中国农业科学 2009,42(10):3734-3740
Scientia Agricultura Sinica doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2009.10.045

低温弱光条件下砧穗互作对茄子嫁接苗抗冷性的影响

张晓艳，徐 坤

（山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室，山东泰安 271018）

摘要：【目的】探讨茄子砧木及接穗对嫁接苗抗冷性的贡献大小，为茄子越冬嫁接栽培合理选用品种提供参考。【方法】以抗冷性显著不同的台茄（T）和赤茄（C）互为砧穗，采用靠接法进行组合嫁接，测定低温（10 ℃/2 ℃）胁迫前后嫁接苗叶片电解质渗漏率、丙二醛（MDA）含量及主要渗透调节物质含量的变化。【结果】低温胁迫下，TC/TC、TC/C、TC/T 等组合嫁接苗中台茄叶片的的电解质渗透率及 MDA 含量均显著高于同株的赤茄叶片，但显著低于 T/T，且组合嫁接苗中台茄叶片的可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量较 T/T 显著升高，表明抗冷性较强的赤茄根系及叶片，均对嫁接苗台茄接穗抗冷性具有正向效应。虽然 TC/C 的抗冷性较强，TC/TC 次之，TC/T 较差，但三者均显著低于 C/C，表明抗冷性较弱的台茄无论根系还是叶片，均对嫁接苗赤茄接穗抗冷性具有负向效应。【结论】由于 TC/C 的抗冷性显著高于 TC/T，表明嫁接苗抗冷性以根系的贡献大于接穗。

关键词：茄子；砧木；嫁接组合；低温胁迫；抗冷性

Effect of Interaction Between Rootstock and Scion on Chilling Tolerance of Grafted Eggplant Seedlings Under Low Temperature and Light Conditions

ZHANG Xiao-yan, XU Kun

(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, Shandong*)

Abstract: 【Objective】 In order to provide a reference for selection of reasonable species for eggplant grafted during winter planting, the contribution of root and scion to cold resistance of grafted eggplant seedlings was studied. 【Method】 Two rootstock eggplant cultivars, Daidaro (T), susceptible to cold and Hiranasu (C) is more resistant, were used to be grafted on each other. Based on this strategy, the physiology parameters including electrolyte leakage, MDA content and main osmotic adjustment substances in grafted seedling leaves before and after low temperature stress were studied. 【Result】 After low temperature treatment electrolyte leakage and MDA content in T-leaves of TC/TC, TC/C, TC/T was significantly higher than C-leaf in the same combination, but were observably lower than that of T/T, meanwhile, the content of soluble sugar, soluble protein and proline in T-leaves of combination of grafted seedlings was notably higher than that of T/T. All the results above indicate that both root and shoot of Hiranasu can enhance cold resistance of Daidaro in grafting experiment. Although TC/C had more resistance than TC/TC and TC/T which is the most sensitive to cold, all three of them were in the shade compared to C/C. So it can be concluded that both root and shoot of Daidaro had a negative effect on cold resistance of scion Hiranasu. 【Conclusion】 TC/C was more cold resistance than TC/T, so root had more contribution than shoot to cold resistance of grafted seedlings.

Key words: eggplant; rootstock; combination of grafted seedling; low temperature stress; cold resistance

0 引言

【研究意义】近年来，关于嫁接栽培效果的研究报道较多，但多集中在砧木对接穗的改良作用方面[1-3]，关于接穗对嫁接苗的影响报道较少。由于嫁接苗是由砧木及接穗组合而成的有机整体，其间始终保

收稿日期：2008-11-12；接受日期：2009-06-26
基金项目：山东省自然科学基金资助项目（Y2005D09）
作者简介：张晓艳（1983－），女，山东寿光人，硕士研究生，研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail：superus@sdau.edu.cn。通信作者徐 坤（1964－），男，山东安丘人，教授，研究方向为蔬菜栽培生理及遗传育种。E-mail：xukun@sdau.edu.cn

