

福建农林大学学报(自然科学版)

Journal of Fujian Agriculture and Forestry University(Natural Science Edition)

ISSN 1671-5470,CN 35-1255/S

《福建农林大学学报(自然科学版)》网络首发论文

题目: 短波紫外线对采后西梅活性氧代谢和货架品质的影响
作者: 金莉莉, 陈婉婷, 白梦涵, 赛丽曼·艾尼瓦, 崔宽波
DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).202411008
收稿日期: 2024-11-06
网络首发日期: 2025-09-02
引用格式: 金莉莉, 陈婉婷, 白梦涵, 赛丽曼·艾尼瓦, 崔宽波. 短波紫外线对采后西梅活性氧代谢和货架品质的影响[J/OL]. 福建农林大学学报(自然科学版).
[https://doi.org/10.13323/j.cnki.j.fafu\(nat.sci.\).202411008](https://doi.org/10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).202411008)



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

短波紫外线对采后西梅活性氧代谢和货架品质的影响

金莉莉¹, 陈婉婷¹, 白梦涵¹, 赛丽曼·艾尼瓦¹, 崔宽波²

(1.新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院
农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:【目的】探究短波紫外线(UV-C)处理对采后西梅果实活性氧代谢和货架品质的影响,为UV-C应用在西梅保鲜上提供技术支撑。【方法】新疆‘法兰西’西梅经过不同剂量(0、1.0、1.5、2.0、3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)UV-C照射后,在4~6 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏42 d,其间每隔7 d测定果实品质指标和活性氧代谢指标,在贮藏结束后测定货架期品质指标。【结果】不同剂量UV-C处理对西梅贮藏及货架期品质的影响不同。2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C处理可有效保持西梅贮藏及货架期间的硬度和色泽,减少果实中可溶性固形物、可滴定酸和维生素C的消耗,显著降低果实腐烂率和质量损失率;同时,2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C处理显著提高贮藏期果实超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性,降低超氧阴离子(O_2^-)产生速率、过氧化氢(H_2O_2)和丙二醛(MDA)的累积量及细胞膜透性。【结论】适宜剂量(2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)的UV-C处理可增强采后西梅贮藏期间的活性氧代谢,保持果实贮藏及货架期品质,延缓果实衰老。

关键词: 西梅; 短波紫外线; 抗氧化; 贮藏品质; 采后保鲜

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).202411008



开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

Effect of UV-C treatment on reactive oxygen metabolism and shelf-life quality of post-harvest prunes

JIN Lili¹, CHEN Wanting¹, BAI Menghan¹, SAILIMAN Ainiwa¹, CUI Kuanbo²

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2.Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract:【Objective】The effect of ultraviolet C (UV-C) treatment on reactive oxygen metabolism and shelf-life quality of post-harvest prunes (*Prunus domestica* L.) was investigated, to provide reference for the preservation of prunes via ultraviolet C.【Method】Xinjiang ‘France’ prunes were subject to UV-C irradiation at the dose of 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively, and stored at 4–6 $^{\circ}\text{C}$. Then quality indexes and reactive oxygen metabolism-related indicators were measured every 7 d, with shelf-life quality measured at the end of storage at 42 d.【Result】Different doses of UV-C irradiation exerted different effect on the quality of prune fruits, and 2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C treatment was contributed to effectively maintained fruit firmness and color, delayed consumption of titratable acid, total soluble solids and ascorbic acid, lower fruit decay rate and mass loss rate during storage and shelf-life period. At the same time, 2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C treatment enhanced the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and ascorbate peroxidase (APX) during storage, reduced the production rate of superoxide anion (O_2^-), and

收稿日期: 2024-11-06 修回日期: 2025-01-05

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B02018-4); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2022D01A262)。

通信作者: 崔宽波(1982—), 男, 研究员, 博士。研究方向: 农产品加工。Email: 30877141@qq.com。

delayed the accumulation of hydrogen peroxide (H_2O_2), malondialdehyde (MDA) and the increase in cell membrane permeability. 【Conclusion】UV-C treatment at the dose of $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ can effectively enhance the reactive oxygen metabolism of post-harvest prune fruits during storage, maintain the storage and shelf quality of fruits, and delay fruit senescence.

Key words: prune fruits; ultraviolet C; antioxidant ability; storage quality; post-harvest preservation

西梅(*Prunus domestica* L.), 又称欧洲李, 属蔷薇科李种, 是一种具有高经济价值的优质水果^[1]。随着西梅产业的不断发展, 其种植规模逐年上升, 目前在陕西、河北、河南、新疆等地区达到一定的种植规模, 新疆适宜的生长环境造就了西梅高产优质的特性^[2]。西梅酸甜可口, 营养价值高, 富含多种维生素、矿物质和酚类物质。西梅成熟季节高温, 作为一种呼吸跃变型果实, 其常温下的后熟作用导致果实新陈代谢加快、品质劣变, 目前西梅主要以鲜果销售, 由于距离较远, 鲜果贮运销售过程中的损耗率较高, 严重损害了其商业价值^[3]。西梅采摘后主要采用低温^[4]、气调贮藏^[5]、化学保鲜剂^[6]和生物调节剂^[7]等方法进行保鲜, 可有效保持其贮藏品质。长期低温贮藏会导致果实出现冷害现象, 贮藏后果实被病原菌侵染导致腐败, 这种保鲜方式存在投资成本高、操作复杂等问题。因此, 探究绿色安全、节能的保鲜技术, 对保持采后西梅的贮藏品质具有重要意义。

短波紫外线 (ultraviolet C, UV-C) 照射作为一种果蔬采后处理方式, 因其安全无毒害且能够改善果实品质、延缓后熟衰老进程、提高营养价值而受到广泛关注^[8]。UV-C 照射能穿透果蔬表面, 破坏果蔬中微生物的组织结构, 诱导果实产生抗菌物质, 延长果蔬贮藏保鲜时间^[9]。由于果蔬之间存在差异性, UV-C 照射的适宜剂量也不相同, UV-C 处理果蔬的关键是筛选适宜的照射剂量^[10]。UV-C 处理已应用在多种果蔬的贮藏保鲜中, 与其他保鲜方式相比, 其具有操作简单、成本低、无化学残留及环境友好等优点。果蔬经过适宜剂量的 UV-C 照射后, 其表面的病原菌被杀灭, 延缓果蔬腐烂变质进程^[11], 并保持果蔬营养物质含量^[12]、提高抗氧化能力^[13]、增强抗病性^[14], 从而提高果蔬的贮藏品质, 延长货架期。如: $4 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理能显著减慢采后蓝莓果实原花青素和总酚含量的下降^[15]; $2.07 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理能较好地保持椰枣的含水率、可溶性固形物含量、硬度和总色差值^[16]; 经 UV-C 杀菌处理后, 哈密瓜的过氧化物酶

