

# 1-甲基环丙烯结合水杨酸处理维持百香果果实贮藏品质

杨秀群<sup>1</sup>, 谢国芳<sup>2\*</sup>, 袁孟孟<sup>3</sup>, 娄杰<sup>1</sup>

(1. 贵阳学院 材料科学与工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州大学 酿酒与食品工程学院/贵州省农畜产品贮藏与加工重点实验室, 贵州 贵阳 550025; 3. 贵阳学院 食品科学与工程学院, 贵州 贵阳 550005)

**摘要:** 为延长百香果的贮藏期并保持贮藏过程中的品质, 对比研究 2 mmol/L 水杨酸 (salicylic acid, SA)、1 mmol/L 1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP)、1-MCP 结合 SA 处理对紫色百香果果实采后贮藏期间品质、活性氧、抗氧化酶指标的影响。百香果果实经 SA、1-MCP 和 1-MCP 结合 SA 处理后, 一定程度抑制乙烯的释放和脂氧合酶 (lipoxygenase, LOX) 活性, 促进几丁质酶 (chitinase, CHI) 和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶 ( $\beta$ -1,3-glucanase, GLU) 的活性, 增强抗氧化和抗病性作用, 降低腐烂率。但因 SA 可以增强呼吸, 故导致凹陷和失重, 加快总酸流失; 1-MCP 抑制呼吸作用, 增强超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性, 有利于控制失重和凹陷, 但其对过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性的影响不利于控制衰老。1-MCP 结合 SA 对 POD 活性, CHI 活性以及 GLU 活性的正向影响强于单独使用 1-MCP 或 SA 处理。因此, 1-MCP 结合 SA 通过提高百香果果实的抗氧化能力和抗病能力, 降低百香果果实的凹陷、失重和腐烂率, 且可有效避免单独使用 1-MCP 或 SA 处理的不良作用, 协同维持百香果果实采后贮藏品质。

**关键词:** 百香果; 1-甲基环丙烯 (1-MCP); 水杨酸 (SA); 维持; 贮藏

## 1-Methylpropylene Combined with Salicylic Acid Treatment Maintains the Storage Quality of Passion Fruit

YANG Xiuqun<sup>1</sup>, XIE Guofang<sup>2\*</sup>, YUAN Mengmeng<sup>3</sup>, LOU Jie<sup>1</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, Guizhou, China; 2. School of Liquor and Food Engineering/Guizhou Key Laboratory of Storage and Processing of Agricultural and Livestock Products, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 3. College of Food Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, Guizhou, China)

**Abstract:** In order to prolong the storage period and maintain the quality of passion fruit during storage, the effects of 2 mmol/L salicylic acid (SA), 1 mmol/L 1-methylcyclopropene (1-MCP), and 1-MCP combined with SA on the quality, reactive oxygen species and antioxidant enzymes of purple passion fruit during postharvest storage were compared and studied. After treated with 1-MCP, SA and 1-MCP combined with SA, passion fruit inhibited the release of ethylene and the lipoxygenase (LOX) activity to a certain extent, and promoted the activity of chitinase (CHI) and  $\beta$ -1,3-glucanase (GLU). The antioxidant capacity and disease resistance were enhanced, and the rotting rate was decreased. However, SA could enhanced the respiration of passion fruit, which led to shrinkage and weight loss, and accelerated the total acid loss. 1-MCP inhibits respiration, enhances superoxide dismutase (SOD) activity, which is conducive to controlling weight loss and shrinkage, but its effect on peroxidase (POD) activity is not conducive to controlling aging. 1-MCP combined with SA had a stronger positive effect on POD activity, CHI activity as well as GLU activity than that observed with 1-MCP or SA alone. Therefore, 1-MCP combined with SA reduced the shrinkage, weight loss and decay rate of passion fruit by improving the antioxidant capacity and disease resistance of passion fruit, and could effectively avoid the adverse effects of 1-MCP or SA treatment alone, synergistically maintaining the postharvest storage quality of passion fruit.

**Key words:** passion fruit; 1-methylcyclopropene (1-MCP); salicylic acid (SA); maintain; storage

基金项目: 贵州省教育厅特色领域项目 (黔教合 KY 字 [2019]077); 贵州省普通高等学校科技拔尖人才支持计划项目 (黔教合 KY 字 [2019]066)

作者简介: 杨秀群 (1985—), 女 (侗), 高级实验师, 硕士, 研究方向: 食品营养成分分析及水果保鲜。

\*通信作者: 谢国芳 (1987—), 男 (汉), 教授, 博士, 研究方向: 特色果蔬采后生物学及品质维持。

引文格式:

杨秀群,谢国芳,袁孟孟,等. 1-甲基环丙烯结合水杨酸处理维持百香果果实贮藏品质[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 52-58.

YANG Xiuqun, XIE Guofang, YUAN Mengmeng, et al. 1-Methylpropylene Combined with Salicylic Acid Treatment Maintains the Storage Quality of Passion Fruit[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 52-58.

