

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038077

引用格式:侯杰,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,2024,50(21):280-286.HOU Jie, YANG Qingzhen, WANG Feng, et al. Effect of 1-MCP treatment on fruit pitting, storage quality and reactive oxygen species metabolism of sweet cherry fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(21): 280-286.

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

侯杰^{1,2,3}, 杨青珍^{2,3*}, 王锋^{2,3}, 齐英靓^{1,2,3}, 刘鹏⁴, 畅元生⁴

1(山西农业大学 食品科学与工程学院,山西 太谷,030801)2(运城学院 生命科学系,山西 运城,044000)
3(运城学院 特色果品品质调控与应用实验室,山西 运城,044000)4(临猗县果业发展中心,山西 临猗,044100)

摘要 为探究1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)处理对采后甜樱桃果实凹陷、贮藏品质和活性氧代谢的影响,该研究以“萨米脱”甜樱桃为材料,用1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP熏蒸处理甜樱桃果实12 h,于 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下贮藏,定期取样进行相关指标的测定。结果表明,1-MCP处理有效降低甜樱桃果实凹陷率、凹陷指数和腐烂率,并显著抑制果实硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量的下降,较好的维持了果实外观和口感。同时1-MCP处理保持较高的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶和谷胱甘肽还原酶活性,促进了抗坏血酸含量和谷胱甘肽含量的上升,提高了果实的DPPH自由基和ABTS阳离子自由基清除能力,显著降低超氧阴离子自由基和 H_2O_2 含量,抑制丙二醛积累和相对电导率上升。这些结果表明,1-MCP处理可能通过提高抗氧化酶活性,抑制活性氧累积,从而减轻细胞膜氧化损伤,保护细胞膜的完整性,进而抑制甜樱桃果实表面凹陷。该研究为1-MCP在甜樱桃冷链物流保鲜中的应用提供了理论依据。

关键词 甜樱桃;凹陷;1-MCP;品质;活性氧代谢

甜樱桃(*Prunus avium* L.)是蔷薇科樱属植物,其果实色泽艳丽,酸甜可口,富含多种营养物质,深受消费者的喜爱^[1]。但甜樱桃果实皮薄多汁,采后容易软化、凹陷、腐烂变质。低温冷藏可以有效控制果实品质并延长其货架期,然而低温贮藏时间过长,果实极易发生生理紊乱,导致果实品质下降^[2]。果实表面凹陷作为甜樱桃果实采后最重要的生理疾病,已成为制约甜樱桃产业健康发展的瓶颈问题。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种化学保鲜剂,它通过阻碍乙烯与其受体结合从而抑制乙烯的信号转导,起到延长果实货架期的作用^[3]。与传统的保鲜剂相比,1-MCP安全无毒且稳定性好,使用浓度比较低^[4],已广泛用于李子^[5]、香蕉^[6]、苹果^[7]和梨^[8]等果实的采后保鲜。已有研究报道了1-MCP处理对甜樱桃果实褐变^[9]和贮藏品质^[10]的影响。ZHAO等^[11]研究发现1-MCP结合 ClO_2 处理改善了甜樱桃果实的贮藏品质,抑制了果梗褐变。SERRADILLA等^[12]研究表明1-MCP处理

保持了甜樱桃果实硬度的同时还降低了果实采后的发病率,从而延缓果实衰老。

目前关于1-MCP处理甜樱桃果实的研究多集中在采后贮藏品质方面,其对甜樱桃果实凹陷和活性氧代谢的报道较少。因此,本研究以“萨米脱”甜樱桃为材料,旨在探讨1-MCP对冷藏甜樱桃果实凹陷、贮藏品质和活性氧代谢的影响,为1-MCP在甜樱桃采后保鲜中的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

“萨米脱”甜樱桃采摘于运城市夏县甜樱桃示范基地,采收结束后1 h内,迅速将果实运回实验室。

1-MCP、 Na_2HPO_4 、 NaH_2PO_4 、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、亚硝酸钾、对氨基苯磺酸、盐酸羟胺、乙二胺四乙酸二钠、 $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ 、 H_2O_2 、钼酸铵、蛋氨酸、核黄素、聚乙烯吡咯烷酮、氧化型谷胱甘肽、还原型谷胱甘肽、二硫代硝基苯甲酸,上海源叶科技有限公司。

第一作者:硕士研究生(杨青珍教授为通信作者,E-mail:yqz757575@163.com)

基金项目:山西省科技厅自由探索面上项目(202303021211112);山西省高等学校科技创新计划创新平台项目(2022P012);山西省现代农业产业技术体系建设项目(SXFRY-2023);山西省研究生教育教学改革课题(2022YJJG271);甜樱桃保鲜技术研究(202312E0006);食品科学与工程重点学科项目(XK-2021012,XK-2021015)

