

UV-C 与柠檬酸处理对采后香蕉贮藏品质的影响

易 茜, 吴 宁, 李景原, 王瀚博, 张 亮*

河南师范大学生命科学学院, 河南新乡 453007

摘 要: 香蕉是富含营养物质且具有重要经济价值的热带水果, 也是中国南方四大水果之一。香蕉是一种典型的呼吸跃变型果实, 采后乙烯的大量释放使香蕉在贮藏过程中加快成熟和衰老, 影响香蕉贮藏保鲜及经济价值。因此有必要研究提高香蕉采后贮藏品质的技术方法, 为实践应用提供理论依据。本研究以采后香蕉为材料, 分别通过 UV-C 辐照、柠檬酸浸泡以及二者的复合处理 3 种方法处理香蕉, 在温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、湿度为 60%~70% 的条件下黑暗贮藏 12 d, 分别于贮藏期的第 1、6、9、12 天对各组进行随机取样, 通过测定硬度、失重率、可滴定酸含量、可溶性固形物含量等生理和品质指标, 研究不同处理方法对采后香蕉贮藏品质的影响。结果表明: $3.96\times 10^{-2}\text{ KJ/m}^2$ UV-C 辐照和复合处理 ($3.96\times 10^{-2}\text{ KJ/m}^2$ UV-C 辐照+2.0%柠檬酸) 对香蕉的保鲜效果明显优于柠檬酸处理, 表现为显著抑制果实硬度的下降, 延缓失重率的增加, 抑制可溶性固形物含量的增加和可滴定酸含量的下降, 维持果实糖酸比。在贮藏结束时, 与 CK 相比, UV-C 辐照和复合处理的香蕉硬度分别增加 9.09% 和 13.63%, 失重率分别减少 22.00% 和 11.43%, 糖酸比分别减少 40.00% 和 42.30%。此外, UV-C 辐照和复合处理有效抑制了香蕉黄酮类物质、酚类物质和维生素 C 含量的下降, 提高了果实 DPPH 自由基清除率和抗氧化能力。在贮藏结束时, 与 CK 相比, UV-C 辐照和复合处理的维生素 C 含量分别增加了 0.82% 和 1.27%, 总多酚含量分别增加了 25.92% 和 41.65%, 总黄酮含量均增加了约 30.00%, DPPH 自由基清除率分别增加了 13.98% 和 36.59%。综上所述, UV-C 辐照和复合处理均可提高采后香蕉贮藏品质, 延长其货架期。因此, 可以选用该方法作为绿色、安全有效的香蕉采后保鲜技术。

关键词: 香蕉; UV-C; 柠檬酸; 贮藏品质

中图分类号: S668.1 文献标识码: A

Effects of UV-C and Citric Acid Treatment on Storage Quality of Postharvest Banana

YI Qian, WU Ning, LI Jingyuan, WANG Hanbo, ZHANG Liang*

College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China

Abstract: Banana is a tropical fruit rich in nutrients and has important economic value. It is also one of the four major fruits in South China. Banana is a typical climacteric fruit. The release of ethylene in banana after harvest could accelerate the ripening and senescence of banana during postharvest storage, which would affect the storage freshness and economic value of banana. Therefore, it is necessary to explore the technology of improving banana postharvest storage quality, thus providing theoretical basis for practical application. In this study, postharvest bananas were treated by UV-C irradiation, citric acid immersion and the combination treatment, respectively. The bananas were stored in the dark for 12 days at a temperature of $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ and a humidity of 60%–70%, and randomly sampled on the 1st, 6th, 9th and 12th day for each treatment during the storage period. The effects of the three methods on postharvest banana storage quality were studied by measuring physiological and quality indexes, such as hardness, weight loss rate, titratable acid content, and soluble solid content. The results indicated that the treatment with UV-C irradiation at the dose of $3.96\times 10^{-2}\text{ KJ/m}^2$ and combined treatment ($3.96\times 10^{-2}\text{ KJ/m}^2$ UV-C irradiation together with 2.0% citric acid soak) re-

收稿日期 2022-08-29; 修回日期 2023-01-02

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32170339); 河南省自然科学基金项目 (No. 212300410049)。

作者简介 易 茜 (1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 植物生理学。*通信作者 (Corresponding author): 张 亮 (ZHANG Liang), E-mail: zhangliang@htu.edu.cn。

sulted in better freshness effects than that of citric acid treatment, showing that the decrease of fruit hardness was significantly inhibited, the increase of weight loss rate was delayed, the increase of soluble solid content and the decrease of titratable acidity content were inhibited, and the sugar-acid ratio were maintained. At the end of storage, UV-C irradiation and combined treatment increased the hardness of bananas by 9.09% and 13.63%, reduced weight loss by 22.00% and 11.43%, and decreased sugar-acid ratio by 40.00% and 42.30%, respectively, compared with the control group. In addition, UV-C irradiation and combined treatment effectively inhibited the decrease of flavonoids, phenols and vitamin C contents, and improved the DPPH free radical scavenging rate and antioxidant capacity. At the end of storage, UV-C irradiation and combined treatment increased the vitamin C contents of bananas by 0.82% and 1.27%, the total polyphenol contents by 25.92% and 41.65%, the total flavonoids contents by about 30.00%, and DPPH radical scavenging rate by 13.98% and 36.59%, respectively, compared with the control group. In conclusion, both UV-C irradiation and combined treatment can improve storage quality and prolong shelf life of postharvest bananas. Therefore, these two methods can be used as green, safe and effective post-harvest preservation technologies for bananas.

