

不同处理对采后小红杏贮藏品质及生理特性的影响

付云开¹, 雷用东^{2*}, 李自芹^{2*}

(1.商丘职业技术学院, 河南 商丘 476000; 2.新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: **目的** 采用差压预冷协同保鲜剂雾化熏蒸处理以提高采后小红杏贮藏品质。**方法** 以新疆一师四团小红杏为试材, 分别采用差压预冷、1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理, 无差压预冷及保鲜剂处理作为 CK 组。于温度为 1 °C、相对湿度为 90% 的保鲜库中贮藏, 每 7 d 测定 1 次果实的生理指标, 分析小红杏在贮藏期间的品质变化规律。**结果** 与 CK 组相比, 3 组处理组果实均不同程度地保持了小红杏果实的贮藏品质。1-MCP 处理和差压预冷协同 1-MCP 处理组使贮藏期间果实的呼吸高峰推迟了 7 d。在贮藏末期, 差压预冷协同 1-MCP 处理组果实的商品率较 CK 组提高了 66.7%, 硬度、Vc 含量分别为 CK 组的 3.5 倍和 2 倍。差压预冷协同 1-MCP 处理组较好地保持了果实的硬度、Vc 含量, 提高了果实的抗氧化酶活性, 推迟了果实的后熟衰老进程, 最大程度地保持了果实的贮藏品质。**结论** 1-MCP 及差压预冷协同 1-MCP 处理更好地保持了小红杏贮藏期间的商品率、延长了其货架期, 是一种有效提高采后小红杏贮藏品质的保鲜方法。

关键词: 小红杏; 差压预冷; 1-MCP; 品质

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2024)17-0096-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.17.011

Effects of Different Treatments on Storage Quality and Physiological Characteristics of Postharvest Small Red Apricots

FU Yunkai¹, LEI Yongdong^{2*}, LI Ziqin^{2*}

(1. Shangqiu Vocational and Technical College, Henan Shangqiu 476000, China;

2. Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Xinjiang Shihezi 832000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the storage quality of post harvest small red apricots through differential pressure precooling and collaborative preservation agent atomization fumigation treatment. With small red apricots from the Fourth Regiment of Xinjiang First Division as test materials, differential pressure precooling, 1-MCP, and differential pressure pre-cooling were conducted in combination with 1-MCP treatment, with no differential pressure pre cooling or preservative treatment as the CK group. The test materials were stored in a fresh-keeping warehouse with a temperature of 1 °C and a relative humidity of 90%, their physiological indicators were measured every 7 days to analyze the quality changes of small red apricots during storage. Compared with the CK group, the three treatment groups all maintained the storage quality of small red apricots to varying degrees. The 1-MCP treatment and differential pressure precooling combined with the 1-MCP treatment group delayed the peak respiration of fruits during storage by 7 days. At the end of storage, the commercial rate of fruits in the differential pressure precooling combined with the 1-MCP treatment group

收稿日期: 2024-05-22

基金项目: 鲜食杏电商及冷链贮运保鲜关键技术 (2024659007000033); 兵团英才青年项目 (2023-2025); 兵团重点领域科技攻关计划 (2022AB001, 2020AB012); 兵团富硒土壤区农产品重金属风险评估

*通信作者

increased by 66.7% compared with the CK group, and the hardness and Vc content were 3.5 and 2 times higher than those in the CK group, respectively. The differential pressure precooling combined with 1-MCP treatment group effectively maintained the hardness and Vc content of the fruit, improved the antioxidant enzyme activity of the fruit, delayed the process of fruit ripening and senescence, and maximized the storage quality of the fruit. In conclusion, 1-MCP and differential pressure precooling combined with 1-MCP treatment can better maintain the commodity rate and prolong the shelf life of small red apricots during storage, which is an effective method to improve the storage quality of small red apricots.

KEY WORDS: small red apricot; differential pressure precooling; 1-MCP; quality

我国是农业大国,果品资源极其丰富,杏(*Prunus Armeniaca* L.)属于新疆名优特水果之一,其丰富的营养价值和独特的感官品质深受消费者的喜爱^[1]。由于小红杏在夏季高温时节成熟,采收期较集中,其皮薄汁多,又属于典型的呼吸跃变型果实^[2],具有较强的呼吸强度、生理代谢和后熟软化较迅速,易失水、褐变^[3]。在采摘、贮运和销售的过程中易遭受机械损伤,很难实现高质量的保鲜,不仅影响了小红杏的外观品质和营养价值,也极大地降低了小红杏的市场价格和利润,制约了新疆小红杏产业的发展。因此,解决小红杏采后贮藏保鲜难题,对保持小红杏贮藏品质、延长货架期、提高其商品率具有重要意义。

影响杏采后贮藏保鲜的因素很多,包括品种、树龄、采摘成熟度、天气、温度和湿度等^[4]。近年来,国内外不少学者对不同品种的杏果采后保鲜做了大量的研究。目前,对鲜食杏保鲜的常用方法有阿拉伯木聚糖、 β -D-葡聚糖和纤维素涂层^[5]、臭氧处理^[6]、壳聚糖-没食子酸衍生物处理^[7]、1-MCP 处理^[8]、脉冲强光处理^[9]、乙烯脱除剂和 1-MCP 处理^[10]、外源葡萄糖处理^[11]、过氧化氢雾化熏蒸^[12]以及低温贮藏^[13]等方法。

