

文章编号: 0253-4339(2012)06-0068-05

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.06.068

降压速率对真空预冷鲜切花品质的影响

宋小勇^{1,2} 朱安福¹ 李云飞²

(1华北水利水电学院电力学院 郑州 450011; 2上海交通大学农业与生物学院 上海 200240)

摘要 以月季切花为实验材料, 采用 3.11×10^4 Pa/min、 1.78×10^4 Pa/min、 0.62×10^4 Pa/min 三种不同降压速率对其进行真空预冷处理, 对预冷后的切花进行瓶插实验, 检测并对比分析影响切花主要品质的相关指标。结果表明: 降压速率对月季切花预冷品质有显著影响, 中速降压 (1.78×10^4 Pa/min) 处理能有效抑制细胞电解质渗漏, 减少丙二醛积累, 维持抗氧化酶活性, 减小鲜重损失, 延缓花色蓝变, 延长月季切花瓶插寿命, 获得最好的真空预冷效果。

关键词 热工学; 真空预冷; 鲜切花; 降压速率; 品质

中图分类号 S375; TB69; S121

文献标识码: A

Effects of Different Pressure Reduction Rates on the Qualities of Vacuum-cooled Cut Flowers

Song Xiaoyong^{1,2} Zhu Anfu¹ Li Yunfei²

(1. Institute of Electric Power, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou, 450011, China; 2. School of Agricultural and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China)

Abstract Cut roses were selected as the experimental materials and vacuum cooled at three different pressure reduction rates (3.11×10^4 Pa/min, 1.78×10^4 Pa/min, 0.62×10^4 Pa/min). During the vase experiments, the main quality indicators of cut flowers were examined, and comparative analysis were done. The results showed that the different pressure reduction rates had significant influence on the basic qualities of cut roses. The treatment at the medium pressure reduction rate (1.78×10^4 Pa/min) prevented leakage of the electrolyte, decreased accumulation of the MDA, maintained activity of the SOD, decreased the mass loss, delayed blue changes of the cut roses, prolonged the vase life, achieved the best pre-cooling effect.

Keywords Pyrology; Vacuum cooling; Cut flower; Pressure reduction rate; Quality

真空预冷依据真空条件下可加快水分蒸发的特性, 产品潜热随水蒸气释放体外, 达到降温目的^[1-5]。鲜切花的含水率约90%, 且花瓣和叶子有较大的比表面积, 适合真空预冷^[6-11]。真空预冷设备结构一定时, 不同生物材料具有不一样的结构特性, 在真空预冷过程中降压速率对不同的材料会有不同的作用效果^[12-15]。然而降压速率对鲜切花真空预冷是否有影响, 有何种影响, 何种降压速率能够更好的维持切花预冷品质, 延长其瓶插寿命等问题, 目前少有文献可供参考。再者, 切花种类繁多, 各参数的设定还必须考虑不同切花的结构与生理特点。这里以月季切花为实验对象, 研究降压速率对其主要生理生化指标及瓶插寿命的影响。

1 材料、实验装置与方法

1.1 材料

供试月季切花 (*Rosa hybrida*) 品种为 ‘萨曼莎

(Samanth)’ , 直接从上海当地农场采收, 采收标准为萼片向外反折到水平位置以下, 花蕾微开的花枝。花枝剪下时长约50cm, 不经任何处理运回上海交通大学冷链实验室, 按照花枝长35cm、留3片复叶的标准修整后进行实验。

1.2 实验装置与仪器

图1为鲜切花真空预冷实验装置。真空预冷机型号VC-2 (江苏丹阳大晟保鲜工程有限公司), 真空泵型号F-26501 (SOGEVAC, France), 真空室体积 2m^3 。压力传感器型号NS-P-II (上海天沐传感器有限公司), 精度为 10^{-3} F.S。LabVIEW数据采集系统和一个16位8通道数据采集模块 (ADAM-4018, Advantech, Taiwan) 相连接。其它仪器: 培养箱, 德国宾得公司; 紫外分光光度计, 美国尤尼柯仪器有限公司; FE30型电导率仪, 瑞士梅特勒托利多公司; Z233MK-2型超低温高速离心机, 德国哈默公

基金项目: 国家自然科学基金 (30771504) 资助项目。(The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No.30771504).)