Keywords: banana; UV-C; citric acid; storage quality

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.02.021

香蕉 (*Musa nana* Lour.) 是芭蕉科芭蕉属植物^[1], 为多年生单子叶草本植物, 是热带、亚热带名果之一。香蕉果肉细腻可口, 营养价值极高, 还具有抗溃疡、降血糖、抗肿瘤、延缓衰老等功能, 深受人们的喜爱^[1]。香蕉是一种非常典型的呼吸跃变型果实, 采后乙烯的大量释放使香蕉在贮藏过程中加快成熟和衰老, 缩短了香蕉的贮藏时间, 影响其经济效益^[2-3]。有研究显示香蕉采后损失率将近 50%, 远高于我国果蔬采后平均损耗率 25%^[4]。因此有必要探究提高香蕉采后贮藏品质的新技术。

研究表明, UV-C 辐照是一种环保、安全的消杀技术, 并应用于果蔬货架保鲜的研究中。DING 等^[5]研究发现 UV-C 辐射剂量低至 0.01 kJ/m^2 时能够减少香蕉水分的散失, 减缓果实的软化, 提高总酚含量。此外, 植物中存在一种物质——柠檬酸, 也应用于果蔬保鲜研究中。研究发现采后荔枝用柠檬酸浸泡处理后能提高果实保鲜效果, 其原因是柠檬酸抑制了多酚氧化酶 (PPO) 的活性, 进而降低褐变的发生^[6]。然而有关 UV-C 辐照和柠檬酸在香蕉保鲜中的研究报道有限。本研究采用不同剂量 UV-C 辐照、不同浓度柠檬酸浸泡以及二者复合处理香蕉进行不同时间的贮藏, 旨在比较 3 种处理方法对采后贮藏香蕉外观和果实生理指标的影响, 为货架期香蕉保鲜提供安全、简便且环保的技术方法, 从而延长香蕉果实品质, 降低经济损失。

1 材料与方法

1.1 材料

供试香蕉购自河南省新乡市永辉超市, 选择

六成熟香蕉, 于 20°C 2 h 内运至实验室。挑选大小匀称, 无外观损伤的果实, 稍微清理后置于聚乙烯盒 ($21 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$), 备用。

1.2 方法

1.2.1 UV-C 和柠檬酸处理的最佳剂量筛选 选取 240 个香蕉果实, 随机分为两部分, 其中每部分再随机分为 6 组, 分别进行 UV-C 和柠檬酸单处理。综合香蕉的外观、失重率及硬度进行比较分析, 确定 UV-C 和柠檬酸处理的最佳剂量。

UV-C 处理: 以 UV-C 灯管 (120 mm 36 W , 飞利浦) 作为 UV-C 辐照光源, 将 UV-C 灯管置于香蕉果实上方 50 cm 处的实验架子上, 以 6 个不同时间/剂量的 UV-C 辐照对每面香蕉果实进行处理, 各处理为 0 s 0 kJ/m^2 (CK)、 30 s $1.98 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 、 60 s $3.96 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 、 90 s $5.94 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 、 120 s $7.92 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 、 180 s $11.88 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 。

柠檬酸处理: 设置 6 个柠檬酸浓度分别为 0、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%。各浓度浸泡处理香蕉 3 min 后将香蕉取出, 待香蕉表面水分晾干后, 置于聚乙烯保鲜盒中。

UV-C 和柠檬酸分别单处理后, 将各处理的香蕉置于聚乙烯保鲜盒中黑暗贮藏 12 d, 贮藏条件: 温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 湿度为 60%~70%。在香蕉贮藏后第 1、6、9、12 天对不同处理随机取样, 进行硬度和失重率等生理指标的测定, 并每天固定时间、固定位置拍照。各项指标测定重复 4 次。

1.2.2 UV-C 与柠檬酸处理对采后香蕉品质的影响 选取 80 个香蕉, 随机分为 4 组, 按照 1.2.1 确定的 UV-C 辐照时间/剂量和柠檬酸浓度分别进行以下处理: (1) 对照 (CK): 蒸馏水浸泡 3 min;

(2) UV-C 处理 (UV-C): UV-C 依次辐照香蕉两侧 (果实与灯管的距离同 1.2.1), 然后用蒸馏水浸泡 3 min; (3) 柠檬酸处理 (CA): 柠檬酸浸泡 3 min; (4) UV-C 和柠檬酸复合处理 (UV+CA): 先进行 UV-C 辐照香蕉两侧 (果实与灯管的距离同 1.2.1), 接着用柠檬酸浸泡处理 3 min。各处理完成后, 待香蕉表面水分晾干后放入聚乙烯保鲜盒中黑暗贮藏 12 d (贮藏条件同 1.2.1)。在香蕉贮藏后第 1、6、9、12 天对不同处理随机取样, 进行相关生理和品质指标的测定, 各项指标测定重复 4 次。以上试验重复 4 次。

1.2.3 生理和品质指标测定 (1) 硬度。采用 GY-2 型果实硬度计测定香蕉果肉的硬度^[7]。

(2) 失重率。根据公式计算失重率^[7], 失重率 $= (m_c - m_t) / m_c \times 100\%$, m_c 表示香蕉贮藏起始重量值, m_t 表示香蕉贮藏不同时间后的重量值。

