

新型液态壳聚糖处理对纽荷尔脐橙果实贮藏品质和耐贮性的影响

邓礼艳^{1,2,3}, 郑劭捷^{1,2,3}, 林河通^{1,2,3*}, 陈艺晖^{1,2,3}, 林毅雄^{1,4}, 林育钊^{1,2,3},
林艺芬^{1,2,3*}

1. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350002; 2. 亚热带特色农产品采后生物学(福建农林大学)福建省高校重点实验室, 福建福州 350002; 3. 福建农林大学农产品产后技术研究所, 福建福州 350002; 4. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建漳州 363000

摘要: 纽荷尔脐橙果实采后容易品质劣变和腐烂, 严重影响其商品价值和货架期。商品名为卡多赞(Kadozan)的壳聚糖是一种新型液态壳聚糖溶液, 可通过用水将其稀释到所需的浓度, 是一种方便的新鲜农产品采后处理方法。为了评估应用新型液态壳聚糖保持采后纽荷尔脐橙果实品质、延长其果实保鲜期的可能性, 研究壳聚糖(稀释800倍的卡多赞)处理对纽荷尔脐橙果实贮藏品质和耐贮性的影响。采后纽荷尔脐橙果实分别经蒸馏水(对照)和壳聚糖(稀释800倍的卡多赞)浸泡处理5 min, 在(18±1)℃、85%相对湿度下贮藏, 贮藏期间每隔30 d取样测定果实商品率、失重率、呼吸速率、果实外观颜色特性、果皮叶绿素和类胡萝卜素含量及果肉营养物质含量。结果表明: 与对照组相比, 采后贮藏期间, 壳聚糖处理能降低纽荷尔脐橙果实失重率和呼吸速率, 保持较高的果实商品率、较高的果皮叶绿素和类胡萝卜素含量、较高的果皮 L^* 、 b^* 、 h° 值及较低的果皮 a^* 值和柑橘颜色指数(CCI)。此外, 壳聚糖处理能保持较高的纽荷尔脐橙果肉可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)、可溶性总糖、蔗糖、维生素C、类胡萝卜素、类黄酮、总酚含量。贮藏120 d时, 壳聚糖处理的果实商品率为95.56%, 失重率为4.39%。因此, 壳聚糖(稀释800倍的卡多赞)能提高采后纽荷尔脐橙果实的耐贮性, 较好地维持采后果实贮藏品质, 可作为维持采后纽荷尔脐橙果实品质、延长其保鲜期的安全、简便处理的方法。

关键词: 纽荷尔脐橙; 壳聚糖; 贮藏品质; 耐贮性

中图分类号: TS255.36 文献标识码: A

Influences of a Novel Liquid Chitosan Formulation Treatment on the Storage Quality and Storability of Harvested Newhall Navel Orange Fruit

DENG Liyan^{1,2,3}, ZHENG Shaojie^{1,2,3}, LIN Hetong^{1,2,3*}, CHEN Yihui^{1,2,3}, LIN Yixiong^{1,4}, LIN Yuzhao^{1,2,3},
LIN Yifen^{1,2,3*}

1. School of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Key Laboratory of Post-harvest Biology of Subtropical Special Agricultural Products (Fujian Agriculture and Forestry University), Fujian Provincial Universities, Fuzhou, Fujian 350002, China; 3. Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 4. School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China

收稿日期 2022-06-14; 修回日期 2022-09-02

基金项目 福建省高校产学研合作项目(No. 2019N5005); 福建农林大学科技创新专项基金项目(No. KFb22078XA, No. KFb22079XA)。

作者简介 邓礼艳(1996—), 女, 硕士, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程。*通信作者(Corresponding author): 林河通(LIN Hetong), E-mail: hetonglin@163.com; 林艺芬(LIN Yifen), E-mail: yifenlin@126.com。

Abstract: The harvested Newhall navel orange fruits are easy to quality deterioration and spoilage, which seriously affecting the commodity value and shelf-life. Kadozan, a novel commercial liquid chitosan formulation, can be conveniently used for fresh produce postharvest treatment by diluting Kadozan to the required concentration with water. The influences of Kadozan with dilution of 1 : 800 ($V_{\text{Kadozan}} : V_{\text{Kadozan+water}}$) on the storage quality and storability of Newhall navel orange fruit were investigated. Postharvest Newhall navel oranges were immersed with distilled water (the control) and chitosan for 5 min, respectively, and then stored at $(18 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ and 80% relative humidity. During the storage, the samples were taken every 30 days to determine the rate of commercially acceptable fruit, the percentage of weight loss, respiration rate, fruit appearance color characteristics, the contents of chlorophyll and carotenoid in pericarp, and the contents of pulp nutrients. Compared with the control fruits, during storage, chitosan (Kadozan) treatment could reduce fruit weight loss, fruit respiration rate, retain higher rate of commercial acceptable fruit, higher contents of pericarp chlorophyll and carotenoid, higher values of pericarp L^* , b^* and h° , but lower values of pericarp a^* and citrus color index (CCI). In addition, Kadozan treatment could maintain higher contents of soluble solids (TSS), titratable acid (TA), soluble total sugar, sucrose, vitamin C, carotenoids, flavonoids and total phenol in the pulp of Newhall navel orange during storage. When stored for 120 d, the rate of commercially acceptable fruit and the percentage of weight loss in Kadozan-treated oranges was 95.56% and 4.39%, respectively. From the above data, it is concluded that the treatment of chitosan (Kadozan) can improve the storability and maintain the better quality of postharvest Newhall navel orange fruit, indicating the dilution of 1:800 ($V_{\text{Kadozan}} : V_{\text{Kadozan+Water}}$) could be a safe and facile approach to maintain the quality and extend the shelf life of Newhall navel orange after harvest.

