

采后 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实酚类物质及抗氧化活性的影响

焦中高, 胡丽娜, 张春岭, 刘慧, 杨文博, 吕真真, 王思新, 刘杰超

(中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009)

摘要: 研究了采后 UV-C 辐照对软枣猕猴桃贮藏期间果实品质、酚类物质含量和抗氧化活性的影响。将果实采摘后立即用不同剂量 (1.05、2.1 和 4.2 kJ/m²) 的 UV-C 辐照处理, 随后跟踪测定其在室温贮藏和冷藏期间硬度、可溶性固形物、总酚、总黄酮、总花色苷含量和抗氧化活性的变化。结果显示, UV-C 处理能够提高果实贮藏期间可溶性固形物含量, 延缓果实硬度下降, 并显著促进了果实总酚、总黄酮及总花色苷的合成与积累, 有效提高果实贮藏期间的抗氧化活性。室温贮藏条件下 UV-C 处理果实酚类物质含量达到最大时的剂量及其效应时间为 4.2 kJ/m² UV-C 辐照后贮藏 5 d; 冷藏条件下为 1.05 kJ/m² UV-C 辐照后贮藏 3 d。UV-C 辐照处理可作为一种安全无毒的采后处理方式改善和提高软枣猕猴桃果实品质、酚类物质含量和抗氧化活性。

关键词: UV-C; 采后处理; 软枣猕猴桃; 酚类物质; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2016)11-177-183

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.11.027

Effect of Ultraviolet-C Irradiation on Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Postharvest *Actinidia arguta* Fruit

JIAO Zhong-gao, HU Li-na, ZHANG Chun-ling, LIU Hui, YANG Wen-bo, LV Zhen-zhen, WANG Si-xin, LIU Jie-chao

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: The effect of ultraviolet (UV)-C irradiation at different dosages on fruit quality, phenolic contents, and antioxidant activity of *Actinidia arguta* during storage were investigated. Fresh fruits were exposed to different doses (1.05, 2.1, and 4.2 kJ/m²) of shortwave UV-C immediately after harvest, while fruit firmness, total soluble solid content, total phenolic content, flavonoid content, anthocyanin content, and antioxidant capacity of *Actinidia arguta* were determined during room-temperature storage and cold storage. The results showed that UV-C treatment increased the total soluble solid content, delayed the decrease in fruit firmness, significantly enhanced the synthesis and accumulation of total phenolics, total flavonoids, and anthocyanins, and effectively improved the antioxidant activity of fruit during storage. When stored at 25 °C, the fruits treated with 4.2 kJ/m² UV-C irradiation showed the highest content of phenolic compounds after five days of storage. During storage at 0 °C, the highest phenolic content was reached in fruits treated with 1.05 kJ/m² UV-C irradiation and stored for three days. These results suggest that UV-C irradiation can serve as a safe and non-toxic postharvest treatment method to improve and enhance fruit quality, phenolic content, and antioxidant activity of *Actinidia arguta* fruits.

Key words: ultraviolet C; postharvest; *Actinidia arguta*; fruit quality; phenolic compound; antioxidant activity

酚类物质是一类与植物抗逆性有关的次级代谢产物^[1], 也是果实中重要的功能性成分, 具有抗氧化、清除自由基、抗衰老、抗癌防癌、抗辐射和预防心脑血管疾病等生理功能, 其含量和活性已成为评价果实营养品质的重要指标^[2]。当受到水分、温度和光照等

收稿日期: 2015-12-27

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目 (CAAS-ASTIP-2015-ZFR1); 河南省基础与前沿技术研究项目 (152300410139)

作者简介: 焦中高 (1972-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 果品营养与保鲜加工

环境胁迫时, 植物体会产生酚类物质以抵御外界不良环境的影响^[3]。有研究显示, 紫外线胁迫能显著促进植物体内多酚类物质的合成与积累^[4], 这一结果在采后果实中也得到了证实。Sun 等^[5]研究发现采后紫外线处理能够促进中国沙梨果实花青素的合成与积累。Claudia 等^[6]研究证实, 经采后紫外线处理后的桃果实总酚、类黄酮和花青素含量均有显著增加。Sergio^[7]等研究表明, 采后 UV-C 处理能明显诱导番茄果实总酚的积累。因此, 采后紫外线辐照处理可作为一种促进果实多酚含量积累、进一步增强其生理功能的技术

