

## 1-MCP 联合乙烯吸附剂处理对黄桃果实冷害与糖代谢的影响

董欣瑞<sup>1,2,3,4</sup>, 张珮<sup>1,2,3,4</sup>, 袁楚珊<sup>1,2,3,4</sup>, 刘伟<sup>1,2,3,4</sup>, 张菊华<sup>1,2,3,4</sup>, 苏东林<sup>3,4\*</sup>, 朱向荣<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup> 湖南大学研究生院隆平分院 长沙 410125

<sup>2</sup> 湖南省农业科学院农产品加工研究所 长沙 410125

<sup>3</sup> 果蔬贮藏加工与质量安全湖南省重点实验室 长沙 410125

<sup>4</sup> 果蔬加工与质量安全湖南省国际联合实验室 长沙 410125)

**摘要** 冷害是黄桃果实低温贮藏产生的一种生理性病害,本文选用 1-甲基环丙烯(1-MCP)与乙烯吸附剂(EA)联合处理黄桃,研究 1-MCP-EA 和 1-MCP 对其果实冷害(CI)与糖代谢的影响。将黄桃在 4℃下贮藏 28 d,与对照和 1-MCP 相比,1-MCP-EA 处理能够更好地维持果实硬度和可溶性固形物(soluble solid content,SSC)含量,减轻冷害褐变。黄桃果实糖含量与蔗糖代谢相关酶活研究表明,1-MCP 单独处理和 1-MCP-EA 联合处理均减少蔗糖含量的下降以及果糖与葡萄糖含量的上升,抑制酸性转化酶(AI)与中性转化酶(NI)活性的升高。1-MCP-EA 处理可有效抑制黄桃果实的蔗糖合成酶(SS)活性上升和蔗糖单磷酸合成酶(SPS)活性下降。结论:1-MCP-EA 处理抑制黄桃冷害效果最好,营养品质保持程度最佳。

**关键词** 黄桃; 1-甲基环丙烯; 乙烯吸附剂; 冷害; 糖代谢

**文章编号** 1009-7848(2022)09-0208-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.09.022

黄桃系蔷薇科桃属植物果实,因呈金黄色而得名,色泽饱和度极高,肉质细嫩、有韧性,口感较脆,完全成熟后肉质软化,甜酸平衡,含有较多营养且质量较好,广受消费者青睐。黄桃极易受低温环境影响而引发冷害,不耐贮藏,主要表现为果肉纤维化、凝胶化<sup>[1]</sup>。随着冷害褐变程度的增加,果肉腐烂,最终彻底丧失食用价值。亟需减轻果实冷害的处理方法,降低其造成的经济损失。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是乙烯受体抑制剂,通过阻断乙烯激发的一系列生化反应起作用,可有效提高果实耐储性和抵抗力<sup>[2]</sup>。1-MCP 抵制冷害能力与果实抗冷性有关,经一定浓度 1-MCP 处理的桃<sup>[3]</sup>、李果<sup>[4]</sup>、枇杷<sup>[5]</sup>和西葫芦<sup>[6]</sup>冷害褐变程度减轻。乙烯吸附剂(ethylene adsorbent,EA)是填充高锰酸钾的活性炭,利用 KMnO<sub>4</sub> 的强氧化性氧化外界乙烯,抑制内源乙烯的生成,延长果蔬的贮藏时间<sup>[7]</sup>。EA 通过

提高果实游离脯氨酸含量和增强细胞持水能力,抑制丙二醛的大量累积和电解质渗透率的增加,有效缓解细胞膜脂过氧化程度,进而增强果实抗冷能力,达到减轻冷害的目的<sup>[8]</sup>。已有研究证实 EA 控制阳丰甜柿<sup>[9]</sup>、番茄<sup>[10]</sup>、香蕉李<sup>[4]</sup>、“八月脆”桃果实<sup>[11]</sup>等果蔬褐变的有效性。

糖具有调节渗透压、信号分子及激素峰等多种生物学功能,不仅为果实内部细胞提供能量,还为细胞内骨架的建立以及细胞器的形成提供原料<sup>[12]</sup>。黄桃果实中的可溶性糖与耐冷性密切相关,在低温贮藏过程中糖会发生一系列变化,作为渗透调节因子、低温保护剂和活性氧清除剂保护样品免受低温胁迫,进而缓解果实冷害<sup>[13]</sup>。黄桃糖代谢关键酶分为转化酶和合成酶两类,包括酸性和中性转化酶以及蔗糖和蔗糖单磷酸合成酶,不同转化酶与合成酶之间相互作用形成复杂的蔗糖代谢系统,控制植物在低温胁迫下的可溶性糖代谢,调节果实糖含量<sup>[14]</sup>。分析黄桃果实蔗糖代谢情况对冷害研究尤为重要。

目前关于黄桃低温贮藏期间的冷害控制和对蔗糖代谢的影响尚未有研究报道。本文以湖南麻阳“锦绣”黄桃品种为试验材料,分别采用 1-MCP-EA 和 1-MCP 处理,测定黄桃低温贮藏期间的冷害褐变指数、果肉质地变化、可溶性糖含量以

**收稿日期:** 2021-11-02

**基金项目:** 湖南省重点研发项目(2020NK2048);湖南省农业科技自主创新项目(2021CX80,2022CX43,2022CX133)

**作者简介:** 董欣瑞(1998-),女,硕士生

**通信作者:** 苏东林 E-mail: sdl791228@163.com

朱向荣 E-mail: xiangrongchu@163.com

及蔗糖代谢相关酶活等生理指标,探讨上述处理对黄桃贮藏品质的影响,为其采后贮藏保鲜提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

