, 收集根部, 用自来水洗净根部基质, 再用蒸馏水冲洗 3 次, 并用吸水纸吸干, 装入直径 9 cm 的培养皿中, 放入烘箱中 105℃ 下杀酶 15 min, 再在 75℃ 下烘至恒重, 制得干样用于离子含量测定。 Cl^- 含量用 AgNO_3 滴定法, Na^+ 、 K^+ 含量用火焰光度计测定。

用 SAS 软件进行单因素方差分析, 并对平均数用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对番茄自根苗和嫁接苗叶片保护酶活性的影响

由表 1 可知, 未经盐胁迫处理的嫁接苗叶片中 SOD、POD、APX 活性均显著高于自根苗, 说明嫁接苗具有更强的保护酶系统。盐胁迫下的自根苗的 SOD 活性比对照自根苗下降了 39.73%, 而盐胁迫下的嫁接苗比对照嫁接苗提高了 6.52%; 盐胁迫下的自根苗和嫁接苗的 POD 活性均上升, 分别比自根苗对照和嫁接苗对照提高了 47.37% 和 9.22%; 盐胁迫下的自根苗和嫁接苗的 APX 活性均下降, 分别比自根苗对照和嫁接苗对照降低了 42.23% 和 38.64%。上述变化表明, 盐胁迫下嫁接苗酶活性变化幅度较自根

苗小,且酶活性较高,说明嫁接苗比自根苗具有较稳定的活性氧清除酶系统,耐盐性较强。

2.2 NaCl胁迫对番茄自根苗和嫁接苗叶片 AsA 和 MDA 含量的影响

抗坏血酸 (AsA) 是重要的非酶促活性氧清除剂。由表 1 可知,未经盐胁迫处理,嫁接苗叶片中 AsA 含量显著高于自根苗;盐胁迫下,嫁接苗和自根苗 AsA 含量均有所增加,嫁接苗显著高于自根苗。

嫁接苗和自根苗叶片中 MDA 含量有明显差异 (表 1)。未经盐胁迫处理,嫁接苗中 MDA 含量是自根苗的 71.17%;盐胁迫下,嫁接苗和自根苗中 MDA 含量均有增加,但嫁接苗显著低于自根苗,自根苗显著高于自根苗对照;嫁接苗与其对照差异不显著。这表明,自根苗受盐胁迫伤害严重,嫁接苗受害较轻,对盐胁迫有一定的耐性。

表 1 NaCl胁迫下番茄自根苗和嫁接苗叶片中保护酶活性、AsA 和 MDA 含量比较

Table 1 Comparison of the activities of protective enzymes, AsA and MDA contents in leaves between self-root and grafted tomato seedlings under NaCl stress

处理 Treatment	SOD (U · g ⁻¹ FM)	POD (U · g ⁻¹ FM)	APX (U · g ⁻¹ FM)	AsA (mg · g ⁻¹ FM)	MDA (μmol · g ⁻¹ FM)
自根苗对照 Self-root control	28.44 ±2.29b	0.0080 ±0.0005b	77.33 ±5.97bc	0.95 ±0.06c	134.60 ±12.86b
自根苗 +NaCl Self-root +NaCl	17.14 ±1.33b	0.0152 ±0.0016b	44.67 ±2.59c	1.71 ±0.12b	186.07 ±16.70a
嫁接苗对照 Grafted control	55.27 ±1.98a	0.0256 ±0.0018a	196.67 ±12.04a	2.47 ±0.16a	95.79 ±8.41b
嫁接苗 +NaCl Grafted +NaCl	59.94 ±3.74a	0.0282 ±0.0022a	120.67 ±10.98b	2.83 ±0.19a	101.24 ±9.11b

注: 同列数值不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level. The same below.

2.3 NaCl胁迫对番茄自根苗和嫁接苗叶片渗透调节物质含量的影响

表 2 表明, 未经盐胁迫, 嫁接苗中游离脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质均高于自根苗; 盐胁迫下, 嫁接苗和自根苗 3 指标均有增加, 其中嫁接苗显著高于自根苗。

2.4 NaCl胁迫对番茄自根苗和嫁接苗光合特性的影响

由表 3 可知, 未经盐胁迫, 嫁接苗的 Pn 值显著高于自根苗; 盐胁迫下, 嫁接苗和自根苗 Pn 值均下降, 但嫁接苗显著高于自根苗。关于气孔导度 (Gs), 盐胁迫下嫁接苗和自根苗均降低, 显著低于未经胁迫的对照。就胞间 CO₂ 浓度 (Ci)