收稿日期:2023-11-26,改回日期:2024-01-12

1.2 仪器与设备

CR-400 色差仪,日本柯尼卡美能达公司;GMK-835F 苹果酸度测定仪,上海智元科技有限公司;DDS-307A 电导率仪,上海雷磁仪器有限公司;TMS-Pro 质构仪,美国 FTC 公司;UV-8000 型紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;Sigma3k15 高速冷冻离心机,德国 Sigma 公司;SQP 型电子天平,北京赛多利斯科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

挑选无机械损伤、无病虫害、大小颜色均一、带果梗的正常果为实验材料,随机分成 2 组,每组 3 个重复,每一重复 10 kg。一组用体积分数为 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP(在前期预实验的基础上筛选)在室温下密闭熏蒸 12 h,另一组不做处理作为对照。处理后的果实贮藏于 $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 90%~95% 的机械冷库,定期取样。每一重复取 15 个果实,每组取 3 个重复。果实去核并切成小块,立即液氮速冻样品保存于 -80°C 的超低温冰箱中,用于超氧阴离子含量、 H_2O_2 含量、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量、抗氧化酶活性、DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除能力等指标测定。

1.3.2 甜樱桃果实凹陷率、凹陷指数和腐烂率的测定

凹陷率统计:选取 30 个甜樱桃果实,于室温 $(24 \sim 25^\circ\text{C})$ 放置 3 d 后检查发现凹陷果数,根据公式(1)计算果实凹陷率,每一组重复 3 次。

凹陷指数参考 SUO 等^[13]的方法,根据果实表面凹陷程度对每个果实进行目视分级。 n_1 = 轻度凹陷(凹陷面积 $\leq 10\%$), n_2 = 中度凹陷($11\% \leq$ 凹陷面积 $\leq 25\%$), n_3 = 严重凹陷($26\% \leq$ 凹陷面积 $\leq 50\%$), n_4 = 极严重凹陷(凹陷面积 $> 51\%$),根据公式(2)计算果实凹陷指数,每组重复 3 次。根据公式(2)计算果实凹陷指数,每组重复 3 次。

腐烂率统计:选取 100 个甜樱桃果实,检查发现腐烂果数,根据公式(3)计算果实腐烂率,每组重复 3 次。

$$\text{凹陷率}/\% = \frac{\text{凹陷果数}}{\text{总果数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{凹陷指数}/\% = \frac{n_1 \times 1 + n_2 \times 2 + n_3 \times 3 + n_4 \times 4}{4 \times \text{总果数}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{腐烂果数}}{\text{总果数}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.3 甜樱桃品质指标测定

甜樱桃果实硬度采用质构仪测定;甜樱桃果实的

色泽用 CR-400 色差仪测定,使用的 CIELAB 颜色参数为 L^* (亮度), c^* (颜色饱和度), h° (色调角);可溶性固形物含量采用数显糖度计测定,单位为%;可滴定酸含量采用苹果酸度计测定,单位为%。每个处理均随机测定 10 个果实,每组 3 次重复。

1.3.4 超氧阴离子($\cdot\text{O}_2^-$)和 H_2O_2 含量测定

采用 YANG 等^[14]方法略有修改。

1.3.5 MDA 含量和相对电导率的测定

参考 WANG 等^[15]的方法略有修改,MDA 含量以 $\mu\text{mol/g}$ 表示,相对电导率以%表示。

1.3.6 抗氧化酶活性测定

准确称取 1.0 g 甜樱桃组织样品,加入 5 mL 0.1 mol/L 磷酸钠缓冲液(pH 7.5)中研磨匀浆后在 4°C 下以 12 000 r/min 离心 20 min,所得上清液直接用于酶活性测定。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)和谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)活性均参照 WANG 等^[16]的方法测定。

1.3.7 抗坏血酸和谷胱甘肽含量的测定

参考曹建康等^[17]的方法测定。

1.3.8 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除率测定

参考 WU 等^[18]的方法测定。

1.3.9 数据处理与统计分析

本实验采用完全随机设计,重复 3 次。采用 SPSS 27.0 进行统计分析,通过单因素方差分析或进行 Duncan's 多重比较,结果表示为平均值 $\pm$ 标准差,显著性差异水平为 $P < 0.05$ 。采用 Excel 2019 和 OriginPro 2021 等软件制作图表。