百香果,学名西番莲(*Passiflora edulis* Sims)为热带、亚热带水果,因其营养物质丰富以及含有活性成分,具有止咳、抗惊厥、抗疲劳、镇静、抗焦虑、抗氧化、降血脂、降血压、抗炎等药用功效<sup>[1-5]</sup>,深受消费者喜爱。百香果为典型的呼吸跃变型水果,成熟的果实采收后置于常温下贮藏 2~3 d 就会腐烂。加之生长、采收期处于高温、高湿环境,百香果采收后极易发生失水、凹陷、变色、霉变、腐败、产生异味等变质现象<sup>[1,6]</sup>。百香果果实采收后劣变的主要原因:一是采收后呼吸作用加强,乙烯释放加速,生理代谢旺盛,出现失水、凹陷、变软等衰老症状<sup>[1,6]</sup>;二是由胶胞炭疽菌、菌核菌、灰霉菌、烟草疫霉菌等病菌侵染导致的病害如炭疽病、褐斑病、果腐病等发生<sup>[3-4]</sup>。

水杨酸(salicylic acid, SA)是一种存在于高等植物中的小分子酚类化合物内源激素,在调节植物生长发育、成熟和衰老、激活植物产生抗病性<sup>[6]</sup>和抗逆性<sup>[7]</sup>等过程中起重要作用。SA 已被广泛应用于百香果<sup>[6]</sup>、杏<sup>[7-8]</sup>、芒果<sup>[9-10]</sup>、桃<sup>[11]</sup>等水果的保鲜。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种乙烯受体的抑制剂,能阻止内源乙烯的合成或抑制乙烯的催化作用,从而延缓果实后熟及衰老<sup>[12-14]</sup>,同时提高果蔬的抗病性<sup>[15]</sup>。1-MCP 具有高效、无毒、成本低等优点,被广泛应用于百香果<sup>[12]</sup>、猕猴桃<sup>[13]</sup>、李<sup>[14]</sup>、芒果<sup>[15]</sup>、苹果<sup>[16]</sup>等呼吸跃变型水果的保鲜。

SA 和 1-MCP 独自应用在果蔬保鲜中各有优势,二者结合可产生协同增效的作用,弥补单一处理的不足,能有效延长李<sup>[17]</sup>、甜瓜<sup>[18]</sup>等水果的贮藏保鲜期,提高贮藏品质。但 1-MCP 和 SA 以及二者联合应用于百香果果实保鲜效果的比较研究鲜见。本研究以紫色百香果为研究对象,比较单独使用 SA 和 1-MCP 以及 1-MCP 和 SA 联合使用的保鲜效果,通过分析百香果果实贮藏期间生理生化、活性氧代谢、抗氧化酶活性等指标,探究不同处理方式对百香果果实贮藏期果实品质的影响,以为百香果鲜果贮藏保鲜提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

百香果果实:采摘于贵州平塘县,色泽一致、无机

械损伤、无病害、无腐烂的果实;1-甲基环丙烯(分析纯):美国罗门哈斯公司;水杨酸(分析纯):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)试剂盒:南京建成生物工程研究所;乙酸、丙酮(均为分析纯):重庆川东化工(集团)有限公司;乙酸钠(分析纯):成都金山化学试剂有限公司;磷酸二氢钠、碳酸钠、无水乙醇(均为分析纯):天津市科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

YGA2100 型氧气和二氧化碳分析仪:北京阳光亿事达科技有限公司;ES100 型乙烯分析仪:意大利 FCE 公司;TCL-16A 冷冻离心机:长沙平凡仪器仪表有限公司;KQ5200DE 超声清洗器:昆山市超声仪器有限公司;UV-2550 紫外分光光度计:日本岛津公司;PAL-BX 手持型糖酸一体机:日本 Atago 公司;FHT-15 硬度计:广州兰泰仪器有限公司;DW-86L486 型超低温保存冰箱:海尔集团公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

百香果果实用次氯酸钠作减菌处理,分为 4 组。[SA 组:用自来水密封于收纳箱中于 18 °C 熏 12 h,干燥后在 2 mmol/L SA 溶液(含 0.01% 吐温 80)中浸泡 20 min;1-MCP 组:用 1 mmol/L 1-MCP 溶液密封于收纳箱中于 18 °C 熏 12 h,干燥后在 0.01% 吐温 80 水溶液中浸泡 20 min;1-MCP 结合 SA 组:用 1 mmol/L 1-MCP 于 18 °C 熏 12 h,干燥后在 2 mmol/L SA 溶液中浸泡 20 min;对照组(CK 组):用自来水密封于收纳箱中,18 °C 熏 12 h,干燥后在 0.01% 吐温 80 水溶液中浸泡 20 min。每组各分装在 15 个保鲜袋中,于冷库[(6±1) °C,相对湿度 85%~90%]贮藏,分别在第 0、6、12、18、24、30 天时,每组取 3 袋样品进行理化指标(腐烂指数、凹陷指数、呼吸速率、乙烯释放速率、硬度等)测定。对百香果果实进行冻样打浆,储藏于超低温冰箱(-80 °C),备用。

#### 1.3.2 指标测定方法

凹陷率的测定参考杨雪莲等<sup>[6]</sup>的计数法;腐烂率的测定参考邓源喜等<sup>[9]</sup>的计数法;呼吸强度、乙烯释放速率的测定参考魏征等<sup>[8]</sup>的方法;百香果果实失重率

