

# 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄采后品质及相关生理代谢的调控

李志文<sup>1,2</sup>, 张平<sup>2</sup>, 刘翔<sup>3</sup>, 李江阔<sup>2</sup>, 集贤<sup>2</sup>, 王罡<sup>3,\*</sup>

(1.天津大学化工学院, 天津 300072; 2.国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.天津大学农业与生物工程学院, 天津 300072)

**摘要:**以“乍娜”葡萄为试材, 研究0.5 μL/L 和1.5 μL/L 2个用量的1-MCP处理结合冰温贮藏(温度 $-0.3^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ )对葡萄采后主要品质及相关生理指标的作用效果。结果表明: 冰温贮藏结合2个浓度的1-MCP处理均可在不同程度上提高葡萄贮藏好果率并降低质量损失率和果梗褐变指数, 抑制葡萄果穗呼吸强度和乙烯生成速率的增加, 并能够有效抑制果实丙二醛(malondialdehyde, MDA)、超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )、过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )含量和脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性的增加, 保持或增大超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性; 1 μL/L 1-MCP处理结合冰温贮藏作用效果较好, 使葡萄贮期较普通冷库对照延长20d。综上所述, 适宜浓度的1-MCP处理结合冰温贮藏有利于提高葡萄采后贮藏品质和果实抗性、延缓果实衰老, 在鲜食葡萄无硫保鲜方面具有非常好的应用前景。

**关键词:** 葡萄; 1-MCP; 冰温贮藏; 品质; 生理代谢

## Effects of 1-MCP Treatment in Combination with Controlled Freezing-point Storage on Postharvest Qualities and Physiological Metabolism of Grape (*Vitis vinifera* L.)

LI Zhi-wen<sup>1,2</sup>, ZHANG Ping<sup>2</sup>, LIU Xiang<sup>3</sup>, LI Jiang-kuo<sup>2</sup>, JI Xian<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>3,\*</sup>

(1. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products,

National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China;

3. College of Agriculture and Bioengineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Table grape (*Vitis vinifera*) “ZaNa” was used to investigate the effect of 0.5 or 1.0 μL/L 1-MCP treatment combined with controlled freezing-point temperature ( $-0.3^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ) storage on the postharvest quality and physiology indexes. The results showed that controlled freezing-point temperature storage combined with 1-MCP of both concentrations not only increased the good fruit rate, but also decreased the weight loss rate and stem browning index of grape. The combined treatment inhibited the increase of respiratory intensity and ethylene generation rate of grape cluster and MDA,  $\text{O}_2^{\cdot-}$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  contents, and LOX activity in grape fruit, and maintained or increased SOD and POD activities of grape fruit. Controlled freezing-point temperature storage combined with 1.0 μL/L 1-MCP treatment prolonged the storage life by 20 days compared to general cold storage. In conclusion, proper 1-MCP treatment in combination with controlled freezing-point temperature storage can increase storage postharvest fruit quality and resistance to deterioration and delay fruit senescence.

**Key words:** table grape; 1-MCP; controlled freezing-point temperature storage; quality; physiological metabolism

中图分类号: S663.1; TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)20-0300-07

葡萄(*Vitis vinifera* L.)属于葡萄科(Vitaceae Juss)葡萄属(*Vitis* L.)落叶藤本植物, 因其味道甜美、营养丰富而

深受消费者喜爱, 尤其反季节鲜食葡萄更是具有很高的市场价值。但由于葡萄收获时间集中, 且含水量大,

收稿日期: 2011-01-10

基金项目: 国宝现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30)

作者简介: 李志文(1981—), 女, 助理研究员, 博士后, 主要从事果蔬采后生理与贮藏保鲜研究。E-mail: lizhiwen315@163.com

\*通信作者: 王罡(1946—), 男, 教授, 博士, 主要从事植物生物技术及基因工程研究。E-mail: wanggangtigx@126.com

组织娇嫩, 采后极易出现腐烂、脱粒、干梗、褐变而难于贮藏和长途运输<sup>[1]</sup>。目前国内外对葡萄的保鲜应用较多的是二氧化硫(SO<sub>2</sub>)防腐技术并辅以低温贮运, 由于SO<sub>2</sub>的有效杀菌剂量和使葡萄发生伤害的剂量相近, 伴随着SO<sub>2</sub>的使用, 漂白、伤害、异味等问题一直存在, 极大地降低了贮藏葡萄的商品价值<sup>[2]</sup>。因此, 开发替代SO<sub>2</sub>保鲜剂的天然无公害葡萄贮藏保鲜技术已经成为国际葡萄保鲜领域研究探讨的重点方向之一。

