

乙烯脱除剂结合 1-MCP 处理对吊干杏贮藏期间冷害及活性氧代谢的调控作用

李自芹¹, 赵志永^{1*}, 潘艳芳^{2*}, 李文琦³, 贾晓昱⁴

(1. 新疆农垦科学院农产品加工研究所, 新疆石河子 832000) (2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193) (3. 石河子质量与计量检测所, 新疆石河子 832000) (4. 新疆金泽酒业有限公司, 新疆和田 848000)

摘要: 该研究探讨了乙烯脱除剂 (EA) 结合 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理对吊干杏贮藏期间冷害及活性氧代谢的影响。为了筛选适宜吊干杏贮藏的保鲜剂, 为生产中吊干杏的保鲜提供理论和科学依据, 以新疆一师四团鲜食吊干杏为试材, 分别采用乙烯脱除剂 (EA) 及 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 对吊干杏进行贮藏前处理, 以无处理为对照 (CK), 置于 0℃, 湿度为 90%~95% 保鲜库中贮藏, 每隔 7 d 测定果实各项生理指标。结果表明, EA、1-MCP 单独处理和复合处理对抑制吊干杏贮藏期间冷害发生及保持活性氧代谢均有一定的积极作用, EA 结合 1-MCP 处理较 CK, 冷害发生推迟了 14 d, 冷害发生率降低了 42.59%, 在贮藏第 49 d, ($O_2\cdot^-$) 的产生速率降低了 24.52%, H_2O_2 含量减少了 65.03 $\mu\text{mol/g}$, SOD、CAT 和 POD 酶分别提高了 0.11 U/g、0.20 U/g 和 1.06 U/g。说明, EA 结合 1-MCP 处理, 抑制了吊干杏在贮藏期间冷害的发生率, 超氧阴离子自由基 ($O_2\cdot^-$) 的产生速度和细胞内过氧化氢 (H_2O_2) 的累积, 延缓了超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性的下降速率, 更好的防止了果实过高的氧化伤害, 维持了吊干杏果实的活性氧代谢平衡, 保持了吊干杏贮藏期间的品质和风味。

关键词: 吊干杏; EA; 1-MCP; 冷害; 活性氧

文章编号: 1673-9078(2023)09-155-161

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1199

Effects of Ethylene Removers Combined with 1-MCP Treatment on Chilling Injury and Active Oxygen Metabolism of Hanging Dried Apricot during Storage

LI Ziqin¹, ZHAO Zhiyong^{1*}, PAN Yanfang^{2*}, LI Wenqi³, JIA Xiaoyu⁴

(1. Agricultural Product Processing Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China) (2. Institute of Agricultural Products Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China) (3. Shihezi Quality and Measurement Institute, Shihezi 832000, China) (4. Xinjiang Jinze Wine Co. Ltd., Hotan 848000, China)

Abstract: The effects of ethylene remover (EA) combined with 1-methylcyclopropene (1-MCP) on chilling injury and active oxygen metabolism of hanging dried apricots during storage were investigated. To screen suitable preservatives for storage and provide a theoretical and scientific basis for the freshness preservation of hanging dried apricots in production, hanging dried apricots from 4th Tuan of Xinjiang First

引文格式:

李自芹, 赵志永, 潘艳芳, 等. 乙烯脱除剂结合 1-MCP 处理对吊干杏贮藏期间冷害及活性氧代谢的调控作用[J]. 现代食品科技, 2023, 39(9): 155-161

LI Ziqin, ZHAO Zhiyong, PAN Yanfang, et al. Effects of ethylene removers combined with 1-MCP treatment on chilling injury and active oxygen metabolism of hanging dried apricot during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 155-161

收稿日期: 2022-09-21

基金项目: 新疆自治区天山英才计划第三期 (2021-2023); 新疆维吾尔自治区乡村振兴产业发展科技行动项目 (2021NC040)

作者简介: 李自芹 (1986-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: 1402546333@qq.com

通讯作者: 赵志永 (1981-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: 1113231812@qq.com; 共同通讯作者: 潘艳芳 (1991-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: panyanfang13@126.com