(peroxidase, POD) 和超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性被激活, 多酚氧化酶和脂氧合酶活性被钝化, 苯丙氨酸解氨酶活性明显提高^[17]。目前, UV-C 照射处理还应用在苦瓜^[18]、桃子^[19]等果蔬上, 在延长果蔬保鲜期及保持贮藏品质方面作用明显。然而, UV-C 处理在西梅保鲜上的应用尚未见报道, 其照射剂量对西梅贮藏及货架期品质的影响尚不明确, 确定适宜的照射剂量对保持西梅品质及减少采后损失具有重要意义。本研究以新疆‘法兰西’西梅为试验材料, 探究不同剂量 UV-C 处理对西梅采后贮藏及货架期品质的影响, 筛选出适宜的 UV-C 照射剂量, 旨在为将 UV-C 技术应用于西梅保鲜中提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料来源 供试西梅品种为‘法兰西’, 于 2023 年 8 月 25 日采自新疆喀什地区疏附县西梅果园。人工采摘后, 随即运至新疆农业科学院农业机械化研究所冷库预冷处理 24 h。选择未受机械损伤、无腐烂、大小 (单个体质量为 $30 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$) 及成熟度一致的果实作为试验材料。

1.1.2 试剂 氢氧化钠、碳酸氢钠、邻苯二甲酸氢钾、核黄素等试剂均为分析纯, 购自天津致远化学试剂有限公司。

1.1.3 仪器与设备 仪器与设备有 ZW30S19W 紫外线灯管 (江阴市健仕福器械有限公司)、SC-10 精密色差仪 (苏州欣美和仪器有限公司)、PAL-1 数字式糖度计 [日本 Atago (爱拓) 公司]、GX16R 高速冷冻离心机 (湖南恒诺仪器设备有限公司)、LS127C 便携式数字紫外辐射计 (深圳林上科技有限公司)。

1.2 试验设计

将 2 400 个西梅果实随机分为 5 组, 每组 480 个, 在避光环境下对其进行 UV-C 照射处理。UV-C 照射处理参照 Zhou et al^[20] 的方法, 用便携式数字紫外辐射计测定紫外灯 (254 nm) 下 105 cm 处的 UV-C 强度, 根据照射时间确定 UV-C 剂量 (0 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 $3.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$), 对照组避光不照射。紫外线

灯管照射时,在照射时间完成一半时将果实翻转,确保其正反面受到同样剂量的 UV-C 照射。各组照射处理结束后将果实用塑料框分装,然后置于低温环境(4~6 ℃,相对湿度为 90%~95%)下贮藏 42 d,其间每隔 7 d 取样进行相关指标的测定。贮藏结束时,采用缓慢升温出库的方式将果实转入冷库(8~10 ℃)中 6 h,最后置于(20±1) ℃、相对湿度为 70%~75%的环境下存放。货架期间分别于第 1、3、5、7 天从各处理中随机取样测定各指标。

1.3 指标测定

1.3.1 品质指标的测定 果实硬度采用硬度计测定;用数字式糖度仪测定可溶性固形物含量;色泽采用精密色差仪测定,明暗值用 L^* 表示,红绿值用 a^* 表示;可滴定酸和维生素 C (V_C) 含量参照曹建康等^[21]的方法测定。

1.3.2 果实质量损失率和腐烂率的测定 质量损失率采用称量法测定。质量损失率/%=[(初始质量-贮藏期间质量)/初始质量]×100

腐烂率采用计数法测定。腐烂率/%=(腐烂果实数量/果实总数量)×100

1.3.3 细胞膜渗透率、丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 浓度的测定 参照曹建康等^[21]的方法测定细胞膜渗透率和 MDA 浓度。

1.3.4 超氧阴离子 (O_2^-) 产生速率和过氧化氢 (H_2O_2) 浓度的测定 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 浓度采用试剂盒(苏州梦犀生物医药科技有限公司)测定。

1.3.5 活性氧代谢相关酶活性的测定 SOD、过氧化氢酶(catalase, CAT)、POD 和抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)活性参照曹建康等^[21]的方法测定。

1.4 数据处理与分析

试验数据均以 3 次重复的平均值±标准差表示,采用 SPSS 26.0 统计软件中的 Duncan 和 Tukey 检验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 UV-C 处理对西梅果实色泽的影响

L^* 表示果皮的明暗程度。如图 1A 所示,各组西梅果实的 L^* 都呈降低的趋势。贮藏 7 d,各组 L^* 的差异不显著($P>0.05$);贮藏 21、28、42 d,1.5、2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 L^* 显著高于对照组

($P<0.05$),而 3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组在贮藏 21~28 d 显著低于对照组($P<0.05$)。货架期 1~5 d,各 UV-C 处理组与对照组的 L^* 存在显著差异($P<0.05$);货架期结束时,1.5、2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 L^* 分别比对照组高 2.45%、5.30%。这表明 UV-C 处理能很好地保持西梅果皮 L^* ,有利于色泽的保持。

a^* 表示果皮的红绿程度。如图 1B 所示:贮藏 0~14 d,各组西梅果皮的 a^* 呈迅速上升的趋势;贮藏 14 d,各 UV-C 处理组的 a^* 较对照组显著提高($P<0.05$)。 a^* 在贮藏中后期(21~42 d)呈缓慢上升趋势,表明果皮颜色由黄绿色逐渐转变为紫红色,1.0、2.0、3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 a^* 显著高于对照组($P<0.05$)。在整个贮藏及货架期间,果皮的 a^* 均呈先上升后缓慢下降的趋势,随着货架期的延长,果皮已完全转变为紫红色;货架期结束时,1.0、1.5、2.0、3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 a^* 分别比对照组高 5.75%、3.41%、9.48%、6.28% ($P<0.05$)。

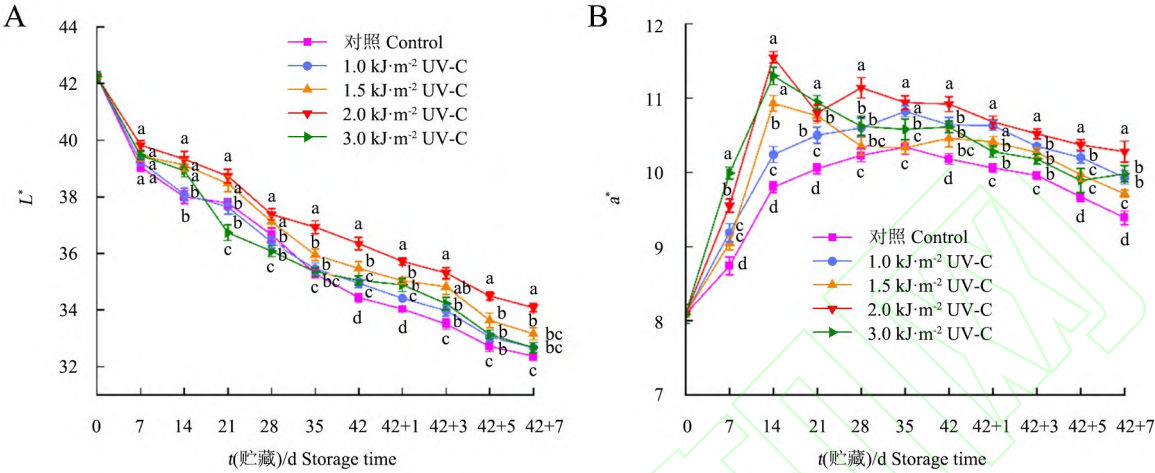
2.2 UV-C 处理对西梅果实硬度及可溶性固形物、可滴定酸和 V_C 含量的影响