材料:试验所用黄桃于2020年8月3日采摘于湖南省怀化市麻阳县兰里镇横喇村,采摘当天运至冷库(4℃±1℃)冷藏。选择颜色、大小均匀一致,无机械损伤且已达到食用要求的果实。

果实处理:果实随机分为3组,每45个果实为1组。1组采用1-MCP处理,1组采用1-MCP-EA处理,剩余1组作为对照组,每组设3个重复,每个重复15个果实。在贮藏期为0,7,14,21,28 d,对黄桃果实进行生理测定,剩余果肉切丁液氮冷冻处理,存储在-80℃环境供进一步使用。

试剂:0.03% 1-MCP,山东奥维特生物科技有限公司;3% EA,山东奥维特生物科技有限公司;蒽酮(分析纯)、乙酸乙酯、浓硫酸、Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O,国药集团化学试剂有限公司;β-巯基乙醇,长沙市佳和生物科技有限责任公司;Triton-X-100,国药集团化学试剂有限公司;交联聚乙烯吡咯烷酮(PVPP),上海瑞永生物科技有限公司;乙二胺四乙酸(EDTA),国药集团化学试剂有限公司;尿苷二磷酸葡萄糖(UDPG),上海麦克林生化科技有限公司;蔗糖,西陇科学股份有限公司;葡萄糖、果糖,国药集团化学试剂有限公司;氢氧化钾,西陇科学股份有限公司;果糖-6-磷酸,上海麦克林生化科技有限公司;葡萄糖-6-磷酸,上海麦克林生化科技有限公司。

### 1.2 试验主要仪器

Color Quest XE型全自动色度分析仪,美国Hunter Lab公司;CT-3质构仪, Brookfield工程实验室公司;JYZ-V5PLUS智能原汁机,九阳股份有限公司;VANTI J-26XP高效离心机,美国贝克曼库尔特公司;电子天平,上海光正医疗仪器有限公司;PAL-BX/acid1型 ATAGO 便携式糖酸度计,日本爱拓公司;WP-UP-WF-20超纯水制备机,四川沃特尔水处理设备有限公司;BSA 124S型精密分析天平,广州市授科仪器科技有限公司;MDF-86V408型医用低温保存箱,安徽中科都菱商用电

器股份有限公司;电热恒温水浴锅,北京三二八科学仪器有限公司;C22-CX2型电磁灶,杭州九阳生活电器有限公司;UV-1800型紫外-可见分光光度计,岛津仪器(苏州)有限公司;DHG-9053A型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;多功能微孔板检测仪,广州大瑞生物科技股份有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 果皮色差的测定 采用Color Quest XE色差仪,标准白板作参照,任意选取黄桃赤道处3点测定L\*、a\*、b\*值,平行测定3次,取其平均值。

1.3.2 果皮硬度的测定 采用CT-3质构仪,选择TA39探头,于黄桃赤道等距离处测其硬度。参数选择CT-3质构仪的TPA分析模式,圆柱形,设置预测试速度1 mm/s,测试和返回速度2 mm/s,测试2次,由质地特征曲线和报告中各数据获取硬度值。平行测定3次,取其平均值。

1.3.3 褐变指数的测定 将黄桃果实沿赤道线纵切,按切面的褐变面积划分级别,0级:0褐变;1级:切面褐变面积0~25%;2级:切面褐变面积25%~50%;3级:切面褐变面积50%~75%;4级:切面褐变面积>75%。汇总各级别果实个数计算褐变指数:

$$\text{褐变指数}(\%) = \frac{\sum \text{褐变级别} \times \text{该级别果实个数}}{4 \times \text{果实总数}}$$

×100 (1)

1.3.4 可溶性固形物(soluble solid content,SSC)的测定 使用JYZ-V5PLUS智能原汁机,榨取黄桃果汁后装入50 mL离心管进行离心,离心条件:4℃预冷,10 000 r/min,10 min。离心完成后取20 μL上清液,用PAL-BX/acid 1型 ATAGO 便携式糖酸度计测定,3次平行,取其平均值。

1.3.5 可滴定酸(titratable acids,TA)的测定 将1.1.4节中的上清液稀释50倍,混合均匀后,取适量稀释后的液体置于PAL-BX/acid1型便携式糖酸度计上,混合均匀后读取酸度值,重复测定3次,平均值为该果实的TA(g/100 mL)值。

1.3.6 单糖含量的测定 蒽酮-硫酸比色法测黄桃葡萄糖和果糖含量,NaOH-蒽酮-硫酸法测其蔗糖含量,3次平行,取其平均值。

1.3.7 蔗糖代谢相关酶活的测定 酶活性的测定

参照王慧聪等<sup>[15]</sup>方法并略有改动,取 1 g 样品备用,3 mL 缓冲液预冷,预冷完成后加至样品。该缓冲液含有 50 mmol/L 的 NaOH (pH 7.5、5 mmol/L 的 MgCl<sub>2</sub>、1 mmol/L 的 Na<sup>2</sup>EDTA、2.5 mmol/L 的 DTT 和 0.05% Triton X-100(V/V))。冰浴条件下研磨均匀,匀浆在 4 ℃下以 11 000 r/min 离心 15 min,上清液保存在-20 ℃低温箱备用。以失活酶液为对照组,测定 AI 和 NI 时读取其 540 nm 处吸光值。测定 SS 和 SPS 时读取其 620 nm 处吸光值。用试验组减去对照组的吸光度值计算还原糖的产生速率,根据葡萄糖标准曲线查出其对应含量后计算活性,表示为 μmol/h·g,重复测定 3 次,取平均值。

