

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.Supp.036

# 真空预冷对非洲菊切花温度和瓶插寿命的影响\*

宋小勇<sup>1</sup> 李云飞<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240; 2. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

**【摘要】** 利用热红外成像远程动态控制系统, 实时检测非洲菊单支花和花束的舌状花瓣、管状花瓣、茎秆在真空预冷过程中的温度分布和变化, 并对冷藏后瓶插期间切花的鲜质量变化率、气孔导度和蒸腾速率进行分析。实验发现, 在相同降压速率、冷却时间条件下, 单支花和花束不同部位的降温速率和瓶插指标均有明显差异 ( $P < 0.05$ ), 单支花的预冷终温平均比花束低  $11.2^{\circ}\text{C}$ , 瓶插寿命比花束长  $1.7\text{ d}$ 。

**关键词:** 真空预冷 热红外成像 鲜切花

**中图分类号:** S121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)S0-0167-05

## Effect of Vacuum Cooling on Temperature and Vase Life of Gerbera Cut Flowers

Song Xiaoyong<sup>1</sup> Li Yunfei<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(2. School of Agriculture &amp; Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

### Abstract

The temperature distribution and variation of the ligule-shape petal, tubular petal and stem of individual and bunches of cut gerbera during vacuum cooling was measured by thermal infrared imaging. Relative fresh weight, stomatal conductivity and transpiration were analyzed during vase period. The results showed that the temperatures and three indexes were marked differently ( $P < 0.05$ ). The average precooling end-temperature and vase life of individual flowers were  $11.2^{\circ}\text{C}$  lower and  $1.7$  days longer than bunches of flowers respectively. This research has important value in the determination of pre-cooling end-temperature, the optimization of cooling processes and the evaluation of pre-cooling effect of different amounts of cut flowers.

**Key words** Vacuum cooling, Thermal infrared imaging, Cut flower

### 引言

花卉采摘后的呼吸、蒸腾等生命活动依然活跃<sup>[1]</sup>, 应尽快除去田间热<sup>[2]</sup>, 真空预冷是最有效的方式<sup>[3]</sup>。真空条件可加快水分的蒸发, 材料自身潜热可随水蒸气释放体外, 从而达到降温目的<sup>[4-6]</sup>。高俊平<sup>[7]</sup>、Brosnan 和 Sun 等<sup>[2]</sup>分别对玫瑰花束和单支百合真空预冷过程温度变化进行了研究, 但均采

用热电偶检测温度, 和已经得到广泛应用的热红外成像无损表面温度检测<sup>[8]</sup>相比, 传统热电偶在鲜切花真空预冷温度检测方面有其固有的局限性<sup>[9]</sup>。

宋小勇等<sup>[9]</sup>利用热红外成像技术对单支切花真空预冷不同部位的温度变化进行了比较。但对花束来说, 不同花枝诸多的花朵、茎秆、叶子本身形成的结构相对复杂的小环境对内部水蒸气的逸出和外层部位温度变化的影响, 目前还没有明确的研究结

收稿日期: 2010-07-01 修回日期: 2010-07-19

\* 国家自然科学基金资助项目(30771504)

作者简介: 宋小勇, 博士生, 主要从事食品冷链研究, E-mail: songxiaoyong@sjtu.edu.cn

通讯作者: 李云飞, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工及贮藏工程研究, E-mail: yfli@sjtu.edu.cn

果。而且,不同数量花枝真空预冷过程中不同部位降温快慢的规律,也有待研究。

非洲菊别名扶郎花,花色艳丽,装饰性强,深受消费者欢迎,是世界五大切花之一。本实验利用热红外成像对非洲菊单支和花束(20支)真空预冷过程进行实时检测,分析真空预冷过程中不同数量花枝在不同部位的温度变化规律以及瓶插期间生理反应的差异。

## 1 材料、实验装置与方法

### 1.1 材料

供试切花品种为非洲菊“金边橘红”。早上采摘花朵健壮、舌状花完全开放、管状花开放1~2轮、花径大小基本一致的花枝,在未经任何处理的情况下,及时运回实验室并直接用于实验。

