

# 不同产地和 1-MCP、MAP 处理对安梨贮藏品质的影响

王志华<sup>1</sup>, 陈颖<sup>2</sup>, 王文辉<sup>1</sup>, 姜云斌<sup>1</sup>, 佟伟<sup>1</sup>, 贾朝爽<sup>1</sup>, 李江阔<sup>3</sup>

(1. 中国农业科学院果树研究所, 辽宁 兴城 125100; 2. 天津市林业果树研究所, 天津 300384;  
3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津 300384)

**摘要:** 目的 比较不同产地安梨果实的贮藏品质, 探索采用不同浓度 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理方法和薄膜包装对安梨黑皮病的防控效果。方法 以辽宁海城、绥中、天津蓟县产的安梨果实为实验材料, 在低温( $0\pm 0.5$ )℃条件下冷藏 180 d, 之后在 20℃货架下平衡 24 h 和放置 7 d, 然后对 3 个产地安梨果实的贮藏品质进行测定, 同时对天津蓟县产安梨进行了不同浓度(0, 0.5  $\mu\text{L/L}$ , 1.0  $\mu\text{L/L}$ )的 1-MCP 处理和不同薄膜(聚乙烯膜(PE), 聚氯乙烯膜(PVC))包装的防黑皮病实验研究。结果 通过对果实的黑皮指数、外观色泽和内在品质进行综合分析发现, 绥中安梨采收时的品质要优于海城和蓟县的安梨, 但在冷藏 180 d, 20℃货架 7 d 期间, 海城安梨的外观色泽和耐贮性最好, 绥中次之, 蓟县最差。与 CK 组相比, 2 种薄膜包装可在一定程度上抑制安梨果实黑皮病的发生, 但 1-MCP 处理完全抑制了安梨低温贮藏后货架期果实的黑皮病(黑皮指数均为 0), 维持了果实较好的果皮颜色亮度和黄绿色程度, 在一定程度上降低了果实的呼吸强度、乙烯释放量、乙醇含量和乙醛含量, 从而延缓了果实的衰老, 其中 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实的硬度和可滴定酸含量较高, 0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实能维持较高的可溶性固形物含量。结论 与 CK 组和 2 种薄膜包装组相比, 0.5 和 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理可作为控制安梨冷藏 180 d 后货架期的主要技术之一, 其果实黑皮病控制指数较低, 外观和内在品质良好。生产中不建议采用厚度为 0.03 mm 的 PVC 薄膜袋来贮藏安梨。如果安梨贮藏期低于 180 d(中短期贮藏), 可以采用厚度为 0.02 mm 的 PE 薄膜袋来进行自发气调贮藏。

**关键词:** 安梨; 产地; 1-MCP; 薄膜包装; 贮藏品质; 黑皮病

**中图分类号:** TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)19-0041-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.006

## Effects of Different Producing Areas and 1-MCP and MAP on Storage Quality of 'Anli' Pear

WANG Zhi-hua<sup>1</sup>, CHEN Ying<sup>2</sup>, WANG Wen-hui<sup>1</sup>, JIANG Yun-bin<sup>1</sup>, TONG Wei<sup>1</sup>,  
JIA Chao-shuang<sup>1</sup>, LI Jiang-kuo<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, China;

2. Tianjin Institute of Forestry and Pomology, Tianjin 300384, China;

3. National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

**ABSTRACT:** The work aims to compare the storage quality of 'Anli' pears in different producing areas, and explore the effects of different concentrations of 1-MCP treatment and film packaging on the prevention and control of 'Anli' pear skin

收稿日期: 2019-07-22

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2017-RIP); 国家现代农业(梨)产业技术体系建设项目(CARS-29-19); 天津市农业科技成果转化与推广项目(201804010)

作者简介: 王志华(1975—), 女, 副研究员, 主要研究方向为果品采后生理与贮运保鲜技术。

browning. The fruits of 'Anli' from Haicheng and Suizhong of Liaoning and Jixian of Tianjin were used as test materials. After storage at  $(0\pm 0.5)$  °C for 180 days, they were equilibrated at 20 °C for 24 h and placed for 7 days in the shelf life. Then, the storage quality of 'Anli' pears from three producing areas was determined. At the same time, the experimental study based on 1-MCP treatment with different concentrations (0, 0.5 and 1.0  $\mu\text{L/L}$ ) and packaging with different films (PE and PVC) was carried out to prevent skin browning of 'Anli' pear from Jixian, Tianjin. Comprehensive analysis of fruit skin browning, external color and internal quality showed that, the quality of 'Anli' pear from Suizhong was better than that of Haicheng and Jixian when harvesting. However, during the 180-day storage period and 7 d at 20 °C, the appearance color and storage endurance of 'Anli' pear from Haicheng was the best, Suizhong was the second, while Jixian was the worst. Compared with CK, the two kinds of film packaging could to certain extent inhibit the skin browning of 'Anli' pear fruit, but different concentrations of 1-MCP treatment completely inhibited the skin browning (skin browning index of 0) of 'Anli' pear during shelf life after low temperature storage, which maintained the fruit peel color brightness and yellow-green degree. The use of 1-MCP reduced the respiration intensity, ethylene release, ethanol and acetaldehyde content of fruits to a certain extent, thus delaying the fruit senescence. The firmness and titratable content of fruits treated with 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP were higher, and the SSC of fruits treated with 0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP could remain high. Compared with CK and two kinds of film packaging, 0.5 and 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP treatment can be used as one of the main techniques to control the shelf life of 'Anli' pear after the 180-day low temperature storage. Its skin browning is low and its appearance and internal quality are good. It is not recommended to use 0.03 mm thick PVC film bag to store 'Anli' pear in production. If the storage period of 'Anli' pear is less than 180 d (medium and short-term storage), 0.02 mm thick PE film bag can be used for spontaneous modified atmosphere storage.

