

赵茹, 康明丽, 张琴, 等. 不同保鲜处理对青皮核桃贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(18): 273–281. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100208

ZHAO Ru, KANG Mingli, ZHANG Qin, et al. Effects of Different Preservation Treatments on Storage Quality of Green Walnut[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(18): 273–281. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100208

· 贮运保鲜 ·

不同保鲜处理对青皮核桃贮藏品质的影响

赵茹¹, 康明丽^{1*}, 张琴¹, 朱志强^{2,3}, 何爱民⁴, 吉洋洋⁴

(1.河北科技大学食品与生物学院, 河北石家庄 050000;

2.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室,
天津 300384;

3.天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384;

4.河北绿岭康维食品有限公司, 河北邢台 054300)

摘要:为探究不同保鲜处理对青皮核桃贮藏效果的影响, 该研究以青皮核桃为试验材料, 采用 4 种不同保鲜方法进行处理: 0 ℃ 冷水浸泡 5 min、150 mg/L ClO_2 浸泡 20 min、100 mg/L 赤霉素浸泡 20 min 和赤霉素 (100 mg/L) + 咪鲜胺 (有效成分含量 450 g/L) 混合处理 20 min, 以不做处理的青皮核桃为对照, 在 0 ± 0.3 ℃ 的低温条件下贮藏, 研究其贮藏期间褐变指数、水分含量、色差、呼吸强度、硬度、叶绿素含量、丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量、多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 和过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性, 总酚和总黄酮含量。结果表明, 在贮藏期间, 处理组青皮核桃与对照组相比, 处理组显著 ($P < 0.05$) 延缓了其水分含量的降低和色差的变化, 延缓褐变指数、呼吸强度和 PPO 活性的上升, 抑制了硬度、叶绿素、总酚、总黄酮含量的下降, 降低了贮藏期 MDA 的生成量, 更好的保持 POD 活性。由试验可知, 赤霉素+咪鲜胺处理的青皮核桃水分含量、硬度、叶绿素含量、总酚和总黄酮含量最高, 褐变指数和色差上升最缓慢, 呼吸强度最低, 丙二醛含量和 PPO、POD 活性最低, 保鲜效果最佳。

关键词:青皮核桃, 低温贮藏, 保鲜处理, 贮藏效果, 赤霉素, 咪鲜胺

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)18-0273-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100208

本文网刊:



Effects of Different Preservation Treatments on Storage Quality of Green Walnut

ZHAO Ru¹, KANG Mingli^{1*}, ZHANG Qin¹, ZHU Zhiqiang^{2,3}, HE Aimin⁴, JI Yangyang⁴

(1.College of Food Science and Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050000, China;

2.National Engineering Research Center of Agricultural Product Preservation (Tianjin), Key Laboratory of Agricultural Product Storage and Preservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300384, China;

3.Institute of Agricultural Product Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China;

4.Hebei Lüling Kangwei Food Co., Ltd., Xingtai 054300, China)

Abstract: To explore the effects of different preservation treatments on the storage quality of green walnut, this study took green walnut as test material and adopted 4 different preservation. Methods: Soaked in cold water at 0 ℃ for 5 min, 150 mg/L ClO_2 for 20 min, 100 mg/L gibberellin for 20 min and mixed with gibberellin (100 mg/L)+imidamine (active component content 450 g/L) for 20 min. The browning index, moisture content, color difference, respiratory intensity, hardness, chlorophyll content, malondialdehyde (MDA) content, polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) activity,

收稿日期: 2023-10-27

基金项目: 河北省重点研发计划项目 (21327101D)。

作者简介: 赵茹 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 17603182926@163.com。

* 通信作者: 康明丽 (1973-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: kmingli@hebust.edu.cn。

total phenol and total flavonoids content of walnut with green peel as control were studied during storage under $0\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. The results showed that during the storage, compared with the control group, the treatment group significantly ($P<0.05$) delayed the decrease of water content and the change of color difference, delayed the increase of browning index, respiratory intensity and PPO activity, inhibited the decrease of hardness, chlorophyll, total phenol and total flavonoid contents, reduced the MDA production and better maintained POD activity during the storage period. According to the experiment, the water content, hardness, chlorophyll content, total phenol and total flavone content of green walnut treated with gibberellin+imimine were the highest, the browning index and color difference increased the most slowly, the respiratory intensity was the lowest, the malondialdehyde content and the activities of PPO and POD were the lowest, and the preservation effect was the best.