Keywords: Newhall navel orange; chitosan; storage quality; storability

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.07.014

近年来, 纽荷尔脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck. cv. Newhall navel orange] 是中国南方重点发展的柑橘种类, 在中国福建、江西、四川、重庆、湖南、湖北、广西等地广泛栽培。纽荷尔脐橙以其果实外观美、商品性好、肉质优等优点而深受人们的喜爱。但是, 纽荷尔脐橙在 11—12 月集中成熟, 由于采后果实生理代谢及衰老等因素而导致纽荷尔脐橙果实采后损失严重^[1-2]。因此, 很有必要研发纽荷尔脐橙果实保鲜技术措施, 以延缓纽荷尔脐橙果实采后的生理代谢和衰老进程、维持采后果实品质、延长其果实保鲜期。

壳聚糖是由甲壳素部分脱乙酰得到的天然生物高分子, 具有成膜能力、生物相容性、生物降解性、抗菌活性和无毒等特点^[3-4]。目前, 粉末状壳聚糖常用于新鲜果蔬的收获后处理。然而, 在粉末状壳聚糖用于新鲜果蔬的收获后处理前, 需要将粉末状壳聚糖用酸溶解, 然后用碱将该壳聚糖溶液调整至合适的 pH, 完成上述壳聚糖溶液的制备需要数小时甚至数天。因此, 生产上使用粉末状壳聚糖处理收获后的新鲜果蔬时很不方便^[5]。商品名为卡多赞 (Kadozan) 的壳聚糖是台湾利统公司近年来开发的一种新型液态壳聚糖溶液, 可通过用水将其稀释到所需的浓度, 是一种方便、环保的新鲜果蔬采后处理方法^[6]。JIANG 等^[7]研究报道, 壳聚糖处理能有效维持荔枝果实

采后品质特性和耐贮性。壳聚糖处理还能延缓采后龙眼果实果皮褐变、果实病害和果肉自溶的发生; 壳聚糖通过调节活性氧和细胞壁代谢, 增强自由基清除能力及降低果肉细胞壁多糖降解, 最终提高龙眼果实贮藏品质^[6, 8-9]。另外, 壳聚糖处理还能提高采后西番莲果实的活性氧清除能力和抗病相关酶活性, 保持较好的果肉营养特性和果实贮藏品质, 延长果实贮藏期^[5, 10-11]。然而, 目前尚未见壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙贮藏品质和耐贮性的影响。本试验研究壳聚糖处理采后纽荷尔脐橙果实贮藏品质和耐贮性的影响, 旨在开发环保、简便的纽荷尔脐橙采后技术, 以保持其果实品质和延长贮藏期。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

本研究使用的卡多赞购自台湾利统公司上海分公司, 含有 2% 食品级壳聚糖, 分子量为 20~30 kDa, 脱乙酰度在 95% 以上。

本研究以九成熟的福建省主栽甜橙品种纽荷尔脐橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck. cv. Newhall navel orange] 果实为原料, 果实采自福建省三明市尤溪县久泰现代农业公司果园, 果实采收后, 在 2 h 内常温运输至福建农林大学食品贮藏保鲜实验室, 选取成熟度、颜色、大小、形状均一的健

康纽荷尔脐橙果实进行清洗和晾干果实表面水分, 用于后续实验。

1.2 方法

1.2.1 纽荷尔脐橙果实采后处理 前期预试验观察了不同浓度壳聚糖处理对纽荷尔脐橙果实在 $(18\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 贮藏期间果实感病指数和商品率的影响。结果显示, 与对照组相比, 不同浓度壳聚糖 (卡多赞稀释 200 倍、400 倍、600 倍、800 倍、1000 倍) 处理均能降低采后纽荷尔脐橙果实的感病指数、提高其果实商品率, 其中以卡多赞稀释 800 倍的壳聚糖溶液处理效果最佳。因此, 本研究选择稀释 800 倍的壳聚糖溶液作为处理条件。

准确量取壳聚糖 (卡多赞) 溶液, 用蒸馏水稀释 800 倍。将上述清洗并晾干的纽荷尔脐橙果实分为 2 组, 其中 1 组浸泡在蒸馏水中 5 min 作为对照, 另外 1 组浸泡在卡多赞稀释 800 倍的壳聚糖溶液中 5 min。纽荷尔脐橙果实浸泡后取出晾干, 再用 0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜袋包装 (6 个果实/袋, 每个处理 60 袋, 共 360 个果实)。果实包装后在相对湿度 85%、 $(18\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 180 d, 贮藏期间每隔 30 d, 每个处理取纽荷尔脐橙果实 10 袋 (共 60 个果实), 用于测定纽荷尔脐橙果实贮藏品质和耐贮性指标。

1.2.2 测定指标与方法 (1) 果实呼吸速率的测定。参考 CHEN 等^[12]的方法, 即在单位时间内每千克鲜样释放 CO_2 的量, 单位为 $\text{mg}/(\text{h}\cdot\text{kg})$ 。

(2) 果皮色差的测定。参照 CHEN 等^[13]的方法测定果实外表皮赤道面 4 个均匀分布的位点上的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 h° 值, 并计算柑橘颜色指数 (citrus color index, CCI), $\text{CCI}=1000\times a^*/(L^*\times b^*)$ 。

(3) 果皮叶绿素和类胡萝卜素含量的测定。参照纪颖等^[14]的方法, 单位为 mg/kg 。

(4) 果肉营养指标的测定。参照 GAO 等^[15]的方法, 测定总可溶性固形物 (total soluble solids, TSS) 和可滴定酸度 (titratable acid, TA) 含量, 单位为%; 按照 LIN 等^[8]的方法测定纽荷尔脐橙果肉可溶性总糖、蔗糖、还原糖及维生素含量, 单位为 g/kg ; 按照郭欣等^[10]、CHEN 等^[12]的方法测定纽荷尔脐橙果肉类胡萝卜素、类黄酮、总酚含量, 类胡萝卜素含量的单位为 mg/kg , 类黄酮含量以每千克鲜样所含的儿茶素当量 (catechin equivalents, CE) 表示, 单位为 g/kg , 总酚含量以

每千克鲜样所含的没食子酸 (gallic acid, GA) 表示, 单位为 g/kg 。

(5) 果实保鲜效果评价指标的测定。参照纪颖等^[14]的方法, 测定纽荷尔脐橙果实的失重率和商品率。

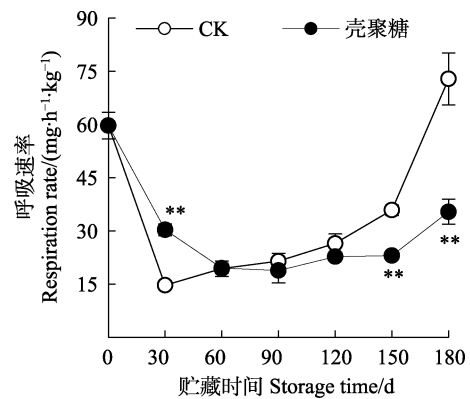
1.3 数据处理

以上各指标重复测定 3 次, 取其平均值; 采用 SPSS 21.0 软件进行试验数据处理与差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 果实呼吸速率