**KEY WORDS:** 'Anli' pear; producing area; 1-MCP; film packaging; storage quality; skin browning

安梨俗称酸梨,属秋子梨品种,也是梨属中最抗寒的品种之一。采收时肉质粗、紧密、石细胞多、味酸,经后熟肉质变软,甜酸可口,安梨果实极耐贮藏,一般可贮藏至翌年 4~5 月份,安梨以其独特的风味和金黄的颜色以及极强的耐贮性被人们所喜爱,且具有较强的适应性和抗逆性,因而在冀东北、京、津、辽南、辽西等燕山山区被广泛栽培<sup>[1]</sup>,多年来不但畅销,而且价格稳定。近年来,对产地(以辽宁和天津蓟县为主)的调研结果表明,由于采前和采后一些不确定因素,安梨在贮藏中后期(春节后)或出库后常温货架期间极易出现黑皮病(虎皮病),黑皮病虽然不深入果肉,但影响果实的外观和商品质量<sup>[2]</sup>,造成一定的经济损失。研究表明,采用新型乙烯受体抑制剂 1-MCP 处理<sup>[3-6]</sup>或自发气调(薄膜包装)<sup>[7-10]</sup>等技术能抑制或减轻梨贮藏及常温货架期黑皮病的发生,维持果实较好的贮藏品质,目前有关安梨贮藏品质、采后生理及贮藏和货架期黑皮病的防控技术尚未见报道。为了比较不同产地安梨贮藏品质,以及明确 1-MCP 处理、薄膜包装对安梨果实的保鲜效果,文中以辽宁海城、绥中和天津蓟县等 3 个产地的安梨果实为实验材料,对安梨冷藏 180 d 时(翌年 4~5 月份)的果实生理品质以及黑皮病发病情况进行比较,旨在研究不同产地对安梨果实的贮藏品质和黑皮病的影响,同时以天津蓟县的安梨果实为实验材料,研究不同浓度 1-MCP 处理、自发气调(聚乙烯 PE 和聚氯乙烯 PVC 薄膜袋包装)对安梨果实冷藏品质和黑皮病的防

控效果,以期为安梨贮藏及上市销售时防止或降低果实黑皮病,提高梨果的商品质量提供理论参考和技术支撑。

## 1 实验

### 1.1 材料

供试的“安梨”果实于 2018 年成熟期分别采自辽宁省海城市(10 月 22 日采收)、绥中县(10 月 25 日采收)以及天津蓟县(10 月 16 日采收),3 个产地供试梨园管理水平基本一致,均属中等管理水平,树势中庸,生长发育良好。挑选果皮颜色和大小基本一致,无病虫害和机械伤的果实进行采摘,当天用汽车运回中国农业科学院果树研究所(辽宁兴城)。3 个产地果实室温下散去田间热后,各随机选取 30 个测定采收时的基础品质指标(果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和 Vc 含量),其余果实放入冷库预冷,预冷温度设为 6~8 °C,相对湿度为 85%~90%,预冷 48 h 后对果实进行贮藏实验。

### 1.2 实验处理

实验分为 2 个部分进行。

实验 1 为比较 3 个产地安梨的贮藏品质,各选取海城、绥中和蓟县产的 30 kg(约 300 个)果实进行贮藏实验,每个产地果实均装 3 箱(相当于做 3 次重复实验),每箱 10 kg。

实验2以天津蓟县产的安梨果实为实验材料,进行1-MCP处理和薄膜包装实验,设CK组(1-MCP处理浓度为0)和其他4个处理组(0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP处理,1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP处理,厚度为0.02 mm的PE薄膜袋包装,厚度为0.03 mm的PVC薄膜袋包装)。处理完后,CK组和2个1-MCP处理组的果实均用厚度为0.01 mm的PE薄膜袋封口包装。所用1-MCP试剂由陕西咸阳西秦生物科技有限公司提供,有效成分的质量分数为3.3%,1-MCP的配制和处理方法参照孙希生等<sup>[11]</sup>的方法。2种薄膜袋由国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供。每个处理组用果量约为30 kg(约300个),CK组和其他4个处理组用果量一共约150 kg(约1500个)。处理完后,将每个处理组的果实分装到3个果箱里(相当于做3次重复实验),每箱10 kg,CK组和其他4个处理组一共装了15个果箱。

将实验1(3个产地)和实验2(CK组和其他4个处理组)的果实标记后,放在温度为 $(0\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为90%~95%的冷库贮藏。海城、绥中、蓟县的安梨分别于2019年4月22日、4月25日、4月16日从冷库取出(贮藏期均为180 d),在常温20  $^{\circ}\text{C}$ 条件下平衡24 h和放置7 d后(分别记为180 d+24 h\*和180 d+7 d\*,180 d为低温冷藏时间,\*表示果实从冷库取出后在常温20  $^{\circ}\text{C}$ 条件下放置的时间)测定果实的相关品质生理指标,同时调查果实黑皮病的发病程度(黑皮指数)。检测时,分别从每箱中随机取出20个果,每个处理组均为3箱,一共取出60个果(相当于重复做3次实验),测定包括果皮色泽、果肉硬度、可溶性固形物含量(SSC)、可滴定酸含量(TA)和维生素C(Vc)含量和生理(乙醇和乙醛含量)等指标。另外,每个处理组同样取15个果实测定其呼吸强度和乙烯释放量,3箱共45个果实(相当于重复做3次实验),再取120个果实用于黑皮病调查,其余果实备用。

### 1.3 测试和调查内容

#### 1.3.1 品质指标

1)果皮色泽。采用CR-400色差仪(日本,MINOLTA公司)通过反射法测定,用“CIE Lab”表色系统测定果实表皮的L值、a值、b值和 $\theta$ 值,漫射照明,0 $^{\circ}$ 观察角,测量直径为8 mm, D<sub>65</sub>光源,白色标准色校准。

