

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.01.026

# 自动自发气调箱贮藏对甜樱桃品质及抗氧化酶的影响\*

王宝刚 侯玉茹 李文生 冯晓元 杨军军 张开春

(北京市农林科学院林业果树研究所, 北京 100093)

**摘要:** 以艳阳樱桃为试材,研究了气调箱保鲜处理对甜樱桃果实贮藏品质变化的影响以及抗氧化酶的调控。结果表明:甜樱桃果实在贮藏30 d后,气调箱内CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>体积分数分别维持在11%~12%和9%~10%。经气调箱贮藏的甜樱桃果实硬度在各个贮藏时期均高于对照果实,并且,它保持了果实中较高的维生素C含量,有效地延缓了可溶性固形物含量的下降,诱导了贮藏前期果实中过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶及抗坏血酸过氧化物酶活性。气调箱贮藏延缓了果实的pH值、花青素和总酚含量的升高。气调箱贮藏最明显的效果是降低了甜樱桃果实的病害发生率,在(0±0.5)℃贮藏60 d后仍具有较好的感官品质。

**关键词:** 甜樱桃 保鲜 品质 抗氧化酶 自动自发气调箱

中图分类号: S609<sup>\*</sup>.3; S662.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)01-0137-05

## Effects of Auto-MA Box on Qualities and Antioxidative Enzymes in Sweet Cherry Fruit during Storage

Wang Baogang Hou Yuru Li Wensheng Feng Xiaoyuan Yang Junjun Zhang Kaichun

(Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** Sweet cherry fruit (*Prunus avium* L. cv. Sunburst) were held into auto-modified atmosphere box (MAB). The postharvest qualities and antioxidative enzymes of sweet cherry fruit were investigated at interval. Results showed that CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentration in MAB were kept at about 11%~12% and 9%~10% after 30 d of storage of sweet cherry fruit. Firmness in fruit stored in MAB was higher than those in control during storage. MAB treatment maintained the higher Vitamin C content, and was effective in inhibition of the declining of soluble solids content in contrast to control, and increased peroxidase (POD), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) activity in the early storage. But MAB treatment delayed the increase of pH value, anthocyanin and total phenol content of sweet cherry fruit. MAB treatment inhibited significantly the decay incidence of sweet cherry fruit during storage. The sweet cherry fruit treated by MAB still had good sensory quality significantly after 60 d of storage.

**Key words:** Sweet cherry Preservation Quality Antioxidative enzymes Auto-MA box

### 引言

甜樱桃(*Prunus avium* L.),又称大樱桃,是落叶果树中成熟较早的优质高档鲜食水果之一。但甜樱桃属于不耐贮运的水果,并且采收期正值高温季节,极易出现果实软化、褐变、腐烂变质等现象,给生产

者和销售者造成极大损失<sup>[1-2]</sup>。因此,甜樱桃的贮藏保鲜技术日益被人们重视。近年来,国内外研究人员在甜樱桃的采后生理和贮藏保鲜技术方面进行了大量的研究。有关报道显示,甜樱桃在温度为0℃,相对湿度为90%~95%的条件下可贮藏30~40 d,并保持果柄绿色以及果实新鲜<sup>[3-4]</sup>。随着贮

收稿日期: 2012-06-25 修回日期: 2012-08-14

\* 公益性行业(农业)科研专项(200903019、201303075)和北京市农林科学院科技创新能力建设专项资助项目(KJCX201102004)