持着物质的相互交换，砧穗之间势必相互影响。因此，研究砧、穗互作及其对嫁接苗的影响，对于合理选用砧、穗品种改良嫁接苗有重要指导作用。【前人研究进展】李红丽等[4]研究表明，利用抗性砧木进行嫁接，可增强黄瓜嫁接苗根系吸收能力，并提高黄瓜对铜的耐受性[5]。Edelstein 等[6]在甜瓜上的研究表明，抗性砧木嫁接苗的抗旱性及耐盐性显著增强，Ruiz 等[7]在烟草上也得出相似的结论。前人研究还表明，利用抗性砧木嫁接还可显著提高茄子嫁接苗的抗病性[8-9]，以及茄子[10-11]、黄瓜[12]、西瓜[13]等嫁接苗的耐低温能力。不仅砧木对嫁接苗产生显著影响，接穗也可显著影响嫁接苗的生理特性。Dua[14]研究表明，鹰嘴豆接穗对盐胁迫的抗性强弱显著影响嫁接苗的抗性；大豆的耐旱性可以由砧木或接穗提供[15]；Cruz 等[16]研究发现，番茄嫁接苗对盐胁迫的响应取决于接穗的基因型。可见，嫁接苗的抗逆性与砧木、接穗均密切相关。【本研究切入点】茄子是中国北方日光温室栽培的主要蔬菜之一，关于茄子砧木对嫁接苗的影响进行了较多的研究[8-11,17-18]，但关于砧穗互作对茄子嫁接苗在低温弱光条件下的反应未见报道。为此，本试验以抗冷性显著不同的 2 个茄子砧木为试材，研究互为砧穗组合嫁接苗对低温胁迫的响应，对于揭示砧木及接穗在嫁接苗抗冷性中的作用有较大理论意义。【拟解决的关键问题】本研究通过测定不同砧穗组合嫁接苗在低温弱光条件下叶片细胞膜透性及渗透调节物质含量的变化，确定根系及接穗在增强嫁接苗抗冷性中的作用及其大小，为低温季节合理选用砧穗品种进行茄子嫁接栽培提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验处理

本试验于 2007 年在山东农业大学园艺实验站进行。供试品种分别为耐寒品种‘赤茄’（C）和不耐寒品种‘台茄’（T）[18]，二者种子发芽势及幼苗生长特性基本一致[19]。种子催芽后播种于 50 孔穴盘内，出苗后浇 Hoagland’s 营养液，幼苗长至 5 叶 1 心时采用靠接法嫁接，嫁接苗管理按常规方法进行。

嫁接苗成活后进行断根或断接穗处理，根据保留根系及接穗不同设 5 个处理：保留双根双穗（TC/TC）、仅断台茄根(TC/C)、仅断赤茄根（TC/T）、断台茄根穗（C/C）、断赤茄根穗（T/T）。断根或断穗处理后，嫁接苗继续培养，待接穗长出 3 片新叶后，移入光强 60 μmol·m^{-2}·s^{-1}、光周期 12 h/12 h 光照培养箱内，先在昼/夜温度为 15 ℃/10 ℃条件下预处理 2 d，再置于昼/夜温度为 10 ℃/2 ℃下进行低温胁迫处理，处理 7 d 后在昼/夜温度为 25 ℃/15 ℃下恢复 2 d。

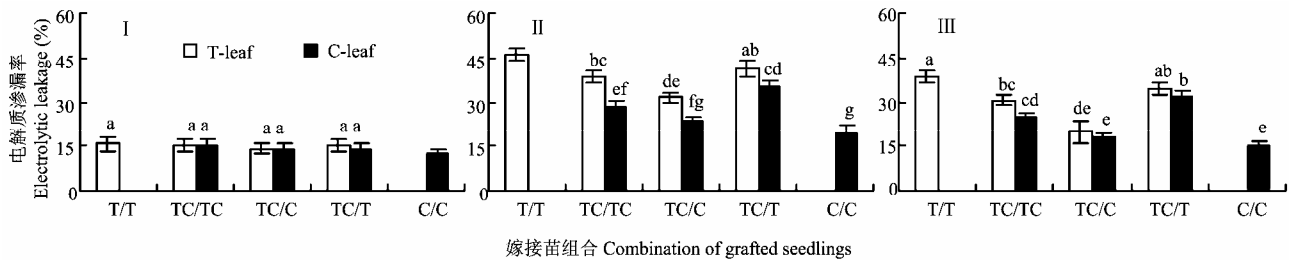
1.2　测定方法

分别在低温胁迫前、低温胁迫 7 d 及常温恢复 2 d 时取样，每次每处理随机取 5 株，重复 3 次，选取幼苗接穗上数第 2～3 片展开叶片混合后，进行相关指标测定。叶片相对电导率、脯氨酸及丙二醛（MDA）含量采用赵世杰等[20-21]的方法测定，可溶性糖采用蒽酮法测定[22]，可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定[23]。试验中全部光密度值均以日本岛津 UV-160 紫外分光光度计测定，试验数据采用 Excel 及 DPS 软件进行统计处理。

