园 艺 学 报 2011，38（6）：1173－1179 http: // www. ahs. ac. cn
Acta Horticulturae Sinica E-mail: yuanyixuebao@126.com

低温胁迫对 3 个红掌品种叶片形态和生理特性的影响

田丹青[1,2]，葛亚英[1]，潘刚敏[1]，沈晓岚[1]，何 勇[3]，张 智[1]，刘晓静[1]，朱祝军[2,3,*]

（[1]浙江省萧山棉麻研究所，杭州 311202；[2]浙江大学农业与生物技术学院，杭州 310029；[3]浙江农林大学，浙江临安 311300）

摘 要：以‘阿拉巴马’、‘大哥大’和‘粉冠军’3 个红掌品种为试材，研究了低温胁迫对其叶片形态、叶片相对电导率（REC）、丙二醛（MDA）含量、过氧化氢酶（CAT）、过氧化物酶（POD）和超氧化物歧化酶（SOD）活性的影响。结果表明：6 ℃低温胁迫 48 h 后，‘阿拉巴马’新叶颜色稍有变红，基本没有冷害症状；‘粉冠军’冷害表现最重，温度回升后叶片大量枯死，导致整株死亡；‘大哥大’冷害表现居中，新叶萎蔫。在低温胁迫下，‘阿拉巴马’电解质渗透率缓慢升高，MDA 含量增加，CAT、POD 和 SOD 活性均较高，且 CAT 活性持续上升，POD 活性先下降后上升并趋于稳定，SOD 活性较稳定，随着 CAT 活性的增强和 POD、SOD 酶活性的稳定，在低温胁迫 36 h 后，电解质渗透率和 MDA 含量开始下降；而‘大哥大’和‘粉冠军’在低温胁迫 12 h 后电解质渗透率和 MDA 含量明显增加，SOD 活性开始下降，低温胁迫 24 h 后 CAT 活性开始下降，POD 活性急剧上升。从形态和生理指标综合来说，3 个品种的抗寒性以‘阿拉巴马’最强，‘大哥大’次之，‘粉冠军’最差。

关键词：红掌；低温胁迫；相对电导率；MDA；CAT；POD；SOD

中图分类号：S 682.1^{+}4 **文献标识码：**A **文章编号：**0513-353X（2011）06-1173-07

Morphological and Physiological Characteristics of Different Cultivars of *Anthurium andraenum* Under Chilling Stress

TIAN Dan-qing[1,2]，GE Ya-ying[1]，PAN Gang-min[1]，SHEN Xiao-lan[1]，HE Yong[3]，ZHANG Zhi[1]，LIU Xiao-jing[1]，and ZHU Zhu-jun[2,3,*]

（[1]*Zhengjiang Xiaoshan Cotton and Flax Research Institute*，*Hangzhou* 311202，*China*；[2]*College of Agriculture and Biotechnology*，*Zhejiang University*，*Hangzhou* 310029，*China*；[3]*Zhejiang Agriculture and Forestry University*，*Lin'an*，*Zhejiang* 311300，*China*）

Abstract：Three cultivars of *Anthunium andraenum*（‘Alabamb’，‘Dakote’and‘Pink Champion’）were used to investigate the effects of chilling stress on leaf morphology，relative electric conductivity（REC），malondialdehyde（MDA）content，and activities of catalase（CAT），peroxidases（POD）and superoxide dismutase（SOD）. Results showed that after 48 h treatment under 6 ℃，‘Alabamb’ showed no symptoms of chilling injury except for slight red color with young leaves. However，‘Pink Champion’