近些年,消费者对鲜食果蔬的购买量已逐渐代表着一个国家经济发展的程度,因此,果蔬采后生理和贮藏保鲜技术不断成为科研人员研究的热点。预冷是果蔬在贮前的首要环节,能迅速去除果实的田间热、抑制其呼吸和生理代谢作用,提高果蔬耐贮性^[14]。1-甲基环丙烯(1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂,能有效地抑制果蔬对内源和外源乙烯的敏感性,具有延缓果蔬后熟、衰老、减少果蔬冷害以及提高抗病性的作用,还具有使用浓度较低、活性强、无残留等特点^[15]。候杰等^[16]研究发现,1-MCP 显著降低了樱桃果实的凹陷率和腐烂率。Yang 等^[17]研究发现,1-MCP 处理降低了杏在贮藏期间的质量损失率、腐烂率,保持了果实的可溶性固形物、抗坏血酸和可滴定酸的含量。李佳霖等^[18]研究发现,1-MCP 结合低压静电场复合处理延缓了红托竹荪在贮藏期间的硬度下降和质量损失率的增加,保持了细胞的完整性。但是,对差压预冷协同 1-MCP 纳米雾化熏蒸处理采后小红杏贮藏保鲜效果的研究较少。本文通过研究差压预冷协同 1-MCP 纳米雾化熏蒸处理,研究其对小红杏贮藏期间

品质和生理特性的影响,为延长小红杏的贮藏期,实现跨季节销售提供一定的技术支撑。

1 实验

1.1 材料

主要材料:小红杏,2023 年 7 月采摘于新疆生产建设兵团一师四团;挑选七成熟(可溶性固形物含量 $\geq 13\%$)、大小均匀,无病斑病害的小红杏作为实验材料。

1.2 设备与试剂

主要设备与试剂:隧道式原位差压预冷设备,新疆农垦科学院农产品加工研究所提供;GY-4 型数果蔬硬度计,青岛聚创环保集团有限公司;1-MCP,武汉克米克生物医药技术有限公司;PH870-雾化熏蒸器,广东容声电器股份有限公司;Nohawk 型糖度计、JA103P 型电子天平,石河子高新区瑞博尔试剂仪器经销部。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

将挑选好的小红杏随机分成 4 组,每组 200 kg。经过前期实验,不同质量分数(0.5、1.0、1.5 和 2 $\mu\text{L/L}$)的 1-MCP 均不同程度地保持了小红杏的贮藏品质,从保鲜效果和节约试剂成本考虑,选择质量分数为 1.5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 进行实验。

CK 组:无差压预冷和 1-MCP 处理。

差压预冷处理组(T_1):对小红杏果实进行差压预冷($\Delta p = 60 \text{ Pa}$ 、风速约为 2.2 m/s)处理时间为 3.5 h,使果心温度降至 1 $^{\circ}\text{C}$ 。

1-MCP 处理组(T_2):采用质量分数为 1.5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 在雾化熏蒸设备中对小红杏果实纳米雾化熏蒸处理 10 min。

差压预冷协同 1-MCP 处理组(T_3):对小红杏果实进行差压预冷和质量分数为 1.5 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 纳米雾化熏蒸处理。

以上各处理组果实装入纳米保鲜袋中,挽口于 2.5 kg 的带盖保鲜框中,贮藏前 3 d,冷库地面采用

84 消毒液清洗, 果蔬熏蒸剂对其密封熏蒸 4 h 后通风 2 h, 果实入库后, 保持冷库温度为 1 °C、相对湿度 90%。贮藏 42 d, 每 7 d 测定 1 次果实的各项生理指标, 每组处理重复 3 次, 每组处理杏果实 30 kg。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 果实商品率的测定

采用徐敏^[19]方法测定果实商品率, 单位为%。

1.3.2.2 果实硬度的测定

参照田全明等^[20]方法, 采用 GY-4 型果蔬硬度计测定果实硬度, 单位为 N。

1.3.2.3 果实可溶性固形物 (SSC) 的测定

参照王帅琰等^[21]方法测定 SSC, 单位为%。

1.3.2.4 果实 Vc 含量的测定

参照王留言等^[22]方法测定果实 Vc 含量, 单位为 mg/g。

1.3.2.5 果实呼吸强度的测定

参照刘瑞豪等^[23]方法测定果实呼吸强度, 单位为 mg/(kg·h)。

1.3.2.6 果实抗坏血酸过氧化物酶活力 (APX) 的测定

采用马若云^[24]方法测定果实 APX 值, 单位为 U/g。

1.3.2.7 果实 H₂O₂ 含量的测定

采用邵丽梅等^[25]方法测定果实 H₂O₂ 含量, 单位为 μmol/g。

1.3.2.8 果实超氧阴离子自由基 (O₂⁻) 产生速率的测定

采用陈甜甜^[26]等方法测定果实超氧阴离子自由基 (O₂⁻) 产生速率, 单位为 nmol/(min·g)。

1.4 数据统计分析

用 Excel 软件进行绘图, 用 SPSS 进行统计分析, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。

2 结果与分析

2.1 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间商品率的影响

商品率代表着小红杏果实的商品价值, 也是其贮藏保鲜效果的重要体现^[27]。如图 1 所示, 在贮藏前 42 d, 小红杏果实的商品率变化不明显, 从第 42 天开始逐渐下降, 在贮藏末期, 差压预冷处理组和 1-MCP 处理组果实商品率差距不大, 分别较 CK 组高了 23 个百分点和 25 个百分点 ($P < 0.05$)。预冷协同 1-MCP 处理组果实商品率较 CK 组高了 30 个百分点 ($P < 0.05$), 差异较显著。这一结果与杞廷美等^[28]研究 1-MCP 处理抑制芒果贮藏期间硬度及商品率的下降结果相似。说明, 差压预冷、1-MCP 处理组及差压预冷协同 1-MCP 处理较 CK 均不同程度地抑制了果实的腐烂、提高了果实的商品率, 以差压预冷协同 1-MCP 处理效果最优。