### 1.2 实验装置

实验装置主要由红外工作站和 VC-2 型真空预冷机(江苏丹阳大晟保鲜工程有限公司,体积为  $2\text{ m}^3$ )组成(图1)。红外工作站包括热红外成像仪(RESEARCH-N1)和远程动态控制系统。主要技术参数:非制冷焦平面,工作波段  $8\sim 14\ \mu\text{m}$ ,视场角  $24^\circ\times 18^\circ$ ,空间分辨率  $1.3\ \text{mrad}$ ,温度分辨率  $0.08^\circ\text{C}$ ,帧频  $50\ \text{Hz}$ ,电子调焦,自动校正大气穿透率和辐射率。热红外成像仪和无线网络适配器的连接符合 IEEE 802.11bg 标准,内置黑体 LS2000-100(Electro Optical Industries, INC., Santa Barbara, California, USA)。其余组件包括:真空泵(F-26501, SOGEVAC, France);压力传感器(NS-P-11,精度为  $10^{-3}\ \text{F}\cdot\text{S}$ ,上海天沐传感器有限公司)和称量传感器(NS-TH5,精度为  $10^{-2}\ \text{g}$ ,上海天沐传感器有限公司);LabView 数据采集系统和1个16位8通道数据采集模块(ADAM-4018, Advantech,

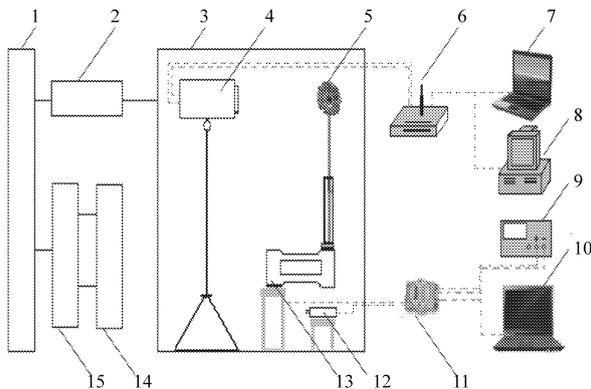


图1 实验装置原理图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

1. 控制系统 2. 真空机组 3. 真空室 4. 红外热成像仪 5. 鲜切花 6. 无线路由器 7. 局域网 8. 服务器 9. 直流稳压电源 10. 计算机 11. 数据采集模块 12. 压力传感器 13. 称量传感器 14. 捕水器 15. 制冷机组

Taiwan)相连接。

### 1.3 方法

把非洲菊竖直放置于固定在称量传感器上的塑料量筒内,在  $17.804\ \text{kPa}/\text{min}$  的降压速率下对切花进行真空预冷,时间设定为  $246\ \text{s}$ 。用热红外成像仪实时检测花瓣和茎秆温度。试验重复3次。把预冷后的切花用湿报纸包裹后置入冰箱(BINDER, D-78532 Tuttlingen, Germany),在  $1^\circ\text{C}$  条件下冷藏3天。用锋利的刀片把冷藏后的切花茎秆在水中斜切  $45^\circ$ ,保留茎秆长度  $35\ \text{cm}$ 。然后置于盛有双蒸水的试管中进行瓶插观察,实验在上海交通大学人工气候室进行,模拟环境条件为:温度  $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度  $(60\pm 10)\%$ ,白色冷荧光灯,辐照度  $15\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  光照强度,每  $1\ \text{d}$  光照时间为  $12\ \text{h}$ 。为有效捕捉水蒸气,在试验前使冷凝器温度降至  $-15^\circ\text{C}$ 。数据采集系统和真空泵同时开启,用热红外成像仪对温度进行实时检测,而真空室压强的采样间隔为  $2\ \text{s}$ 。