一般认为, 葡萄属于非跃变型果实, 但近年来研究发现, 在葡萄采后呼吸代谢过程中仅果粒的呼吸模式为非跃变型, 而果穗与果梗则属于呼吸跃变型, 整穗葡萄的呼吸强度和乙烯生成主要取决于果穗与果梗, 而这可能是葡萄贮藏过程中品质下降的主要因素<sup>[3]</sup>。1-甲基环丙烯(1-MCP)为近年来发现的一种乙烯受体抑制剂。研究表明, 1-MCP通过竞争乙烯作用受体而影响乙烯的生理活动, 从而抑制植物的成熟和衰老<sup>[4]</sup>。最新报道表明, 适宜浓度的1-MCP处理可以有效的抑制草莓<sup>[5]</sup>、荔枝<sup>[6]</sup>、番荔枝<sup>[7]</sup>、菠萝<sup>[8]</sup>、甜樱桃<sup>[9]</sup>、茄子<sup>[10]</sup>等非呼吸跃变型果蔬乙烯生成和呼吸作用, 提高果实抗氧化能力, 降低膜脂过氧化程度, 从而延缓果实衰老软化, 保持果实品质。冰温贮藏(controlled freezing-point temperature storage)是将食品贮藏在0℃以下至各自的冻结点范围内, 使果蔬内部组织液未发生冻结的同时仍能有效保持细胞活体状态, 是继低温冷藏、气调贮藏后的第3代贮藏保鲜技术<sup>[11]</sup>。大量研究结果表明<sup>[12-13]</sup>, 冰温贮藏可以很好的抑制有害微生物的活动和呼吸作用的强度, 延长生鲜食品的保鲜期, 并且能够提高水果、蔬菜的贮运品质。近年来, 国内外对于1-MCP在葡萄采后保鲜中的作用效果及作用机理研究甚少, 关于1-MCP结合冰温贮藏技术的研究更是未见报道, 为了深入了解1-MCP处理结合冰温贮藏对葡萄采后保鲜效果及相关生理作用, 本实验以葡萄品种“乍娜”为试材, 研究1-MCP结合冰温贮藏对葡萄采后外观品质及相关生理代谢的作用效果, 进而为葡萄新型无硫保鲜技术的开发提供切实的方法和理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

葡萄品种为“乍娜”, 于2010年6月30日采自天津市武清区灰锅口村, 采收后装入周围铺有报纸的塑料筐内, 于采收当天运回国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)进行相关处理。

1-MCP粉剂 美国罗门哈斯公司(Rohm and HAAS company, AgroFresh™ Technology); 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

BW-120冰温保鲜库、普通冷库 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津); 岛津2010气相色谱仪、AUW220D型电子分析天平 日本岛津公司; Spectronic Genesys 5型紫外/可见分光光度计 美国Thermo公司; Biofuge Stratos台式高速冷冻离心机 德国Heraeus公司; Check point型便携式O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>测定仪 丹麦PBI Dansensor公司; SPX-250IC型人工气候箱 上海博讯实业有限公司。

### 1.3 材料处理

将采收后的葡萄从中选取无病害、无霉变、无机械损伤的果实放置于1m<sup>3</sup>的密闭塑料帐内, 帐内加设风机吹风使1-MCP分布均匀, 使帐内1-MCP分别达0.5μL/L(C<sub>1</sub>)和1.0μL/L(C<sub>2</sub>)2个处理剂量, 熏蒸24h(处理方法参照孙希生等<sup>[14]</sup>方法), 每帐内码垛放置葡萄35kg, 每个浓度3次重复, 之后将处理过的葡萄果实随机称取2.5kg/袋小心放入PE保鲜袋(厚度0.03mm)中, 然后整齐放入可周转塑料果实包装箱中, 每箱放一袋, 最后将其放入BW-120冰温保鲜库(温度-0.3℃±0.3℃)中进行贮藏(分别记为B-C1和B-C2)。以未用1-MCP处理的葡萄果实分别放置在冷库和冰温库中贮藏作为对照(分别记为L-CK和B-CK), 每10d各处理取出3箱果实, 随机取样调查, 进行相关指标测试。

### 1.4 测试指标和方法

#### 1.4.1 外观品质指标

果实好果率/%=(总果质量-腐烂果质量-脱粒果质量)/总果质量×100; 果实质量损失率/%=(贮前果质量-贮后果质量)/贮前果质量×100; 果梗褐变指数<sup>[15]</sup>: 每次随机取20穗果进行分级, 并按照公式褐变指数/%=[(各级果穗数×褐变级数)/(总果穗数×最高级数)]×100计算。褐变级数: 果梗、穗轴部位均没有褐变为0级, 果梗或穗轴褐变面积不超过总面积的1/4为1级, 果梗或穗轴褐变面积占总面积的1/4~1/2为2级, 果梗或穗轴褐变面积占总面积的1/2~3/4为3级, 果梗和穗轴褐变面积超过3/4为4级。

