

茄子砧木Na⁺、K⁺含量、S_{K, Na运输}与耐盐性关系研究

白丽萍¹, 何雨², 宋宇¹, 周宝利³, 孟思纹¹, 马明南¹, 郭志富^{1,*}

¹沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳110161; ²沈阳浑南区组织部, 沈阳110179; ³沈阳农业大学园艺学院, 沈阳110161

摘要: 为考察不同茄子砧木在茄子耐盐性的作用, 以茄子嫁接生产中常用的托鲁巴姆(*Solanum torvum*)、赤茄(*Solanum integrifolium*)、刺茄(*Solanum texanum*)和刚果茄(*Solanum sisymbriifolium*)为试材, 研究了盐害指数、根系和地上部Na⁺、K⁺含量、Na⁺/K⁺比、S_{K, Na运输}及其与耐盐性的关系。结果表明, 各种砧木的盐害指数均随着盐浓度的增大呈上升趋势, 同一盐浓度下, 盐害指数由大到小依次为刚果茄>赤茄>刺茄>托鲁巴姆。根系Na⁺含量、地上部K⁺含量、根系Na⁺/K⁺比及S_{K, Na运输}在各盐浓度下均表现为托鲁巴姆>刺茄>赤茄>刚果茄。地上部Na⁺含量、根中K⁺含量及地上部Na⁺/K⁺比在各盐浓度下均表现为托鲁巴姆<刺茄<赤茄<刚果茄。茄子砧木耐盐性与根中Na⁺含量、根中Na⁺/K⁺比、S_{K, Na运输}呈正相关, 与地上部Na⁺含量、根中K⁺含量、地上部Na⁺/K⁺比呈负相关。这些结果表明, NaCl处理下耐盐性强的砧木通过限制Na⁺向叶片中运输, 增加了叶片中K⁺含量, 从而降低Na⁺/K⁺比来提高植株耐盐性。

关键词: NaCl胁迫; 茄子砧木; Na⁺/K⁺比; S_{K, Na运输}; 耐盐性

Study on Relationship between Na⁺、K⁺ Content and S_{K, Na of transport} of Eggplant Rootstocks and Salt-Tolerance

BAI Li-Ping¹, HE Yu², SONG Yu¹, ZHOU Bao-Li³, MENG Si-Wen¹, MA Ming-Nan¹, GUO Zhi-Fu^{1,*}

¹College of Biological Science & Biotechnology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; ²Department of Organization, Hunnan District of Shenyang, Shenyang 110179, China; ³College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Abstracts: To investigate the salt tolerance of different rootstocks of eggplant, *Solanum torvum*, *Solanum integrifolium*, *Solanum texanum* and *Solanum sisymbriifolium* were chosen for testing the relationships of salt tolerance with salt injury index, Na⁺ and K⁺ contents, Na⁺/K⁺ ratio and the S_{K, Na of transport} in root and shoot. The results showed that the salt injury index of different rootstocks increased with the increasing salt concentration, in the order of *Solanum sisymbriifolium*>*Solanum integrifolium*>*Solanum texanum*>*Solanum torvum* at the same salt concentration. Shoot K⁺ content, root Na⁺ content, Na⁺/K⁺ ratio and S_{K, Na of transport} were in the order of *Solanum torvum*>*Solanum texanum*>*Solanum integrifolium*>*Solanum sisymbriifolium* at each corresponding salt concentration; shoot Na⁺ content, Na⁺/K⁺ ratio, and root K⁺ content were in the order of *Solanum torvum*<*Solanum texanum*<*Solanum integrifolium*<*Solanum sisymbriifolium* at each corresponding salt concentration. A positive correlation was observed between salt-tolerance of eggplant rootstocks and root Na⁺ content, Na⁺/K⁺ ratio and S_{K, Na of transport}; while a negative correlation was observed between the salt-tolerance of eggplant rootstocks and leaf Na⁺ content, Na⁺/K⁺ ratio and root K⁺ content. The results indicated that the rootstock with high salt tolerance increased its plant resistance to salt by restricting Na⁺ translocation to leaf, increasing K⁺ content in shoot, and decreasing Na⁺/K⁺ ratio under the salt stress.

