不同砧木对西瓜嫁接苗耐寒性的影响*

孙 胜 田永生 冷丹丹 王 宇 邢国明**
(山西农业大学园艺学院,山西太谷 030801)

摘 要 以西瓜(*Citrullus vulgarris*)郑抗1号为接穗,日本南瓜(*C. moschata*)、黑籽南瓜(*C. ficifolia*)、葫芦(*Lagenaria siceraia*)为砧木,研究了嫁接苗和自根苗在(7.5±0.5)℃低温胁迫下叶片相关耐寒性指标的变化。结果表明:低温处理后嫁接苗丙二醛(MDA)含量、电解质渗透率显著低于自根苗;叶绿素、脯氨酸(Pro)、可溶性糖含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性显著高于自根苗。与处理前相比,12 d时日本南瓜砧、黑籽南瓜砧和葫芦砧嫁接苗叶绿素含量分别降低了30.48%、28.48%和52.69%;葫芦砧嫁接苗MDA含量6 d时较处理前增加了313.16%;3~12 d日本南瓜砧和黑籽南瓜砧嫁接苗电解质渗透率显著低于葫芦砧嫁接苗;低温处理期间,日本南瓜砧嫁接苗可溶性糖含量分别比黑籽南瓜砧和葫芦砧嫁接苗高出24.71%和31.17%,SOD、POD、CAT酶活性高于另外2个组合。综合各项指标显示:3种砧木均能提高接穗对低温的忍耐能力,其顺序为日本南瓜砧>黑籽南瓜砧>葫芦砧。

关键词 低温胁迫;西瓜;嫁接;砧木;耐寒性
中图分类号 S561 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)08-1561-06

Effects of different rootstocks on chilling-tolerance of grafted watermelon seedlings. SUN Sheng, TIAN Yong-sheng, LENG Dan-dan, WANG Yu, XING Guo-ming (*College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu* 030801, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(8): 1561-1566.

Abstract: With the watermelon (*Citrullus vulgarris*) Zhengkang No. 1 as the scion and *C. moschata*, *C. ficifolia*, and *Lagenaria siceraia* as the rootstocks, this paper studied the chilling-tolerance of grafted and self-rooted watermelon seedlings under (7.5±0.5) ℃ stress. Under this low temperature stress, the malondialdehyde (MDA) content and electrolyte effusive rate of grafted watermelon seedlings were significantly lower, while their chlorophyll, proline (Pro) and soluble sugar contents and superoxid dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities were significantly higher, compared with those of self-rooted watermelon seedlings. On the twelfth day after low temperature treatment, the total chlorophyll content in the leaves of *C. moschata*-Zhengkang No. 1, *C. ficifolia*-Zhengkang No. 1, and *L. siceraia*-Zhengkang No. 1 decreased by 30.48%, 28.48% and 52.69%, respectively. The MDA content of *L. siceraia*-Zhengkang No. 1 changed obviously, with an increase of 313.16% from 0 to 6 days, and the relative electrolyte effusive rate was significantly higher than that of the other two grafted groups. Under the low temperature treatment, the soluble sugar content of *C. moschata*-Zhengkang No. 1 was 24.71% and 31.17% higher than that of *C. ficifolia*-Zhengkang No. 1 and *L. siceraia*-Zhengkang No. 1, respectively, and the SOD, POD and CAT activities of *C. moschata*-Zhengkang No. 1 were significantly higher than those of the two latter grafted groups. The survival rate of *C. moschata*-Zhengkang No. 1, *C. ficifolia*-Zhengkang No. 1, *L. siceraia*-Zhengkang No. 1, and Zhengkang No. 1 was 84.29%, 79.24%, 65.59%, and 45.12%, respectively. It was suggested that the chilling-tolerance of watermelon seedlings could be improved via grafting with suitable rootstocks. *C. moschata*-Zhengkang No. 1 had the best chilling-tolerance, followed by *C. ficifolia*-Zhengkang No. 1, and *L. siceraia*-Zhengkang No. 1.

Key words: low temperature stress; watermelon; grafting; rootstock; chilling-tolerance.