#### 1.4 数据处理

采用 WPS Office Excel 工具分析整理数据,SPSS 25.0 软件统计分析数据,邓肯多重极差法(LSR 法)进行显著性检验 ( $P<0.05$ ),origin 2017 软件作图。所有试验均包含 3 次重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对黄桃果实色泽的影响

黄桃果实色泽不仅表现其商品价值也是评判

果实品质的重要指标,其中  $L^*$  值的大小主要表示了黄桃果皮的亮度值, $a^*$  表示果皮的红绿指数, $b^*$  表示果皮的黄蓝指数。在低温贮藏条件下,不同处理组黄桃果实色泽指标分析结果如表 1 所示。对照组  $L^*$  值即亮度整体呈下降趋势,在 21 d 时稍有增加。1-MCP 与 1-MCP-EA 两个处理组变化趋势相同,均在 7 d 时亮度增加,14 d 亮度下降随后又上升,21 d 的  $L^*$  值有所增加,之后到第 28 天迅速降低,但对照组下降程度更明显。3 组的  $L^*$  值在贮藏时前期的 3 个时间节点无显著差异。在贮藏后期的两个时间节点,相比于 1-MCP 与 1-MCP-EA 两个处理组,对照组与两者之间均有显著差异 ( $P<0.05$ ),其  $L^*$  值低于两个处理组,与贾晓辉等<sup>[16]</sup>研究结论 1-MCP 可以延缓杏果皮亮度下降相符。对照组在 0~14 d 期间  $a^*$  值相对较高,表明对照组黄桃果实的红色较多。在贮藏期间 1-MCP-EA 的处理组  $a^*$  值相对较低,且除了 0 d 和 21 d 之外均具有显著桃果实的红绿指数, $a^*$  值越大,黄桃果实果皮颜色越鲜红, $a^*$  值较低代表果皮颜色偏绿且差异显著 ( $P<0.05$ ),1-MCP 的  $a^*$  值在中间范围内,表示 1-MCP-EA 和 1-MCP 均能延缓黄桃果实转黄,1-MCP-EA 联合处理组效果更好。

表 1 不同处理对黄桃低温贮藏期间色泽的影响

Table 1 Effects of different treatments on the color of yellow peach during low temperature storage

贮藏时间/d	处理方式	指标		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	对照组	72.46 ± 0.70 <sup>a</sup>	4.26 ± 1.32 <sup>a</sup>	45.43 ± 3.56 <sup>a</sup>
	1-MCP	72.46 ± 0.69 <sup>a</sup>	4.26 ± 1.32 <sup>a</sup>	45.43 ± 3.56 <sup>a</sup>
	1-MCP-EA	72.46 ± 0.69 <sup>a</sup>	4.26 ± 1.32 <sup>a</sup>	45.43 ± 3.56 <sup>a</sup>
7	对照组	71.17 ± 1.55 <sup>b</sup>	7.31 ± 1.10 <sup>a</sup>	43.11 ± 3.36 <sup>a</sup>
	1-MCP	74.24 ± 1.32 <sup>a</sup>	6.66 ± 0.96 <sup>a</sup>	43.79 ± 1.33 <sup>a</sup>
	1-MCP-EA	74.47 ± 0.50 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.77 <sup>b</sup>	44.23 ± 0.28 <sup>a</sup>
14	对照组	71.65 ± 2.66 <sup>a</sup>	6.82 ± 1.31 <sup>a</sup>	43.92 ± 1.17 <sup>a</sup>
	1-MCP	72.05 ± 1.36 <sup>a</sup>	6.46 ± 1.72 <sup>a</sup>	42.80 ± 2.38 <sup>a</sup>
	1-MCP-EA	71.93 ± 1.57 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.76 <sup>b</sup>	43.20 ± 1.52 <sup>a</sup>
21	对照组	72.65 ± 1.93 <sup>a</sup>	4.61 ± 0.96 <sup>b</sup>	43.47 ± 1.34 <sup>b</sup>
	1-MCP	74.03 ± 1.29 <sup>a</sup>	6.27 ± 1.08 <sup>a</sup>	46.41 ± 1.87 <sup>a</sup>
	1-MCP-EA	74.01 ± 1.90 <sup>a</sup>	5.86 ± 1.45 <sup>ab</sup>	43.25 ± 1.54 <sup>b</sup>
28	对照组	70.26 ± 2.78 <sup>b</sup>	7.05 ± 1.05 <sup>a</sup>	40.16 ± 1.46 <sup>b</sup>
	1-MCP	72.82 ± 1.61 <sup>a</sup>	7.41 ± 1.32 <sup>a</sup>	43.30 ± 1.09 <sup>a</sup>
	1-MCP-EA	72.68 ± 1.03 <sup>a</sup>	4.45 ± 0.31 <sup>b</sup>	42.95 ± 1.65 <sup>a</sup>

注:同列中小写字母含义为不同时间节点之间的差异显著性 ( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同处理对黄桃果实硬度的影响