2)果实(去皮)硬度。采用南非GUSS公司的GS-15水果质地分析仪测定,探头直径为8 mm,下压深度为10 mm。果实硬度的单位为kg/0.5 cm<sup>2</sup>。

3)SSC含量。采用日本ATAGO公司的PR-101 $\alpha$ 折糖仪测定,单位为%。

4)TA和Vc含量。均采用瑞士Metrohm公司的

808 Titrand自动电位滴定仪测定,单位分别为%和mg/100 g。

果皮色泽、果实硬度和SSC均沿果实表面中心赤道部位两侧取对称的2个点进行单果测定,并取平均值。

#### 1.3.2 生理指标

呼吸强度和乙烯释放量参考王志华等<sup>[12]</sup>的方法,采用SP-9890气相色谱仪(山东,鲁南瑞虹仪器有限公司)测定。呼吸强度用单位质量的组织在单位时间内释放二氧化碳的量表示,单位为mg/(kg·h)。乙烯释放量的单位为 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。乙醇和乙醛含量的测定参考纪淑娟等<sup>[13]</sup>的方法,采用日本岛津GC-2010气相色谱仪和Tubro Matrix 40自动顶空进样器进行测定,单位均为mg/100 g。

#### 1.3.3 调查指标

黑皮病用黑皮指数来表征,梨的黑皮病分级标准及黑皮指数计算参考牛瑞雪等<sup>[14]</sup>的方法,根据果实黑皮面积占整个果实总面积的百分比分为4级:0级,果实无黑皮;I级,果实黑皮面积 $\leq 25\%$ ;II级,黑皮面积为25%~50%;III级,果实黑皮面积 $> 50\%$ 。黑皮指数= $[\sum(\text{黑皮级数}\times\text{该级果数})/(\text{处理调查总果数}\times 3)]\times 100$ 。

### 1.4 数据处理

实验结果采用Microsoft Excel软件进行整理,所有品质和生理指标数据均为3次平行实验的平均值,黑皮指数为120个果实的平均值。利用SPSS 13.0统计软件进行方差分析,差异显著性分析采用Duncan新复极差法比较, $P\leq 0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同产地安梨品质比较

#### 2.1.1 不同产地安梨采收时品质比较

3个产地安梨果实采收时的基础品质见表1。方差分析结果表明,3个产地安梨果实的硬度、TA含量和Vc含量均存在显著差异,硬度和TA含量最高的是绥中产的安梨,其次是天津蓟县,最低的是海城安梨;Vc含量从高到低依次为海城>绥中>蓟县;对于果实SSC含量来说,蓟县安梨的SSC含量明显低于海城和绥中,海城与绥中安梨的SSC含量差异不显著。

#### 2.1.2 不同产地安梨果实贮藏品质比较

与采收时基础品质(见表1)相比,3个产地安梨在0  $^{\circ}\text{C}$ 下冷藏180 d后,在20  $^{\circ}\text{C}$ 货架期里果实的硬度、TA含量和Vc含量均有所降低(见表2),但SSC

表1 不同产地安梨采收时的基础品质指标

Tab.1 Basic quality indicators of 'Anli' pear at harvest in different producing areas

| 产地 | 硬度/( $\text{kg} \cdot (0.5 \text{ cm})^{-2}$ ) | SSC质量分数/% | TA质量分数/% | Vc含量/( $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ ) |
|----|------------------------------------------------|-----------|----------|-------------------------------------------------|
| 海城 | 4.53c                                          | 11.8a     | 0.631c   | 5.99a                                           |
| 绥中 | 5.60a                                          | 11.9a     | 0.976a   | 4.78b                                           |
| 蓟县 | 4.95b                                          | 11.3b     | 0.779b   | 3.76c                                           |

注: 同一列数字后的不同英文字母表示  $P \leq 0.05$ , 水平差异显著

表2 不同产地安梨冷藏 180 d 后货架期果实硬度、SSC 含量、TA 含量和 Vc 含量比较

Tab.2 Comparison of fruit firmness, SSC, TA and Vc in shelf life of 'Anli' pear stored at low temperature after 180 days in different producing areas

| 产地 | 180 d+24 h*                                        |               |              |                                                     | 180 d+7 d*                                         |               |              |                                                     |
|----|----------------------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------------------------|
|    | 硬度/<br>( $\text{kg} \cdot (0.5 \text{ cm})^{-2}$ ) | SSC质量<br>分数/% | TA质量<br>分数/% | Vc含量/<br>( $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ ) | 硬度/<br>( $\text{kg} \cdot (0.5 \text{ cm})^{-2}$ ) | SSC质量<br>分数/% | TA质量<br>分数/% | Vc含量/<br>( $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ ) |
| 海城 | 3.79b                                              | 12.2b         | 0.560c       | 2.30a                                               | 2.42b                                              | 12.0b         | 0.542b       | 4.17a                                               |
| 绥中 | 4.96a                                              | 13.1a         | 0.860a       | 2.05a                                               | 3.71a                                              | 12.9a         | 0.757a       | 2.90b                                               |
| 蓟县 | 4.62a                                              | 12.4b         | 0.688b       | 1.91a                                               | 3.63a                                              | 12.2b         | 0.705a       | 3.12b                                               |

注: 同一列数字后的不同英文字母表示  $P \leq 0.05$ , 水平差异显著

含量高于采收时(可能是由于贮藏后期果实后熟软化, 硬度下降, 淀粉糖化, 造成 SSC 含量升高)。由表 2 结果还知, 无论是贮藏 180 d+24 h\* 还是货架 7 d, 绥中安梨的硬度、SSC 含量和 TA 含量均保持最高水平, 海城安梨的硬度、SSC 含量和 TA 含量最低, 2 个产地安梨果实的硬度、SSC 含量和 TA 含量差异均达到显著 ( $P \leq 0.05$ ) 水平; 蓟县安梨果实的硬度、SSC 含量和 TA 含量居中。对于果实 Vc 含量来说, 贮藏 180 d+24 h\* 时, 3 个产地安梨 Vc 含量差异不显著; 180+7 d\* 时, 海城安梨的 Vc 含量显著高于绥中和蓟县。