收稿日期：2011－02－21；**修回日期：**2011－05－31

基金项目：浙江省农业科学院创新提升项目；杭州市科技项目（20091832B32）

* 通信作者 Author for correspondence（E-mail：zhjzhu@zju.edu.cn）

showed serious symptoms of chilling injury and then died after re-cultivated in greenhouse. ‘Dakote’ showed slight symptoms of chilling injury with the wilting of young leaves. Under chilling stress，REC and MDA content in ‘Alabamb’ leaves increased and activities of CAT，POD and SOD kept at higher level. CAT activity increased continuously with the treatment time，and POD activity decreased at the beginning and then increased to a high level，while SOD activity was relatively stable. After 36 h treatment of low temperature，REC and MDA content decreased. In the leaves of ‘Dakote’ and ‘Pink Champion’，after 12 h treatment of low temperature，REC and MDA content increased obviously，and SOD activity began to decrease. CAT activity began to decrease，and POD activity increased sharply after 24 h treatment of low temperature. From the results of the present experiment，it was concluded that chilling resistance of 3 cultivars was decreased in the order of ‘Alabamb’，‘Dakote’ and ‘Pink Champion’.

Key words：*Anthunium andraenum*；low temperature；relative electric conductivity；MDA；CAT；POD；SOD

红掌（*Anthurium andraeanum*）为天南星科花烛属多年生草本植物，原产哥伦比亚，为热带花卉，生长适温 14 ℃以上，气温低于 12 ℃时，就会发生冷害，因此在我国大部分地区冬季种植红掌都需要加温，成本较高。高惠兰等（2005）研究了冷锻炼对低温胁迫下红掌叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响；乔永旭（2010）将红掌叶片浸入不同浓度的水杨酸（SA）溶液中，在 4 ℃条件下测试了 SA 对红掌叶片活性氧、可溶性糖、可溶性蛋白、丙二醛（MDA）、脯氨酸含量和细胞膜透性的影响。这些研究只局限于单个红掌品种，没有比较不同品种在低温胁迫下的生理生化变化，对红掌的抗寒生理机制的研究尚不够全面。

本试验中选用 3 个抗寒性不同的盆栽红掌品种，经 6 ℃低温处理，研究了低温胁迫对其叶片的相对电导率、MDA 含量以及过氧化氢酶（CAT）、过氧化物酶（POD）、超氧化物歧化酶（SOD）等酶活性的影响，探讨红掌植株在低温逆境下的生理生化变化，并进行抗寒性评价，为红掌在中国的引种栽培和制定抗寒栽培措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2009 年 10—12 月在浙江省农业科学院花卉研究开发中心进行。供试材料为生产上主栽的 3 个红掌品种：‘阿拉巴马’（‘Alabamb’）、‘大哥大’（‘Dakote’）和‘粉冠军’（‘Pink Champion’）。种苗均为同一批次从荷兰安祖公司引进，在浙江省农业科学院花卉研究开发中心温室大棚中栽培近 1 年。基质为 Klasman 进口泥炭，栽培容器是 16 cm × 12 cm 的红色塑料盆，每 7 d 施用“花多多”营养液（N、P、K 肥的质量比为 20∶10∶20）1 次，每 3 d 浇水 1 次。温室的空气相对湿度为 60% ~ 80%，温度 15 ~ 35℃。植株生长势一致，健壮无病虫害。

1.2 试验方法

选择生长一致的大苗，均匀浇水，置于人工气候箱（RTOP-430B 智能型）内，每箱分上、下两层，不同材料随机排列，在温度 25 ℃，光照强度 10 000 lx，昼夜光照时间 12 h /12 h 条件下预处理 3 d，然后 6 ℃低温处理 48 h，光照强度和时间均不变。分别在低温处理 0、12、24、36 和 48 h 时取样，进行各项生理生化指标的测定，取样部位为从上向下第 1 片成熟叶，重复 5 次。处理结束

后放入温度正常的温室大棚进行恢复生长。

1.3　生理指标测定

采用 Zhu 等（2004）方法测定叶片相对电导率；采用 Cakmak 和 Marschner（1992）的方法测定 MDA 含量及 SOD、CAT 和 POD 活性。