的测定参考邓源喜等<sup>[19]</sup>的称重方法;总酸含量测定参考张伟清等<sup>[20]</sup>的方法; $H_2O_2$ 含量的测定参考Luo等<sup>[21]</sup>的比色法;SOD活性参考Xu等<sup>[22]</sup>的方法,采用SOD试剂盒进行测定;过氧化物酶(peroxidase, POD)活性的测定参照张二芳等<sup>[23]</sup>的方法。脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性的测定采用比色法<sup>[24]</sup>;几丁质酶(chitinase, CHI)活性和 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶( $\beta$ -1,3-glucanase, GLU)活性的测定参照Hu等<sup>[25]</sup>的方法。

#### 1.4 数据处理

采用Office 2010 Excel软件对所有试验数据进行统计处理,利用GraphPad Prism 9.00软件对相关指标进行作图及各指标的显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对百香果果实采后品质的影响

水果贮藏后容易引起果实干瘪、凹陷,严重影响其外观和商品性。不同处理对百香果采后贮藏期间凹陷率和腐烂率的影响见图1。

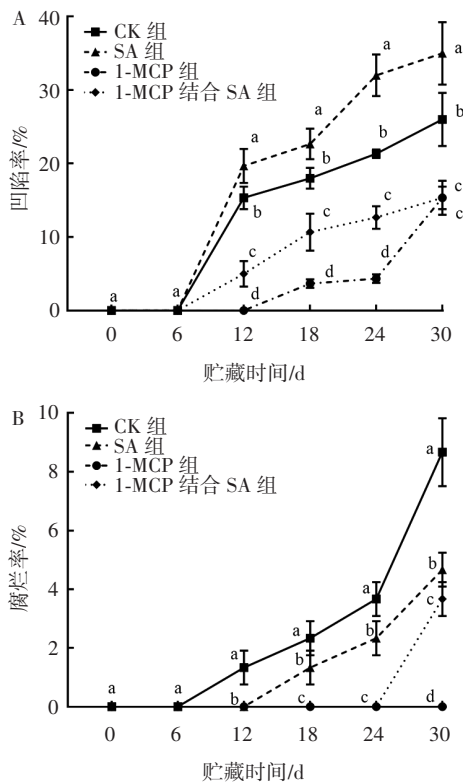


图1 不同处理对百香果采后贮藏期间凹陷率和腐烂率的影响  
Fig.1 Effects of different treatments on the shrinkage rate and the decay rate of passion fruit during postharvest storage

由图1A可知,4组百香果果实采后贮藏期间凹陷率均呈上升趋势。SA组与其他组相比,显著促进凹陷率的增加( $P<0.05$ )。与SA组相比,单独使用1-MCP或

1-MCP结合SA处理均会显著抑制凹陷率的增加( $P<0.05$ )。由图1B可知,百香果果实贮藏12d开始腐烂,各处理组均不同程度地抑制了腐烂率的增加,SA组和1-MCP结合SA组分别在第18、30天检测到腐烂果实,1-MCP组在贮藏过程(0~30d)中未检测到腐烂果实,能明显抑制百香果果实腐烂,这与用其处理水蜜桃的结果相似<sup>[23]</sup>。

百香果是一种典型的呼吸跃变型水果,呼吸跃变高峰的出现意味着果实开始成熟和衰老<sup>[12]</sup>。不同处理对百香果采后贮藏期间呼吸强度和乙烯释放速率的影响见图2。

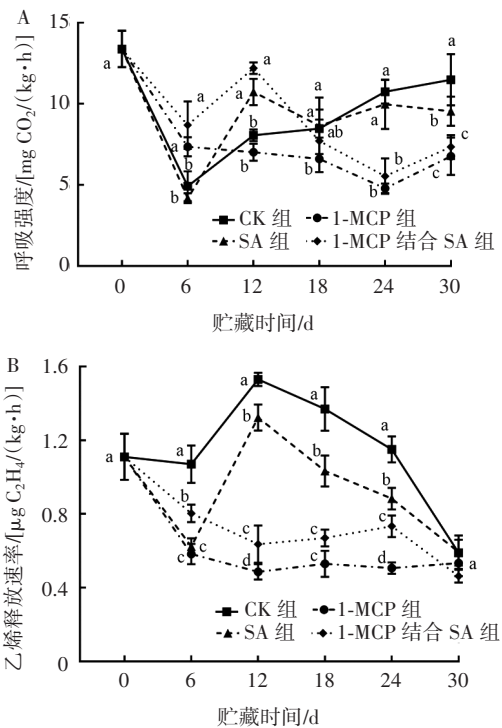


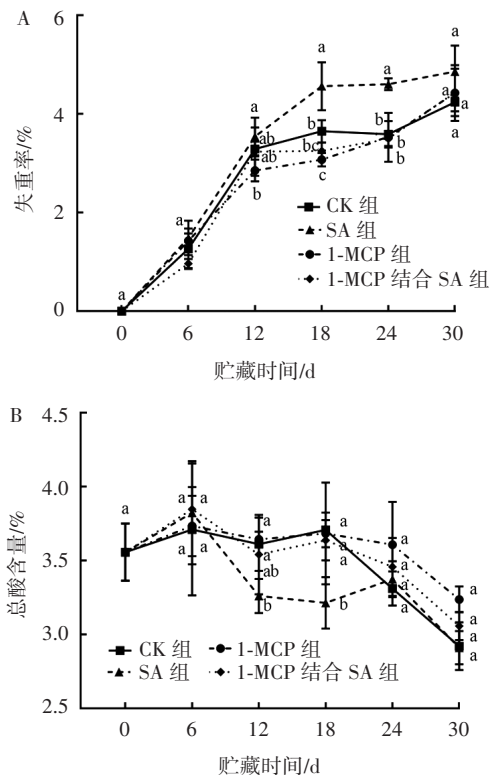
图2 不同处理对百香果采后贮藏期间呼吸强度和乙烯释放速率的影响  
Fig.2 Effects of different treatments on the respiratory intensity and the ethylene release rate of passion fruit during postharvest storage