### 2.1.3 不同产地安梨果实贮藏后货架期黑皮指数和果皮颜色比较

3 个产地安梨冷藏 180 d 后货架期果实的黑皮指数和外观色泽变化情况见表 3, 贮藏 180 d+24 h\* 和 180 d+7 d\*, 海城安梨的黑皮病指数分别仅为 5.0 和 10.2; 蓟县安梨的黑皮病最严重, 贮藏 180 d+7 d\* 时, 黑皮指数高达 96.7, 全果面基本出现黑皮; 绥中安梨的黑皮指数显著高于海城的 ( $P \leq 0.05$ ), 但与蓟县安梨相比, 绥中安梨黑皮指数显著低于蓟县安梨, 3 个产地安梨的保鲜效果见图 1。

果皮色泽是评价果实外观品质的重要指标之一, 也是衡量果实商品性的重要指标。 $L$  值代表明亮度,  $L$  值由大到小表示亮度由白到黑渐变。 $a$  值代表红绿色度,  $a$  值越偏向负值, 表明颜色越绿, 正值越大表示颜色越红。 $b$  值代表黄蓝色度,  $b$  值正值越大, 表示颜色越偏向黄色。色调角  $\theta$  值代表颜色由绿变黄的进程,  $\theta < 90^\circ$ , 颜色偏向红色;  $\theta = 90^\circ$  为黄色;  $\theta > 90^\circ$ , 偏向绿色<sup>[15]</sup>。



图1 不同产地安梨的贮藏效果

Fig.1 Storage effect of Anli pear from different producing areas

从表 3 可以看出, 海城安梨的  $L$  值和  $b$  值最高, 显著 ( $P \leq 0.05$ ) 高于绥中和蓟县的安梨, 表明冷藏 180 d 后, 无论是  $20^\circ\text{C}$  货架下平衡 24 h 还是放置 7 d, 海城安梨果皮颜色亮度和黄色程度均保持得较好, 黑皮病较轻, 绥中和蓟县安梨的果皮颜色较暗, 黑皮病较重, 与 3 个产地安梨黑皮病规律基本一致。安梨在采摘时果皮偏绿, 在贮藏后货架期果皮由绿转黄, 从表 3 的  $a$  值和  $\theta$  值可以看出, 海城安梨的  $a$  值为负数,  $\theta > 90^\circ$ , 绥中和蓟县安梨的  $a$  值为正数,  $\theta < 90^\circ$ , 表明贮藏 180 d+24 h\* 和 180 d+7 d\* 时, 海城安梨果实仍然有绿色, 而绥中和蓟县安梨颜色偏红。综合分析  $a$  值、 $b$  值、 $L$  值和  $\theta$ , 结果表明,  $0^\circ\text{C}$  冷藏 180 d 后货架 7 d 期间海城安梨果实亮度和黄绿色程度保持得较好, 绥中次之, 蓟县安梨的外观色泽最差, 黑皮病最严重。

2.2 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨果实贮藏品质和黑皮病的影响

2.2.1 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨果实贮藏品质的影响

不同浓度 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨低温冷藏后货架期果实品质的影响见表 4。对于安梨的果实硬度来说，贮藏 180 d+24 h\*时，2 个 1-MCP 处理和 2 种薄膜包装果实的硬度均显著高于 CK 组果实

( $P\leq0.05$ )；贮藏 180 d+7 d\*时，4 个处理组和 CK 组果实的硬度均降低，但 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组的硬度最高，显著高于 CK 组和 0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 组 ( $P\leq0.05$ )。无论贮藏 180 d+24 h\*还是 180 d+7 d\*，PE 膜包装果实的 TA 含量均最低，CK 组和 PVC 膜包装组果实的 TA 含量居中，2 个 1-MCP 处理组果实的 TA 含量较高。从表 4 还可以看出，CK 组与其他 4 个处理组果实的 Vc 含量差异不显著；SSC 含量从高到低依次为 0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 组 > CK 组和 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 组 > PE 膜组和 PVC 膜组。

表 3 不同产地安梨冷藏 180 d 后货架期果实黑皮指数和果皮颜色比较  
Tab.3 Comparison of fruit skin browning index and peel color in shelf life of 'Anli' pear stored at low temperature after 180 days in different producing areas

| 产地 | 180 d+24 h* |          |          |          |          | 180 d+7 d* |          |          |          |          |
|----|-------------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|    | 黑皮指数        | 果皮色泽     |          |          |          | 黑皮指数       | 果皮色泽     |          |          |          |
|    |             | <i>L</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | $\theta$ |            | <i>L</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | $\theta$ |
| 海城 | 5.0a        | 69.4a    | -4.16a   | 43.0a    | 95.6a    | 10.2a      | 65.9a    | -1.44a   | 42.5a    | 91.8a    |
| 绥中 | 75.0b       | 55.0b    | 3.53b    | 36.3b    | 83.9b    | 81.3b      | 51.3b    | 6.40b    | 31.8b    | 77.5b    |
| 蓟县 | 90.0c       | 47.7c    | 5.83c    | 29.4c    | 77.2c    | 96.7c      | 50.0b    | 6.34b    | 33.1b    | 78.9b    |