2　结果与分析

2.1　低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片电解质渗透率的影响

图 1 表明，不同处理茄子嫁接苗低温胁迫前，两个品种叶片电解质渗透率无显著差异。低温胁迫 7 d



T-台茄；C-赤茄。Ⅰ：低温胁迫前；Ⅱ：低温胁迫 7 d；Ⅲ：常温恢复 2 d。下同
T-Daidaro; C-Hiranasu. Ⅰ: Low temperature stress ago; Ⅱ: Low temperature stress for 7 d; Ⅲ: Normal temperature recovery for 2 d. The same as below

图 1　低温（10℃/2℃）胁迫及常温（25℃/15℃）恢复对不同处理嫁接苗叶片电解质渗透率的影响

Fig. 1　Effect of low temperature (10℃/2℃) stress and normal temperature (25℃/15℃) recovery on lectrolytic leakage in leaves of the grafted eggplant seedlings

时，各处理叶片电解质渗透率均上升，但不同处理升幅显著不同，TC/T、TC/TC 及 TC/C 中台茄叶片的电解质渗漏率分别比胁迫前增加了 172.85%、154.61%和 122.70%，赤茄叶片分别增加了 153.24%、83.01%和 71.85%，而 T/T、C/C 叶片则分别增加了 196.15%和 61.98%；即使同株嫁接苗，不同品种接穗叶片的电解质渗漏率也存在显著差异，TC/TC、TC/C、TC/T 嫁接苗中台茄叶片的的电解质渗透率分别比赤茄高 38.21%、35.34%和 17.05%，但比 T/T 分别低 16.23%、32.04%和 10.82%。常温恢复 2 d 后，T/T、TC/TC、TC/C、TC/T 的台茄叶片电解质渗漏率分别比恢复前降低了 16.88%、20.93%、37.26%和 15.78%，但仍分别比低温胁迫前高 146.15%、101.32%、39.72%和 129.80%；赤茄叶片也有相似的规律。

2.2 低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片 MDA 含量的影响

不同处理嫁接苗叶片 MDA 含量的变化与电解质渗漏率的变化规律基本一致（图 2），低温胁迫可导致叶片 MDA 含量大幅增加，但台茄叶片的 MDA 含量以 T/T 较高，达 11 nmol·g^{-1}FW，TC/T、TC/TC、TC/C 依次降低，分别为 9.9、8.6 和 6.5 nmol·g^{-1}FW；赤茄叶片 MDA 含量以 TC/T 较高，TC/TC 次之，TC/C 及 C/C 较低；同一嫁接苗组合中，赤茄叶片的 MDA 含量低于台茄的。常温恢复 2 d 后，各处理叶片 MDA 含量均显著降低，其变化趋势与电解质渗透率变化趋势基本一致。这表明根系及接穗的抗冷性均与嫁接苗的抗冷性成正相关。

2.3 低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片可溶性糖含量的影响

图 3 显示，不同处理叶片可溶性糖在低温胁迫前即存在显著差异，以赤茄显著高于台茄，尤其 C/C 较 T/T 高 292.90%；但 TC/TC、TC/C 及 TC/T 嫁接组合中，两品种叶片可溶性糖无显著差异。低温胁迫 7 d 时，各处理叶片可溶性糖含量均增加，但以具赤茄根系的嫁接苗增幅较大，如 TC/C 中赤茄、台茄叶片可溶性糖分别较胁迫前增加 197.25%和 189.77%，而 TC/T