作者简介: 王宝刚,副研究员,主要从事果品贮藏与加工技术研究,E-mail: wangbg\_8124@yahoo.cn

通讯作者: 冯晓元,研究员,主要从事果品贮藏、加工及质量安全技术研究,E-mail: xyfeng@yahoo.cn

藏时间的延长,甜樱桃果实果肉褐变,营养成分损耗,导致果实风味劣变,严重影响了果实的品质<sup>[5-7]</sup>。目前,气调贮藏对甜樱桃的贮藏保鲜效果较为明显<sup>[8-10]</sup>。其中,气调箱贮藏具有成本低、便于操作的优点,被广泛应用于各类果蔬的贮藏保鲜。有研究显示,气调箱贮藏可以保持樱桃果实良好的贮藏品质,并且在充气条件下利用果实呼吸过程中自发产生的CO<sub>2</sub>即可达到较好效果<sup>[11-12]</sup>。本文采用自动自发气调箱对甜樱桃进行贮藏,研究其贮藏品质以及过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的变化情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

供试甜樱桃品种为艳阳(*Prunus avium* L. cv. Sunburst),2011年6月采自北京市农林科学院林业果树研究所樱桃栽培基地。果实采收以后,挑选大小和色泽相近、无机械伤、无病虫害的果实,于(0±0.5)℃预冷12h后,进行如下处理:

(1)自动自发气调保鲜箱处理。将甜樱桃果实装入塑料盒中,每盒约0.5kg,然后放入气调保鲜箱中,每个气调保鲜箱中放12盒。

(2)对照。将甜樱桃果实装入塑料盒中,每盒约0.5kg,然后放入纸箱中,每箱12盒。所有果实贮藏于(0±0.5)℃冷库,贮藏80d,定期取样,测定果实贮藏品质及抗氧化酶活性变化情况,并在贮藏40、60和80d时,统计果实病害发生率。

CA4-1型气调保鲜箱结构如图1所示,北京恒青园科技有限公司生产,尺寸为50cm×30cm×28cm,顶部和侧壁配有充气口(直径为1cm,本试验中不需要充气,因此充气口处于封闭状态)和气调嘴(左右各一个,直径为1cm,位于气调箱侧面中部),并可通过气调嘴进行箱内外气体交换。

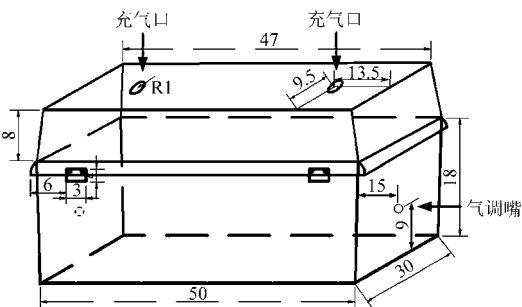


图1 自动自发气调箱示意图

Fig.1 Schematic diagram of auto-MA box

### 1.2 试验方法

果肉硬度采用意大利 Facchini FT02 型硬度计

(探头直径3mm)测定;果肉pH值采用上海雷磁仪器厂产PHS-3C型精密pH计测定;可溶性固形物含量采用日本ATAGO PAL-1型折光仪测定;维生素C含量采用2,4-二硝基苯肼比色法测定;花青素含量采用示差法测定;总酚含量采用福林酚法测定;果实病害发生率统计以果实表面可见病斑面积大于0.5m<sup>2</sup>视为发病。POD、CAT、SOD和APX采用曹建康等<sup>[13]</sup>的方法测定。

### 1.3 数据处理

应用Excel 2003软件对试验数据进行绘图及分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 樱桃贮藏过程中气调箱内气体成分变化

由图2结果显示,艳阳樱桃气调贮藏过程中,气调箱内O<sub>2</sub>体积分数逐渐下降,到贮藏30d后基本维持平衡状态,为9.0%~10%之间。而CO<sub>2</sub>体积分数在经过快速的增长以后,到30d后也基本处于平衡状态,为11.0%~12.0%。在贮藏30d后CO<sub>2</sub>与O<sub>2</sub>的体积比基本处于1.1~1.2的水平,这个比例可能对维持艳阳樱桃的正常生理活动非常重要。