#### 1.4.2 呼吸强度<sup>[6]</sup>和乙烯生成速率<sup>[16]</sup>

葡萄出库后, 立即从各处理葡萄果穗不同部位剪取小串果穗, 精确称质量(约500g)后放置于容积为2L的密闭干燥罐中, 将罐口密封后统一放置于20℃恒温培养箱中4h。然后以便携式O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>测定仪测定罐内CO<sub>2</sub>浓度, 并计算呼吸强度, 单位为mg CO<sub>2</sub>/(kg·h)。再以注射器抽取罐内气体20mL(反复吸打3次), 用气相色谱仪程序升温法测定乙烯含量, 采用面积外标法计算, 标样的体积分数为50μL/L。

#### 1.4.3 酶活性及相关物质含量测定

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性

测定: 采用氮蓝四唑(nitrotetrazolium blue chloride, NBT)光还原法<sup>[17]</sup>, 以能抑制 NBT 50% 所需酶量为 1 个酶活单位(U); 蛋白含量: 采用 Folin- 酚试剂法测定<sup>[17]</sup>; 过氧化物酶(peroxidase, POD)活性测定: 采用愈创木酚法<sup>[17]</sup>, 以 OD<sub>460</sub> 值每增加 0.1 为一个活性单位; 脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性测定: 采用氧化亚油酸钠分光光度法<sup>[18]</sup>, 以 3min 内 234nm 处 OD 值变化表示为活性单位; 超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>•</sup>)含量测定: 采用  $\alpha$ - 萘胺反应法<sup>[17]</sup>; 过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)含量测定: 采用四氯化钛法<sup>[19]</sup>; 丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定: 采用硫代巴比妥酸法<sup>[17]</sup>。以上测定每个处理随机从果穗不同部位取 15 个果, 并从中重复取样 3 次进行测定。

### 1.5 数据处理与分析

数据采用 Excel 2003 软件进行统计处理, 差异显著性(Tukey test)分析采用 DPS7.05 数据分析软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄贮藏外观品质的影响

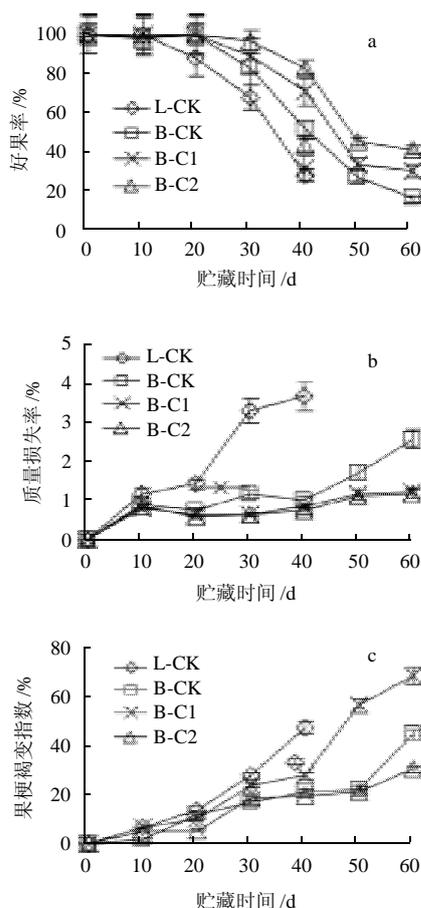


图1 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实好果率(a)、质量损失率(b)及果梗褐变指数(c)的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on good fruit rate (a), weight loss rate (b) and stem browning index (c) of grape

图1表明, 随着贮藏时间的延长, 葡萄好果率(a)呈下降趋势, 质量损失率(b)和果梗褐变指数(c)则呈上升趋势。其中, 贮藏10d时, 各处理葡萄在好果率、质量损失率和果梗褐变指数上差异均不显著( $P > 0.05$ ); 贮藏20d后, 冷库对照果实开始出现不同程度的腐烂、脱粒现象, 好果率显著( $P < 0.05$ )低于冰温贮藏各处理, 质量损失率和果梗褐变指数显著( $P < 0.05$ )高于冰温贮藏各处理; 贮藏第30天时冰温对照和1-MCP处理的果实好果率开始下降, 质量损失率开始升高, 各处理间果梗褐变指数的差异也开始出现, 其中冰温对照果实各指标变化幅度均高于1-MCP处理, 1  $\mu$ L/L 1-MCP处理好果率的下降、质量损失率和果梗褐变指数的升高均最慢。冷库对照在贮藏第40天时由于好果不足1/3, 果梗褐变程度也接近50%而无法继续贮藏, 而此时冰温结合1  $\mu$ L/L 1-MCP处理的果实仍保持了83.29%的好果率和28%的果梗褐变指数; 在贮藏60d时1  $\mu$ L/L 1-MCP处理葡萄好果率为41.15%, 显著( $P < 0.05$ )高于冰温对照和0.5  $\mu$ L/L 1-MCP处理, 较冰温对照提高61.12%, 果实质量损失率和果梗褐变指数分别为1.18%和30.67%, 均显著( $P < 0.05$ )低于其他两个处理, 分别较冰温对照降低54.55%和32.35%。因此, 从以上结果分析可知, 1-MCP处理和冰温均可提高葡萄贮藏效果, 其中1  $\mu$ L/L 1-MCP处理结合冰温贮藏可显著提高葡萄好果率、降低质量损失率和果梗褐变指数。如将好果率  $\geq 40\%$  及果梗褐变指数  $\leq 40\%$  作为评价葡萄贮藏期标准, 则1  $\mu$ L/L 1-MCP处理结合冰温贮藏可使葡萄贮期较普通冷库贮藏延长20d。