Key words: green walnut; low-temperature storage; preservation treatment; storage effect; gibberellin; prochloraz

核桃营养价值及活性成分丰富,口感清爽。核桃仁中含有丰富的蛋白质、碳水化合物、氨基酸、不饱和脂肪酸、维生素、矿物质、多酚和植物甾醇等,具有改善疲劳和失眠^[1]、抑制脑功能衰退、调节血黏度、调节糖脂代谢^[2]、降低心血管疾病风险^[3]等保健功能,是一种优质的食药同源食物。消费者购买的多为干制核桃,研究发现,与干制核桃相比,鲜食核桃仁中所含氨基酸、维生素C等营养成分较高,且香味清香,风味独特^[4],鲜食核桃受到越来越多消费者的青睐,具有很好的市场前景。但鲜食核桃采后生理代谢活动旺盛,含水量高、酶活性高,极易在贮藏过程中出现青皮褐变腐烂,核仁氧化酸败、失水等现象,影响贮运感官品质和销售价值。因此,研究青皮核桃贮藏保鲜技术,延长贮藏期,对鲜食核桃产业发展具有重要生产实践意义。

目前,果蔬保鲜技术很多。冷激处理分为冰水混合物冷激处理和低温空气冷激处理。冷激处理通过低温胁迫诱发果实的生理抗性,可以减少果蔬营养的损失,抑制果蔬的后熟,从而延长贮藏期。何萍^[5]采用冷激处理不同成熟度壶瓶枣,发现冷激处理可以推迟其呼吸峰,降低PPO活性保持较好的营养成分,延缓果皮褐变,对其成熟衰老有抑制作用。Zhang等^[6]采用 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰水混合物的冷激处理方法,将香蕉处理1h后在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行贮藏,研究发现,冷激处理可以延缓香蕉果皮的转色、软化。冷激处理还可以提高黄瓜的抗氧化酶活性^[7]。二氧化氯(ClO_2)被世界卫生组织和世界粮农组织列为A1级高效、安全、广谱的化学消毒剂,是国际上公认的无毒、无残留的果蔬保鲜剂和杀菌剂^[8]。王进等^[9]研究表明 ClO_2 可以抑制青皮核桃腐烂霉变,保持核仁品质。李广胜等^[10]认为混合处理($\text{ClO}_2+1\text{-MCP}$)能更好的保持青皮核桃的贮藏品质。董晓庆等^[11]发现 ClO_2 处理可以有效抑制青皮核桃的褐变和腐烂,降低水分的散失,延缓核仁的氧化变质。赤霉素(gibberellic acid, GA3)是一种内源植物激素,可以调节植物的生长发育及植物细胞内许多抗氧化酶的活性,延缓果蔬的后熟和衰老^[12]。王旭等^[13]研究表明采用浓度为 100 mg/L 的赤霉素处理大平顶枣保鲜效果较好;焦莉等^[14]采用赤霉素对生菜进行保鲜处

理,其结果可以延长生菜的贮藏期,提高其贮藏品质。咪鲜胺是一种低毒广谱高效的咪唑类杀菌剂,在贮藏过程中,对于果蔬的病害和保鲜能起到显著效果,其主要通过抑制甾醇的生物合成而起作用^[15]。目前,咪鲜胺在一些果实的贮藏保鲜过程中均得到良好的保鲜效果。

目前,冷水处理、赤霉素、赤霉素与咪鲜胺的复合使用在青皮核桃贮藏保鲜的研究尚未见报道。本研究以青皮核桃为试材,研究冷水处理、 ClO_2 处理、赤霉素处理、赤霉素与咪鲜胺混合处理对青皮核桃采后贮藏保鲜效果的影响,以期对青皮核桃采后贮藏保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“绿岭”青皮核桃 采自河北省临城县绿岭庄园核桃基地,采摘时挑选大小一致、无病害、无机械伤的青皮核桃,采后于国家保鲜工程中心冷库预冷 24 h ; 0.04 mm 聚乙烯(PE)薄膜保鲜袋 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供;赤霉素 上海同瑞生物科技有限公司;二氧化氯(ClO_2) 天津任能环保科技有限公司;咪鲜胺(有效成分含量 450 g/L) 山东省青岛瀚生生物科技股份有限公司;丙酮、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、愈创木酚、 $30\%\text{ H}_2\text{O}_2$ 分析纯,天津市江天统一科技有限公司。