Division was used as test material, whereas ethylene removal agent (EA) and 1-methylcyclopropene (1-MCP) were used to treat hanging dried apricots before storage, with no treatment as control (CK). Fruits were stored in a fresh storage room at 0 °C and 90%~95% humidity, and all physiological indexes were measured every 7 days. Our results showed that treatment with EA and 1-MCP alone or in combination positively inhibited the occurrence of chilling injury and maintained the metabolism of reactive oxygen species during storage of hanging dried apricots. Interestingly, EA combined with 1-MCP treatment was better than CK. The occurrence of chilling injury was delayed for 14 d, its incidence was reduced by 42.59%, whereas the production rate of superoxide anion radicals ($O_2^{\cdot-}$) was reduced by 24.52%. In addition, the content of hydrogen peroxide (H_2O_2) was reduced by 65.03 $\mu\text{mol/g}$, whereas the activity of SOD, CAT, and POD enzymes was increased by 0.11 U/g, 0.20 U/g, and 1.06 U/g, respectively. These results indicated that EA combined with 1-MCP treatment can inhibit the incidence of chilling injury, production rate of $O_2^{\cdot-}$, and accumulation of intracellular H_2O_2 in hanging apricots during storage. This combined treatment delayed the decreasing rate of the activity of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT), prevented the excessive oxidative damage of fruits, maintained the balance of reactive oxygen species metabolism, and retained the quality and flavor of hanging dried apricots during storage.

Key words: hanging dried apricot; ethylene remover; 1-methylcyclopropene; chilling injury; reactive oxygen species

新疆是我国杏子的主要产地, 杏子在新疆的林果业中占据主要地位^[1]。杏子作为夏季的主要水果, 由于其风味极佳, 营养丰富, 深受国内外消费者的喜爱^[2]。但是, 杏子属于典型的呼吸跃变型果实, 杏子在采收时又正值夏季高温时节, 采后极易后熟衰老^[3], 采后鲜食杏子在贮藏运输期间损失率达到 30%~40%^[4], 给企业和农户带来了巨大的经济损失。

低温环境下贮藏, 可明显抑制鲜食杏的呼吸强度, 延缓采后果实在贮藏期间的腐烂, 保持果实的货架期, 提高其商品率^[5]。然而, 鲜食杏子属于冷敏性果实, 在贮藏中后期极易产生冷害^[6], 鲜食杏果实冷害现象往往在出库以后才表现出来, 在冷库贮藏期间不容易被发现; 产生冷害后的鲜食杏果肉会出现纤维化、凝胶化, 且很易遭受微生物的侵染, 导致鲜食杏软化腐烂^[7]。所以, 冷害会造成鲜食杏的严重损失, 也限制了冷藏技术在鲜食杏子贮藏及运输中的运用。因此, 提高鲜食杏在冷藏环境下的耐受性, 减少冷害的产生, 已成为鲜食杏在贮藏和运输中急需解决的问题。

甲基环丙烯 (1-MCP) 是一种乙烯受体抑制剂, 能很好地提高果蔬的耐贮性和抵抗力^[8]。1-MCP 抵抗冷害的能力与果蔬的抗冷性密切相关^[9]。1-MCP 处理抑制了紫薯^[10]、苹果^[11]和水蜜桃^[12]腐烂率, 褐变的产生, 提高了贮藏品质。

乙烯吸附剂(EA)主要成分是高锰酸钾的活性炭, 可抑制果蔬体内乙烯的产生, 从而延长果蔬的货架期^[13]。EA 可增强果蔬细胞的持水性, 提高果蔬的抗冷能力, 达到减少果蔬冷害的目的^[14]。已有研究证明, EA 较好的抑制了阳丰甜柿^[15]、番茄^[16]和猕猴桃^[17]等果蔬的褐变, 提高了果蔬贮藏品质。