不同处理下黄桃硬度在贮藏期间的变化情况如图 1 所示,各处理组果实硬度持续降低,处理组果实硬度始终高于对照组,且有显著差异。果实初始硬度值为(1 015.00±43.30)g,到贮藏结束时对照组下降了 65.76%,1-MCP 和 1-MCP-EA 处理组下降幅度分别为 59.19%和 38.60%,联合处理组下降程度为三者最小。在贮藏前期,单独处理组果实硬度与联合处理组无显著差异;在贮藏中后期,联合处理组果实硬度显著高于单独处理组,且差异显著。说明 1-MCP 单独处理和结合 EA 的联合处理均能延缓黄桃果实硬度下降( $P<0.05$ ),联合处理组 1-MCP-EA 延缓黄桃硬度下降的效果更

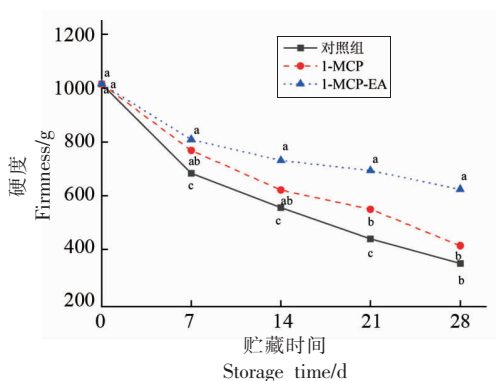


图 1 不同处理对黄桃果实低温贮藏期间硬度的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the firmness of yellow peach during low temperature storage

## 2.4 不同处理对黄桃果实 SSC 和 TA 的影响

黄桃低温贮藏期间的 SSC 和 TA 变化如图 3 所示。由图 3a 可知,不同处理 SSC 变化趋势一致,

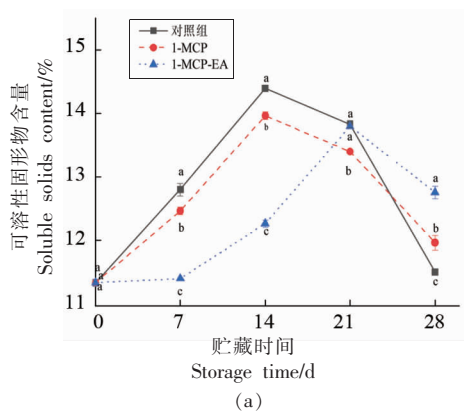


图 3 不同处理对低温贮藏黄桃 SSC(a)和 TA(b)的影响

Fig.3 Effects of different treatments on SSC (a) and TA (b) of yellow peach during low temperature storage

好。

## 2.3 不同处理对黄桃果实冷害褐变指数的影响

褐变是冷害最明显的症状,褐变指数能够用于判断黄桃冷害严重程度。在贮藏期间,黄桃冷害褐变指数的变化如图 2 所示,在贮藏期间 3 组均都在第 7 天开始褐变,此时对照组的冷害褐变指数为 9.38%,显著高于联合处理组。贮藏 7 d 后,对照组显著高于其它组,表明 1-MCP 处理能够延缓黄桃贮藏后期褐变指数的增加,而 1-MCP 结合 EA 处理能够延缓黄桃在整个贮藏期间的褐变情况,说明 1-MCP 和 1-MCP-EA 均能抑制黄桃果实褐变程度( $P<0.05$ ),1-MCP-EA 抑制效果更好。

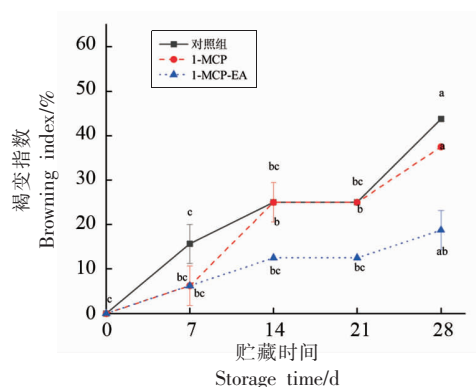
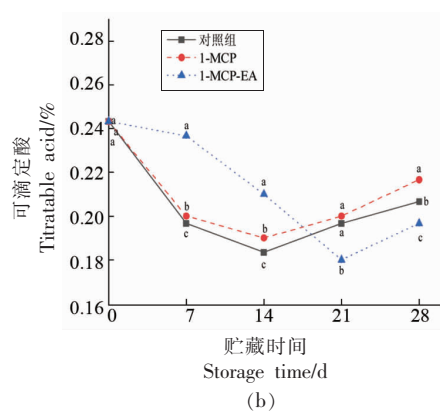


图 2 不同处理对低温贮藏黄桃冷害褐变指数的影响

Fig.2 Effects of different treatments on browning index of yellow peach fruits during low temperature storage

表现为前期迅速上升,之后下降,分别在 14 d 和 21 d 到达峰值后迅速降低。在贮藏前期,3 组 SSC 迅速上升,其中对照组 SSC 增加最多,上升幅度为





27.05%,显著高于其它两组。对比3组的冷害褐变指数表明,1-MCP和1-MCP-EA处理均能较好抑制SSC的下降,其中1-MCP-EA能够推迟SSC最大值的出现时间,延缓其成熟衰老进程,说明1-MCP-EA联合处理组控制果实成熟衰老的效果更好。由图3b可知,在低温贮藏期间黄桃果实TA值先下降后上升。贮藏前期对照组下降速率显著高于1-MCP和1-MCP-EA处理组,1-MCP-EA下降速率显著低于1-MCP组。贮藏中后期,对照组和处理组TA值均小幅度增加,且处理组增加速率相对较大,可能是由于受到1-MCP、EA作用使贮藏环境乙烯浓度较低,黄桃无氧呼吸,产生乳酸,TA值上升。说明1-MCP和1-MCP-EA处理均能够推迟黄桃贮藏期间酸度下降,且1-MCP-EA联合处理效果更好。