* 山西省教育厅科技项目(2006002)和山西农业大学青年科技创新基金资助项目(2004088)。
** 通讯作者 E-mail: xinggm@sxau.edu.cn
收稿日期:2008-12-09 接受日期:2009-04-23

低温胁迫对植物生长的影响受到较多学者的关注。李太贵和王磊(1996)研究了低温下水稻幼苗形态生理应变;李太贵等(1999)用动力学模拟的办法对水稻抗冷性进行了研究;樊江文和 Fenner (2003)发现不实雀麦(*Bromus sterilis*)等3种植物的种子经低温处理后,促进了其开花;郭玉华等(2005)的研究表明夜间低温对2种咖啡光合机构均产生了明显的破坏。低温胁迫导致植物细胞膜渗透性、叶绿素、脯氨酸和可溶性蛋白质含量以及活性氧清除酶系统等生理生化指标发生改变。

西瓜(*Citrullus vulgarris*)属于葫芦科,西瓜属,原产于非洲。喜温耐热,不能耐低温。关于瓜类嫁接苗耐寒性的研究,于贤昌等(1998)、李志英等(1998)认为黑籽南瓜砧可显著提高黄瓜苗的抗寒能力。而西瓜嫁接的研究主要集中于嫁接砧木选择(凌志杰等,1996)、嫁接方法(顿宝祥和马红,1990)、抗病性和营养生理(吉加兵,1993)等方面,关于嫁接西瓜苗对低温胁迫下耐寒性的研究却鲜有报道(刘慧英等,2004;段会军等,2007)。近年来,随着我国农业产业的调整和优化,冬春保护地西瓜嫁接栽培面积逐年增加,低温冷害却常常影响了西瓜的正常生产,因而开展西瓜耐寒品种筛选以及优良嫁接砧木选择的研究就显得尤为必要。

目前,山东、上海、浙江、江苏、安徽等省市西瓜嫁接栽培所用的砧木多为葫芦;河北、山西、北京等省市西瓜嫁接栽培所用的砧木多为日本南瓜;而在西北地区则多选用黑籽南瓜作砧木。因而开展针对这三种砧木嫁接西瓜苗耐寒性的研究,揭示出其耐寒的生理机制,对于指导我国冬春保护地嫁接西瓜栽培具有重要意义,也为耐寒性强的嫁接砧木的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

西瓜接穗品种为"郑抗1号",西瓜嫁接砧木材料为"日本南瓜、黑籽南瓜、葫芦"。试验材料从山西农业大学农场种苗公司购得。

1.2 研究方法

试验分别于2007、2008年4月22日—6月3日在山西农业大学园艺站及园艺学院基础实验室进行。

4月22日浸种接穗种子,催芽后于24日播种于育苗床营养钵中;4月26日浸种砧木种子,催芽后于29日播种于育苗床营养钵中。5月3号当砧木、接穗子叶展平时采用劈接法进行嫁接。嫁接后管理同常规。试验设3个嫁接组合(日本南瓜-郑抗1号、黑籽南瓜-郑抗1号、葫芦-郑抗1号),1个对照(郑抗1号自根苗),共4个处理,每个处理30株,3次重复。5月22日当幼苗长至三叶一心时,将其移入新型SPX-300IC微电脑人工气候培养箱中进行处理(光照强度为180 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,光周期12 h/12 h,昼/夜温度为(25 ± 0.5)℃/(7.5 ± 0.5)℃)。样品采集分别于处理0、3、6、9、12 d上午进行,取幼苗第2和第3真叶进行各项指标的测定,3次重复。

电解质渗透率利用Cond720台式电导率测定仪(德国公司Inolab)测定;丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法(赵世杰等,1998)测定;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性采用Cakmak & Marschner (1992)的方法测定;脯氨酸(Pro)含量采用酸性茚三酮法(张志良,1990)测定;叶绿素、可溶性糖含量分别用分光光度法、蒽酮比色法(朱广廉,1990)测定。

1.3 数据处理

试验数据利用Microsoft Excel软件进行分析和作图,用SAS软件系统进行ANOVA方差分析并用Duncan新复极差法对平均数进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同砧木西瓜嫁接苗叶绿素含量变化的影响