图2 不同处理对百香果采后贮藏期间呼吸强度和乙烯释放速率的影响  
Fig.2 Effects of different treatments on the respiratory intensity and the ethylene release rate of passion fruit during postharvest storage

由图2A可知,CK组百香果果实采后贮藏期间呼吸强度呈先降低后升高趋势。1-MCP组和1-MCP结合SA组显著抑制了百香果果实呼吸强度在贮藏初期的下降( $P<0.05$ ),贮藏18d后1-MCP组和1-MCP结合SA组果实呼吸强度均显著低于对照组( $P<0.05$ )。水果在成熟过程中会释放乙烯,乙烯会诱导水果的成熟和老化。由图2B可知,在0~30d的贮藏期内,随着贮藏时间的延长,4组乙烯释放速率整体呈先降低后升高再降低的趋势,贮藏12d时达到峰值。所有处理组的乙烯释放速率均在贮藏6d时明显下降。SA组在贮藏6d时的下降后呈先升高后降低的趋势,从而一定程度

地降低了乙烯含量。这与用其他处理杏<sup>[8]</sup>、芒果<sup>[9]</sup>的结果一致。1-MCP组和1-MCP结合SA组的乙烯释放量维持在较低水平,1-MCP组与文献<sup>[16]</sup>的结果相似。

不同处理对百香果采后贮藏期间失重率和总酸含量的影响见图3。



A. 失重率;B. 总酸含量。不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理差异显著,  $P < 0.05$ 。

图3 不同处理对百香果采后贮藏期间失重率和总酸含量的影响  
Fig.3 Effects of different treatments on the weight loss rate and the total acid contents of passion fruit during postharvest storage

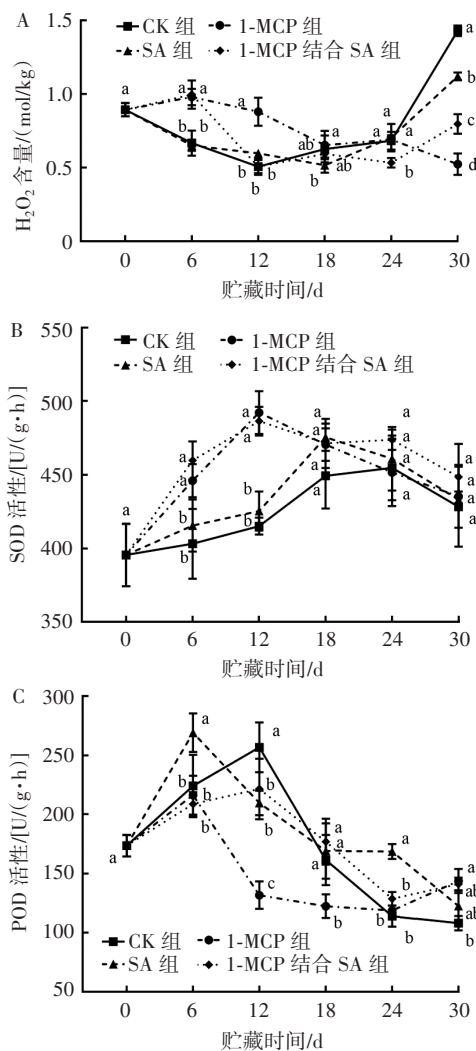
由图3A可知,4组百香果果实 在 0~30 d 的贮藏期内,随着贮藏时间的延长,失重率整体均呈上升趋势,贮藏 18 d 后 SA 组失重率显著高于其他组 ( $P < 0.05$ )。1-MCP 组和 1-MCP 结合 SA 组在一定程度上抑制了失重率的增加。总酸含量影响果实的风味和口感,其在果蔬代谢过程中以底物的形式被消耗。由图 3B 可知,4 组百香果果实的总酸含量整体呈下降趋势,贮藏 12~18 d, SA 组总酸含量显著低于其他组 ( $P < 0.05$ )。1-MCP 处理能有效抑制百香果果实呼吸作用和乙烯的释放,从而控制了百香果果实的凹陷、失重和腐烂,这与用 1-MCP 保鲜猕猴桃<sup>[13,26]</sup>、芒果<sup>[15]</sup>、苹果<sup>[16,27]</sup>等水果的效果一致。

综上,1-MCP 结合 SA 处理能缓解单独使用 SA 出现的副作用。如能延缓乙烯释放高峰的出现和减小释放量,从而抑制百香果果实的凹陷、失重和腐烂,与罗冬兰等<sup>[17]</sup>和尚琪等<sup>[18]</sup>利用 1-MCP 结合 SA 处理李和甜瓜的结果类似。以上结果说明,1-MCP 结合 SA 处理