手段。我国猕猴桃属自然资源丰富,其中红肉软枣猕猴桃富含类黄酮和花青素等酚类生物活性物质^[8],并具有果型小巧,果面光滑无毛,可连皮食用等多种经济性状^[9],具有较高的营养价值和经济价值,可作为功能性水果,也是开发保健果酒等产品的绝佳原料。目前有关采后 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实在贮藏过程中酚类物质含量和抗氧化活性的影响尚未有报道。本文以中国农业科学院郑州果树研究所选育的全红型软枣猕猴桃“天源红”为试材,研究了果实经不同剂量 UV-C 处理后在室温贮藏和冷藏期间硬度、可溶性固形物,酚类物质含量及抗氧化活性的变化,初步探索促进果实酚类物质积累的适宜处理剂量和贮藏时间,为利用采后处理技术提高软枣猕猴桃果实营养品质与保健功能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“天源红”软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta* ‘Tianyuanhong’) 果实采自河南洛阳栾川种植基地,采收当天运回实验室,在室温条件下摊晾一小时平衡果实温度,挑选果型大小一致、无病虫害及机械损伤、七成熟(果实表皮有轻微转红)果实作为实验材料,采用完全随机设计方法,在室温条件下对其进行紫外线辐照处理。

没食子酸标准品、DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼): 美国 Sigma 公司; 芦丁与抗坏血酸标准品: 中国食品药品检定研究院; 其它试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

JK 500 DV 双频恒温超声波清洗器, 合肥金尼克机械制造有限公司; Specord 50 紫外-可见分光光度计, 德国 Analytic Jena 公司; TA-XT2i 型质构仪, 英国 Stable micro systems 公司; PAL-1 0~53% 数显手持糖度计, 日本 ATAGO(爱宕); BS214D 电子天平, 德国赛多利斯公司; H2050R 台式高速冷冻离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

采用紫外杀菌灯管 (253.7 nm, 20 W) 作为 UV-C 辐照源, 在灯管正下方 20 cm 处对果实进行辐照, 根据不同照射时间设置 4 个辐射剂量: 0 kJ/m²(ck)、1.05 kJ/m²、2.1 kJ/m² 和 4.2 kJ/m², 每个剂量处理 180 个果实, 重复 3 次。处理后将果实装入扎孔的保鲜袋中,

分别在室温 (25±2 °C) 和冷藏 (0±1 °C, RH 为 95%) 条件下避光贮藏。室温贮藏组于处理后 0、1、2、3、4、5 及 6 d 分别取样测定, 冷藏组于处理后 0、3、7、14、21、28 和 35 d 分别取样测定 (冷藏期间未观察到冷害)。

1.3.2 软枣猕猴桃甲醇提取物制备

取样后立即用榨汁机将果实打成浆状, 准确称取果浆 2 g, 加入含 0.1% 甲酸的甲醇溶液 8 mL, 于室温条件下超声波 (频率 49 kHz) 辅助提取 10 min, 然后离心分离 (4 °C, 9000 r/min), 取上清液, 残渣用 0.1% 甲酸的甲醇溶液重复提取 2 次, 合并上清液, 定容后于 -80 °C 冰箱中保存, 用于总酚、总黄酮、总花色苷和抗氧化活性的测定。

1.3.3 硬度的测定

硬度采用英国 TA-XT2i 型质构仪测定, 探头直径为 5 mm, 探头以 3 mm/s 的穿刺速率下压, 下压深度为 5 mm, 读取最大峰值力(g)为硬度指标。

1.3.4 可溶性固形物测定

手持糖度仪测定。

1.3.5 还原糖测定

参照 GB/T 5009.7-2008 食品中还原糖的测定方法。

1.3.6 总酚含量的测定

Folin-Ciocalteus 法^[10], 以没食子酸为标准品。

1.3.7 总黄酮含量的测定

硝酸铝比色法^[11], 以芦丁为标准品。

1.3.8 总花色苷含量测定

PH 示差法^[12]。

1.3.9 抗氧化活性测定

分别采用 DPPH 自由基清除法^[13]和普鲁士蓝法^[14]测定, 以不同处理软枣猕猴桃甲醇提取物对 DPPH 自由基的清除率和总还原能力来表示软枣猕猴桃果实的抗氧化活性。

1.4 统计分析

使用 Excel 和 SAS 9.2 软件分析及处理数据, 样品作三次平行。显著性分析采用 Duncan's 多重比较法, $p < 0.05$ 。使用 excel 对数据进行图表制作。

2 结果与讨论

2.1 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间硬度的影响

果实硬度是指示软枣猕猴桃采后耐贮性的重要品

质指标之一。从图 1 可知, 室温贮藏和冷藏条件下对照组和处理组果实硬度不断下降。与对照相比, 各剂量 UV-C 处理组的果实硬度在整个贮藏期间略高于对照, 但差异不显著 ($p>0.05$)。说明 UV-C 处理对果实贮藏期间硬度的影响较小, 不会对果实贮藏期间硬度变化造成不利影响。