收稿日期: 2011年12月29日

司; AR2140型电子天平, 美国奥豪斯公司, 精度0.0001g; HWS28型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; SZ-93自动双重纯水蒸馏器, 上海亚荣生化仪器厂。

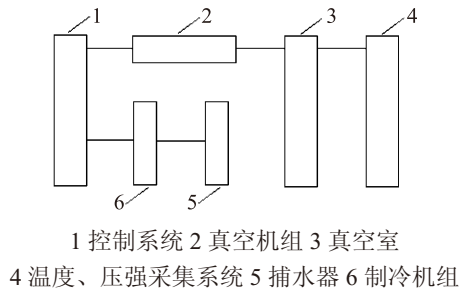


图1 真空预冷装置系统图

Fig.1 Schematic diagram of the vacuum treatment system

1.3 实验设计

表1 实验采用的降压速率

Tab. 1 Applied pressure reduction rates

降压速率/($\times 10^4$ Pa/min)	时间/min	Y值/min ⁻¹
3.11 (快速)	3.2	1.599
1.78 (中速)	5.6	0.916
0.62 (慢速)	16.0	0.320

以方程形式按照指数下降函数模拟降压速率^[16]。

$$p = p_i e^{-Yt} \quad (1)$$

式中: p —真空室压强, Pa; p_i —初始压强, Pa; t —实验开始后的时间, min; Y —过程变量。

降压速率实验: 设3组不同的降压速率(表1)处理, 各挑选20枝月季切花作为每组处理材料。各处理月季切花分别被水平、自然堆放在真空室的搁物架上进行真空预冷。真空室初始压力为 10×10^4 Pa, 数据采集系统和真空泵同时开启, 在不同降压速率下对切花进行真空预冷, 电脑自动记录压强信号(采样间隔5s), 当真空室最终压力达到600Pa时关闭真空泵, 以相同复压速率恢复常压。后续瓶插方法和指标检测同上。为有效捕捉水蒸气, 在实验前开启压缩机使冷凝器温度降至 -15°C 。

1.4 测定指标

1.4.1 相对电导率(REC)

组织细胞原生质膜的完整性及其透性可以通过相对电导率的测定来判断。用手持式打孔器打取直径为1cm的花瓣组织圆片15个, 置于30mL蒸馏水中, 振荡1min后测其电导率 Ec_0 。然后振荡24h, 测其电导率 Ec_1 。再置于沸水浴中30min, 取出冷却后摇匀, 测得电导率 Ec_2 。

计算公式: 相对电导率(%) = $[(Ec_1 - Ec_0) / (Ec_2 - Ec_0)] \times 100\%$ 。

1.4.2 丙二醛(MDA)含量

丙二醛(MDA)是常用的膜脂过氧化指标。粗酶液制备: 粗酶提取液为0.05mol/L、pH=7.0的磷酸缓冲液(PBS), 现用现配。称取0.5g待测花瓣样品, 加入液氮冷冻研磨成粉末状, 再加入5mL提取液冰浴研磨成匀浆, 转入离心管中, 4°C 下12000r/min离心20min, 收集上清液贮藏于 -80°C 冰箱中, 用于MDA含量及SOD、POD、CAT活性的测定。

参照林植芳^[17]的方法, 略有改动。吸取稀释的粗酶液1mL, 加入2mL含0.5%硫代巴比妥酸(TBA)的20%三氯乙酸(TCA)溶液, 在沸水中反应10min后, 在12000r/min离心10min, 用分光光度计读取上清液在532nm和600nm波长下的吸光值。用155mmol/(L·cm)的消光系数进行计算。

1.4.3 超氧化物歧化酶(SOD)含量

SOD(Super Oxide Dimutase)具有特殊的生理活性, 是生物体内清除自由基的首要物质。SOD在生物体内的水平高低是表征其衰老与死亡的直观指标。

参照Beauchamp^[18]的方法, 略有改动。在试管中按顺序加入2.2mL PBS、0.2mL核黄素、0.2mL甲硫氨酸、0.1mL EDTA、0.1mL酶液和0.2mL氮蓝四唑(NBT)。然后在14000lux光强下反应15 min后转入暗处, 在分光光度计560nm下读数。以SOD抑制氯化硝基四唑氮蓝(NBT)光还原50%的酶量为一个酶单位U。SOD活性定义为 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{FW}$ 。