从图 2A 可以看出,西梅果实在整个贮藏及货架期间的硬度呈下降趋势,其中,1.5、2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的硬度显著高于对照组($P<0.05$),而 3.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组与对照组的差异不显著($P>0.05$)。贮藏 21~42 d,2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理可有效保持果实的硬度;贮藏结束时,各 UV-C 处理组均能有效减慢硬度下降,其中,1.0、1.5、2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的硬度分别是对照组的 1.15 倍、1.21 倍、1.25 倍($P<0.05$)。这表明 UV-C 处理可减慢西梅果实硬度下降,且 2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理保持硬度的效果最好。

可溶性固形物含量表示果实的成熟程度和品质状况,反映果实中能溶解在水中的营养物质所占的比例。从图 2B 可以看出,在整个贮藏及货架期间,各组西梅果实的可溶性固形物含量呈先增加后逐渐减少的趋势。贮藏 0~21 d,UV-C 处理组可溶性固形物含量与对照组的差异不显著($P>0.05$);贮藏 28~35 d,对照组可溶性固形物含量急剧下降,与各 UV-C 处理组形成鲜明对比;贮藏 35 d 至货架期结束,各 UV-C 处理组可溶性固形物含量与

对照组的差异显著($P<0.05$)。表明UV-C处理能有效保持贮藏及货架期间西梅果实可溶性固形物含量,减慢营养成分下降。其中,2.0 kJ·m⁻² UV-C 处

理保持营养成分的效果最为显著,可溶性固形物含量下降速度最为缓慢。



不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。
Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P>0.05$).

图 1 UV-C 处理对西梅果实 L^* (A) 和 a^* (B) 的影响
Fig.1 Effect of UV-C treatment on L^* (A) and a^* (B) values of prunes

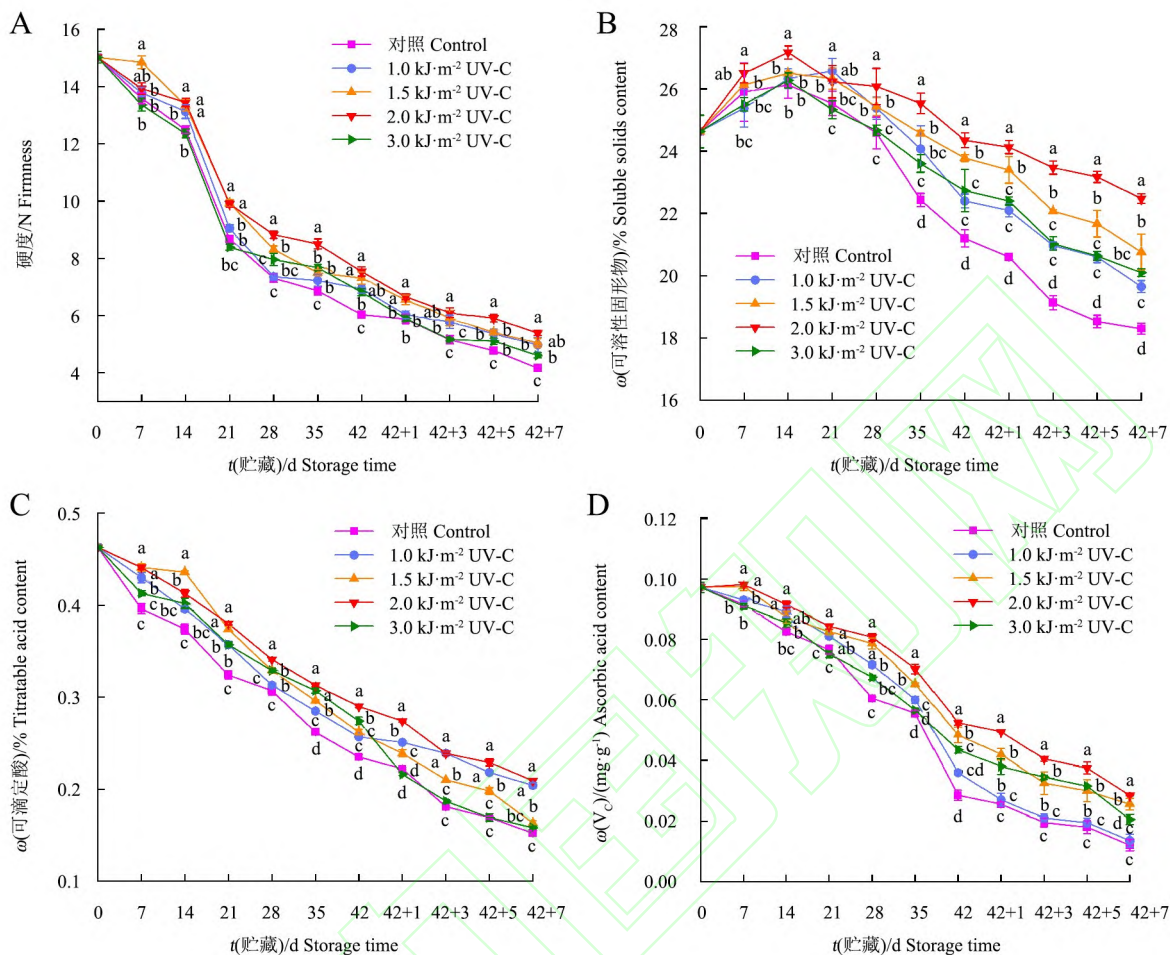
可滴定酸作为水果中重要的风味物质,是评价果实营养价值的重要指标。从图 2C 可以看出,西梅果实可滴定酸含量在整个贮藏及货架期间逐渐减少。贮藏 21、35、42 d,各 UV-C 处理组可滴定酸含量与对照组的差异显著($P<0.05$)。货架期 1~5 d,1.0、1.5、2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组可滴定酸含量与对照组的差异显著($P<0.05$);而 3.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组可滴定酸含量在整个货架期间与对照组的差异不显著($P>0.05$);货架期结束时,1.0、2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组可滴定酸含量是对照组的 1.34 倍、1.38 倍($P<0.05$)。表明适宜剂量的 UV-C 处理可显著减慢贮藏及货架期间西梅果实可滴定酸含量的下降。

V_c 含量可用于评价水果的营养价值。从图 2D 可以看出,在整个贮藏及货架期间,各组西梅果实的 V_c 含量均不断降低。贮藏 0~14 d,各组 V_c 含量下降较为缓慢,且 1.0、3.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的 V_c 含量与对照组的差异不显著($P>0.05$);贮藏 28~42 d,各 UV-C 处理组逐渐表现出能保持 V_c 含量的效果;贮藏结束时,1.0、1.5、2.0、3.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的 V_c 含量分别是对照组的 1.26 倍、1.70 倍、1.84 倍、1.53 倍($P<0.05$)。在整个货架期

间,除 1.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组外,其他 UV-C 处理组的 V_c 含量与对照组的差异显著($P<0.05$)。表明适宜剂量的 UV-C 处理可有效减少贮藏及货架期间西梅果实 V_c 的损失,其中,2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的效果更优。