2 结果与分析

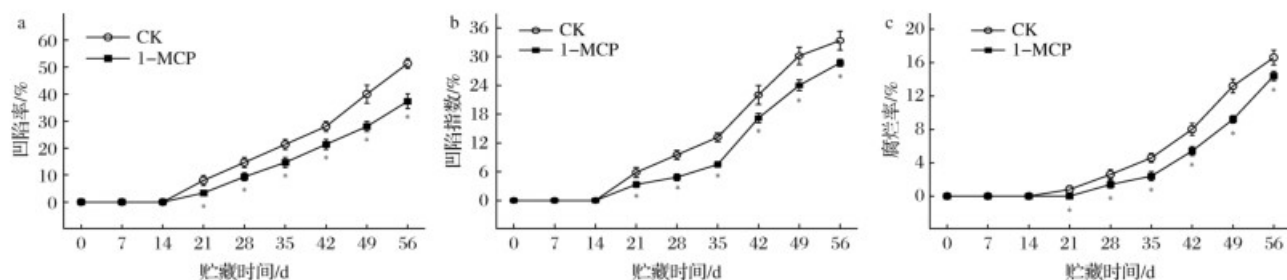
2.1 1-MCP 处理对甜樱桃果实凹陷率、凹陷指数和腐烂率的影响

在贮藏过程中,甜樱桃果实的凹陷率整体呈上升趋势,1-MCP 处理显著抑制了其上升速率(图 1-a)。冷藏 21 d 后,果实的凹陷率迅速增加,贮藏结束时对照组果实凹陷率达到 51.33%,比 1-MCP 处理组果实凹陷率高 27.27% ($P < 0.05$)。

在贮藏期间,凹陷指数呈上升趋势(图 1-b)。与对照相比,1-MCP 处理显著抑制其上升($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP 处理的凹陷指数比对照低 14.0%。

由图 1-c 可知,对照组甜樱桃果实在贮藏第 14 天出现腐烂,而 1-MCP 处理组果实在第 21 天出现腐

烂。贮藏结束时 1-MCP 处理组甜樱桃果实腐烂率比对照组果实低 13.25% ($P < 0.05$)。



a - 果实凹陷率; b - 果实凹陷指数; c - 果实腐烂率

图 1 1-MCP 对甜樱桃果实凹陷率、凹陷指数和腐烂率的影响

Fig. 1 Effect of 1-MCP treatment on pitting incidence, pitting index and decay incidence of sweet cherry fruit

注: * 代表差异显著(下同)。

2.2 1-MCP 处理对甜樱桃果实品质的影响

甜樱桃低温贮藏过程中,其果实硬度的变化如图 2-a 所示。与对照相比,1-MCP 处理显著抑制了甜樱桃果实硬度下降的速率,从贮藏 14 d 至贮藏结束与对照组的差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP 处理的果实硬度比对照组高 10.83%。

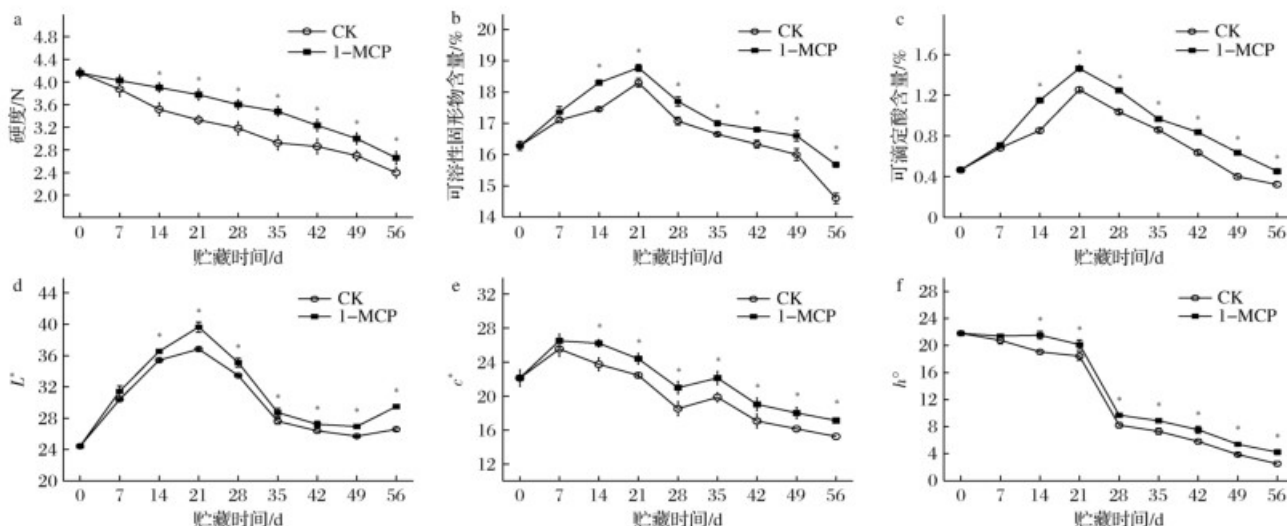
随着贮藏时间的延长,甜樱桃果实的可溶性固形物含量呈先上升后下降的趋势(图 2-b)。与对照组相比,1-MCP 处理显著抑制其下降速率 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP 处理的甜樱桃果实可溶性固形物含量比对照组高 7.36%。