由图 1 可知, 纽荷尔脐橙果实的呼吸速率在贮藏 0~180 d 内呈先降低后升高的趋势。对照组果实的呼吸速率在贮藏 0~30 d 内快速下降, 30~150 d 内缓慢上升, 150~180 d 内快速升高。而壳聚糖处理组的果实呼吸速率在贮藏 0~60 d 内较快下降, 在 60~150 d 内变化不大, 150~180 d 内缓慢升高。进一步比较发现, 在 90~180 d 内, 壳聚糖处理组的果实呼吸速率低于对照组, 且在 150~180 d 内, 与对照组的差异极显著。上述结果表明, 壳聚糖处理能够有效减缓纽荷尔脐橙果实贮藏后期呼吸速率的升高。



**表示差异极显著 ($P<0.01$)。

** indicate extremely significant difference ($P<0.01$).

图 1 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果实呼吸速率的影响
Fig. 1 Influence of chitosan treatment on respiration rate of postharvest Newhall navel orange fruits

2.2 果皮色差

L^* 值是指颜色的明亮程度, 其值在 0~100, 0 表示黑色, 100 表示白色。由图 2A 可知, 在采后贮藏期间, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实外果皮 L^* 值均呈现下降趋势。其中, 经壳聚糖处理的果实外果皮 L^* 值在始终处于较高水平,

且在贮藏第 30 天和第 180 天时,与对照组的差异达到极显著水平。

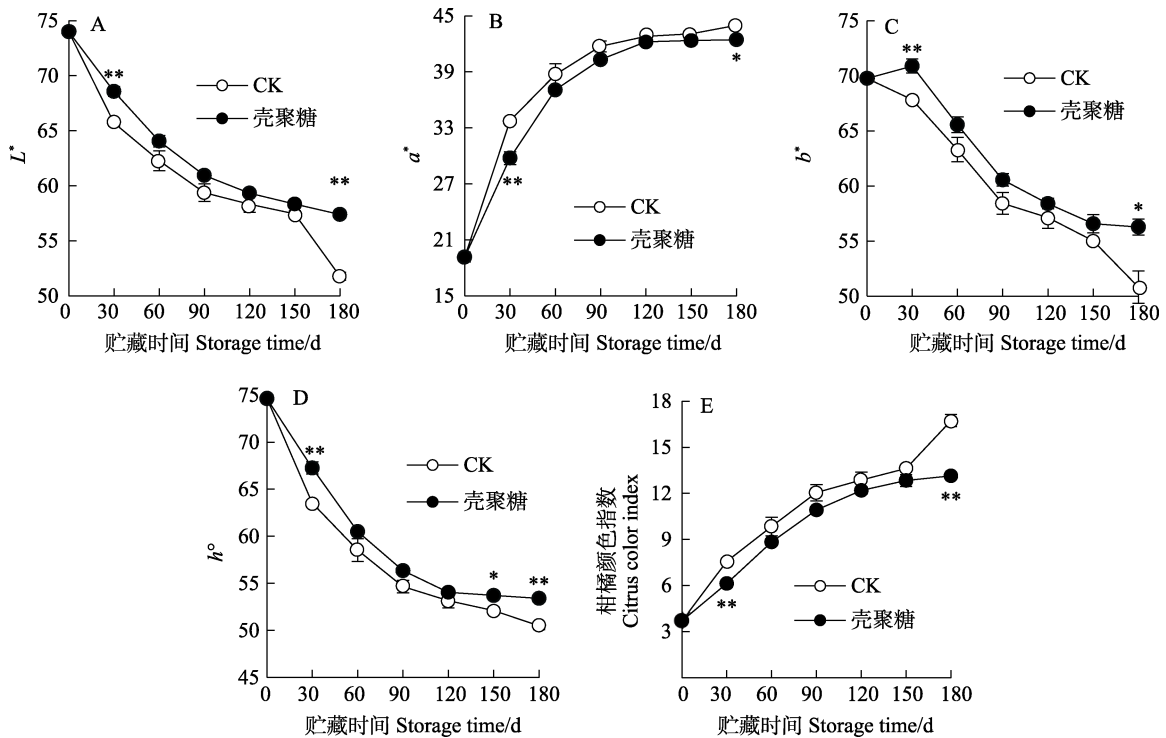
a^* 值是指色彩的色度值, a^* 值从绿 ($-a^*$) 到红 ($+a^*$) 渐变。纽荷尔脐橙果实的 a^* 值越高, 表明其果皮色泽越红。由图 2B 可知, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实外果皮 a^* 值均随着贮藏时间的延长而逐渐上升, 之后趋于平缓, 说明纽荷尔脐橙果实的果皮色泽在贮藏前期 (0~90 d) 变化大, 而在贮藏后期 (90~180 d) 变化较小。采后贮藏期间, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙外果皮 a^* 值低于对照组, 且在贮藏第 30 天和第 180 天时, 与对照组的差异达到显著水平。

b^* 值也是指色彩的色度值, b^* 值从蓝 ($-b^*$) 到黄 ($+b^*$) 渐变。纽荷尔脐橙果实的 b^* 值越高, 表明其果皮色泽越黄。由图 2C 可知, 在采后贮藏期间, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实外果皮 b^* 值总体呈下降趋势。其中, 经壳聚糖处理的果实外果皮 b^* 值在贮藏期间始终处于较高水平, 且在贮藏第 30 天和第 180 天时, 与对照组的差异达到极显著水平。

的差异达到显著水平。

h° 值为色调角, 是颜色的基本特征之一, h° 值从 90° 到 0° 表示颜色从黄色 (90°)、橙黄色、橙红色、红色到紫红色 (0°) 的变化。纽荷尔脐橙果实的 h° 值越高, 表明其果皮色泽越黄。由图 2D 可知, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实外果皮色调角 h° 值都随着贮藏时间的延长呈下降趋势。其中, 经壳聚糖处理的果实外果皮色调角 h° 值在贮藏期间始终处于较高水平, 且在贮藏第 30、150、180 天时, 与对照组的差异达到显著水平。

CCI 为柑橘颜色指数, 正值为红色, 负值为蓝绿色。纽荷尔脐橙果实的 CCI 值越高, 表明其果皮色泽越红。由图 2E 可知, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实外果皮 CCI 值均随贮藏时间的延长呈上升趋势。其中, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果实外果皮 CCI 值在贮藏期间始终处于较低水平, 且在贮藏第 30 天和第 180 天时, 与对照组的差异达到极显著水平。



*、** 分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

*, ** indicate significant difference ($P < 0.05$) or extremely significant difference ($P < 0.01$).