冷藏后的切花去除包装并称量。在进行瓶插观察前,用锋利的刀片在水中斜切  $45^\circ$  保留菊茎秆长  $35\ \text{cm}$  并称量。冷藏后的质量视为初始鲜质量<sup>[10]</sup>,瓶插期间切花鲜质量于每天上午  $11:00$  测量,相对鲜质量变化修正公式<sup>[11]</sup>

$$a = \left( \frac{b}{c} \right) \left( \frac{d}{e} \right)$$

式中  $a$ ——相对鲜质量, %

$b$ ——测定日鲜质量,  $\text{g}$

$c$ ——初始鲜质量,  $\text{g}$

$d$ ——剪切前鲜质量,  $\text{g}$

$e$ ——剪切后鲜质量,  $\text{g}$

瓶插期间,每隔  $1\ \text{d}$  随机选取3片外层花瓣,在相同的位置用 LI-COR 稳态气孔计(Model LI-6400, Lambda Instruments Co., Inc., Lincoln, NB, USA)测定花瓣的气孔导度和蒸腾速率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 时间趋势分析

图2为随机选择的单支非洲菊在预冷开始后  $71\ \text{s}$  和非洲菊花束在预冷开始时的红外热像图,以及预冷过程中不同部位的温度变化曲线。图中 L01 表示茎秆, C01 表示管状花瓣, A01 表示舌状花瓣。可以看出,舌状花瓣、管状花瓣、茎秆之间的温度有明显差异。花瓣的温度分布不均匀,舌状花瓣温度最低,管状花瓣温度最高。单支花最大温差出现在管状花瓣和舌状花瓣之间,为  $10.1^\circ\text{C}$ 。花束最大温差出现在舌状花瓣和茎秆之间,为  $5.2^\circ\text{C}$ 。

从图2看出,因为采摘地温度不同<sup>[12]</sup>,舌状花瓣、管状花瓣和茎秆的初温稍有差异。对单支花和花束,在实验开始的前34 s和19 s,切花表面有相对

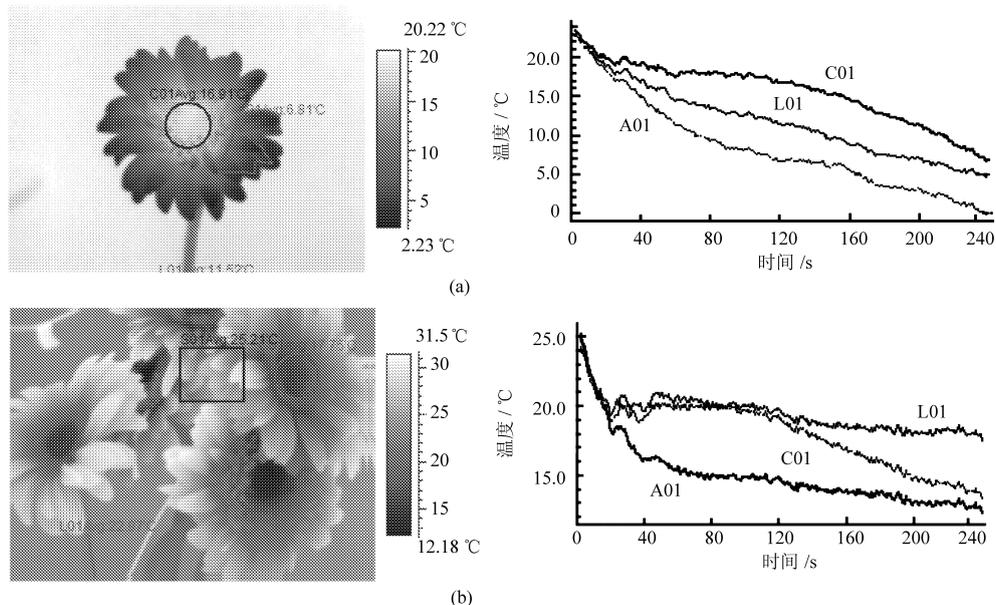


图2 真空预冷过程中基于红外热成像检测的单支花和花束的舌状花瓣、管状花瓣和茎秆的温度变化曲线  
Fig.2 Temperature profiles of ligule-shape petal, tubular petal and stem of individual and bunches of garberas during vacuum cooling based on thermal infrared image