2　结果与分析

2.1　低温胁迫下红掌叶片的冷害症状

低温胁迫下 3 个品种所表现的冷害症状差异比较明显，包括出现冷害症状的时间、冷害损伤程度以及恢复正常温度后的生长情况。

‘阿拉巴马’的冷害表现最轻，低温处理 36 h 才出现轻微的冷害症状，48 h 后只是新叶稍有变红，放入大棚后即恢复生长（图 1，A）；‘大哥大’冷害表现居中，低温处理 24 h 出现冷害症状，48 h 后新叶萎蔫，老叶焦枯增加，部分花变黑，放入大棚后能够恢复生长，重新长出新叶（图 1，B）；‘粉冠军’的冷害表现最重，而且是从叶柄开始表现，低温处理 12 h 即出现冷害症状，48 h 后叶柄开始变色发软并弯曲下垂，但叶片没有明显症状（图 1，C），放入大棚后叶片却大量枯死以致整株死亡（图 1，D），冷害表现有延后性。



图 1　低温胁迫下红掌叶片的冷害症状

A.‘阿拉巴马’6 ℃低温处理 48 h；B.‘大哥大’6 ℃低温处理 48 h；C.‘粉冠军’6 ℃低温处理 48 h；D.‘粉冠军’恢复生长 7 d 后。

Fig. 1　Effects of low temperature on *Anthurium andraenum* Lind. leaves

A.‘Alabamb’treated under 6 ℃ for 48 h；B.‘Dakote’treated under 6 ℃ for 48 h；C.‘Pink Champion’treated under 6 ℃ for 48 h；D.‘Pink Champion’re-cultivated in greenhouse for 7 days.

2.2 低温胁迫对红掌叶片相对电导率的影响

图 2 表明，随着低温处理时间的延长，各品种相对电导率明显提高，但上升的幅度存在明显差异。‘粉冠军’上升最快，在低温胁迫 12 h 后快速上升，48 h 后已达 37.92%，比低温胁迫前增加了 203.85%；‘大哥大’在低温胁迫 12 h 后也较快上升，48 h 时达 31.46%，比低温胁迫前增加了 179.40%；‘阿拉巴马’的相对电导率上升较缓慢，48 h 后比处理前增加 71.67%。说明这 3 个品种中‘阿拉巴马’在低温胁迫下细胞膜受伤害的程度最小，抗寒性最强，其次是‘大哥大’，‘粉冠军’受伤害的程度最大，抗寒性最弱。这与 3 个品种的冷害症状表现一致。

2.3 低温胁迫对红掌叶片 MDA 含量的影响

从图 3 可以看出，各品种在低温处理前 MDA 含量差异不明显，低温处理 12 h 后，各品种叶片的 MDA 含量均有一个降低的趋势，随着低温胁迫时间的延长，开始逐渐上升，‘阿拉巴马’在低温胁迫 36 h 后又开始下降，恢复到低温处理前差不多的水平，而‘粉冠军’和‘大哥大’持续上升，‘粉冠军’上升幅度最大，在低温胁迫 48 h 后叶片 MDA 含量比处理前增加 70.93%，‘大哥大’增加 51.69%，而‘阿拉巴马’只增加了 2.56%。这说明‘粉冠军’受低温伤害程度最重，其次‘大哥大’，而‘阿拉巴马’受伤害程度最轻，这与相对电导率的测定结果以及冷害症状表现一致。

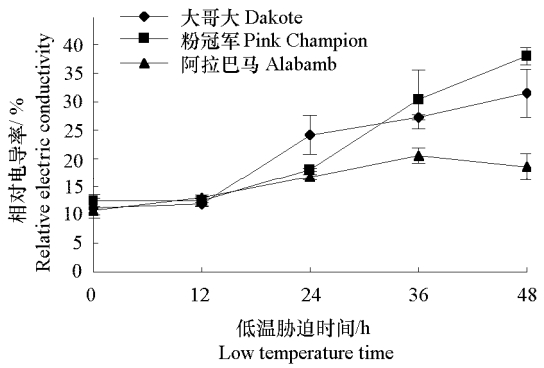


图 2 低温胁迫对红掌叶片相对电导率的影响

Fig. 2 Effects of low temperature on relative electric conductivity of *Anthurium andraenum* Lind. leaves