SynergyH1 多功能酶标仪 美国 BioTek 公司; H2500R 高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司; CR-400 色彩色差计 日本美能达公司; TA.XTPlus 物性测试仪 美国 Stable Micro System 公司; 101-3AB 鼓风干燥箱 天津市斯泰特仪器有限公司; SHC-A 水浴恒温振荡器 常州国宇仪器制造有限公司; HH-2 数显恒温水浴锅 常州天瑞仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 青皮核桃保鲜处理 冷水处理组:将青皮核桃浸泡于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰水混合物 5 min ; ClO_2 处理组:将青皮核桃浸泡于 150 mg/L ClO_2 溶液中,浸泡 20 min ; 赤霉素处理组:将青皮核桃浸泡于 100 mg/L 赤霉素溶液中,浸泡 20 min ; 赤霉素+咪鲜胺混合处理组:将青皮核桃浸泡于赤霉素(100 mg/L)和咪鲜胺(有效成分含量 450 g/L)的混合溶液中,浸泡 20 min ; 对照组

(CK): 将青皮核桃不做任何处理。上述处理均晾干后装入 0.04 mm PE 袋中, 置于冷库贮藏。贮藏库温度为 0 ± 0.3 °C, 贮藏时间 70 d, 每个处理 6 袋, 每袋 50 个核桃, 每隔两周取样一次, 测定青皮核桃品质指标。

1.2.2 测定指标与方法

1.2.2.1 褐变指数的测定 参照董慧等^[16]的测定方法, 根据青皮核桃表面褐变面积的大小, 将褐变面积共分为 5 级。

$$\text{褐变指数}(\%) = \frac{\sum(\text{褐变指数} \times \text{本级核桃数})}{\text{总核桃数} \times \text{最高级别核桃数}} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

1.2.2.2 水分含量的测定 采用干燥恒重法, 取青皮和核仁 2.000 g, 放入恒温干燥箱中, 于 105 °C 条件下干燥至恒重。

$$\text{水分含量}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中: m_0 为干燥皿的质量, g; m_1 为烘干前样品和称量皿的质量, g; m_2 为恒重后样品和称量皿的质量, g。

1.2.2.3 色差的测定 采用色差计测定核桃青皮色差, 随机从每个处理中取 10 个青皮核桃, 选取赤道上的 3 个不同的点, 记录各个点的 a^* 值。

1.2.2.4 呼吸强度的测定 参考 Yun 等^[17]的方法, 稍作修改。每组处理随机取青皮核桃, 置于密封罐内, 密闭 2 h, 测定密封罐内 CO_2 的浓度。

$$\text{呼吸强度} = \frac{19.64 \times C \times (V_1 - V_2)}{t \times m} \quad \text{式 (3)}$$

式中: C 为 CO_2 浓度, %; V_1 为密封罐体积, L; V_2 样品体积, L; t 为密封时间, h; m 为样品质量, kg。

1.2.2.5 硬度的测定 参考张婷等^[18]的方法, 稍作修改。采用物性测定仪测定, 采用 $\Phi 2$ mm 柱头对青皮核桃进行测试, 穿刺深度为 6 mm, 测试速度为 2 mm/s, 每个处理测定 15 个。

1.2.2.6 叶绿素含量的测定 参考李雪瑞等^[19]方法。称取 2 g 青皮样品, 加入 20 mL 丙酮:乙醇(1:1)混合液, 避光静置 12 h。分别在波长 645 nm 和 663 nm 处测定吸光值, 按公式(4)求得青皮叶绿素含量, 重复 3 次。

$$\text{叶绿素含量} = \frac{(20 \times D_{645} + 8.02 \times D_{663}) \times V}{1000 \times m} \quad \text{式 (4)}$$