由图 2-c 可知,甜樱桃果实可滴定酸含量变化趋

势与可溶性固形物含量相似。从贮藏第 14 天至贮藏结束,1-MCP 处理的甜樱桃可滴定酸含量显著高于对照组果实 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP 处理的甜樱桃可滴定酸含量比对照组高 40.31%。

在贮藏期间,甜樱桃果实的 L^* 值整体呈先上升后下降的趋势(图 2-d),在贮藏第 21 天,甜樱桃果实的 L^* 值达到峰值。贮藏结束时,1-MCP 处理的甜樱桃 L^* 值比对照组高 10.93% ($P < 0.05$)。

由图 2-e 可知,在整个贮藏期内,甜樱桃的色饱和度呈先上升后下降趋势。从第 14 天至贮藏结束,1-MCP 处理的甜樱桃 c^* 值显著高于对照组 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP 处理的甜樱桃 c^* 值比对照组高 12.41%。



a - 果实硬度; b - 可溶性固形物含量; c - 可滴定酸含量; d - L^* ; e - c^* ; f - h^*

图 2 1-MCP 处理对甜樱桃品质的影响

Fig. 2 Effect of 1-MCP treatment on quality of sweet cherry fruit

贮藏过程中,色调角呈下降趋势(图2-f)。与对照相比,1-MCP处理导致色调角 h° 下降速度显著减慢($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的甜樱桃色调角比对照组高68.53%。

2.3 1-MCP处理对甜樱桃果实 $\cdot O_2^-$ 含量、 H_2O_2 含量、MDA含量和相对电导率的影响

甜樱桃果实 $\cdot O_2^-$ 含量在贮藏期间呈上升趋势,1-MCP处理的甜樱桃果实 $\cdot O_2^-$ 含量始终低于对照组(图3-a),从第14天至贮藏结束与对照差异均达显著水($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的甜樱桃果实 $\cdot O_2^-$ 含量比对照组低24.72%。

由图3-b可知,甜樱桃果实 H_2O_2 含量总体呈上

升趋势,1-MCP处理显著抑制了其上升速率($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的甜樱桃果实 H_2O_2 含量比对照组低21.64%。

由图3-c可知,在贮藏期间,甜樱桃果实的MDA含量呈上升趋势,1-MCP处理的甜樱桃果MDA含量上升速率较慢,从第14天至贮藏结束其含量始终低于对照组($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的MDA含量比对照组低24.97%。

甜樱桃果实相对电导率整体呈上升趋势(图3-d)。从第14天至贮藏结束,1-MCP处理组显著抑制了其上升速率($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理组果实的相对电导率比对照组果实低9.77%。

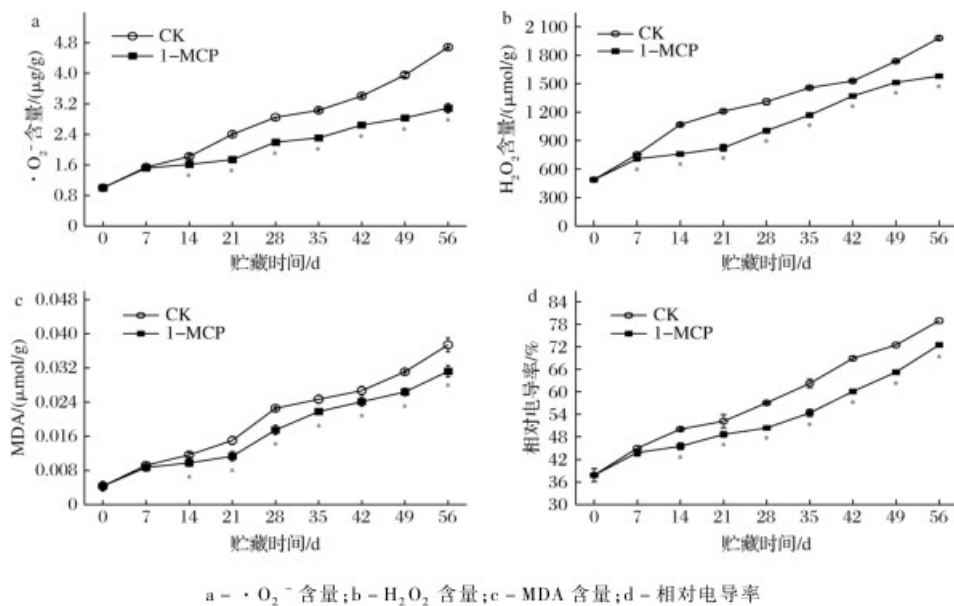


图3 1-MCP处理对甜樱桃果实 $\cdot O_2^-$ 含量、 H_2O_2 含量、MDA含量和相对电导率的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP treatment on $\cdot O_2^-$ content, H_2O_2 content, MDA content and relative conductivity of sweet cherry fruit