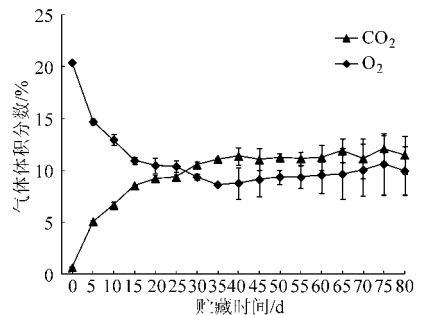


图2 樱桃贮藏过程中气调箱内气体变化

Fig.2 Changes of atmosphere in auto-MA (MAB) box during storage of sweet cherry

### 2.2 气调箱贮藏对果实品质的影响

从图3可以看出,在每个贮藏期,气调箱贮藏的艳阳果实硬度都高于对照果实。贮藏80d时,气调箱贮藏果实的硬度比对照果实高出28.13%。从试验结果可以明显看出,气调箱贮藏可以有效保持甜樱桃果实的硬度。在贮藏前期,气调箱贮藏的果实可溶性固形物含量低于对照果实,而贮藏60d之后,对照果实中可溶性固形物含量下降较快,并低于气调箱贮藏果实。结果表明,气调箱对抑制甜樱桃果实贮藏后期可溶性固形物含量的下降起到了明显的作用。贮藏过程中,气调箱贮藏延缓了果实pH值的升高。在贮藏初期,果实pH值为3.61。贮藏80d时,气调箱贮藏果实和对照果实的pH值分别比贮藏初期pH值高7.20%和11.08%。贮藏过程

中,果实中的维生素 C 会在维生素酶的作用下逐渐分解,含量逐渐降低。贮藏 40 d 以后,果实中维生素 C 含量呈现下降趋势。贮藏过程中,气调箱贮藏的果实维生素 C 含量高于对照果实 12.47% ~ 49.18%。贮藏初期,果实中维生素 C 质量比为 11.41 mg/(100 g),贮藏 80 d 时,对照果实维生素 C 含量比贮藏初期下降了 50.04%,而气调箱贮藏的果实维生素 C 含量仅下降 25.46%。试验结果表明,气调箱贮藏可以有效地延缓维生素 C 的损失。

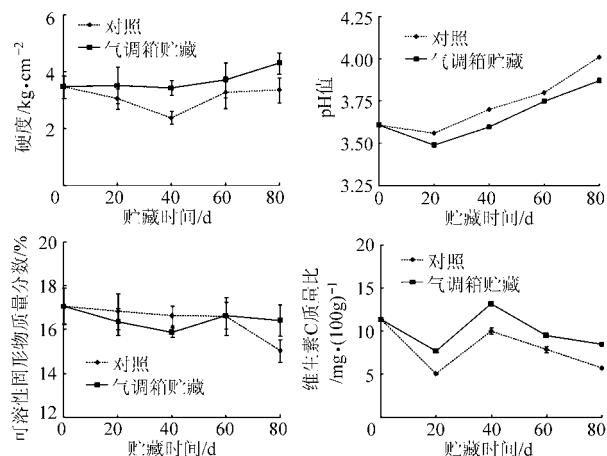


图 3 气调箱贮藏对甜樱桃果实品质的影响

Fig. 3 Effects of MAB storage on qualities of sweet cherry fruit

### 2.3 气调箱贮藏对果实中花青素和总酚含量的影响

如图 4 所示,贮藏过程中果实中花青素和总酚含量总体呈现上升的趋势,气调箱贮藏显著延缓了果实花青素和总酚含量的升高。气调箱贮藏果实的花青素含量比对照果低 29.64% ~ 68.75%,并且,随着贮藏时间的延长,其升高幅度不如对照果实明显。贮藏过程中果实的总酚含量呈现先升高再降低的趋势,气调箱贮藏果实的总酚含量比对照果实低 11.33% ~ 37.97%,并且,在贮藏期间,其总酚含量变化幅度不如对照果实明显。贮藏初期总酚质量比为 56.74 mg/(100 g),贮藏 60 d 时,总酚含量最高,气调箱贮藏果实和对照果总酚含量分别是贮藏初期的 1.28 倍和 2.06 倍,而贮藏 80 d 时,果实总酚含量分别比贮藏初期低 32.34% 和 11.52%。