可有效避免单独使用 1-MCP 或 SA 处理的不良作用,协同维持百香果果实采后贮藏品质。

## 2.2 不同处理对百香果果实采后活性氧代谢的影响

果蔬的衰老与活性氧代谢平衡密切相关。 $H_2O_2$  是生物体活性氧代谢产物之一, $H_2O_2$  具有双重性,一定浓度的  $H_2O_2$  可作为信号分子,诱导果实产生抗病性和抗逆性,对细胞起保护作用<sup>[14]</sup>。另外, $H_2O_2$  能够抑制乙烯的生物合成<sup>[11]</sup>。但贮藏后期随着抗氧化酶系统活性的下降和丧失,会积累过多的  $H_2O_2$ ,当植物自身不能协调后,氧代谢平衡被破坏,导致细胞衰老和死亡<sup>[14]</sup>。超氧化物歧化酶和过氧化物酶是防御生物体被活性氧或自由基伤害的重要抗氧化酶。SOD 能催化超氧自由基 ( $O_2^{\cdot-}$ ) 产生歧化反应,生成  $H_2O_2$  和  $O_2$ ,保持植物组织中自由基和活性氧的代谢平衡<sup>[7]</sup>。不同处理对百香果果实采后贮藏活性氧代谢的影响见图 4。



A.  $H_2O_2$  含量;B. SOD 活性;C. POD 活性。不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理差异显著,  $P < 0.05$ 。

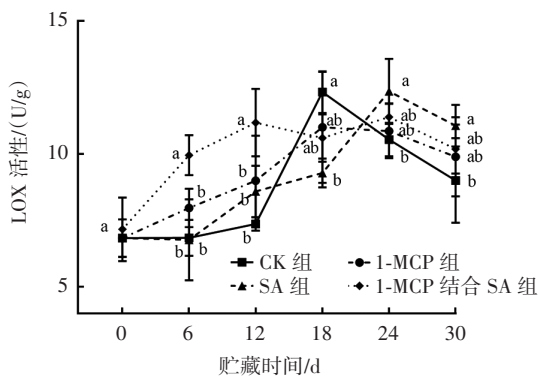
图4 不同处理对百香果果实采后贮藏期间活性氧代谢的影响  
Fig.4 Effect of different treatments on ROS metabolism of passion fruit during postharvest storage



由图 4A 可知,CK 组百香果果实采后贮藏期间(0~30 d) $H_2O_2$  含量整体呈先降低后升高的趋势。1-MCP 组和 1-MCP 结合 SA 组,在贮藏初期(6~12 d) $H_2O_2$  含量显著高于其他组( $P<0.05$ ),在贮藏第 30 天显著低于其他组( $P<0.05$ )。由图 4B 可知,4 组百香果果实采后贮藏期间 SOD 活性整体呈先升高后降低的趋势。1-MCP 组和 1-MCP 结合 SA 组的 SOD 活性峰值时间提前,并明显高于其他组,这与研究处理李<sup>[14]</sup>、芒果<sup>[15]</sup>、猕猴桃<sup>[22]</sup>的结果类似。POD 进一步将  $H_2O_2$  分解成  $H_2O$  和  $O_2$ ,还参与抗病物质木质素和植保素的合成,使植物获得抗病性和抗逆性<sup>[28]</sup>,在逆境或初期表达有保护效应,但在逆境或衰老后期表达则是植物衰老的产物,可作为衰老的判别指标<sup>[26]</sup>。由图 4C 可知,4 组百香果果实贮藏期间 POD 活性整体呈先升高后降低的趋势,SA 组贮藏第 6 天 POD 活性显著高于其他组( $P<0.05$ ),同时 SA 处理使 POD 活性的峰值提前出现。1-MCP 处理在贮藏 12~18 d POD 活性被显著抑制,在贮藏 30 d 显著促进( $P<0.05$ ),与用其处理密甜瓜<sup>[29]</sup>的结果相似;1-MCP 结合 SA 处理既能在第 12 天抑制 POD 活性的快速增加,又能在 30 d 时维持其较高活性。1-MCP 结合 SA 组数据出现上述变化趋势的原因可能是,贮藏 6~18 d 百香果果实 SOD 活性较高,分解超氧自由基产生  $H_2O_2$ ,而贮藏前期(6~12 d)POD 活性较低,分解  $H_2O_2$  较慢导致  $H_2O_2$  积累。贮藏前期  $H_2O_2$  的积累有利于诱导百香果果实启动防御系统,在贮藏中后期抑制  $H_2O_2$  的产生,避免伤害细胞膜。因此,1-MCP 结合 SA 处理能有效维持百香果果实活性氧代谢,延缓其衰老。

### 2.3 不同处理对百香果果实采后脂氧合酶活性的影响

脂氧合酶可以将多元不饱和脂肪酸氧化,其代谢产物含有活性氧和氧自由基等促进衰老的物质,是引起膜脂过氧化作用的重要酶,对细胞膜有破坏作用<sup>[11]</sup>。不同处理对百香果果实采后贮藏脂氧合酶活性的影响见图 5。