### 2.2 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果穗呼吸强度和乙烯生成速率的影响

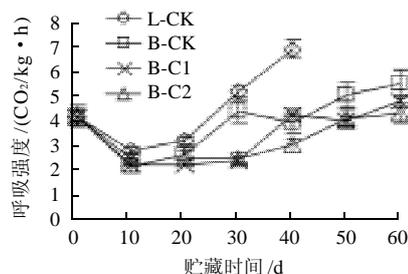


图2 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果穗呼吸强度的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on respiratory intensity of grape cluster

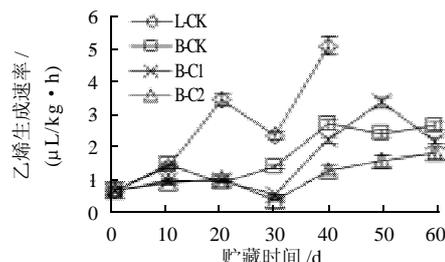


图3 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果穗乙烯生成速率的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on ethylene generation rate of grape

呼吸强度是衡量植物生命活动的重要指标,与果实贮藏关系密切,从呼吸强度的大小和变化可以看出植物营养物质的消耗状况和衰老情况,延缓呼吸强度的上升,可延缓果实衰老。从图2结果显示,葡萄果穗贮藏后呼吸强度总体呈先减小后增大的趋势。从田间采回的葡萄果实保持着较高的呼吸强度(以CO<sub>2</sub>计),由于转入冷库和冰温库中贮藏,从入贮到贮藏10d时,呼吸强度呈下降趋势;从贮藏10d开始冷库对照葡萄呼吸强度开始呈快速上升趋势且在之后贮藏的各时期呼吸强度均显著( $P < 0.05$ )大于冰温贮藏各处理;冰温对照的葡萄呼吸强度从贮藏20d开始迅速增大,且在30d时出现一个峰值,而两个浓度1-MCP处理的葡萄则从贮藏30d开始呼吸强度逐渐增加;在贮藏期20~60d内,1μL/L 1-MCP处理呼吸强度始终小于冰温对照处理。

由图3可知,葡萄贮藏期间,4种处理的葡萄果实乙烯生成速率均整体上表现为增加的趋势,期间出现个别峰值。贮藏10d内各处理间乙烯生成速率差异不显著( $P > 0.05$ );从贮藏10d开始冷库对照葡萄乙烯生成速率开始呈快速上升趋势,在贮藏20d时出现一个峰值,在之后贮藏的各时期乙烯生成速率均显著( $P < 0.05$ )大于冰温贮藏各处理;贮藏20d后,冰温对照处理葡萄乙烯生成速率快速升高,到贮藏40d时达到一个峰值,而1-MCP处理的乙烯生成速率则先降低,到贮藏30d时开始迅速升高,其中0.5μL/L 1-MCP处理乙烯生成速率在贮藏达50d时出现峰值,并显著高于冰温对照和1μL/L 1-MCP处理,而1μL/L 1-MCP处理乙烯生成速率则未出现峰值,且始终显著( $P > 0.05$ )低于冰温对照。因此,从以上结果分析可知,1-MCP处理和冰温均可在一定程度上抑制葡萄果穗呼吸强度和乙烯生成速率的增加,其中1μL/L 1-MCP处理结合冰温贮藏对果穗呼吸强度和乙烯生成速率增加的抑制效果最为显著。

### 2.3 1-MCP结合冰温贮藏对葡萄果实丙二醛含量和脂氧合酶活性的影响

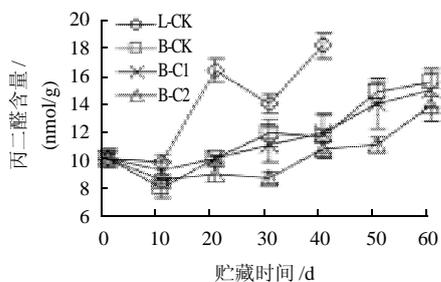


图4 1-MCP结合冰温贮藏对葡萄果实丙二醛含量的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on MDA content in grape