如图1所示,0 d日本南瓜-郑抗1号、黑籽南瓜-郑抗1号、葫芦-郑抗1号叶绿素含量分别比自根苗高出0.2828、0.1448和0.5280 $mg \cdot g^{-1}$。在低温胁迫处理过程中,随着时间延长所有处理叶绿素含

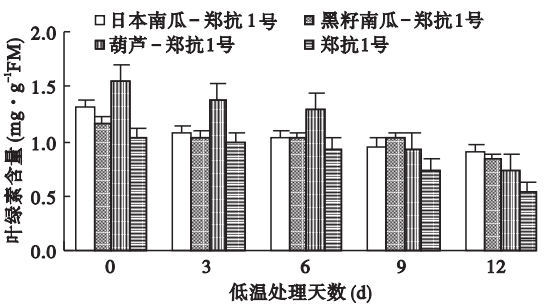


图1 不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different rootstocks on chlorophyll content in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

量均呈下降趋势，与处理前相比 12 d 时自根苗叶绿素含量下降了 48.71%，日本南瓜砧、黑籽南瓜砧、葫芦砧嫁接苗叶绿素含量分别降低了 30.48%、28.48%、52.69%，葫芦砧嫁接苗降幅最大。经方差分析，0 ~ 12 d 嫁接苗叶绿素含量始终显著（$P < 0.05$）高于自根苗对照。

2.2　不同砧木对西瓜嫁接苗丙二醛（MDA）含量及电解质渗透率变化的影响

在低温胁迫处理前期，各处理叶片中丙二醛（MDA）含量均呈现出快速增长的变化趋势（图 2），嫁接组合均在处理 6 d 时出现最大值，而对照则在 9 d 时出现最大值，之后均出现了不同程度的降低。自根苗 MDA 含量始终显著（$P < 0.05$）高于嫁接苗，说明低温胁迫下其脂膜过氧化的程度高于嫁接苗。在整个处理过程中，葫芦砧嫁接苗 MDA 含量变化最剧烈，而另外 2 个嫁接苗组合 MDA 含量变化趋势相似且变化幅度较小。

低温处理后嫁接苗和自根苗的电解质渗透率变化均呈上升趋势（图3），且后者始终高于前者。

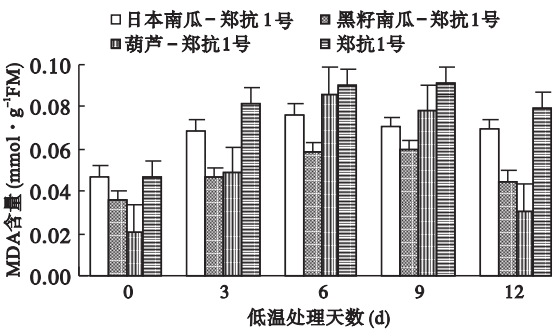


图 2　不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下叶片丙二醛含量的影响

Fig. 2　Effects of different rootstocks on MDA content in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

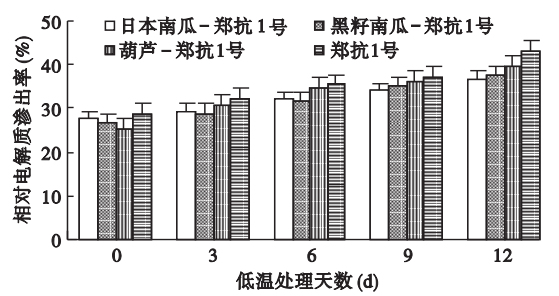


图 3　不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下相对电解质渗出率的影响

Fig. 3　Effects of different rootstocks on relative electrolyte effusive rate in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

0 d 时，自根苗比日本南瓜-郑抗 1 号、黑籽南瓜-郑抗 1 号和葫芦-郑抗 1 号分别高出 1.30%、0.22% 和 3.54%；至处理 12 d 时，又分别高出 4.33%、6.57% 和 1.60%。由此可见，低温胁迫导致西瓜幼苗细胞膜受损，透性增大，并且自根苗细胞膜受损程度大于嫁接苗。低温处理 3 d 后，日本南瓜砧和黑籽南瓜砧嫁接苗电解质渗透率增加幅度较小，且显著（$P < 0.05$）低于葫芦砧嫁接苗。