2.4 1-MCP处理对甜樱桃果实SOD、CAT、APX和GR活性的影响

由图4-a可知,甜樱桃果实SOD活性在贮藏期间呈先上升后下降再上升的趋势。从贮藏第14天至贮藏结束,1-MCP处理的果实SOD活性显著高于对照组果实($P < 0.05$),贮藏结束时1-MCP处理的果实SOD活性比对照组高26.92%。

由图4-b可知,在贮藏过程中,CAT活性整体呈先升后降的趋势,1-MCP处理的果实CAT活性均高于对照组果实,在贮藏结束时,其活性比对照组果实高21.63% ($P < 0.05$)。

由图4-c可知,在贮藏开始时,APX活性逐渐上升,第21天达到峰值,随后开始下降。1-MCP处理抑制了其下降速率,APX活性从第14天至贮藏结束显

著高于对照组果实($P < 0.05$)。在贮藏结束时,其活性比对照组高14.75%。

由图4-d可知,在贮藏过程中,GR活性呈先上升后下降又上升的趋势,第28天达到峰值。1-MCP处理的甜樱桃果实GR活性显著高于对照组果实($P < 0.05$),在贮藏结束时,其活性比对照组果实高20.51%。

2.5 1-MCP处理对甜樱桃抗坏血酸和谷胱甘肽含量的影响

由图5-a可知,甜樱桃抗坏血酸含量在整个贮藏期间呈下降趋势,与对照相比,1-MCP处理显著抑制了抗坏血酸含量的下降($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的甜樱桃抗坏血酸含量比对照组高18.51%。

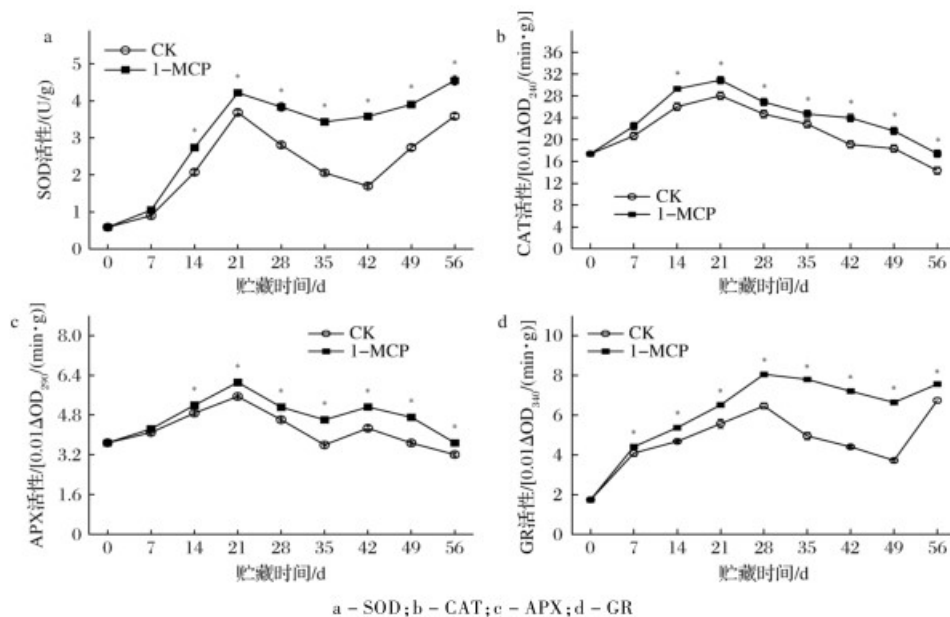
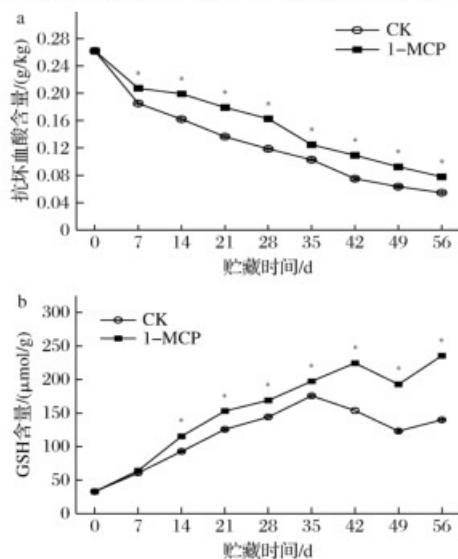


图4 1-MCP对甜樱桃果实SOD、CAT、APX和GR活性的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP on the activity of SOD, CAT, APX and GR of sweet cherry fruit