图 2 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果皮 L^* 、 a^* 、 b^* 、 h° 值和柑橘颜色指数的影响

Fig. 2 Influence of chitosan treatment on values of L^* , a^* , b^* , h° and citrus color index in pericarp of postharvest Newhall navel orange fruits

上述结果表明, 壳聚糖处理能使纽荷尔脐橙果实贮藏期间保持较高的外果皮 L^* 、 b^* 和 h° 值,

以及较低的 a^* 值和 CCI 值, 有效抑制采后纽荷尔脐橙果实由鲜亮的黄色果皮变为橙色或者红色果

皮，较好地维持纽荷尔脐橙果实的外观品质。

2.3 果皮叶绿素和类胡萝卜素含量

对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果皮叶绿素含量均随着贮藏时间的延长呈下降趋势（图 3A），而果皮类胡萝卜素含量在贮藏 30~150 d 内呈上升趋势，但在 150~180 d 内呈下降趋势（图 3B）。进一步比较发现，在采后贮藏期间，经壳聚糖处理的果皮叶绿素和类胡萝卜素含量均高于对照组果实，且在贮藏 30~60 d 内及 150~180 d 内，与对照组的差异均达到显著水平（图 3）。上述结果表明，壳聚糖处理能较好维持纽荷尔脐橙果实的外观果皮色泽，有效延缓其果皮叶绿素含量的下降，并保持较高含量的果皮类胡萝卜素。

2.4 果肉 TSS 和 TA 含量

由图 4A 可知，对照组果实的果肉 TSS 含量总体呈先较快上升（0~30 d）之后快速下降（30~180 d）的趋势；而壳聚糖处理的纽荷尔脐

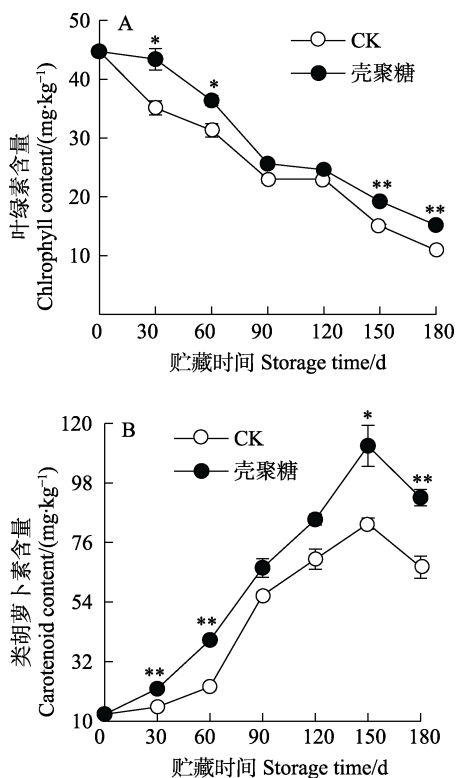
橙果肉 TSS 含量在贮藏 0~90 d 内缓慢上升，但在贮藏 90~180 d 内缓慢下降。进一步比较发现，在采后贮藏 90~180 d 内，经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉 TSS 含量显著高于对照组果实。

由图 4B 可知，采后贮藏期间，对照组果实的果肉 TA 含量总体呈快速下降趋势；而壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉 TA 含量在贮藏 0~30 d 内略有上升，之后缓慢下降。进一步比较发现，经壳聚糖处理的果肉 TA 含量在贮藏期间始终处于较高水平，且在贮藏 60~180 d 内，与对照组的差异达到极显著水平。

上述结果表明，壳聚糖处理能有效延缓采后纽荷尔脐橙果肉 TSS 和 TA 含量的下降，较好维持纽荷尔脐橙果实品质。

2.5 果肉可溶性总糖、蔗糖和还原糖含量

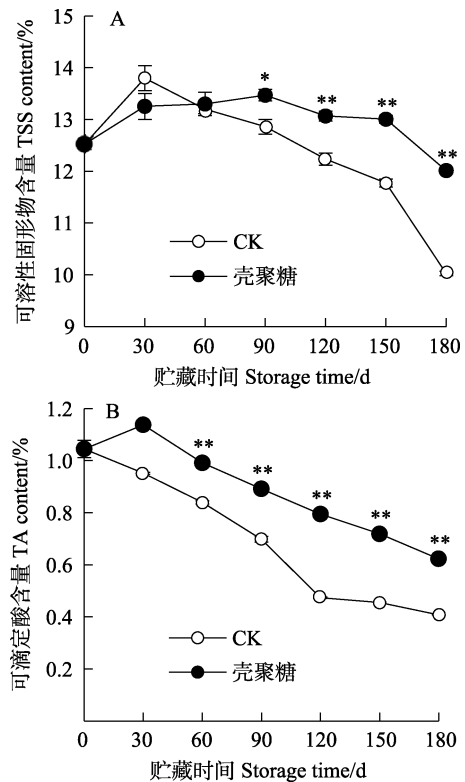
由图 5A 可知，采后贮藏期间，对照组果实的果肉可溶性总糖含量在贮藏 0~30 d 内缓慢上升，30~60 d 内略有下降，60~180 d 内快速下降。



*、**分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。
*, ** indicate significant difference ($P < 0.05$) or extremely significant difference ($P < 0.01$).

图 3 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果皮叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Fig. 3 Influence of chitosan treatment on amounts of chlorophyll and carotenoid in pericarp of postharvest Newhall navel orange fruits



*、**分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。
*, ** indicate significant difference ($P < 0.05$) or extremely significant difference ($P < 0.01$).

