

# 1-MCP和戊唑醇处理对青脆李果实贮藏期病害和品质的影响

凡先芳, 张 婕, 姚世响, 邓丽莉, 王威浩, 曾凯芳\*

(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 研究5  $\mu\text{L/L}$  1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 与两种质量浓度 (13.5、27.0 mg/L) 戊唑醇单独或者结合处理对采后青脆李果实贮藏期褐腐病的控制效果以及对色泽和硬度的影响, 以探讨1-MCP结合戊唑醇处理应用于青脆李果实采后保鲜的可能性。结果表明, 20、0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏条件下两种质量浓度戊唑醇单独处理、1-MCP与两种质量浓度戊唑醇结合处理能够有效控制青脆李果实褐腐病损伤接种发病和自然发病; 1-MCP单独处理不能控制常温条件下损伤接种李果实的褐腐病, 但能够控制低温条件下损伤接种李果实褐腐病发生以及常温、低温条件下果实的自然发病; 1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理控制病害的效果最好。同时, 1-MCP单独处理、1-MCP与两种质量浓度戊唑醇结合处理能够有效抑制果实的转黄和软化进程, 戊唑醇单独处理不能延缓李果实的转黄和软化进程。贮藏过程中, 13.5 mg/L戊唑醇单独处理、1-MCP与13.5 mg/L和27.0 mg/L戊唑醇结合处理组李果实中戊唑醇的残留量均低于国标规定的最大残留限量。

**关键词:** 1-甲基环丙烯; 戊唑醇; 青脆李; 褐腐病; 品质

## Effects of 1-MCP and Tebuconazole Treatments on Disease and Quality of “Qingcui” Plum Fruits during Storage

FAN Xianfang, ZHANG Jie, YAO Shixiang, DENG Lili, WANG Weihao, ZENG Kaifang\*

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The effects of individual and combined treatments with 1-methylcyclopropene (1-MCP) at 5  $\mu\text{L/L}$  and tebuconazole at two different concentrations on brown rot control, color and firmness of postharvest “Qingcui” plum fruits during storage were studied in order to explore the possible application of 1-MCP combined with tebuconazole for postharvest preservation of “Qingcui” plum fruits. The results showed that tebuconazole at two concentrations alone and combined with 1-MCP could effectively control the occurrence of brown rot on normal fruits and wounded and inoculated fruits during storage at 20 and 0  $^{\circ}\text{C}$ , while 1-MCP treatment alone had no such effect on wounded and inoculated plum fruits during storage at room temperature. But it was effective in inhibiting brown rot inoculated in wounds on plum fruits stored at low temperature and also effective against natural incidence at room temperature and low temperature. The combination of 1-MCP with 27.0 mg/L tebuconazole was the most effective against brown rot on plum fruits. At the same time, 1-MCP treatment alone and combined with tebuconazole at two concentrations rather than tebuconazole alone could effectively inhibit the progression of fruit yellowing and softening. The tebuconazole residues of plum fruits subjected to 13.5 mg/L tebuconazole treatment and 1-MCP combined with tebuconazole at 13.5 and 27.0 mg/L were below the maximum residue limit stipulated in the Chinese national standard.

**Key words:** 1-methylcyclopropene; tebuconazole; “Qingcui” plum fruits; brown rot; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624046

中图分类号: TS609.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 24-0292-07

引文格式:

凡先芳, 张婕, 姚世响, 等. 1-MCP和戊唑醇处理对青脆李果实贮藏期病害和品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 292-298. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624046. <http://www.spkx.net.cn>

FAN Xianfang, ZHANG Jie, YAO Shixiang, et al. Effects of 1-MCP and tebuconazole treatments on disease and quality of “Qingcui” plum fruits during storage[J]. Food Science, 2016, 37(24): 292-298. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624046. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-05-26

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303075)

作者简介: 凡先芳 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品生物技术. E-mail: fanxianfang123@163.com

\*通信作者: 曾凯芳 (1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程. E-mail: zengkaifang@163.com