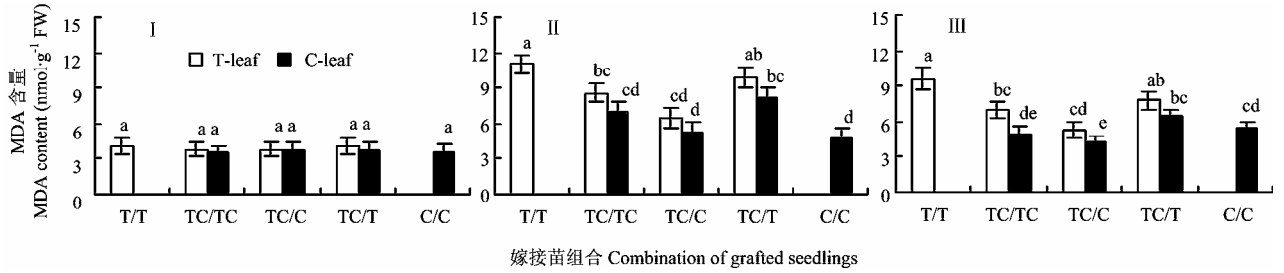


图 2 低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effect of low temperature stress and normal temperature recovery on MDA content in leaves of the grafted eggplant seedlings

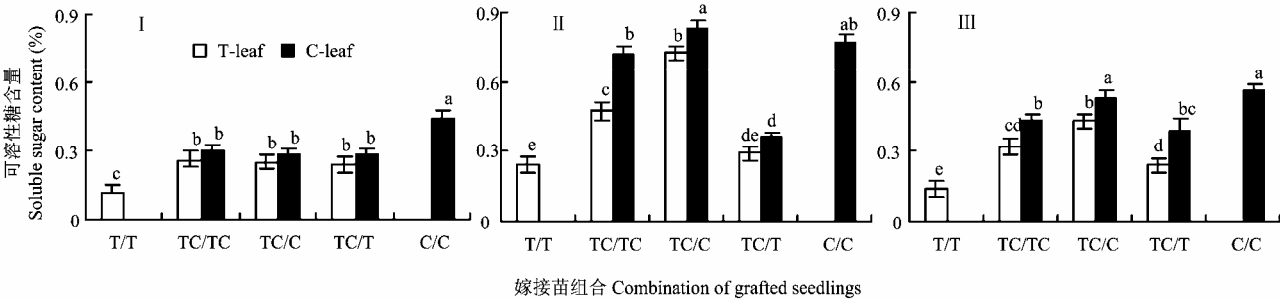


图 3 低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effect of low temperature stress and nomal temperature recovery on soluble sugar content in leaves of the grafted eggplant seedlings

中赤茄、台茄叶片仅分别增加了 28.60%和 21.40%。叶片可溶性糖增加，可增加细胞渗透势，提高植物的抗冷性[24]。因此，不同处理嫁接苗叶片可溶性糖的变化特点，表明根系在低温胁迫中的作用显著大于接穗，且抗冷性较弱的台茄根系对嫁接苗抗冷性产生了负效应。常温恢复 2 d 后，各处理叶片可溶性糖含量均下降，但仍高于胁迫前水平。

2.4　低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

低温胁迫前，各处理叶片可溶性蛋白质含量无显著差异（图 4）。低温胁迫 7 d 时，叶片可溶性蛋白质均显著增加，但以 C/C 增幅较大，T/T 增幅较小，C/C 较 T/T 高 113.89%。TC/TC、TC/C、TC/T 嫁接组合中台茄叶片的可溶性蛋白质含量分别比 T/T 高 47.22%、77.78%和 18.06%，但赤茄叶片可溶性蛋白质含量则分别比 C/C 低 24.03%、10.39%和 35.71%；组合嫁接苗无论是台茄还是赤茄，其叶片可溶性蛋白质含量均以 TC/C 较高，TC/T 较低，TC/C 居中。常温恢复 2 d 后，各处理叶片可溶性蛋白质含量均降低，但处理间仍有显著差异，且变化规律与胁迫 7 d 时相似。