(3) 可溶性固形物含量。采用阿贝折光仪测定香蕉果肉的可溶性固形物含量^[8-9]。

(4) 维生素 C 含量。采用钼蓝比色法^[10]测定香蕉果肉的维生素 C (Vc) 含量。

(5) 总黄酮含量。参考王影等^[11]的方法测定香蕉果肉的总黄酮含量。

(6) 总酚含量。参考曹建康等^[12]的方法测定香蕉果肉的总酚含量。

(7) 可滴定酸含量。采用酸碱滴定法^[13]测定香蕉果肉的可滴定酸含量。

(8) DPPH 自由基清除率。参考李琼^[14]的方法测定香蕉果肉的 DPPH 自由基清除率。

(9) 糖酸比。糖酸比是可溶性固形物与可滴定酸的比值^[15]。

1.3 数据处理

试验遵循完全随机设计的原则。数据采用 SPSS 软件进行单因素方差分析 (ANOVA), 采用 LSD 多重比较法进行差异显著性分析 ($P < 0.05$), 采用 Excel 软件绘图。结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 筛选 UV-C 和柠檬酸处理的最佳剂量

香蕉果实经不同剂量 UV-C 辐照处理后贮藏第 9 天的外观如图 1A 所示, 与 CK 相比, UV-C 辐照处理的香蕉果皮黑斑较少, 且 UV-C 辐照处理 60 s 辐照剂量为 $3.96 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 的效果最佳。由图 1B 和图 1C 可知, 与 CK 相比, UV-C 辐照

可抑制香蕉重量减少而保持果实硬度, 其中辐照时间为 60 s 辐照剂量为 $3.96 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 的处理效果最佳。综上, UV-C 辐照 60 s 辐照剂量为 $3.96 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 的外观保鲜效果最好, 以此剂量进行后续香蕉保鲜作用研究。

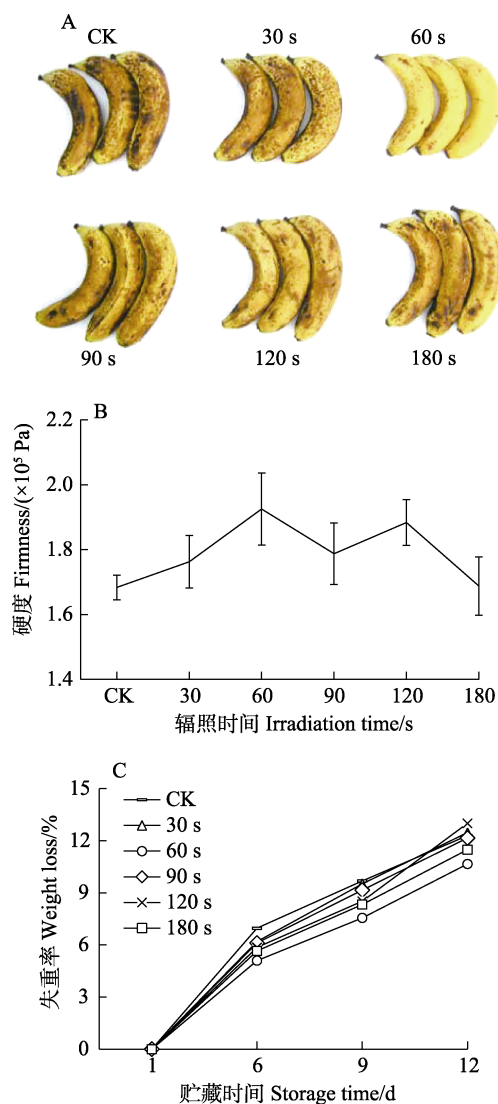


图1 不同剂量 UV-C 辐照对香蕉外观品质的影响

Fig. 1 Effect of different doses of UV-C irradiation on appearance quality of banana

不同浓度柠檬酸处理香蕉后贮藏第 9 天的果实外观如图 2A 所示, 与 CK 相比, 柠檬酸处理后香蕉果皮黑斑相对较少, 且 2.5% 柠檬酸处理的效果最佳。由图 2B 和图 2C 可知, 与 CK 相比, 柠檬酸处理可抑制香蕉重量减少而保持果实硬度, 其中浓度为 2.0% 柠檬酸浸泡处理效果最佳。因此, 采用 2.0% 柠檬酸处理进行后续香蕉保鲜作用研究。