李果实果肉营养丰富, 含有糖、酸、蛋白质及多种维生素和矿物质等, 具有很高的营养价值。但是由于李果实成熟期集中在6—7月份, 该时期气温高, 贮藏过程中容易受微生物的侵染造成李果实的采后损失<sup>[1]</sup>。其中, 较为严重的是采后褐腐病。引起李果实褐腐病的病原菌主要是美澳型核果褐腐病菌 (*Monilinia fructicola* (Winter) Honey)、果生链核盘菌 (*Monilinia fructigena* (Aderh. et Ruhl.) Honey)、核果链核盘菌 (*Monilinia laxa* (Aderh. et Ruhl.) Honey)<sup>[2-3]</sup>。褐腐病是一种世界性分布的病害, 主要集中在澳洲、亚洲、欧洲及美洲等地<sup>[4-6]</sup>, 我国从南到北每个李产区均有发生<sup>[4]</sup>。褐腐病可寄生在桃<sup>[7]</sup>、杏<sup>[8]</sup>、李<sup>[9]</sup>、樱桃<sup>[10]</sup>等核果类果树上, 引起果腐、花腐和叶枯。李果实采前采后均可以发生褐腐病, 采前褐腐病在开花旺盛期和采收前发生, 而采后李果实在贮藏、运输、销售及消费过程中褐腐病的发病情况比采前更为严重<sup>[11]</sup>。李果实感染褐腐病后在果面上形成褐色圆形病斑, 随后迅速向四周扩展, 最后可扩及全果, 使果肉变褐软腐, 最后在果面生出同心圆排列的白色霉层<sup>[12]</sup>。褐腐菌可以产生大量分生孢子, 在空气中借风雨、昆虫传播。萌发后的分生孢子主要通过果皮上的伤口或者皮孔侵入, 引起果实腐烂, 病果表面长出大量分生孢子继续侵染<sup>[13]</sup>。目前, 李果实褐腐病的防治仍然以化学防治为主, 但长期使用的化学杀菌剂会导致病菌对其产生抗性。因此急需开发和应用新的化学杀菌剂。戊唑醇是一种高效、低毒、内吸性三唑类杀菌剂, 具有杀菌谱广、持效期长的特点。研究发现, 戊唑醇对病菌的作用机制为抑制其细胞膜上麦角甾醇的去甲基化, 使得病菌无法形成细胞膜, 从而杀死病菌。目前已有报道称戊唑醇在控制桃褐腐病效果明显<sup>[14-15]</sup>, 但是鲜少见到戊唑醇应用于李果实采后病害控制的相关研究。目前在GB 2763—2014《食品中农药最大残留限量》中增加了戊唑醇在李果实上的应用残留限量<sup>[16]</sup>。这为戊唑醇在采后李果实的广泛应用提供了可能性。

李果实属于呼吸跃变型果实, 采收后呼吸作用旺盛, 在常温天气条件下贮藏3~5 d果肉即变软并发生褐变, 随后很快软化腐烂, 失去商品价值。1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 是一种乙烯受体抑制剂, 可有效延缓果蔬的衰老和腐烂, 具有无味、无毒安全、环保、高效的特点, 在采后果蔬保鲜与病害控制方面有广阔的应用前景。大量研究表明, 1-MCP能够延缓李果实衰老, 保持李果实品质。同时近年来的研究表明, 1-MCP可以控制采后李果实的病害。1-MCP处理青脆李果实后贮藏于8℃的亚低温环境中, 果实的褐变指数和腐烂指数显著降低, 并且果实贮藏期延长30 d<sup>[17]</sup>。研究还发现, 1-MCP能够抑制“Formosa”李<sup>[18]</sup>、“Angeleno”李<sup>[19-20]</sup>、“Laetitia”李<sup>[21]</sup>和澳李-14<sup>[22]</sup>、黑

琥珀李<sup>[23]</sup>等多种李果实的腐烂。目前, 将1-MCP与其他技术结合使用亦备受青睐。如1-MCP熏蒸处理李果实24 h后于空气中贮藏仅在40~60 d内对褐腐病有明显的控制作用, 但将果实贮藏气调 (controll atmosphere, CA) (1.8% O<sub>2</sub>+2.5% CO<sub>2</sub>) 环境中, 80 d亦能够显著地控制褐腐病的发生, 从长远考虑, 1-MCP与CA环境结合贮藏果实更能够抑制褐腐病发生<sup>[20]</sup>。将1-MCP与水杨酸结合处理能显著抑制贮藏104 d加5 d货架期后李果实腐烂率的升高<sup>[23]</sup>。以上结果表明, 1-MCP与其他技术联用能够更好地延长果实的贮藏品质。然而, 目前鲜见将1-MCP与戊唑醇结合处理应用于李果实采后贮藏的研究报道。

考虑到实验的可行性、产品的成本问题以及李果实的安全性问题, 本研究应用1-MCP与两种质量浓度 (13.5、27.0 mg/L) 戊唑醇结合处理青脆李果实, 比较常温 and 低温贮藏条件下对李果实褐腐病控制效果及对果实色泽、硬度的影响, 为李果实的保鲜及褐腐病的控制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试青脆李果实采于重庆市北碚区。采后剔除病果、伤果、畸形果, 挑选饱满、色泽光亮, 无病虫斑、大小均一、成熟度一致的新鲜成熟果实, 用质量分数2%次氯酸钠溶液浸泡2 min, 然后用自来水冲洗干净, 在室温 (20℃) 条件下晾干后备用。

1-MCP (有效质量分数为0.14%) 深圳绿农保鲜公司; 戊唑醇 (有效含量为430 g/L) 拜耳作物科学 (中国) 有限公司。

### 1.2 仪器与设备

UltraScan<sup>®</sup>PRO色差仪 美国Hunter Lab公司; 质构仪 美国Brookfield公司; 高效液相色谱仪 日本岛津公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 褐腐菌悬浮液的制备

褐腐菌 (*M. fructicola*) 分离自典型发病李果实, 于22℃在PDA培养基 (土豆200 g、葡萄糖20 g、琼脂20 g、水1 000 mL) 上培养6 d, 在无菌条件下, 用无菌水配制成孢子悬浮液 (1×10<sup>5</sup> CFU/mL)。

#### 1.3.2 损伤接种实验

实验共分6组处理, 前3组处理如下: 用打孔器将果实打孔, 接10 μL的10<sup>5</sup> CFU/mL褐腐病菌孢子悬浮液, 然后分别接入无菌水 (对照)、13.5 mg/L戊唑醇 (13.5 mg/L戊唑醇组) 和27.0 mg/L戊唑醇 (27.0 mg/L戊唑醇组) 各10 μL, 另外3组处理如下: 先用5 μL/L 1-MCP熏蒸青脆李6 h, 然后打孔接入10 μL 10<sup>5</sup> CFU/mL褐腐病菌孢子悬