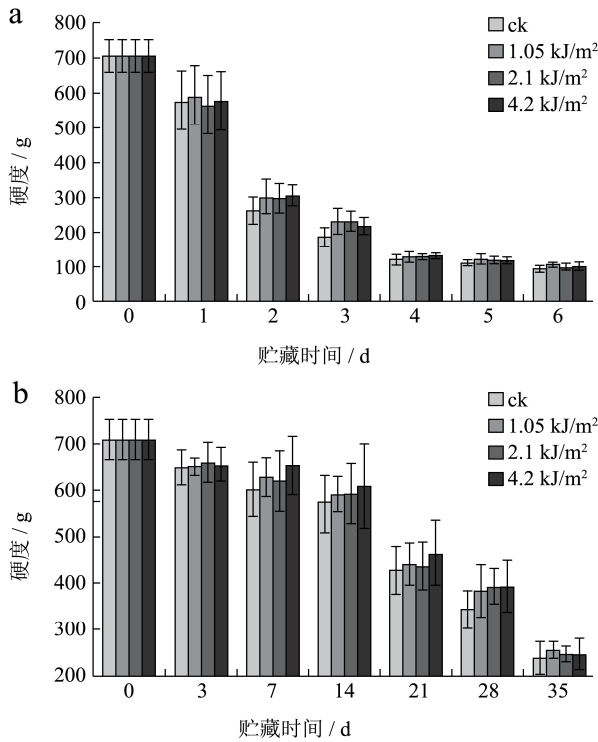


图 1 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃果实硬度变化

Fig.1 Changes in firmness of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold (b)

2.2 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间可溶性固形物的影响

室温贮藏和冷藏条件下对照组和处理果实的可溶性固形物含量变化如图 2 所示。室温贮藏 (图 2a) 前期, 对照组和处理组果实可溶性固形物含量逐渐增加, 而处理组明显高于对照 ($p<0.05$)。随着贮藏时间的延长, 果实可溶性固形物含量不再变化, 处理组亦与对照无显著差异。这可能是由于采后 UV-C 处理能够促进果实中的淀粉等多糖物质向可溶性糖的转化^[15], 进而提高了可溶性固形物含量。随着贮藏时间的延长, 果实中的淀粉等多糖类物质被大量消耗, 导致处理组和对照组的可溶性固形物均不再增加。

冷藏条件下 (图 2b), 对照组和处理组果实的可溶性固形物随着贮藏时间的延长而增加, 但处理组果

实的可溶性固形物多与对照无显著性差异甚至低于对照。这可能是由于低温条件下果实的各项生理代谢速率降低, 而 UV-C 处理会降低果实的呼吸强度^[16], 进一步降低了果实中淀粉等物质向可溶性糖转化的速率所致。冷藏 28 d 后, 中高剂量处理组 (2.1 和 4.2 kJ/m²) 可溶性固形物显著高于对照, 冷藏结束时分别比对照增加了 10.83% 和 5.59%。这可能是由于随着贮藏时间的延长, 果实发生呼吸跃变, 解除了 UV-C 处理对果实呼吸作用的抑制效应, 使得果实中淀粉等多糖类物质大量的转化为可溶性糖, 从而使此时的 UV-C 处理组果实表现出比对照组更高的可溶性固形物含量。

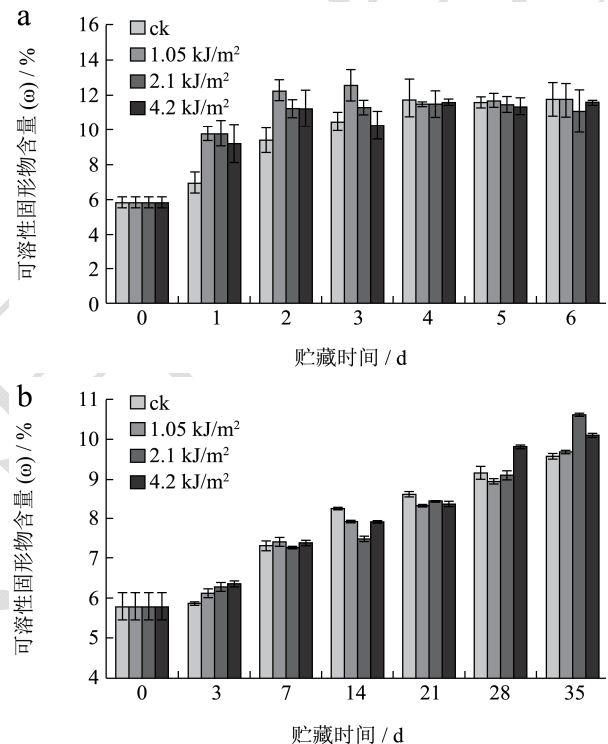


图 2 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃可溶性固形物含量变化

Fig.2 Changes in the soluble solid content of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