1.4.4 瓶插寿命

鲜切花是一种具有艺术观赏价值的园艺产品。瓶插寿命指从瓶插实验之日起到花瓣出现萎蔫或“蓝变”为止的天数^[19]。每种处理取8次重复。瓶插液为蒸馏水。实验在上海交通大学人工气候室进行, 模拟环境条件为: $20 \pm 1^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\% \text{R.H.}$, $15 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度, 每天光照时间为12h。

1.4.5 鲜重变化

分别测量真空预冷前、后切花的重量。鲜重变化率表示为预冷前后重量变化占初始重量的百分比。

1.4.6 pH值

称取1g花瓣, 用8mL去离子水进行匀浆, 12000r/min离心后, 用校正好的pH计测定。

1.5 数据处理

实验结果用SAS 8.0进行方差分析和差异性检验($P < 0.05$ 为有显著性差异)。三种降压处理对应各指标均选取瓶插实验第7天的检测结果进行比较。

2 结果与讨论

2.1 降压速率对月季切花细胞膜稳定性的影响

植物衰老或在逆境胁迫下往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛是膜脂过氧化的最终产物,它的积累又可以加剧破坏细胞膜的完整性。丙二醛含量可以反映植物衰老或受伤害的程度。而细胞膜透性可以反映细胞膜的稳定性及细胞的完整性,一般通过相对电导率来表示^[20]。

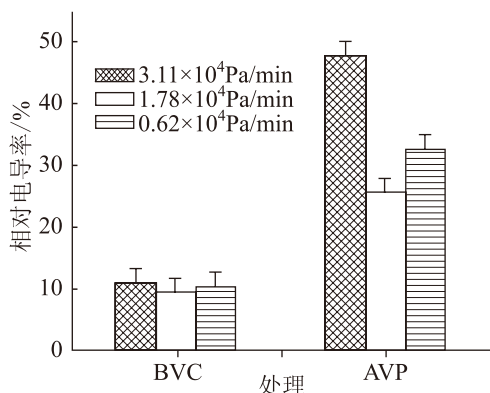


图2 不同降压速率的真空预冷处理对月季切花相对电导率的影响(BVC真空处理前; AVP瓶插实验后)

Fig. 2 Effects of different pressure reduction rates on electrolyte leakage of cut rose by vacuum cooling (BVC, before vacuum cooling; AVP, after vase period)

真空预冷过程中不同降压速率对月季切花相对电导率变化见图2。瓶插7d后, 3.11×10^4 Pa/min、 1.78×10^4 Pa/min和 0.62×10^4 Pa/min降压处理下的相对电导率分别为47.7%、25.6%和32.5%,与预冷前的11%、9.7%和10.3%相比,瓶插后3种处理的相对电导率均呈上升趋势,且中速降压处理电导率变化显著小于另两个处理($P < 0.05$)。

图3表示真空预冷过程中不同降压速率对月季切花丙二醛含量的影响。瓶插7d后,快速、中速和慢速降压速率处理的MDA含量分别为35.8、24.5和29.0nmol/g·FW,和瓶插前对应的MDA含量20.7、21.1和21.5nmol/g·FW相比明显增加,且 3.11×10^4 Pa/min降压处理下的月季切花在瓶插后的MDA含量显著高于 1.78×10^4 Pa/min和 0.62×10^4 Pa/min两处理,中速降压条件下月季切花MDA积累最少($P < 0.05$)。

从图2和图3可以看出,降压速率较大的 $3.11 \times$

10^4 Pa/min处理相比另两个处理,细胞电解质渗漏更严重,MDA积累更多,膜质过氧化水平更高。究其原因,可能由以下两方面因素造成:首先,月季切花本身在瓶插实验期内会不断衰老,自由基积累使得细胞膜结构受到一定程度的破坏,因此相对电导率和MDA含量均上升;其次,较快的降压速率可能造成了细胞膜结构的损伤^[21],而细胞膜的损伤也会加速植物组织的衰老^[22],因此 3.11×10^4 Pa/min降压处理的REC和MDA含量均高于较小降压速率处理。另外,细胞组织在 0.62×10^4 Pa/min降压预冷过程中承受着更长时间的真空低压作用,细胞膜结构受损程度大于 1.78×10^4 Pa/min处理,电解质渗漏和丙二醛积累量大于中速降压处理。