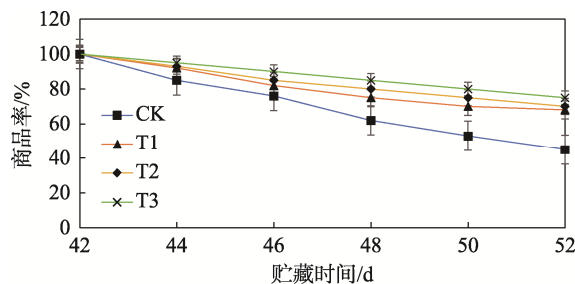


图1 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间商品率的影响

Fig.1 Effects of precooling and preservative treatment on commodity rate during fruit storage

2.2 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间硬度的影响

果实的硬度是衡量其成熟度和贮藏品质的重要标志, 果实离开母体后还会有一个后熟和衰老的过程, 硬度会不断降低^[29]。如图 2 所示, 小红杏果实的硬度总体呈下降的变化趋势, 且 CK 组果实硬度始终低于其他组处理组。在贮藏第 42 天时, 差压预冷处理组、1-MCP 处理组和差压预冷协同 1-MCP 处理组的果实硬度分别为 6、10 和 14 N, 较 CK 组分别高了 50%、100%和 250% ($P < 0.05$)。这一结果与代理响等^[30]研究 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 处理维持了青皮无花果贮藏期间的硬度, 推迟了其软化、降低了其腐烂率结果相似。说明, 不同处理组较 CK, 在一定程度上均延缓了果实硬度的下降速度, 其中预冷协同 1-MCP 处理效果优于单一处理组。

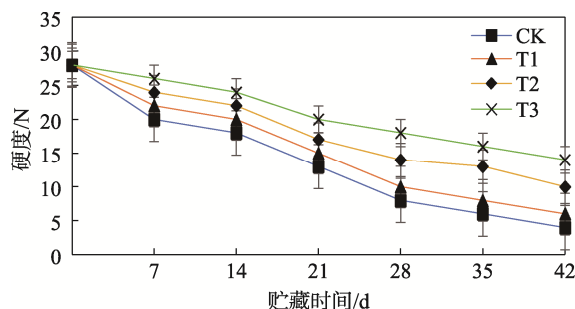


图2 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间硬度的影响

Fig.2 Effects of precooling and preservative treatment on fruit hardness during storage

2.3 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 SSC 含量的影响

小红杏果实中的 SSC 含量直接反映果实的成熟度和品质状况, 在果实的成熟过程中, SSC 含量会不断在体内累积, 伴随着果实的后熟软化和衰老, SSC 含量会不断下降^[31]。同时, SSC 含量也是判断果实适时采收和耐贮性的重要指标^[32]。如图 3 所示, 各处理

组果实的 SSC 含量在整个贮藏期间呈“弓字形”的变化趋势, 在第 21 天时, 各处理组果实的 SSC 含量均达到峰值, 产生这一现象的原因是由于伴随着果实的后熟, 果实中的有机物分解为糖、有机酸和其他小分子化合物所致。随着贮藏时间的延长, 由于果实的生理代谢和呼吸作用消耗了大量的 SSC, 导致果实体内的 SSC 不断下降。在贮藏末期, 差压预冷、1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理组的果实 SSC 含量分别较 CK 组的高了 20%、30% 和 40%。差压预冷协同 1-MCP 处理组 SSC 含量始终高于其他处理组, 较 CK 组存在显著差异 ($P < 0.05$)。这一结果与李自芹等^[33]研究预冷结合 1-MCP 处理保持了红提葡萄贮藏期间的 SSC 含量, 提高了其贮藏品质结果相似。说明, 差压预冷协同 1-MCP 处理抑制了小红杏果实体内 SSC 的分解, 保持了果实的口感和风味。

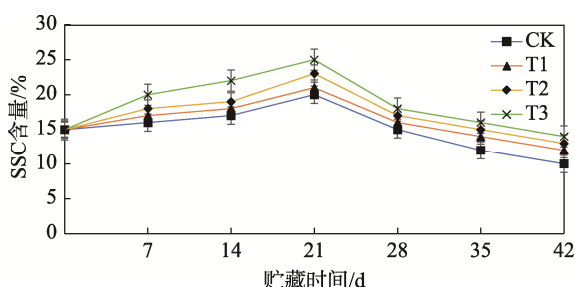


图 3 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 SSC 含量的影响

Fig.3 Effects of precooling and preservative treatment on SSC content during fruit storage

2.4 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 Vc 含量的影响

Vc 是一种抗氧化剂, 具有延缓果实褐变、衰老, 清除体内自由基的作用^[34]。如图 4 所示, 在贮藏前 21 d, 小红杏果实 Vc 不断在体内累积, 在第 21 天达到峰值, 其中, 差压预冷协同 1-MCP 处理组的 Vc 含量较 CK 组的高了 50%。产生这一现象的原因可能是杏果实在后熟的过程中体内不断分解产生 Vc, 导致 Vc 含量不断累积^[35]。在 21 d 后, CK、差压预冷和 1-MCP 处理组果实的 Vc 含量迅速下降, 差压预冷协同 1-MCP 处理组下降较缓慢。在贮藏末期, 差压预冷协同 1-MCP 处理组果实的 Vc 含量较 CK 组高了 0.06 mg/g, 显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。这与李金金等^[36]研究 1-MCP 处理保持了阳光玫瑰葡萄贮藏期间的 Vc 含量, 延缓了其衰老进程结果相似。说明, 差压预冷协同 1-MCP 处理能更好地延缓小红杏贮藏期间 Vc 含量的减少, 保持果实的营养成分。