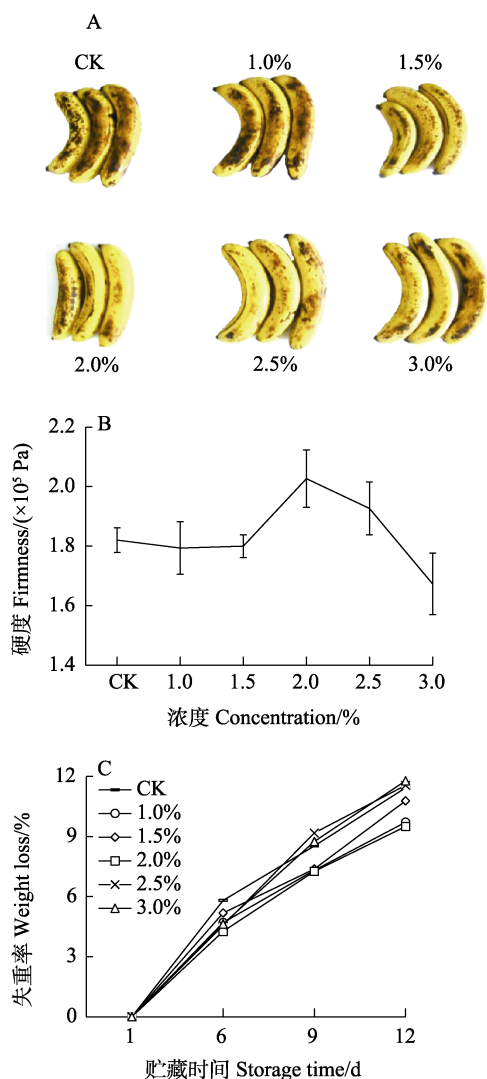


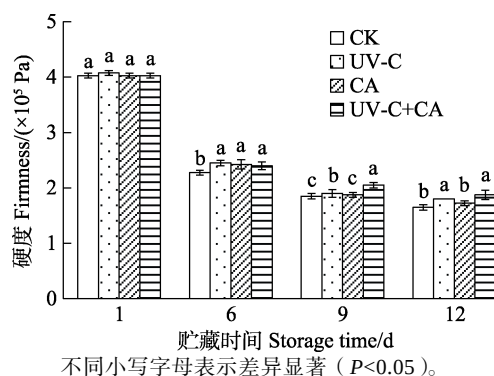
图 2 不同浓度柠檬酸处理对香蕉外观品质的影响
Fig. 2 Effect of different concentrations of citric acid treatment on appearance quality of banana

综合不同处理后香蕉的外观、失重率及硬度的比较,采用 UV-C 辐照 60 s 辐照剂量为 $3.96 \times 10^{-2} \text{ kJ/m}^2$ 、2.0%柠檬酸浸泡处理 3 min 以及它们的复合处理 3 种保鲜方法进行后续研究。

2.2 UV-C 与柠檬酸处理对采后香蕉理化品质的影响

2.2.1 硬度 由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,所有处理的香蕉硬度均呈逐渐下降的趋势。与 CK 相比,UV-C 处理、柠檬酸处理和复合处理的香蕉硬度的下降趋势较缓慢。在香蕉贮藏结束时,与 CK 相比,UV-C 处理和柠檬酸处理的硬度分别增加了 9.09%和 4.54%,而复合处理的效果更好,比 CK 增加了 13.63%。综上所述,UV-C 辐照和复合处理均有利于保持香蕉硬度。

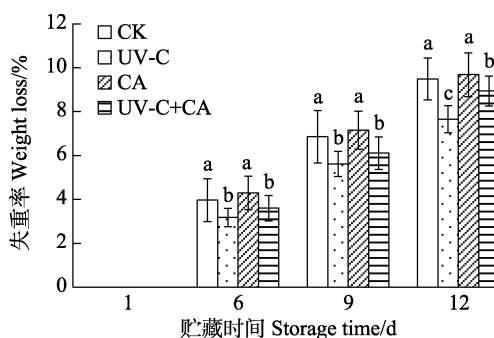
2.2.2 失重率 由图 4 可知,随着贮藏时间的延



Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 3 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉果实硬度的影响

Fig. 3 Effect of UV-C and citric acid treatment on fruit firmness of banana



Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

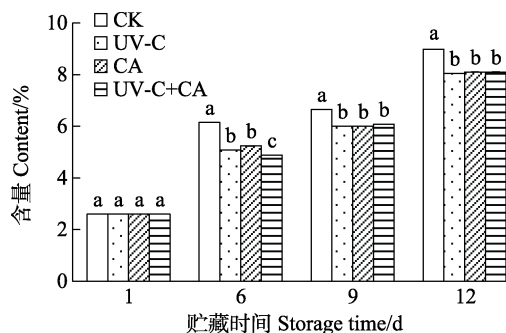
图 4 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉失重率的影响

Fig. 4 Effect of UV-C and citric acid treatment on weight loss of banana

长,所有处理的香蕉失重率均逐渐增加。在整个贮藏过程中,柠檬酸处理组与 CK 差异不显著,而 UV-C 处理和复合处理均显著抑制香蕉失重率的增加,其中 UV-C 处理的效果更为显著。在香蕉贮藏结束时,与 CK 相比,UV-C 处理的失重率降低了 22.00%。综上所述,UV-C 辐照和复合处理均能有效延缓香蕉贮藏过程中失重率的增加。

2.2.3 可溶性固形物含量 由图 5 可知,香蕉中的可溶性固形物含量随着贮藏时间的延长而增加。与 CK 相比,UV-C 处理、柠檬酸处理和复合处理均显著抑制香蕉可溶性固形物含量的增加。在贮藏第 6 天,与 CK 相比,UV-C 处理和柠檬酸处理的可溶性固形物含量分别减少了 17.48%和 15.04%,而复合处理的效果更好,与 CK 相比可溶性固形物含量减少了 20.73%。

2.2.4 可滴定酸含量 由图 6 可知,在整个贮藏过程中,香蕉可滴定酸含量随贮藏时间的延长而逐渐下降。与 CK 相比,UV-C 处理、柠檬酸处理和复合处理均减缓了香蕉可滴定酸含量的下降趋

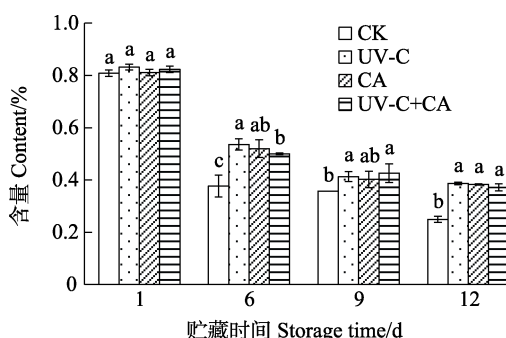


不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图5 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉可溶性固形物含量的影响

Fig. 5 Effect of UV-C and citric acid treatment on soluble solids content of banana



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图6 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉可滴定酸含量的影响

