

NaCl 胁迫对坪山柚、福橘实生苗 矿质营养吸收特性的影响

马翠兰¹, 刘星辉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 通过沙培和水培实验, 采用原子吸收分光光度计法和离子吸收动力学方法, 对 NaCl 胁迫下坪山柚 (*Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou') 和福橘 (*C. reticulata* Blanco 'Fuju') 实生苗矿质营养吸收特性进行研究。结果表明, 随 NaCl 浓度增加, 坪山柚和福橘幼苗地上部及根部 Na^+ 、 Cl^- 含量明显增加, K^+ 、 Ca^{2+} 含量降低。相同浓度 NaCl 胁迫下, 坪山柚地上部及根部 Na^+ 、 Cl^- 含量分别低于福橘, 而根部 K^+ 、 Ca^{2+} 含量及地上部 K^+ 含量、 K^+/Na^+ 值、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值均高于福橘。NaCl 胁迫下, 坪山柚、福橘幼苗 Na^+ 吸收量高于 Cl^- 吸收量, Na^+ 及 Cl^- 的吸收速率均随 NaCl 浓度的增大而增加。相同浓度 NaCl 胁迫下, 坪山柚对 Na^+ 、 Cl^- 的吸收速率低于福橘, 这与坪山柚对 Na^+ 、 Cl^- 的吸收具有较大的 K_m 值及较小的 V_{\max} 值一致, 表明坪山柚幼苗比福橘幼苗耐盐性强。

关键词: 坪山柚; 福橘; NaCl 胁迫; 矿质营养; 耐盐性

中图分类号: S666.01; Q945.78 文献标识码: A 文章编号: 1004-0978(2004)04-0011-04

Effects of NaCl stress on the characteristics of mineral nutrition absorption in *Citrus grandis* and *C. reticulata* seedlings MA Cui-lan¹, LIU Xing-hui¹, 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.* 2004, 13(4): 11-14

Abstract: By sand culture and hydroponics culture experiments and by using atomic absorption spectrophotometer and ion absorption kinetics method, the effects of NaCl stress on the characteristics of mineral nutrition absorption in seedlings of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' were studied. The results showed that Na^+ and Cl^- contents in both root and the above-ground part of *C. grandis* and *C. reticulata* seedlings increased obviously with the increase of NaCl concentration, but the contents of K^+ 、 Ca^{2+} decreased. The contents of Na^+ 、 Cl^- in root and the above-ground part of *C. grandis* seedlings were lower than that in *C. reticulata* respectively, but the contents of K^+ 、 Ca^{2+} in root, the content of K^+ and the value of K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ in above-ground part of *C. grandis* seedlings were higher than that in *C. reticulata* under the same NaCl concentration. The absorption amount of Na^+ was higher than that of Cl^- in *C. grandis* and *C. reticulata*, respectively, the absorption rate of Na^+ 、 Cl^- in *C. grandis* and *C. reticulata* seedlings increased as the NaCl concentration increased. The absorption rate of Na^+ and Cl^- in *C. grandis* was lower than that in *C. reticulata* under the same NaCl concentration, which coincided with the result that the *C. grandis* seedlings had higher K_m value and lower V_{\max} value than that in *C. reticulata* seedlings under the same NaCl stress. It suggests that the salt tolerance of *C. grandis* seedlings is stronger than that of *C. reticulata* seedlings.

Key words: *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou'; *C. reticulata* Blanco 'Fuju'; NaCl stress; mineral nutrition; salt tolerance

果树属于对盐敏感的非盐生植物。非盐生植物的耐盐性与植物的发育阶段、种类及品种有关, 并主要取决于根系对离子的选择性吸收和盐分在器官、组织及细胞 3 个层次上的区域化分布^[1,2]。汪良驹等^[3,4]、江东^[5]、Storey 和 Walker^[6]研究了盐胁迫下不同果树 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 等离子含量变化与果树耐盐

性关系, 但对离子 Na^+ 、 Cl^- 吸收特性的研究在果树上鲜见报道。以坪山柚和福橘为实验材料, 对盐胁迫

收稿日期: 2004-04-19

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, 讲师, 主要从事果树生理生态方面的研究。

迫下幼苗矿质营养吸收特性进行研究,可以为柑橘耐盐性栽培及耐盐性鉴定提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