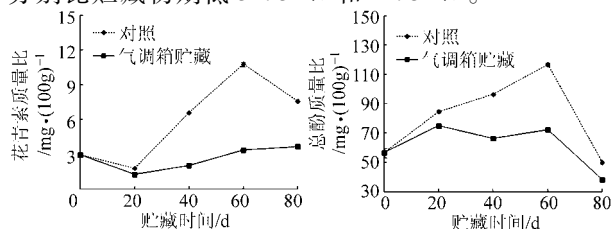


图 4 气调箱贮藏对樱桃果实花青素和总酚含量的影响

Fig. 4 Effects of MAB storage on anthocyanin and total phenol content of sweet cherry fruit

### 2.4 气调箱贮藏对果实病害发生率的影响

从表 1 可以看出,果实病害发生率随着贮藏时间的延长呈现逐渐上升的趋势,其中,气调箱贮藏的果实病害发生率明显比对照果低,且升高幅度较小。在贮藏 80 d 时,气调箱贮藏果实的病害发生率仅是对照果的 28.46%。试验结果表明,气调箱贮藏可以显著降低果实的病害发生率。

表 1 气调箱贮藏对樱桃果实病害发生率的影响

Tab. 1 Effects of MAB storage on disease incidence of sweet cherry fruit

贮藏时间/d	病害发生率/%	
	对照	气调箱贮藏
40	6.25	2.70
60	12.50	9.23
80	61.11	17.39

### 2.5 气调箱贮藏对果实抗氧化酶的调控

如图 5 所示,贮藏期内果实体内过氧化物酶活性呈现上升的趋势。气调箱贮藏明显促进了艳阳樱桃果实贮藏期间 POD 活性的上升,贮藏 80 d 时,气调箱贮藏果实的 POD 活性比对照果高 20.33%。贮藏期内气调箱贮藏和对照果实中过氧化氢酶(CAT)活性呈现缓慢上升的趋势。贮藏 20 d 和 60 d 时,气调箱贮藏诱导了樱桃果实中的 CAT 活性,但在 40 d 和 80 d 时,却抑制了 CAT 活性。樱桃果实贮藏过程中,抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性呈现先上升再下降的趋势。贮藏 60 d 内,气调箱贮藏诱导了 APX 活性,但 60 d 之后,对照果实中 APX 活性略有上升,而气调箱贮藏的果实中

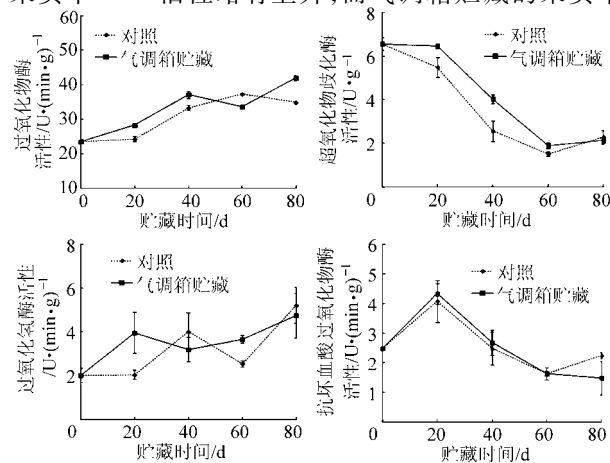


图 5 气调箱贮藏对樱桃果实抗氧化酶活性影响曲线

Fig. 5 Effects of MAB storage on antioxidative enzymes activity of sweet cherry fruit