2.3 UV-C 处理对软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间总酚含量的影响

经 UV-C 处理后软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏条件下总酚含量变化如图 3 所示。室温贮藏条件下 (图 3a), 对照组和处理组果实总酚含量变化均呈先升高后降低再升高的趋势, 其中 1.05 kJ/m² 和 2.1 kJ/m² 处理组总酚含量始终高于对照, 4.2 kJ/m² 处理组也在贮藏 3 d 后明显增加 ($p<0.05$)。以上结果表明果实酚类物质在采后贮藏过程中会继续合成, 随后可能因果实衰

老而下降, 继而因果实发生失水而使得其中的酚类物质含量又呈现增加的趋势。UV-C 处理对果实酚类物质含量的积累有促进作用。比较各剂量间差异发现, 贮藏前期随着处理剂量的增加总酚含量有降低趋势, 这可能由于高剂量处理会诱导果实苯丙烷代谢在短期贮藏内朝着木质素合成的方向进行而减少了酚类物质的积累, 抑或高剂量 UV-C 辐照超出了果实的抗逆响应能力, 消耗了部分酚类物质以清除过度胁迫生成的自由基所致。而到贮藏后期高剂量组总酚含量更高, 可能是由于高剂量 UV-C 胁迫刺激了果实次级代谢的持续发生, 进而促使其在贮藏过程中不断合成与积累酚类物质。以上研究表明, 不同剂量的 UV-C 处理能够有效促进果实在相应适宜贮藏期间内酚类物质的积累, 其中低剂量组在贮藏初期, 高剂量组在贮藏后期酚类物质含量更高。比较各处理组总酚含量峰值可知, UV-C 处理促进果实总酚达到最大积累对应的剂量及其效应时间为 4.2 kJ/m²UV-C 处理后贮藏 5 d。

以上结果表明低温冷藏不利于果实酚类物质的积累, UV-C 处理能够在一定程度上延缓果实总酚含量的下降。此外, 与室温贮藏时相比, 冷藏延缓了中剂量促进果实总酚含量积累的效应时间, 但也抵消了贮藏初期高剂量组可能因过度胁迫而导致的总酚含量下降的不利影响。由上述结果可知低温贮藏会抑制果实的各项生理代谢活动, 并减弱 UV-C 处理对果实次级代谢的刺激效应。比较可知, 果实经 1.05 kJ/m²UV-C 处理后冷藏 3 d 时总酚含量最高。

2.4 UV-C 处理对软枣猕猴桃室温贮藏和冷藏期间总黄酮含量的影响

UV-C 处理软枣猕猴桃室温贮藏和冷藏期间总黄酮含量变化如图 4 所示。室温贮藏条件下 (图 4a), 对照组总黄酮含量变化表现为先降低后升高, 而中低剂量处理组表现为先升高后降低再升高, 各剂量处理组总黄酮含量始终多高于对照。其中, 1.05 kJ/m² 和 2.1 kJ/m² 处理组总黄酮含量最大分别比对照增加了 70.34% (第 6 d) 和 80.64% (第 3 d), 4.2 kJ/m² 处理组总黄酮含量 (除第 1 d 外) 亦比对照有明显增加。比较各剂量间差异发现, 贮藏 1 d 时处理组总黄酮的含量随着处理剂量的增加而降低, 随后 2~4 d 中剂量组高于低剂量组, 5~6 d 时低剂量组高于中剂量组。整个贮藏过程中, 高剂量 (4.2 kJ/m²) 组的总黄酮含量多低于中低剂量组。以上结果表明, 采后果实总黄酮不再产生, 其含量在贮藏过程中先下降后升高可能与果实衰老和失水有关。而 UV-C 处理组果实总黄酮含量在一定贮藏时间内有显著增加, 说明 UV-C 辐照诱导了类黄酮的合成。比较各剂量处理组总黄酮含量变化发现, 1.05 kJ/m² 的 UV-C 处理组总黄酮含量增加的效应时间要晚于 2.1 kJ/m²UV-C 处理组, 其原因可能是低剂量 UV-C 辐照能量较低, 引起果实发生抗逆响应合成总黄酮积累所需时间更长。高剂量 UV-C 处理虽亦能促进果实类黄酮的积累, 但多数时期效力不及中低剂量组。这可能是由于高剂量 UV-C 辐照更能刺激类黄酮代谢下游产物的合成, 使其作为前体物质而被消耗, 同时与其用于清除过度胁迫产生的自由基有关。比较各剂量处理组总黄酮含量最大值可知, 贮藏 5 d 后 4.2 kJ/m² 处理组总黄酮含量最高。