注：同一列数字后的不同英文字母表示  $P\leq0.05$ ，水平差异显著

表 4 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨冷藏 180 d 后货架期果实硬度、SSC 含量、TA 含量和 Vc 含量的影响  
Tab.4 Effects of 1-MCP treatment and film packaging on firmness, SSC, TA and Vc in shelf life of 'Anli' pear fruits stored at low temperature after 180 days

| 处理组                       | 180 d+24 h*                                     |               |              |                                                  | 180 d+7 d*                                      |               |              |                                                  |
|---------------------------|-------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------------------------|
|                           | 硬度/<br>( $\text{kg}\cdot(0.5\text{ cm})^{-2}$ ) | SSC质量<br>分数/% | TA质量<br>分数/% | Vc含量/<br>( $\text{mg}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ ) | 硬度/<br>( $\text{kg}\cdot(0.5\text{ cm})^{-2}$ ) | SSC质量<br>分数/% | TA质量<br>分数/% | Vc含量/<br>( $\text{mg}\cdot(100\text{ g})^{-1}$ ) |
| CK                        | 4.52a                                           | 12.2b         | 0.674a       | 1.91a                                            | 3.63b                                           | 12.0b         | 0.698b       | 3.42a                                            |
| 0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 5.18b                                           | 13.4a         | 0.700a       | 2.25a                                            | 3.90b                                           | 13.1a         | 0.771a       | 3.52a                                            |
| 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 5.03b                                           | 11.9b         | 0.714a       | 2.35a                                            | 4.56a                                           | 12.4b         | 0.783a       | 3.20a                                            |
| PE膜                       | 5.07b                                           | 10.9c         | 0.598b       | 1.82a                                            | 4.28ab                                          | 11.4c         | 0.607c       | 3.73a                                            |
| PVC膜                      | 4.99b                                           | 11.2c         | 0.668a       | 2.04a                                            | 4.14ab                                          | 11.7c         | 0.680b       | 3.63a                                            |

注：同一列数字后的不同英文字母表示  $P\leq0.05$ ，水平差异显著

2.2.2 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨果实黑皮指数和外观颜色的影响

从表 5 可以看出，贮藏 180 d+24 h\*和 180 d+7 d\*，CK 组果实的黑皮指数高达 90.0 以上，2 种薄膜包装组果实的黑皮指数显著低于 CK 组，而 2 个 1-MCP 处理组果实的黑皮指数均为 0。结果表明，与 CK 组相比，PE 和 PVC 等 2 种薄膜包装能明显降低安梨冷藏 180 d 后货架期内果实的黑皮病指数，而 2 种 1-MCP 处理后能完全抑制安梨冷藏 180 d 后货架 7 d 期间果实黑皮病的发生，保鲜效果见图 2。

对果皮外观色泽相关指标 ( $L$  值、 $a$  值、 $b$  值、 $\theta$ ) 进行分析的结果 (见表 5) 表明，2 个 1-MCP 处理组和 2 种薄膜包装组果实的  $L$  值、 $b$  值、 $\theta$  均显著高于 CK 组，2 个 1-MCP 处理组和 2 种薄膜包装组之间的  $L$  值、 $b$  值、 $\theta$  差异均不显著 ( $P\geq0.05$ )；CK 组



图 2 2 个 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨的保鲜效果  
Fig.2 Fresh-keeping effect of two 1-MCP treatments and film packaging on Anli pear



果实的  $a$  值显著 ( $P \leq 0.05$ ) 高于其他 4 个处理组 (CK 组的  $a$  值为正值, 除 PE 膜组果实放置 7 d 时的  $a$  值为 0.23 外, 其他处理组果实的  $a$  值均为负值)。综合分析可知, 与 CK 组相比, 2 个 1-MCP 处理组和 2 种薄膜包装组均能明显维持安梨冷藏 180 d 货架 7 d 期间果实的亮度和黄绿色, 维持果实较好的外观色泽, 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理和 PVC 薄膜包装对保持安梨果实底色绿色的效果最好。

## 2.3 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨果实贮藏相关生理指标的影响

### 2.3.1 不同处理对安梨果实呼吸强度和乙烯释放量的影响

安梨果实冷藏 180 d 后, 无论是常温 20  $^{\circ}\text{C}$  条件下平衡 24 h 还是 7 d, 与 CK 组相比, 1-MCP 处理和薄膜包装均能降低安梨果实的呼吸强度和乙烯释放量 (见表 6)。方差分析结果表明, 2 个 1-MCP 处理组果实的乙烯释放量与 CK 组差异显著 ( $P \leq 0.05$ ), 而 2 种薄膜包装组果实的乙烯释放量与 CK 组差异不显著 ( $P \geq 0.05$ ), 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实的呼吸强度与 CK 组、0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组差异显著, CK 组和 0.5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组之间呼吸强度差异

不显著。

### 2.3.2 不同处理对安梨果实乙醇和乙醛含量的影响

从表 7 可以看出, 安梨果实冷藏 180 d 之后在 20  $^{\circ}\text{C}$  货架下放置 7 d 时, CK 组与 4 个处理组果实的乙醇和乙醛含量均比 180 d+24 h\* 时有所升高, 乙醇含量升高较为明显, 而乙醛含量升高幅度不大。无论是贮藏 180 d+24 h\* 还是 180 d+7 d\*, 2 个 1-MCP 处理组果实的乙醇和乙醛含量均明显 ( $P \leq 0.05$ ) 低于 CK 组, 1.0  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组的乙醇和乙醛含量低于 0.5  $\mu\text{L/L}$  处理组 (贮藏 180 d+24 h\* 时差异显著)。表 7 结果还表明, 贮藏 180 d+7 d\* 时, PVC 薄膜包装组果实的乙醇含量显著高于 CK 组和其他 3 个处理组, 而乙醛含量明显低于 CK 组, 与其他 3 个处理组之间差异不显著 ( $P \geq 0.05$ )。

## 3 讨论

硬度、SSC 含量、TA 含量和 Vc 含量是评价果实品质的重要指标, 决定着果实的质地、口感、营养和风味, 贮藏期间维持一定的硬度和糖酸含量可使果实口感和风味更佳, 较高的 Vc 含量可以防止果实褐变, 延缓果实衰老进程<sup>[6]</sup>。实验结果表明, 刚采收和贮藏