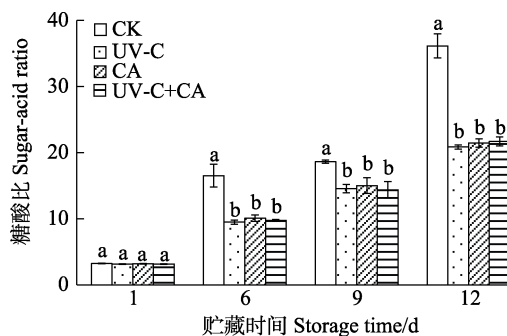
Fig. 6 Effect of UV-C and citric acid treatment on titratable acidity content of banana

势。在贮藏结束时,与CK相比,柠檬酸处理和复合处理的可滴定酸含量分别增加了53.81%和49.24%,而UV-C处理的效果更显著,与CK相比可滴定酸含量增加了55.16%。

2.2.5 糖酸比 由图7可知,香蕉的糖酸比随贮藏时间的延长而增加。与CK相比,UV-C处理、柠檬酸处理和复合处理均显著抑制了香蕉糖酸比的增加。在贮藏结束时,与CK相比,柠檬酸处理和复合处理的糖酸比分别减少了40.60%和40.00%,而UV-C处理的效果更显著,与CK相比糖酸比减少了42.30%。综上所述,UV-C辐照和复合处理均有效抑制了香蕉贮藏过程中可滴定酸含量的下降和可溶性固形物含量的增加,并维持了香蕉的糖酸比。

2.3 UV-C 与柠檬酸处理对采后香蕉营养品质的影响

2.3.1 Vc 含量 由图8可知,随着贮藏时间的延长,所有处理组的香蕉Vc含量均呈现下降趋势。

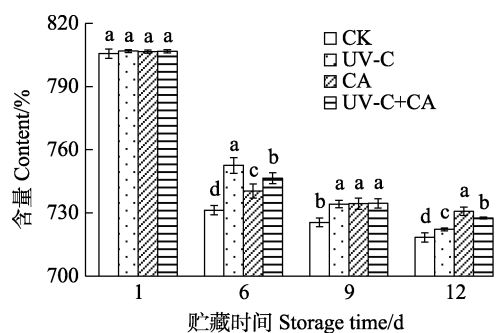


不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图7 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉糖酸比的影响

Fig. 7 Effect of UV-C and citric acid treatment on sugar-acid ratio of banana



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

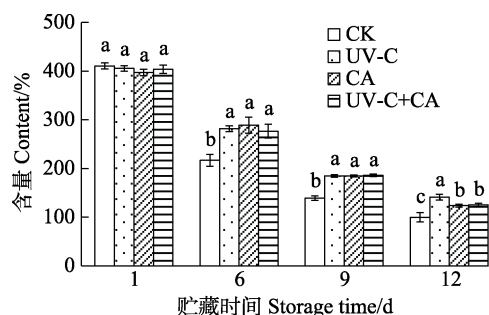
图8 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉Vc含量的影响

Fig. 8 Effect of UV-C and citric acid treatment on Vc content of banana

与CK相比,UV-C处理、柠檬酸处理和复合处理的香蕉Vc含量的下降趋势更为缓慢。在香蕉贮藏结束时,UV-C处理和复合处理的Vc含量与CK相比,分别增加了1.27%和0.82%,而柠檬酸处理的效果稍好,与CK相比Vc含量增加了1.72%。综上所述,柠檬酸处理能有效抑制香蕉贮藏过程中Vc含量的下降。

2.3.2 总酚含量 由图9可知,随着贮藏时间的延长,所有处理的香蕉总酚含量均逐渐下降。与CK相比,所有处理均能延缓香蕉总多酚含量的下降。在香蕉贮藏结束时,复合处理和柠檬酸处理的总多酚含量与CK相比,分别增加了25.92%和23.50%,而UV-C处理的效果更好,与CK相比总多酚含量增加了41.65%。综上所述,UV-C辐照和复合处理能有效抑制香蕉贮藏过程中总多酚含量的下降。

2.3.3 总黄酮含量 由图10可知,随着贮藏时间的延长,所有处理的香蕉总黄酮含量均呈逐渐下降的趋势。与CK相比,所有处理均能明显抑制

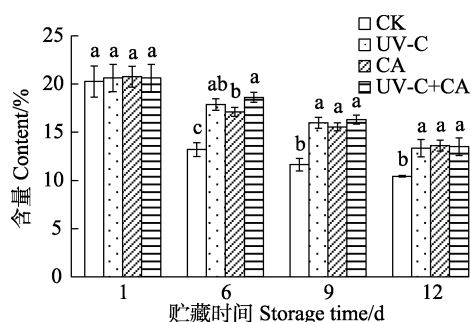


不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 9 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉总酚含量的影响

Fig. 9 Effect of UV-C and citric acid treatment on total phenolic content of banana



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

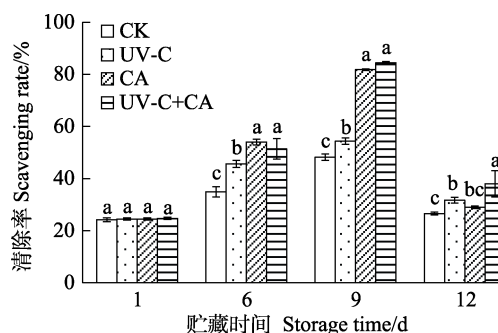
Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 10 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉总黄酮含量的影响

Fig. 10 Effect of UV-C and citric acid treatment on total flavonoids content of banana