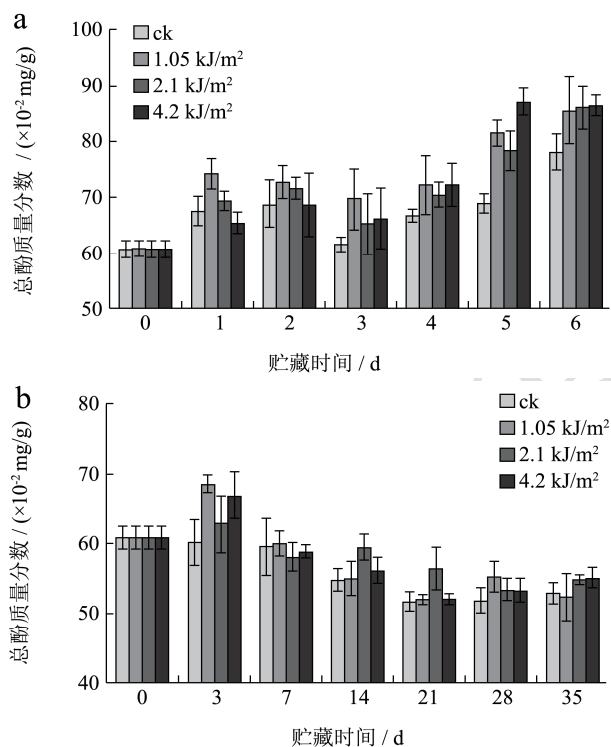


图 3 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃总酚含量变化

Fig.3 Change in the total phenolic content of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

冷藏条件下 (图 3b), 对照组和处理组总酚含量随着贮藏时间的延长有降低趋势。但与对照相比, 1.05 kJ/m² 和 4.2 kJ/m² 处理组总酚含量在贮藏 3 d 后分别高出 14.1% 和 11.27%, 达到显著性差异 ($p < 0.05$), 而 2.1 kJ/m² 处理组在冷藏 14~21 d 时亦显著高于对照。

冷藏条件下 (图 4b), 对照组总黄酮含量先降低后升高, 但始终低于初始值。各剂量 UV-C 处理延缓了总黄酮含量的下降, 且在贮藏 28 d 内处理组总黄酮含量多高于对照。其中贮藏 3 d 后各剂量处理组总黄酮含量在分别比对照增加了 10.30%、15.12% 和

19.97%, 14~21 d 内 2.1 kJ/m² 和 4.2 kJ/m² 处理组总黄酮含量亦显著高于对照 ($p<0.05$)。这一结果与总酚含量变化情况类似, 不同的是低温贮藏并未延缓中剂量 (2.1 kJ/m²) 刺激总黄酮含量积累的效应时间, 且同样促进了高剂量 (4.2 kJ/m²) 组在 14~21 d 内总黄酮的增加, 这一结果可能是由于较高剂量的 UV-C 辐照能够显著激活果实中的类黄酮代谢所致。比较各剂量组总黄酮含量的峰值可知, 果实总黄酮含量经 4.2 kJ/m² 处理后冷藏 3 d 达到最大。

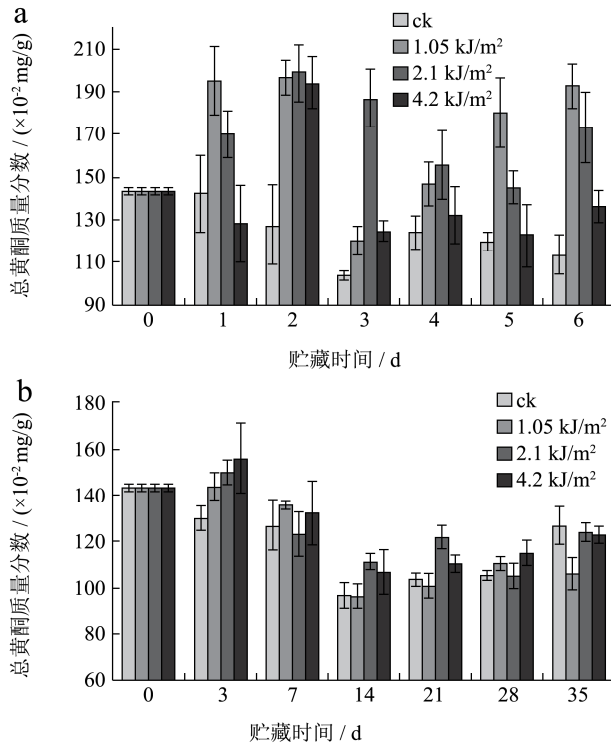


图4 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃总黄酮含量变化

Fig.4 Changes in the total flavonoid content of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different dosages of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