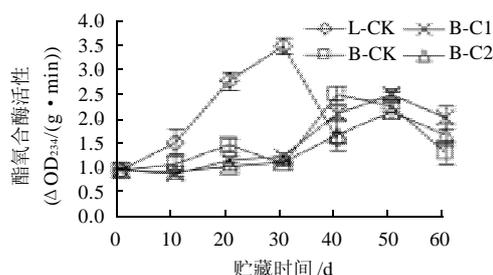


图5 1-MCP结合冰温贮藏对葡萄果实脂氧合酶活性的影响

Fig.5 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on LOX activity in grape

丙二醛是膜脂过氧化产物之一,其含量的增加是膜结构损伤的重要标志。由图4可知,葡萄果实贮藏期间MDA含量整体上呈上升趋势,其中冷库对照果实急剧升高,且在整个贮藏过程中果实中MDA含量均显著( $P < 0.05$ )高于冰温贮藏各处理;冰温对照和0.5μL/L 1-MCP处理果实中MDA含量从入贮后第10天开始逐渐升高,二者无显著差异( $P > 0.05$ );1μL/L 1-MCP处理果实中MDA含量从入贮后第30天开始逐渐升高,在之后的贮藏过程中MDA含量显著( $P < 0.05$ )低于其他两个冰温处理。

脂氧合酶可通过氧化多聚不饱和脂肪酸来破坏细胞膜的完整性及改变膜的通透性,在膜脂过氧化中起重要作用。由图5可知,葡萄果实贮藏期间LOX活性呈先升高后降低的趋势。与冷库对照相比,冰温和1-MCP处理均明显抑制LOX活性峰值的增加及显著( $P < 0.05$ )的延缓LOX活性峰值的出现时间,尽管1-MCP处理抑制效果稍好于冰温对照,且存在一定浓度效应,但冰温贮藏各处理间抑制效果差异不显著( $P > 0.05$ )。从以上分析结果可以看出,1-MCP处理和冰温贮藏均可抑制葡萄果实MDA含量和LOX酶活性的增加,其中1μL/L 1-MCP处理结合冰温贮藏作用效果最明显。

### 2.4 1-MCP结合冰温贮藏对葡萄果实超氧阴离子自由基产生速率和超氧化物歧化酶活性的影响

O<sub>2</sub>·可直接作用于蛋白而进一步转化为对细胞和结构功能产生破坏作用的活性氧,O<sub>2</sub>·的生成速率可反映出植物细胞受损的情况。由图6可以看出,葡萄贮藏后果实中O<sub>2</sub>·产生速率总体呈现逐渐增加的趋势,不同处理的果实增加速度不同。冷库对照的葡萄果实中O<sub>2</sub>·产生速率增加较快,并在贮藏30d之后急速增加,其增加速度显著( $P < 0.05$ )高于冰温贮藏各处理;1μL/L 1-MCP处理葡萄果实O<sub>2</sub>·产生速率增加相对较慢,除了在贮藏30d时与冰温对照和0.5μL/L 1-MCP处理相近以外,其余时间均低于其他处理与对照;冰温对照与0.5μL/L 1-MCP

处理果实  $O_2^- \cdot$  产生速率在整个贮藏期内差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

SOD 可清除过量的  $O_2^- \cdot$ ，因此被认为具有防御活性氧毒性、预防衰老等作用。如图 7 所示，贮藏期间果实中 SOD 酶活性总体呈下降趋势，不同处理的下降速度有所不同。在贮藏初期，冰温对照、冷库对照和  $0.5 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理果实 SOD 酶活性迅速下降，而  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理下降速度低于前三者；之后冷库对照和冰温对照果实的 SOD 酶活性在贮藏 20d 略微上升之后便又继续下降，但冰温对照果实 SOD 酶活性下降速度较慢，而 1-MCP 处理果实 SOD 酶活性在贮藏 20d 后呈明显上升趋势，到贮藏 40d 时达到峰值，其中  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理果实的 SOD 酶活性已接近贮藏前的水平，之后开始迅速下降， $0.5 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理下降速度较快；到贮藏 60d 时  $0.5 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理 SOD 酶活性低于冰温对照与  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理。从以上分析结果可以看出，1-MCP 处理和冰温贮藏均可抑制葡萄果实  $O_2^- \cdot$  产生速率的增加和 SOD 酶活性的下降，其中  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理结合冰温贮藏作用效果最明显。