在一般情况下, 果蔬体内活性氧的产生与消除处于一种动态平衡, 对果蔬细胞不会造成伤害^[18]。当冷敏性果蔬遭遇外界低温胁迫时, 体内的活性氧自由

基会不断积累, 果蔬体内活性氧代谢失去平衡, 果蔬细胞膜易造成损害, 最终导致果蔬冷害的产生^[19]。超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$)、羟自由基 ($\cdot\text{OH}$) 和过氧化氢 (H_2O_2) 等是致使果蔬发生冷害的活性氧自由基^[20]。经过不断的进化, 果蔬自身形成了清除活性氧的免疫系统, 防止细胞膜渗透性, 保持了细胞膜的完整性^[21]。SOD、POD 和 CAT 属于抗氧化酶, 是使果蔬细胞活性氧代谢维持较低水平以及避免细胞膜造成伤害的主要酶, 其活性水平能反映果蔬遭受外界逆境影响的程度, 三者通过相互协同作用, 保持体内的自由基处于平衡状态, 避免自由基引起的果蔬生理生化上的变化。

目前, 对于鲜食吊干杏低温贮藏期间的冷害控制及活性氧代谢的影响研究报道较少。本文以新疆一师四团鲜食吊干杏为试材, 分别采用 1-MCP、EA 和 1-MCP-EA 处理, 在保鲜库中贮藏, 定期测定鲜食吊干杏冷害指数及活性氧代谢等生理指标, 探讨以上处理对鲜食吊干杏贮藏品质的影响, 为其采后贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

鲜食吊干杏: 2022 年 7 月 22 日采摘于新疆一师四团, 采摘后迅速运至冷库 (2 °C±1 °C) 预冷, 挑选八成熟、大小均匀、无机械损伤和病虫害的果实。

纳米聚乙烯微孔保鲜膜 (N): 微孔膜孔径 0.5~1.5 nm, 密度 800~1 500 个/ mm^2 , 天津科技大学提供; LC-WB-6 电热恒温水浴锅, 深圳市华品计量检测有限公司; GL-20G-II 高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂。1-MCP、乙烯脱除剂 (EA), 新疆沃德生物科技有限责任公司提供。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

果实处理：果实随机分成4组，每组30筐，每筐果实4 kg。

CK 组：无任何处理，每筐果实外套保鲜膜 N，并封口。

1-MCP 处理组：采用 1 μ L/L 1-MCP 密闭熏蒸 6 h 后，每筐果实外套保鲜膜 N，并封口。

EA 处理组：在每筐果实中放入 1 袋 EA（用量是 5 g/袋）后，每筐果实外套保鲜膜 N，并封口。

1-MCP-EA 处理组：采用 1 μ L/L 1-MCP 熏蒸处理后，在每筐果实中放入 1 袋 EA（用量是 5 g/袋），每筐果实外套保鲜膜 N，并封口。

以上四种处理组果实，置于 0 $^{\circ}$ C，相对湿度为 90%~95% 保鲜库中贮藏，每隔 7 d 测定 1 次吊干杏相关指标。

1.2.2 冷害指数

参照宋丛丛等^[22]方法：将吊干杏果实冷害分为 5 个等级。

$$P = \frac{\sum(A \times B)}{C \times D} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

P——为冷害指数，%；

A——冷害果实数，个；

B——冷害级别，级别；

C——总果数，个；

D——最高冷害级别，级别。

1.2.3 冷害发病率

每个处理组随机选 100 个果实，重复 3 次^[23]：

$$A = \frac{B}{C} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

A——发病率，%；

B——发病果数，个；

C——总果数，个。

1.2.4 超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$) 产生速率测定

参照金昌海等^[24]的方法测定，单位：nmol/(min·g)。

1.2.5 过氧化氢 (H_2O_2) 含量的测定

参照 Zhou 等^[25]的方法进行测定，单位： μ mol/g。

1.2.6 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定

采用氮蓝四唑方法^[26]，单位：U/g。

1.2.7 过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定

参照曹建康等^[27]的方法，单位：U/g。

1.2.8 过氧化物酶 (POD) 活性的测定

采用愈创木酚氧化法测定^[27]，单位：U/g。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件绘图，SPSS 统计分析，以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。

2 结果与分析

2.1 不同处理对果实贮藏期间的表观照片

由图 1 所示，CK 组吊干杏在贮藏第 28 天有个别果实已经开始出现由于冷害而发生的腐烂，1-MCP 和 EA 处理组在第 28 天开始出现冷害现象，1-MCP-EA 处理组在第 28 天冷害现象仍未发生。说明 1-MCP、EA 单独处理和 1-MCP-EA 处理均推迟了果实冷害发生的时间，减轻了果实的冷害症状。