(a) 单支花 (b) 花束

真空预冷有别于其他传统预冷方式的最大特点就是可以使样品在短时间内快速降温,因为蒸发传热速率是传导传热速率的16倍多<sup>[13]</sup>。快速降温之后,管状花瓣组成的紧密结构使蒸发出的水蒸气难以及时散失到周围空间,此时管状花内部的温度传递主要依靠导热<sup>[14]</sup>,受此影响,管状花瓣的降温速率明显减缓。图2a表明,在第34 s后的111 s内,单支花管状花瓣温度从19.7°C降至16.9°C,而在同样的时间内,茎秆和舌状花瓣则分别从18.1、17.1°C降至11.5、6.8°C。从第145 s开始,管状花瓣内聚集的水蒸气刚好作为下阶段的蒸发介质,管状花瓣温度再次快速下降,至实验结束的101 s内,温度变化量为11.8°C,而茎秆和舌状花瓣的温度则持续下降,但因表面自由水的减少,降温速率比较缓慢,在相同时间内的温度变化量分别为6.5°C和6.8°C。

由图2b可看出,与单支花预冷相比,在经历最初快速降温之后,花束的管状花瓣和茎秆的温度均有一个明显的回温过程,分别从19.1、19.4°C升高至19.9、20.7°C(第46 s)。从第84 s开始,管状花瓣降温速率因聚集水蒸气的蒸发而明显加快,茎秆降温速率因表面自由水的大量减少而显著减缓。

从整个预冷过程来看,单支花不同部位的平均降温速率由快至慢分别是舌状花瓣、茎秆、管状花瓣,预冷终温分别为0、5.0、5.2°C。而花束不同部

充足的自由水,不同部位降温速率较快。花束预冷过程中的因真空室自由体积比单支花小,导致花束的降温速率比单支花快。

位平均降温速率由快至慢分别是舌状花瓣、管状花瓣、茎秆,预冷终温分别为12.6、13.6、17.8°C。由以上分析可知,在相同的预冷时间(246 s)内,单支花和花束降温速率不同,不同部位的预冷终温和平均降温速率存在较大差异。可以推断,非洲菊花束诸多的花朵、茎秆形成的结构相对复杂的小环境对内部水蒸气的逸出和外层部位的温度变化有较大影响。预冷结束时,单支花和花束的平均温度分别为3.4°C和14.6°C,而温度是影响瓶插寿命的主要因素,这和二者瓶插寿命实验结果(表1)是一致的。

表1 真空预冷对单支花和花束质量损失以及瓶插期的影响  
Tab.1 Comparison of fresh weight and vase life of individual and bunches of flowers as affected by vacuum cooling

样品	真空预冷质量损失/%	瓶插寿命/d
单支花	4.2 ± 0.14	9.2 ± 0.18
花束	3.3 ± 0.21	7.5 ± 0.32
对照组*		6.0 ± 0.36

注: \* 未经真空预冷而直接进行冷藏处理。

## 2.2 真空预冷质量损失和瓶插寿命

真空预冷是以质量损失为代价的<sup>[15]</sup>。由表1可知,在相同时间的冷却过程中,单支花的质量损失为4.2%,高于花束的3.3%。由图2可知,花束的

预冷终温(平均值)高于单支花,而温度降低是真空条件下水分蒸发带走自身潜热所致,显然预冷终温低的切花质量损失较大。由表1可以清楚看出,经过真空预冷和冷藏的鲜切花的瓶插寿命得到明显提高,这与Sun等<sup>[12]</sup>对水仙的研究结论是一致的。单支花的瓶插寿命为9.2 d,比花束的7.5 d提高23%,1.7 d在鲜切花实际生产中是一个明显的差距,有较大的商业价值。

### 2.3 瓶插期间切花相对鲜质量

由图3可知,切花在瓶插期间的鲜质量变化可以分为增加和减少两个阶段。对照组、单支花和花束鲜质量分别在前1、3、2 d增加,分别达到最大值105%、115%和109%,而之后的5、6、5 d则持续降低,直至瓶插结束时的64%、78%和70%。对照组鲜质量降低最大,为36%。和花束相比,单支花的鲜质量降低较小,为22%。切花要保持其鲜活度和品质,就必须保持较高的水分含量和膨胀状态,否则,切花就会凋谢、死亡。鲜切花离体后,叶面蒸腾与根系吸水之间的水分平衡被破坏,导致蒸腾量大于吸水量,造成水分亏缺。