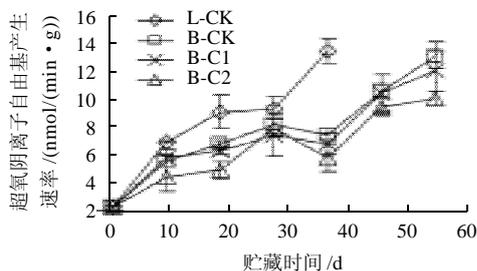


图 6 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实  $O_2^- \cdot$  产生速率的影响  
Fig.6 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on  $O_2^- \cdot$  generation rate in grape

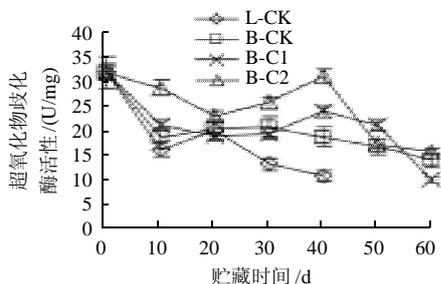


图 7 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实 SOD 活性的影响  
Fig.7 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on SOD activity in grape

## 2.5 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实过氧化氢含量和过氧化物酶活性的影响

$H_2O_2$  是由  $O_2^- \cdot$  转化的产物。如图 8 所示，贮藏期间葡萄果实中  $H_2O_2$  含量总体呈上升趋势。 $H_2O_2$  含量在

贮藏初期比较稳定，在贮藏 10d 之后随时间的延长均呈上升趋势，其中冷库对照的葡萄果实中  $H_2O_2$  含量增加速度较快，显著 ( $P < 0.05$ ) 高于其他处理与对照；1-MCP 处理葡萄果实内  $H_2O_2$  含量的增加速度要低于冷库对照和冰温对照， $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理的增加速度要低于  $0.5 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理。

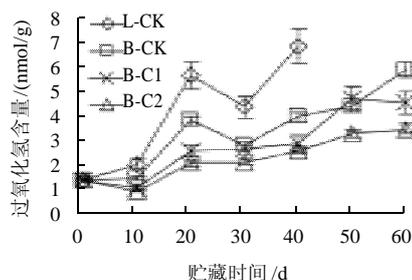


图 8 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实  $H_2O_2$  含量的影响  
Fig.8 Effects of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on  $H_2O_2$  content in grape

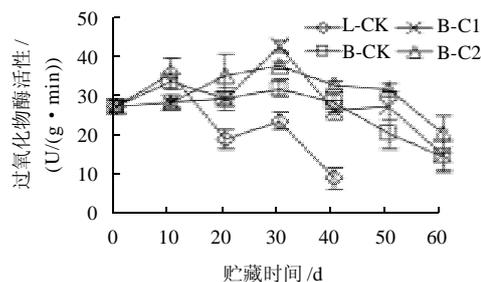


图 9 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实 POD 活性的影响  
Fig.9 Effect of 1-MCP combined with controlled freezing-point storage on POD activity in grape

POD 是植物体内  $H_2O_2$  的主要清除酶之一，可将  $H_2O_2$  降解为对细胞无伤害的  $H_2O$  和  $O_2$ 。如图 9 所示，葡萄果实贮藏期间其 POD 酶活性总体呈先略升高后下降趋势。冷库对照葡萄果实的 POD 酶活性在贮藏初期略有上升，在贮藏 10d 之后其活性开始迅速下降；而冰温贮藏的葡萄果实 POD 酶活性在贮藏 0~30d 内呈上升的趋势，其中 1-MCP 处理果实的上升速度要略高于冰温对照果实；在贮藏 30d 之后冰温贮藏的葡萄果实 POD 酶活性开始迅速下降，其中  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理果实 POD 酶活性相对较高，到贮藏 60d 时， $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理果实 POD 酶活性最高， $0.5 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理与冰温对照无显著差异 ( $P > 0.05$ )。从以上分析结果可以看出，1-MCP 处理和冰温贮藏均可抑制葡萄果实  $H_2O_2$  含量的增加和 POD 酶活性的下降，其中  $1 \mu\text{L/L}$  1-MCP 处理结合冰温贮藏对葡萄果实活性氧抑制效果最好。