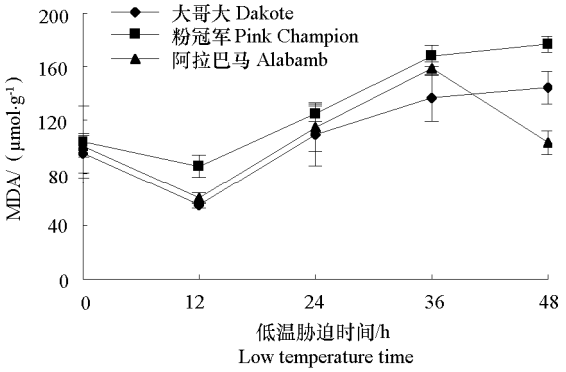


图 3 低温胁迫对红掌叶片 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effects of low temperature on MDA content of *Anthurium andraenum* Lind. leaves

2.4 低温胁迫对红掌叶片 CAT 活性的影响

CAT 是膜保护系统的一种关键酶，能够在逆境胁迫中清除植物体内的过氧化氢，减少 $\cdot OH^-$的形成。从图 4 可以看出，低温处理前 3 个品种的 CAT 活性本身存在较大差异，‘阿拉巴马’的 CAT 活性最高，为 64.93 $\triangle OD_{240} \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}FW$，其次是‘大哥大’（41.99 $\triangle OD_{240} \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}FW$），最低的是‘粉冠军’，为 30.79 $\triangle OD_{240} \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}FW$，只有‘阿拉巴马’的 47.4%。低温胁迫 24 h 之内，3 个品种的 CAT 活性均逐渐上升，说明低温逆境在初期激活了 CAT 的活性，反映了植物对低温逆境的适应。在低温胁迫 24 h 后，‘粉冠军’和‘大哥大’的 CAT 活性开始快速下降，而‘阿拉巴马’的 CAT 活性则一直上升。低温处理 48 h 后，3 个品种的 CAT 活性比处理前均有所增加，但增加的幅度差异很大。‘阿拉巴马’增加了 100.37%，‘大哥大’增加 25.04%，‘粉冠军’只增加了 13.71%。这说明红掌叶片的 CAT 活性对低温比较敏感，‘阿拉巴马’在低温处理前和低温胁迫下均保持了较高的 CAT 活性，这可能是其抗寒性强的原因之一。

2.5　低温胁迫对红掌叶片 POD 活性的影响

图 5 表明，低温处理前 3 个品种的 POD 活性有较大差异，‘阿拉巴马’的活性较高，‘大哥大’和‘粉冠军’活性较低；随着低温胁迫的开始，POD 活性开始下降，随着低温处理时间的延长，POD 的活性开始上升。但不同品种上升的时间不同，‘大哥大’和‘粉冠军’的 POD 活性在低温胁迫 12 h 即开始上升，‘阿拉巴马’在低温胁迫 24 h 才开始上升；到低温胁迫 48 h 时，‘阿拉巴马’的活性恢复到处理前的水平，而‘粉冠军’和‘大哥大’比处理前有明显增加，增幅分别为 73.43%和 59.13%。

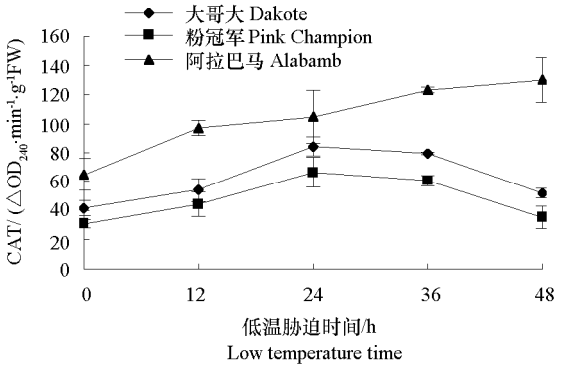


图 4　低温胁迫对红掌叶片 CAT 活性的影响

Fig. 4　Effects of low temperature on CAT activity of *Anthurium andraenum* Lind. leaves