浮液,再分别接入10  $\mu$ L无菌水(1-MCP组)、13.5 mg/L戊唑醇(1-MCP+13.5 mg/L戊唑醇组)和27.0 mg/L戊唑醇(1-MCP+27.0 mg/L戊唑醇组)。处理后的李果实采用聚乙烯薄膜袋分袋包装后分别置于20、0  $^{\circ}$ C条件下贮藏,定期观察发病率和病斑直径,见公式(1)。每组处理30个果实,3次重复。

$$\text{发病率}/\% = \frac{\text{果实发病孔数}}{\text{果实总孔数}} \times 100 \quad (1)$$

### 1.3.3 浸泡实验

实验共分6组处理,前3组处理如下:李果实分别用无菌水(对照)、13.5 mg/L戊唑醇(13.5 mg/L戊唑醇组)和27.0 mg/L戊唑醇(27.0 mg/L戊唑醇组)浸泡1 min。另外3组处理如下:先用5  $\mu$ L/L 1-MCP熏蒸青脆李6 h,再分别用无菌水(1-MCP组)、13.5 mg/L戊唑醇(1-MCP+13.5 mg/L戊唑醇组)和27.0 mg/L戊唑醇(1-MCP+27.0 mg/L戊唑醇组)浸泡1 min。处理后的李果实采用聚乙烯薄膜袋分袋包装后分别置于20、0  $^{\circ}$ C条件下贮藏,定期观察果实自然发病率和病情指数,见公式(2)、(3),每组处理30个果实,3次重复。另外,20  $^{\circ}$ C贮藏条件下的果实每隔5 d取样测定其色差、硬度和戊唑醇残留量;0  $^{\circ}$ C贮藏条件下的果实每隔20 d取样测定其色差、硬度和戊唑醇残留量。每组处理54个果实,3次重复。

$$\text{自然发病率}/\% = \frac{\text{果实发病个数}}{\text{果实总个数}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{病情指数}/\% = \frac{\sum \text{各级病果数} \times \text{各级代表值}}{\text{果实总个数} \times \text{最高级代表值}} \times 100 \quad (3)$$

### 1.3.4 果实 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值的测定

采用UltraScan<sup>®</sup>PRO色差仪测量。根据CIE Lab颜色空间,以标准白板( $L^*=96.22$ 、 $a^*=6.03$ 、 $b^*=15.06$ )为参照物,随机选取果实测定部位测定 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值,每个处理随机选取18个果实,每个果实取赤道处3点进行测定,取平均值,3次重复。

### 1.3.5 果实硬度的测定

硬度的测定采用质构仪。采用TA/39探头沿果实赤道周围等距离测定3次。测定参数:预压速率2.00 mm/s,下压速率1.00 mm/s,压后回升速率2.00 mm/s,回升距离8 cm,试样受压变形5%。由质地特征曲线得到表征果实硬度的评价参数。每个处理每次测定18个果实,3次重复。

### 1.3.6 戊唑醇残留量的测定

参照陈莉等<sup>[24]</sup>的方法。高效液相色谱分析柱:岛津C<sub>18</sub> ODS柱(4.6 mm $\times$ 250 mm, 5  $\mu$ m);柱温:30  $^{\circ}$ C;波长:223 nm;进样量:10  $\mu$ L;流速:0.8 mL/min;流动相:甲醇-水(体积比为80:20)。

### 1.4 数据统计及分析

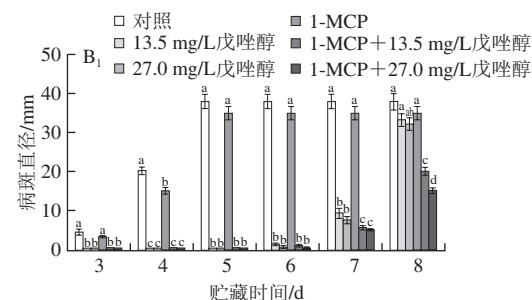
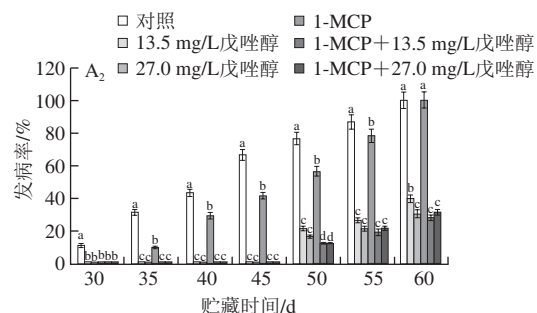
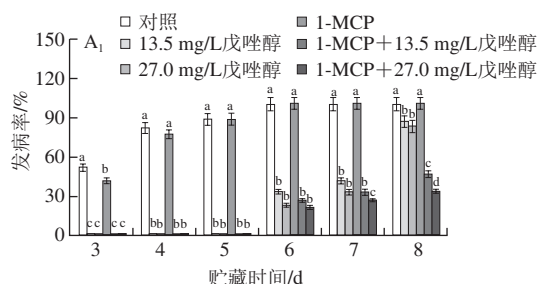
采用Excel 2013软件统计分析数据,计算标准误并制