## 2.5 不同处理对黄桃果实可溶性糖的影响

如图4a所示,对比3组果实蔗糖含量表明,1-MCP-EA处理后果实低于其它两组的蔗糖水平,且差异显著( $P<0.05$ ),1-MCP处理组整体低于对照组的蔗糖水平。3组黄桃蔗糖含量在贮藏期间整体呈先增加后下降的趋势,贮藏至7d时达到峰值,之后下降。对照组上升幅度显著高于其它两组,1-MCP-EA联合处理组上升最为平缓,且三者之间存在显著差异( $P<0.05$ )。在贮藏7d后,3组蔗糖含量开始下降,1-MCP-EA处理组下降幅度最大,1-MCP组介于两者之间。说明1-MCP-EA和1-MCP处理均能抑制蔗糖含量上升,而1-MCP-EA组抑制效果最好。

如图4b和图4c所示,在整个贮藏期间,黄桃的葡萄糖和果糖含量的升降情况类似,呈逐渐升高的态势,与蔗糖变化情况相反。1-MCP-EA处理组葡萄糖和果糖含量始终高于对照组,1-MCP单独处理组整体高于对照组。表明1-MCP和1-MCP-EA处理可促进黄桃贮藏期间葡萄糖和果糖的生成,其中1-MCP-EA对葡萄糖和果糖含量的促进效果最好。

## 2.6 不同处理对黄桃果实蔗糖代谢酶活的影响

由图5a和图5b可知,在贮藏期间,3组黄桃果实的NI和AI总体上升。在贮藏前期,对照组AI活性显著高于1-MCP-EA和1-MCP组,对照组NI活性显著高于1-MCP-EA组,略高于1-

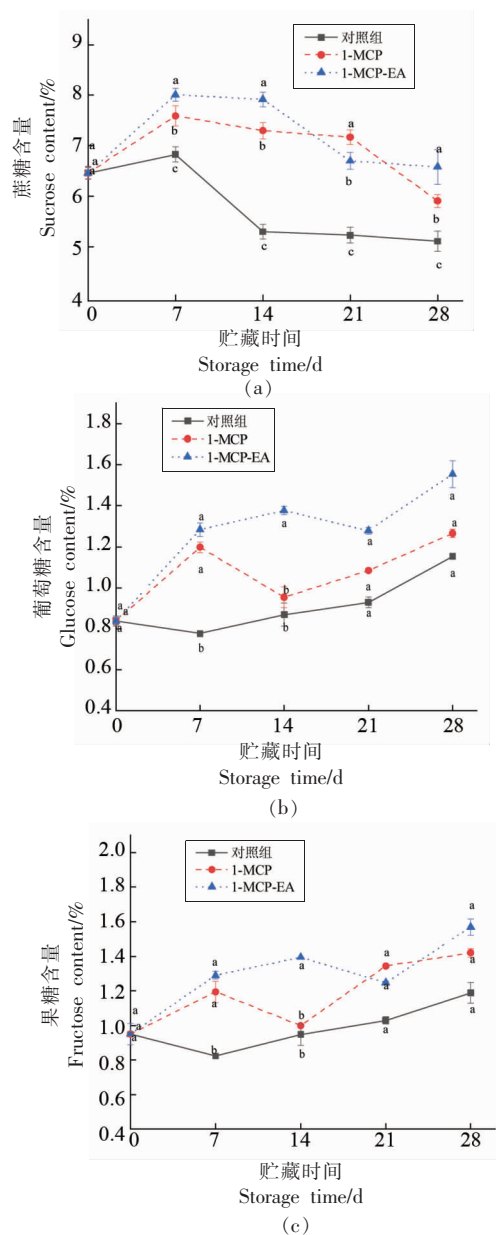


图4 不同处理对黄桃低温贮藏期间蔗糖(a),葡萄糖(b)和果糖(c)含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on the content of sucrose (a), glucose (b) and fructose (c) of yellow peach during low temperature storage

MCP组;在贮藏中期,对照组活性迅速下降,处理组活性急剧上升,且对照组与处理组之间在每个贮藏节点均有显著差异,表明1-MCP和1-MCP-EA处理均能有效抑制贮藏前期黄桃NI与AI活性,明显促进贮藏后期AI和NI活性,而在贮藏前期1-MCP-EA联合处理组对NI和AI活性的抑

制效果更好。

由图 5c 和图 5d 可知,在整个贮藏期间黄桃 SPS 和 SS 的活性整体呈现下降趋势。1-MCP-EA 和 1-MCP 组 SS 活性和 SPS 活性始终高于对照组,且具有显著差异。1-MCP-EA 组除在第 21 天显著高于 1-MCP 组活性外,其余时间无显著差

异。表明 1-MCP-EA 和 1-MCP 处理均可抑制 SPS 和 SS 的活性下降,而在贮藏中后期,相比于 1-MCP 组,1-MCP-EA 处理对 SPS 和 SS 活性影响更大,可能会由此促进黄桃积累蔗糖,增强果实耐冷性,缓解冷害的发生。