表 5 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨冷藏 180 d 后货架期果实黑皮指数和果皮颜色的影响

Tab.5 Effects of 1-MCP treatment and film packaging on skin browning index and peel color in shelf life of 'Anli' pear fruits stored at low temperature after 180 days

| 处理组                       | 180 d+24 h* |       |        |       |          | 180 d+7 d* |       |         |       |          |
|---------------------------|-------------|-------|--------|-------|----------|------------|-------|---------|-------|----------|
|                           | 黑皮指数        | 果皮色泽  |        |       |          | 黑皮指数       | 果皮色泽  |         |       |          |
|                           |             | $L$   | $a$    | $b$   | $\theta$ |            | $L$   | $a$     | $b$   | $\theta$ |
| CK                        | 90.0a       | 47.7b | 5.83c  | 29.4a | 77.2a    | 96.7a      | 50.0b | 6.34c   | 33.1a | 78.9a    |
| 0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 0           | 61.8a | -1.37a | 42.6b | 91.9b    | 0          | 61.7a | -0.40b  | 42.8b | 90.6b    |
| 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 0           | 62.9a | -3.44b | 42.6b | 94.7b    | 0          | 62.2a | -1.59a  | 42.9b | 92.2b    |
| PE膜                       | 25.0b       | 58.7a | -1.65a | 39.1b | 91.8b    | 28.9b      | 56.8a | 0.23b   | 38.7b | 89.3b    |
| PVC膜                      | 12.3c       | 61.2a | -3.50b | 41.1b | 94.5b    | 15.3c      | 58.6a | -1.09ab | 39.8b | 91.3b    |

注: 同一列数字后的不同英文字母表示  $P \leq 0.05$ , 水平差异显著

表 6 1-MCP 处理和薄膜包装对安梨冷藏 180 d 后货架期间果实呼吸强度和乙烯释放量的影响

Tab.6 Effects of 1-MCP treatment and film packaging on respiration intensity and ethylene release in shelf life of 'Anli' pear fruits stored at low temperature after 180 days

| 处理组                       | 180 d+24 h*                                                   |                                                                  | 180 d+7 d*                                                    |                                                                  |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                           | 呼吸强度/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 乙烯释放量/( $\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 呼吸强度/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 乙烯释放量/( $\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) |
| CK                        | 35.79a                                                        | 9.32a                                                            | 40.51b                                                        | 3.93a                                                            |
| 0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 33.47a                                                        | 4.44b                                                            | 37.61b                                                        | 2.34b                                                            |
| 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP | 26.80b                                                        | 5.21b                                                            | 30.58a                                                        | 2.03b                                                            |
| PE膜                       | 34.76a                                                        | 7.93a                                                            | 32.73a                                                        | 2.98ab                                                           |
| PVC膜                      | 31.63ab                                                       | 6.70ab                                                           | 30.04a                                                        | 2.44b                                                            |

注: 同一列数字后的不同英文字母表示  $P \leq 0.05$ , 水平差异显著

表 7  1-MCP 处理和薄膜包装对安梨冷藏 180 d 后货架期间果实乙醇和乙醛含量的影响  
Tab.7 Effects of 1-MCP treatment and film packaging on the contents of ethanol and acetaldehyde in shelf life of 'Anli' pear fruits stored at low temperature after 180 days

| 处理组            | 180 d+24 h*                      |                                  | 180 d+7 d*                       |                                  |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                | 乙醇含量/(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) | 乙醛含量/(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) | 乙醇含量/(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) | 乙醛含量/(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) |
| CK             | 0.54a                            | 0.19a                            | 58.11b                           | 1.74a                            |
| 0.5 μL/L 1-MCP | 0.20b                            | 0.08b                            | 45.80a                           | 0.78b                            |
| 1.0 μL/L 1-MCP | 0.05c                            | 0.06b                            | 40.18a                           | 0.42b                            |
| PE膜            | 0.24b                            | 0.09b                            | 53.43b                           | 0.44b                            |
| PVC膜           | 0.30b                            | 0.15ab                           | 73.69c                           | 0.61b                            |

注：同一列数字后的不同英文字母表示  $P\leq0.05$ ，水平差异显著

180 d+7 d\*时,海城安梨果实的 Vc 含量显著( $P\leq0.05$ ) 高于绥中和蓟县安梨,但绥中安梨果实硬度、可滴定酸含量和 SSC 含量保持较高,天津蓟县安梨次之,海城安梨的硬度和可滴定酸含量最低。果皮颜色的变化既反映了果实的外观品质,也反映了果实的衰老进程<sup>[17]</sup>。研究中,海城安梨冷藏 180 d 后货架 7 d 期间果皮颜色亮度和黄绿色程度保持较好( $L$  值、 $b$  值和  $\theta$  较高,  $a$  值为负),黑皮病较轻(见表 3),绥中安梨次之,蓟县安梨的外观色泽最差( $L$  值低),黑皮病最严重(见表 3)。通过综合分析果实的黑皮指数、外观色泽和各项内在品质指标,绥中安梨采收时品质要优于海城和蓟县,但冷藏 180 d 后 20 ℃货架 7 d 期间,以海城安梨外观色泽和耐贮性最好,绥中次之,蓟县最差。3 个产地安梨采收和贮藏期果实的色泽(外观颜色)、内在品质(硬度、Vc 含量、SSC 含量等)和黑皮病指数变化差异可能与当地品种结构、栽培气候条件、采收期等因素有关<sup>[18]</sup>。