坪山柚 (*Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou'), 由福建省华安县农技站提供, 福橘 (*C. reticulata* Blanco 'Fuju') 由福州市兴农园艺科技场提供。种子经 0.1% KMnO_4 消毒, 冲洗, 分别播于装有干净河沙的木箱中, 用全营养液^[7]浇灌。

1.2 实验方法

将正常生长到 4 片真叶的幼苗取出洗净, 用滤纸吸干水分, 用于盐胁迫处理。实验共设 6 个处理, 用全营养液配制 NaCl 浓度为 0、40、80、120、160 和 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐胁迫溶液。

将一部分苗移入装有 120 mL 盐胁迫液的三角瓶中, 每瓶 2 株苗, 每处理重复 6 次。将苗置于 LRH-250GS 型人工气候箱中 [每天光照 12 h, 白天温度 (25 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$; 夜间 (18 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$] 培养。第 4 d 更换 1 次培养液, 8 d 后, 采集幼苗的地上部和根部, 分别烘干至恒重, 粉碎, 用浓硝酸-高氯酸消煮法, 在 WFX-IE2 型原子吸收分光光度计上测定 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 含量, 用灰化法和硝酸银滴定法^[8]测定 Cl^- 含量。

另一部分幼苗先移入装有 120 mL 去离子水的三角瓶中饥饿培养 1 d, 再转入装有 120 mL 不同浓度盐胁迫液的三角瓶中, 每瓶 2 株苗, 重复 3 次, 以不放幼苗的各浓度盐处理液为对照。将苗置于人工气候箱中培养 4 d 后, 用去离子水补充因蒸腾损失的水分, 称根鲜重并测各浓度盐处理液中 Na^+ 、 Cl^- 变化。根据胁迫前后幼苗和各处理液 Na^+ 、 Cl^- 含量变化值、吸收时间及幼苗根鲜重, 分别计算幼苗 Na^+ 、 Cl^- 吸收量及吸收速率。根据 Michaelis-Menten 方程 $V = (V_{\max} \times C) / (K_m + C)$, 求出坪山柚和福橘幼苗 Na^+ 、 Cl^- 最大吸收速率 V_{\max} 和米氏常数 K_m 。

2 结果和分析

2.1 NaCl 胁迫对坪山柚和福橘幼苗矿质营养含量的影响

2.1.1 对 Na^+ 和 Cl^- 含量的影响

NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗的 Na^+ 和 Cl^- 含量变化见图 1, 结果表明, 坪山柚和福橘幼苗地上部 Na^+ 、 Cl^- 含量均高于根部。NaCl 胁迫 30 d, 随 NaCl 浓度增加, 坪山柚和福橘幼苗地上部及根部 Na^+ 、 Cl^- 含量明显增加; 相同浓度 NaCl 胁迫下, 福橘 Na^+ 、 Cl^- 含量分别高于坪山柚。用 40、120 和 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 进行胁迫处理, 坪山柚和福橘幼苗地上部 Na^+ 含量分别为对照的 5.5 和 6.0 倍、10.1 和 12.3 倍、16.3 和 19.0 倍; 根部 Na^+ 含量分别为对照的 5.1 倍和 5.3 倍、8.8 和 9.4 倍、13.4 和 14.8 倍。 Cl^- 含量的变化与此类似, 表明在 NaCl 胁迫下, 福橘地上部及根部比坪山柚容易积累 Na^+ 和 Cl^- 。

2.1.2 对 K^+ 和 Ca^{2+} 含量的影响 NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗根部和地上部 K^+ 、 Ca^{2+} 含量变化见图 2, 结果表明, 坪山柚和福橘幼苗根部 K^+ 含量高于地上部, 而 Ca^{2+} 含量则低于地上部。NaCl 胁迫后, 坪山柚和福橘幼苗地上部及根部 K^+ 、 Ca^{2+} 含量均下降。40 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗地上部 K^+ 含量分别为对照的 0.89 倍和 0.87 倍, Ca^{2+} 含量与对照无显著差异; 根部 K^+ 含量与对照无显著差异, 而 Ca^{2+} 含量分别为对照的 0.89 倍和 0.85 倍。200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗地上部 K^+ 含量分别为对照的 0.78 倍和 0.74 倍, Ca^{2+} 含量均为对照的 0.91 倍; 而根部 K^+ 含量分别为对照的 0.79 倍和 0.74 倍, Ca^{2+} 含量分别为对照的 0.71 倍和 0.74 倍。相同浓度 NaCl 胁迫下, 坪山柚根部 K^+ 、 Ca^{2+} 含量均高于福橘, 地上部 K^+ 含量也高于福橘, 而 Ca^{2+} 含量则无明显差异。