Key words: NaCl stress; eggplant rootstock; Na⁺/K⁺ ratio; S_{K, Na of transport}; salt tolerance

茄子是我国人民喜食的一种大众性蔬菜, 由于设施栽培时一年中有较长时间的覆盖, 施肥量大, 容易造成盐分积聚, 引起土壤次生盐渍化, 严重影响设施生产的可持续发展。如何减轻和克服连作导致的土壤盐害是设施茄子生产中亟待解决的关键问题之一。改良设施土壤和培育抗逆品种是减轻土壤次生盐渍化危害的重要手段, 而利用

耐盐砧木嫁接是克服蔬菜作物土壤次生盐渍化伤害的有效途径之一(李式军2002; 吴雪霞等2011)。

收稿 2014-06-03 修定 2014-10-21

资助 国家自然科学基金(31171950)、辽宁省教育厅(L2012231)和高等学校博士学科点专项科研基金(20132103120003)。

* 通讯作者(E-mail: zhifuguo@hotmail.com; Tel: 024-88487164)。

目前关于耐盐砧木嫁接提高蔬菜作物耐盐性的研究主要集中在番茄(郇翔等2008)、西瓜(朱士农和郭世荣2009)、黄瓜(田雪梅等2012)和茄子(白丽萍等2005a, b, 2008, 2009; 李宁等2006)上。嫁接提高蔬菜作物的耐盐性与砧木的耐盐性密切相关(Colla等2010), 耐盐砧木对嫁接植株耐盐性的提高作用一方面归结于砧木往往具有更为发达的根系, 可显著促进接穗对水分和营养物质的吸收(白丽萍等2008; 王丽萍等2012); 另一方面是盐胁迫下砧木根系对 Na^+ 的有效隔离。盐胁迫下, 砧木嫁接植株地上部中 Na^+ 的含量明显低于自根嫁接植株, 根系中 Na^+ 高于自根植株(魏国平等2007; Martinez-Rodriguez等2008; 朱进和别之龙2010)。朱士农和郭世荣(2009)采用透射电镜结合能谱分析的研究结果表明, 耐盐砧木根系可阻隔根系内皮层对 Na^+ 向中柱导管的运输, 限制 Na^+ 向中柱导管的装载, 进而将大部分 Na^+ 截留在根部阻止 Na^+ 向地上部的运输, 从而提高蔬菜作物的耐盐性。近年来虽然生产中应用的砧木种类较多, 但专用品种缺乏, 并且对不同砧木的抗性和品质缺乏系统研究。为此, 本试验以生产中常用的茄子砧木为试材, 研究 NaCl 胁迫下不同茄子砧木盐害指数、根系和地上部 Na^+ 、 K^+ 含量、 Na^+/K^+ 比、 $S_{\text{K}, \text{Na} \text{运输}}$ 及其与耐盐性的关系, 试图从这一角度揭示茄子野生砧木耐盐机理, 为今后抗性砧木选择和早期鉴定提供可行的依据和手段, 以期更好的指导茄子生产实践, 实现保护地生产的可持续发展和良性循环。

材料与方法

1 材料

本试验选用茄子(*Solanum melongena* L.)嫁接生产中应用较广野生砧木托鲁巴姆[*Solanum torvum* (L.) Swartz.]、赤茄[*Solanum integrifolium* (L.) Poir.]、刺茄[*Solanum texanum* (L.) Hort., CRP]、刚果茄[*Solanum sisymbriifolium* (L.) Lam.]为试材。试验于沈阳农业大学园艺学院科研基地进行。

2 方法

2013年1月18日播种托鲁巴姆, 1月25日分别播种CRP、赤茄、刚果茄。选取生长一致的幼苗定植于尺寸18 cm×17 cm的水培塑料桶中, 浇灌1/2Hoagland营养液培养, pH调至5.80 (用KOH或

H_2SO_4 调节), 持续供氧。浇灌1/2Hoagland营养液10 d进行盐处理(NaCl +1/2Hoagland 营养液), 分别设四个处理: 0、50、100和150 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。每天以25 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 浓度递增, 经6 d同时达到预定浓度, 此时定为正式处理1 d。每个处理1株, 重复20次, 完全随机排列。10 d后田间调查, 取样进行室内指标测定。