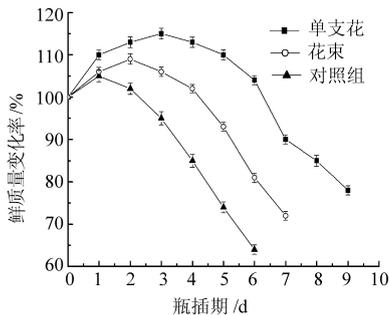


图3 瓶插期间单支花和花束相对鲜质量比较  
Fig. 3 Relative fresh weight of individual and bunches of flowers during vase life after vacuum cooling and cold storage

### 2.4 瓶插期间切花气孔导度和蒸腾速率

单支花和花束在瓶插期间气孔导度和蒸腾速率的变化趋势见图4、5。气孔活动是植物调节与环境之间热作用的主要途径之一<sup>[16-17]</sup>。对照组切花在瓶插期间从 $0.029 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 快速下降至 $0.011 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,而单支花和花束对应下降速率较慢,二者的气孔导度在最初的2 d增加,随后开始减小。图4表明,在整个瓶插期间,单支花气孔导度的下降速率小于花束,在9.2 d和7.5 d时间内的变化量分别为 $0.005 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $0.010 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由图5看出,单支花和花束从冰箱取出后,因瓶插环境的相对高温( $20^\circ\text{C}$ ),蒸腾速率在最初的2 d分别从 $0.021$ 、 $0.026 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 增加至 $0.025$ 、 $0.027 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。2 d之后,蒸腾速率开始减小,

而且单支花的蒸腾速率小于花束。气孔开闭直接影响鲜切花的蒸腾速率<sup>[18-20]</sup>,气孔关闭是植物衰老的一个标志<sup>[21-22]</sup>,对照组切花气孔导度和蒸腾速率下降最快,单支花气孔导度和蒸腾速率下降最慢,与之对应,对照组和单支花的瓶插期也分别为最短和最长。实验结果表明,真空预冷和冷藏可有效减缓切花气孔关闭和蒸腾速率下降,延长瓶插期。结合图4、5,发现非洲菊花瓣气孔导度与蒸腾速率正相关。

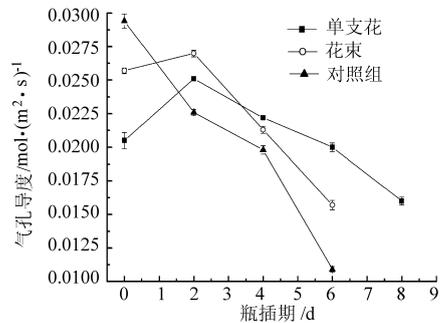


图4 单支花和花束在瓶插期间的气孔导度  
Fig. 4 Stomatal conductivity of individual and bunches of flowers during vase life

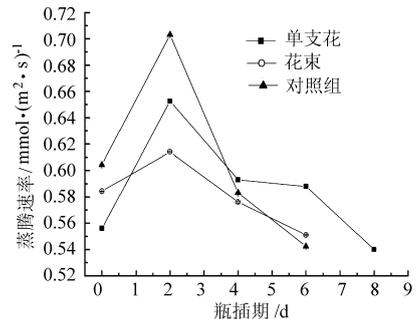


图5 单支花和花束在瓶插期间的蒸腾速率  
Fig. 5 Transpiration of individual and bunches of flowers during vase life

## 3 结束语

研究了非洲菊单支花和花束真空预冷过程中不同部位的温度变化,并对瓶插期间鲜质量、气孔导度和蒸腾速率进行分析。在相同的预冷时间内,单支花和花束不同部位的平均降温速率快慢顺序不同。单支花在瓶插期间的鲜质量、气孔导度和蒸腾速率变化率均小于花束,与之对应,二者的瓶插寿命分别为9.2 d和7.5 d。结果表明,对不同数量的预冷切花,采用红外热成像技术对不同部位的温度变化进行实时分析,可及时判定降温最快的部位,并准确确定预冷终温,利于预冷工艺的选择和预冷效果的评价。推测非洲菊花束诸多的花朵、茎秆形成的结构相对复杂的小环境对内部水蒸气的逸出和外层部位的温度变化有较大影响。在以后的工作中,将继续