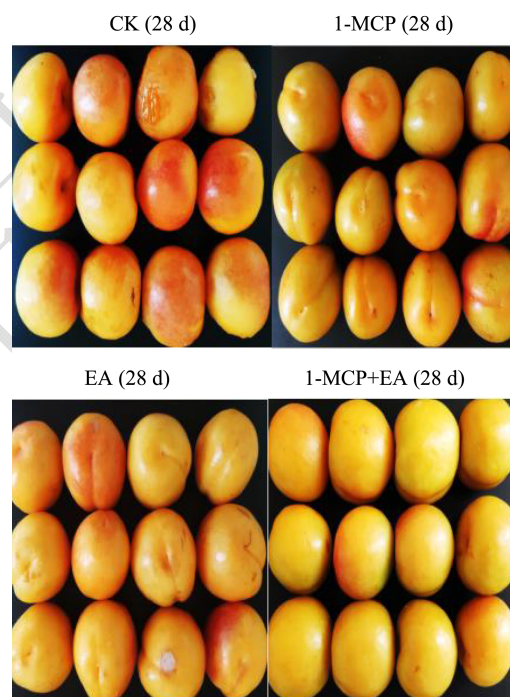


图 1 不同处理对果实贮藏期间的表观照片

Fig.1 Apparent photographs of fruit during storage under different treatments

2.2 不同处理对果实冷害指数的影响

如图 2 所示，CK 组在第 21 天最早产生冷害，1-MCP 和 EA 处理组在第 28 天出现冷害，1-MCP-EA 处理组产生冷害的时间推迟到了第 35 天。在整个贮藏期间，CK 冷害指数始终高于各处理组。在第 49 天，各处理组果实冷害指数达到最大值，其中，冷害指数 CK 组为 0.54，1-MCP、EA 和 1-MCP-EA 均推迟了吊干杏果实贮藏期间冷害的发生，其中 1-MCP-EA 联合处理组对抑制吊干杏在贮藏期间冷害的发生效果最

好。EA 处理组分别为 0.41、0.37、和 0.31，比 CK 组低了 24.07%、31.48%和 42.59% ($P<0.05$)。与 Zhao 等^[28]研究 1-MCP-EA 处理提高了果实的抗冷性，延缓了冷害的发生结果相似。说明，1-MCP、EA 单独处理和 1-MCP-EA 联合处理较 CK，均推迟了吊干杏果实在贮藏期间冷害的发生，其中 1-MCP-EA 联合处理组对抑制吊干杏在贮藏期间冷害的发生效果最好。

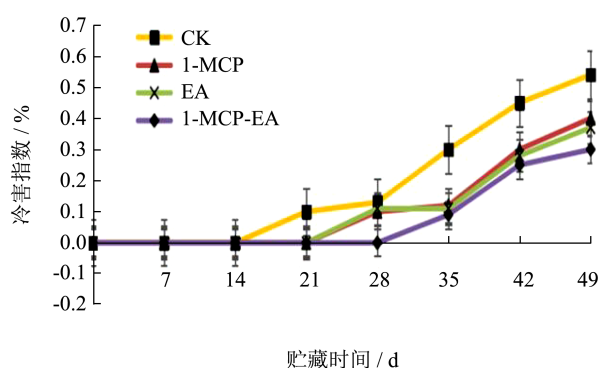


图2 不同处理对果实冷害指数的影响

Fig.2 Effects of different treatments on fruit chilling injury index

2.3 不同处理对果实冷害发生率的影响

如图3所示，在贮藏期间，各处理组冷害发生率不断增加，特别是从第35天开始，CK组果实冷害发生率迅速升高，且明显高于其他处理组。在第49天，CK组果实的冷害发生率为35.21%，1-MCP-EA处理组的冷害发生率为15.35%。比CK组低了19.86% ($P<0.05$)。这一结果与周洲^[29]1-MCP联合EA处理减少黄桃的冷害发生率，提高了代谢相关的抗氧化酶活性研究结果相似。说明，1-MCP-EA推迟了果实冷害发生的时间，更好的抑制了吊干杏果实的冷害发生率。