2.1.3 对地上部 K^+/Na^+ 值和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值的影响 NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗地上部 K^+/Na^+ 值、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值的变化见表 1, 结果表明, NaCl 胁迫明显降低坪山柚和福橘幼苗地上部 K^+/Na^+ 值和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值。相同浓度 NaCl 胁迫下, 坪山柚 K^+/Na^+ 值和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值均高于福橘。当 NaCl 浓度为 120 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 福橘地上部 K^+/Na^+ 值 < 1 , 而坪山柚 K^+/Na^+ 值 > 1 ; 当 NaCl 浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 福橘 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值 < 1 , 而坪山柚 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值始终大于 1。

2.2 NaCl 胁迫对坪山柚和福橘幼苗 Na^+ 和 Cl^- 吸收特性的影响

2.2.1 NaCl 胁迫对 Na^+ 和 Cl^- 吸收量及吸收速率的影响 NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗的 Na^+ 吸

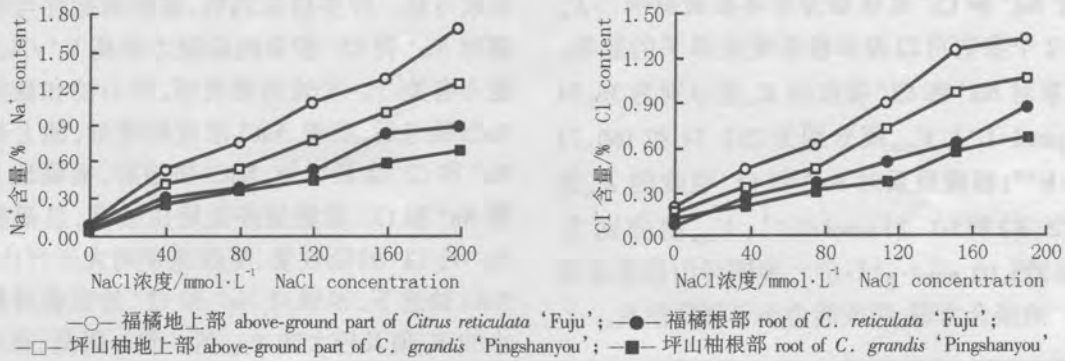


图1 NaCl胁迫对坪山柚和福橘幼苗地上部及根部Na⁺和Cl⁻含量的影响
 Fig. 1 Effect of NaCl stress on Na⁺ and Cl⁻ contents in above-ground parts and roots of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' seedlings

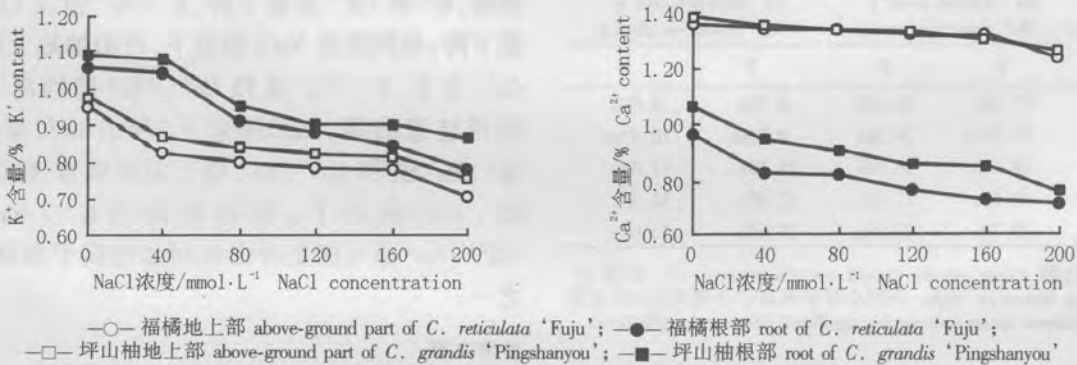


图2 NaCl胁迫对坪山柚和福橘幼苗地上部及根部K⁺和Ca²⁺含量的影响
 Fig. 2 Effect of NaCl stress on K⁺ and Ca²⁺ contents in above-ground parts and roots of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' seedlings