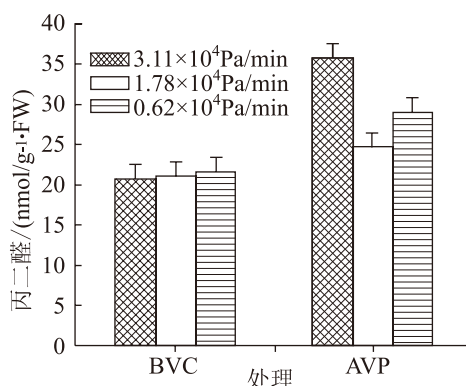


图3 不同降压速率的真空预冷处理对月季切花丙二醛含量的影响(BVC真空处理前; AVP瓶插实验后)

Fig. 3 Effects of different pressure reduction rates on MDA content of cut rose by vacuum cooling (BVC, before vacuum cooling; AVP, after vase period)

2.2 降压速率对月季切花超氧化物歧化酶活性的影响

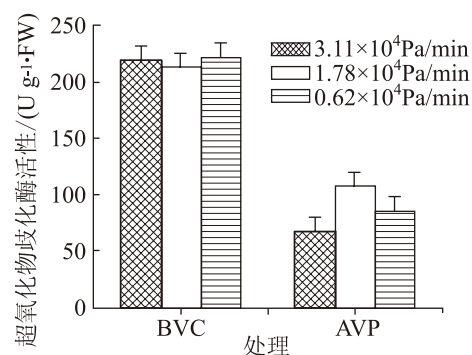


图4 不同降压速率的真空预冷处理对月季切花超氧化物歧化酶活性的影响(BVC真空处理前; AVP瓶插实验后)

Fig. 4 Effects of different pressure reduction rates on SOD activity of cut rose by vacuum cooling (BVC, before vacuum cooling; AVP, after vase period)

大量研究表明,超氧化物歧化酶是自由基清除剂之一,催化 O_2^- 发生歧化反应,缓解自由基对膜

系统的破坏。而在植物的衰老过程中,细胞内自由基的产生与清除的平衡会由于抗氧化系统,尤其是抗氧化酶的失活而受到破坏,造成自由基积累,加剧了细胞膜质的过氧化。

从图4中可以看出,快速、中速和慢速3种降压速率处理的SOD酶活性在瓶插后分别为67.3、108.6和85.6U/g·FW,和预冷前的219.0、213.1和221.8 U/g·FW相比均明显下降($P<0.05$)。瓶插后, 3.11×10^4 Pa/min降压处理的SOD活性最低, 1.78×10^4 Pa/min处理的SOD活性最高($P>0.05$)。以上结果表明,中速降压处理能够较好的维持抗氧化酶SOD的活性。

2.3 降压速率对月季切花pH的影响

真空预冷过程中不同降压速率对pH值的影响见图5。瓶插实验结束时,快速、中速和慢速降压条件下的pH值分别为7.05、6.35和6.62,相比预冷前的6.22、6.17和6.19,3种处理的pH在瓶插后均上升($P<0.05$)。其中, 3.11×10^4 Pa/min降压处理瓶插后的pH显著高于 1.78×10^4 Pa/min和 0.62×10^4 Pa/min两处理,并以 1.78×10^4 Pa/min处理为最低($P<0.05$)。有研究指出,切花在瓶插初期,其细胞中可溶性蛋白质的含量会增加,但随着瓶插天数的延长,这些可溶性蛋白质会迅速降解。而由于蛋白质的降解,细胞内的游离氨含量及碱性氨基酸增多,导致pH的上升^[23]。同时pH的变化又引起了色素或者色素复合物颜色的改变,花色蓝变就是细胞内pH上升的结果,降低了切花的品质。

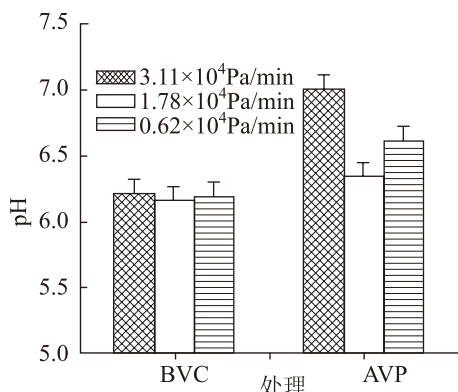


图5 不同降压速率的真空预冷处理对月季切花pH的影响
(BVC真空处理前; AVP瓶插实验后)

Fig.5 Effects of different pressure reduction rates on pH value of cut rose by vacuum cooling
(BVC, before vacuum cooling; AVP, after vase period)