2.3　不同砧木对西瓜嫁接苗超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）保护酶活性变化的影响

由图 4 可知，0 ~ 3 d 时所有处理叶片中 SOD 酶活性均大幅升高，但随着处理时间的延长，自根苗 SOD 活性迅速下降且显著（$P < 0.05$）低于嫁接苗；处理 12 d 与 3 d 比较，嫁接苗叶片中 SOD 酶活性仅下降 4.50% ~ 6.40%，而郑抗 1 号的则下降了 51.33%。低温处理 9 d 后，日本南瓜砧和黑籽南瓜砧嫁接苗 SOD 酶活性均显著高（$P < 0.05$）于葫芦砧嫁接苗。

自根苗处理 0 ~ 6 d POD 酶活性呈缓慢降低趋势，而后变化趋于平缓（图 5）。从第 6 天开始，嫁接

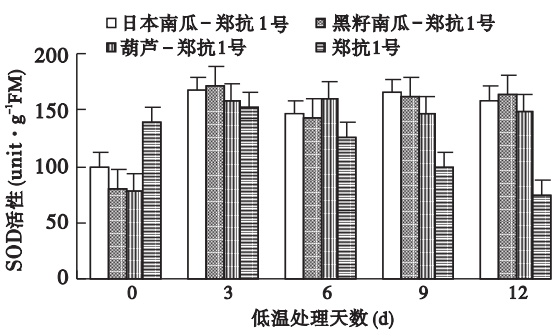


图 4　不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下 SOD 活性的影响

Fig. 4　Effects of different rootstocks on SOD activity in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

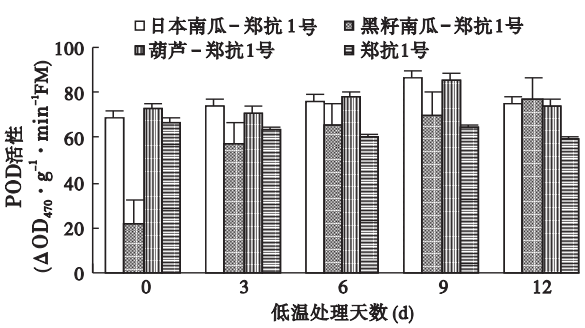


图 5　不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下 POD 活性的影响

Fig. 5　Effects of different rootstocks on POD activity in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

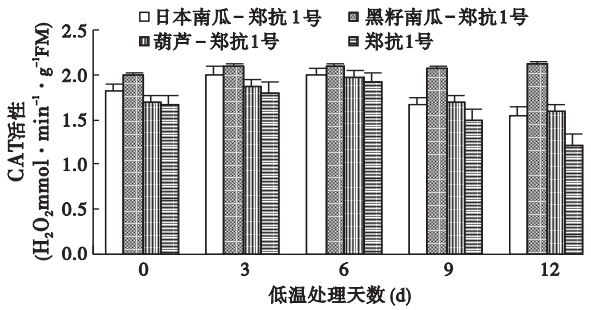


图6 不同砧木对西瓜嫁接苗低温胁迫下CAT活性的影响
Fig. 6 Effects of different rootstocks on CAT activity in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

苗POD活性显著($P<0.05$)高于自根苗。黑籽南瓜砧嫁接苗POD活性在处理前最低,处理后急剧增强,处理12 d较0 d增加了2.47倍。日本南瓜砧嫁接苗和葫芦砧嫁接苗POD活性均在处理9 d时达到最高,分别比自根苗高出35.59%和33.90%,差异达到极显著水平($P<0.01$),且二者变化趋势相似。