图;应用SPSS 19.0对数据进行方差分析(ANOVA),利用邓肯氏多重比较进行差异显著性分析, $P<0.05$ 表示差异显著。

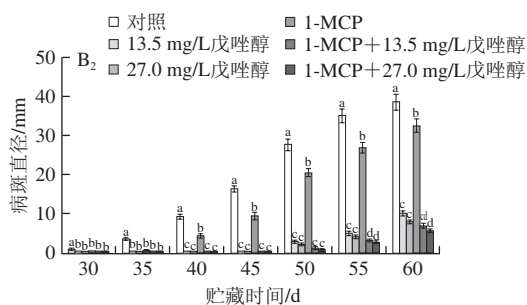
## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP和戊唑醇处理对采后李果实褐腐病发病率和病斑直径的影响

由图1A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>可以看出,20  $^{\circ}$ C贮藏条件下,与对照相比,1-MCP单独处理对李果实褐腐病没有显著控制效果,戊唑醇单独处理能够显著降低李果实褐腐病的发病率和病斑直径。1-MCP结合戊唑醇处理对于李果实褐腐病的控制效果显著优于戊唑醇和1-MCP单独处理,其中1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理控制病害效果最好。由图1A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>可知,0  $^{\circ}$ C贮藏条件下,与对照相比,戊唑醇单独处理、1-MCP单独处理、1-MCP与戊唑醇结合处理都能够显著降低李果实褐腐病的发病率和病斑直径。贮藏后期,1-MCP结合戊唑醇处理的控制病害效果显著优于戊唑醇单独处理。整个贮藏期中13.5 mg/L和27.0 mg/L戊唑醇处理控制李果实病害的效果均无显著差异。







下脚标1、2分别表示20 °C和0 °C；同一天不同字母代表差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

图1 20、0 °C贮藏条件下1-MCP、戊唑醇处理对采后李果实褐腐病发病率(A)和病斑直径(B)的影响

Fig. 1 Effects of 1-MCP and tebuconazole treatments on brown rot incidence and lesion diameter in plum fruits during storage at 20 and 0 °C

## 2.2 1-MCP和戊唑醇处理对采后李果实自然发病率和病情指数的影响

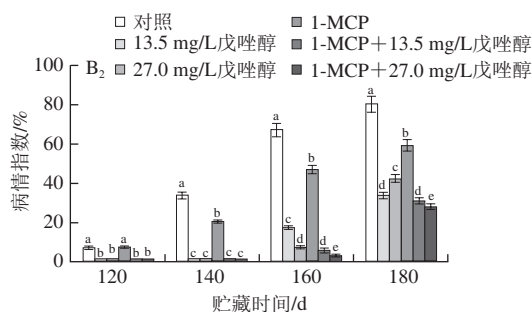
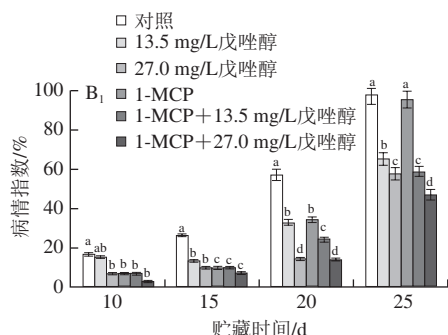
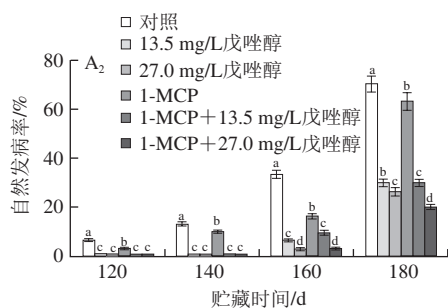
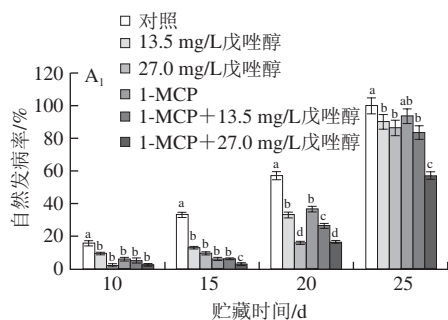


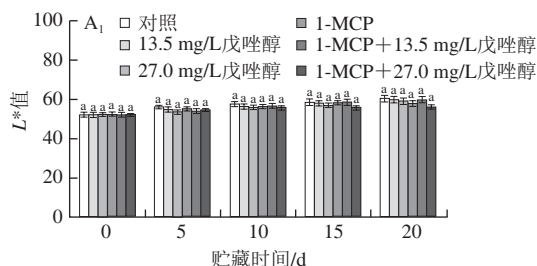
图2 20、0 °C贮藏条件下1-MCP、戊唑醇处理对采后李果实自然发病率(A)和病情指数(B)的影响

Fig. 2 Effects of 1-MCP and tebuconazole treatments on natural incidence of brown rot and disease index in plum fruits during storage at 20 and 0 °C