APX 活性比对照果实低 33.47%。

### 3 讨论

#### 3.1 气调箱贮藏对樱桃贮存环境气体组分的影响

甜樱桃果实较耐高体积分数的  $\text{CO}_2$ 。本文中, 艳阳樱桃在贮藏 30 d 后, 气调箱内  $\text{CO}_2$  体积分数基本维持在 11% ~ 12.0%, 而  $\text{O}_2$  体积分数维持在 9% ~ 10.0%, 这个气体组分对维持果实正常的生理代谢至关重要, 当然这取决于樱桃的品种和气调箱内果实的质量 (8 kg)。以前的研究结果显示, 美早和萨米脱樱桃贮藏适宜  $\text{CO}_2$  体积分数为 12% ~ 15%<sup>[12]</sup>。类似的研究显示, 红灯樱桃的适宜  $\text{CO}_2$  体积分数为 12% ~ 14%<sup>[14]</sup>。

#### 3.2 气调箱贮藏对樱桃果实品质的影响

本文结果表明, 气调箱贮藏保持了较高的果实硬度, 这与乙烯的释放有很大的关联性。 $\text{CO}_2$  作为乙烯的竞争性抑制剂, 可较多地与乙烯受体结合, 阻碍了乙烯与受体的结合, 降低了乙烯的生理作用, 延缓可溶性果胶的过快增加, 从而保持了较高的果实硬度<sup>[15]</sup>。果实糖分的含量是果实品质的一个重要构成因素。有研究表明, 在贮藏过程中, 随着果实的衰老, 可溶性固形物含量呈下降趋势<sup>[16]</sup>, 这是由于呼吸作用的进行, 糖分受到一定程度的消耗, 而随着贮藏时间的延长, 糖分消耗增多, 品质也随之下降。本研究结果表明, 气调箱贮藏降低了贮藏前期果实中可溶性固形物含量, 但却维持了贮藏后期果实中可溶性固形物含量。果实 pH 值是影响果实风味品质的重要因素。气调箱贮藏可以保持较低的 pH 值, 可能是由于  $\text{CO}_2$  提高了果实细胞内  $\text{H}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  浓度的原因<sup>[17]</sup>。气调箱贮藏有效地抑制果实的病害发生率, 可能是由于气调箱内积累的高浓度  $\text{CO}_2$  抑制了果实表面微生物的生长<sup>[18-19]</sup>。

气调贮藏能明显地延缓果实维生素 C 的降低<sup>[8,12,17]</sup>。本文中, 气调箱贮藏保持了甜樱桃果实较高的维生素 C 含量, 延缓了其降低, 这与以往的研究结果一致。随着贮藏时间的延长, 甜樱桃果实花青素和总酚含量增加升高<sup>[6,20]</sup>, 本研究结果也得出了类似的结果。甜樱桃贮藏期间花青素的增加可能主要与矢车菊-3-葡糖苷含量增加有关<sup>[20]</sup>, 气调箱

贮藏延缓甜樱桃花青素水平升高可能与抑制其合成代谢有关。甜樱桃贮藏过程中的总酚含量几乎 50% 归功于花色苷类物质<sup>[21]</sup>。甜樱桃总酚含量的变化趋势及气调箱对总酚的影响作用与花青素类似, 进一步的研究需要阐明气调作用对花青素和酚类物质组分的影响。