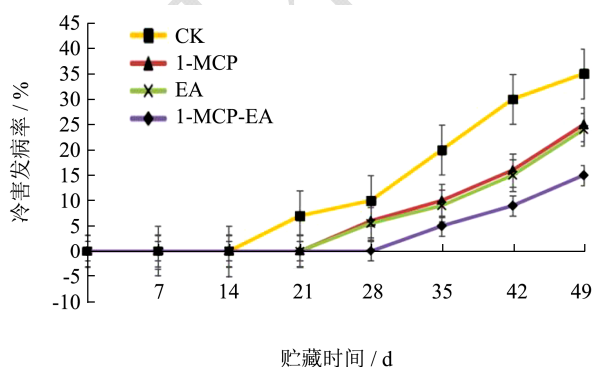


图3 不同处理对果实冷害发生率的影响

Fig.3 Effects of different treatments on the incidence of fruit chilling injury

2.4 不同处理对果实超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$)

产生速率的影响

$O_2^{\cdot-}$ 在果蔬体内属于一种活性氧自由基，其产生后若不及时进行清除，会引起果蔬膜脂过氧化作用^[30]。如图4所示，CK及各处理组 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率呈上升趋势，从第7天以后，CK组果实 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率明显高于处理组果实，且在第42天达到峰值。在贮藏第42天，CK组、1-MCP、EA和1-MCP-EA处理组 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率分别为 550.34、410.12、400.34 和 380.21 nmol/(min·g)。各处理组 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率均明显低于CK组 ($P<0.05$)。说明，1-MCP、EA单独处理和1-MCP-EA联合处理均可降低吊干杏果实体内 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率，其中，1-MCP-EA联合处理组对吊干杏在贮藏期间抑制 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率效果最好。

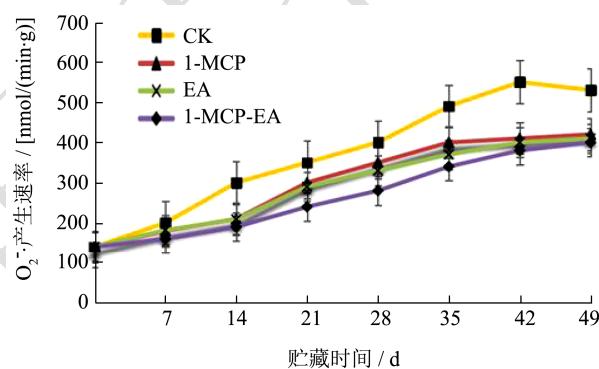


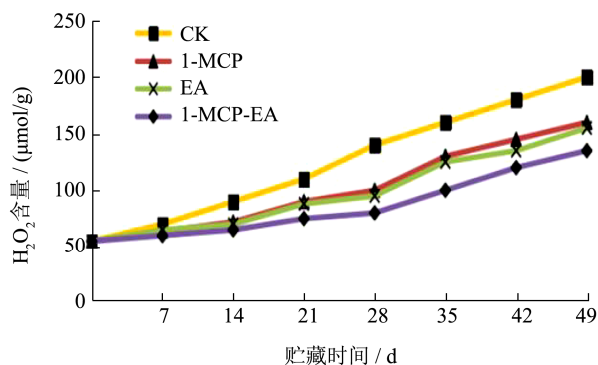
图4 不同处理对果实 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响

Fig.4 Effects of different treatments on fruit $O_2^{\cdot-}$ production rate

2.5 不同处理对果实过氧化氢 (H_2O_2) 含量的

影响

H_2O_2 是活性氧的一种，它是一种对果蔬细胞代谢具有毒害作用的物质^[31]。如图5所示，随着贮藏时间的延长， H_2O_2 在果实体内不断产生，在第49天，CK、1-MCP、EA和1-MCP-EA处理组 H_2O_2 含量分别为 200.24、160.56、155.53 和 135.21 $\mu\text{mol/g}$ ，CK组 H_2O_2 含量明显高于各处理组 ($P<0.05$)。说明，1-MCP、EA单独处理和1-MCP-EA联合处理对贮藏期间吊干杏果实 H_2O_2 含量的上升均有一定的抑制作用。其中1-MCP-EA联合处理组对吊干杏在贮藏期间抑制 H_2O_2 含量的上升效果最好。