3 测定项目及方法

3.1 盐害级别及盐害率

在处理10 d后进行盐害级别观察。盐害级别划分在赵进春等(1995)所用方法的基础上略有改动(观察主要以有代表性的二位叶为准), 0级: 完全正常; 1级: 轻度伤害, 叶尖缘枯焦或叶片黄化面积小于20%; 2级: 叶尖缘枯焦或叶片黄化面积介于20%~40%; 3级: 叶尖缘枯焦或叶片黄化面积介于40%~60%; 4级: 叶尖缘枯焦或叶片黄化面积介于60%~90%; 5级: 植株完全死亡。根据盐害级别, 计算盐害指数: 盐害指数(SI) = $\Sigma(\text{代表级值}\times\text{株数}) / (\text{最高级值}\times\text{总株数})\times 100\%$ 。

3.2 根系和地上部 K^+ 、 Na^+ 含量的测定

按王宝山和赵可夫(1995)第2种方法进行。每种样品经105 °C杀青5 min后, 再在70~80 °C烘干至恒重, 磨碎过筛(30目)后各称取100 mg置于25 mL大试管中, 加入20 mL蒸馏水, 摇匀后置于沸水浴中1.5 h, 冷却后定容至50 mL容量瓶中备测。每个样品5个重复, K^+ 、 Na^+ 含量使用上海分析仪器厂6400型火焰光度计测定。

3.3 K^+ 、 Na^+ 吸收和运输的选择系数的测定:

采用陈德明和俞仁培(1998)提出的计算小麦根系 K^+ 、 Na^+ 吸收选择系数($S_{\text{K}, \text{Na} \text{吸收}}$)和 K^+ 、 Na^+ 运输选择系数($S_{\text{K}, \text{Na} \text{运输}}$)的公式如下:

$$S_{\text{K}, \text{Na} \text{吸收}} = ([\text{K}]_{\text{根系}} / [\text{Na}]_{\text{根系}}) / ([\text{K}]_{\text{介质}} / [\text{Na}]_{\text{介质}})$$

$$S_{\text{K}, \text{Na} \text{运输}} = ([\text{K}]_{\text{茎叶}} / [\text{Na}]_{\text{茎叶}}) / ([\text{K}]_{\text{根系}} / [\text{Na}]_{\text{根系}})$$

4 数据处理

实验数据均为3个重复的平均值。利用SPSS 13.0和Excel软件对数据进行处理分析, 测定结果以平均数±标准差表示。

实验结果

1 NaCl 胁迫茄子砧木的耐盐指数

从图1中看出, 各种砧木的盐害指数均随着盐

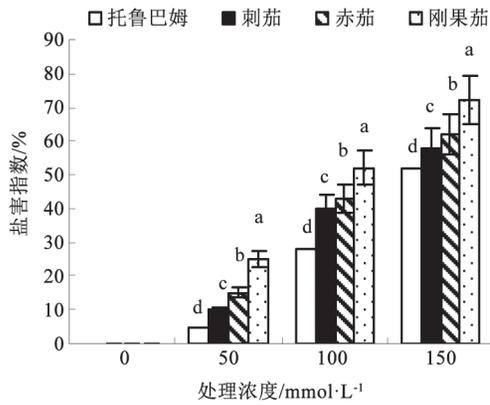


图1 NaCl胁迫下茄子砧木幼苗盐害指数的变化

Fig.1 Changes of salinity injury index in shoot of *S. melongena* rootstocks under NaCl stress

不同字母表示同一处理不同砧木差异显著(P<0.05), 标准差(n=3), 图2~5同此。

浓度的增大呈上升趋势, 随着盐浓度的升高, 刚果茄的增幅最大, 刺茄、赤茄相对较小, 托鲁巴姆增幅最小。方差分析表明, 各种砧木盐害指数的差异达到显著水平, 盐害指数由大到小依次为刚果茄>赤茄>刺茄>托鲁巴姆。