图 4 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果肉总可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

Fig. 4 Influence of chitosan treatment on amounts of total soluble solids (TSS) and titratable acid (TA) in pulp of postharvest Newhall navel orange fruits

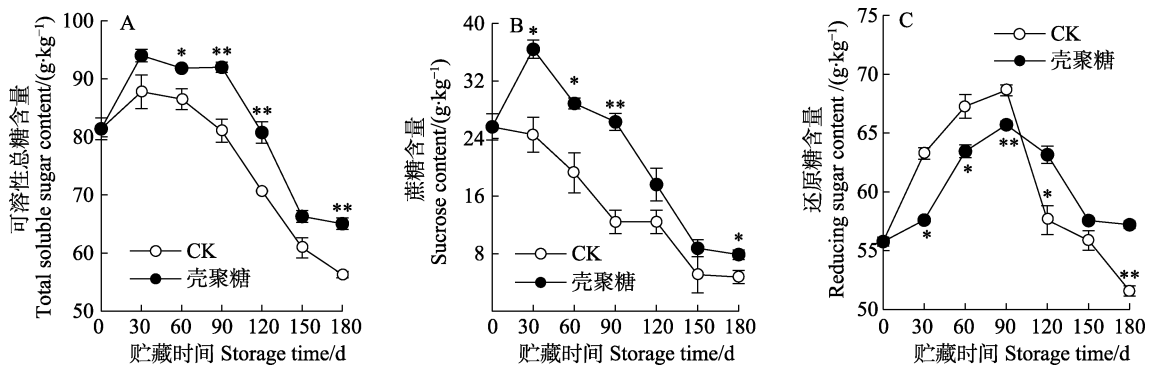
壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉可溶性总糖含量在贮藏 0~30 d 内快速上升, 30~90 d 内略微下降, 而在贮藏 90~150 d 内快速下降。进一步比较发现, 经壳聚糖处理的果肉可溶性总糖含量在贮藏期间始终处于较高水平, 且在贮藏 60~120 d 内及贮藏第 180 天时, 与对照组的差异达到显著水平。

由图 5B 可知, 采后贮藏期间, 对照组果实的果肉蔗糖含量总体呈现快速下降趋势。壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉蔗糖含量在贮藏 0~30 d 内快速上升, 而在贮藏 30 d 后则快速下降。进一步比较发现, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉蔗糖含量在采后贮藏期间均高于对照组, 且在贮藏

30~90 d 内及贮藏第 180 天时, 与对照组的差异达到显著水平。

由图 5C 可知, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果肉还原糖含量在贮藏 0~90 d 内快速上升, 而在贮藏 90 d 后则快速下降。其中, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉还原糖含量在贮藏 30~90 d 内显著低于对照组, 但在贮藏 90~180 d 内则显著高于对照组。

上述结果表明, 壳聚糖处理能有效延缓采后贮藏前期纽荷尔脐橙果肉蔗糖向还原糖的转化, 保持整个贮藏期较高的果肉总糖和蔗糖含量, 较好维持采后纽荷尔脐橙果实品质。



*、**分别表示差异显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$)。

*, ** indicate significant difference ($P<0.05$) or extremely significant difference ($P<0.01$).

图 5 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果肉可溶性总糖、蔗糖和还原糖含量的影响

Fig. 5 Influence of chitosan treatment on amounts of soluble total sugar, sucrose, and reducing sugar in pulp of postharvest Newhall navel orange fruits

2.6 果肉维生素 C、类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量

由图 6A 可知, 对照组纽荷尔脐橙的果肉维生素 C 含量随采后贮藏时间的延长而下降; 而壳聚糖处理的果肉维生素 C 含量在贮藏 0~30 d 内快速上升, 30~60 d 内快速下降, 而在贮藏 60 d 后则缓慢下降。进一步比较发现, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉维生素 C 含量高于对照组, 且在贮藏 30~60、120~180 d 内, 与对照组的差异达到显著水平。

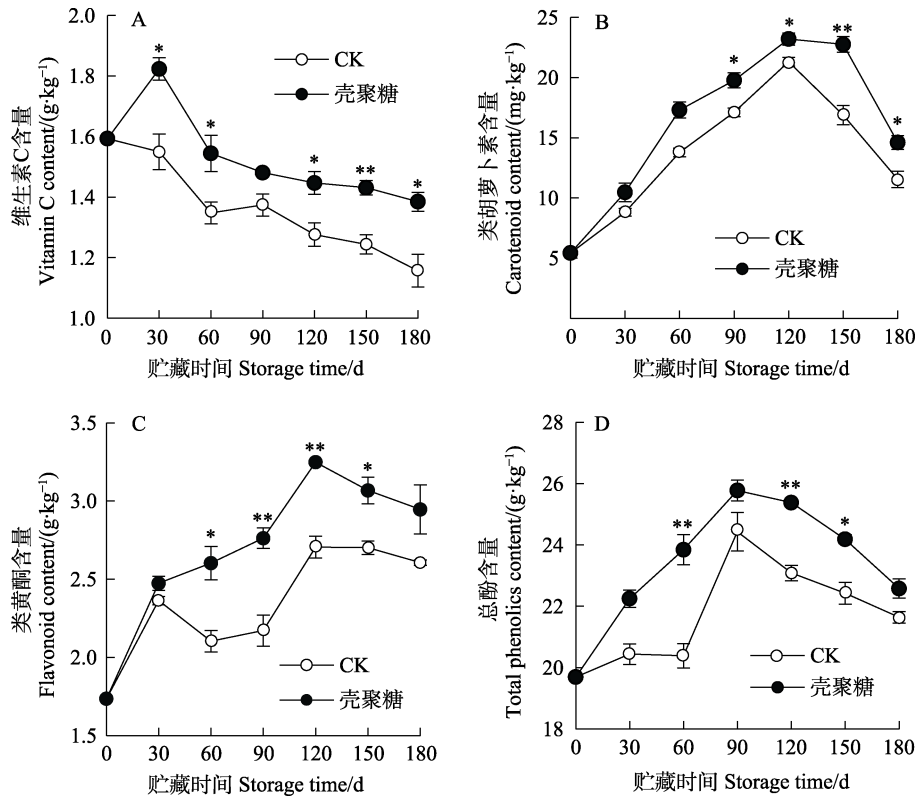
由图 6B 可知, 对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果肉类胡萝卜素含量均呈先上升 (0~120 d) 后下降 (120~180 d) 的变化趋势。其中, 经壳聚糖处理的果肉类胡萝卜素含量在贮藏期间始终处于较高水平, 且在贮藏 90~180 d 内, 与对照组的差异达到显著水平。

由图 6C 可知, 对照组纽荷尔脐橙的果肉类黄酮含量在贮藏 0~30 d 内快速上升, 30~60 d 内缓慢

下降, 60~90 d 内略微上升, 90~120 d 内较快上升, 之后变化不大。壳聚糖处理的果肉类黄酮含量在贮藏 0~120 d 内快速上升, 而在贮藏 120 d 后则缓慢下降。进一步比较发现, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉类黄酮含量高于对照组, 且在贮藏 60~150 d 内, 与对照组的差异达到显著水平。

由图 6D 可知, 对照组纽荷尔脐橙的果肉总酚含量在贮藏 0~60 d 内略微上升, 60~90 d 内快速上升, 而在贮藏 90 d 后则较快下降。壳聚糖处理的果肉总酚含量在贮藏 0~90 d 内快速上升, 而在贮藏 90 d 后则快速下降。进一步比较发现, 经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果肉总酚含量高于对照组, 且在贮藏第 60 天、第 120 天和第 150 天时, 与对照组的差异达到显著水平。

上述结果表明, 壳聚糖处理能使采后纽荷尔脐橙果实保持较高的果肉维生素 C、类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量, 较好维持采后纽荷尔脐橙果实品质。



*、**分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

*, ** indicate significant difference ($P < 0.05$) or extremely significant difference ($P < 0.01$).