自根苗CAT酶活性在整个低温胁迫处理过程中始终低于嫁接苗(图6),说明其解除H_2O_2毒害的能力弱于嫁接苗。黑籽南瓜-郑抗1号在低温处理过程中变化趋势平稳;而另外2个嫁接组合CAT酶活性处理前期呈上升趋势,而后呈下降趋势,且二者变化趋势相似。处理6 d后自根苗CAT酶活性显著($P<0.05$)低于嫁接苗CAT酶活性。

2.4 不同砧木对西瓜嫁接苗脯氨酸、可溶性糖含量变化的影响

低温处理后各嫁接组合的脯氨酸含量均大幅度升高,而自根苗的变化幅度较小(表1)。自根苗在处理前含量显著($P<0.05$)高于其他处理,但经过低温处理后则逐渐低于嫁接苗。与0 d相比,郑抗1号处理12 d时脯氨酸含量仅增加了4.61%;而黑籽南瓜砧、葫芦砧和日本南瓜嫁接苗则分别增加236.20%、229.74%和32.68%。

如表2所示,0 d时自根苗可溶性糖含量显著($P<0.01$)高于黑籽南瓜砧和葫芦砧嫁接苗;低温胁迫3 d后各个处理叶片中可溶性糖含量均显著降低,其中自根苗降低幅度最大,达66.03%,从第6 d开始,自根苗可溶性糖含量显著($P<0.05$)低于嫁接苗。在低温处理期间,日本南瓜-郑抗1号可溶性糖含量始终显著($P<0.05$)高于另外2个嫁接苗组合。

表1 不同砧木对低温胁迫下西瓜嫁接苗叶片脯氨酸含量的影响($\mu g \cdot g^{-1}$ FM)
Tab. 1 Effect of different rootstocks on Pro content in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

处理	低温处理天数(d)				
	0	3	6	9	12
日本南瓜-郑抗1号	277.26 Bb	316.25 Bb	351.17 Bb	430.41 Cc	367.87 Cc
黑籽南瓜-郑抗1号	165.64 Cc	355.43 Bb	389.33 Bb	512.67 Bb	556.88 Bb
葫芦-郑抗1号	243.19 Bb	571.62 Aa	876.38 Aa	787.00 Aa	801.88 Aa
郑抗1号	338.60 Aa	347.11 Bb	348.77 Bb	333.77 Dd	354.21 Cc

同列数据后大小写字母分别表示在$P<0.01$和$P<0.05$显著性水平上的差异,下同。

表2 不同砧木对低温胁迫下西瓜嫁接苗叶片可溶性糖含量的影响($mg \cdot g^{-1}$ FM)
Tab. 2 Effect of different rootstocks on soluble sugar content in leaves of grafted watermelon seedlings under chilling stress

处理	低温处理天数(d)				
	0	3	6	9	12
日本南瓜-郑抗1号	0.2945 Aa	0.1828 Aa	0.1944 Aa	0.2022 Aa	0.1719 Aa
黑籽南瓜-郑抗1号	0.2237 Bb	0.1188 Bbc	0.1792 Bb	0.1444 Bb	0.1214 Bb
葫芦-郑抗1号	0.2040 Bb	0.1240 Bb	0.1670 Bb	0.1145 Cc	0.1106 Bb
郑抗1号	0.3000 Aa	0.1019 Bc	0.0969 Cc	0.0728 Dd	0.0769 Cc

2.5 低温胁迫结束后各处理幼苗成活率与形态特征比较

低温处理结束后,日本南瓜-郑抗1号的存活率为84.29%,黑籽南瓜-郑抗1号为79.24%,葫芦-郑抗1号为65.59%,而郑抗1号仅为45.12%。处理12 d时,日本南瓜砧与黑籽南瓜砧两个嫁接组合的植株生长势较好,叶片深绿,仅少数下位叶片叶缘变褐,茎干无异常;葫芦砧嫁接苗多数植株下胚轴变干变枯,多数叶片发黄;自根苗则越发严重。由此可见,通过选用合适的砧木能够提高西瓜嫁接苗在低温胁迫下的忍耐能力和生存能力。