2.5 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间呼吸强度的影响

由于杏是典型的呼吸跃变型水果, 呼吸强度的强

弱代表果实营养物质的分解消耗程度^[37]。如图 5 所示, 小红杏果实的呼吸强度呈现先升高后降低的变化趋势。CK 组和差压预冷处理组果实在第 21 天出现了呼吸高峰, 1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理组果实在第 28 天出现了呼吸高峰, 较 CK 和差压预冷处理组推迟了 7 d, 且各处理组果实呼吸高峰值均低于 CK 组, 之后缓慢下降, 各处理组果实均表现出典型的呼吸跃变型特质。产生这一结果的原因与 1-MCP 可抑制果实细胞释放乙烯, 切断其生理途径, 进而推迟了呼吸高峰出现的时间有关。在贮藏末期, 差压预冷协同 1-MCP 处理组果实呼吸强度较 CK 组高了 23.1% ($P < 0.05$)。产生这一现象的原因是在贮藏末期, CK 组基本失去了正常的生理代谢和呼吸作用, 差压预冷协同 1-MCP 处理有效保持了果实生命活动, 维持了果实的正常呼吸和生理代谢活动。这一结果与贾朝爽等^[38]研究 1-甲基环丙烯处理有效抑制了贮藏前期苹果的呼吸强度, 保持了果实的硬度结果相似。说明, 差压预冷协同 1-MCP 处理能抑制小红杏果实贮藏前期和保持其贮藏后期的呼吸强度, 对维持果实的贮藏品质具有积极作用。

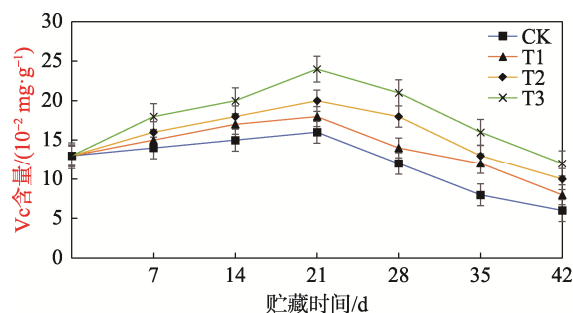


图 4 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 Vc 含量的影响

Fig.4 Effects of precooling and preservative treatment on Vc content during fruit storage

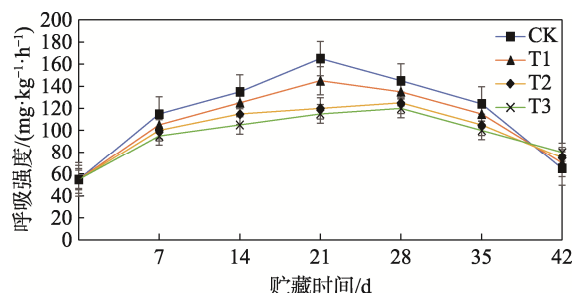


图 5 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间呼吸强度的影响

Fig.5 Effects of precooling and preservative treatment on respiration intensity of fruits during storage

2.6 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 APX 活力的影响

抗坏血酸过氧化物酶可清除果蔬体内累积的

H_2O_2 , 保护体内组织免受 H_2O_2 及羟基自由基的破坏, 提高果蔬对氧化胁迫的耐受性^[39]。如图 6 所示, 在贮藏前期, 各处理组果实 APX 活力呈上升趋势, 从 21 d 开始呈现下降的趋势。说明, 果蔬体内抗氧化胁迫的能力在贮藏中后期呈现不断减弱的变化趋势。在贮藏末期, 差压预冷协同 1-MCP 处理组 APX 活力为 5.3 U/g, 较 CK 组高了 71%, 差异显著 ($P<0.05$), 差压预冷和 1-MCP 处理组 APX 活力差异不大。这一结果与李欣等^[40]研究不同浓度臭氧处理提高了猕猴桃贮藏期间的 APX 活性, 延缓了果实的衰老进程结果相似。说明, 差压预冷协同 1-MCP 处理提高了果实体内 APX 的活性和机体清除自由基的能力, 保持了果实的贮藏品质。

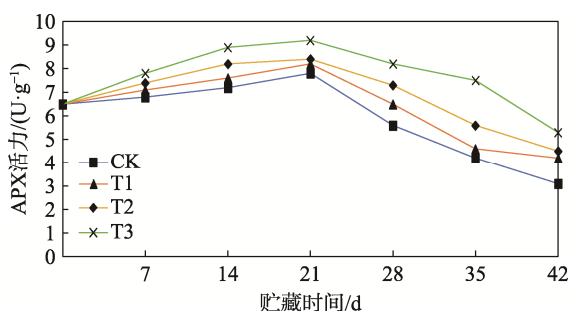


图 6 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 APX 活力的影响

Fig.6 Effects of precooling and preservative treatment on APX activity during fruit storage

2.7 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 H_2O_2 含量的影响

果蔬体内累积的 H_2O_2 会对其细胞膜造成膜脂过氧化损害, 从而加速果蔬细胞的衰老和解体^[41]。如图 7 所示, 在整个贮藏期间, 各处理组果实的 H_2O_2 含量在体内不断地累积, 在贮藏前 28 d, CK 组果实体内 H_2O_2 含量呈现急剧上升的趋势, 并且始终高于其他处理组。在贮藏第 42 天, 差压预冷协同 1-MCP 处理组 H_2O_2 含量较 CK、差压预冷和 1-MCP 处理组分别降低了 36%、14.7%和 5.3%, 显著低于 CK 组 ($P<0.05$), 且差压预冷协同 1-MCP 处理组 H_2O_2 含量始终处于最低值。这一结果与杜佳铭等^[42]研究 1-MCP 复合 PE 保鲜膜处理降低了无花果贮藏期间的腐烂率, 抑制了 H_2O_2 在果实体内的累积结果相似。说明, 差压预冷协同 1-MCP 处理可抑制 H_2O_2 在果实体内的积累, 延缓细胞的衰老, 保持果实的贮藏品质。