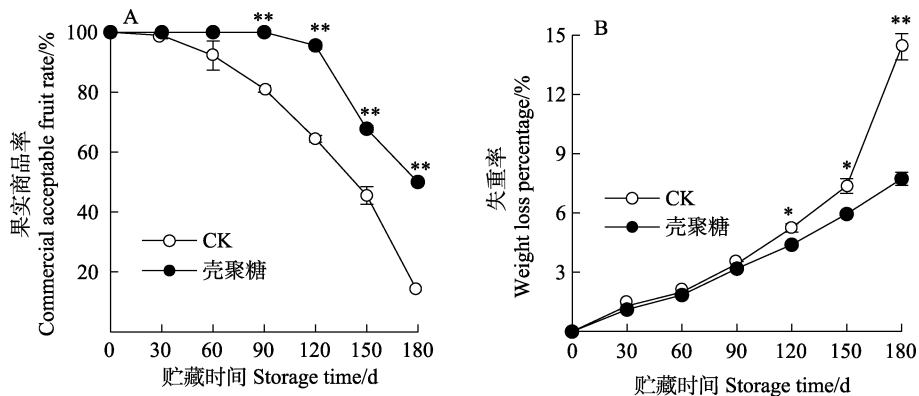
图 6 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果肉维生素 C、类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量的影响

Fig. 6 Influence of chitosan treatment on amounts of vitamin C, carotenoids, flavonoids and total phenol in pulp of postharvest Newhall navel orange fruits

2.7 果实商品率和失重率

由图 7A 可知，采后纽荷尔脐橙果实商品率呈下降趋势。对照组的果实商品率在贮藏 0~30 d 内略微下降，在贮藏 30 d 后则快速下降。如贮藏到第 120 天时，纽荷尔脐橙的果实商品率为 64.44%，至贮藏结束时 (180 d)，商品率只有 13%。

壳聚糖处理的果实商品率在贮藏 0~120 d 内变化不大，如贮藏到第 120 天时，其果实商品率为 95.56%；在贮藏 120 d 后则快速下降。进一步比较发现，经壳聚糖处理的纽荷尔脐橙果实商品率高于对照组，且在贮藏 90~180 d 内，与对照组的差异达到极显著水平。



*、**分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

*, ** indicate significant difference ($P < 0.05$) or extremely significant difference ($P < 0.01$).

图 7 壳聚糖处理对采后纽荷尔脐橙果实商品率和失重率的影响

Fig. 7 Influence of chitosan treatment on rate of commercial acceptable fruit and fruit weight loss of postharvest Newhall navel orange fruits

由图 7B 可知,对照组及壳聚糖处理组的纽荷尔脐橙果实失重率均随着贮藏时间的延长呈增加趋势。其中,经壳聚糖处理的果实失重率低于对照组,且在贮藏 120~180 d 内,与对照组的差异达到显著水平。

上述结果表明,壳聚糖处理能使采后纽荷尔脐橙果实保持较高的商品率,同时有效降低果实失重率。

3 讨论

壳聚糖是一种高分子阳离子多聚糖,可提高果蔬采后耐贮性^[16-19];壳聚糖还可作为涂膜保鲜剂,起抑制果蔬采后失水的作用,能够提高果蔬采后贮藏品质^[20-23]。

呼吸作用在采后果蔬生理代谢中起着重要作用。高呼吸速率可导致采后果蔬营养物质的大量消耗、严重的腐烂症状和缩短的货架期^[23]。ZHANG 等^[24]研究发现,低分子量壳聚糖(30 kDa)或高分子量壳聚糖(120 kDa)处理可降低采后油桃呼吸速率,延长油桃果实保鲜期;JIANG 等^[7]研究报道,卡多赞稀释 100 倍的壳聚糖溶液处理能显著降低采后荔枝果实的呼吸速率,延长荔枝果实货架期。因此,如能将采后纽荷尔脐橙果实的呼吸速率控制在较低水平,则有利于延长纽荷尔脐橙保鲜期。本研究结果显示,与对照组比较,壳聚糖处理能够有效降低纽荷尔脐橙果实贮藏后期呼吸速率的增加。

果皮色泽是消费者衡量果实外观品质的主要指标^[25]。阚超楠等^[26]研究表明,壳聚糖涂膜处理能延缓翠冠梨果实的外观色泽变化、果皮叶绿素含量降低和类胡萝卜素积累,抑制翠冠梨果皮色泽向黄褐色转变。本研究结果显示,在采后贮藏期间,对照组纽荷尔脐橙果实的果皮 a^* 值和 CCI 逐渐增加,而果皮 L^* 、 b^* 、 h° 值和果皮叶绿素含量逐渐下降,但果皮类胡萝卜素含量呈先上升后下降的变化趋势,说明在整个贮藏期间,对照组纽荷尔脐橙的果皮亮度由明转暗,由鲜亮的黄色变为橙色、暗橙色或红色。与对照组比较,壳聚糖处理能有效延缓纽荷尔脐橙果皮 a^* 值和 CCI 的上升,并使其保持在较低水平,抑制果皮 L^* 、 b^* 、 h° 值及果皮叶绿素、类胡萝卜素含量的下降,并使其保持在较高水平,表明壳聚糖处理能有效抑制采后纽荷尔脐橙果实外观色泽变化,较好地维持纽荷尔脐橙果实的外观品质。