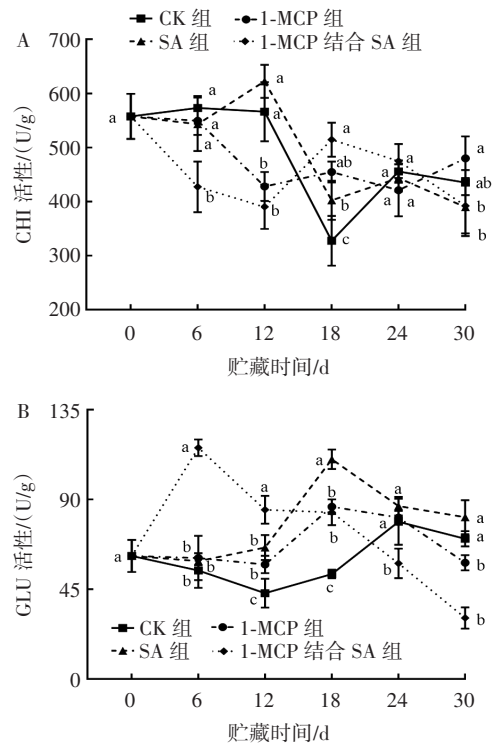
不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理差异显著,  $P<0.05$ 。

图 5 不同处理对百香果果实采后贮藏期间脂氧合酶活性的影响  
Fig.5 Effect of different treatments on lipoxygenase activity of passion fruit during postharvest storage

由图 5 可知,CK 组百香果果实采后贮藏期(0~30 d)内 LOX 活性呈先升高后降低的趋势,贮藏 18 d 时达到峰值。SA 组延迟了 LOX 活性峰值的时间,延缓细胞膜的膜质过氧化作用,延缓了百香果果实的成熟与衰老,与文献[11]的研究结果一致;1-MCP 组的 LOX 活性峰值较低,降低了膜质过氧化作用的强度;1-MCP 结合 SA 组在贮藏前期(0~12 d)显著地增加了 LOX 活性( $P<0.05$ ),但其 LOX 活性峰值也较 CK 组低,因此,3 种处理一定程度上缓解了细胞膜的膜质过氧化作用,延缓了百香果果实的成熟与衰老。

### 2.4 不同处理对百香果果实采后抗病相关酶活性的影响

几丁质酶(chitinase, CHI)和 GLU 是两种重要的病程相关蛋白(pathogenesis-related proteins, PR),是植物遭受机械伤、病原菌侵染或逆境胁迫刺激后产生的一类防御蛋白,它们能够分解病原菌细胞壁的主要成分(几丁质和  $\beta$ -1,3-葡聚糖),有效抑制病原菌的生长。GLU 能通过诱导细胞壁释放寡糖从而激活植物体内的系统防卫反应,CHI 活性和 GLU 活性的增加是植物遭受病原物侵染后表现出的一种抗性反应<sup>[9,24]</sup>。不同处理对百香果果实采后贮藏抗病相关酶活性的影响见图 6。



A.CHI 活性;B.GLU 活性。不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理差异显著,  $P<0.05$ 。

图 6 不同处理对百香果果实采后贮藏期间抗病性相关酶活性的影响  
Fig.6 Effect of different treatments on the activity of disease resistance-related enzymes in passion fruit during postharvest storage

由图 6A 可知,CK 组和 SA 组的百香果果实采后贮藏期间 CHI 活性呈波动变化趋势,SA 组在贮藏 18 d 时显著抑制 CHI 活性的下降( $P<0.05$ ),1-MCP 组和 1-MCP 结合 SA 组在贮藏 6~12 d 会抑制 CHI 的活性增大,贮藏 18 d 时显著抑制 CHI 活性的下降( $P<0.05$ ),3 种处理在一定程度上维持其抗病性,特别是 1-MCP 结合 SA 组。由图 6B 可知,在百香果采后贮藏期间(0~30 d),1-MCP 结合 SA 组 GLU 活性呈先升高后降低的变化趋势,其他 3 组均呈先降低后升高再降低的变化趋势。CK 组在第 24 天达到高峰,1-MCP 结合 SA 组、SA 组和 1-MCP 组分别在贮藏期第 6、18、18 天达到高峰,分别比 CK 组提前了 18、6、6 d。SA 或 1-MCP 单独处理显著提高其高峰值且使高峰提前与 SA 处理芒果<sup>[10]</sup>结果基本类似,1-MCP 处理与李辉等<sup>[28]</sup>的结果相似。1-MCP 结合 SA 处理既可以提高 GLU 活性高峰值又使活性高峰提前出现,从而快速启动其抗病性。

### 3 结论

百香果果实采后贮藏期间极易失水失重、凹陷和腐烂,缩短其贮藏期。研究发现,3 种处理均一定程度抑制乙烯的释放和 CHI 活性下降,降低 LOX 活性高峰或使其延后出现,增大 GLU 的活性高峰或使其提前出现。3 种处理增强了百香果果实的抗氧化能力和抗病性,从而延缓衰老和控制腐烂;此外,SA 组因促使呼吸高峰提前,故存在促进凹陷、失重和总酸含量下降等不足;1-MCP 组能明显地抑制百香果果实的呼吸作用,有利于控制失重和凹陷。1-MCP 前期促进、末期抑制  $H_2O_2$  的积累,前期增强 SOD 活性,有利于诱导百香果果实启动防御系统,因此其控制腐烂的效果最好。但 1-MCP 前、中期抑制,后期促进 POD 活性。另外,除了高峰期抑制,其他时间基本促进了 LOX 的活性,这不利于控制百香果的衰老。1-MCP 结合 SA 处理前期使 POD 活性值较大,中期 CHI 活性不降反升,以及使 GLU 活性高峰增大且提前,总之,其正向影响强于单独使用 1-MCP 或 SA 处理。因此,1-MCP 结合 SA 组提高了百香果果实的抗氧化能力和抗病能力,降低了百香果果实的凹陷、失重和腐烂率,且有效避免了单独使用 1-MCP 或 SA 的不良作用,协同维持百香果果实采后贮藏品质。