3 讨 论

3.1 叶绿素含量变化与西瓜耐寒性的关系

低温胁迫会导致植物叶片叶绿素含量下降(Lyons,1973),并会对叶绿体亚显微结构、光合能量代谢及电子传递链活性等生理生化过程产生的明显影响(江福英等,2002)。在本试验低温处理过程中,无论是自根苗还是嫁接苗叶片叶绿素含量均呈现下降趋势,证明了低温胁迫促使叶绿素降解并抑制其合成这一观点(代玉华等,2004)。另外,叶绿素含

量的变化在一定程度上能反映低温对植物的伤害程度。本试验结果表明,日本南瓜-郑抗 1 号、黑籽南瓜-郑抗 1 号在低温胁迫过程中叶绿素含量下降幅度较小,受害程度较轻,支持段伟等(2003)关于植物在低温下,叶绿素含量下降越快,呈现冷害症状就严重的观点。

3.2　脂膜过氧化及膜透性与西瓜耐寒性的关系

本试验结果表明,低温胁迫导致西瓜幼苗脂膜过氧化,叶片中 MDA 含量增加,相对电导率随逆境胁迫的时间延长而增大。这与 Kasamo 等(1992)认为低温直接损伤了膜结构,使膜脂及功能蛋白受到损伤的结论相一致。马德华等(1998)认为植株膜结构破坏的程度及电解质外渗率因耐冷性的不同而异。MDA 含量变化与电解质渗透率的增加同时反映了生物膜的受损程度。植物生物膜受损程度越轻,说明其耐低温的能力越强。从试验结果看,日本南瓜-郑抗 1 号、黑籽南瓜-郑抗 1 号的这两项指标较葫芦-郑抗 1 号和自根苗的低,植株长势较好,这与马德华(1998)上述观点一致。

3.3　保护酶系活性变化与西瓜耐寒性的关系

低温下植物对 O_2 的利用能力降低,在代谢过程中多余的 O_2 被转化成有毒害作用的活性氧(van Breusegem *et al.*,1999)。SOD、POD、CAT 是细胞膜保护系统的组成部分,能够在逆境胁迫中清除植物体内 $O_2^{\cdot}$、· OH、O_2、H_2O_2,减少 · OH 的形成,维持体内的活性氧代谢平衡(Markhart,1986)。刘鸿先等(1985)研究发现耐寒力强的黄瓜品种子叶中 SOD、POD、CAT 活性高;于贤昌等(1998)证明耐寒性强的黑籽南瓜-黄瓜嫁接苗叶片中 SOD、CAT、POD 活性显著高于自根苗。本研究表明,低温胁迫初期各组嫁接苗的保护酶活性增幅大于自根苗;低温胁迫中后期,嫁接苗的保护酶活性显著高于自根苗。说明西瓜嫁接后耐寒性的提高是与其体内活性氧清除酶系统活性的变化关系密切,而且这同刘鸿先(1985)、于贤昌等(1998)关于黄瓜的研究结论相一致。

3.4　叶片脯氨酸及可溶性糖含量变化与西瓜耐寒性的关系

研究结果表明,3 种砧木均能在低温处理期间不同程度地提高接穗叶片中脯氨酸和可溶性糖含量,而自根苗则变化不大。游离脯氨酸和可溶性糖是环境胁迫条件下细胞内的保护物质,其含量与多数植物的抗逆性呈正相关(Fedina *et al.*,2003)。Delauney 和 Verma(1993)研究表明,番茄积累脯氨酸的体细胞突变体中,脯氨酸积累与其抗寒性提高一致。吴能表等(2004)认为,低温逆境下植物体内可溶性糖含量的升高有利于提高膜的抗脱水能力,从而维持细胞结构的稳定。通过对试验结果的分析,3 种砧木对嫁接苗耐寒能力的提高确与这两种物质含量的增加关系密切,而这也从另一个侧面进一步证明了前人的研究结论。

试验过程中,发现个别嫁接苗某项生理指标变化异常,似乎与其较强的耐寒能力相悖,其原因如何有待进一步深入研究。

参考文献

代玉华,刘训言,孟庆伟,等. 2004. 低温胁迫对类囊体膜脂代谢的影响. 植物学通报,**21**(4):506-511.