2 NaCl胁迫对茄子砧木Na⁺、K⁺含量的影响

2.1 NaCl胁迫下茄子幼苗根中Na⁺、K⁺的含量的变化

不同浓度盐胁迫下, 四种砧木根中Na⁺含量(图2-A)随着盐胁迫强度的增大而增加, 表现耐盐性强的托鲁巴姆根系中Na⁺含量在各盐浓度下的增加幅度均大于其他几种砧木, 其中刚果茄增加幅度最小。如在150 mmol·L⁻¹ NaCl浓度下, 托鲁巴姆根中Na⁺含量高于对照7.23倍, 而刺茄、赤茄、刚果茄分别为对照的5.89、5.13和3.94倍。K⁺的含量(图2-B)变化幅度不明显, 在同一盐浓度下, 根中刚果茄K⁺含量最大, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最小。

2.2 NaCl胁迫下茄子幼苗地上部Na⁺、K⁺的含量的变化

试验结果表明: 盐胁迫下四种砧木中叶片Na⁺含量(图3-A)均有所增加, 且随着盐胁迫强度的增加而上升, 四种砧木相互比较, 耐盐性强的托鲁巴姆Na⁺增加幅度小于其他砧木。如在150 mmol·L⁻¹ NaCl浓度下, 托鲁巴姆叶片Na⁺含量高出于对照4.20倍, 刺茄、赤茄、刚果茄分别为对照的4.76、4.98

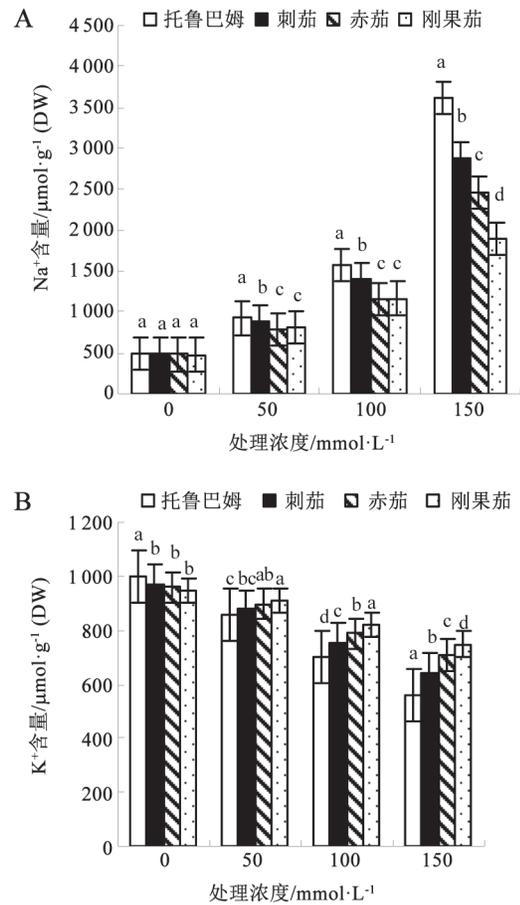


图2 NaCl胁迫下茄子砧木根中Na⁺ (A)和K⁺ (B)含量的变化

Fig.2 Changes of Na⁺ (A) and K⁺ (B) contents in root of *S. melongena* rootstocks under NaCl stress

和5.44倍。地上部Na⁺含量的增加幅度可能与茄子砧木耐盐性强弱有关, 即耐盐性强的砧木地上部Na⁺积累少。地上部K⁺含量变化较小, 随盐浓度的升高而下降, 如在150 mmol·L⁻¹ NaCl浓度下, 托鲁巴姆地上部K⁺含量低于对照0.69倍, 刺茄、赤茄、刚果茄分别为对照的0.63、0.57和0.46倍, 耐盐性强的托鲁巴姆K⁺含量高于其他砧木(图3-B)。

3 NaCl胁迫对茄子砧木Na⁺/K⁺比和S_{K,Na运输}的影响

S_{K,Na运输}只有刚果茄随着浓度的增加而降低, 其他砧木随盐胁迫强度增加而增大。S_{K,Na运输}在各盐浓度下均表现为刚果茄最小, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最大(图4)。S_{K,Na运输}值能很好的反映茄子根系向地上部运输的选择性, 该值越大说明K⁺向地上部运输的选择性越高, 留在根中Na⁺越多, 茄子砧木耐盐性可能会因此而增强。