图2显示,与对照相比,20 °C和0 °C贮藏条件下,1-MCP单独处理、戊唑醇单独处理、1-MCP与戊唑醇结合处理在贮藏期内均能有效控制青脆李果实褐腐病的发病程度。1-MCP结合13.5 mg/L戊唑醇处理控制李果实病害的效果显著优于1-MCP单独处理,但与13.5 mg/L戊唑醇单独处理之间无显著性差异。1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理控制李果实病害的效果最好,贮藏后期其发病率和病斑直径显著低于其他各组。

## 2.3 1-MCP和戊唑醇处理对采后李果实色差值的影响

20 °C贮藏条件下,对照组和处理组青脆李果实的 $L^*$ 值和 $b^*$ 值在整个贮藏期间基本稳定,处理组与对照组之间也无显著性差异(图3A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>)。青脆李果实 $a^*$ 值在贮藏期间呈现逐渐上升趋势。戊唑醇单独处理组果实的 $a^*$ 值与对照组相比无显著性差异。与对照以及戊唑醇单独处理相比,1-MCP单独处理、1-MCP与13.5 mg/L和27.0 mg/L戊唑醇结合处理都能显著延缓李果实贮藏期间 $a^*$ 值的上升趋势,延缓果实的转黄过程,其中1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理对 $a^*$ 值上升的抑制效果最好(图3A<sub>2</sub>)。图3A<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>显示,0 °C贮藏条件下各处理对于青脆李果实色差值的影响规律与20 °C贮藏条件下基本相似,只是1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理对 $a^*$ 值上升的抑制效果与1-MCP单独处理、1-MCP与13.5 mg/L戊唑醇结合处理之间并无显著差异。以上结果表明,戊唑醇单独处理不能延缓果实的转黄进程,1-MCP单独处理和1-MCP与两种质量浓度戊唑醇结合处理均能够延缓果实的转黄进程,并且1-MCP单独使用和1-MCP与戊唑醇结合使用之间无差异,说明在延缓果实转黄进程中1-MCP发挥主要作用。



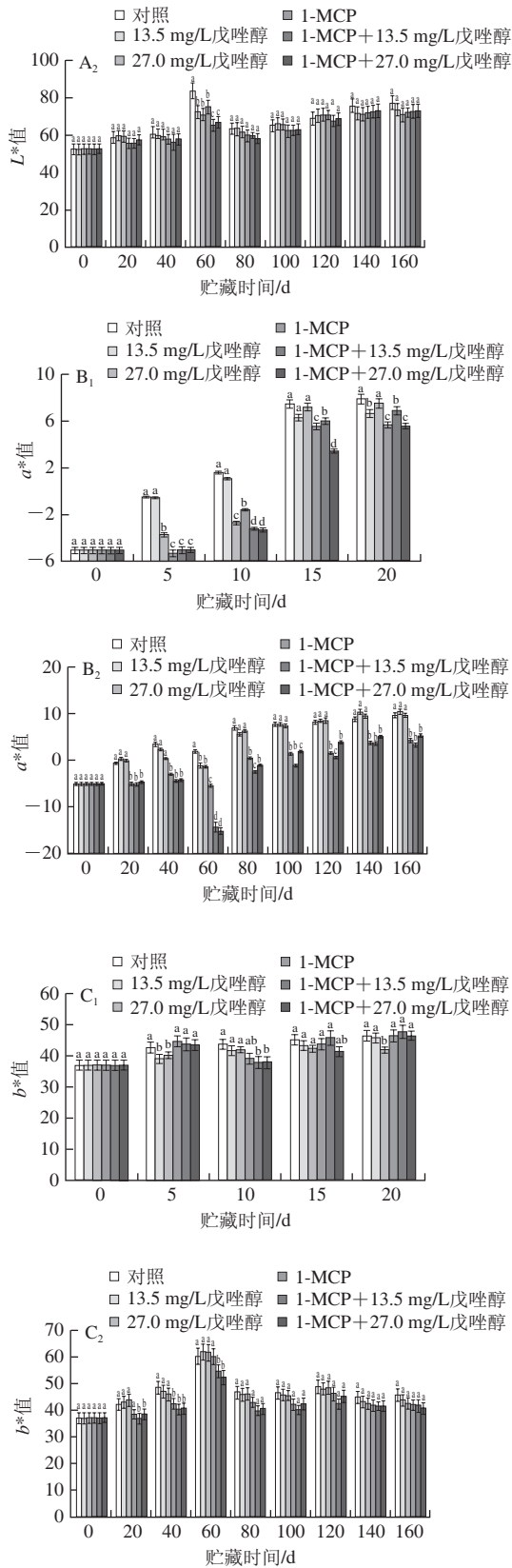


图3 20、0 °C贮藏条件下1-MCP、戊唑醇处理对采后李果实  $L^*$  (A)、 $a^*$  (B)、 $b^*$  (C) 值的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP and tebuconazole treatments on  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values of plum fruits during storage at 20 and 0 °C