表 2 NaCl胁迫下番茄自根苗和嫁接苗叶片中游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的比较

Table 2 Comparison of contents of free proline, soluble sugar and soluble protein in leaves between self-root and grafted tomato seedlings under NaCl stress

处理 Treatment	游离脯氨酸 Free proline (μg · g ⁻¹ FM)	可溶性糖 Soluble sugar (mg · g ⁻¹ FM)	可溶性蛋白质 Soluble protein (mg · g ⁻¹ FM)
自根苗对照 Self-root control	0.52 ±0.04c	1.88 ±0.16b	0.19 ±0.01d
自根苗 +NaCl Self-root +NaCl	1.23 ±0.11b	2.22 ±0.20b	0.22 ±0.02c
嫁接苗对照 Grafted control	0.90 ±0.08bc	2.20 ±0.19b	0.30 ±0.01b
嫁接苗 +NaCl Grafted +NaCl	2.15 ±0.18a	2.61 ±0.17a	0.37 ±0.02a

表 3 NaCl胁迫下番茄自根苗和嫁接苗光合指标和叶绿素含量的比较

Table 3 Comparison of photosynthetic indexes and chlorophyll content between self-root and grafted tomato seedlings under NaCl stress

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate (μmol · m ⁻² · s ⁻¹)	气孔导度 Stomatal conductance (mol · m ⁻² · s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration (μL · L ⁻¹)	气孔限制值 Stomatal limited value	叶绿素 Chl (mg · g ⁻¹ FM)	叶绿素 a Chl a (mg · g ⁻¹ FM)	叶绿素 b Chl b (mg · g ⁻¹ FM)
自根苗对照 Self-root control	17.93 ±0.63b	0.68 ±0.09ab	300.40 ±8.26a	0.23 ±0.02b	3.01 ±0.10ab	2.14 ±0.05b	0.72 ±0.04ab
自根苗 +NaCl Self-root +NaCl	16.08 ±0.21c	0.44 ±0.03c	277.33 ±5.43b	0.29 ±0.03a	2.72 ±0.12c	1.91 ±0.04c	0.66 ±0.03b
嫁接苗对照 Grafted control	19.07 ±0.27a	0.79 ±0.04a	300.72 ±9.06a	0.23 ±0.02b	3.18 ±0.10a	2.29 ±0.04a	0.80 ±0.05a
嫁接苗 +NaCl Grafted +NaCl	18.62 ±0.26ab	0.58 ±0.06bc	286.78 ±6.58a	0.26 ±0.02ab	2.92 ±0.13bc	2.12 ±0.03b	0.75 ±0.04a

而言, 盐胁迫下, 虽然嫁接苗和自根苗均降低, 嫁接苗显著高于自根苗, 但自根苗显著低于其对照, 嫁接苗与其对照差异不显著。利用气孔限制值 (L_s) 值可以较为准确地估计光合速率下降是否由气孔限制引起, 未经盐胁迫嫁接苗和自根苗无差异; 盐胁迫下虽然嫁接苗和自根苗均增大, 但自根苗与其未胁迫对照差异显著, 嫁接苗与其未胁迫对照差异不显著, 说明盐胁迫下自根苗的光合作用受气孔限制较大。

表 3 是盐胁迫对番茄自根苗和嫁接苗叶绿素含量的影响。未经盐胁迫, 嫁接苗叶绿素含量均高于自根苗; 盐胁迫下, 虽然嫁接苗和自根苗均比对照有所降低, 但嫁接苗与自根苗相比, 前者叶绿素 a 和 b 均显著高于后者。

2.5 NaCl胁迫对番茄自根苗和嫁接苗根中 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 含量的影响

根系是盐胁迫最初、最直接的受害部位。表 4 表明, 未经盐胁迫嫁接苗与自根苗根内 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 含量差异不显著; 盐胁迫下嫁接苗与自根苗根内 Cl^- 和 Na^+ 含量均显著增加, K^+ 含量均显著减少; 嫁接苗与自根苗相比, 前者 Na^+ 含量显著低于后者, 而 K^+ 含量则显著高于后者, 两者在 Cl^- 含量上差异不显著, 说明嫁接苗根系具有选择吸收 K^+ 的能力。

Na^+ / K^+ 值常被用来表示盐害程度, 比值越大, Na^+ 抑制对 K^+ 吸收的作用越大, 受害越严重, 反之则受害轻。由表 6 可见, 盐胁迫下虽然嫁接苗与自根苗的数值均显著提高, 但嫁接苗与自根苗相比, 前者的 Na^+ / K^+ 值显著低于后者。说明嫁接换根能有效地选择性吸收 K^+ 和 Na^+ , 使较少的 Na^+ 进入根内, 一定程度上减轻盐胁迫的伤害, 提高耐盐性。