### 参考文献:

- [1] 谢晶,潘家丽,覃子倚,等.褪黑素处理对百香果采后生理及质构特性的影响[J].保鲜与加工,2021,21(7):1-7.  
XIE Jing, PAN Jiali, QIN Ziyi, et al. Effects of melatonin treatment on physiology and texture properties of postharvest passion fruits [J]. Storage and Process, 2021, 21(7): 1-7.
- [2] JUSUF N K, PUTRA I B, DEWI N K. Antibacterial activity of passion fruit purple variant (*Passiflora edulis Sims var. edulis*) seeds extract against *Propionibacterium acnes*[J]. Clinical, Cosmetic and In-

- vestigational Dermatology, 2020, 13: 99-104.
- [3] 冉飞,陈佳,莫飞旭,等.百香果炭疽病菌生物学特性及室内药剂筛选[J].热带作物学报,2021,42(4):1080-1085.  
RAN Fei, CHEN Jia, MO Feixu, et al. Biological characteristics of the pathogen and fungicides screening in laboratory for anthracnose of *Passiflora edulis Sims*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(4): 1080-1085.
- [4] 陈果,林育钊,郭欣,等.西番莲采后品质劣变及贮藏保鲜技术研究进展[J].亚热带植物科学,2020,49(4):323-328.  
CHEN Guo, LIN Yuzhao, GUO Xin, et al. Research advances in quality deterioration and storage technologies of harvested passion fruit[J]. Subtropical Plant Science, 2020, 49(4): 323-328.
- [5] 徐婧君,邹毅辉,林泽燕.葡萄柚精油对百香果储藏期微生物病害的抑制作用[J].分子植物育种,2022,20(2):408-413.  
XU Jingjun, ZOU Yihui, LIN Zeyan. The inhibitory effect of grapefruit essential oil on microbial diseases of passion fruit during storage[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(2): 408-413.
- [6] 杨雪莲,李涵,李斌奇,等.水杨酸处理对采后百香果品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(17):206-212.  
YANG Xuelian, LI Han, LI Binqi, et al. Effect of salicylic acid treatment on quality of postharvest passion fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(17): 206-212.
- [7] 刘亚心,黄文静,杨绍彬,等.抗坏血酸和水杨酸处理对杏李果实贮藏特性的影响[J].经济林研究,2022,40(4):90-96.  
LIU Yaxin, HUANG Wenjing, YANG Shaobin, et al. Effects of ascorbic acid and salicylic acid on the storage properties of *Prunus domestica*×*armeniaca*[J]. Non-wood Forest Research, 2022, 40(4): 90-96.
- [8] 魏征,张政,魏佳,等.水杨酸雾化熏蒸对新疆小白杏采后贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2020,36(1):113-119,168.  
WEI Zheng, ZHANG Zheng, WEI Jia, et al. Effects of salicylic acid spray fumigation on postharvest quality of Xinjiang xiaobai apricot [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 113-119, 168.
- [9] 弓德强,胡美姣,高兆银,等.采前水杨酸处理对芒果保鲜效果及其相关机理研究[J].中国果树,2021(7):56-61.  
GONG Deqiang, HU Meijiao, GAO Zhaoyin, et al. Effect of preharvest salicylic acid treatment on mango preservation and its mechanism[J]. China Fruits, 2021(7): 56-61.
- [10] 何俊瑜,顾津羽,胡春梅,等.水杨酸与硝酸钠对采后芒果果实炭疽病抗性和苯丙烷代谢的协同诱导效应[J].食品科学,2022,43(3):178-186.  
HE Junyu, GU Jinyu, HU Chunmei, et al. Synergistic effect of combined salicylic acid and nitric oxide in anthracnose resistance and phenylpropanoid metabolism in mango fruit[J]. Food Science, 2022, 43(3): 178-186.
- [11] 刘更森,樊连梅,李淑萍,等.外源水杨酸处理对贮藏期桃果实褐变的影响[J].华北农学报,2014,29(2):193-198.  
LIU Gengsen, FAN Lianmei, LI Shuping, et al. Effect of exogenous salicylic acid on browning of peach fruit during storage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2014, 29(2): 193-198.
- [12] 滕峥,杨翠凤,甘善萍,等.1-MCP对采后西番莲贮藏品质和生理的影响[J].中国南方果树,2018,47(4):77-80.  
TENG Zheng, YANG Cuifeng, GAN Shanping, et al. Effects of 1-MCP on storage quality and physiology of postharvest passion fruit [J]. South China Fruits, 2018, 47(4): 77-80.
- [13] SALAZAR J, JORQUERA C, CAMPOS-VARGAS R, et al. Effect of the application timing of 1-MCP on postharvest traits and sensory quality of a yellow-fleshed kiwifruit[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 244: 82-87.