## 2.4 1-MCP和戊唑醇处理对采后李果实硬度的影响

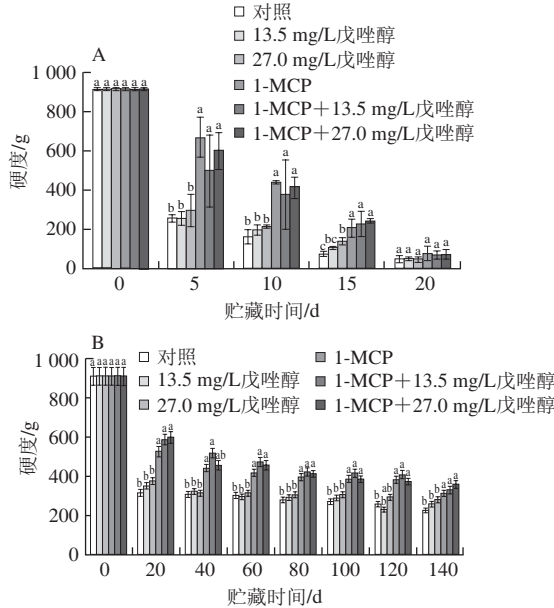


图4 20 (A)、0 °C (B) 贮藏条件下1-MCP、戊唑醇处理对采后李果实硬度的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP and tebuconazole treatments on firmness of plum fruits during storage at 20 (A) and 0 °C (B)

如图4所示, 李果实硬度在20 °C和0 °C贮藏期间呈现下降的趋势。1-MCP单独处理、1-MCP与两种质量浓度戊唑醇结合处理组果实硬度的下降速度显著低于对照组和戊唑醇单独处理组 ( $P < 0.05$ )。戊唑醇单独处理并不能抑制采后青脆李果实硬度的下降, 而1-MCP和戊唑醇结合处理与1-MCP单独处理对果实硬度的抑制无显著性差异, 说明在延缓青脆李果实硬度下降过程中1-MCP起主要作用, 戊唑醇并不能发挥作用。

## 2.5 青脆李果实戊唑醇残留量结果

由图5A可知, 20 °C贮藏条件下, 各处理组青脆李果实戊唑醇残留量随着贮藏时间的延长呈现下降的趋势。贮藏第5天时, 27.0 mg/L戊唑醇单独处理组果实的戊唑醇含量为1.07 mg/kg, 超过GB 2763—2014中规定的最大允许残留量 (1 mg/kg), 其他处理组李果实的戊唑醇残留量均在GB 2763—2014规定的限量范围内。贮藏第10天后, 各处理组果实的戊唑醇残留量都已经下降至GB 2763—2014规定的限量范围之内。1-MCP与13.5 mg/L戊唑醇结合处理组李果实的戊唑醇残留量最低, 其次是13.5 mg/L戊唑醇单独处理组。

由图5B可知, 0 °C贮藏条件下, 13.5 mg/L戊唑醇单独处理组、1-MCP与13.5 mg/L戊唑醇结合处理组李果实的戊唑醇残留量呈现先上升后下降的趋势; 27.0 mg/L戊唑醇单独处理组、1-MCP与27.0 mg/L戊唑醇结合处理组李果实戊唑醇残留量随着贮藏时间的延长呈现下降的趋势; 前2组处理的李果实戊唑醇残留量显著低于后两组处

理。贮藏第20天时, 27.0 mg/L戊唑醇单独处理组果实戊唑醇含量超过GB 2763—2014中规定的最大允许残留限量(1 mg/kg), 其他处理组戊唑醇残留量均在规定的限量范围内; 贮藏第40天后, 各处理组果实戊唑醇残留量均低于国标规定的最大允许残留限量。

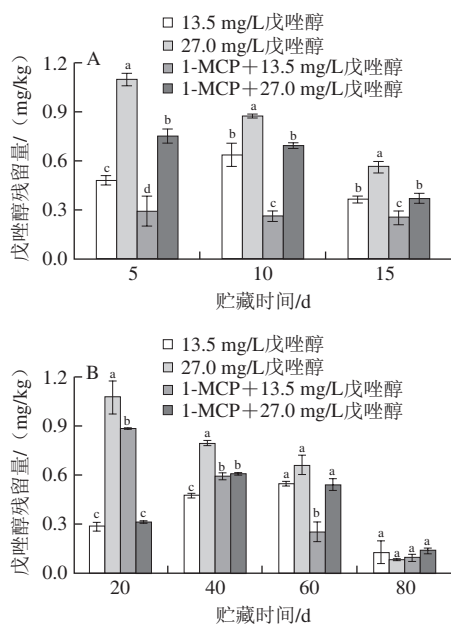


图5 20 (A)、0 °C (B) 贮藏条件下李果实戊唑醇残留量

Fig. 5 Tebuconazole residues of plum fruits during storage at 20 (A) and 0 °C (B)

### 3 讨论

1-MCP通过抑制乙烯的生成, 延缓果实的衰老和抑制病害的发生<sup>[25]</sup>。Jiang等<sup>[26]</sup>研究表明1-MCP处理对草莓果实腐烂影响与处理剂量有关, 低剂量1-MCP处理可抑制草莓腐烂, 而高剂量1-MCP处理却促进了果实腐烂发生。金鹏<sup>[27]</sup>发现0.5 μL/L 1-MCP处理减少了桃果实采后青霉病、灰霉病、软腐病的发生, 而高于5 μL/L 1-MCP处理对桃果实采后病害无显著影响。本实验结果显示在常温贮藏条件下5 μL/L 1-MCP处理不能控制采后李果实褐腐病的发生, 低温贮藏条件下5 μL/L 1-MCP处理能够控制果实褐腐病的发生。因此对于1-MCP的处理效果不仅仅与处理剂量有关, 可能还与处理时间、果实贮藏温度、果实品种、果实成熟度<sup>[28]</sup>等有关。戊唑醇通过抑制细胞膜上的麦角甾醇的去甲基化, 能够控制采后苹果炭疽病、轮纹病等的发生<sup>[29-30]</sup>。同时, 戊唑醇是一种内吸性杀菌剂, 在李果实果皮上黏着性强, 可向果皮中进一步渗透, 这一特性有利于抑杀果皮上的致病微生物, 从而起到更好的贮藏保鲜效果。将1-MCP与戊唑醇结合处理, 1-MCP和戊唑醇处理结合了