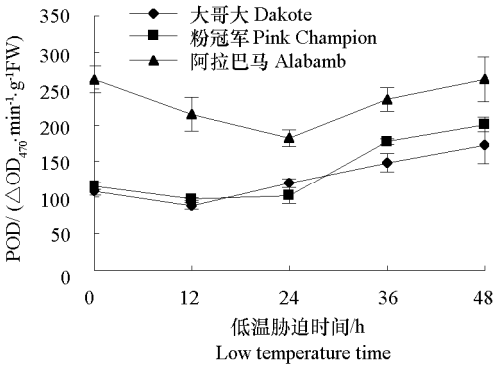


图 5　低温胁迫对红掌叶片 POD 活性的影响

Fig. 5　Effects of low temperature on POD activity of *Anthurium andraenum* Lind. leaves

2.6　低温胁迫对红掌叶片 SOD 活性的影响

SOD 是植物体内最重要的抗氧化酶之一（曾广和蒋德安，2000），保护细胞免受氧化损伤，其主要功能是清除，并产生 H_2O_2。

由图 6 可知，低温处理前 3 个红掌品种的 SOD 活性差异较大，‘阿拉巴马’的 SOD 活性较高，‘大哥大’和‘粉冠军’的 SOD 活性较低；低温处理开始后，3 个品种的叶片 SOD 活性均开始上升，‘大哥大’和‘粉冠军’上升较快，在低温处理时间 12 h 后，3 个品种的 SOD 活性均呈下降趋势，‘大哥大’和‘粉冠军’快速下降，到 48 h 后 SOD 的活性均比处理前低，降低幅度分别为 8.24%和 17.79%；而‘阿拉巴马’下降缓慢，低温胁迫 48 h 后比处理前降低 4.39%。‘阿拉巴马’的 SOD 活性比较稳定，且一直保持较高的活性，这可能也是其抗寒性强的原因之一。

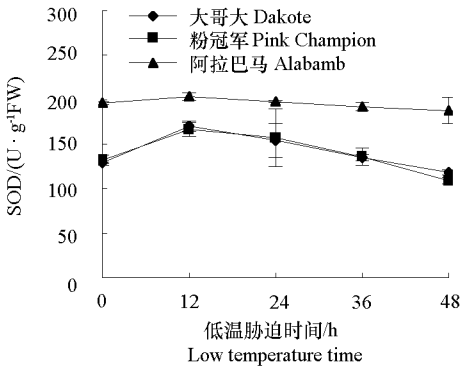


图 6　低温胁迫对红掌叶片 SOD 活性的影响

Fig. 6　Effects of low temperature on SOD activity of *Anthurium andraenum* Lind. leaves

2.7　生理指标间相关性分析

采用 SPSS 程序对不同品种红掌在 6 ℃低温胁迫后叶片相对电导率与各生理指标的相关性分析表明，3 个品种的相对电导率和 MDA 均极显著正相关，品种‘大哥大’和‘粉冠军’中相对电导率与 SOD 极显著负相关，与 POD 极显著正相关（表 1）。由此可见，相对电导率即膜透性与抗氧化酶的活性密切相关，说明低温下植物通过酶间的相互影响来抵御逆境；膜质过氧化作用的加剧会

引起电解质外渗和渗透调节物质的积累，最终导致叶片萎蔫，植株受到伤害；这些指标都可作为测定红掌低温逆境的重要指标。

表 1 低温胁迫下不同品种红掌叶片相对电导率（REC）与生理指标间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between relative electric conductivity and different physiological parameters in the leaves of three cultivars of *Anthunium andraenum* Lind. under chilling stress

品种 Cultivar	MDA	SOD	POD	CAT
大哥大 Dakote	0.884**	－0.847**	0.872**	0.189
粉冠军 Pink Champion	0.927**	－0.784**	0.949**	－0.180
阿拉巴马 Alabama	0.854**	－0.475	－0.337	0.493

注：**表示在 0.01 水平上显著。

Note：** indicates the significance at 0.01 level.