四种砧木叶片和根系中Na⁺/K⁺比, 均随着盐

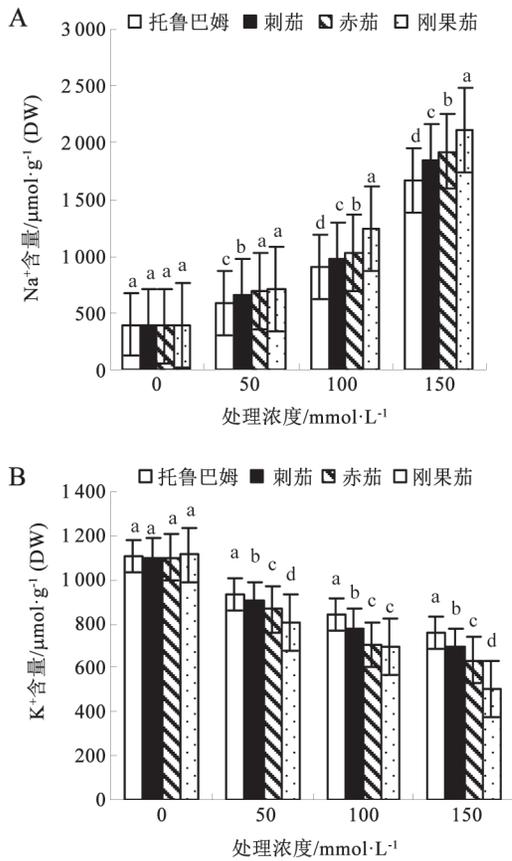


图3 NaCl胁迫下茄子砧木地上部Na⁺(A)和K⁺(B)含量的变化
Fig.3 Changes of Na⁺(A) and K⁺(B) contents in shoots of *S. melongena* rootstocks under NaCl stress

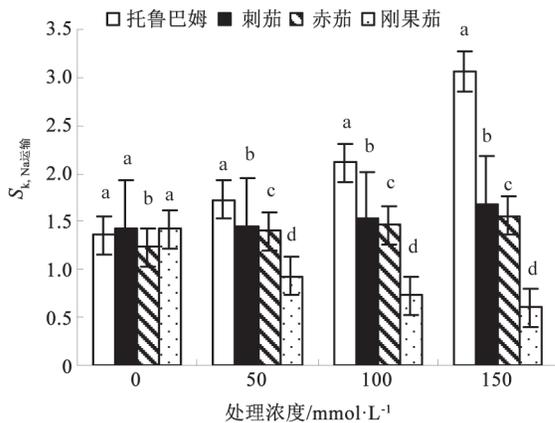


图4 NaCl胁迫下茄子砧木根系与地上部S_{K, Na运输}的变化
Fig.4 Changes of S_{K, Na of transport} in roots and shoots of *S. melongena* rootstocks under NaCl stress

胁迫强度的增加而增加, 耐盐性强的托鲁巴姆在各盐浓度下叶片中的Na⁺/K⁺比均小于其他几种砧木, 如在150 mmol·L⁻¹ NaCl浓度下, 托鲁巴姆叶片

Na⁺/K⁺比高出对照5.86倍, 刺茄、赤茄、刚果茄分别为对照的7.66、8.68和12.23倍(图5-B)。根系中Na⁺/K⁺比在盐胁迫下显著增加, 且随盐胁迫强度增加而增大。在同一盐浓度下, 根中Na⁺/K⁺比刚果茄最小, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最大(图5-A)。