2.5 UV-C 处理对软枣猕猴桃室温贮藏和冷藏期间总花色苷含量的影响

经 UV-C 处理后软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间总花色苷含量变化如图 5 所示。室温贮藏条件下 (图 5a), 对照组和处理组总花色苷含量不断增加。1.05 kJ/m² 处理组在贮藏 2 d 后总花色苷始终高于对照 ($p<0.05$), 2.1 kJ/m² 和 4.2 kJ/m² 处理组在各贮藏期总花色苷含量均明显高于对照 ($p<0.05$)。贮藏结束时, 各剂量处理组总花色苷含量增加量达到最大, 分别比对照增加 57.71%, 112.47% 和 141.25%。各时期处理组总花色苷含量有随剂量的增加而增加的趋势, 可能

是由于果实花色苷的合成需经由苯丙烷代谢途径和类黄酮代谢途径产生足量前体物质后方可进行, 驱动这一代谢路径的完成可能需要更高能量的 UV-C 处理。比较各剂量组花色苷含量最大值可知, 高剂量 (4.2 kJ/m²) 处理组贮藏 6 d 后花色苷含量最高。

冷藏条件下 (图 5b), 各剂量处理组总花色苷含量在贮藏 3 d 后显著增加, 分别比对照增加了 20.46%、19.01% 和 16.50%。随后仅中高剂量处理组分别在贮藏至 14、35 d 和 14、28 d 时比对照有明显增加, 其余时期各处理组与对照无显著差异甚至低于对照。这一结果表明低温贮藏不利于 UV-C 处理对果实花色苷合成与积累的诱导, 其原因可能是低温抑制了果实的各项生理活动, 使 UV-C 辐照诱导的次级代谢未能朝花色苷合成途径进行。比较各剂量处理组花色苷含量最大值可知, 高剂量处理 (4.2 kJ/m²) 并冷藏 28 d 后果实花色苷含量最高。

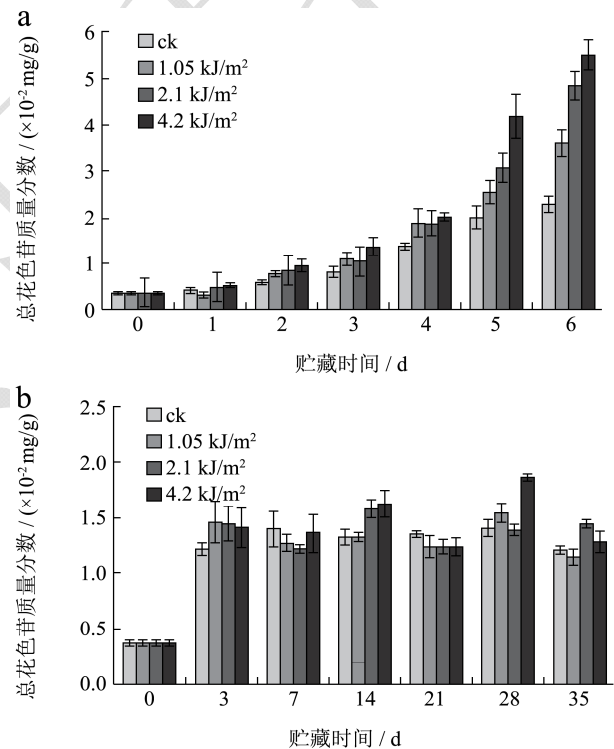


图5 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃总花色苷含量变化

Fig.5 Changes in the total anthocyanin content of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