由图5-b可知,随着贮藏时间的延长,甜樱桃果实的谷胱甘肽含量呈先升后降的趋势。1-MCP处理的甜樱桃果实谷胱甘肽含量从贮藏第14天至贮藏结束与对照组差异均达显著水平($P < 0.05$),贮藏结束时1-MCP处理的甜樱桃果实谷胱甘肽含量比对照组高40.01%。



a - 抗坏血酸含量; b - 谷胱甘肽含量

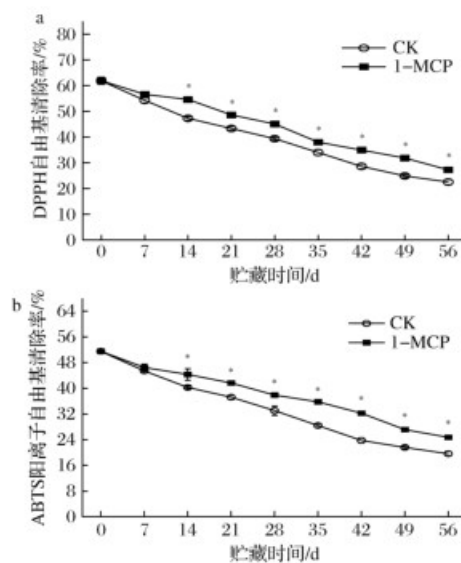
图5 1-MCP处理对甜樱桃抗坏血酸和谷胱甘肽含量的影响

Fig. 5 Effect of 1-MCP treatment on ascorbic acid and glutathione contents of sweet cherry fruit

2.6 1-MCP处理对甜樱桃果实DPPH自由基和ABTS阳离子自由基清除率的影响

由图6-a可知,甜樱桃果实DPPH自由基清除率

在整个贮藏期间呈下降趋势,与对照相比,1-MCP处理显著抑制了DPPH自由基清除率的下降($P < 0.05$)。贮藏结束时,1-MCP处理的甜樱桃DPPH自由基清除率比对照组高21.05%。



a - DPPH自由基清除率; b - ABTS阳离子自由基清除率

图6 1-MCP处理对甜樱桃果实DPPH自由基清除率和ABTS阳离子自由基清除率的影响

Fig. 6 Effects of 1-MCP treatment on DPPH free radical scavenging rate and ABTS cationic free radical scavenging rate of sweet cherry fruit

由图6-b可知,在整个贮藏期间,甜樱桃果实的ABTS阳离子自由基清除率呈下降趋势,1-MCP处理

的甜樱桃果实 ABTS 阳离子自由基清除率在贮藏期间始终高于对照组,贮藏第 14 天至贮藏结束与对照差异均达显著水平($P < 0.05$),贮藏结束时 1-MCP 处理的甜樱桃果实 ABTS 阳离子自由基清除率比对照组高 26.06%。

3 结论与讨论

新鲜甜樱桃果实皮薄多汁,极易腐烂,低温贮藏虽然能够有效延长贮藏期,但是长时间的低温贮藏会导致果实采后生理紊乱,果实表面产生凹陷,限制甜樱桃冷链流通。本研究结果显示,1-MCP 处理显著抑制甜樱桃果实的凹陷率、凹陷指数和腐烂率的上升,保持了甜樱桃较高的硬度,能较好地维持外观色泽与口感,与 MA 等^[19]和王凤霞等^[10]研究结果一致。这些结果表明,1-MCP 处理减轻甜樱桃果实凹陷,保持果实品质,可能与其诱导果实自身产生防御反应,调节甜樱桃果实采后生理代谢过程有关。

低温胁迫下,细胞氧化还原失衡导致活性氧(reactive oxygen, ROS)累积,导致多不饱和脂肪酸、自由基和 MDA 等化学物质的积累,造成膜结构和功能的严重损伤,影响植物正常的生长和代谢^[20]。细胞膜的损伤可能首先引起表皮细胞下方细胞或组织的崩溃,随后表皮受损,表现为水果表面凹陷^[21]。SOD、CAT、APX 和 GR 等酶促抗氧化剂体系和抗坏血酸和谷胱甘肽等非酶促抗氧化剂体系可有效清除活性氧自由基,保持体内活性氧平衡,从而保护细胞膜的功能,提高果蔬采后对冷胁迫的抵抗力^[22]。其中,SOD 催化 $\cdot O_2^-$ 自由基转化为分子氧和 H_2O_2 ,CAT 和 APX 分解过量的 H_2O_2 产物以保护细胞膜免受氧化损伤,而 GR 通过形成谷胱甘肽为 APX 提供底物^[23]。也有研究证实了 1-MCP 处理可以通过调节 ROS 代谢和抗氧化酶活性,减轻对梨^[24]和香蕉^[25]细胞膜的损伤,维持细胞膜的完整性,延缓果实衰老。