2.3 UV-C处理对西梅果实质量损失率和腐烂率的影响

西梅果实在贮藏过程中,经过后熟作用仍然保持着呼吸蒸腾和新陈代谢,不断损失水分,导致其品质下降。由图 3A 可知,贮藏及货架期间各 UV-C 处理组西梅果实的质量损失率总体呈上升趋势。贮藏 14 d,对照组的质量损失率迅速上升,UV-C 处理组较对照组显著降低($P<0.05$)。贮藏及货架期间各 UV-C 处理均能不同程度地降低质量损失率。其中:贮藏 7~42 d,2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组能保持较低的质量损失率,其次是 1.0、1.5 kJ·m⁻² UV-C 处理组;货架期 1~7 d,各 UV-C 处理组的质量损失率显著高于对照组($P<0.05$);货架期结束时,1.0、1.5、2.0、3.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的质量损失率分别是对照组的 16.15%、14.60%、14.20%、15.45%,2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的质量损失率比对照组低 17.35%($P<0.05$)。



不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

图 2 UV-C 处理对西梅果实硬度 (A)、可溶性固形物含量 (B)、可滴定酸含量 (C) 和 V_C 含量 (D) 的影响

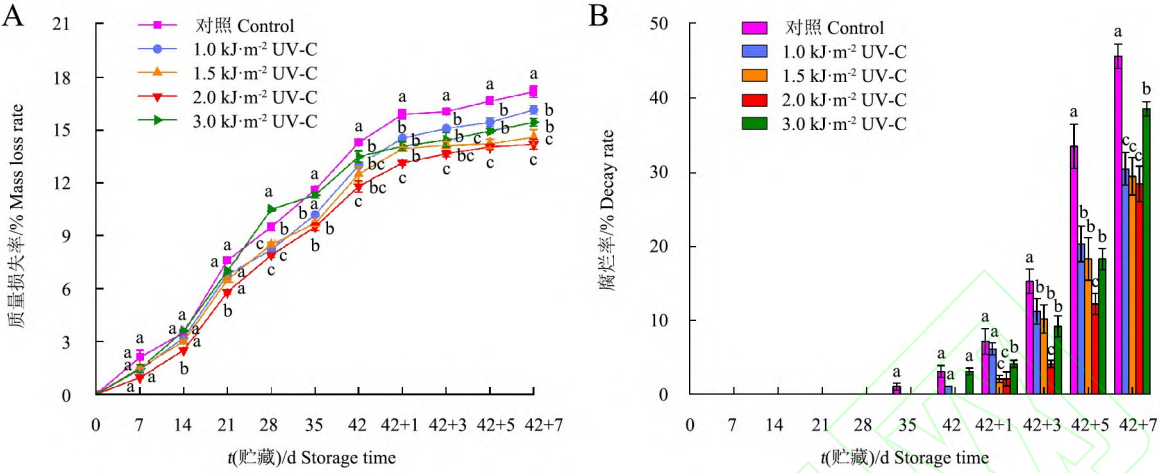
Fig.2 Effect of UV-C treatment on the firmness (A), soluble solids content (B), titratable acid content (C) and ascorbic acid content (D) of prunes

由图 3B 可知,在整个贮藏及货架期间,各组西梅果实的腐烂率呈上升趋势。贮藏 0~28 d, 各组果实均未出现腐烂;对照组的腐烂率从贮藏 35 d 后开始迅速上升;贮藏结束时,仅 1.5、2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的果实未出现腐烂。货架期 7 d, 各 UV-C 处理组果实的腐烂率显著低于对照组 ($P < 0.05$), 2.0、3.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的腐烂率分别比对照组低 37.78%、15.56% ($P < 0.05$), 1.0、1.5、2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组间的腐烂率差异不显著 ($P > 0.05$)。表明 UV-C 处理可显著降低贮藏及货架期间西梅果实的腐烂率, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的腐烂率最低。

综上, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理对保持采后西梅果实在贮藏及货架期间的品质效果最佳, 故选用 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理用于活性氧代谢分析。

2.4 UV-C 处理对西梅果实细胞膜渗透率和 MDA 浓度的影响

MDA 可反映果实细胞组织脂质过氧化水平, 过量累积会对果实造成一定的伤害^[22]。由图 4A、4B 可知,在整个贮藏期间,西梅果实的细胞膜渗透率和 MDA 浓度随着贮藏时间的增加不断增大。贮藏 14 d, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的细胞膜渗透率和 MDA 浓度显著低于对照组 ($P < 0.05$);贮藏 14~28 d, 各组 MDA 浓度呈先减小后增大的趋势;贮藏结束时, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的细胞膜渗透率和 MDA 浓度分别比对照组低 13.84%、15.30%。综上, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理可降低贮藏期间西梅果实细胞膜渗透率和 MDA 浓度, 能有效减弱果实细胞组织的膜脂氧化反应。

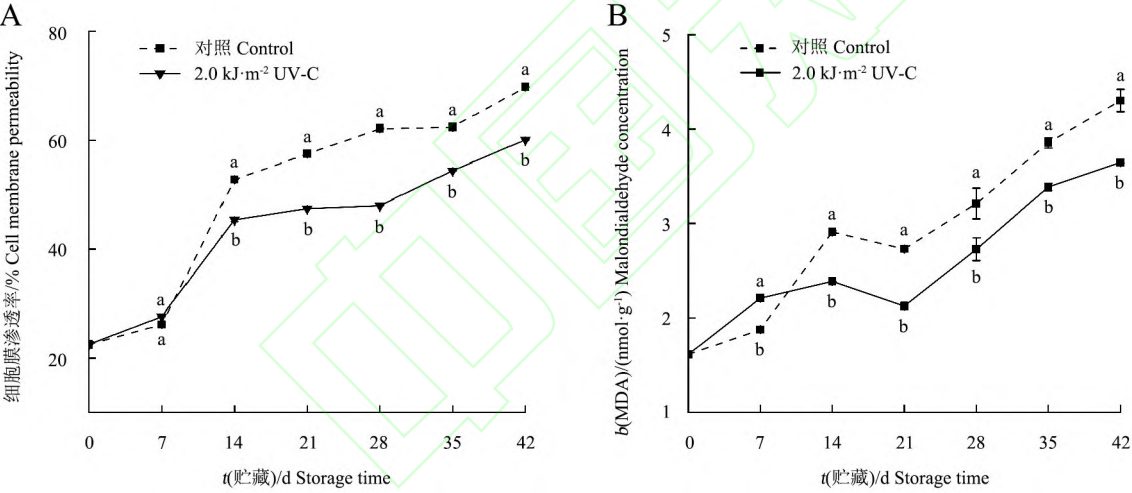


不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

图 3 UV-C 处理对西梅果实质量损失率 (A) 和腐烂率 (B) 的影响

Fig.3 Effect of UV-C treatment on the mass loss rate (A) and decay rate (B) of prunes



不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

图 4 UV-C 处理对西梅果实细胞膜渗透率 (A) 和 MDA 浓度 (B) 的影响

Fig.4 Effect of UV-C treatment on cell membrane permeability (A) and MDA concentration (B) of prunes