对范围更广的不同数量花枝进行真空预冷处理,比较在温度和主要品质方面的差异性规律表现,并通过对花束内部温度场进行数值模拟分析给出合理解释。

### 参 考 文 献

- 1 Brosnan T, Sun D W. Precooling techniques and applications—a review [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2001, 24(2):154~170.
- 2 Brosnan T, Sun D W. Compensation for water loss in vacuum-precooled cut lily flowers [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 79(3):299~305.
- 3 Reid A, Seaton K. Cooling cut flowers and foliage [R]. Department of Agriculture, Government of Western Australia, Farmnote, No.46/2004.
- 4 贺素艳,王德昌,马永志. 真空预冷实验装置计算机检测系统[J]. *农业机械学报*,2009,40(10):111~113.  
He Suyan, Wang Dechang, Ma Yongzhi. Establishment of the system of microcomputer monitoring and measurement of vacuum precooking equipment[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(11):111~113. (in Chinese)
- 5 McDonald K, Sun D W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review [J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 45(2):55~65.
- 6 Ozturk H M, Ozturk H K. Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2009, 32(3):402~410.
- 7 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]. *Transactions of the CSAE*, 1996,12(4):194~198. (in Chinese)
- 8 Bajons P, Klinger G, Schlosser V. Determination of stomatal conductance by means of infrared thermography [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2005, 46(5):429~439.
- 9 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.  
Song Xiaoyong, Li Yunfei, Deng Yun, et al. Temperature detection of cut flower during vacuum cooling with thermal infrared image [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(11):129~132. (in Chinese)
- 10 Oyce D C, Meara S A, Hetherington S E, et al. Effects of cold storage on cut *Grevillea* 'Sylvia' inflorescences [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 18(1):49~56.
- 11 Ichimura K, Shimizu-Yumoto H. Extension of the vase life of cut rose by treatment with sucrose before and during simulated transport [J]. *Bulletin of the National Institute of Floricultural Science*, 2007, 7:17~27.
- 12 Sun D W, Brosnan T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling [J]. *International Journal of Refrigeration*, 1999, 22(6):472~478.
- 13 Sun D W, Zheng L Y. Vacuum cooling technology for the agro-food industry: Past, present and future [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77(2):203~214.
- 14 Chaerle L, Van Der Straeten D. Seeing is believing: imaging techniques to monitor plant health [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2001, 1519:153~166.
- 15 刘芬,张爱萍,刘东红. 真空预冷处理对青花菜贮藏期间生理活性的影响[J]. *农业机械学报*,2009,40(10):106~110.  
Liu Fen, Zhang Aiping, Liu Donghong. Effect of vacuum pre-cooling on physiological activities of broccoli during storage [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(10):106~110. (in Chinese)
- 16 Monteith J L, Unsworth M H. Principles of Environmental Physics [M]. 2nd ed., E. Arnold, London, New York, Melbourne, Auckland, 1992, transferred to digital printing; Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001.
- 17 Jones H G. Plants and microclimate [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- 18 Hu Y X, Doi M, Imanishi H. Competitive water relations between leaves and flower bud during transport of cut roses [J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1998, 67(4):532~536.
- 19 Kohl H C, Rundle D L. Decreasing water loss of cut roses with abscisic acid [J]. *Hort Science*, 1972, 7(2):249.
- 20 Halevy A H, Mayak S. Opposing effects of abscisic acid on the senescence of rose flowers [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1974, 15(5):813~821.
- 21 Serek M, Jones R B, Reid M S. Pulsing with Triton X-100 improves hydration and vase life of cut sunflowers (*Helianthus annuus* L.) [J]. *Hort Science*, 1993, 28(12):1178~1179.
- 22 King A I, Reid M S. Diurnal chilling sensitivity and desiccation in seedlings of tomato [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1987, 112(5):821~824.