2.6 UV-C 处理对软枣猕猴桃抗氧化活性的影响

2.6.1 UV-C 处理对软枣猕猴桃 DPPH 自由基清除活性的影响

经 UV-C 处理后软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间 DPPH 清除率含量变化如图 6 所示。室温贮藏和冷藏期间, 对照组和各剂量处理组 DPPH 清除率变化趋势与总酚变化结果类似。室温贮藏(图 6a) 至第 5 d 时, 各剂量组 DPPH 清除率分别比对照增加了 18.22%、16.47%和 22.59%, 达到显著性差异($p < 0.05$)。比较各剂量组 DPPH 清除率峰值可知, 经 4.2 kJ/m²UV-C 处理的果实贮藏 5 d 后 DPPH 清除率最大。冷藏期间(图 6b), 1.05 kJ/m² 处理组冷藏期间 DPPH 清除率除贮藏至 35 d 时略有降低外, 其余时期均高于对照, 最大比对照高 9.97%, 2.1 kJ/m² 和 4.2 kJ/m² 处理组 DPPH 清除率亦多高于对照(第 7 d 除外), 最大分别比对照高 8.25%和 5.58%。以上结果表明果实 DPPH 清除率变化与总酚含量变化具有较高的相关性, UV-C 处理可能通过促进贮藏期间果实酚类物质的积累而提高了果实 DPPH 自由基清除能力。

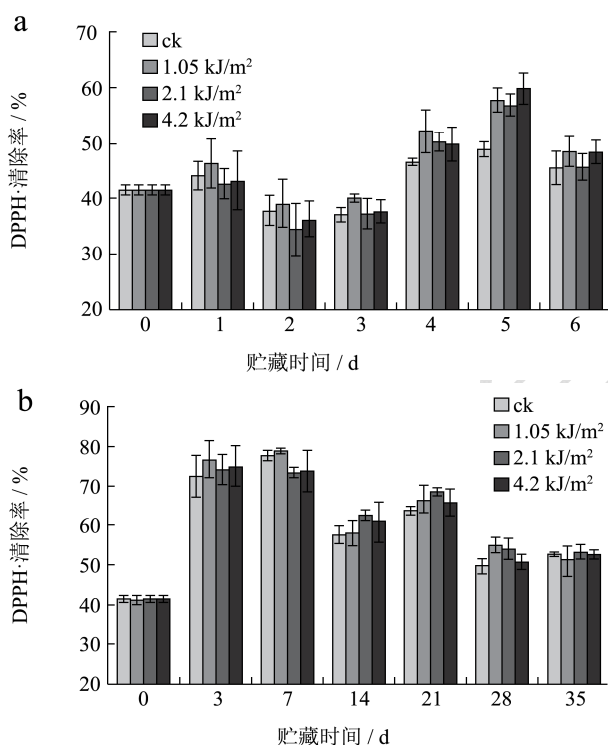


图 6 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃 DPPH 清除率变化

Fig.6 Changes in the DPPH scavenging capacity of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

2.6.2 UV-C 处理对软枣猕猴桃还原力的影响

经 UV-C 处理后软枣猕猴桃果实室温贮藏和冷藏期间还原能力变化如图 7 所示。室温贮藏 1 d 后(图 7a), 2.1 kJ/m² 处理组还原力显著高于对照 ($p < 0.05$)。随后贮藏至第 5 d 时, 2.1 kJ/m² 和 4.2 kJ/m² 处理组还原能力显著提高, 分别比对照高出 16.23%和 24.56%。

各剂量间差异表现为中剂量组还原力在贮藏初期, 高剂量组在贮藏后期显著高于其他剂量组, 这与 DPPH 清除率变化结果基本一致。冷藏期间(图 7b), 1.05 kJ/m² 处理组总还原力变化情况与 DPPH 自由基清除率变化一致, 最大比对照高 8.08%, 2.1 kJ/m² 处理组最大比对照高 7.93%。以上结果表明 UV-C 处理能有效提高果实贮藏期间总还原能力。

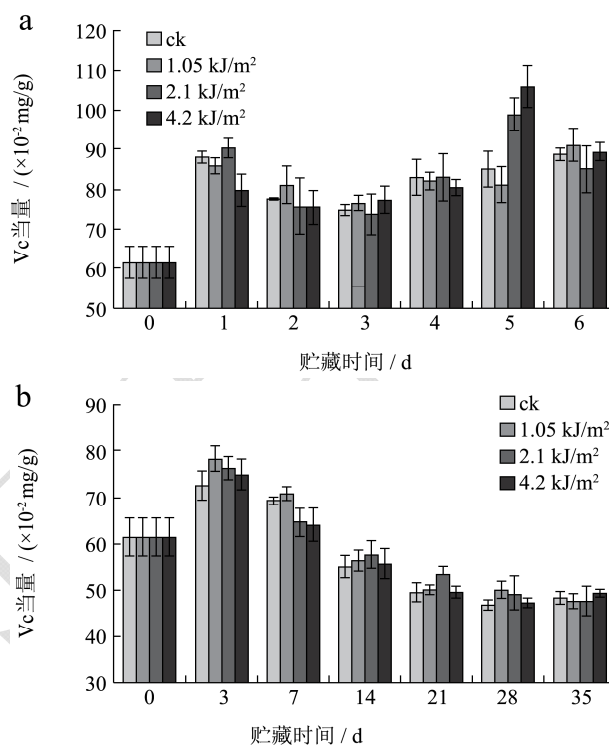


图 7 不同剂量 UV-C 处理后室温贮藏 (a) 和冷藏 (b) 期间软枣猕猴桃还原力变化

Fig.7 Changes in the reducing power of *Actinidia arguta* fruit irradiated with different doses of UV-C during storage at room temperature (a) and in cold storage (b)