图5 不同处理对果实H₂O₂含量的影响Fig.5 Effects of different treatments on fruit H₂O₂ content

2.6 不同处理对果实超氧化物歧化酶 (SOD)

活性的影响

SOD 是果蔬体内一种主要的抗氧化酶,它具有清除果蔬体内活性氧的作用^[32]。如图 6 所示,CK 及各处理组果实 SOD 活性呈现出先上升后下降的趋势,在第 28 天,CK、1-MCP、EA 和 1-MCP-EA 处理组 SOD 活性达到峰值,分别是 0.55、0.65、0.68 和 0.72 U/g,各处理组果实 SOD 活性均高于 CK ($P<0.05$)。说明,各处理组较 CK,均提高了贮藏期间吊干杏果实的 SOD 活性,且 1-MCP-EA 联合处理组对吊干杏在贮藏期间提高、SOD 活性上效果最好。

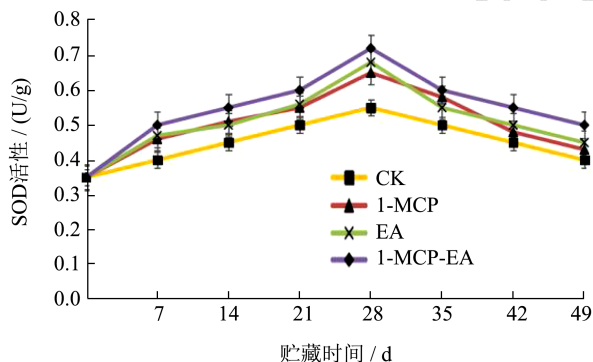


图6 不同处理对果实 SOD 活性的影响

Fig.6 Effects of different treatments on SOD activity in fruit

2.7 不同处理对果实过氧化氢酶 (CAT) 活性

的影响

如图 7 所示, CAT 存在于果蔬的过氧化物体内,它是一种可将体内 H₂O₂ 分解为 H₂O 和 O₂ 的酶。在整个贮藏期间,各处理组果实 CAT 活性均高于 CK 组。在贮藏第 28 天,CK 组 CAT 活性分别比 1-MCP、EA 和 1-MCP-EA 处理组低了 13.33%、24.79%、35.92%,差异较显著 ($P<0.05$)。说明,各处理组较 CK,均提

高了贮藏期间吊干杏果实中 CAT 活性,且 1-MCP-EA 联合处理组对吊干杏在贮藏期间提高 CAT 活性上效果最好。

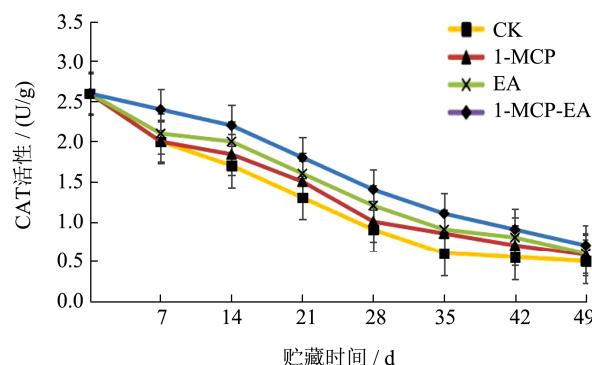


图7 不同处理对果实 CAT 活性的影响

Fig.7 Effects of different treatments on CAT activity in fruits

2.8 不同处理对果实过氧化物酶 (POD) 活性

的影响

POD 是普遍存在于果蔬体内的一种氧化还原酶,它可催化果蔬体内氧化还原反应产生的 H₂O₂^[33]。如图 8 所示,正在贮藏期间,CK 及各处理组 POD 活性呈缓慢上升又下降的趋势,且 CK 组 POD 活性最低。在第 28 天,CK 及 1-MCP、EA 和 1-MCP-EA 处理组 POD 活性均出现了峰值,分别为 5.23、5.45、5.57 和 6.45 U/g。结果与及华等^[34]1-MCP 处理对抑制果实的褐变,使深州蜜桃在贮藏期间保持了较好的品质结果类似。说明,1-MCP、EA 单独处理和 1-MCP-EA 联合处理均提高了杏果实的 POD 活性,使其保持在一个较高的水平,以 1-MCP-EA 联合处理效果最佳。