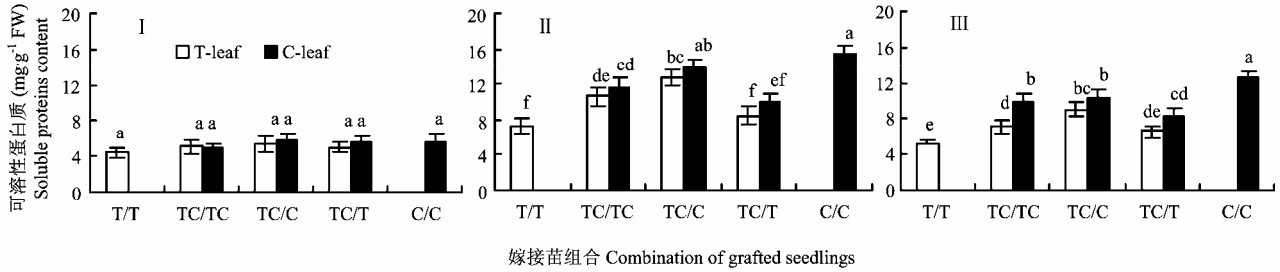


图 4　低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 4　Effect of low temperature stress and normal temperature recovery on soluble proteins content in leaves of the grafted eggplant seedlings

2.5　低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片脯氨酸含量的影响

脯氨酸在植物逆境胁迫中具有重要作用，胁迫过程往往伴随着脯氨酸含量的增加，其含量高低与抗性密切相关[25-26]。如图 5 所示，胁迫前各处理叶片脯氨酸含量无显著差异，低温胁迫 7 d 时，脯氨酸含量显著增加，TC/TC、TC/C、TC/T 中台茄叶片的脯氨酸含量分别比 T/T 高 43.56%、106.30%和 26.61%；但分别比同株的赤茄叶片低 38.13%、13.67%和 24.24%。常温恢复 2 d 后，各处理叶片脯氨酸含量均显著降低，但基本趋势与胁迫 7 d 时一致。

3　讨论

植物受到低温胁迫时，细胞膜透性受损，电解质外渗，造成电解质渗透率增加，因此，电解质渗漏率的大小，可反映植物受低温损伤的程度[27]。本试验结

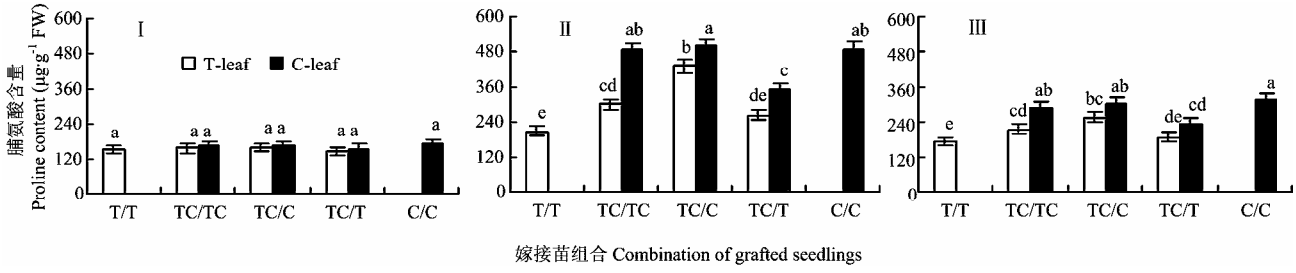


图 5　低温胁迫及常温恢复对不同处理嫁接苗叶片脯氨酸含量的影响

Fig. 5　Effect of low temperature stress and normal temperature recovery on proline content in leaves of the grafted eggplant seedlings

果表明，低温胁迫下，各处理茄子嫁接苗叶片电解质渗漏率均呈上升趋势，TC/TC、TC/C、TC/T 组合中台茄叶片的电解质渗透率虽显著低于 T/T，但均显著高于同株的赤茄叶片，表明不仅抗冷性较强的砧木可提高嫁接苗的抗冷性[28]，同时抗冷性较强的接穗也有利于提高嫁接苗的抗冷性。TC/TC 中台茄和赤茄叶片的电解质渗漏率均高于 TC/C，表明抗冷性较弱的台茄根系，可能对嫁接苗的抗冷性产生了负作用；而 TC/C 赤茄叶片的电解质渗漏率较 C/C 高，说明抗冷性较弱的台茄接穗，也对嫁接苗的抗冷性产生了负作用。MDA 是膜质过氧化作用的主要产物，其含量的多少可表示植物细胞膜受伤害程度的大小[24]。本试验不同处理嫁接苗叶片 MDA 含量的变化规律与叶片电解质渗漏率相似。