两者的优点, 不仅能够发挥1-MCP的保鲜作用, 增强果实的抗病性, 还能够通过戊唑醇的杀菌作用减轻果实病害发生。

李果实采后贮藏过程中, 色泽作为评价果实成熟度、新鲜度、品质以及商品价值的重要感官指标之一, 其改变严重影响销售, 因此保持李果实采后贮藏过程中明亮的色泽尤为重要。不同品种李果实色泽的影响因素不同。红皮李果实色泽主要因素为 $L^*$ 值, 而绿皮李果实色泽因素主要是 $a^*$ 值。青脆李果实属于绿皮李的一种, 因此 $a^*$ 值成为其主要的影响因素,  $a^*$ 值越大表示果实越黄(图3)。0 °C贮藏条件下1-MCP与13.5 mg/L戊唑醇结合处理 $a^*$ 值最低, 而单独戊唑醇处理与对照无显著性差异, 这说明在延缓果实色泽转变上主要是1-MCP发挥了重要作用, 而戊唑醇在延缓果实贮藏期的过程中主要发挥其内吸传导和广谱杀菌作用<sup>[31]</sup>。20 °C贮藏条件下1-MCP与戊唑醇结合处理也能显著延缓果实转黄, 与低温不同的是, 27.0 mg/L戊唑醇处理对延缓果实色泽转变也有积极的影响, 这说明戊唑醇的作用质量浓度和作用后的贮藏温度能够影响其作用效果。

李果实采后贮藏、运输和销售过程中, 最关键的即为其品质的保持, 而果实硬度又作为构成果实品质的主要要素之一, 因此果实硬度的维持至关重要。大量的研究表明, 1-MCP对李果实贮藏期间硬度的下降有显著的抑制作用<sup>[21,32-33]</sup>。本实验支持了以上结论, 同时1-MCP结合戊唑醇处理也能在一定程度上减少李果实的硬度下降, 而单独戊唑醇处理不能显著影响李果实硬度, 这说明在维持硬度上也主要是1-MCP发挥了主要作用, 其原因可能是延缓了果实贮藏期间多聚半乳糖醛酸、羧甲基纤维素酶等细胞壁水解酶活性<sup>[34-35]</sup>。而至于二者之间的具体作用机理还有待于进行进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 郝义, 张平, 邢英丽, 等. 安哥诺李贮藏试验[J]. 中国果树, 2006(3): 12-14. DOI:10.3969/j.issn.1000-8047.2006.03.006.
- [2] 王友升, 张燕, 陈玉娟. 5株桃、李果实采后褐腐病菌鉴定、rDNA ITS序列与碳源代谢指纹图谱分析[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 246-250.
- [3] 田利华, 周国梁, 黄建康, 等. 进口智利李子上核果褐腐病菌鉴定[J]. 植物检疫, 2008, 22(4): 201-204. DOI:10.3969/j.issn.1005-2755.2008.04.001.
- [4] 高莹, 魏少刚, 谈静惠, 等. 欧李酸腐病病原菌鉴定及其生物学特性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2012, 32(4): 328-332. DOI:10.3969/j.issn.1671-8151.2012.04.008.
- [5] CHEN Jiaojiao, ZHANG Shaoshan, YANG Xiaoping. Control of brown rot on nectarines by tea polyphenol combined with tea saponin[J]. Crop Protection, 2013, 45(3): 29-35. DOI:10.1016/j.cropro.2012.11.006.
- [6] PONIATOWSKA A, MICHAŁECKA M, BIELENIN A. Characteristic of *Monilinia* spp. fungi causing brown rot of pome and stone fruits in Poland[J]. European Journal of Plant Pathology, 2012, 135(4): 855-865. DOI:10.1007/s10658-012-0130-2.