式中, V 为提取液体积, mL; m 为样品质量, g。

1.2.2.7 丙二醛(malonic dialdehyde, MDA)含量的测定 参照马艳萍^[20]的方法, 称取样品 1 g, 加入 10% 三氯乙酸 5 mL, 4 °C, 10000 r/min 离心 20 min, 上清液为样品提取液, 取上清液 2 mL 加入 2 mL 0.67% 硫代巴比妥酸溶液, 混合后沸水浴 20 min, 取出后冷却, 分别在 450、532、600 nm 波长处测定吸

光值。重复三次。

1.2.2.8 多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)的测定 参照蒋柳庆^[21]的方法, 称取样品 5 g, 加入 10 mL pH6.8 磷酸缓冲液, 4 °C, 10000 r/min 离心 20 min, 上清液即为酶提取液, 配制反应体系, 在波长 420 nm 测定吸光值, 重复三次。

1.2.2.9 过氧化物酶(POD)的测定 参照叶妞^[22]的方法, 称取样品 5 g, 加入 10 mL pH6.8 磷酸缓冲液, 4 °C, 10000 r/min 离心 20 min, 上清液即为酶提取液, 配制反应体系, 在波长 470 nm 测定吸光值, 重复三次。

1.2.2.10 总酚含量的测定 参照兰文忠等^[23]的方法, 称取 0.1 g 样品, 加入 1.5 mL 70% 乙醇溶液, 4 °C、10000 r/min 离心 20 min, 吸取 0.2 mL 上清液加入 4 mL 20% Na_2CO_3 , 反应 2 min 加入 0.9 mL 福林酚, 在 750 nm 处测定吸光值。

1.2.2.11 总黄酮含量的测定 参照兰文忠^[23]的方法, 称取 1 g 青皮, 加入 10 mL 50% 甲醇浸提 2 h, 取提取液 1 mL 加入 0.5 mL 5% NaNO_2 , 静置 10 min, 再加入 0.5 mL $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, 静置 10 min, 加入 3 mL 4% NaOH , 静置 10 min, 在波长 510 nm 处测定吸光值。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 软件计算处理, 采用 Origin 64.0 作图, 使用 SPSS 26.0 软件统计分析, 并用单因素方差分析进行差异分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同保鲜处理对青皮核桃褐变指数的影响

青皮核桃在采后贮藏期间容易发生褐变, 直接影响其贮藏品质。青皮核桃表皮褐变指数直观反映了其褐变程度。由图 1 可知, 在整个贮藏期间, 所有处理组的褐变指数均呈现上升趋势, 这与青皮细胞衰老和内部氧化褐变有关。第 2 周时出现不同程度的褐变, 贮藏 6~10 周时, 保鲜剂处理组褐变指数均低于对照组, 在第 10 周时, 赤霉素+咪鲜胺处理组褐变指数为 31.9%, 低于赤霉素处理组和 ClO_2 处理组,

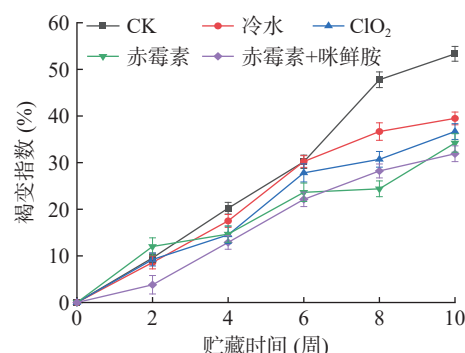


图 1 不同保鲜处理对青皮核桃褐变指数的影响

Fig.1 Effects of different preservation treatments on browning index of green walnut

显著低于对照组和冷水处理组($P<0.05$), 赤霉素可以协同调控果实采后品质, 提高果实抗病性。说明赤霉素+咪鲜胺协同作用可以显著抑制青皮核桃贮藏过程中青皮的褐变。刘瑾等^[24] 研究结果与本研究结果相似, 采前赤霉素处理可以减轻“黑宝石”李果的褐变程度, 延长贮藏期, 提高贮藏品质。