段　伟,李新国,孟庆伟,等. 2003. 低温下的植物光抑制机理. 西北植物学报,**23**(6):1017-1023.

段会军,李喜焕,吴立强,等. 2007. 低温胁迫温度西瓜幼苗生理特性与冷害的关系. 中国农学通报,**23**(1):84-87.

顿宝祥,马　红. 1990. 大棚西瓜嫁接育苗技术及适宜砧木选择研究. 中国蔬菜,(3):11-13.

樊江文,Fenner M. 2003. 低温处理种子对植物生长和开花习性影响的研究. 生态学杂志,**22**(3):29-31.

郭玉华,蔡志全,曹坤芳. 2005. 夜间低温对两种咖啡光合作用的影响. 生态学杂志,**24**(5):478-482.

吉加兵. 1993. 日本西瓜嫁接栽培技术的发展及研究概况. 中国蔬菜,(2):56-58.

江福英,李　延,翁伯琦,等. 2002. 植物低温胁迫及其抗性生理. 福建农业学报,**17**(3):190-195.

李太贵,王　磊. 1996. 低温下水稻幼苗形态生理应变研究. 生态学杂志,**15**(6):60-62.

李太贵,徐　兴,陈　衍,等. 1999. 水稻数值抗冷性的研究. 生态学杂志,**18**(3):75-78.

李志英,卢育华,徐　立. 1998. 土壤低温对嫁接黄瓜生理生化特性的影响. 园艺学报,**25**(3):258-263.

凌志杰,田与光,于爱民. 1996. 不同砧木对西瓜生长结实和抗枯萎病的影响. 中国西瓜甜瓜,(4):18-20.

刘鸿先,曾韶西,王以柔,等. 1985. 低温对不同耐寒力的黄瓜(*Cucumic sativus*)幼苗子叶各细胞器中超氧物歧化酶(SOD)的影响. 植物生理学报,**11**(1):48-57.

刘慧英,朱祝军,吕国华. 2004. 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,**15**(4):659-662.

马德华，卢育华，庞金安. 1998. 低温对黄瓜幼苗膜脂过氧化的影响. 园艺学报，25(1)：61-64.

吴能表，何 凤，杨丽萍，等. 2004. NaCl 对萝卜幼苗逆境指标及蛋白激活性的影响. 西南师范大学学报(自然科学版)，29(4)：651-654.

于贤昌，邢禹贤，马 红，等. 1998. 不同砧木与接穗对黄瓜嫁接苗抗冷性的影响. 中国农业科学，31(2)：41-47.

张志良. 1990. 植物生理学实验指导. 北京：高等教育出版社.

赵世杰，刘华山，董新纯. 1998. 植物生理学实验指导. 北京：中国农业科技出版社.

朱广廉. 1990. 植物生理学实验. 北京：北京大学出版社.

Cakmak I，Marschner H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*，**98**：1222-1227.

Delauney AJ，Verma DPS. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant Journal*，**4**：215-223.

Fedina IS，Grigorova ID，Georgieva KM. 2003. Response of barley seedlings to UV-B radiation as affected by NaCl. *Journal of Plant Physiology*，**160**：205-208.

Kasamo K，Kagita F，Yamanishi H，*et al*. 1992. Low temperature induced changes in the thermotropic properties and fatty acid composition of the plasma membrane and tonoplast of cultured rice (*Oryza sativa* L.) cells. *Plant Cell Physiology*，**33**：609-616.

Lyons JM. 1973. Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*，**24**：445-446.

Markhart AH Ⅲ. 1986. Chilling injury：A review of possible causes. *HortScience*，**21**：1329-1333.

van Breusegem F，Slooten L，Stassart JM. 1999. Effects of over production of tobacco Mn-SOD in maize chloroplasts on foliar tolerance to cold and oxidative stress. *Journal of Experimental Botany*，**50**：71-78.

作者简介 孙 胜，男，1977年生，硕士，讲师。主要从事园艺植物育种与栽培生理生态的研究，发表论文10余篇。
E-mail：sunsheng_2004@126.com

责任编辑 李凤芹