呼吸强度和乙烯释放量是反映贮藏期间果实衰老的 2 个重要生理指标<sup>[19—20]</sup>。1-MCP 作为乙烯作用拮抗剂,通过与乙烯受体结合阻断内源乙烯的产生,达到调控果实呼吸作用、延缓果实衰老的目的<sup>[21—23]</sup>。实验中,蓟县安梨在冷藏 180 d 后 20 ℃货架 7 d 期间,与 CK 组相比,2 个 1-MCP 处理组和 2 种薄膜包装组均在一定程度抑制了安梨果实的呼吸强度和乙烯释放量,从而延缓了果实的衰老,其中 1.0 μL/L 1-MCP 处理对果实呼吸强度的抑制效果好于 0.5 μL/L 处理组,这与 1-MCP 处理在酥梨果实上的研究结果一致<sup>[3]</sup>。果实中积累了乙醛和乙醇等物质,果肉会出现异味甚至苦味,最终也会导致组织褐变<sup>[24—25]</sup>。实验中,2 个 1-MCP 处理组果实的乙醇和乙醛含量均明显低于 CK 组,进一步研究表明,1-MCP 处理抑制了安梨的果实衰老,降低了果实的褐变程度。对于 2 种薄膜包装来说,PVC 膜包装果实的乙醇含量高于 PE 膜,以及 CK 组和 2 个 1-MCP 处理组,这可能是由于 PVC 袋密封性好、透气性差,从而导致果实的乙醇异常升高,与王志华等<sup>[26]</sup>在酥梨上的研究结果

一致。

与 CK 组相比,2 种 1-MCP 处理方法均能完全抑制安梨冷藏 180 d 后货架 7 d 期间果实黑皮病的发生,维持果实较好的果皮颜色亮度和黄绿色程度,1.0 μL/L 1-MCP 处理组果实的硬度和可滴定含量保持较高,0.5 μL/L 1-MCP 处理能使果实维持较高的 SSC 含量。与 CK 组相比,2 种薄膜包装可在一定程度上抑制安梨黑皮病的发生,使果实保持较好的外观,延缓其衰老进程;PVC 薄膜对安梨果实黑皮病的抑制效果和果皮底色的保绿效果虽然好于 PE 膜,但会影响果实的风味(后期乙醇含量较高),生产中不建议采用厚度为 0.03 mm 的 PVC 薄膜袋贮藏安梨。

4 结语

通过综合分析果实的黑皮指数、外观色泽和内在品质发现,绥中安梨在采收时品质要优于海城和蓟县安梨,但冷藏 180 d,20 ℃货架 7 d 期间,海城安梨的外观色泽和耐贮性最好,绥中次之,蓟县最差。与 CK 组和 2 种薄膜包装相比,2 种 1-MCP 处理可以提升安梨贮藏后的商品价值,建议采用 0.5,1.0 μL/L 1-MCP 处理作为控制安梨冷藏 180 d 后货架期内果实黑皮病和保持良好外观和内在品质的主要技术之一。如果安梨贮藏期低于 180 d,可以采用 PE 薄膜袋进行自发气调,也能达到较好的效果。

参考文献：

[1] 张绍铃. 梨学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 93—94.  
ZHANG Shao-ling. Pear Science[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2013: 93—94.

[2] 饶景萍. 园艺产品贮运学[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 32.  
RAO Jing-ping. Horticultural Product Storage Transportation Science[M]. Beijing: Science Press, 2008: 32.