2.5 UV-C 处理对西梅果实 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 浓度的影响

如图 5A 所示, 整个贮藏期间西梅果实 O_2^- 产生速率呈先增大后减小的趋势, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组 O_2^- 产生速率始终小于对照组 ($P < 0.05$)。贮藏 0~14 d, 相较于 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组, 对照组 O_2^- 产生速率上升趋势大; 贮藏 14 d, 对照组 O_2^- 产生速率达到最大值 (441.52 nmol·min⁻¹·g⁻¹), 是 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组的 1.91 倍 ($P < 0.05$); 贮藏 21 d, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组 O_2^- 产生速率达到峰值 (277.28 nmol·min⁻¹·g⁻¹), 比对

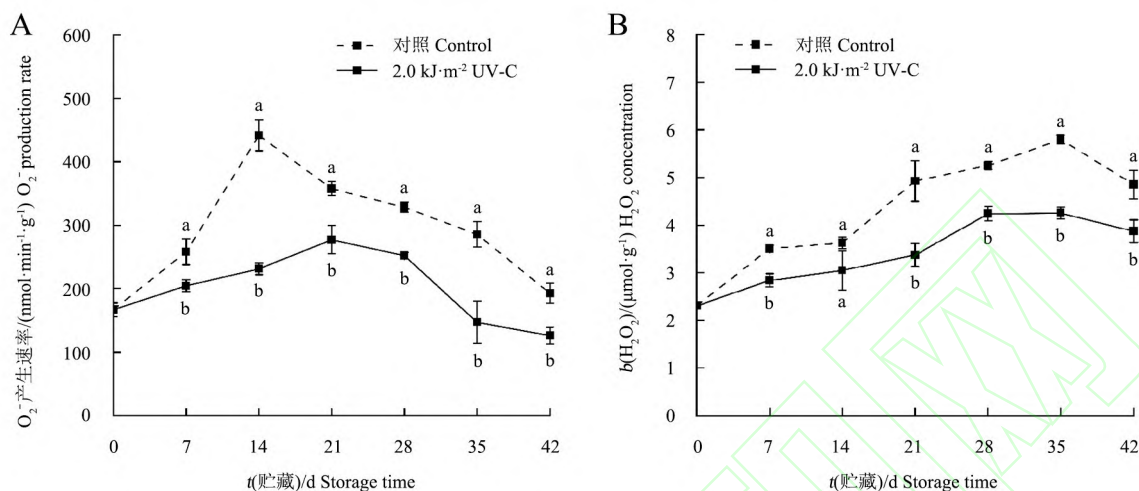
照组低 22.53% ($P < 0.05$)。

如图 5B 所示, 整个贮藏期间各组西梅果实 H_2O_2 浓度呈先升高后降低的趋势。贮藏前期 (0~14 d), 各组 H_2O_2 浓度增势缓慢; 贮藏 14 d, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组 H_2O_2 浓度与对照组的差异不显著 ($P > 0.05$); 贮藏 14~35 d, 对照组 H_2O_2 浓度比 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组涨幅大; 贮藏 35 d, 2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理组和对照组的 H_2O_2 浓度达到峰值, 分别为 4.256、5.801 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 对照组比 UV-C 处理组高 36.30% ($P < 0.05$)。

如图 5A、5B 所示, 贮藏结束时, 对照组 O_2^- 产

生速率和 H_2O_2 浓度分别是 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 1.53 倍、1.25 倍 ($P < 0.05$)。表明 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$

UV-C 处理可有效降低贮藏期间西梅果实 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 浓度。



不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

图 5 UV-C 处理对西梅果实 O_2^- 产生速率 (A) 和 H_2O_2 浓度 (B) 的影响

Fig.5 Effect of UV-C treatment on O_2^- production rate (A) and H_2O_2 concentration (B) of prunes

2.6 UV-C 处理对西梅果实活性氧代谢相关酶活性的影响

如图 6A 所示, 整个贮藏期间各组西梅果实的 POD 活性呈先上升后下降的趋势。贮藏 35 d, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组和对照组的 POD 活性均出现峰值, 分别为 0.935 、 $1.129 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, UV-C 处理组是对照组的 1.21 倍 ($P < 0.05$); 贮藏 42 d, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 POD 活性是对照组的 1.20 倍 ($P < 0.05$)。

如图 6B 所示, 随着贮藏时间的增加, 西梅果实的 SOD 活性呈先上升后下降的趋势。贮藏期间, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 SOD 活性与对照组的差异显著 ($P < 0.05$)。对照组 SOD 活性在贮藏 0~21 d 缓慢上升, 在贮藏 21~28 d 迅速上升, 并在贮藏 28 d 达到峰值 ($1.395 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$)。 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 SOD 活性在贮藏 0~35 d 持续上升, 在贮藏 35 d 达到最大值 ($1.513 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$), 是对照组的 1.10 倍 ($P < 0.05$); 贮藏结束时, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 SOD 活性比对照组高 10.92% ($P < 0.05$)。

如图 6C、6D 所示, 随着贮藏时间的增加, 西梅果实 CAT、APX 活性呈先缓慢上升后下降的趋势, 且 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 CAT、APX 活性与对照组的差异显著 ($P < 0.05$)。各组 CAT 活性在贮藏

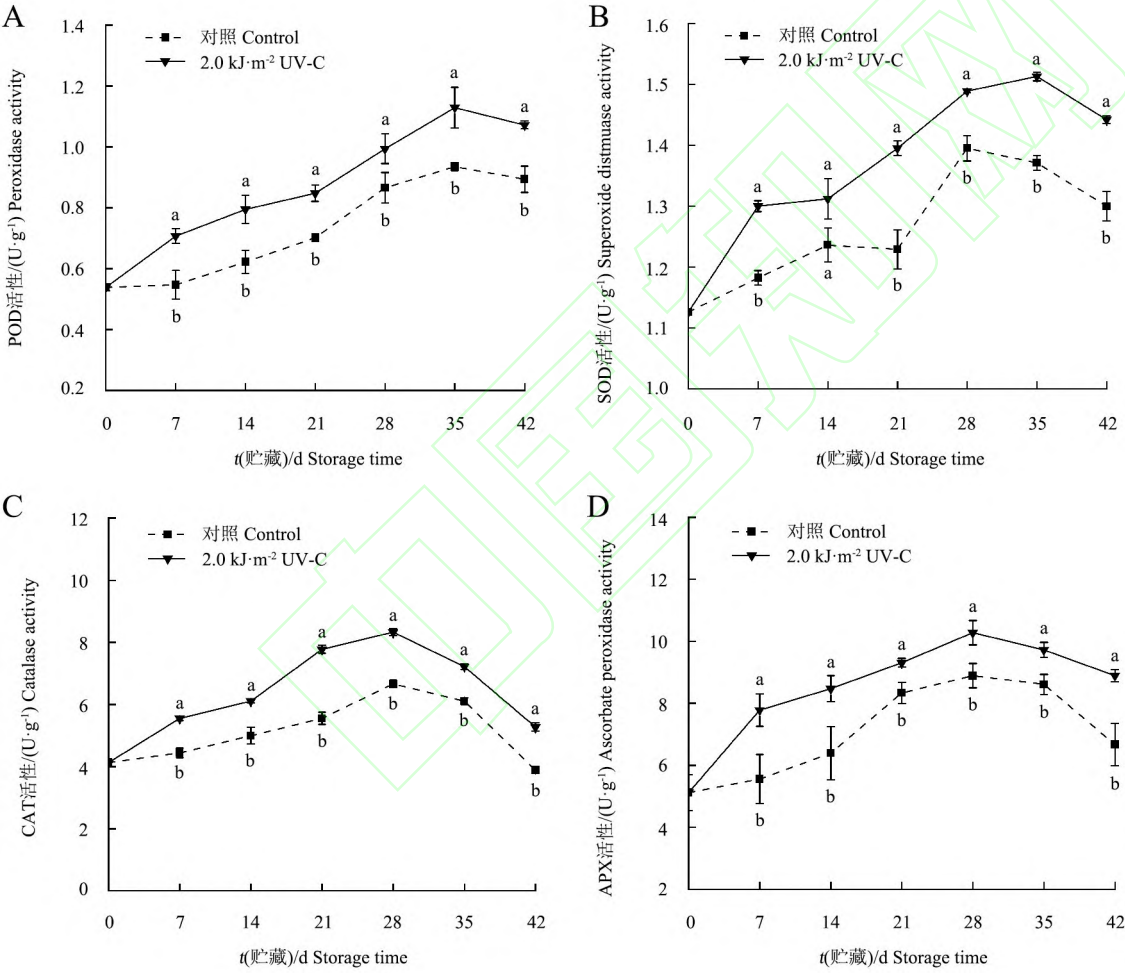
前期 (0~21 d) 缓慢上升, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组较对照组涨幅明显, 贮藏 28 d 的活性最高 ($8.333 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$), 之后缓慢下降。各组 APX 活性在贮藏 0~21 d 迅速上升, 在贮藏 28 d 达到峰值, 此时 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组的 APX 活性是对照组的 1.16 倍 ($P < 0.05$)。贮藏结束时, 对照组的 CAT、APX 活性分别比 $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理组低 26.32%、25.00% ($P < 0.05$)。