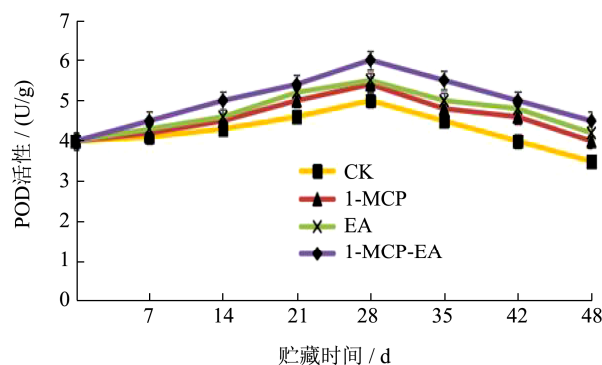


图8 不同处理对果实 POD 活性的影响

Fig.8 Effects of different treatments on fruit POD activity

3 结论

抗氧化酶在果蔬体内可调节果蔬的抗冷性,其活性的提高有利于清除果蔬细胞内的活性氧自由基,避免对果蔬细胞膜质的氧化损害,减少果蔬在贮藏期间

冷害的发生。

本研究结果表明,在整个贮藏期间,CK 组吊干杏果实第 21 天开始出现冷害症状,处理组 1-MCP 和 EA 比 CK 推迟了 7 d,1-MCP-EA 处理组较 CK,冷害发生推迟了 14 d。各处理组吊干杏果实冷害发生率和冷害指数明显低于 CK 组。1-MCP 联合 EA 处理较 CK,不但有效抑制了贮藏期间吊干杏果实冷害的产生,还增强了 SOD、CAT 和 POD 抗氧化酶的活性,抑制了果实体内 O_2^- 的产生速度和 H_2O_2 的含量,更好的维持了吊干杏细胞内的活性氧代谢平衡,缓解了果实冷害的发生,这与 1-MCP、EA 处理能提高鲜食吊干杏果实活性氧清除酶的活性、增强对果实细胞内活性氧的清除能力、保持果实细胞活性氧的代谢平衡紧密相关。目前,对于鲜食吊干杏低温贮藏期间的冷害控制及活性氧代谢的影响研究报道较少,1-MCP 结合 EA 是一种有效的保鲜技术,可作为吊干杏贮藏保鲜及应用提供一定的技术参考。