2.8 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响

一般情况下, 果蔬体内内源活性氧的产生和对体内超氧阴离子的清除速率处于一个动态平衡的状态, 一旦果蔬体内内源活性氧的产生和对超氧阴离子的

清除失去平衡, 机体就会遭受不可逆的破坏^[43]。如图 8 所示, 在整个贮藏期间, 各处理组果实体内的 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率呈倒“V”字形的变化趋势, 且 CK 组 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率始终高于其他处理组。在贮藏第 28 天各处理组果实 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率均达到峰值。在贮藏末期, CK 组 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率达到 210 nmol/(min·g), 较差压预冷、1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理组分别高了 16.7%、21.4%和 28.6% ($P<0.05$)。这与张鹏等^[44]研究 1-MCP 结合乙烯吸收剂 (EA) 处理有效抑制了蓝莓果实贮藏期间超氧阴离子的活性, 保持了果实的贮藏品质结果相似。说明, 差压预冷、1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理均不同程度地抑制了小红杏贮藏期间 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率, 使机体免受不可逆的伤害, 以差压预冷协同 1-MCP 处理效果最优。

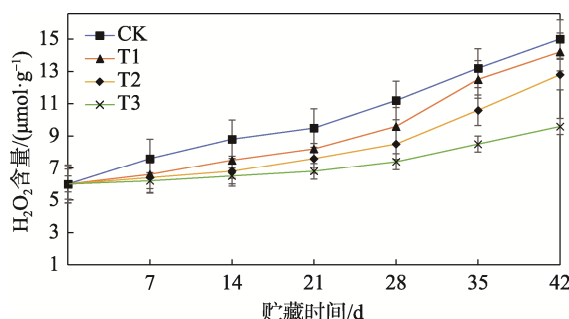


图 7 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 H_2O_2 含量的影响

Fig.7 Effects of precooling and preservative treatment on H_2O_2 content during fruit storage

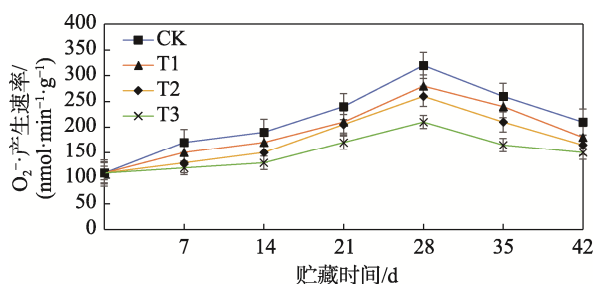


图 8 预冷及保鲜剂处理对果实贮藏期间 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率的影响

Fig.8 Effects of precooling and preservative treatment on $O_2^{\cdot-}$ production rate during fruit storage

3 讨论

伴随着我国林果业的快速发展, 新疆鲜食杏冷链物流产业呈现出一系列的产业难题。采后高品质的贮藏保鲜问题凸显, 不仅难以满足跨地区销售, 也影响了新疆林果业的快速发展。果蔬采后及贮藏期间品质劣变规律及相应的调控方式一直是科研人员研究的热点。小红杏果实是一个活的有机体, 果实采后贮藏期间的呼吸和生理代谢作用会消耗体内的营养物质。

也会伴随着水分的消耗,影响果实的后熟和衰老,从而降低果实的贮藏期。果实的后熟与衰老与其细胞膜的完整性密切相关,当果实受到机械损伤、病原菌感染,就会导致机体的细胞膜脂代谢加快、硬度降低等一系列生理代谢反应。

目前,鲜果的冷藏运输多采用简单、保温的包装材料常温进行运输,采后迅速的差压预冷及保鲜剂处理对目前快速崛起的电商物流业具有重要的意义。有研究表明预冷对西兰花^[45]、蟠桃^[46]和樱桃^[47]均能较好地保持果实的货架期及商品率。本研究表明,差压预冷及 1-MCP 单独及协同处理均有效提高了小红杏贮藏期间的商品率。小红杏由于成熟期集中在高温季节,田间热、呼吸和生理代谢旺盛。研究表明,差压预冷能快速降低果实采后的田间热、呼吸强度及生理代谢速率,预冷协同 1-MCP 处理推迟了果实贮藏期间呼吸高峰出现的时间,抑制了 H_2O_2 在果实体内的积累,提高了果实体内 APX 的活性和机体清除自由基的能力,保持果实的贮藏品质。

通过 1-MCP 熏蒸可抑制果蔬的后熟与软化,提高其商品率、延长果蔬的货架期,不会造成环境污染,还具有绿色、高效、使用方便快捷等特点。

4 结语

本研究以小红杏为实验材料,通过差压预冷、1-MCP 和差压预冷协同 1-MCP 处理,定期研究小红杏在冷库贮藏期间的相关指标。得出,3 种处理方式的小红杏贮藏品质均优于 CK 组,相较于单一处理组,差压预冷协同 1-MCP 处理能更好地保持小红杏的营养品质和商品率。差压预冷协同 1-MCP 处理使小红杏的呼吸高峰推迟了 7 d,在贮藏末期,较 CK、 T_1 和 T_2 处理组, $O_2 \cdot$ 含量分别降低了 28.6%、16.7% 和 9.1%, APX 酶活力分别提高了 71%、26.2% 和 14.3%, 体内 H_2O_2 含量仅为 CK 组的 64%。差压预冷协同 1-MCP 处理有效地抑制了小红杏在贮藏期间营养品质及商品率的下降,延长了其货架期。该研究为新疆小红杏采后的贮藏保鲜、品质提升和延长货架期提供了一定的技术支撑。