表1 NaCl胁迫对坪山柚和福橘幼苗地上部K⁺/Na⁺值和Ca²⁺/Na⁺值的影响(n=6)¹⁾
 Table 1 Effect of NaCl stress on the values of K⁺/Na⁺ and Ca²⁺/Na⁺ in above-ground parts of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' seedling (n=6)¹⁾

NaCl 浓度/ mmol·L ⁻¹ Conc.	K ⁺ /Na ⁺		Ca ²⁺ /Na ⁺	
	P	F	P	F
0	13.22a	11.08a	18.71a	15.78a
40	2.14b	1.59b	3.32b	2.58b
80	1.60bc	1.09bc	2.57bc	1.82bc
120	1.10c	0.74c	1.78c	1.25c
160	0.85c	0.63c	1.35c	1.06c
200	0.63c	0.43c	1.04c	0.75c

¹⁾ P: 坪山柚 *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou'; F: 福橘 *C. reticulata* Blanco 'Fuju'. 不同小写字母表示处理间达5%差异水平 Different letters indicate the significant difference at 5% level.

收量均高于Cl⁻吸收量,其中福橘Na⁺吸收量最大(见表2)。80 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,除福橘幼苗Na⁺吸收量显著增加外,坪山柚Na⁺和Cl⁻吸收量及福橘Cl⁻吸收量变化不明显;120 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫

下,坪山柚和福橘Na⁺和Cl⁻吸收量均显著增加;此后,随着NaCl浓度的提高,坪山柚和福橘Na⁺和Cl⁻吸收量变化不明显。

NaCl胁迫下,坪山柚和福橘幼苗对Na⁺和Cl⁻吸收速率的变化见图3。结果表明,坪山柚和福橘幼苗对Na⁺和Cl⁻的吸收速率均随NaCl浓度的增大而增加;相同浓度NaCl胁迫下,Na⁺吸收速率高于Cl⁻吸收速率。随NaCl浓度增加,坪山柚Na⁺吸收速率增加不明显,而福橘Na⁺吸收速率则有明显的增加,80、120、160和200 mmol·L⁻¹ NaCl胁迫下,坪山柚Na⁺吸收速率分别比40 mmol·L⁻¹ NaCl处理提高了8.8%、11.9%、14.8%和15.8%,福橘则分别提高了22.2%、31.8%、37.9%和40.7%。坪山柚Cl⁻吸收速率低于福橘,80~200 mmol·L⁻¹ NaCl处理,坪山柚Cl⁻吸收速率增加25.0%~59.0%,福橘Cl⁻吸收速率增加30.4%~69.9%,表明坪山柚和福橘在Na⁺和Cl⁻吸收速率方面存在着基因型差异。

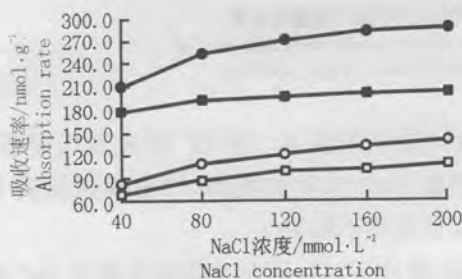
2.2.2 对 Na^+ 和 Cl^- 吸收动力学参数的影响 K_m 和 V_{\max} 这两个参数可以表示根系吸收离子的效率。坪山柚根系对 Na^+ 和 Cl^- 吸收的 K_m 值分别为 36.34 和 58.64 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, V_{\max} 值分别为 212.34 和 160.71 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$; 福橘根系对 Na^+ 和 Cl^- 吸收的 K_m 值分别为 22.82 和 50.21 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, V_{\max} 值分别为 324.91 和 225.02 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 表明坪山柚根系对 Na^+ 和 Cl^- 的亲合力弱, 吸收能力小于福橘根系。

表2 NaCl胁迫对坪山柚和福橘幼苗 Na^+ 和 Cl^- 吸收量(FW)的影响 ($n=6$)¹⁾

Table 2 Effect of NaCl stress on Na^+ and Cl^- absorption amount (FW) of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' seedlings ($n=6$)

NaCl 浓度/ mmol·L ⁻¹ Conc.	Na^+ 吸收量/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ Na^+ absorption amount		Cl^- 吸收量/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ Cl^- absorption amount	
	P	F	P	F
40	17.09b	19.87b	6.79b	8.03b
80	18.59ab	24.28a	9.83ab	10.47ab
120	19.11a	26.19a	11.58a	11.69a
160	19.62a	27.42a	12.67a	12.85a
200	19.79a	27.86a	13.45a	13.64a

1) P: 坪山柚 *Citrus grandis* Osbeck cv. Pingshanyou; F: 福橘 *C. reticulata* Blanco cv. Fujū. 不同小写字母表示处理间达 5% 差异水平 Different letters indicate the significant difference at 5% level.