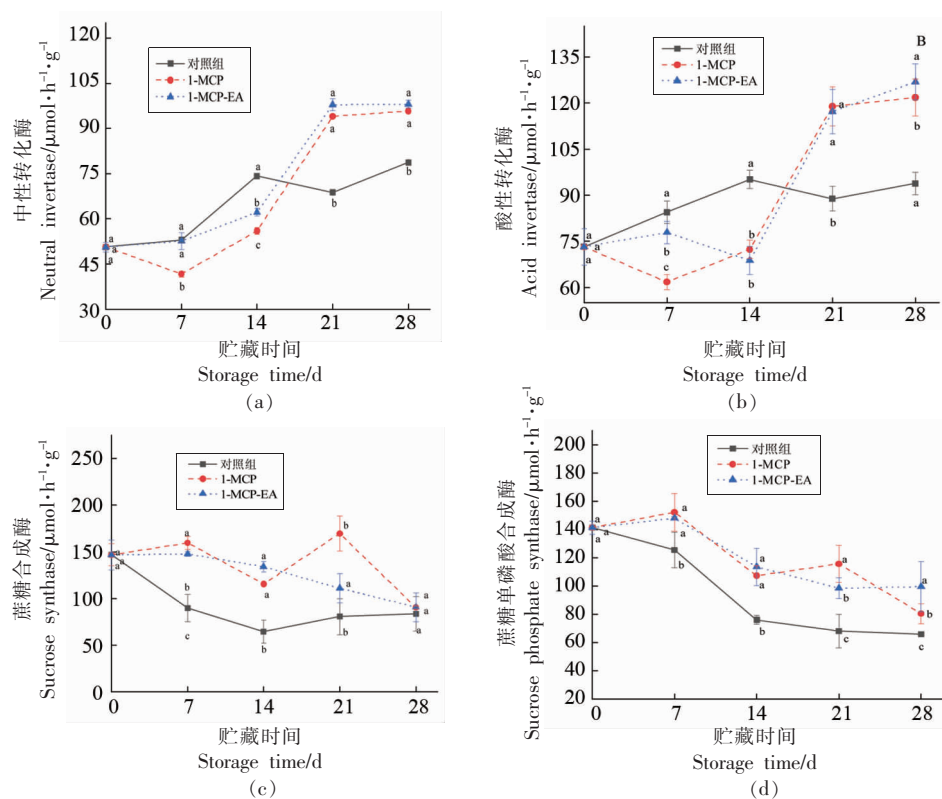


图 5 不同处理桃果实低温贮藏期间 NI(a),AI(b),SS(c)和 SPS(d)的变化

Fig.5 Effects of different treatments on NI (a), AI (b), SS (c) and SPS (d) of yellow peach during low temperature storage

### 3 讨论

黄桃在贮藏期间果皮越偏向红色,表明果实越成熟。在低温贮藏期间,果实  $b^*$  值波动下降,对照组比 1-MCP 和 1-MCP-EA 处理组下降程度大且有显著差异( $P < 0.05$ ),表明 1-MCP 与 1-MCP-EA 处理均能较好地减少黄桃贮藏期间果实颜色转变,且 1-MCP-EA 处理组维持  $a^*$  值效果较好。对苹果的研究也说明 1-MCP-EA 延缓果皮转黄效果优于 1-MCP 单独处理。

1-MCP 和 1-MCP-EA 处理均可有效维持黄桃果实固有硬度,1-MCP-EA 处理维持果实硬度的效果更好,与及华等<sup>[2]</sup>的研究结果一致。随着贮藏时间延长,果实冷害褐变指数快速上升,1-

MCP-EA 有效延缓了冷害指数上升程度,且显著优于 1-MCP 单独处理的效果。

相比于处理组,对照组黄桃果实的总可滴定酸下降迅速,这可能因为有机酸大量参与果实成熟进程中的糖合成<sup>[17]</sup>。在贮藏期间各处理组黄桃 SSC 含量变化差异可能与果实后熟有关,贮藏期间黄桃 SSC 含量下降,其中两种处理组 SSC 含量始终高于对照组,此现象可能是因 1-MCP-EA 和 1-MCP 均能够促进黄桃果实内部的多糖向可溶性固形物降解<sup>[18]</sup>,1-MCP-EA 效果更好,可能由于 1-MCP-EA 处理吸收环境中的乙烯,抑制呼吸速率,使果实内部的可溶性固形物降解缓慢<sup>[20]</sup>。

糖参与干旱、寒冷和盐度等不利环境条件下

的植物防御反应,可溶性糖是果实抵抗低温的主要渗透调节物质,其中蔗糖是重要低温保护剂,能够保护植物免受低温损伤<sup>[12]</sup>。果实抗冷能力可能与外源处理引起的可溶性糖含量波动有关<sup>[21]</sup>。1-MCP-EA 处理后黄桃的蔗糖含量显著高于其它两组,Zhao 等<sup>[22]</sup>的研究表明在近冰温贮藏时水蜜桃蔗糖含量与冷害指数呈显著负相关,说明 1-MCP-EA 可能是通过维持较高的蔗糖水平保证抗冷性,延缓冷害。对照组和处理组的 NI 和 AI 活性呈整体上升趋势,杨玉梅<sup>[23]</sup>的研究表明蔗糖含量可能与 AI 和 NI 活性呈负相关关系,提高 AI 活性可能会促进蔗糖的降解和己糖的积累,更多的己糖用于呼吸作用,进一步促进蔗糖降解,这与黄桃蔗糖含量呈下降趋势一致。说明 1-MCP-EA 处理可能通过抑制贮藏前期 AI 活性增加,有效抑制了蔗糖含量的损失,提高果实抗冷性,延缓冷害。