3 结论

UV-C 处理能延缓软枣猕猴桃果实硬度下降, 提高果实贮藏期间的可溶性固形物含量。总酚、总黄酮与总花色苷等生物活性物质含量在室温贮藏和冷藏期间均有显著增加, 且室温贮藏条件下的抗氧化活性亦有明显增加。综合各指标结果得出: 室温贮藏条件下果实的最佳处理剂量为 4.2 kJ/m², 贮藏时间为 5 d; 冷藏条件下果实的最佳处理剂量为 1.05 kJ/m², 贮藏时间为 3 d。由上述可知, 采后 UV-C 处理在改善软枣猕猴桃果实品质, 提高其生物活性成分含量和营养保健功能方面具有潜在的应用价值。

参考文献

[1] Arti B, Rakesh M, Pushpa L, et al. Role of secondary

- metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2013, 32(1): 216-232
- [2] Ogah O, Watkins S C, Ubi E B, et al. Phenolic compounds in rosaceae fruit and nut crops [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(39): 9369-9386
- [3] Akula R, Gokare R A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants [J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2011, 6(11): 1720-1731
- [4] Lee M J, Son J E, Oh M M. Growth and phenolic compounds of *Lactuca sativa L.* grown in a closed-type plant production system with UV-A, -B, or -C lamp [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(2): 197-204
- [5] Sun Y W, Qian M J, Wu R Y, et al. Postharvest pigmentation in red Chinese sand pears (*Pyruspyrifolia Nakai*) in response to optimum light and temperature [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 91(2): 64-71
- [6] Claudia S, Antonella C, Susanne N, et al. Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines [J]. *Food Chemistry*, 2014, 163(3): 51-60
- [7] Bravo S, Alonso G J, Pozuelo M G, et al. Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2013, 48(8): 1744-1749
- [8] 王菲,许金光,刘长江.软枣猕猴桃中的功能保健成分及其在食品加工中的应用[J].*食品工业科技*,2010,31(8):421-423
WANG Fei, XU Jin-guang, LIU Chang-jiang. Functional and healthy components in *Actinidia arguta* and their applications in food processing [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(8): 421-423
- [9] 齐秀娟,方金豹,韩礼星,等.全红型软枣猕猴桃品种‘天源红’的选育[M].北京:科学出版社,2011
QI Xiu-juan, FANG Jin-bao, HAN Li-xing, et al. New all-red kiwifruit cultivars ‘Tianyuanhong’ [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [10] 李静,聂继云,李海飞,等.Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J].*果树学报*,2008,25(1):126-131
LI Jing, NIE Ji-yun, LI Hai-fei, et al. On determination conditions for total polyphenols in fruits and its derived products by Folin-phenol methods [J]. *Journal of Fruit Science*, 2008, 25(1): 126-131
- [11] 张兰杰,谷昊,随晓慧.野生软枣猕猴桃总黄酮含量的测定[J].*中国野生植物资源*,2005,24(4):49-51
ZHANG Lan-jie, GU Hao, SUI Xiao-hui. Determination of the total content of flavones in *Actinidia arguta (Sieb.et Zucc.)* planch [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2005, 24(4): 49-51
- [12] Giusti M M, Wrolstad R E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy [M]. New York: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Wrolstad R E (ed.), John Wiley & Sons, 2001
- [13] 区惠敏,郭娟,龚玉石,等.甘蔗渣多酚的纯化及抗氧化活性研究[J].*现代食品科技*,2013,29(7):1596-1600
OU Hui-min, GUO Juan, GONG Yu-shi, et al. Purification and antioxidant activity of sugarcane pomace polyphenols [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(7): 1596-1600
- [14] LI C M, WANG M H. Antioxidant activity of peach blossom extracts [J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2011, 54(1): 46-53
- [15] 董维.UV-C 对甜樱桃采后腐烂的控制[D].北京:中国农业大学,2003
DONG Wei. The control of low dose ultraviolet light-C on postharvest rot of sweet cherry [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003
- [16] Interdonato R, Rosa M, Nieva C B, et al. Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2011, 70(2-3): 204-211