本研究结果表明,随着贮藏时间的延长,1-MCP 处理提高了甜樱桃果实 SOD、CAT、APX 和 GR 活性,促进抗坏血酸含量和谷胱甘肽含量上升,进而抑制了甜樱桃果实 MDA、超氧阴离子和 H_2O_2 累积以及相对电导率的上升,同时提高了甜樱桃果实的 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除能力,这与 YANG 等^[26]和罗冬兰等^[27]研究结果一致。说明 1-MCP 处理可以通过提高抗氧化酶活性和抗氧化物质含量,减轻活性氧代谢对组织的损伤,进而减轻果实表面凹陷,起到良好的保鲜效果。

综上所述,1-MCP 处理可能通过提高抗氧化酶的活性和抗氧化物质含量,同时增强 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除能力,在贮藏过程中维持了较低的 ROS 水平,抑制了 MDA 含量和相对电导率的上升,从而减轻甜樱桃果实表面凹陷,较好的保持果实外观和品质。本研究为开发基于 1-MCP 技术的甜樱桃贮藏保鲜技术,提高甜樱桃果实贮藏品质和经济效益提供了理论依据。

参 考 文 献

- [1] CHOCKCHASAWASDEE S, GOLDING J B, VUONG Q V, et al. Sweet cherry: Composition, postharvest preservation, processing and trends for its future use[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 55:72–83.
- [2] CARVAJAL F, PALMA F, JAMILENA M, et al. Cell wall metabolism and chilling injury during postharvest cold storage in zucchini fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 108:68–77.
- [3] 刘梦月, 王文辉, 杜艳民, 等. 1-MCP 处理对秋月梨采后品质及生理的影响[J]. 中国果树, 2023(9):16–20.
LIU M Y, WANG W H, DU Y M, et al. Effects of 1-MCP treatment on postharvest quality and physiology of ‘Akizuki’ pear[J]. China Fruits, 2023(9):16–20.
- [4] 赵愉涵, 李有媛, 赵韩栋, 等. 1-MCP 在果蔬体内的药代规律研究及产品开发进展[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(10):127–135.
ZHAO Y H, LI Y Y, ZHAO H D, et al. Researches on the pharmacokinetic mechanism of 1-MCP in fruits and vegetables and related products progress[J]. Storage and Process, 2021, 21(10):127–135.
- [5] DU L N, KOU L L, LIU D D, et al. Integrated analysis of nutritional quality changes and molecular regulation in ‘Qingcui’ plum fruit treated with 1-MCP during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 207:112591.
- [6] CHANG L Y, BRECHT J K. Responses of 1-methylcyclopropene (1-MCP)-treated banana fruit to pre- and post-treatment ethylene exposure[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 309:111636.
- [7] 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.
- [8] 于宛婷, 杭博, 张鑫楠, 等. 1-MCP 处理对库尔勒香梨常温保鲜效果和果实内在品质的影响[J]. 中国果树, 2023(10):13–18.
YU W T, HANG B, ZHANG X N, et al. Effects of 1-MCP treatment on the green-keeping effect and internal quality of ‘Korla fragrant pear’ at normal temperature[J]. China Fruits, 2023(10):13–18.
- [9] 刘尊英, 曾名勇, 董士远, 等. 1-甲基环丙烯对甜樱桃果实褐变的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(5):488–491.
LIU Z Y, ZENG M Y, DONG S Y, et al. Effects of 1-methylcyclopropene on fruit browning of sweet cherry[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(5):488–491.
- [10] 王凤霞, 张鸿, 谢天柱, 等. 1-MCP 处理对“红灯”大樱桃低温贮藏效果的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(8):1893–1895.
WANG F X, ZHANG H, XIE T Z, et al. Effects of 1-MCP on quality of sweet cherry ‘Hongdeng’ during cold storage[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(8):1893–1895.
- [11] ZHAO H D, FU M R, DU Y M, et al. Improvement of fruit quality and pedicel color of cold stored sweet cherry in response to pre-storage 1-methylcyclopropene and chlorine dioxide treatments Combination treatment of 1-MCP plus ClO_2 improves post-harvest quality of