—○— 福橘 Cl^- 吸收速率 Cl^- absorption rate of *C. reticulata* 'Fuju';
—●— 福橘 Na^+ 吸收速率 Na^+ absorption rate of *C. reticulata* 'Fuju';
—□— 坪山柚 Cl^- 吸收速率 Cl^- absorption rate of *C. grandis* 'Pingshanyou';
—■— 坪山柚 Na^+ 吸收速率 Na^+ absorption rate of *C. grandis* 'Pingshanyou'

图3 NaCl胁迫对坪山柚和福橘幼苗 Na^+ 和 Cl^- 吸收速率的影响
Fig. 3 Effect of NaCl stress on Na^+ and Cl^- absorption rates of *Citrus grandis* Osbeck 'Pingshanyou' and *C. reticulata* Blanco 'Fuju' seedlings

3 讨 论

NaCl胁迫容易破坏植物细胞内营养平衡, 主要是由于 Na^+ 和 Cl^- 过量积累引起了离子毒害和其他

元素亏缺。许多研究表明, 植物耐盐性与植株地上部对 Na^+ 和 Cl^- 积累的限制力和高 K^+/Na^+ 值保持能力有关^[9]。实验结果表明, 坪山柚和福橘幼苗经 NaCl 胁迫后, 随着 NaCl 浓度的增加, 地上部和根部 Na^+ 和 Cl^- 含量增加, NaCl 胁迫后, 福橘地上部及根部 Na^+ 和 Cl^- 含量始终比坪山柚高, 且福橘根系对 Na^+ 与 Cl^- 的吸收量、吸收速率均大于坪山柚, 这与 NaCl 胁迫下, 福橘对 Na^+ 和 Cl^- 的吸收过程具有较小的 K_m 值及较大的 V_{\max} 值一致。因此, 福橘比坪山柚易遭受 NaCl 胁迫的影响。土壤或培养液中 Na^+ 浓度高, 降低了植物对 K^+ 和 Ca^{2+} 的吸收, 并影响它们在植株体内分布^[6,10]。实验表明, 随 NaCl 浓度的提高, K^+ 和 Ca^{2+} 含量下降, K^+/Na^+ 值及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值下降; 相同浓度 NaCl 胁迫下, 坪山柚地上部 K^+ 和 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 值和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值均高于福橘。值得注意的是, NaCl 胁迫下, 坪山柚和福橘幼苗 K^+/Na^+ 值和 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值下降的幅度无差异。因此, NaCl 胁迫下, 保持较高的 K^+/Na^+ 值及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 值可能是坪山柚耐盐性高于福橘的原因之一。

参考文献:

- [1] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1980, 31: 149-190.
- [2] 赵可夫. 植物抗盐生理 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [3] 汪良驹, 马凯, 姜卫兵, 等. NaCl 胁迫下石榴和桃植株 Na^+ 、 K^+ 含量与耐盐性的研究 [J]. 园艺学报, 1995, 22(4): 336-340.
- [4] 汪良驹, 马凯, 姜卫兵, 等. 五种落叶果树的氯离子分布与耐盐性研究 [J]. 中国南方果树, 1996, 25(4): 34-38.
- [5] 江东, 陈竹生, 李嘉庆. 一些枳杂种耐盐性的遗传评价 [J]. 中国南方果树, 2001, 30(1): 3-4.
- [6] Storey R, Walker R R. Citrus and salinity [J]. Scientia Horticulturae, 1999, 78: 39-81.
- [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, 2003, 32(3): 320-324.
- [8] 庄一美. 柑橘营养与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 170-172.
- [9] 毛桂莲, 许兴, 徐兆楨. 植物耐盐生理生化研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 43-46.
- [10] Cuartero J, Fernández-Muñoz R. Tomato and salinity [J]. Scientia Horticulturae, 1999, 78: 83-125.