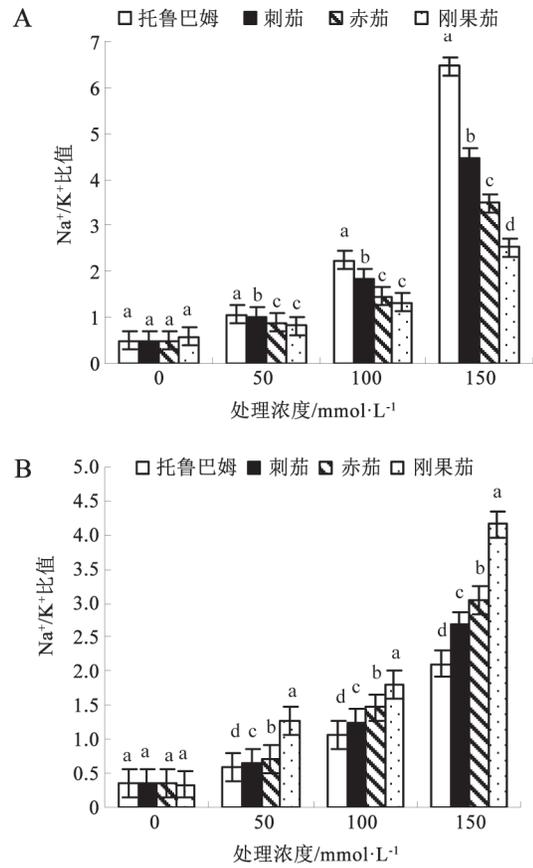


图5 NaCl胁迫下茄子砧木根(A)和叶片(B) Na⁺ / K⁺比的变化
Fig.5 Changes of Na⁺ / K⁺ ratio in roots (A) and leaves (B) of *S. melongena* rootstocks under NaCl stress

讨论

生长受到抑制是盐胁迫对植物最普遍、最显著的效应(戴伟民等2002)。目前苹果耐盐性鉴定常应用盐害率和盐害指数(赵进春等1995; 杜中军等2001), 受害指数分级标准根据试验要求有所不同。赵进春等(1995)对19种苹果砧木进行了耐盐性测定, 结果表明: 以3.0和3.5 mg·g⁻¹ NaCl 两种盐浓度下的相对生长量(RG)和盐害指数(SI)可以准确确定苹果砧木耐盐力高低, 且二者呈显著负相关, 均可单独作为砧木耐盐力鉴定指标。笔者前

期研究发现, 通过对茄子砧木相对生长量、根冠比、生物量积累的分析, 四种砧木之间存在着耐盐性差异, 表现为托鲁巴姆>刺茄>赤茄>刚果茄(白丽萍等2008)。本研究表明, 各种砧木的盐害指数均随着盐浓度的增大呈上升趋势, 随着盐浓度的升高, 刚果茄的增幅最大, 刺茄、赤茄相对较小, 托鲁巴姆增幅最小。同一盐浓度下, 盐害指数由大到小依次为刚果茄>赤茄>刺茄>托鲁巴姆, 这与之前笔者的研究结果相一致。

近年来关于盐胁迫对植物体内离子积累和转运的机制研究成为国内外研究的热点问题(李青松等2010)。在盐胁迫条件下Na⁺及其他阳离子进入植物体内对于植物保持渗透平衡及减缓水分胁迫至关重要。盐胁迫下, Na⁺的区域化成为植物可能的生存对策之一, 如把Na⁺截流在根部, 抑制其向地上部的运输(王宝山等2000; Huang等2012; 郭建荣和王宝山2014)。Na⁺变化及Na⁺/K⁺的相对平衡是评价多数植物耐盐性的较可靠指标(赵可夫和范海2005)。王树凤等(2010)研究发现, NaCl胁迫下, 弗吉尼亚砧木的Na⁺和Cl⁻含量最高, 从而减小地上部的离子毒害。毛才良和刘友良(1990)通过大麦盐胁迫实验发现, 耐盐大麦体内盐分明显的区域化, 根系吸收Na⁺的向地上部运输较少, 留在根系较多, 而对K⁺的选择性强。在大白菜、菠菜和莴苣等作物上也得到了类似的结论(Kaya等2002; 丁能飞等2008)。笔者(白丽萍等2005a, b)研究发现, 嫁接茄子可能是通过对Na⁺、K⁺从根向地上部的选择性运输, 从而减少地上部Na⁺含量、Na⁺/K⁺比值, 使耐盐性提高。茄子砧木Na⁺、K⁺含量与耐盐性关系通过本研究发现, 在150 mmol·L⁻¹ NaCl浓度下, 托鲁巴姆根中Na⁺含量高于对照7.23倍, 而刺茄、赤茄、刚果茄分别为对照的5.89、5.13、3.94倍。四种砧木地上部Na⁺含量均有所增加, 且随着盐胁迫强度的增加而上升, 比较Na⁺增加幅度表现为托鲁巴姆<刺茄<赤茄<刚果茄。表明托鲁巴姆本身具有较强的拒盐能力及限制Na⁺运输到叶片的能力, 从而减轻了Na⁺对叶片的伤害。K⁺的含量变化幅度不明显, 在同一盐浓度下, 根中刚果茄K⁺含量最大, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最小。地上部K⁺含量则表现为托鲁巴姆>刺茄>赤茄>刚果茄。四种砧木地上部和根系中Na⁺/K⁺比, 均随着盐