2.4 降压速率对月季切花失重率的影响

水分蒸发带走处理对象的潜热以达到降温效果,是真空预冷的基本原理。在这一过程中,如果没有外部补水操作,产品内部水分的蒸发会造成其

失重。

从表2可以看出,真空预冷前后,失重率的变化也随着降压速率的不同呈显著变化($P<0.05$)。其中降压速率为 3.11×10^4 Pa/min的处理,其失重率最大,高达5.7%;中等降压速率处理其失重率最小,为3.9%。说明在实验条件下中等降压速率可以更有效地降低月季切花的水分损失,使之保持较高的新鲜度和质量。这与Brosnan和Sun^[24]在对百合切花进行真空预冷处理后得出的鲜重损失和降压速率呈正相关的结论有一定差异。表2显示,中速降压处理后的月季切花有更长的瓶插寿命,且和快速、慢速降压处理样品相比有显著性差异($P<0.05$)。

表2 不同降压速率对月季切花失重率和瓶插寿命的影响

Tab.2 Effects of different pressure reduction rates on mass loss and vase life of cut rose by vacuum cooling

降压速率/($\times 10^4$ Pa/min)	质量损失/%	瓶插寿命/d
3.11	5.7 ± 0.88^a	7.0 ± 0.25^a
1.78	3.9 ± 0.37^b	8.3 ± 0.34^b
0.62	4.5 ± 0.21^c	7.5 ± 0.30^c

注:表中数据:平均值±标准偏差(n=10),表中同一竖栏中相同字母表示无显著性差异($P<0.05$)。

3 结论

研究了不同降压速率对月季切花真空预冷效果的影响,结果表明:在实验条件下,快速降压处理下月季切花的相对电导率增加最为明显,而中速降压处理可以较好地维持细胞膜的稳定性。快速降压处理下的月季切花在瓶插后的MDA含量显著高于其他两处理,中速降压条件下月季切花MDA积累最少,膜质过氧化水平最低,失重率最小。与快速和慢速降压处理相比,中速降压处理能够较好的维持抗氧化酶SOD的活性和pH,并有效延长月季切花的瓶插寿命。

参考文献

- [1] 申江,刘洋,邹同华,等. 几种蔬菜真空预冷的对比实验研究[J]. 制冷学报, 2005, 26(3): 12-15. (Shen Jiang, Liu Yang, Zou Tonghua, et al. Comparative Experimental Study on Vacuum Pre-cooling for Several Vegetables [J]. J. Refrig., 2005, 26(3): 12-15.)
- [2] Ozturk H M, Ozturk H K. Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce [J]. Int. J. Refrig., 2008, 32(3): 402-410.
- [3] 宋小勇,李云飞,邓云,等. 鲜切花真空预冷过程温度的红外热成像检测[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 129-132, 149. (Song Xiaoyong, Li Yunfei, Deng Yun, et