2.2 不同保鲜处理对青皮核桃水分含量的影响

水分含量是影响青皮贮藏品质的一个重要指标, 其变化会影响青皮的外观和核仁的口感质地。由图2、图3可以看出, 青皮和核仁的水分含量随贮藏时间的延长呈下降趋势, 这与李广胜等^[10] 研究结果一致。贮藏4周后, 青皮和核仁的水分含量下降较快, 由图2可知, 青皮水分含量初值为92.76%, 贮藏10周时, 赤霉素+咪鲜胺、赤霉素、 ClO_2 、冷水处理组高于对照组, 赤霉素+咪鲜胺处理组显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏前期青皮核桃呼吸作用旺盛, 水分会随着呼吸作用被排出, 造成水分含量的下降; 在贮藏后期。随着果实的衰老, 细胞壁结构受损, 营养物质损失, 加速水分含量的下降。焦莉等^[14] 的研究也发现, 浓度为25 mg/L的赤霉素能有效抑制生菜叶片水分含量的下降。由图3可知, 贮藏初期核仁水分含量为32.79%, 整个贮藏期间, CK、冷水、 ClO_2 、赤霉素、赤霉素+咪鲜胺处理组的核仁水分含量分别下降了26.31%、25.8%、21.38%、23.24%、20.19%,

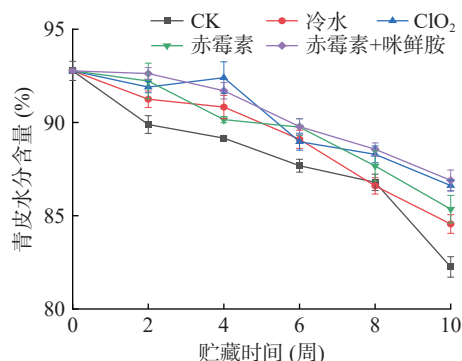


图2 不同保鲜处理对青皮水分含量的影响

Fig.2 Effects of different preservation treatments on water content of green peel

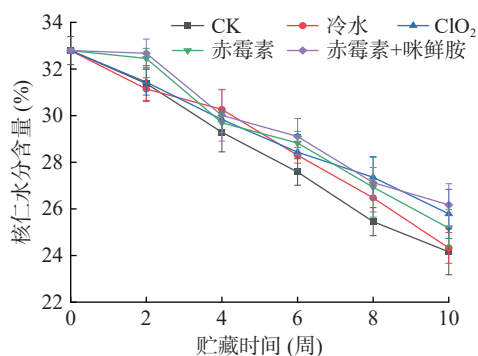


图3 不同保鲜处理对核仁水分含量的影响

Fig.3 Effects of different preservation treatments on water content of nucleoli

可以看出, 赤霉素+咪鲜胺混合处理的青皮核桃核仁水分含量下降率低于其他处理组, 结果表明, 赤霉素+咪鲜胺处理青皮核桃能有效抑制青皮核桃青皮和核仁水分含量的降低。这一结论与张建业等^[25] 研究结果一致, 赤霉素和咪鲜胺的复合处理可以延缓蒜薹水分的散失。

2.3 不同保鲜处理对青皮核桃色差的影响

色差是评价果实外观品质的重要指标, 红绿度 a^* 值越小说明绿度越高。由图4可知, 在贮藏过程中, a^* 呈现逐渐上升趋势, 贮藏第2周时, a^* 差异不大, 从第4周开始, a^* 都开始明显上升, 处理组始终低于对照组, 混合处理组显著低于其他组($P<0.05$)。赤霉素可以抑制果实叶绿素的降解, 从而延缓青皮 a^* 的上升。结果表明, 赤霉素和咪鲜胺混合处理的青皮核桃色泽保持最好。这与人研究结果一致, 咪鲜胺和二氧化氯复合处理仔姜, 可以保持其色泽和亮度^[26]。

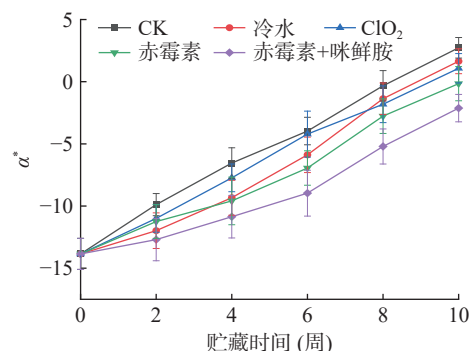


图4 不同保鲜处理对青皮核桃色差的影响

Fig.4 Effects of different preservation treatments on color difference of green walnut