胁迫强度的增加而增加, 耐盐性强的托鲁巴姆在各盐浓度下地上部的Na⁺/K⁺比均小于其他几种砧木; 在同一盐浓度下, 根中Na⁺/K⁺比刚果茄最小, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最大。说明耐盐性强的砧木选择性吸收和运输K⁺的能力较强, 可以缓解K⁺缺乏, 维持较高的K⁺/Na⁺比。在Na⁺浓度一定的条件下, 通过改善K⁺含量来维持较高的K⁺/Na⁺, 对提高植物耐盐性非常重要(Yousfi等2010)。S_{K, Na运输}值表示根系向地上部运输的选择性(詹亚光等1999; Flowers和Colmer 2008)。本试验表明, S_{K, Na运输}在各盐浓度下均表现为刚果茄最小, 刺茄、赤茄居中, 托鲁巴姆最大。茄子砧木耐盐性与根中Na⁺含量、根中Na⁺/K⁺比、S_{K, Na运输}呈正相关, 与地上部Na⁺含量、根中K⁺含量、地上部Na⁺/K⁺呈负相关。这说明茄子砧木可能的耐盐机理是根系能截留较多的Na⁺, 并以某种形式阻止部分Na⁺向地上部的运输, 从而减轻了盐离子对地上部的毒害作用。关于限制植株体内Na⁺向地上部运输、增强K⁺吸收能力以及不同砧木的差异机理还有待进一步研究。

参考文献

- 白丽萍, 周宝利, 霍尚峰, 李志文, 崔娜(2009). 盐胁迫下嫁接茄幼苗渗透调节能力和内源ABA含量的变化. 北方园艺, (4): 1~3
- 白丽萍, 周宝利, 霍尚峰, 刘宪敏(2008). 不同茄子砧木对NaCl胁迫的反应. 沈阳农业大学学报, 39 (5): 538~541
- 白丽萍, 周宝利, 李宁, 陈作民, 刘宪敏(2005a). 嫁接茄子对NaCl胁迫的反应. 植物生理学通讯, 41 (1): 31~33
- 白丽萍, 周宝利, 李宁, 霍尚峰, 付亚文(2005b). 盐胁迫下嫁接茄的离子吸收和运输. 植物生理学通讯, 41 (6): 767~769
- 陈德明, 俞仁培(1998). 盐胁迫下不同小麦品种的耐盐性及其离子特征. 土壤学报, 35 (1): 88~94
- 戴伟民, 蔡润, 潘俊松, 何欢乐(2002). 盐胁迫对番茄幼苗生长发育的影响. 上海农业学报, 18 (1): 58~62
- 丁能飞, 傅庆林, 刘琛, 郭彬, 林义成(2008). 盐胁迫对两个大白菜品种抗氧化酶活性及离子吸收的影响. 浙江农业学报, 20 (5): 322~327
- 杜中军, 翟衡, 王志刚, 李春庆, 谢秀芬(2001). 苹果砧木耐盐性田间鉴定. 中国果树, (2): 1~4
- 郭建荣, 王宝山(2014). NaCl处理对盐地碱蓬开花及Na⁺、K⁺含量的影响. 植物生理学报, 50 (6): 861~866
- 李宁, 周宝利, 白丽萍, 付亚文, 霍尚峰(2006). 盐胁迫下嫁接茄子中几种保护酶活性的变化. 辽宁农业科学, (1): 10~12
- 李青松, 王俪梅, 汪德勇, 王林权(2010). 不同基因型冬小麦Na⁺吸收动力学特征及其耐盐性. 土壤学报, 47 (1): 145~152
- 李式军(2002). 设施园艺学. 北京: 中国农业出版社
- 毛才良, 刘友良(1990). 盐胁迫大麦体内Na⁺、K⁺分配与叶片耐盐量. 南京农业大学学报, 13 (3): 32~36
- 邵翔, 朱为民, 吴雪霞, 郭菊叶, 郭世荣(2008). 番茄耐盐性茄子砧木