在整个贮藏期间,处理组 SS 和 SPS 始终显著高于对照,由于蔗糖含量与其 SS、SPS 呈显著正相关<sup>[25]</sup>说明 1-MCP-EA 与 1-MCP 处理可能是通过显著提高蔗糖合成酶活性,促进蔗糖的合成。姚明华等<sup>[24]</sup>发现茄子中可溶性糖含量与其冷害指数呈极显著负相关,说明 1-MCP-EA 处理可能通过调节糖代谢,诱导提高蔗糖代谢相关酶活,维持高蔗糖水平发挥果实抗冷性,缓解冷害。

#### 4 结论

通过研究黄桃低温贮藏期间硬度、色差值、冷害褐变指数、SSC 和 TA 变化发现,与对照相比,1-MCP-EA 处理能明显延缓黄桃果实硬度下降,抑制果皮色泽转变,降低冷害褐变,抑制 SSC 降低和贮藏前期 TA 下降程度,而 1-MCP 单独处理效果不显著;通过同时抑制 AI 和 NI 活性的增加,SS 和 SPS 活性的降低,以及果糖和葡萄糖的上升,使蔗糖含量维持在较高水平,对减轻冷害起重要作用。

1-MCP-EA 处理为黄桃果实冷害控制提供新的思路和理论依据,同时具有经济、方便和实用等优点,将在黄桃采后商品化处理方面发挥较大作用。

#### 参 考 文 献

- [1] 励建荣,朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4): 337-347.  
LI J R, ZHU D S. Research progress of new preservation technology of fruits and vegetables [J]. Journal of Food and Biotechnology, 2012, 31(4): 337-347.
- [2] 及华,关军锋,冯云霄,等. 1-MCP 和预贮对深州蜜桃采后生理和品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 247-250.  
JI H, GUAN J F, FENG Y X, et al. Effects of 1-MCP and pre storage on postharvest physiology and quality of Shenzhou peach[J]. Food Science, 2014, 35(14): 247-250.
- [3] 陆振中,徐莉,王庆国. 乙醇和 1-MCP 熏蒸对中华寿桃贮藏期冷害发生的影响[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(3): 33-37.  
LU Z Z, XU L, WANG Q G. Effects of ethanol and 1-MCP fumigation on chilling injury of Chinese longevity peach during storage [J]. Preservation and Processing, 2009, 9(3): 33-37.
- [4] 魏宝东,周爽,郝义. 逐步降温结合 1-MCP 处理对李果冷害及品质影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 319-323.  
WEI B D, ZHOU S, HAO Y. Effects of gradual cooling combined with 1-MCP Treatment on chilling injury and quality of plum fruit [J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(6): 319-323.
- [5] 孙正烜,陈惠云,杨虎清,等. 纳米乳涂膜和 1-甲基环丙烯处理对枇杷果实保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 266-271.  
SUN Z H, CHEN H Y, YANG H Q, et al. Effects of nano emulsion coating and 1-methylcyclopropene treatment on the preservation of loquat fruit [J]. Food Science, 2018, 39(23): 266-271.
- [6] 范林林,高元惠,高丽朴,等. 1-MCP 处理对西葫芦冷害和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 330-334.  
FAN L L, GAO Y H, GAO L P, et al. Effects of 1-MCP Treatment on chilling injury and quality of Zucchini [J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(17): 330-334.
- [7] WANG S, ZHOU Q, ZHOU X, et al. The effect of ethylene absorbent treatment on the softening of