表 4 NaCl胁迫下番茄自根苗和嫁接苗根内离子含量比较

Table 4 Comparison of ion contents in root tissues between self-root and grafted tomato seedlings under NaCl stress

处理 Treatment	Cl^- ($mg \cdot g^{-1}DM$)	Na^+ ($mg \cdot g^{-1}DM$)	K^+ ($mg \cdot g^{-1}DM$)	Na^+ / K^+
自根苗对照 Self-root control	11.8 \pm 0.52b	27.3 \pm 1.65c	102.2 \pm 8.72a	0.27 \pm 0.01d
自根苗 +NaCl Self-root+NaCl	59.7 \pm 2.75a	109.1 \pm 2.89a	46.5 \pm 1.44c	2.35 \pm 0.03a
嫁接苗对照 Grafted control	11.5 \pm 0.90b	27.1 \pm 1.20c	95.1 \pm 6.43a	0.29 \pm 0.01c
嫁接苗 +NaCl Grafted+NaCl	62.3 \pm 3.43a	97.8 \pm 3.36b	65.3 \pm 3.2b	1.50 \pm 0.01b

3 讨论

近年来, 虽然对嫁接砧木和一些野生品种耐盐性的研究有不少报道, 但关于砧木—接穗复合体与植物耐盐性的研究, 仅在大豆^[6]、梨^[7]和柑橘^[8]上有报道, 蔬菜作物方面尚未见报道。

已证明在盐胁迫下, 耐盐品种比盐敏感品种具有较高的保护酶活性和抗氧化剂含量^[9]。耐盐植物可以通过增强活性氧清除能力来减轻活性氧伤害。本研究结果表明, 盐胁迫下, 嫁接苗和自根苗都受到伤害 (MDA 含量有所增加), 但受伤害程度及适应性有差异, 嫁接苗保持相对较高的抗氧化酶活性, A_{SA} 含量也相对较高, 清除活性氧能力强, 膜系统受害程度相对较轻 (MDA 含量显著低于自根苗), 说明嫁接苗耐盐性强于自根苗。

渗透调节是植物适应盐胁迫的基本特征之一。盐胁迫下, 细胞内积累一些物质, 如脯氨酸、甜菜碱、多胺、可溶性糖、可溶性蛋白质等, 以调节细胞内的渗透势, 维持水分平衡, 还可以保护细胞内许多重要代谢活动所需的酶类活性^[10]。Elsamad等^[11]研究表明, 大豆品种 Clark 和 Forrest 的耐盐性与可溶性蛋白质、脯氨酸的积累有关, 而品种 Kint 的盐敏感性与水分、糖分、蛋白质含量的降低有关。张云起等^[12]在耐盐西瓜砧木筛选中发现, 盐处理后植株体内游离脯氨酸含量增加, 在无盐及盐胁迫下, 耐盐品种均高于盐敏感品种。阮成江等^[13]的研究表明, 盐胁迫下沙棘叶内脯氨酸含量升高, 可溶性糖含量增加, 渗透势降低, 渗透调节能力增强。本试验的结果表明, 番茄嫁接苗与自根苗在盐胁迫下, 脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均有增加 (表 3), 但嫁接苗均高于自根苗, 渗透调节能力相对较强, 叶片中可溶性蛋白质含量的变化尤为显著, 可能与盐胁迫蛋白合成有关。

盐胁迫下植物光合作用下降的原因尚未形成统一的认识。一般认为渗透胁迫可能是盐抑制植物光合作用的原因之一, 即盐胁迫引起水势及气孔导度降低, 限制 CO_2 到达光合机构, 从而抑制光合作

用^[14]。叶片光合速率的降低由气孔因素和非气孔因素所致,判定依据主要是根据 C_i 和 L_s 的变化方向。 C_i 降低和 L_s 升高,气孔因素是主要的; C_i 升高和 L_s 下降则非气孔因素是主要的^[15]。本研究表明,盐胁迫后 5 d,番茄嫁接苗和自根苗 P_n 、 G_s 、 C_i 都有所下降,同时 L_s 增大,气孔限制成为主要因素,从而限制了 CO_2 向叶绿体的输送^[16],但嫁接苗与自根苗相比,自根苗各指标变化幅度较大,嫁接苗仍表现出一定的优势。