总黄酮含量的下降。在贮藏第 6 天, UV-C 处理和柠檬酸处理的总黄酮含量与 CK 相比, 分别增加了 35.38% 和 29.64%, 而复合处理的效果更为显著, 与 CK 相比总黄酮含量增加了 41.07%。在贮藏结束时, 与 CK 相比, 所有处理组的总黄酮含量均增加了约 30.00%。综上所述, UV-C 辐照和复合处理能有效抑制香蕉贮藏过程中总黄酮含量的下降。

2.3.4 DPPH 自由基清除率 由图 11 可知, 在整个贮藏过程中, 随着贮藏时间的延长香蕉的 DPPH 自由基清除率呈先上升后下降的趋势。在贮藏第 6 天, 与 CK 相比, UV-C 处理、柠檬酸处理和复合处理的香蕉 DPPH 自由基清除率均有显著提高。在贮藏第 9 天, UV-C 处理和柠檬酸处理的 DPPH 自由基清除率与 CK 相比, 分别提高 12.80% 和 69.59%, 而复合处理的效果更好, 与 CK 相比 DPPH 自由基清除率提高了 75.10%。综上所述, UV-C 辐照和复合处理均能有效维持香蕉的 DPPH 自由基清除率。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 11 UV-C 与柠檬酸处理对香蕉果皮 DPPH

自由基清除率的影响

Fig. 11 Effect of UV-C and citric acid treatment on DPPH free radical scavenging activity in banana peel

3 讨论

采后香蕉释放大量乙烯, 使香蕉果实发生一系列与成熟、衰老有关的生理转变, 具体表现为香蕉果肉变甜变软, 果实衰老迅速, 贮藏寿命缩短, 影响采后香蕉的贮运保鲜及货架期。本研究探究了 UV-C 辐照、柠檬酸处理及其复合处理对采后香蕉贮藏品质的影响, 结果表明: $3.96 \times 10^{-2} \text{ KJ/m}^2$ UV-C 辐照和复合处理 ($3.96 \times 10^{-2} \text{ KJ/m}^2$ UV-C 辐照 + 2.0% 柠檬酸) 处理对香蕉的保鲜效果明显优于 CK 和柠檬酸处理, 更有利于提高香蕉果实理化品质, 维持香蕉的抗氧化能力, 延缓香蕉的成熟和衰老。这与焦中高等^[16]研究发现 UV-C 辐照可提高软枣猕猴桃贮藏品质的结论相似。

香蕉的硬度是评定果实贮藏品质的一个重要指标。在贮藏过程中, 香蕉果实从内开始软化, 呈放射状逐渐向外延伸^[17]。研究发现, 在香蕉果实的成熟过程中, 果胶酶发挥作用降解果胶物质从而导致细胞壁中胶层降解, 细胞壁结构破坏, 最终果实软化^[18]。黄玲等^[19]研究发现 UV-C 辐照可以延缓库尔勒香梨硬度的下降。也有研究发现, 柠檬酸处理可以抑制鸭梨硬度的下降^[19-20]。刘容等^[21]发现 UV-C 辐照处理淮山抑制了果胶酶的活性, 从而保持淮山的硬度, 延缓了软化。所以, 推测 UV-C 辐照可通过抑制果胶酶活性从而延缓香蕉硬度的下降。

失重率是关系到果蔬品质和可售性的一个重要指标。香蕉在贮藏过程中由于呼吸和蒸腾作用致使营养物质的损耗和水分的减少, 其中水分减少是采后香蕉失重的主要原因^[22]。有研究表明

UV-C 辐照处理可抑制鲜切苹果失重率的增加^[22]。史振霞^[20]在 4℃ 下对鸭梨进行不同浓度的柠檬酸浸泡处理,发现柠檬酸处理可降低果实失重率,且 2% 柠檬酸浸泡处理效果最好。本研究结果表明 UV-C 辐照处理和复合处理能延缓香蕉失重率的增加,与前人研究结果类似。刘容等^[21]研究认为 UV-C 辐照能降低鲜切淮山的呼吸作用和细胞的代谢速率,从而减少水分流失和营养物质的消耗。因此,推测 UV-C 辐照通过降低香蕉的呼吸作用和细胞代谢速率从而抑制香蕉失重率的增加。

香蕉中的可溶性固形物、可滴定酸和糖酸比是评定果实营养品质的重要指标^[23]。香蕉可溶性固形物含量和糖酸比随果实成熟度升高而增加,可滴定酸含量随果实成熟度升高而下降^[24-25]。有研究表明,2.0% 柠檬酸处理可以延缓鸭梨可溶性固形物含量的增加,抑制可滴定酸含量的下降^[12, 20]。DE OLIVEIRA 等^[26]研究发现 UV-C 辐照可以抑制草莓可溶性固形物含量的增加。DING 等^[5]研究发现 UV-C 辐照处理芭蕉可以减少其可滴定酸含量的下降。本研究表明,UV-C 辐照处理和复合处理均可有效抑制香蕉可滴定酸含量的下降和可溶性固形物含量的增加,并维持了香蕉的糖酸比。

Vc、多酚类物质和黄酮类物质不仅对人体有益,而且是香蕉果实中重要的抗氧化物质^[27-28]。此外,DPPH 自由基清除率也反映了果实整体的抗氧化能力^[29]。有研究发现果蔬抗氧化能力越强,衰老越缓慢。香蕉在贮藏过程中细胞逐渐衰老,新陈代谢下降,黄酮类物质、酚类物质和 Vc 含量逐渐下降^[30]。陈晨^[31]研究发现 UV-C 辐照处理能抑制鲜切胡萝卜总酚含量和 Vc 含量的下降,提高 DPPH 自由基清除率。2.0% 柠檬酸处理同样可以抑制鸭梨 Vc 含量的下降^[12]。王秋成等^[32]发现柠檬酸处理可以维持鲜切莲藕的总酚含量。本研究表明 UV-C 辐照和复合处理能有效抑制香蕉果实黄酮类物质、酚类物质和 Vc 含量的下降,提高 DPPH 自由基清除率,维持果实的抗氧化能力,延缓果实的衰老,从而保持果实的硬度,延缓果实失重率和可溶性固形物含量的增加,抑制果实可滴定酸含量的下降,维持果实的糖酸比。