- [7] GONÇALVES F P, MARTINS M C, JUNIOR G J S, et al. Postharvest control of brown rot and *Rhizopus rot* in plums and nectarines using carnauba wax[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(3): 211-217. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.08.004.
- [8] COX K D, VILLANI S M, RAES J J, et al. First reports of brown fruit rot on sweet Cherry (*Prunus avium*) and plum (*P. domestica*) and shoot blight on apricot (*P. armeniaca*), kwanzan cherry (*P. serrulata*), and sweet cherry (*P. avium*) caused by *Monilinia laxa* in New York, Rhode Island, and Massachusetts[J]. Plant Disease, 2011, 95(12): 1584. DOI:10.1094/PDIS-07-11-0606.
- [9] LATORRE B A, DÍAZ G A, VALENCIA A L, et al. First report of *Monilinia fructicola* causing brown rot on stored Japanese plum fruit in Chile[J]. Plant Disease, 2013, 98(1): 160. DOI:10.1094/PDIS-06-13-0647-PDN.
- [10] CHAND-GOYAL T, SPOTTS R A. Postharvest biological control of blue mold of apple and brown rot of sweet cherry by natural saprophytic yeasts alone or in combination with low doses of fungicides[J]. Biological Control, 1996, 6(2): 253-259. DOI:10.1006/bcon.1996.0032.
- [11] WELLS J M, HARVEY J M. Combination heat and 2,6-dkhlora-4-nitroaiiline treatments for control of *Rhizopus* and brown rot of peaches, plums, and nectarines[J]. Phytopathology, 1970, 60(1): 116-120. DOI:10.1094/Phyto-60-116.
- [12] 许秋花, 唐永伟, 闻宁丽, 等. 李树果实病害的症状识别与防治措施[J]. 现代农业科技, 2010, 26(15): 205. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2010.15.142.
- [13] 王英祥, 王革. 果实褐腐病的调查与防治研究[J]. 云南农业大学学报, 1998(1): 29-32.
- [14] 何献声. 19 种杀菌剂对桃褐腐病离体抑菌活性[J]. 农药, 2011, 50(11): 853-854. DOI:10.3969/j.issn.1006-0413.2011.11.024.
- [15] 张殿朋, 韩雪梅, 卢彩鸽, 等. 利用葡萄籽油防治桃子采后褐腐病的研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(5): 105-109. DOI:10.3969/j.issn.1004-3268.2013.05.025.
- [16] 蒋定国. GB 2763—2014 食品中农药最大残留限量实施指南[J]. 中国标准导报, 2014(9): 68-71. DOI:10.3969/j.issn.1004-1575.2014.09.053.
- [17] 陈嘉, 张立新, 赵迎丽, 等. 1-MCP对青脆李亚低温贮藏期间生理生化及品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(6): 18-22. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2011.06.006.
- [18] JUNG J H, KIM Y C, JUNG S K. Fruit quality of 1-methylcyclopropene treated 'Formosa' plum on the shelf life at ambient temperature[J]. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 2010, 28(3): 429-433.
- [19] MENNITI A M, GREGORI R, DONATI I. 1-Methylcyclopropene retards postharvest softening of plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 269-275. DOI:10.1016/j.postharvbio.2003.09.009.
- [20] MENNITI A M, DONATI I, GREGORI R. Responses of 1-MCP application in plums stored under air and controlled atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39(3): 243-246. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.11.007.
- [21] ARGENTA L C, KRAMMES J G, MEGGUER C A, et al. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action[J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2003, 38(10): 1139-1148. DOI:10.1590/S0100-20X2003001000002.
- [22] 成协设. 几个品种李的贮藏保鲜与果肉褐变的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004. DOI:10.7666/d.Y661925.
- [23] 郭晓敏. 桃、李果实采后病害发生特点及其控制措施研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2011.
- [24] 陈莉, 陈家梅, 戴荣彩, 等. 戊唑醇在苹果和土壤中的残留分析方法[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(6): 10-12. DOI:10.3969/j.issn.1002-5480.2005.06.005.
- [25] CANDAN A P, GRAELL J, LARRIGAUDIÈRE C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(1): 107-112. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.06.009.
- [26] JIANG Y, JOYCE D C, TERRY L A. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 23(3): 227-232. DOI:10.1016/S0925-5214(01)00123-5.
- [27] 金鹏. 桃果实采后病害和冷害调控及其机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009. DOI:10.7666/d.Y1764627.
- [28] 刘红霞. 1-MCP, BTH和PHC对桃果(*Prunus persica* L.)采后衰老的调控作用及诱导抗病机理的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004. DOI:10.7666/d.y658784.
- [29] 李富根, 吴新平. 戊唑醇的作用特点及其应用概况[J]. 农药科学与管理, 2001, 22(3): 40-41. DOI:10.3969/j.issn.1002-5480.2001.03.021.
- [30] 宋东升, 刘自友, 王凤芝, 等. 40%戊唑醇·多菌灵悬浮剂防治苹果果实主要病害的室内外药效试验[J]. 现代农业科技, 2008, 24(11): 132-134. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2008.11.082.
- [31] 王毓宁, 胡花丽, 李鹏霞, 等. 不同杀菌剂对红香芋贮藏品质及抗氧化能力的影响[J]. 贮藏与保鲜, 2012, 38(11): 207-210. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2012.11.042.
- [32] CANDAN A P, GRAELL J, CRISOSTO C, et al. Improvement of storability and shelf-life of 'Blackamber' plums treated with 1-methylcyclopropene[J]. Food Science and Technology International, 2006, 12(5): 437-443. DOI:10.1177/1082013206069909.
- [33] DONG L, LURIE S, ZHOU H W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(2): 135-145. DOI:10.1016/S0925-5214(01)00130-2.
- [34] FISCHER R L, BENNETT A B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening[J]. Annual Review of Plant Biology, 2003, 42(4): 675-703. DOI:10.1146/annurev.pp.42.060191.003331.
- [35] WAKABAYASHI K, CHUN J P, HUBER D J. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 108(4): 345-352. DOI:10.1034/j.1399-3054.2000.t01-1-100402.x.