### 3 讨论

冰温贮藏技术不但可以明显抑制果蔬的新陈代谢、延长贮藏期,而且能使果蔬的色、香、味、口感和营养物质得到最大程度地保存甚至提高。因为在冰温胁迫条件下,为了防止冻结和失水过多,生物细胞会从体内不断分泌大量的不冻液以降低冰点,这种不冻液的主要成分是葡萄糖、氨基酸、高级醇、蛋白质等,而这些成分与提高果蔬的品质和风味有着密切关系。因此,冰温贮藏效果比冷藏更优越<sup>[20]</sup>。1-MCP能抑制植物组织或器官的呼吸作用,延缓果实衰老进程,抑制果实的质量损失与腐烂衰败,使果实保持良好的外观品质<sup>[21]</sup>。研究表明,梨<sup>[22]</sup>、桃<sup>[23]</sup>、苹果<sup>[24]</sup>等呼吸跃变型果实经1-MCP处理之后,冷藏期间果肉软化褐变情况明显减少,果实外观品质得到了明显的改善。1-MCP处理还可以通过降低失水率、提高好果率和果实硬度来提高诸如枇杷<sup>[25]</sup>、草莓<sup>[5]</sup>、甜樱桃<sup>[9]</sup>及茄子<sup>[10]</sup>等非呼吸跃变型果蔬的贮藏品质。本实验结果表明,1 $\mu$ L/L 1-MCP处理可显著提高葡萄好果率、降低质量损失率和果梗褐变指数,同时葡萄在普通冷库贮藏40d时果实腐烂情况较重,好果率不足1/3,已经失去商品性,而1 $\mu$ L/L 1-MCP处理结合冰温贮藏可使葡萄果实贮藏60d时仍具有相对较高的好果率及品质,较普通冷库贮藏延长20d,这与前人研究结论相符。但是还有人发现,对于非呼吸跃变型水果荔枝而言,300nL/L浓度1-MCP处理明显的抑制荔枝贮藏过程中果实的褐变和保持果色,保持组织完整性,但是当浓度升高到1000nL/L时,1-MCP会促进荔枝的褐变和衰老<sup>[26]</sup>。说明1-MCP对非呼吸跃变型果实的作用可能与处理浓度有关,对于具体水果的使用浓度要做相应的实验分析。

目前,1-MCP抑制呼吸跃变型果实的乙烯反应和呼吸强度的作用已有大量的研究报道,其作用机理也已基本明确。但对于非呼吸跃变型果实而言,其作用效果和机理尚无定论。从本实验结果来看,1-MCP处理和冰温均可在一定程度上抑制葡萄果穗呼吸强度和乙烯生成速率的增加,其中1 $\mu$ L/L 1-MCP处理结合冰温贮藏对果穗呼吸强度和乙烯生成速率增加的抑制效果最为显著。本研究也对1.5 $\mu$ L/L和2.0 $\mu$ L/L的1-MCP作用于葡萄的贮藏保鲜效果做了相关实验,但从实验结果发现1.5 $\mu$ L/L和2 $\mu$ L/L的1-MCP处理会对葡萄果粒和果梗造成一定伤害。1.5 $\mu$ L/L 1-MCP处理后的葡萄果粒颜色明显变暗,贮藏30d后果粒颜色出现不均一现象;而2 $\mu$ L/L 1-MCP处理不但存在上述果粒伤害症状,而且果梗个别茎段颜色变深,小梗变细,落粒现象严重,不利于葡萄果实贮藏。因此,1-MCP处理浓度并非越大越好,1 $\mu$ L/L为较适宜的1-MCP处理浓度。对于葡萄而言,由

于其组织结构特殊性,虽然果粒是非呼吸跃变的,但果梗、穗轴乃至整个果穗的呼吸强度和乙烯释放规律显著高于果粒并符合呼吸跃变型规律<sup>[3]</sup>。因此,基于1-MCP对葡萄果穗乙烯和呼吸作用效果的研究结论具有较高的参考价值,其更深入的作用机制仍有待进一步研究。

果蔬采后的呼吸和乙烯可促进体内活性氧的产生和积累,加剧膜脂过氧化进程从而促进其贮藏过程中的衰老和腐败。果蔬组织衰老时常常伴随着LOX活性的升高,而LOX酶可以催化膜脂中不饱和脂肪酸导致膜降解,同时LOX代谢产物 $O_2\cdot$ 对细胞膜具有破坏作用,会导致组织衰老。而植物组织活性氧清除体系中SOD可以催化 $O_2\cdot$ 生成 $H_2O_2$ ,POD和过氧化氢酶(CAT)催化 $H_2O_2$ 生成 $H_2O$ 和 $O_2$ ,以达到防止活性氧引起膜脂过氧化及其他伤害的目的。有研究结果表明,1-MCP处理可抑制甜瓜<sup>[27]</sup>果实CAT活性的下降,提高贮藏前期SOD和POD的活性。且1-MCP处理在一定时间内可以保持草莓<sup>[5]</sup>果实较高的SOD活性,较低的 $O_2\cdot$ 产生速率,同时 $H_2O_2$ 积累也明显受到抑制。本实验中,作者显著降低果实中 $O_2\cdot$ 的产生速率,抑制MDA的产生,延缓甜瓜果实采后衰老。本实验研究发现,1-MCP处理结合冰温贮藏可以延缓葡萄果实中SOD和POD活性的下降,抑制 $O_2\cdot$ 、MDA及 $H_2O_2$ 含量的积累及LOX活性的增加,从而保持膜系统的完整性,延缓果实的衰老,这与前人的研究结果相类似。此外,本实验也试图以滴定和比色法测定CAT的活性,但几乎测定不到响应值,其原因可能是不同果实具有其特异的活性氧清除系统或检测方法灵敏度有限所致,具体原因尚有待于进一步实验研究。