3 讨论

西梅属于呼吸跃变型果实, 采收后其自身会通过呼吸作用消耗营养成分来维持正常的生理代谢, 这一过程会直接影响到果实的品质^[23]。UV-C 照射常用于杀灭果蔬表面的病原菌, 抑制微生物的生长与繁殖, 缓解果蔬在贮藏过程中的腐败、品质恶化等问题^[24]。适宜剂量的 UV-C 照射具有保持贮藏期间果实的硬度、色泽及提升感官品质等作用, 同时对果实自身的抗病能力和抗氧化能力有一定的增强作用^[25]。本研究中, $2.0 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理在整个贮藏及货架期间能较好地保持西梅果实的硬度、色泽及可溶性固形物、可滴定酸和 V_c 含量, 降低质量损失率和腐烂率。果实硬度受相对湿度、温度及机械损伤等多种因素的影响, 在贮藏过程中自身呼吸作用及果胶、纤维素类等物质分解也会导致

硬度持续下降^[19],UV-C处理可通过减小果实表面的蒸腾作用和呼吸作用来保持硬度。果实的色泽在很大程度上是由色素的种类和含量决定的,色素发生氧化分解会导致色泽发生改变^[26]。果实的成熟衰老伴随着色泽的变化,UV-C照射可诱导并激活果实的次生代谢^[27],从而促进类黄酮和花色苷等色素物质的合成,改善果实的色泽^[28]。在本研究贮藏期间,西梅果皮的 L^* 呈下降趋势,表明果皮

颜色发生了明显变化,其中,1.5、2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C处理明显减慢 L^* 的下降;相较于对照组,经UV-C处理的 a^* 在贮藏前期有较大幅度的提升,货架期间逐渐降低,表明在果实后熟的过程中,果皮的黄色素不断减少,红色素增多,随着贮藏时间的增加,红色素成为主导色素后发生分解。UV-C处理能有效保持西梅果皮的 L^* 和 a^* ,此结果与郝雅婧等^[29]和Nardello et al^[30]的研究结果一致。



不同字母表示同一贮藏时间下不同 UV-C 处理组与对照组的差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different letters indicate significant variations between different UV-C treated groups and the control group at the same storage time point ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

图6 UV-C 处理对西梅果实活性氧代谢相关酶活性的影响

Fig.6 Effect of UV-C treatment on the activity of enzymes related to reactive oxygen metabolism of prunes

可溶性固形物、可滴定酸和 V_c 含量是果实重要的营养指标,果实在呼吸过程中会消耗自身营养物质来维持正常的生理活动,将自身的糖类化合物等作为呼吸底物^[31]。本研究中,适宜剂量的 UV-C 处理能减慢西梅可溶性固形物、可滴定酸和 V_c 含量的下降,从而保持果实的风味和口感,其中以 2.0 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ UV-C 处理的效果较为明显。这可能是由

于适宜剂量的 UV-C 照射降低了果实的呼吸速率、细胞代谢速率及减慢了呼吸底物糖类化合物的分解、消耗^[32],从而减少了可溶性固形物、可滴定酸和 V_c 的消耗。焦中高等^[33]研究表明,UV-C 处理可保持常温贮藏下甜樱桃果实的可滴定酸含量,且贮藏后期以低剂量 ($0.72、1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$) 处理的效果较好。硬度、质量损失率和腐烂率是果实品质的

重要指标,且能反映其采后成熟与衰老进程^[34]。在本研究贮藏及货架期间,UV-C 处理组西梅果实的质量损失率和腐烂率显著低于对照组,硬度显著高于对照组,表明 UV-C 处理能较好地保持贮藏期间果实的硬度,延缓果实的软化和衰老。张志敏等^[35]在研究 2.4、4.8 kJ·m⁻² UV-C 处理对刺梨果实品质的影响中得出相同的结论。

随着贮藏时间的增加,果蔬中的自由基不断累积并引发或加剧脂质过氧化反应^[21]。活性氧(ROS)是导致果蔬衰老的主要因素,适量的活性氧是启动机体抗氧化防御系统的关键,但过量的活性氧则会形成氧化应激,诱发一系列有害反应^[36]。通过 O₂⁻ 产生速率能评估植物体内活性氧含量,过高的 O₂⁻ 产生速率表明活性氧在细胞中大量累积。本研究中,对照组西梅果实 O₂⁻ 产生速率在贮藏 0~14 d 呈快速上升趋势,而 UV-C 处理组的上升趋势较为缓慢,各组 H₂O₂ 随着贮藏时间的增加逐渐累积,这表明活性氧不断累积,破坏了活性氧代谢体系的稳态。随着西梅果实的成熟,其细胞膜渗透率和 MDA 浓度不断增大,表明其细胞膜的完整性逐渐被破坏。采后新鲜果实处于逆境或受到外界刺激时,其氧化应激系统会快速响应,且 SOD、POD、CAT 和 APX 等酶促抗氧化防御系统中的重要保护酶被激活^[21]。SOD 通过歧化反应清除生物细胞中的 O₂⁻,产生 H₂O₂ 和氧气,而 CAT、POD 和 APX 则可将过量的 H₂O₂ 催化生成水和氧气,它们协同作用以清除植物体内过量累积的活性氧自由基^[37-38]。本研究中,与对照组相比,2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理可增强西梅果实酶促抗氧化防御系统的作用,提高 SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶活性,以维持细胞中活性氧的平衡;同时,UV-C 处理较对照组显著降低了 O₂⁻ 产生速率和 H₂O₂ 浓度,降低了细胞膜透性和 MDA 浓度,即减少了氧化损伤产物,使细胞结构得到保护。综上,西梅果实经 UV-C 照射后,通过提高抗氧化酶活性来增强活性氧清除能力,并减少活性氧在细胞中的累积,从而减弱活性氧对细胞膜的膜脂过氧化作用。在枣^[39]和油桃^[40]等水果的研究中也发现,UV-C 处理可通过增强果实组织中抗氧化系统的作用,调节活性氧代谢,维持细胞中活性氧的稳态。