植物在遭受逆境胁迫时，自身会产生渗透调节物质来适应逆境，渗透调物质含量的高低及变化的快慢均可反映植物对逆境的适应能力[10]。植物体内积累的渗透调节物质主要有两大类：一是进入细胞内的无机离子；二是细胞内合成的有机溶质，主要是多元醇和含氮化合物[28]，其中 K^+、脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质等是植物体内主要的渗透调节物质[29]。叶片可溶性糖增加，可增加细胞渗透势，提高植物的抗冷性[20]。可溶性蛋白质含量与植物的抗冷性也呈正相关[30]。脯氨酸的积累与自由基的非酶促清除有一定相关性[31]，因此，脯氨酸的积累有明显的抗氧化作用[32]。本试验低温胁迫下，TC/TC、TC/C、TC/T 嫁接组合中台茄叶片的可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量较 T/T 显著升高，表明抗冷性较强的赤茄无论根系还是叶片，均对嫁接苗台茄接穗抗冷性具有正向效应；但由于赤茄叶片的可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量均显著低于 C/C，表明抗冷性较弱的台茄无论根系还是叶片，均对嫁接苗赤茄接穗抗冷性具有负向效应。由于 TC/C 的抗冷性显著高于 TC/T，表明嫁接苗抗冷性以根系的贡献大于接穗，这与前人在番茄[33]及甜瓜[34]上的研究结果一致。虽然 TC/TC 具有双根系，吸收能力强于 TC/C 及 TC/T，但其抗冷性虽强于 TC/T 而不及 TC/C，表明吸收能力的大小不是影响嫁接苗抗冷性的根本原因，而极有可能 TC/TC 中的台茄根系在低温胁迫过程中产生了不耐低温的信号，削弱了赤茄诱导的抗冷性。至于根系在低温胁迫条件下产生何种信号物质导致嫁接苗抗冷性降低，尚需进一步研究。

4 结论

低温弱光条件下，TC/TC、TC/C、TC/T 嫁接苗组合中台茄叶片的电解质渗透率及 MDA 含量均显著高于同株的赤茄叶片，但显著低于 T/T，而其可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸含量虽较 T/T 显著升高，但显著低于同株的赤茄叶片，表明抗冷性较强的砧木及接穗均有利于增强嫁接苗的抗冷性。但由于 TC/C、TC/TC 及 TC/T 的抗冷性依次降低，且均显著低于 C/C，表明嫁接苗抗冷性以根系的贡献大于接穗。

References

[1] Nisini P T, Colla G, Granati E, Temperini O, Crino P, Saccardo F. Rootstock resistance to fusarium wilt and effect on fruit yield and quality of two muskmelon cultivars. *Scientia Horticulturae*, 2002, 93(3/4): 281-288.

[2] 樊怀福, 郭世荣, 张润花, 栗娜娜, 崔聪聪, 杜长霞. 嫁接对低氧胁迫下黄瓜生长和生理代谢的影响. 园艺学报, 2006, 33(6): 1225-1230.
Fan H F, Guo S R, Zhang R H, Li N N, Cui C C, Du C X. Effects of grafting on growth and physiological metabolism in cucumber seedlings under hypoxia stress. *Acta Horticulture Sinica*, 2006, 33(6): 1225-1230. (in Chinese)

[3] López-Gómez E, San Juan M A, Diaz-Vivancos P, Mataix Benetyto J, Garcia-Legaz M F, Hernandez J A. Effect of rootstocks grafting and boron on the antioxidant systems and salinity tolerance of loquat plants (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 60(2): 151-158.

[4] 李红丽, 王明林, 于贤昌, 王华森, 高俊杰, 于 超. 不同接穗/砧木组合对日光温室黄瓜果实品质的影响. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1611-1616.
Li H L, Wang M L, Yu X C, Wang H S, Gao J J, Yu C. Effect of different scions/rootstocks on quality of cucumber fruits in greenhouse. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(8): 1611-1616. (in Chinese)

[5] Rouphael Y, Cardarelli M, Rea E, Colla G. Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 63(1-3): 49-58.

[6] Edelstein M, Ben-Hur M, Cohen R, Burger Y, Ravina I. Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. *Plant and Soil*, 2005, 269: 273-2784.