#### 3.3 气调箱贮藏对果实抗氧化酶活性的调控

果实的成熟和衰老与活性氧有着密切的关系, 往往伴随着活性氧 ( $\text{O}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}_2$  等) 的大量积累, 如果这些活性氧没有及时清除, 就会导致植物器官和组织处于氧化胁迫中, 诱发膜不饱和脂肪酸的过氧化, 致使新陈代谢紊乱, 细胞膜松弛<sup>[22]</sup>。POD、CAT、SOD 及 APX 等是活性氧清除酶系统的重要保护酶, 它们能有效地阻止高浓度氧的积累, 防止膜脂的过氧化, 延缓植物的衰老, 使植物维持正常的生长和发育。POD 主要催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  和有机过氧化物, 从而加速了植物细胞内多种有机物和无机物的氧化分解。本文中, 气调箱贮藏促进了甜樱桃果实 POD 活性的上升。CAT 是植物细胞内  $\text{H}_2\text{O}_2$  的直接清除酶, 但清除效率非常低<sup>[23]</sup>。植物本身对  $\text{O}_2^-$  的猝灭主要是通过 SOD。本文中, 气调箱贮藏诱导了果实中 SOD 活性。APX 也是植物细胞内清除  $\text{H}_2\text{O}_2$  的关键酶。本文研究结果表明, 气调箱贮藏诱导了果实贮藏前期 APX 活性。MAB 贮藏均在不同程度上提高了甜樱桃果实中 POD、SOD 及 APX 活性, 这与赵天宏等<sup>[24]</sup> 的研究结果基本相同, 表明高体积分数  $\text{CO}_2$  可以促进植物体内抗氧化酶活性的提高, 从而减轻了樱桃果实在贮藏期间因过氧化问题而造成的伤害, 提高了果实抗衰老能力。

### 4 结束语

气调箱贮藏对保持甜樱桃果实的品质有较好的效果。它可以保持艳阳樱桃果实较高的硬度, 抑制果实贮藏后期可溶性固形物含量的下降, 并有效地抑制果实的病害发生率。气调箱贮藏延缓了果实 pH 值、花青素和总酚含量的升高, 保持了较高的维生素 C 含量, 诱导了贮藏前期果实的 POD、CAT、SOD 及 APX 活性。

### 参 考 文 献

- 1 杨艳芬. 大樱桃采后生理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺, 2009(11):122 ~ 124.  
Yang Yanfen. Research advances in postharvest physiology and storage technology of cherry[J]. Northern Horticulture, 2009(11):122 ~ 124. (in Chinese)
- 2 施俊凤, 薛梦琳, 王春生, 等. 甜樱桃采后生理特性与保鲜技术的研究现状与进展[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(6):7 ~ 10.  
Shi Junfeng, Xue Menglin, Wang Chunsheng, et al. Research status and development of post-harvest physiology characteristics and storage techniques of sweet cherry[J]. Storage & Process, 2009, 9(6):7 ~ 10. (in Chinese)