果实中的 TSS、TA、可溶性总糖、蔗糖、还原糖、维生素 C、类胡萝卜素、类黄酮和总酚等营养物质含量,是评价果实贮藏品质和营养价值的重要指标^[7, 27-28]。PETRICCIONE 等^[29]研究发现,枇杷果实经 1%壳聚糖处理后,其果实的 TSS 和 TA 含量变化得到明显控制,且果实中总多酚、类黄酮、类胡萝卜素和抗坏血酸含量均保持在较高水平。JIANG 等^[7]研究报道,稀释 100 倍的壳聚糖溶液处理荔枝果实,在采后贮藏期间,能保持较高的荔枝果皮花青素和类黄酮含量,延缓荔枝果肉 TSS 和 TA 含量下降,较好地保持荔枝果实贮藏品质。本研究结果显示,对照组纽荷尔脐橙果肉 TSS 和可溶性总糖含量在采后贮藏 0~30 d 内上升,这可能与纽荷尔脐橙果实中淀粉等物质转化为可溶性糖等可溶性物质有关;而在贮藏 30 d 后, TSS 和可溶性总糖含量随贮藏时间的延长而逐渐降低,这可能与 TSS、可溶性总糖作为呼吸底物被消耗有关。此外,对照组纽荷尔脐橙果肉 TA、蔗糖和维生素 C 等物质含量总体呈下降趋势,这可能与蔗糖被水解为葡萄糖和果糖、有机酸的降解、维生素 C 的氧化等生理代谢有关。与对照组比较,壳聚糖处理能保持采后纽荷尔脐橙果实较高的果肉 TSS、TA、可溶性总糖、蔗糖和维生素 C 等营养物质含量,这与壳聚糖处理降低纽荷尔脐橙果实呼吸速率、减少 TSS、糖、酸等呼吸底物的消耗及营养物质的转化和降解有关。

本研究结果还显示,在采后贮藏期间,对照组纽荷尔脐橙果肉类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量总体呈先上升后下降的变化趋势。在贮藏前中期,其含量的上升可能与纽荷尔脐橙果肉中类胡萝卜素、类黄酮、总酚等物质的合成有关;而在贮藏后期,其含量的下降可能与类胡萝卜素、类黄酮、总酚等物质由积累向降解转变、果实衰老过程中物质被消耗有关。与对照组比较,壳聚糖处理能保持采后纽荷尔脐橙果实较高的果肉类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量。

果实商品率和失重率是判断果实贮藏效果的重要指标^[7-8]。本研究结果发现,在采后贮藏期间,对照组纽荷尔脐橙果实商品率呈下降趋势,而失重率则呈上升趋势。与对照组比较,壳聚糖处理能保持采后纽荷尔脐橙果实较高的商品率,并降低其果实失重率,这与壳聚糖处理降低果实呼吸作用、减少 TSS、糖、酸等呼吸底物消耗及壳聚糖处理在果实表面形成多孔的网络结构薄膜、减

缓果实水分散失有关^[30]。

综上所述, 卡多赞稀释 800 倍的壳聚糖溶液处理能保持采后纽荷尔脐橙果实较低的呼吸速率和失重率, 保持较高的商品率; 延缓果皮叶绿素含量的下降, 保持较高的果皮 L^* 、 b^* 、 h° 值和类胡萝卜素含量及较低的果皮 a^* 值和 CCI, 有效延缓纽荷尔脐橙果实外观色泽变化, 从而较好地保持纽荷尔脐橙果实的外观品质; 此外, 卡多赞稀释 800 倍的壳聚糖溶液处理还能保持较高的纽荷尔脐橙果肉 TSS、TA、可溶性总糖、蔗糖、维生素 C、类胡萝卜素、类黄酮和总酚含量, 从而保持较好的纽荷尔脐橙果肉营养品质。因此, 新型液态壳聚糖(卡多赞稀释 800 倍)处理可作为维持采后纽荷尔脐橙果实品质和延长其贮藏期的新型安全保鲜技术。

参考文献

- [1] MA Q L, LIN X, WEI Q J, YANG X Z, ZHANG Y N, CHEN J Y. Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 286: 110236.
- [2] CHEN C Y, WAN C P, PENG X, CHEN J Y. A flavonone pinocembrin inhibits *Penicillium italicum* growth and blue mold development in 'Newhall' navel oranges by targeting membrane damage mechanism[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2020, 165: 104505.
- [3] JIANG X J, LIN H T, LIN M S, CHEN Y H, WANG H, LIN Y X, SHI J, LIN Y F. A novel chitosan formulation treatment induces disease resistance of harvested litchi fruit to *Peronophythora litchii* in association with ROS metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2018, 266: 299-308.
- [4] 蒋璇靓, 郑江枫, 林河通, 林艺芬, 陈艺晖, 林钟铨, 陈梦茵. 壳聚糖对果蔬病害的抑制及其作用机理[J]. *包装与食品机械*, 2013, 31(1): 44-48.
JIANG X J, ZHENG J F, LIN H T, LIN Y F, CHEN Y H, LIN Z Q, CHEN M Y. A review of inhibiting disease of fruits and vegetables by chitosan and its action mechanism[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2013, 31(1): 44-48. (in Chinese)
- [5] 郭欣, 林育钊, 林河通, 李倩, 段睿琦, 朱文婧. 壳聚糖处理对西番莲果实感病指数、抗病相关酶活性和抗病物质含量的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 206-212.
GUO X, LIN Y Z, LIN H T, LI Q, DUAN R Q, ZHU W J. Effect of chitosan treatment on disease index, disease resistance-related enzyme activities and disease resistance-related substance contents in *Passiflora caerulea* L. fruit during storage[J]. *Food Science*, 2021, 42(15): 206-212. (in Chinese)
- [6] LIN Y F, LIN Y Z, LIN Y X, LIN M S, CHEN Y H, WANG H, LIN H T. A novel chitosan alleviates pulp breakdown of harvested longan fruit by suppressing disassembly of cell wall polysaccharides[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 217: 126-134.
- [7] JIANG X J, LIN H T, SHI J, NEETHIRAJAN S, LIN Y F, CHEN Y H, WANG H, LIN Y X. Effects of a novel chitosan formulation treatment on quality attributes and storage behavior of harvested litchi fruit[J]. *Food Chemistry*, 2018, 252: 134-141.
- [8] LIN Y Z, LI N, LIN H T, LIN M S, CHEN Y H, WANG H, RITENOUR M A, LIN Y F. Effects of chitosan treatment on the storability and quality properties of longan fruit during storage[J]. *Food Chemistry*, 2020, 306: 125627.
- [9] LIN Y Z, CHEN G, LIN H T, LIN M S, WANG H, LIN Y F. Chitosan postharvest treatment suppresses the pulp breakdown development of longan fruit through regulating ROS metabolism[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 165: 601-608.
- [10] 郭欣, 林育钊, 曾玲珍, 林静颖, 余星星, 林河通. 不同浓度壳聚糖处理对采后西番莲果实耐贮性和贮藏品质的影响[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(8): 1665-1673.
GUO X, LIN Y Z, ZENG L Z, LIN J Y, YU X X, LIN H T. Effects of different concentrations of chitosan treatment on storability and storage quality of passion fruit postharvest[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(8): 1665-1673. (in Chinese)
- [11] 郭欣, 林育钊, 邓礼艳, 唐金艳, 林河通. 壳聚糖处理对采后西番莲果实贮藏期间果皮活性氧代谢的影响[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(12): 2526-2533.
GUO X, LIN Y Z, DENG L Y, TANG J Y, LIN H T. Effects of chitosan treatment on reactive oxygen species metabolism in pericarp of harvested passion fruit during storage[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(12): 2526-2533. (in Chinese)
- [12] CHEN M Y, LIN H T, ZHANG S, LIN Y F, CHEN Y H, LIN Y X. Effects of adenosine triphosphate (ATP) treatment on postharvest physiology, quality and storage behavior of longan fruit[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(5): 971-982.
- [13] CHEN M, JIANG Q, YIN X R, LIN Q, CHEN J Y, ALLAN A C, XU C J, CHEN K S. Effect of hot air treatment on organic acid- and sugar-metabolism in Ponkan (*Citrus reticulata*) fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 147: 118-125.
- [14] 纪颖, 林河通, 蒋璇靓, 黄华明, 李娜, 肖烟云. 壳聚糖处理对采后建阳桔柚果实品质和贮藏特性的影响[J]. *热带*