- sweet cherry fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 277:109806.
- [12] SERRADILLA M J, FALAGÁN N, BOHMER B, et al. The role of ethylene and 1-MCP in early-season sweet cherry 'Burlat' storage life[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 258:108787.
- [13] SUO J T, LI H, BAN Q Y, et al. Characteristics of chilling injury-induced lignification in kiwifruit with different sensitivities to low temperatures[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 135: 8–18.
- [14] YANG Z F, CAO S F, SU X G, et al. Respiratory activity and mitochondrial membrane associated with fruit senescence in postharvest peaches in response to UV-C treatment[J]. *Food Chemistry*, 2014, 161:16–21.
- [15] WANG F, ZHANG X P, YANG Q Z, et al. Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries[J]. *Food Chemistry*, 2019, 301:125311.
- [16] WANG F, YANG Q Z, ZHAO Q F, et al. Roles of antioxidant capacity and energy metabolism in the maturity-dependent chilling tolerance of postharvest kiwifruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 168:111281.
- [17] 曹建康, 姜微波, 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.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Fruits and Vegetables after Harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [18] WU C C, HAO W Z, YAN L, et al. Postharvest melatonin treatment enhanced antioxidant activity and promoted GABA biosynthesis in yellow-flesh peach[J]. *Food Chemistry*, 2023, 419: 136088.
- [19] MA Y Y, ZHANG W D, CHENG S B, et al. 1-methylcyclopropene treatment improves postharvest quality and antioxidant activity of *Prunus domestica* L. cv. Ximei fruit[J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2022, 63(6):857–867.
- [20] REHMAN R N U, MALIK A U, KHAN A S, et al. Combined application of hot water treatment and methyl salicylate mitigates chilling injury in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 283:110113.
- [21] HUANG H, WANG L. Alteration of surface morphologies and chemical composition of cuticle in response to chilling injury in *Papaya* (*Carica papaya* L.) after harvest[J]. *Food Chemistry*, 2023, 416:135751.
- [22] WANG L, CHEN S C, SHAO J W, et al. Hydrogen sulfide alleviates chilling injury in peach fruit by maintaining cell structure integrity via regulating endogenous H_2S , antioxidant and cell wall metabolisms[J]. *Food Chemistry*, 2022, 391:133283.
- [23] BLOKHINA O, VIROLAINEN E, FAGERSTEDT K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review[J]. *Annals of Botany*, 2003, 91 Spec No(2):179–194.
- [24] 李英丽, 张少颖, 董宇. 采前1-甲基环丙烯处理对货架期 'Bartlett' 梨虎皮病和抗氧化特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(1):250–256.
- LI Y L, ZHANG S Y, DONG Y. Effect of preharvest 1-methylcyclopropene application on superficial scald and antioxidant capacity of 'Bartlett' pears during shelf life[J]. *Food Science*, 2021, 42(1):250–256.
- [25] LI X Y, XIONG T T, ZHU Q N, et al. Combination of 1-MCP and modified atmosphere packaging (MAP) maintains banana fruit quality under high temperature storage by improving antioxidant system and cell wall structure[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2023, 198:112265.
- [26] YANG Q R, WANG L, LI F Q, et al. Impact of 1-MCP on postharvest quality of sweet cherry during cold storage[J]. *Frontiers of Agriculture in China*, 2011, 5(4):631–636.
- [27] 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 D L, QU G F, CAO S, 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.

Effect of 1-MCP treatment on fruit pitting, storage quality and reactive oxygen species metabolism of sweet cherry fruit

HOU Jie^{1,2,3}, YANG Qingzhen^{2,3*}, WANG Feng^{2,3}, QI Yingjian^{1,2,3},
LIU Peng⁴, CHANG Yuansheng⁴

1(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)2(Life Science Department, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)3(Characteristic Fruit Quality Control and Application Laboratory, Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)4(Fruit Development Center in Linyi County of Yuncheng, Linyi 044100, China)

ABSTRACT In order to investigate the effect of 1-MCP treatment on fruit pitting, storage quality and reactive oxygen species metabolism of sweet cherry after harvest, sweet cherry 'Samituo' was fumigated with 1.0 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP for 12 h and stored at $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. Regular sampling for the determination of relevant indicators. The results showed that 1-MCP treatment effectively reduced the pitting incidence, pitting index and decay incidence of sweet cherry, and significantly inhibited the decline of fruit firmness, soluble solid and titratable acid content and better maintained the appearance and taste of fruit. At the same time, 1-MCP treatment maintained high activities of superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase, promoted the increase of ascorbate content and glutathione content, improved the free radical scavenging ability of DPPH free radical and ABTS cation free radical, significantly decreased the contents of $\cdot\text{O}_2^-$ and H_2O_2 , and inhibited the accumulation of malondialdehyde and the increase of relative conductivity. These results suggest that 1-MCP treatment may reduce cell membrane oxidative damage, protect the integrity of cell membrane, and inhibit the surface pitting of sweet cherry by increasing the activity of antioxidant enzymes and inhibiting the accumulation of reactive oxygen species. This study provides a theoretical basis for the application of 1-MCP in cold chain logistics preservation of sweet cherry.

Key words sweet cherry fruit; pitting; 1-MCP; quality; oxygen species metabolism