- blueberry fruit [J]. *Food Chemistry*, 2018, 246: 286–294.
- [8] 陈鑫瑶, 生吉萍, 胡朋, 等. 外源乙烯和1-MCP处理对番茄采后贮藏期抗冷性的影响[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 466–469.
- CHEN X Y, SHENG J P, HU P, et al. Effects of exogenous ethylene and 1-MCP treatment on cold resistance of Tomato during postharvest storage [J]. *Food Science*, 2008, 29(7): 466–469.
- [9] 杨志国, 丁京, 杜静婷, 等. 1-甲基环丙烯和乙烯吸收剂对阳丰甜柿采后生理及贮藏品质的影响[J]. *山西农业科学*, 2020, 48(10): 1671–1675.
- YANG Z G, DING J, DU J T, et al. Effects of 1-methylcyclopropene and ethylene absorbent on postharvest physiology and storage quality of Yangfeng sweet persimmon [J]. *Shanxi Agricultural Science*, 2020, 48(10): 1671–1675.
- [10] ZHANG W, ZHAO H D, JIANG H T, et al. Multiple 1-MCP treatment more effectively alleviated postharvest nectarine chilling injury than conventional one-time 1-MCP treatment by regulating ROS and energy metabolism [J]. *Food Chemistry*, 2020, 330: 127256.
- [11] 郭艳萍, 王贵禧, 梁丽松, 等. 不同处理对桃果实MA贮藏期和货架期挥发性芳香物质含量的影响[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(3): 163–167.
- GUO Y P, WANG G X, LIANG L S, et al. Effects of different treatments on the content of volatile aromatic substances in peach fruit during storage and shelf life [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(3): 163–167.
- [12] AGOPIAN R, PERONIOKITA F, SOARES C A, et al. Low temperature induced changes in activity and protein levels of the enzymes associated to conversion of starch to sucrose in banana fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(2): 133–140.
- [13] 邓丽莉, 申琳, 生吉萍. 两种典型呼吸跃变型果实糖代谢过程及其在果实品质形成中的作用[J]. *食品科学*, 2013, 34(19): 351–355.
- DENG L L, SHEN L, SHENG J P. Two typical respiratory climacteric fruit glucose metabolism processes and their role in fruit quality formation [J]. *Food Science*, 2013, 34(19): 351–355.
- [14] 刘盼. GA(4+7)和NAA处理对桃果实发育及糖代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 16–17.
- LIU P. Effects of GA (4 + 7) and NAA treatment on peach fruit development and glucose metabolism [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016: 16–17.
- [15] 王慧聪, 黄辉白, 黄旭明. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性[J]. *园艺学报*, 2003, 30(1): 1–5.
- WANG H C, HUANG H B, HUANG X M. Sugar accumulation and related enzyme activities in litchi fruit [J]. *Journal of Horticulture*, 2003, 30(1): 1–5.
- [16] 贾晓辉, 佟伟, 王文辉, 等. 1-MCP, MAP对苹果冷藏期间品质及保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 4.
- JIA X H, TONG W, WANG W H, et al. Effects of 1-MCP and map on apple quality and preservation effect during cold storage [J]. *Food Science*, 2011, 32(8): 4.
- [17] 张鹏, 秦骅, 李江阔, 等. 1-MCP, 乙烯吸收剂双控对富士苹果贮后货架品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(9): 185–194.
- ZHANG P, QIN H, LI J K, et al. Effects of 1-MCP and ethylene absorbent on shelf quality of Fuji apple after storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(9): 185–194.
- [18] ABDIPOUR M, MALEKHOSSINIAND P S, HOSSEINIFARAH M, et al. Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 264: 109197.
- [19] PUTTONGSIRI T, THOMPSON A K, TANG N S. Prolonging the postharvest life of fresh mangoes with a combination of edible coatings [J]. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2020, 7(3): 171.
- [20] KUMAR P, SETHI S, SHARMA R R, et al. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 226: 104–109.
- [21] 张杼润, 张瑞杰, 赵津, 等. 24-表油菜素内酯对杏果实采后抗冷性与可溶性糖含量的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 198–203.
- ZHANG Z R, ZHANG R J, ZHAO J, et al. Effects of 24 Epibrassinolide on postharvest chilling resistance and soluble sugar content of apricot fruit [J]. *Food Science*, 2019, 40(7): 198–203.
- [22] ZHAO H, JIAO W, CUI K, et al. Near-freezing temperature storage enhances chilling tolerance in



- nectarine fruit through its regulation of soluble sugars and energy metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 426–435.
- [23] 杨玉梅. 不同西瓜种质资源糖分积累规律与糖代谢相关酶关系的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- YANG Y M. Study on the relationship between sugar accumulation and sugar metabolism related enzymes of different watermelon germplasm resources [D]. Yangling: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2006.
- [24] 姚明华, 徐跃进, 邱正明, 等. 茄子品种耐冷性与脯氨酸和可溶性糖含量的关系[J]. *湖北农业科学*, 2004(4): 89–91.
- YAO M H, XU Y J, QIU Z M, et al. Relationship between cold tolerance and proline and soluble sugar content of eggplant varieties[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2004(4): 89–91.
- [25] 牛俊奇, 黄静丽, 赵文慧, 等. 甘蔗工艺成熟期 SS 和 SPS 酶活性与糖分积累的相关性研究[J]. *生物技术通报*, 2015, 31(9): 105–110.
- NIU J Q, HUANG J L, ZHAO W H, et al. Study on the correlation between SS and SPS enzyme activities and sugar accumulation during sugarcane process maturity [J]. *Biotechnology Bulletin*, 2015, 31(9): 105–110.

### Effects of 1-MCP Combined with Ethylene Adsorbent on Chilling Injury and Sugar Metabolism of Peach Fruit

Dong Xinrui<sup>1,2,3,4</sup>, Zhang Pei<sup>1,2,3,4</sup>, Yuan Chushan<sup>1,2,3,4</sup>, Liu Wei<sup>1,2,3,4</sup>,  
Zhang Juhua<sup>1,2,3,4</sup>, Su Donglin<sup>3,4\*</sup>, Zhu Xiangrong<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>Longping Branch of Graduate School, Hunan University, Changsha 410125

<sup>2</sup>Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125

<sup>3</sup>Hunan Provincial Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage, Processing and Quality Safety, Changsha 410125

<sup>4</sup>Hunan Province International Joint Laboratory on Fruits and Vegetables Processing, Quality and Safety, Changsha 410125)

**Abstract** Chilling injury is a physiological disease of yellow peach fruit during low temperature storage. In this paper, yellow peach was treated by 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene adsorbent (EA), and the effects of 1-MCP-EA and 1-MCP on chilling injury (CI) and sugar metabolism were studied. Yellow peach was stored at 4 °C for 28 days, compared with the control and 1-MCP, 1-MCP-EA treatment could better maintain fruit hardness, soluble solid content (SSC) and reduce chilling injury browning. The results showed that 1-MCP-EA and 1-MCP treatment could reduce the decrease of sucrose content and the increase of fructose and glucose content, and inhibit the increase of acid invertase (AI) and neutral invertase (NI) activities. 1-MCP-EA treatment could effectively inhibit the increase of sucrose synthase (SS) activity and the decrease of sucrose phosphate synthase (SPS) activity in yellow peach fruit. Therefore, 1-MCP-EA treatment had better effect on inhibiting chilling injury and maintaining nutritional quality in yellow peach.

**Keywords** yellow peach; 1-methylcyclopropene; ethylene adsorbent; chilling injury; sugar metabolism