4 结论

西梅果实采后经 UV-C 处理可保持贮藏及货

架期间较高的硬度及可溶性固形物、可滴定酸和 V_C 含量,显著降低质量损失率和腐烂率,表明 UV-C 处理可较好地保持果实品质;2.0 kJ·m⁻² UV-C 处理可有效提高西梅果实 SOD、POD、CAT 和 APX 活性,降低 O₂⁻ 产生速率、H₂O₂ 浓度和 MDA 浓度,表明 UV-C 处理通过提高抗氧化酶活性来增强活性氧清除能力,减轻活性氧造成的氧化损伤,从而提高采后西梅的贮藏品质。

参考文献(References)

- [1] 易首全,李慧民.喀什地区新梅发展历程[J].新疆农业科技,2022(2):40-41. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3574.2022.02.015.
YI S Q, LI H M. Development course of Xinmei in Kashi area[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2022(2):40-41. DOI: 10.3969/j.issn.1007-3574.2022.02.015.
- [2] 晏文丽,代宇琪,韩森,等.新疆西梅采后生理变化与贮藏保鲜技术研究进展[J].食品工业,2024,45(4):173-177. DOI: 10.3969/j.issn.1004-471X.spqy202404041.
YAN W L, DAI Y Q, HAN M, et al. A review on post-harvest physiological and biochemical changes, storage and preservation of Xinjiang *Prunus domestica* L. [J]. The Food Industry, 2024,45(4):173-177. DOI: 10.3969/j.issn.1004-471X.spqy202404041.
- [3] 吴新怡,潘志涛,朱吟非,等.不同解冻方式对西梅品质的影响[J].食品工业科技,2022,43(18):331-336. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110295.
WU X Y, PAN Z T, ZHU Y F, et al. Effect of different thawing methods on quality of prunes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022,43(18):331-336. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110295.
- [4] MA Y Y, ZHANG X L, LI L L, et al. Delaying fruit softening of 'France' prune (*Prunus domestica* L.) using near-freezing temperature storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022,172:114165. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.114165.
- [5] 刘志旭,朱璇,赵亚婷,等.高浓度 CO₂ 短时处理对西梅采后贮藏品质及抗氧化代谢的影响[J].食品工业科技,2024,45(12):311-318. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080119.
LIU Z X, ZHU X, ZHAO Y T, et al. Effects of short-term treatment with high concentration CO₂ on post-harvest storage quality and antioxidant metabolism of plums[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024,45(12):

- 311–318. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080119.
- [6] XIONG Z F, LI H, LIU Z Y, et al. Effect of 1-MCP on postharvest quality of French prune during storage at low temperature[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(8): e14011. DOI: 10.1111/jfpp.14011.
- [7] ZHAO Y T, WU Y J, ZHANG X, et al. Methyl jasmonate attenuates chilling injury of prune fruit by maintaining ROS homeostasis and regulating GABA metabolism and energy status[J]. Postharvest Biology and Technology, 2025, 220: 113303. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2024.113303.
- [8] ROMANAZZI G, GABLER F M, SMILANICK J L. Pre-harvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments suppress gray mold of table grapes[J]. Plant Disease, 2006, 90(4): 445–450. DOI: 10.1094/PD-90-0445.
- [9] 洪雅敏, 朱庆庆, 刘清, 等. 紫外线在果蔬保鲜方面的研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2017, 36(4): 50–52, 59. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9690.2017.04.011.
- HONG Y M, ZHU Q Q, LIU Q, et al. Research progress of ultraviolet radiation in fruits and vegetables[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2017, 36(4): 50–52, 59. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9690.2017.04.011.
- [10] 罗恩锡, 李真琴, 洪克前, 等. 短波紫外线照射对‘金都’火龙果采后保鲜的影响[J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(5): 353–359. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7791.2021.05.004.
- LUO E X, LI Z Q, HONG K Q, et al. Effect of UV-C irradiation on preservation of *Hylocereus polyrhizus* ‘Jindu’ fruits[J]. Subtropical Plant Science, 2021, 50(5): 353–359. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7791.2021.05.004.
- [11] PHONYIAM O, OHARA H, KONDO S, et al. Postharvest UV-C irradiation influenced cellular structure, jasmonic acid accumulation, and resistance against green mold decay in satsuma mandarin fruit (*Citrus unshiu*) [J]. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2021, 5: 684434. DOI: 10.3389/fsufs.2021.684434.
- [12] 陈铭中, 钟旭美, 林海生, 等. UV-C 处理对采后香蕉贮藏防御性成分和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(2): 528–538. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.029.
- CHEN M Z, ZHONG X M, LIN H S, et al. Effects of UV-C treatment on defensive components and quality of postharvest banana during storage[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2022, 38(2): 528–538. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.029.
- [13] RABELO M C, BANG W Y, NAIR V, et al. UV-C light modulates vitamin C and phenolic biosynthesis in acerola fruit: role of increased mitochondria activity and ROS production[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 21972. DOI: 10.1038/s41598-020-78948-1.
- [14] 麦馨允, 黄江奇, 黄斌, 等. 短波紫外线和低温处理对采后芒果蒂腐病原菌抑菌效果和生理指标的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(4): 764–772. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2020.04.018.
- MAI X Y, HUANG J Q, HUANG B, et al. Effects of ultraviolet-C and cold treatment on *Pestalotiopsis mangiferae* and physiological indices of postharvest mango fruits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(4): 764–772. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2020.04.018.
- [15] 徐方旭, 刘泓远, 何茜, 等. 短波紫外线 (UV-C) 对贮藏蓝莓果实抗氧化活性的影响[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(1): 49–57. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5862.2023.01.009.
- XU F X, LIU H Y, HE Q, et al. Effect of ultraviolet-C on the change of antioxidant activity in stored blueberry fruit[J]. Journal of Shenyang Normal University (Natural Science Edition), 2023, 41(1): 49–57. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5862.2023.01.009.
- [16] YOUNIS M, MOHAMED AHMED I A, AHMED K A, et al. Response surface methodology (RSM) optimization of the physicochemical quality attributes of ultraviolet (UV-C)-treated Barhi dates[J]. Plants, 2022, 11(17): 2322. DOI: 10.3390/plants11172322.
- [17] 王静, 张正红, 李红敏, 等. 紫外线处理对新疆哈密瓜贮藏中几种酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(25): 156–158, 185. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2018.25.047.
- WANG J, ZHANG Z H, LI H M, et al. The influence of ultraviolet treatment on the enzyme activity of Hami melon from Xinjiang during storage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(25): 156–158, 185. DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2018.25.047.
- [18] PRAJAPATI U, ASREY R, VARGHESE E, et al. Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter melon fruit during storage[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 28: 100665. DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100665.
- [19] ABDIPOUR M, HOSSEINFARAH M, NASERI N. Combination method of UV-B and UV-C prevents postharvest decay and improves organoleptic quality of peach fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256: 108564.

- DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108564.
- [20] ZHOU D D, SUN Y, LI M Y, et al. Postharvest hot air and UV-C treatments enhance aroma-related volatiles by simulating the lipoxygenase pathway in peaches during cold storage[J]. Food Chemistry, 2019, 292: 294–303. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.049.
- [21] 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. Postharvest physiological and biochemical experimental guidance of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [22] XU F X, LIU S Y, LIU Y F, et al. The combined effect of ultraviolet-C irradiation and lysozyme coatings treatment on control of brown heart in Huangguan pears[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256: 108634. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108634.
- [23] 任丽花,潘葳,韦航,等.贮藏温度对百香果果皮性状及其活性氧代谢的影响[J].食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 246–254. DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240716003.
- REN L H, PAN W, WEI H, et al. Effects of storage temperature on the characters and reactive oxygen metabolism of peel of *Passiflora edulis* Sims [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2024, 15(17): 246–254. DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240716003.
- [24] MISHRA A K, CHOI S, BAEK K. Application of ultraviolet C irradiation for the increased production of secondary metabolites in plants[J]. The Journal of Animal and Plant Sciences, 2020, 30(5): 1082–1091. DOI: 10.36899/japs.2020.5.0123.
- [25] ZHAO Y Q, ZUO J H, YUAN S Z, et al. UV-C treatment maintains the sensory quality, antioxidant activity and flavor of pepino fruit during postharvest storage[J]. Foods, 2021, 10(12): 2964. DOI: 10.3390/foods10122964.
- [26] JEANA GROSS D. Pigment changes in the pericarp of the Chinese gooseberry (*Actindia chinensis*) during ripening and storage [J]. Acta Horticulturae, 1983(138): 187–194. DOI: 10.17660/actahortic.1983.138.21.
- [27] 胡丽娜.采后 UV-C 处理对水果营养品质和抗氧化活性的影响及相关机理研究[D].北京:中国农业科学院,2016.
- HU L N. Effects and mechanism of UV-C treatment on nutritional quality and antioxidant activity in postharvest fruits[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [28] 王焕宇,姜璐璐,王惠源,等.短波紫外线对草莓采后腐烂、苯丙烷类代谢和抗氧化活性的影响[J].食品科学, 2015, 36(10): 221–226. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201510044.
- WANG H Y, JIANG L L, WANG H Y, et al. Effects of UV-C treatment on postharvest decay, antioxidant activity and phenylpropanoid metabolism in strawberry fruit [J]. Food Science, 2015, 36(10): 221–226. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201510044.
- [29] 郝雅婧,王燕,张雄,等.短波紫外线、热空气和丁香酚处理对“晚秋红心桃”采后病害的抑制作用及果实品质的影响[J].食品与发酵工业, 2023, 49(11): 247–253. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031829.
- HAO Y J, WANG Y, ZHANG X, et al. Research on effects of ultraviolet-C, hot air and eugenol treatments on postharvest disease inhibition and quality of ‘Wanqiu Hongxintao’ peaches [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(11): 247–253. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031829.
- [30] NARDELLO I C, CANTILLANO R F F, RIBEIRO J A, et al. Quality of strawberries subjected to pre-harvest UV-C radiation [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2021, 56: e01590. DOI: 10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.01590.
- [31] SARI L K, SETHA S, NARADISORN M. Effect of UV-C irradiation on postharvest quality of ‘Phulae’ pineapple [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 213: 314–320. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.09.049.
- [32] 李晓宇,杜小龙,刘影,等.UV-C 结合新型生物保鲜纸对水蜜桃常温贮藏品质的影响[J].食品科技, 2019, 44(6): 56–62. DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2019.06.010.
- LI X Y, DU X L, LIU Y, et al. Effect of UV-C combined with new biological preservation paper on storage quality of honey peaches at room temperature [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(6): 56–62. DOI: 10.13684/j.cnki.spkj.2019.06.010.
- [33] 焦中高,刘杰超,刘慧,等.短波紫外线辐照处理对采后甜樱桃果实营养品质和抗氧化活性的影响[J].中国食品学报, 2017, 17(1): 170–178. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2017.01.022.
- JIAO Z G, LIU J C, LIU H, et al. Effect of postharvest UV-C irradiation on nutrition properties and antioxidant activity of sweet cherry during storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(1): 170–178. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2017.01.

- 022.
- [34] 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].现代食品科技,2025,41(1):136–144. DOI: 10.13982/j.mfst.1673–9078.2025.1.1447.
- JIA W J, LIU C H, WANG Y, et al. Effects of ultraviolet-C treatment on the storage quality and postharvest physiology of ‘Golden’ passion fruit[J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(1): 136–144. DOI: 10.13982/j.mfst.1673–9078.2025.1.1447.
- [35] 张志敏,冉旭勇,侯发民,等.短波紫外线辐射处理对刺梨果实贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(16):201–207. DOI: 10.13995/j.cnki.11–1802/ts.024226.
- ZHANG Z M, RAN X Y, HOU F M, et al. Effect of UV-C treatment on storage quality of *Rosa roxburghii* Tratt[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(16): 201–207. DOI: 10.13995/j.cnki.11–1802/ts.024226.
- [36] RIVERA-PASTRANA D M, GARDEA A A, YAHIA E M, et al. Effect of UV-C irradiation and low temperature storage on bioactive compounds, antioxidant enzymes and radical scavenging activity of papaya fruit[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(12): 3821–3829. DOI: 10.1007/s13197-013-0942-x.
- [37] 王兆丰,代华,高义霞,等.多酚处理对甜樱桃采后品质和活性氧代谢的影响[J].南方农业学报,2024,55(2):578–588. DOI: 0.3969/j.issn.2095–1191.2024.02.027.
- WANG Z F, DAI H, GAO Y X, et al. Effects of polyphenol treatment on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism in *Prunus avium* L.[J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(2): 578–588. DOI: 0.3969/j.issn.2095–1191.2024.02.027.
- [38] 石慧敏,任新雅,张昱,等.苹果酸对采后杏果实品质和活性氧代谢的影响[J].食品工业科技,2024,45(22):289–296. DOI: 10.13386/j.issn1002–0306.2023120302.
- SHI H M, REN X Y, ZHANG Y, et al. Effects of malic acid treatment on quality and active oxygen metabolism of postharvest apricot fruits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(22): 289–296. DOI: 10.13386/j.issn1002–0306.2023120302.
- [39] JIA L L, LI Y, LIU G S, et al. UV-C delays senescence in ‘Lingwu Long’ jujube fruit by regulating ROS and phenylpropanoid metabolism[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2023, 194:383–393. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.11.030.
- [40] ZHANG W L, JIANG H T, CAO J K, et al. UV-C treatment controls brown rot in postharvest nectarine by regulating ROS metabolism and anthocyanin synthesis[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180:111613. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111613.