- al. Temperature detection of cut flower during vacuum cooling with thermal infrared image [J]. *Trans. Chin. Soc. Agric. Machinery*, 2009, 40 (11): 129-132, 149.)
- [4] 刘洋, 李砚泉, 申江, 等. 结球白菜干耗的真空预冷实验研究[J]. *制冷学报*, 2007, 28 (1): 18-21. (Liu Yang, Li Yanquan, Shen Jiang, et al. Experimental Study on Vacuum Pre-cooling for Chinese Cabbages Weight Loss [J]. *J. Refrig.*, 2007, 28 (1): 18-21.)
- [5] 陈家盛. 真空预冷对切花不同部位温度变化及主要品质的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2010年6月.
- [6] 宋小勇, 李云飞. 真空预冷对非洲菊切花温度和瓶插寿命的影响[J]. *农业机械学报*, 2010, 41 (增刊): 167-171. (Song Xiaoyong, Li Yunfei. Effect of vacuum cooling on temperature and vases life of Gerbera cut flowers [J]. *Trans. Chin. Soc. Agric. Machinery*, 2010, 41 (suppl.): 167-171.)
- [7] Reid A, Seaton K. Cooling cut flowers and foliage[J]. *Farmnote*, 2004, No. 46.
- [8] 宋小勇, 李云飞, 陈家盛. 装载量对切花真空预冷温度和瓶插寿命的影响[J]. *制冷学报*, 2010, 31 (5): 58-62. (Song Xiaoyong, Li Yunfei, Chen Jiasheng. Effects of vacuum chamber loadage on temperature and vase life of cut rose [J]. *J. Refrig.*, 2010, 31 (5): 58-62.)
- [9] 高俊平, 孙自然, 郭康, 等. 提高切花真空预冷效果的技术措施[J]. *农业工程学报*, 1996, 12 (4): 194-198. (Gao Junping, Sun Ziran, Guo Kang, et al. Methods to accelerate vacuum cooling of cut flower [J]. *Trans. Chinese Soci. Agri. Eng.*, 1996, 12 (4): 194-198.)
- [10] Sun D W, Brosnan T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling [J]. *Int. J. Refrig.*, 1999, 22 (6): 472-478.
- [11] 陈家盛, 宋小勇, 李云飞. 装载量对月季切花真空预冷主要品质的影响[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2010, 28 (1): 76-81. (Chen Jiasheng, Song Xiaoyong, Li Yunfei. Effects of loading of vacuum treatment on the cooling quality of cut rose[J]. *J. Shanghai Jiao Tong Univ. (Agric. Sci.)*, 2010, 28 (1): 76-81.)
- [12] 宋小勇. 园艺产品真空预冷过程温度检测与品质变化研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2011年6月.
- [13] Brosnan T, Sun D W. Compensation for water Loss in vacuum-precooled cut lily flowers [J]. *J. Agr. Eng. Res.*, 2001, 79 (3): 299-305.
- [14] Rennie T J, Vigneault C, Raghavan G S V, et al. Effects of pressure reduction rate on vacuum cooled lettuce quality during storage[J]. *Can. Biosystems Eng.*, 2001, 43: 339-340.
- [15] 贺素艳. 果蔬真空预冷过程的理论模拟与实验研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2003年12月.
- [16] He S Y, Feng G P, Yang H S, et al. Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage[J]. *Postharvest Biol. Tec.*, 2004, 33 (3): 263-273.
- [17] 林植芳, 李双顺, 林桂株. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系[J]. *植物学报*, 1984, 26 (6): 605-615. (Lin Zhifang, Li Shuangshun, Lin Guizhu. Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation relation to senescence of rice leaves [J]. *Acta Bot. Sin.*, 1984, 26 (6): 605-615.)
- [18] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. *Anal. Biochem.*, 1971, 44 (1): 276-287.
- [19] Faragher J D, Mayak S. Physiological responses of cut flowers to exposure to low temperature: Changes in membrane permeability and ethylene production [J]. *J. Exp. Bot.*, 1984, 35 (7): 965-974.
- [20] 石小琼, 邓金星, 张映斌. 真空预冷技术在芋冷保鲜上的应用研究[J]. *农业工程学报*, 2001, 17 (4): 86-90. (Shi Xiaoqiong, Deng Jinxing, Zhang Yingbin. Technology of vacuum pre-cooling to keep son-taroos fresh in cold storage[J]. *Trans. Chinese Soci. Agri. Eng.*, 2001, 17 (4): 86-90.)
- [21] Self K P, Nute G R, Burfoot D, et al. Effect of pressure cooking and pressure rate change during cooling in vacuum on chicken breast quality and yield [J]. *J. Food Sci.*, 1990, 55 (6): 1531-1535, 1551.
- [22] Shomer I, Borochoy-Neori H, Luzki B, et al. Morphological, structural and membrane changes in frozen tissues of Madjhoul date (*Phoenix dactylifera* L.) fruits [J]. *Postharvest Biol. Tec.*, 1998, 14 (2): 207-215.
- [23] Halevy A H, Mayak S. Senescence and postharvest physiology of cut flower [J]. *Hortic. Rev.*, 1979, 1 (3): 204-236.
- [24] Brosnan T, Sun D W. Influence of modulated vacuum cooling on the cooling rate, mass loss and vase life of cut lily flowers [J]. *Biosyst. Eng.*, 2003, 86 (1): 45-49.

通讯作者简介

宋小勇, 男(1979-), 博士, 华北水利水电学院, (0371) 65790043, E-mail: songxiaoyong@ncwu.edu.cn. 研究方向: 食品冷链。

About the corresponding author

Song Xiaoyong (1979-), male, Ph.D, North China University of Water Conservancy and Electric Power, (0371) 65790043, E-mail: songxiaoyong@ncwu.edu.cn. Research fields: Food cold chain.