本研究探究了 UV-C 辐照、柠檬酸浸泡及复合处理对采后香蕉贮藏品质的影响,结果表明 UV-C 辐照以及复合处理通过提高 DPPH 自由基清除率,抑制香蕉多酚和 Vc 含量的下降,维持了果实的抗氧化能力,从而延缓果实的衰老,保

持果实的硬度,延缓果实失重率的增加,维持果实糖酸比,并延长其货架期。因此,UV-C 辐照或复合处理可作为绿色、简便、安全的香蕉采后保鲜方法。

参考文献

- [1] 陈振东,郑涛,林秀香. 香蕉采后生理及贮藏保鲜研究综述[J]. 中国农学通报, 2013, 29(7): 61-64.
CHEN Z D, ZHENG T, LIN X X. Summary on physiology, biochemistry and storage for postharvest banana fruit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(7): 61-64. (in Chinese)
- [2] 贾彩红,金志强,刘菊华,张建斌,徐碧玉. 香蕉采后生理学研究进展[J]. 热带作物学报, 2012, 33(1): 189-193.
JIA C H, JIN Z Q, LIU J H, ZHANG J B, XU B Y. Research progress of postharvest physiology of banana fruits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2012, 33(1): 189-193. (in Chinese)
- [3] 谢建华,庞杰. 香蕉采后生理与保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(6): 37-42.
XIE J H, PANG J. Research progress of postharvest physiology and preservation technique of banana[J]. Storage and Process, 2010, 10(6): 37-42. (in Chinese)
- [4] 李健,杨昌鹏,景艳艳. 南宁市香蕉产业发展存在的问题及对策[J]. 现代农业科技, 2011(15): 381-382.
LI J, YANG C P, JING Y Y. Problems and countermeasures in the development of banana industry in Nanning[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2011(15): 381-382. (in Chinese)
- [5] DING P, ROSLI M F, MAHASSAN N A. UV-C irradiation affects quality, antioxidant compounds and activity of *Musa* AAA Berangan[J]. Sains Malaysiana, 2015, 44(8): 1095-1101.
- [6] JIANG Y, FU J, AND G Z, FUCHS Y. Purification of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1999, 79(7): 950-954.
- [7] CHEN C, HU W, HE Y B, JIANG A L, ZHANG R D. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 111: 126-131.
- [8] AWAD M A, AL-QURASHI A D, EL-DENGAWY E, ELSAYED M I. Quality and biochemical changes of 'Hindi-Besennara' mangoes during shelf life as affected by chitosan, *trans*-resveratrol and glycine betaine postharvest dipping[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 217: 156-163.
- [9] 韩琼. 紫外线及芦荟提取物对水果保鲜机制的研究[D].