本文结果表明,盐胁迫下,嫁接苗和自根苗根内 Cl^- 和 Na^+ 含量均显著增加, K^+ 含量均显著减少,但嫁接苗根内 Na^+ 含量显著低于自根苗, K^+ 含量高于自根苗, Na^+/K^+ 值显著低于自根苗,说明嫁接起到屏蔽作用,选择性地吸收 Na^+ 和 K^+ ,具有拒 Na^+ 功能,一定程度上减轻了盐胁迫的伤害,提高耐盐性。盐胁迫下增大嫁接苗对 K^+ 的选择性吸收,可能是因为盐胁迫下根系细胞膜 ATPase 活性上升,形成了质子跨膜梯度,促进了 K^+ 经由 K^+ 通道进入细胞质,并激活质膜上 Na^+/H^+ 交换门所致。

参考文献:

- 郭文忠,刘声锋,李丁仁,赵顺山.设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望.土壤,2004,36(1):25~29
Guo W Z, Liu S F, Li D R, Zhao S S. Mechanism of soil salinization in protected cultivation. Soils, 2004, 36(1): 25~29 (in Chinese)
- 于贤昌,王立江.蔬菜嫁接的研究与应用.山东农业大学学报,1998,29(2):249~256
Yu X C, Wang L J. Study and application in vegetable graft. Journal of Shandong Agricultural University, 1998, 29(2): 249~256 (in Chinese)
- 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导.广州:华南理工大学出版社,2002.35~36,122~126
Chen J X, Wang X F. Experimental instruction in plant physiology. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002. 35~36, 122~126 (in Chinese)
- 张殿忠,汪沛洪,赵会贤.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法.植物生理学通讯,1990,(4):62~65
Zhang D Z, Wang P H, Zhao H X. Measure of free proline in leaf of wheat. Plant Physiology Communications, 1990, (4): 62~65 (in Chinese)
- 邵雪玲,毛歆,郭一清.生物化学与分子生物学实验指导.武汉:武汉大学出版社,2003.159~160
Shao X L, Mao X, Guo Y Q. Experimental instruction in biochemistry and molecular biology. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. 159~160 (in Chinese)
- Abd-Alla M H, Vuong T D, Harper J E. Genotypic differences in dinitrogen fixation response to NaCl stress in intact and grafted soybean. Crop Science, 1998, 38: 72~77
- 姜卫兵,高光林,戴美松,韩浩章,汪良驹.盐胁迫对不同砧穗组合梨幼树光合日变化的影响.园艺学报,2003,30(6):653~657
Jiang W B, Gao G L, Dai M S, Han H Z, Wang L J. Effects of salt stress on diurnal course of photosynthesis of young 'Hosui' pear trees with different rootstock. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(6): 653~657 (in Chinese)
- Banuls J, Eduardo P M. Effects of salinity on some citrus scion-rootstock combinations. Annals of Botany, 1995, 76: 97~102
- Shalata A, Tal M. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennillii*. Physiologia Plantarum, 1998, 104: 169~174
- 李玉全,张海艳,沈法富.作物耐盐性的分子生物学研究进展.山东科学,2002,15(2):8~15
Li Y Q, Zhang H Y, Shen F F. Advances in the research on molecular biology of plant salt-tolerance. Shandong Science, 2002, 15(2): 8~15 (in Chinese)
- Elsamad H M A. Salt tolerance of soybean cultivars. Biologia Plantarum, 1997, 39(2): 263~269
- 张云起,刘世琦,杨凤娟,李东方.耐盐西瓜砧木筛选及其耐盐机理的研究.西北农业学报,2003,12(4):105~108
Zhang Y Q, Liu S Q, Yang F J, Li D F. Study on the screening of salt-tolerant watermelon stock and mechanism of salt-tolerance. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2003, 12(4): 105~108 (in Chinese)
- 阮成江,谢庆良.盐胁迫下沙棘的渗透调节效应.植物资源与环境学报,2002,11(2):45~47
Ruan C J, Xie Q L. Osmotic adjustment effect of *Hippophae rhamnoides* L. under salt-stress. Journal of Plant Resources and Environment, 2002, 11(2): 45~47 (in Chinese)
- 朱新广,张其德.NaCl对光合作用影响的研究进展.植物学通报,1999,16(4):332~338
Zhu X G, Zhang Q D. Advances in the research on the effects of NaCl on photosynthesis. Chinese Bulletin Botany, 1999, 16(4): 332~338 (in Chinese)
- Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317~345
- Delfine S, Alvino A, Concettavillani M, Loreto F. Restrictions to dioxide conductance and photosynthesis in spinach leaves recovering from salt stress. Plant Physiology, 1999, 119: 1101~1106