### 参考文献:

- [1] 贺太祖,张才智,晏宇,等.葡萄贮藏保鲜技术研究进展[J].现代农业科技,2009(22):339-343.
- [2] FRANKA M G, JOSEPH L S, MONIR F M, et al. Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(2): 85-90.
- [3] CHRISTIAN C, ASHRAF E K, ROUSTAN J P, et al. Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit[J]. Plant Science, 2004, 167(6): 1301-1305.
- [4] 董萍,辛广,张博,等.1-MCP处理对南果梨20℃贮藏期间香气成分的影响[J].食品科学,2010,31(22):477-479.
- [5] 李志强,汪良驹,巩文红,等.1-MCP对草莓果实采后生理及品质的影响[J].果树学报,2006,23(1):125-128.
- [6] DHARINI S, LISE K. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar McLean's Red to 1-methylcyclopropene pre-treatment and controlled atmosphere storage conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(6): 942-948.
- [7] LI Cairong, SHEN Weibing, LU Wangjin, et al. 1-MCP delayed softening and affected expression of XET and EXP genes in harvested

- cherimoya fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 52(3): 254-259.
- [8] PIETRO R, EMILIANO C, SANTINA R, et al. Effect of 1-MCP treatment and N<sub>2</sub>O MAP on physiological and quality changes of fresh-cut pineapple[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 51(3): 371-377.
- [9] MOHINI S, JISSY K J, JAYASANKAR S, et al. Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(3): 239-247.
- [10] JUAN F M, ANALÍA C, ALICIA R C, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 59(1): 10-15.
- [11] 刘志鸣, 王金庆, 王建民. 日本冰温技术发展史略[J]. *制冷与空调*, 2005, 19(3): 70-74.
- [12] 刘斌, 申江, 王素英, 等. 猕猴桃及香梨冰温贮藏实验研究[J]. *制冷学报*, 2008, 29(2): 50-53.
- [13] 申春苗, 汪良驹, 王文辉, 等. 近冰温贮藏对黄金梨保鲜与货架期品质的影响[J]. *果树学报*, 2010, 27(5): 739-744.
- [14] 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, 20(1): 12-17.
- [15] 田金强, 张子德, 陈志周. 红提葡萄贮藏保鲜过程中SO<sub>2</sub>伤害的防止技术研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(1): 250-252.
- [16] 刘会超, 韩振海, 许雪峰. 外源钙对苹果果实乙烯生成的影响[J]. *园艺学报*, 2002, 29(3): 258-260.
- [17] 高俊凤. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 210-213; 217-219; 221-223.
- [18] 汤章城. *现代植物生理学实验指南*[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 196-197.
- [19] 韩浩章, 姜卫兵, 费宪进. 葡萄和油桃自然休眠解除过程中H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量和抗氧化酶活性的变化[J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30(1): 50-54.
- [20] 张辉玲, 刘明津, 张昭其. 果蔬采后冰温贮藏技术研究进展[J]. *热带作物学报*, 2006, 27(1): 101-105.
- [21] 张四奇, 陈发河. 1-MCP在果蔬采后保鲜上应用的研究进展[J]. *食品科学*, 2006, 27(8): 262-265.
- [22] VILLALOBOS-ACUNA M G, BIASI W V, FLORES S, et al. Effect of maturity and cold storage on ethylene biosynthesis and ripening in 'Bartlett' pears treated after harvest with 1-MCP[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 59(1): 1-9.
- [23] CHUN J P, SEO J S, KIM M S, et al. Effects of 1-MCP and storage condition on shelf life and quality of 'Janghowon Hwangdo' peach (*Prunus persica* Batsch)[J]. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 2010, 28(4): 585-592.
- [24] PLAINSIRICHAI M, TRINOK U, TURNER D W. 1-methylcyclopropene (1-MCP) reduces water loss and extends shelf life of fruits of Rose apple (*Syzygium jambos* Alston) cv. Tabtim Chan[J]. *Fruits*, 2010, 65(3): 133-140.
- [25] 宋琰, 徐俐, 梁芳, 等. 1-甲基环丙烯及仲丁胺对枇杷贮藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 488-491.
- [26] de REUCK K, SIVAKUMAR D, KORSTEN L. Integrated application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging to improve quality retention of litchi cultivars during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 52(1): 71-77.
- [27] 孙爱萍, 郑永华, 杨海燕, 等. 1-甲基环丙烯处理对采后甜瓜活性氧相关代谢的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(10): 326-329.