参考文献:

- [1] 张亚琳,王慧慧,芦玉佳,等. 外源褪黑素对杏果实采后黑斑病的调控作用[J]. 中国食品学报, 2024, 24(3): 201-209.
ZHANG Y L, WANG H H, LU Y J, et al. Regulation of Postharvest Black Spot Disease in Apricot Fruit by Exogenous Melatonin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(3): 201-209.
- [2] 张洁仙. 一氧化氮调控活性氧代谢对吊干杏采后叶绿

- 素降解的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2023.
ZHANG J X. Effect of Nitric Oxide Regulation of Reactive Oxygen Species Metabolism on Chlorophyll Degradation of Diaogan Apricot after Harvest[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023.
- [3] 张佳佳,周鹤,易薇,等. 1-甲基环丙烯结合高氧处理对杏果贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(2): 68-73.
ZHANG J J, ZHOU H, YI W, et al. Effects of 1-MCP Combined with High Oxygen Treatment on Storage Quality of Apricot[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(2): 68-73.
- [4] CHEN D X, WANG Q, YANG Y J, et al. Preservative Effects of Osmanthus Fragrans Flower Flavonoids on Fresh-Cut Yuluxiang Pear[J]. Heliyon, 2024, 10(9): 29748.
- [5] 吴若臣,应瑞峰,邓智文,等. 阿拉伯木聚糖、 β -D-葡聚糖和纤维素涂层对杏果活性氧代谢的影响[J]. 食品科学: 1-11[2024-04-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240130.0910.002.html>.
WU R C, YING R F, DENG Z W, et al. Arabinoxylan β -The Effects of D-Glucan and Cellulose Coatings on the Metabolism of Reactive Oxygen Species in Apricot Fruits[J]. Food Science: 1-11[2024-04-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240130.0910.002.html>.
- [6] 芦玉佳,李玲,张亚琳,等. 臭氧处理对采后杏果实活性氧代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(7): 345-352.
LU Y J, LI L, ZHANG Y L, et al. Effects of Ozone Treatment on Active Oxygen Metabolism of Postharvest Apricot Fruits[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(7): 345-352.
- [7] 闫莹莹. 壳聚糖-没食子酸衍生物的制备、功能性质及对赛买提杏保鲜效果的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2024.
YAN Y Y. Preparation, Functional Properties, and Preservation Effect of Chitosan Gallic Acid Derivatives on Saimaiti Apricot[D]. Shihezi: Shihezi University, 2024.
- [8] 李自芹,王倩,贾文婷,等. 精准相温控制结合 1-MCP 处理对小白杏贮藏期间品质的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(5): 42-48.
LI Z Q, WANG Q, JIA W T, et al. Effect of Precise Phase Temperature Control Combined with 1-MCP Treatment on Small White Apricot Quality during Storage[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(5): 42-48.
- [9] 华晓雯. 脉冲强光对杏果实运输及贮藏过程中黑斑病的抑制作用及其机理[D]. 南京: 南京林业大学, 2024.