- [14] 陆玉卓,姜永峰,周倩,等. 1-MCP熏蒸结合PE袋包装对“国色天香”李贮藏品质及生理活性的影响[J]. 北方园艺, 2023(13): 85-93.  
LU Yuzhuo, JIANG Yongfeng, ZHOU Qian, et al. Effects of 1-methylcyclopropene fumigation combined with PE plastic packaging on the storage quality and physiological activity of 'goose Tianxiang' plum fruit[J]. Northern Horticulture, 2023(13): 85-93.
- [15] LI L, LI C B, SUN J, et al. The effects of 1-methylcyclopropene in the regulation of antioxidative system and softening of mango fruit during storage[J]. Journal of Food Quality, 2020, 2020: 6090354.
- [16] LV J Y, ZHANG Y Z, SUN M Y, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment differentially mediated expression of vacuolar processing enzyme (VPE) genes and delayed programmed cell death (PCD) during ripening and senescence of apple fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 307: 111489.
- [17] 罗冬兰, 瞿光凡, 曹森, 等. 采前水杨酸结合采后1-MCP处理对李果实贮藏期品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 327-333.  
LUO Donglan, QU Guangfan, CAO Sen, et al. Effect of preharvest salicylic acid combined with postharvest 1-MCP treatment on quality and antioxidant ability of plum fruit during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 327-333.
- [18] 尚琪, 王婷, 李欣, 等. 采前乙酰水杨酸与采后1-MCP处理对厚皮甜瓜冷藏品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 247-252.  
SHANG Qi, WANG Ting, LI Xin, et al. Effect of preharvest acetylsalicylic acid and postharvest 1-MCP treatments on quality and antioxidant ability of muskmelon fruit during cool storage[J]. Food Science, 2016, 37(20): 247-252.
- [19] 邓源喜, 许晖, 王家良, 等. 固封精油熏蒸对油桃采后保鲜效果的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 357-365.  
DENG Yuanxi, XU Hui, WANG Jialiang, et al. Effect of fumigation with fixed essential oil method on the storage and preservation of postharvest nectarine fruits[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(2): 357-365.
- [20] 张伟清, 林媚, 徐程楠, 等. 柑橘可溶性固形物和总酸含量测定方法比较[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(11): 2094-2095, 2099.  
ZHANG Weiqing, LIN Mei, XU Chengnan, et al. Determination methods comparison of soluble solids content and total acid content in citrus[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(11): 2094-2095, 2099.
- [21] LUO H B, JIANG J, ZHANG L, et al. Effect of gibberellic acid and 6-benzylaminopurine on lignification of fresh-cut *Zizania latifolia* during refrigerated (1c) storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(5): 864-869.
- [22] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. Effectiveness of lysozyme coatings and 1-MCP treatments on storage and preservation of kiwifruit[J]. Food Chemistry, 2019, 288: 201-207.
- [23] 张二芳, 唐福临, 邵雅馨, 等. 1-MCP及乙烯吸收剂对水蜜桃采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(23): 20-25.  
ZHANG Erfang, TANG Fulin, SHAO Yaxin, et al. Effect of 1-MCP and ethylene absorbent on the physiology and storage quality of honey peach fruit after harvest[J]. Food Research and Development, 2021, 42(23): 20-25.
- [24] LI H, SUO J T, HAN Y, et al. The effect of 1-methylcyclopropene, methyl jasmonate and methyl salicylate on lignin accumulation and gene expression in postharvest 'Xuxiang' kiwifruit during cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 124: 107-118.
- [25] HU M J, ZHU Y Y, LIU G S, et al. Inhibition on anthracnose and induction of defense response by nitric oxide in pitaya fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 245: 224-230.
- [26] 王斯彤, 王聪雅, 刘怡菲, 等. 不同保鲜处理对软枣猕猴桃贮藏及抗氧化性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(3): 302-308.  
WANG Sitong, WANG Congya, LIU Yifei, et al. Effects of different fresh-keeping treatments on storage and antioxidant activity of *Actinidia arguta*[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2022, 53(3): 302-308.
- [27] WIN N M, YOO J, NAING A H, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment delays modification of cell wall pectin and fruit softening in 'Hwangok' and 'Picnic' apples during cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180: 111599.
- [28] 李辉, 林毅雄, 林河通, 等. 1-甲基环丙烯控制采后“油”果实腐烂与抗病相关酶诱导的关系[J]. 热带作物学报, 2015, 36(4): 786-791.  
LI Hui, LIN Yixiong, LIN Hetong, et al. The relationship between inhibition of decay and induction of disease defense-related enzymes in harvested 'younai' plum fruit by 1-methylcyclopropene(1-MCP)[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(4): 786-791.
- [29] 李自芹, 李文绮, 贾文婷, 等. 氯化钙与1-MCP对西州蜜甜瓜采后贮藏品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(7): 1698-1704.  
LI Ziqin, LI Wenqi, JIA Wenting, et al. Effects of calcium chloride and 1-MCP on postharvest storage quality of Xizhou melon[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(7): 1698-1704.

加工编辑:张昱  
收稿日期:2023-11-20