[3] 王宝亮, 王文辉, 姜云斌, 等. 1-MCP 处理对不同产

- 地酥梨低温贮藏后货架期防褐保鲜效应的研究[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(5): 24—30.
- WANG Bao-liang, WANG Wen-hui, JIANG Yun-bin, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Inhibition of Browning and Preservation of Dangshansu Pears Growing in Different Regions during Shelf-life after Cold Storage[J]. Storage and Process, 2014, 14(5): 24—30.
- [4] 王志华, 王文辉, 佟伟, 等. 1-MCP 对八月红梨防褐保鲜的效应[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(3): 338—343.
- WANG Zhi-hua, WANG Wen-hui, TONG Wei, et al. Effect of 1-MCP on Inhibition of Browning of Bayuehong Pear[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2008, 24(3): 338—343.
- [5] 高曼曼. 1-MCP 对五九香梨品质、采后生理及黑皮病的影响[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2012: 37.
- GAO Man-man. Influence of 1-Methylcyclopropene on Quality, Postharvest Physiology and Superficial Scald of 'Wujiuxiang' Pear[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2012: 37.
- [6] 田改妮, 饶景萍, 张举印, 等. 1-MCP 对砀山酥梨黑皮病发生的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(11): 138—142.
- TIAN Gai-ni, RAO Jing-ping, ZHANG Ju-yin. Effects of 1-MCP Treatment on Superficial Scald of Dangshansu Pear[J]. Journal of Northwest A & F University(Nat Sci Ed), 2009, 37(11): 138—142.
- [7] 李家政, 毕大鹏. 微孔膜包装对鸭梨贮藏品质的影响[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 57—62.
- LI Jia-zheng, BI Da-peng. Effects of Micro-perforated Film Packaging on the Quality of Yali Pear Fruit during Storage[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(1): 57—62.
- [8] 关军锋, 窦世娟. 采后包装对黄冠梨冷藏期间品质和果皮褐斑的影响[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(6): 25—27.
- GUAN Jun-feng, DOU Shi-juan. Effect of Postharvest Packaging on Quality and Peel Browning Spot of Huangguan Pears During Cold Storage[J]. Storage & Process, 2009, 9(6): 25—27.
- [9] 冯云霄, 杜晓东, 及华, 等. 薄膜包装和乙烯吸收剂对丰水梨冷藏品质的影响[J]. 河北农业科学, 2012, 16(9): 40—43.
- FENG Yun-xiao, DU Xiao-dong, JI Hua, et al. Effects of Film Packaging and Ethylene Absorber on Fruit Quality of Housui Pear during Cold Storage[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(9): 40—43.
- [10] 贾晓辉, 佟伟, 王文辉, 等. 自发气调包装对阿巴特梨冷藏效果影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(2): 28—31.
- JIA Xiao-hui, TONG Wei, WANG Wen-hui, et al. Effect of Modified-atmosphere Package on Quality of Abate Fetel Pear[J]. Storage & Process, 2010, 10(2): 28—31.
- [11] 孙希生, 王文辉, 王志华, 等. 1-MCP 对苹果采后生理的影响[J]. 果树学报, 2003(1): 12—17.
- SUN Xi-sheng, WANG Wen-hui, WANG Zhi-hua, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Physiology of Apples after Harvest[J]. Journal of Fruit Science, 2003(1): 12—17.
- [12] 王志华, 王文辉, 佟伟, 等. 1-MCP 结合降温方法对鸭梨采后生理和果心褐变的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(3): 513—517.
- WANG Zhi-hua, WANG Wen-hui, TONG Wei, et al. Effects of Different Cooling Methods on Physiology and Core Browning of Yali Pear Treated with 1-MCP[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(3): 513—517.
- [13] 纪淑娟, 尹竞男, 李家政, 等. 静态顶空气相色谱法测定蜜柚中乙醇和乙醛含量[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(4): 17—20.
- JI Shu-juan, YIN Jing-nan, LI Jia-zheng, et al. Determination of Alcohol and Acetaldehyde in Pomelo by Static Head Space Gas Chromatography[J]. Storage and Process, 2010, 10(4): 17—20.
- [14] 牛瑞雪, 惠伟, 李彩香, 等. 砀山酥梨黑皮病发病程度与相关生理指标的关系[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(1): 28—32.
- NIU Rui-Xue, HUI Wei, LI Cai-Xiang, et al. Relationship between Pathological Grade of Superficial Scald in 'Dangshanpear' (Pyrus bretschneideri Rehd.) and Physiological Indexes[J]. Plant Physiological Communication, 2009, 45(1): 28—32.
- [15] HOLCROFT D M, KADER A A. Carbon Dioxide-induced Changes in Color and Anthocyanin Synthesis of Stored Strawberry Fruit[J]. HortScience, 1999, 34(7): 1244—1248.
- [16] 龙杰, 郜海燕, 陈杭君, 等. 桑椹采后贮藏保鲜研究进展[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(3): 40—43.
- LONG Jie, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Research Advance in Storage of Mulberry[J]. Storage and Process, 2011, 11(3): 40—43.
- [17] 周慧娟, 乔勇进, 张绍铃, 等. 不同成熟度大团蜜露水蜜桃货架期间品质与代谢差异性研究[J]. 果树学报, 2010, 27(2): 244—250.
- ZHOU Hui-juan, QIAO Yong-jin, ZHANG Shao-Ling, et al. Study on the Effects of Different Maturity on the Fruit Shelf-qualities and Difference in Metabolism of Datuanmilu Honey Peach Cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(2): 244—250.
- [18] FRANCK C, LAMMERTYN J, HO Q T, et al. Browning disorders in pear fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2007, 43(1): 1—13.
- [19] 郭丹, 韩英群, 魏鑫, 等. 1-甲基环丙烯处理对金冠苹果冷藏期间果实软化的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10): 191—195.
- GUO Dan, HAN Ying-qun, WEI Xin, et al. Effect of 1-Methylcyclopropylene Treatment on Fruit Softening of Golden Crown Apple during Cold Storage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(10): 191—195.



- [20] 胡苗. 采后褪黑素处理对‘华优’猕猴桃果实冷害和成熟衰老的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018: 11.  
HU Miao. Effect of Melatonin Treatment on Postharvest Fruit Chilling Injury And Senescence in 'HUA YOU' Kiwifruit[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018: 11.
- [21] 彭勇, 王天博, 班清风, 等. 1-MCP和货架温度对“乔纳金”苹果贮后品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019(3): 15—23.  
PENG Yong, WANG Tian-bo, BAN Qing-feng, et al. Effect of 1-MCP and Shelf Temperature on the Shelf Quality of 'Jonagold' Apple[J]. Storage and Process, 2019(3): 15—23.
- [22] 颜廷才, 李昂, 张鹏, 等. 1-MCP两次处理对寒富苹果腐烂调控及货架品质的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 42—51.  
YAN Ting-cai, LI Ang, ZHANG Peng. Effects of Two Treatments of 1-MCP on Rot Regulation of Hanfu Apple and Shelf Quality[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 42—51.
- [23] 王云香, 张亚楠, 曲桂芹, 等. 1-MCP处理对苹果采后常温贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 280—285.  
WANG Yun-xiang, ZHANG Ya-nan, QU Gui-qin, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene Treatment on Postharvest Quality of Apple Fruit Stored at Ambient Temperature[J]. Food Science, 2016, 37(16): 280—285.
- [24] 寇莉苹. 温度和气体成分对富士苹果果肉褐变的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001: 27.  
KOU Li-ping. Study on Effect of Temperature and Gas on Flesh Browning of 'Fuji' Apples[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2001: 27.
- [25] 庞学群, 陈燕妮, 黄雪梅, 等. 冷害导致砂糖橘果实品质劣变[J]. 园艺学报, 2008, 35(4): 509—514.  
PANG Xue-qun, CHEN Yan-ni, HUANG Xue-mei, et al. Chilling Temperature Enhances Quality Reduction in Postharvest 'Shatangju' (Citrus reticulata Blanco) Fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(4): 509—514.
- [26] 王志华, 姜云斌, 王文辉, 等. 高渗CO<sub>2</sub>和PE保鲜袋对冷藏及货架期‘砀山酥梨’果实品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(1): 128—135.  
WANG Zhi-hua, JIANG Yun-bin, WANG Wen-hui, et al. Effects of High Carbon Dioxide Permeability and PE Film Bags on Quality of 'Dangshansu Pear' after Cold Storage[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(1): 128—135.