[7] Ruiz J M, Rios J J, Rosales M A, Rosales, Rivero R M, Romero L. Grafting between tobacco plants to enhance salinity tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 2006, 163(12): 1229-1237.

[8] 高梅秀, 李树和, 刘玉芹, 孙世海, 赵仁顺, 汴凤梅, 闫秀凤. 不同砧木对茄子抗病性生理活性及产量的影响. 园艺学报, 2001, 58(5):

463-465.

Gao M X, Li S H, Liu Y Q, Sun S H, Zhao R S, Bian F M, Yan X F. Effect of different stocks on resistance, physical activity and output of eggplant. *Acta Horticulture Sinica*, 2001, 58(5): 463-465. (in Chinese)

[9] 冯东昕, 李宝栋, 王 英. 嫁接对茄子黄萎病的抗性及某些生物学性状的影响. 中国蔬菜, 2000, (4): 13-15.

Feng D X, Li B D, Wang Y. Effects of grafting on the resistance to *Verticillium* wilt and on the biological characteristics of eggplant. *China Vegetables*, 2000, (4): 13-15. (in Chinese)

[10] 高青海, 吴 燕, 徐 坤, 高辉远. 茄子嫁接苗根系对低温环境胁迫的响应. 应用生态学报, 2006, 17(3): 390-394.

Gao Q H, Wu Y, Xu K, Gao H Y. Response of grafted eggplant seedling roots to low temperature stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(3): 390-394. (in Chinese)

[11] 乜兰春, 陈贵林, 高洪波. 茄子抗冷砧木的筛选和嫁接苗抗冷性研究. 中国蔬菜, 2004, (1): 4-6.

Nie L C, Chen G L, Gao H B. Study on the chilling tolerance of rootstocks and grafting seedlings of eggplant. *China Vegetables*, 2004, (1): 4-6. (in Chinese)

[12] 季俊杰, 朱月林, 胡春梅, 杨立飞, 皇 娟. 云南黑籽南瓜砧木对低温下嫁接黄瓜生理特性的影响. 植物资源与环境学报, 2007, 16(2): 48-52.

Ji J J, Zhu Y L, Hu C M, Yang L F, Huang J. Effect of figleaf gourd as stock on physiological characteristics of grafted cucumber under low temperature. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2007, 16(2): 48-52. (in Chinese)

[13] 刘慧英, 朱祝军, 吕国华. 低温胁迫对嫁接西瓜耐冷性和活性氧清除系统的影响. 应用生态学报, 2004, 15(4): 659-662.

Liu H Y, Zhu Z J, Lü G H. Effect of low temperature stress on chilling tolerance and protective system against active oxygen of grafted watermelon. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 659-662. (in Chinese)

[14] Dua R P. Grafting technique in gram (*Cier arietinum*) to ascertain control of root and shoot for salinity tolerance. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 1997, 67: 212-214.

[15] Serraj R, Sinclair T R. Processes contributing to N2-fixation insensitivity to drought in the soybean cultivar Jackson. *Crop Science*, 1996, 36: 961-968.

[16] Cruz A S, Martinez-Rodriguez M M, Alfocea F P, Aranda R R, Bolarin M C. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Science*, 2002, 162(5): 825-831.

[17] 尹玉玲, 周宝利, 李云鹏, 付亚文. 嫁接对茄子根际土壤微生物种群的化感效应. 园艺学报, 2008, 35(8): 1131-1136.

Yin Y L, Zhou B L, Li Y P, Fu Y W. Allelopathic effects of grafting on rhizosphere micro-organisms population of eggplants. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35(8): 1131-1136. (in Chinese)

[18] 高青海, 徐 坤, 高辉远, 吴 燕. 不同茄子砧木幼苗抗冷性的筛选. 中国农业科学, 2005, 38(5): 1005-1010.

Gao Q H, Xu K, Gao H Y, Wu Y. Screening on chilling tolerance of different eggplant rootstock seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 1005-1010. (in Chinese)

[19] 徐小明, 徐 坤, 于 芹. 不同茄子砧木幼苗生长特性比较, 山东农业科学, 2007, (5): 45-50.