- 新乡: 河南师范大学, 2015.
- HAN Q. Study on effect of UV-B and *Aloe* extract on the fresh-keeping of fruits[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2015. (in Chinese)
- [10] 杨金凤, 黄玉琴, 呼丽萍. 钼蓝比色法测定甜樱桃中还原型 Vc 含量的条件优化[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(1): 181-184.
- YANG J F, HUANG Y Q, HU L P. Optimizing the determination of the content of reduction-type Vitamin C in sweet cherry[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(1): 181-184. (in Chinese)
- [11] 王影, 陈晓平. 绿豆芽总黄酮的提取工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(5): 45-48.
- WANG Y, CHEN X P. Study on the extraction of flavonoids from mungbean sprout[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2010, 46(5): 45-48. (in Chinese)
- [12] 曹建康, 姜微波. 柠檬酸处理对鸭梨果实贮藏特性的影响[J]. 食品科技, 2005(10): 84-87.
- CAO J K, JIANG W B. Effect of citric acid treatment on the quality of Ya pear fruit during storage[J]. Food Science and Technology, 2005(10): 84-87. (in Chinese)
- [13] 纪韦韦, 朱雅君, 宋青. 辐照检疫处理对香蕉货架品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014(12): 309-310.
- JI W W, ZHU Y J, SONG Q. Effect of irradiation and quarantine treatment on banana shelf quality[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014(12): 309-310. (in Chinese)
- [14] 李琼. 芸豆不同发芽阶段生物类黄酮对 DPPH 自由基的清除效率研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12072-12074.
- LI Q. Study of scavenging activities on DPPH free radical by bioflavonoid of kidney beans at different germination periods[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(20): 12072-12074. (in Chinese)
- [15] 宋倩倩. 1-MCP 处理对猕猴桃采后果实品质及乙醇和 GABA 代谢的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019.
- SONG Q Q. Effects of 1-MCP treatment on fruit quality associated with ethanol metabolism and GABA-shunt in kiwi-fruit during storage at room temperature[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019. (in Chinese)
- [16] 焦中高, 胡丽娜, 张春岭, 刘慧, 杨文博, 吕真真, 王思新, 刘杰超. 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[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 177-183.
- JIAO Z G, HU L N, ZHANG C L, LIU H, YANG W B, LYU Z Z, WANG S X, LIU J C. Effect of ultraviolet-C irradiation on phenolic compounds and antioxidant activity of postharvest *Actinidia arguta* fruit[J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(11): 177-183. (in Chinese)
- [17] 庄军平, 李雪萍, 陈维信. 香蕉果实后熟过程中果肉软化差异的研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(5): 983-988.
- ZHAUNG J P, LI X P, CHEN W X. Differences in banana internal and outer pulp during ripening and softening[J]. ACTA Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(5): 983-988. (in Chinese)
- [18] 庄军平, 林焕章, 陈维信. 香蕉果实成熟软化过程中细胞壁物质的变化[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(3): 218-221.
- ZHAUNG J P, LIN H Z, CHEN W X. Changes of cell wall substances during ripening of banana fruit[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2006, 14(3): 218-221. (in Chinese)
- [19] 黄玲, 马晶, 李学文, 马晓海, 赵武林, 王洪伟. UV-C 处理对库尔勒香梨贮藏品质和生理的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(5): 410-413.
- HAUNG L, MA J, LI X W, MA X H, ZHAO W L, WANG H W. Effects of UV-C treatments on storage qualities and physiology of Korla fragrant pears[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(5): 410-413. (in Chinese)
- [20] 史振霞. 柠檬酸对鸭梨贮藏后期微生物数量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(31): 260-263.
- SHI Z X. The effect of citric acid on microbial numbers and quality of 'Yali' pear in the later storage period[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(31): 260-263. (in Chinese)
- [21] 刘容, 孙卫东, 崔媛媛. UV-C 照射对鲜切淮山贮藏品质影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 57-61.
- LIU R, SUN W D, CUI Y Y. Influence of UV-C irradiation on the storage quality of fresh-cut Chinese yam[J]. Storage and Process, 2020, 20(2): 57-61. (in Chinese)
- [22] 耿亚娟, 王艳颖, 齐海萍, 胡文忠. 紫外照射对鲜切苹果营养品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 331-333.
- GENG Y J, WANG Y Y, QI H P, HU W Z. Effect of ultra-violet irradiation on the nutritional quality of fresh-cut apples[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 331-333. (in Chinese)
- [23] 胡位荣, 朱西儒, 王正询, 张昭其, 季作梁. 香蕉果实采后及贮藏生理研究进展[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2003, 2(3): 228-234.
- HU W R, ZHU X R, WANG Z X, ZHANG Z Q, JI Z L. Advances of research on postharvest and storage physiology of banana fruit[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2003, 2(3): 228-234. (in Chinese)
- [24] 张琦, 刘千, 张智, 罗锐, 陈萍. 硝普钠对香蕉采后品质及生理指标的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(7): 1198-1202.
- ZHANG Q, LIU Q, ZHANG Z, LUO K, CHEN P. Effects of sodium nitroprusside on postharvest quality and physiological indexes of banana[J]. Journal of Southern Agriculture,

- 2016, 47(7): 1198-1202. (in Chinese)
- [25] 李芬芳, 李奕星, 袁德保, 洪克前, 陈娇. 不同乙烯利浓度及贮藏温度对“南天黄”香蕉果实后熟品质的影响[J]. 中国南方果树, 2022, 51(2): 72-77, 83.
- LI F F, LI Y X, YUAN D B, HONG K Q, CHEN J. Effect of different concentrations of ethrel and storage temperatures on post-ripening quality of “Nantianhuang” banana[J]. South China Fruits, 2022, 51(2): 72-77, 83. (in Chinese)
- [26] DE OLIVEIRA I R, CRIZEL G R, SEVERO J, RENARD C M G C, CHAVES F C, ROMBALDI C V. Preharvest UV-C radiation influences physiological, biochemical, and transcriptional changes in strawberry cv. Camarosa[J]. Plant Physiology Biochemistry, 2016, 108: 391-399.
- [27] OUHIBI C, ATTIA H, REBAH F, MSILINI N, CHEBBI M, AARROUF J, URBAN L, LACHAAL M. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: growth, antioxidant activity and phenolic compounds[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2014, 83: 126-133.
- [28] 洪佳敏, 何炎森, 郑云云, 周红玲, 张帅, 张少平. 香蕉成分及其保健功能研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(10): 176-181.
- HONG J M, HE Y S, ZHENG Y Y, ZHOU H L, ZHANG S, ZHANG S P. Research progress of ingredients and health function of banana[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(10): 176-181. (in Chinese)
- [29] 刘容, 崔媛媛. UV-C 照射与壳聚糖涂膜对鲜切淮山的保鲜效果[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 289-295.
- LIU R, CUI Y Y. Effect of UV-C irradiation and chitosan coating on preserving the quality of fresh-cut Chinese yam[J]. Food Science, 2021, 42(3): 289-295. (in Chinese)
- [30] AWAD M A, AL-QURASHI A D, MOHAMED S A, EL-SHISHTAWY R M, ALI M A. Postharvest chitosan, gallic acid and chitosan gallate treatments effects on shelf life quality, antioxidant compounds, free radical scavenging capacity and enzymes activities of ‘Sukkari’ bananas[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(2): 447-457.
- [31] 陈晨. UV-C 处理对鲜切胡萝卜品质和抗氧化活性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- CHEN C. Effects of UV-C treatment on quality maintenance and antioxidant capacity in fresh-cut carrot[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [32] 王秋成, 吕芬, 高颖, 赵志峰, 何强. 柠檬酸对鲜切莲藕酶促褐变的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2016(8): 166-171.
- WANG Q C, LYU F, GAO Y, ZHAO Z F, HE Q. Effects of citric acid treatment on enzymatic browning of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth)[J]. China Food Additives, 2016(8): 166-171. (in Chinese)