- HUA X W. The Inhibitory Effect and Mechanism of Pulsed Strong Light on Black Spot Disease during Transportation and Storage of Apricot Fruits[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2024.
- [10] 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 Z Q, ZHAO Z Y, PAN Y F, 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.
- [11] 张昱, 芦玉佳, 任新雅, 等. 外源葡萄糖处理对杏果实抗氧化代谢及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(19): 157-163.
- ZHANG Y, LU Y J, REN X Y, et al. Effect of Exogenous Glucose Treatment on Antioxidant Metabolism and Storage Quality of Apricot Fruit[J]. Food Science, 2023, 44(19): 157-163.
- [12] 李自芹, 李文绮, 贾晓昱, 等. H₂O₂ 雾化熏蒸处理对小白杏贮藏品质及生理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 361-368.
- LI Z Q, LI W Q, JIA X Y, et al. Effects of H₂O₂ Atomizing Fumigation on Storage Quality and Physiological Characteristics of Small White Apricot[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 361-368.
- [13] TOSSI V, REGALADO J, MARTÍNEZ J, et al. UV-B Alleviates Postharvest Chilling Injury of Zucchini Fruit Associated with a Reduction in Oxidative Stress[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 212: 112850.
- [14] PACE B, CEFOLA M. Innovative Preservation Technology for the Fresh Fruit and Vegetables[J]. Foods, 2021, 10(4): 719.
- [15] SONG L L, LI T, LUO H B, et al. Involvement of BcERF109 in 1-MCP-delayed Yellowing of Pak Choi (Brassica Rapa Subsp. Chinensis) via Mitigation of Major Chlorophyll-Degrading Gene Expression during Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 214: 112988.
- [16] 候杰, 杨青珍, 王锋, 等. 1-MCP 处理对甜樱桃果实凹陷、贮藏品质及活性氧代谢的影响[J]. 食品与发酵工业: 1-10[2024-05-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038077>.
- HOU J, YANG Q Z, WANG F, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Depression, Storage Quality, and Reactive Oxygen Species Metabolism of Sweet Cherry Fruits[J]. Food and Fermentation Industry: 1-10[2024-05-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038077>.
- [17] YANG S N, ZHANG J F, HU X P, et al. Utilization of Γ -Polyglutamic Acid/Pectin Hydrogel with 1-MCP on the Apricot Storage[J]. Journal of Stored Products Research, 2024, 106: 102306.
- [18] 李佳霖, 陈家齐, 赵吉春, 等. 1-MCP 结合低压静电场复合处理对红托竹荪保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业: 1-13[2024-05-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038699>.
- LI J L, CHEN J Q, ZHAO J C, et al. The Effect of 1-MCP Combined with Low-Voltage Electrostatic Field Composite Treatment on the Preservation of Red Bamboo Fungus[J]. Food and Fermentation Industry: 1-13[2024-05-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038699>.
- [19] 徐敏. 乙烯调控杏果实成熟的生理机制和转录组分析研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- XU M. Physiological Mechanism and Transcriptome Analysis of Ethylene Regulation in Apricot Fruit Ripening[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [20] 田全明, 曹振, 殷贝贝, 等. 新疆鲜杏雾化熏蒸保鲜设备的改进和应用[J/OL]. 现代食品科技: 1-12[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0851>.
- TIAN Q N, CAO Z, YIN B B, et al. Improvement and Application of Xinjiang Fresh Apricot Atomization Fumigation Preservation Equipment[J]. Modern Food Technology: 1-12 [2024-05-06]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0851>.
- [21] 王帅珽, 仇银生, 毛娟, 等. 水分胁迫对‘贵人香’葡萄成熟期果实品质的影响[J/OL]. 甘肃农业大学学报: 1-13[2024-07-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20240428.1057.039.html>.
- WANG S Q, QIU Y S, MAO J. The Effect of Water Stress on the Fruit Quality of 'Guirenxiang' Grape During Its Ripening Period[J/OL]. Journal of Gansu Agricultural University: 1-13. [2024-07-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20240428.1057.039.html>.
- [22] 王留言, 任婧楠, 秦雨晴, 等. 不同速冻温度对秭归脐橙果实组织质量特性和微观结构的影响[J]. 食品工业科技: 1-13[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120365>.
- WANG L Y, REN J G, QIN Y Q, et al. The Effect of Different Rapid Freezing Temperatures on the Tissue Quality Characteristics and Microstructure of Zigui Navel Orange Fruit[J]. Food Industry Technology: 1-13[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023120365>.

- 0306.2023120365.
- [23] 刘瑞豪,姚鳗鲡,高贵田,等. “红阳”猕猴桃采后乙烯生成系统I、II转变中的关键基因[J]. 中国食品学报, 2024, 24(3): 191-200.
- LIU R H, YAO M L, GAO G T, et al. The Key Genes in the Transformation of Ethylene Production System I and II of 'Hongyang' Kiwifruit[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(3): 191-200.
- [24] 马若云. LAE处理对鲜切甘薯保鲜效果的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
- MA R Y. The effect of LAE treatment on the Preservation of Fresh Cut Sweet Potatoes[D]. Nanjing City: Nanjing Agricultural University, 2022.
- [25] 邵丽梅. 基于苯丙烷和活性氧代谢的蟠桃 ϵ -聚赖氨酸雾化保鲜调控机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- SHAO L M. Flat Peach Based on Phenylpropane and Reactive Oxygen Metabolism ϵ - Research on the Regulation Mechanism of Polylysine Nebulization Freshness Preservation[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.
- [26] 陈甜甜, 税贤, 钱敏杰, 等. 增强 UV-B 辐射对“台农一号”芒果果实品质及其抗氧化酶防御系统的影响[J/OL]. 中国南方果树: 1-13[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.20230425>.
- CHEN T T, SHUI X, QIAN M J, et al. Effects of Enhanced UV-B Radiation on the Quality and Antioxidant Enzyme Defense System of “Tainong-1” Mango Fruit[J]. Fruit Trees in Southern China: 1-13[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13938/j.issn.1007-1431.20230425>.
- [27] BATZIAKAS K G, RIVARD C L, STANLEY H, et al. Reducing Preharvest Food Losses in Spinach with the Implementation of High Tunnels[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 109268.
- [28] 杞廷美, 李艳娇, 赵兴东, 等. 1-甲基环丙烯结合气调处理对‘帕拉英达’和‘吉禄’芒果保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(3): 1-13.
- QI T M, LI Y J, ZHAO X D, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Combined with Modified Atmosphere Treatment on Preservation Of 'Palayingda' and 'Jilu' Mangoes[J]. Storage and Process, 2024, 24(3): 1-13.
- [29] YU Y W, LI H C, ZHANG S Y, et al. Preparation of Fresh-Keeping Paper Using Clove Essential Oil through Pickering Emulsion and Maintaining the Quality of Postharvest Cherry Tomatoes[J]. Foods, 2024, 13(9): 2465.
- [30] 代理响, 何宛宸, 何洪鑫, 等. 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激对青皮无花果采后软化的影响[J]. 天津科技大学学报: 1-7[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13364/j.issn.1672-6510.20230164>.
- DAI L X, HE W C, HE H X, et al. The Effect of 1-MCP Combined with High Concentration CO₂ Short-Term Stimulation on Post Harvest Softening of Blueskin Figs[J]. Journal of Tianjin University of Science and Technology: 1-7[2024-05-06]. <https://doi.org/10.13364/j.issn.1672-6510.20230164>.
- [31] MA T, XIA Y, INAGAKI T, et al. Non-Destructive and Fast Method of Mapping the Distribution of the Soluble Solids Content and pH in Kiwifruit Using Object Rotation Near-Infrared Hyperspectral Imaging Approach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 174: 111440.
- [32] GRASSO C, FORNITI R, BOTONDI R. Post-Harvest Quality Evaluation of “Soreli” Kiwifruit at Two Ripening Brix Values from Vineyards of Different Age under Hail Nets[J]. Foods, 2022, 11(3): 431.
- [33] 李自芹, 李文绮, 王纪文, 等. 不同预冷方式结合 1-甲基环丙烯对红提葡萄的保鲜效果[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(1): 92-100.
- LI Z Q, LI W Q, WANG J W, et al. Effects of Different Pre-Cooling Methods Combined with 1-MCP on the Preservation of Local Red Globe Grape[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2024, 61(1): 92-100.
- [34] YU J H, XU S L, CHEN R H, et al. A Promising Bioactive Chitosan Film in Strawberry Fresh-Keeping: Plasticized with Tomato Processing By-Product Extract of Deep Eutectic Solvent[J]. Food Hydrocolloids, 2024, 151: 109859.
- [35] 贾文君, 刘传和, 王宇, 等. UV-C 处理对‘黄金’百香果贮藏品质和采后生理的影响[J/OL]. 现代食品科技: 1-10[2024-07-03]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1447>.
- JIA W J, LIU C H, WANG Y, et al. The Effect of UV-C Treatment on the Storage Quality and Postharvest Physiology of “Golden” Passion Fruit[J/OL]. Modern Food Technology: 1-10 [2024-07-03]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1447>.
- [36] 李金金, 李春媛, 谷佰宇, 等. 抗菌干预结合微环境气调维持葡萄采后贮藏品质[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 121-132.
- LI J J, LI C Y, GU B Y, et al. Combination of Antibacterial Intervention and a Micro-Environmental Modified Atmosphere for the Maintenance of Grape Storage Quality after Harvest[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 121-132.
- [37] AKSHAY D S, NAMRATA P, PRAMOD M, et al.