Xu X M, Xu K, Yu Q. Comparison of seedling growth characteristics of different eggplant rootstocks. *Shandong Agricultural Sciences*, 2007, (5): 45-50. (in Chinese)

[20] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物实验生理指导. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 130-131.

Zhao S J, Shi G A, Dong X C. *Guide to Physiologic Experiment of Plant*. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press, 2002: 130-131. (in Chinese)

[21] 赵世杰, 邹 琦. 植物组织 MDA 测定方法. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.

Zhao S J, Zou Q. The mend of menstruated MDA in plant tissue. *Plant Physiology Communications*, 1994, 30(3): 207-210. (in Chinese)

[22] 李合生, 孙 群, 赵世杰. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-194.

Li H S, Sun Q, Zhao S J. *Principle and Technology of Plant Physiological Biochemical Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 164-194. (in Chinese)

[23] 邹 琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1995: 45-46.

Zou Q. *Guide Book of Plant Physiology and Biochemistry Experiment*. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 45-46. (in Chinese)

[24] 魏 珉, 刑禹贤, 于贤昌, 于仁竹, 王花亭. CO_2施肥对黄瓜幼苗抗冷性及后期生育的作用. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(2): 157-161.

Wei M, Xing Y X, Yu X C, Yu R Z, Wang H T. Effects of CO_2 Enrichment at seedling stage of cucumber on chilling tolerance of seedlings and its growth and development at later stages. *Journal of Shandong Agricultural University*: *Natural Science Edition*, 2001, 32(2): 157-161. (in Chinese)

[25] 姚明华, 徐跃进, 李晓丽, 袁 黎. 茄子耐冷性生理生化指标的研究. 园艺学报, 2001, 28(6): 527-531.

Yao M H, Xu Y J, Li X L, Yuan L. Studies on biochemical and physiological indices of chilling tolerance in eggplant. *Acta*

Horticulture Sinica, 2001, 28(6): 527-531. (in Chinese)

[26] Vendruscolo E C G, Schuster I, Pileggi M, Scapim C A, Molinari H B C, Marur J, Vieira L G E. Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164(10): 1367-1376.

[27] 苏 华, 徐 坤, 刘 伟, 徐立功. 不同大葱品种耐寒性鉴定与越冬栽培效果. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1889-1893.
Su H, Xu K, Liu W, Xu L G. Cold tolerance and wintering cultivation effect of different Welsh onion varieties. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1889-1893. (in Chinese)

[28] 王 娟, 李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢. 植物学通报, 2001, 18(4): 459-465.
Wang J, Li D Q. The accumulation of plant osmoticum and activated oxygen metabolism under stress. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(4): 459-465. (in Chinese)

[29] 贺志理, 李锦树. 渗透胁迫对高粱根中 K^+累积的刺激作用. 植物生理学报, 1993, 19(4): 379-386.
He Z L, Li J S. Stimulative effect of osmotic stree on K^+ accumulation in sorghum roots. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1993, 19(4): 379-386. (in Chinese)

[30] 高青海, 徐 坤, 吴 燕, 冯立国. 茄子砧木品种对低温胁迫的反应. 中国蔬菜, 2005, (9): 12-15.
Gao Q H, Xu K, Wu Y, Feng L G. The response of eggplant stock seedlings under low temperature stress. *China Vegetables*, 2005, (9): 12-15. (in Chinese)

[31] Alia, Prasad K V S K, Saradhi P P. Effect of zinc on free radicals and proline in *Brassica* and *Cajanus*. *Phytochemistry*, 1995, 39: 45-47.

[32] 蒋明义. 水分胁迫下植物体内·OH的产生与细胞的氧化损伤. 植物学报, 1999, 41(3): 229-234.
Jiang M Y. Generation of hydroxyl radicals and its relation to cellular oxidative damage in plants subjected towater stress. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(3): 229-234. (in Chinese)

[33] Venema J H, Dijk B E, Bax J M, Hasselt P R, Elzenga J T M. Grafting tomato(*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 63(1-3): 359-367.

[34] Romero L, Belakbir A, Ragala L, Ruiz J. Response of plant yield and leaf pigments to saline conditions: Effectiveness of different rootstocks in melon plants (*Cucumis melo* L.), *Soil Science and Plant Nutrition*, 1997, 43(4): 855-862.

（责任编辑 曲来娥）