- 的筛选. 上海农业学报, 24 (4): 75~78
- 田雪梅, 魏珉, 刘青, 董传迁, 王秀峰, 史庆华, 杨凤娟(2012). 不同抗性砧木嫁接黄瓜幼苗对NaCl胁迫的生理响应. 应用生态学报, 23 (1): 147~153
- 王宝山, 赵可夫(1995). 小麦叶片中Na、K提取方法的比较. 植物生理学通讯, 31 (1): 50~52
- 王宝山, 邹琦, 赵可夫(2000). NaCl胁迫对高粱不同器官离子含量的影响. 作物学报, 26: 845~850
- 王丽萍, 孙锦, 郭世荣, 刘书仁, 刘超杰, 田婧(2012). 黄瓜砧用白籽南瓜对不同盐胁迫的耐性评价. 应用生态学报, 23 (5): 1311~1318
- 王树凤, 胡韵雪, 李志兰, 孙海菁, 陈益泰(2010). 盐胁迫对弗吉尼亚栎生长及矿质离子吸收、运输和分配的影响. 生态学报, 30 (17): 4609~4616
- 魏国平, 朱月林, 刘正鲁, 杨立飞, 张古文(2007). NaCl胁迫对茄子嫁接苗生长和离子分布影响. 西北植物学报, 27 (6): 1172~1178
- 吴雪霞, 查丁石, 朱宗文, 杨少军(2011). 嫁接提高植物耐盐性研究进展. 中国农学通报, 27 (2): 75~78
- 詹亚光, 陈全涉, 苑盛华, 刘关君, 刘桂丰, 杨传平(1999). 盐胁迫下树木的K⁺和Na⁺含量变化特点及耐盐性. 东北林业大学学报, 27 (1): 24~27
- 赵进春, 任庆棉, 刘捍中, 刘立军(1995). 部分苹果属植物的抗盐性鉴定. 北方果树, (1): 9~10
- 赵可夫, 范海(2005). 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理. 北京: 中国科学技术出版社
- 朱进, 别之龙(2010). 嫁接对盐胁迫下黄瓜苗离子含量的影响. 湖北农业科学, 49 (7): 1642~1647
- 朱士农, 郭世荣(2009). 嫁接对盐胁迫下西瓜植株体内Na⁺和K⁺含量及其分布的影响. 园艺学报, 36 (6): 814~820
- Colla G, Roupael Y, Leonardi C, Bie Z (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Sci Hort*, 127: 147~155
- Flowers TJ, Colmer TD (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol*, 179: 945~963
- Huang GT, Ma SL, Bai LP, Zhang L, Ma H, Jia P, Liu J, Zhong M, Guo ZF (2012). Signal transduction during cold, salt and drought stresses in plants. *Mol Biol Rep*, 29: 969~987
- Kaya C, Higgs D, Sakar E (2002). Response of two leaf vegetables growth at high salinity to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. *J Plant Nutr*, 25 (12): 2663~2676
- Martinez -Rodriguez MM, Estann MT, Moyano E, Garcia-Abellan JO, Flores FB, Campos JF, Al-Azzawi MJ, Flowers TJ, Bolarin MC (2008). The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environ Exp Bot*, 63: 392~401
- Yousfi S, Rabhi M, Hessini K, Abdelly C, Gharsalli M (2010). Differences in efficient metabolite management and nutrient metabolic regulation between wild and cultivated barley grown at high salinity. *Plant Biol*, 12: 650~658