参考文献

- [1] 刘昭,路翔,张大海,等.10 个南疆主栽杏品种自交不亲和 S-RNase 基因的克隆及序列分析[J/OL].分子植物育种,1-18[2023-04-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220823.1530.002.html>
- [2] 张亚琳,展晓凤,马海娟,等.外源褪黑素调控活性氧代谢诱导采后杏果实对黑斑病的抗性[J].食品工业科技,2022,43(24):355-362.
- [3] 白国荣,郭敏瑞,卢娣,等.冰温贮藏对新疆吊干杏保鲜效果的影响[J].食品科学,2019,40(13):260-266.
- [4] 侯媛媛,朱璇,王英,等.水杨酸处理对杏果实冷害及活性氧代谢的影响[J].食品科学,2014,35(4):195-199.
- [5] 李洁.低温低湿条件下吊干杏自然干燥特性及工艺优化试验[D].阿拉尔市:塔里木大学,2022.
- [6] 张欢欢.近冰温结合钙处理对杏果实贮藏品质的影响[D].乌鲁木齐市:新疆农业大学,2021.
- [7] Dong Q Y, Ronald Kurtenbach. Polyamines in a plasma membrane function in melatonin-mediated tolerance of a apricot fruit to a chilling stress [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2022, 40(4): 145-148.
- [8] Guo J M, Wang Y, Deng Z L, et al. Ripening behavior and quality of 1-MCP treated d Anjou pears during controlled atmosphere storage [J]. Food Control, 2020, 117: 107364.
- [9] 董欣瑞,张佩,袁楚珊,等.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[J].中国食品学报,2022,22(9): 208-216.
- [10] 聂鑫森,赵妍.1-甲基环丙烯及热处理对紫薯低温贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2022,43(23):42-47.
- [11] 刘欢,鲁佳霖,何春菊,等.1-MCP 和 $CaCl_2$ 对甘孜州糖心苹果采后贮藏保鲜效果的影响[J].现代农业科技,2021,9:235-237,241.
- [12] 高志强,郑江枫,林育钊,等.纸片型 1-MCP 处理对‘朝霞’水蜜桃抗病物质代谢的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(16):5329-5336.
- [13] 巴良杰,马立志,余磊,等.乙醇熏蒸结合乙烯吸附剂对蓝莓保鲜效果的影响[J].包装工程,2019,40(19):66-72.
- [14] Wang S Y, Zhou Q, Zhou X, et al. The effect of ethylene absorbent treatment on the softening of blueberry fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 246(4): 286-294.
- [15] 杨志国,丁京,杜静,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.
- [16] Zhang W L, 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.
- [17] 曹森,马超,吉宁,等.乙烯吸附剂耦合 1-MCP 对“贵长”猕猴桃保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(3):186-193.
- [18] 凌晨.外源钙和钙调素拮抗剂处理对冷藏桃果实耐冷性的影响及机理研究[D].南京:南京农业大学,2019.
- [19] 李志程.壳聚糖采前处理对厚皮甜瓜生长发育、果实贮藏特性和采后愈伤的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2021.
- [20] VI Herrera-Téllez, Cruz-Olmedo A K, Plasencia J, et al. The protective effect of *Trichoderma asperellum* on tomato plants against *Fusarium oxysporum* and *Botrytis cinerea* diseases involves inhibition of reactive oxygen species production [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(8): 2007.
- [21] Deng B L, Chen L J, Tian S, et al. Vitamin B1 delays postharvest senescence and enhances antioxidant accumulation by activating NADPH oxidase in *Ziziphus jujuba* fruit [J]. LWT, 2022, 165: 113743.
- [22] 宋丛丛,赵垚垚,李昂,等.NO 处理对采后映霜红桃果实冷害及呼吸作用的影响[J].核农学报,2022,36(9):1826-1833.
- [23] 何欢,刘昭雪,张亚琳,等.外源褪黑素通过调控活性氧代谢减轻采后杏果实冷害[J].食品科学,2022,43(5):168-174.
- [24] 金昌海,阚娟,王红梅,等.桃果实成熟软化过程中活性氧代谢的变化[J].扬州大学学报,2006,4:85-89.
- [25] Zhou B Y, Wang J H, Guo Z F, et al. A simple colorimetric method for determination of hydrogen peroxide in plant tissues [J]. Plant Growth Regulation, 2006, 49: 113-118.

- [26] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants [J]. *Plant Physiology*, 1977, 59(2): 309-314.
- [27] 曹建康,蒋微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [28] Zhao H D, Jiao W X, Cui K B, et al. Near-freezing temperature storage enhances chilling tolerance in nectarine fruit through regulation of soluble sugars and energy metabolism [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 426-435.
- [29] 周洲.在 1 °C 下贮藏结合 1-MCP 处理能缓解涩柿冷害[J]. *中国果业信息*, 2019, 36(9): 47-48.
- [30] 陈晓.发酵猕猴桃果浆对肠黏膜机械屏障损伤的预防作用及其机理研究[D].贵阳:贵州医科大学,2022.
- [31] 孙萌,罗志雄,彭敏,等.低温对水稻幼苗根系活性氧代谢及其相关基因表达的影响[J/OL]. *分子植物育种*, 1-12 [2023-04-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220105.1152.004.html>.
- [32] Kabała Katarzyna, Reda Małgorzata, Wdowikowska Anna, et al. Role of plasma membrane NADPH oxidase in response to salt stress in cucumber seedlings [J]. *Antioxidants*, 2022, 11(8): 1534.
- [33] Wei T J, Li G, Wang M M, et al. Physiological and transcriptomic analyses reveal novel insights into the cultivar-specific response to alkaline stress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 228(25): 113017.
- [34] 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.