3 讨论

膜脂过氧化的原因在于活性氧的伤害。在正常情况下植物体内活性氧代谢处于平衡状态，当遭遇如低温等不良环境时，活性氧的产生和清除失去平衡，体内活性氧大量积累，可以造成膜脂过氧化、蛋白质变性、甚至 DNA 突变等一系列不良反应，对植物体造成伤害（陈少裕，1991；朱素琴，2001）。植物通过酶系统来调控自身活性氧代谢水平，抗氧化酶在活性氧清除过程中发挥重要作用。

在本试验中，抗寒性较弱的‘大哥大’和‘粉冠军’红掌品种的膜透性和 SOD 活性呈极显著负相关，这与 Guo 等（2006）在水稻、杜永吉等（2008）在结缕草的研究结果类似。抗寒性强的‘阿拉巴马’的膜透性与 SOD 的相关性不明显，原因可能是‘阿拉巴马’在本试验中的低温处理时间不够长，没有表现出明显的冷害症状。

POD 的作用是清除氧代谢中产生的 H_2O_2 以及由此而产生的一些自由基，与 SOD 等酶协调可以使植物体内的自由基维持在一定的水平上。本试验结果表明，而随着低温胁迫时间的延长，3 个红掌品种的 POD 活性持续增强，‘粉冠军’和‘大哥大’的增幅明显高于‘阿拉巴马’，特别是‘阿拉巴马’在低温胁迫 24 h 后 POD 活性快速增加。相关性分析表明，抗寒性较弱的‘大哥大’和‘粉冠军’红掌品种的膜透性与 POD 活性极显著正相关，这与茄子（高秀瑞 等，2008；张彦萍 等，2010）、青竹复叶槭（李轶乐 等，2008）等植物的研究结果不同，而与高惠兰等（2005）认为 POD 活性的稳定性能够增加红掌抗寒性的结论相一致。另外，本试验中，在低温胁迫后恢复生长 1 d 和 2 d 后各红掌品种的 POD 活性继续上升，特别是‘粉冠军’和‘大哥大’的 POD 活性急剧上升，恢复生长 2 d 后，分别与低温处理前相比，各增加 9.2 倍和 6.9 倍，‘阿拉巴马’增加了 1/2 左右，且在恢复生长 1 d 后趋于稳定。这说明抗寒性差的红掌品种叶片 POD 活性对低温比较敏感，变化幅度较大，受到低温伤害后难以恢复到正常水平。红掌叶片的 POD 活性变化与其他作物有所不同，其作用有待进一步研究。

‘阿拉巴马’无论在处理前还是处理后均具有较高的 CAT 活性，而‘大哥大’和‘粉冠军’的 CAT 活性较低，这与前人的一些研究结果（杜朝昆 等，2005；高惠兰 等，2005）相同。

综上所述，不同品种红掌对低温的抗性不同，这种抗寒性差异可能与其体内抗氧酶活性有关。‘阿拉巴马’在低温条件下具有较高的 CAT、SOD 活性以及较稳定的 POD 活性，清除自由基能力较强，MDA 含量较低，相对电导率较低，表现出较强的抗寒能力。‘大哥大’和‘粉冠军’其 CAT、SOD 的活性较低，POD 活性变化很大，清除自由基的能力下降，使体内的自由基增加，膜脂过氧化作用加剧，电解质大量外渗，从而导致脂膜的伤害，抗寒能力较差。因此，本试验综合比较了形态指标和生理指标，认为 3 个红掌品种的抗寒性以‘阿拉巴马’最强，‘大哥大’次之，‘粉冠军’

最差。

References

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

Chen Shao-yu. 1991. Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell. Plant Physiology Communications，27 (2)：84－90. (in Chinese)
陈少裕. 1991. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害. 植物生理学通讯，27 (2)：84－90.