- Ethylene Modelling in Package Headspace of Fresh Produce: A Review[J]. *Packaging Technology and Science*, 2023, 36(9): 731-743.
- [38] 贾朝爽, 王志华, 孙世民, 等. 自发气调包装和 1-甲基环丙烯缓释剂对苹果贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2023, 37(10): 2009-2018.
- JIA C S, WANG Z H, SUN S M, et al. Effects of Spontaneous Modified Atmosphere Packaging and 1-Methylcyclopropene Relievers on Apple Storage Quality[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2023, 37(10): 2009-2018.
- [39] YUAN N, WANG Y, HU W Z, et al. Effect of Nisin on the Quality and Antioxidant Activity of Fresh-Cut Pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch.)[J]. *Horticulturae*, 2023, 9(5): 2357.
- [40] 李欣, 梁子兆, 范思仪, 等. 不同浓度间歇性臭氧处理对猕猴桃贮藏保鲜效果及抗氧化系统的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-11[2024-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240607.1305.018.html>.
- LI X, LIANG Z Z, FAN S Y, et al. Effects of Intermittent Ozone Treatment at Different Concentrations on the Storage and Antioxidant System Of Kiwifruit[J/OL]. *Food Science*: 1-11 [2024-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240607.1305.018.html>.
- [41] LYU H R, GUO S, WU Z Z, et al. Postharvest Quality and Metabolism Changes of Daylily Flower Buds Treated with Hydrogen Sulfide during Storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2024, 212: 112890.
- [42] 杜佳铭. 无花果品质分析及 1-MCP 复合 PE 保鲜膜对无花果保鲜效应的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2024.
- DU J M. Quality Analysis of Figs and Study on the Preservation Effect of 1-MCP Composite PE Film on Figs[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2024.
- [43] PUNIA BANGAR S, TRIF M, OZOGUL F, et al. Recent Developments in Cold Plasma-Based Enzyme Activity (Browning, Cell Wall Degradation, and Antioxidant) in Fruits and Vegetables[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(2): 1958-1978.
- [44] 张鹏, 赵倩, 贾晓昱, 等. 1-MCP 结合 EA 对蓝靛果贮藏品质及活性氧代谢的影响[J]. *包装工程*, 2023, 44(13): 63-73.
- ZHANG P, ZHAO Q, JIA X Y, et al. Effects of 1-MCP Combined with EA on Storage Quality and Reactive Oxygen Species Metabolism of Blue Honeysuckle[J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44(13): 63-73.
- [45] 李淦, 王清, 潘嘹, 等. 多层箱西兰花流态冰预冷包装充冰工艺的数值模拟与优化[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-13[2024-08-19]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038555>.
- LI G, WANG Q, PAN L, et al. Numerical Simulation and Optimization of Ice Filling Process for Multi-Layer Box Broccoli Flow State Ice Pre Cooling Packaging[J/OL]. *Food and Fermentation Industry*: 1-13[2022-08-19] <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038555>.
- [46] 李自芹, 唐湘桂, 郭慧静, 等. 不同预冷方式结合 1-MCP 处理对蟠桃冷藏品质的影响[J]. *包装与食品机械*, 2023, 41(2): 14-19.
- LI Z Q, TANG X G, GUO H J, et al. Effects of Different Precooling Methods Combined with 1-MCP Treatment on Cold Storage Quality of Flat Peach[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2023, 41(2): 14-19.
- [47] 王强强, 颀敏华, 吴小华, 等. 1-MCP 与 ClO_2 复合处理对套袋胜利樱桃冷藏品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2023, 58(1): 77-84.
- WANG Q Q, XIE M H, WU X H, et al. Effect of the Combined Treatment with 1-MCP and ClO_2 on the Quality of the Refrigerated Victory Cherries Cultivated by Bagging[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2023, 58(1): 77-84.