- 作物学报, 2019, 40(4): 758-765.
- JI Y, LIN H T, JIANG X J, HUANG H M, LI N, XIAO Y Y. Effects of different concentrations of chitosan treatment on quality attributes and storage behavior of harvested 'Jianyang Tangelo' fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(4): 758-765. (in Chinese)
- [15] GAO Y, LIU Y, KAN C N, CHEN M, CHEN J Y. Changes of peel color and fruit quality in navel orange fruits under different storage methods[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256: 108522.
- [16] MUZZARELLI R A A, BOUDRANT J, MEYER D, MANNO N, DEMARCHIS M, PAOLETTI M G. Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: a tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 995-1012.
- [17] XING Y G, LI X H, XU Q L, YUN J, LU Y Q, TANG Y. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1443-1450.
- [18] 杨雪莲, 胡小京, 王霞, 李文文, 吴永飞, 颜丽, 彭强, 龙秀琴. 茶多酚与壳聚糖复合保鲜剂对黄金百香果和紫香百香果保鲜效果的影响[J]. 热带作物学报, 2022, 43(10): 2139-2148.
- YANG X L, HU X J, WANG X, LI W W, WU Y F, YAN L, PENG Q, LONG X Q. Effects of tea polyphenols and chitosan compound preservative on the preservation of golden passion fruit and purple passion fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(10): 2139-2148. (in Chinese)
- [19] 刘帅民, 王淋靓, 冯春梅, 黎新荣, 刘港帅, 黄燕婷, 陈蕊蕊, 檀业维. 壳聚糖调节膜透性和能量代谢减缓沃柑果实采后品质劣变[J]. 中国食品学报, 2023, 23(1): 250-258.
- LIU S M, WANG L L, FENG C M, LI X R, LIU G S, HUANG Y T, CHEN R R, TAN Y W. Chitosan alleviates postharvest quality deterioration in fertile orange fruit by regulating membrane permeability and energy metabolism[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(1): 250-258. (in Chinese)
- [20] TEZOTTO-ULIANA J V, FARGONI G P, GEERDINK G M, KLUGE R A. Chitosan applications pre-or-postharvest prolong raspberry shelf-life quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91: 72-77.
- [21] 梁杰, 赵晓旭, 刘涛, 王莉滨, 林清火, 蔡力锋. 茶多酚-壳聚糖复合膜的制备及保鲜效果研究[J]. 热带作物学报, 2022, 43(6): 1267-1279.
- LIANG J, ZHAO X X, LIU T, WANG L B, LIN Q H, CAI L F. Preparation and fresh-keeping effect of tea polyphenol-chitosan composite film[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(6): 1267-1279. (in Chinese)
- [22] HAN C, ZUO J H, WANG Q, XU L J, ZHAI B Q, WANG Z S, DONG H Z, GAO L P. Effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 166: 1-8.
- [23] GAO P S, ZHU Z Q, ZHANG P. Effects of chitosan-glucose complex coating on postharvest quality and shelf life of table grapes[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95(1): 371-378.
- [24] ZHANG W L, ZHAO H D, ZHANG J, SHENG Z T, CAO J K, JIANG W B. Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism[J]. Food Chemistry, 2019, 289: 160-168.
- [25] 尹保凤, 曾凯芳, 张昭其, 邓丽莉. 柑橘果实乙烯褪绿技术研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(3): 245-249.
- YIN B F, ZENG K F, ZHANG Z Q, DENG L L. Advances in ethylene degreening treatment of citrus fruits[J]. Food Science, 2015, 36(3): 245-249. (in Chinese)
- [26] 阚超楠, 高阳, 陈明, 陈楚英, 陈金印, 刘善军. 壳聚糖涂膜处理对翠冠梨果实常温货架期色泽和贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(1): 11-17.
- KAN C N, GAO Y, CHEN M, CHEN C Y, CHEN J Y, LIU S J. Effect of chitosan coating on the color and storage quality of 'Cuiguan' pear fruit during shelf life at room temperature[J]. Food Research and Development, 2019, 40(1): 11-17. (in Chinese)
- [27] RAMAKRISHNAN S R, JO Y, NAM H A, GU S Y, BAEK M E, KWON J H. Implications of low-dose e-beam irradiation as a phytosanitary treatment on physicochemical and sensory qualities of grapefruit and lemons during postharvest cold storage[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 245: 1-6.
- [28] WANG Q, ZHENG Y F, YU Y B, GAO H Y, LAI C C, LUO X L, HUANG X G. Effects of cross-pollination by 'Murcott' tangor on the physicochemical properties, bioactive compounds and antioxidant capacities of 'Qicheng 52' navel orange[J]. Food Chemistry, 2019, 270: 476-480.
- [29] PETRICCIONE M, PASQUARIELLO M S, MASTROBUONI F, ZAMPELLA L, PATRE D D, SCORTICHINI M. Influence of a chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of loquat fruit during postharvest life[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 197: 287-296.
- [30] CHEN C Y, PENG X, CHEN J Y, GAN Z Y, WAN C P. Mitigating effects of chitosan coating on postharvest senescence and energy depletion of harvested pummelo fruit response to granulation stress[J]. Food Chemistry, 2021, 348: 129113.