Du Chao-kun，Li Zhong-guang，Gong Ming. 2005. The adaptations to heat and chilling stresses and relation to antioxidant enzymes of maize seedlings induced by salicylic acid. Plant Physiology Communications，41 (1)：19－22. (in Chinese)
杜朝昆，李忠光，龚　明. 2005. 水杨酸诱导的玉米幼苗适应高温和低温胁迫的能力与抗氧化酶系统的关系. 植物生理学通讯，41 (1)：19－22.

Du Yong-ji，Yu Lei，Sun Ji-xiong，Lu Wei-hua，Han Lie-bao. 2008. Study on cold resistance and its mechanism of different cultivars of *Zoysia japonica* Steud. Acta Agrestia Sinica，16 (4)：347－352. (in Chinese)
杜永吉，于　磊，孙吉雄，鲁为华，韩烈保. 2008. 结缕草品种抗寒性和抗寒机理研究. 草地学报，16 (4)：347－352.

Gao Hui-lan，Liu Zhen-yu，Ye Jing-shui，Chen Rui-he. 2005. Effect of cold hardening on membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in leaves of *Anthunium andraenum* Lind. under low temperature stress. Fujian Journal of Agricultural Sciences，20 (2)：108－112. (in Chinese)
高惠兰，柳振誉，叶静水，陈瑞贺. 2005. 冷锻炼对低温胁迫下红掌叶片膜脂过氧化及保护酶活性影响. 福建农业学报，20 (2)：108－112.

Gao Xiu-rui，Pan Xiu-qing，Wu Yan-rong，Li Bing. 2008. Effect of low temperature stress on physiological characteristics of chilly-sensitive resistance in eggplant seedling. Journal of Hebei Agricultural Sciences，12 (12)：6－8. (in Chinese)
高秀瑞，潘秀清，武彦荣，李　冰. 2008. 低温胁迫对茄子幼苗耐冷生理特性的影响. 河北农业科学，12 (12)：6－8.

Guo Z，Ou W，Lu S，Zhong Q. 2006. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry，44 (11)：828－836.

Li Yi-le，Wu Jun，Shang Zhong-hai，Kong Wei-he，Su Jin-le. 2008. Effect of chilling stress on cold resistance of *Acer negundo* L.‘Qingzhu’. Journal of Beijing University of Agriculture，23 (4)：46－49. (in Chinese)
李轶乐，吴　军，尚忠海，孔维鹤，苏金乐. 2008. 低温胁迫及 $CaCl_2$ 处理对青竹复叶槭抗寒指标的影响. 北京农学院学报，23 (4)：46－49.

Qiao Yong-xu. 2010. Effect of salicylic acid on physiological index of *Anthurium andraeanum* leaves at low temperature. Journal of Northeast Forestry University，38 (2)：11－12. (in Chinese)
乔永旭. 2010. 低温处理过程中水杨酸对红掌叶片生理指标的影响. 东北林业大学学报，38 (2)：11－12.

Zeng Guang-wen，Jiang De-an. 2000. Plant physiology. Beijing：China Agriculture Press. (in Chinese)
曾广文，蒋德安. 2000. 植物生理学. 北京：中国农业出版社.

Zhang Yan-ping，Liu Hai-he，Shen Shu-xing，Zhang Cheng-he，Zhang Xin-e. 2010. Effect of polyamine priming on seed vigor and seedling chilling tolerance in eggplant. Acta Horticulturae Sinica，37 (11)：1783－1788. (in Chinese)
张彦萍，刘海河，申书兴，张成合，张新娥. 2010. 多胺引发处理对茄子种子活力及幼苗耐冷性的影响. 园艺学报，37 (11)：1783－1788.

Zhu Su-qin. 2002. Advances in research of the relationships between membrane lipids and plant’s cold-resistance. Journal of Xiangtan Normal University：Natural Science Edition，24 (4)：49－54. (in Chinese)
朱素琴. 2002. 膜脂与植物抗寒性关系研究进展. 湘潭师范学院学报：自然科学版，24 (4)：49－54.

Zhu Zhujun，Wei Guoqiang，Li Juan，Qian Qiongqiu，Yu Jingquan. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber（*Cucumis sativus* L.）. Plant Science，167 (3)：527－533.