- 3 钟耀广,朱蓓薇. 樱桃果实采后生理及保鲜研究[J]. 北方园艺,2004(2):67~68.  
Zhong Yaoguang, Zhu Beiwei. Study on postharvest physiology and storage of cherry[J]. Northern Horticulture, 2004(2):67~68. (in Chinese)
- 4 徐凌,郝义,郝树池,等. 甜樱桃不同品种贮藏性的研究[J]. 北方果树,2006(4):19~20.  
Xu Ling, Hao Yi, Hao Shuchi, et al. Study about storage quality of various sweet cherry cultivars[J]. Northern Fruits, 2006(4):19~20. (in Chinese)
- 5 焦中高,刘杰超,王思新. 甜樱桃采后生理与贮藏保鲜[J]. 果树学报,2003,20(6):498~502.  
Jiao Zhonggao, Liu Jiechao, Wang Sixin. Advances of research on postharvest physiology and storage technology of sweet cherry[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6):498~502. (in Chinese)
- 6 Bernalte M J, Sabio E, Hernandez M T, et al. Influence of storage delay on quality of 'Van' sweet cherry[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(2):303~312.
- 7 Meheriuk M, Girard B, Moys L, et al. Modified atmosphere packaging of 'Lapins' sweet cherry[J]. Food Research International, 1995, 28(3):239~244.
- 8 姜爱丽,何煜波,兰鑫哲,等. 动态气调贮藏对甜樱桃果实采后生理、品质和耐藏性的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(6):354~357.  
Jiang Aili, He Yubo, Lan Xinzhe, et al. Effect of dynamic controlled atmosphere on postharvest physiology quality and storability of sweet cherry fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(6):354~357. (in Chinese)
- 9 郝树池,王岩,吕仁强,等. MAP贮藏对甜樱桃品质的影响[J]. 北方果树,2007(5):4~6.  
Hao Shuchi, Wang Yan, Lü Renqiang, et al. Effects of MAP storage to the fruit quality of sweet cherry[J]. Northern Fruits, 2007(5):4~6. (in Chinese)
- 10 孙蕾,王太明,刘元铅,等. 甜樱桃自发气调(MAP)贮藏技术[J]. 保鲜与加工,2005,5(2):28~30.  
Sun Lei, Wang Taiming, Liu Yuanqian, et al. Study on MAP storage technology of pioneer cherry[J]. Storage & Process, 2005, 5(2):28~30. (in Chinese)
- 11 李文生,王宝刚,冯晓元,等. 利用气调箱保鲜甜樱桃的初步研究[J]. 食品科技,2011,36(2):24~30.  
Li Wensheng, Wang Baogang, Feng Xiaoyuan, et al. Study on storage of sweet cherry fruit by auto-controlling atmosphere box[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(2):24~30. (in Chinese)
- 12 王宝刚,李文生,冯晓元,等. 气调箱贮藏甜樱桃品质变化研究[J]. 中国农学通报,2011,27(30):253~257.  
Wang Baogang, Li Wensheng, Feng Xiaoyuan, et al. Changes of qualities in sweet cherry stored with CA box[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30):253~257. (in Chinese)
- 13 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
- 14 黄永红,薛云东,杨娟侠. 柔性气调库中CO<sub>2</sub>浓度对红灯樱桃果实品质和耐藏性的影响[J]. 山东林业科技,2007(5):61~62.
- 15 王伟,刘红锦,王毓宁,等. 气调贮藏对金太阳杏贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报,2011,27(2):396~400.  
Wang Wei, Liu Hongjin, Wang Yuning, et al. Effects of controlled atmosphere on quality of golden-sun apricot during storage[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(2):396~400. (in Chinese)
- 16 Kappel F, Toivonen P, Mckenzie D L, et al. Storage characteristics of new sweet cherry cultivars[J]. HortScience, 2002, 37(1):139~143.
- 17 Harker F R, Elgar H J, Watkins C B, et al. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 19(2):139~146.
- 18 Amanatidou A, Smid E J, Gorris L G M. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated micro-organisms[J]. Journal of Applied Microbiology, 1999, 86(3):429~438.
- 19 Tian S, Fan Q, Xu Y, et al. Evaluation of the use of high CO<sub>2</sub> concentrations and cold storage to control *Monilinia fructicola* on sweet cherries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 22(1):53~60.
- 20 Gonçalves B, Landbl A K, Knudsen D, et al. Effect of ripeness and postharvest storage on the phenolic profiles of cherries (*Prunus avium* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(3):523~530.
- 21 Gonçalves B, Silva A P, Moutinho-Pereira J, et al. Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.) [J]. Food Chemistry, 2007,103(3):976~984.
- 22 Perez A G, Sanz C, Olias R, et al. Lipoygenase and hydroperoxide lyase activities in ripening strawberry fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(1):249~253.
- 23 Asada K. The water-water cycle in chloroplasts:scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1999, 50:601~639.
- 24 赵天宏,孙加伟,赵艺欣,等. CO<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>浓度升高及其复合作用对玉米(*Zea mays* L.)活性氧代谢及抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报,2008,28(8):3644~3653.  
Zhao Tianhong, Sun Jiawei, Zhao Yixin, et al. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentration and combined on ROS metabolism and anti-oxidative enzymes activities of maize (*Zea mays* L.) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8):3644~3653. (in Chinese)