2.4 不同保鲜处理对青皮核桃呼吸强度的影响

在果蔬贮藏过程中, 呼吸作用是一种必不可少的代谢活动, 会消耗果蔬体内积累的营养物质, 从而影响果蔬的贮藏品质。抑制采后青皮核桃的呼吸强度, 可以延长其贮藏期。由图5可以看出, 呼吸强度呈先上升后下降的趋势, 青皮核桃是一种呼吸跃变型果实, 在贮藏过程中, 消耗自身营养物质, 不断进行呼

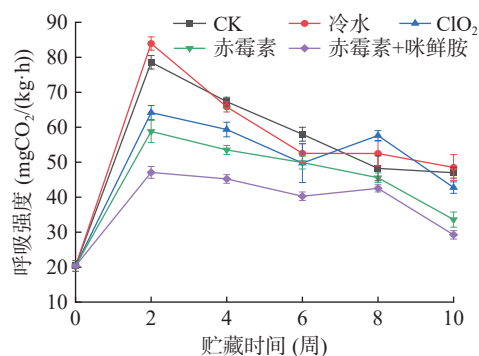


图5 不同保鲜处理对青皮核桃呼吸强度的影响

Fig.5 Effects of different preservation treatments on respiratory intensity of green walnut

吸作用和生理代谢活动。在第 2 周时,出现呼吸高峰,冷水处理组达到 $83.94 \text{ mg CO}_2/(\text{kg}\cdot\text{h})$,对照组达到 $78.57 \text{ mg CO}_2/(\text{kg}\cdot\text{h})$,保鲜剂处理组均低于对照组,其中赤霉素+咪鲜胺处理组最低,为 $47.09 \text{ mg CO}_2/(\text{kg}\cdot\text{h})$,随后各处理组的呼吸强度下降,在贮藏后期,对照组和冷水处理组变化幅度较小,赤霉素+咪鲜胺处理组始终低于其他处理组,说明赤霉素和咪鲜胺复合处理可以显著抑制青皮核桃的呼吸速率($P<0.05$),延缓其成熟衰老。周会玲等^[27]的研究结果与本文研究结果相似,采后用不同浓度赤霉素处理番茄可有效推迟其呼吸高峰,降低呼吸峰值。在聂青玉^[28]研究结果中,咪鲜胺+壳寡糖混合处理可以抑制脐橙的呼吸强度,与本文研究结果一致。

2.5 不同保鲜处理对青皮核桃硬度的影响

青皮核桃在贮藏过程中随着贮藏时间延长,青皮细胞壁会发生降解,青皮软化,导致硬度降低。由图 6 可知,在贮藏过程中,对照组和处理组硬度均呈下降趋势,青皮核桃在贮藏过程中,随着贮藏时间延长,青皮组织中的细胞壁降解酶降解细胞壁物质,细胞壁结构被破坏,从而导致青皮软化,硬度降低^[29]。对照组、冷水处理组始终低于保鲜剂处理组,贮藏第 10 周时,分别下降 49.37% 和 50.19%,而赤霉素+咪鲜胺、赤霉素和 ClO_2 处理组分别下降 24.76%、25.72% 和 27.21%,与对照组差异显著,其中,赤霉素+咪鲜胺处理组下降缓慢。由此可见,赤霉素+咪鲜胺、赤霉素和 ClO_2 能有效延缓青皮核桃硬度的下降速度,延缓组织结构衰老,其中赤霉素+咪鲜胺处理效果最佳。赤霉素可以抑制细胞水解酶的活性和果胶酶的降解,从而延缓果实硬度的下降^[30]。赤霉素能够抑制乙烯的合成,同时可以清除过多的自由基对细胞膜造成的伤害,使果实维持较高的硬度^[31]。类似结果在任邦来等^[32]研究结果中得到验证,赤霉素对油桃的硬度有较好的维持效果;谢冬娣等^[33]研究发现,带泥+咪鲜胺处理能更好维持荸荠硬度。

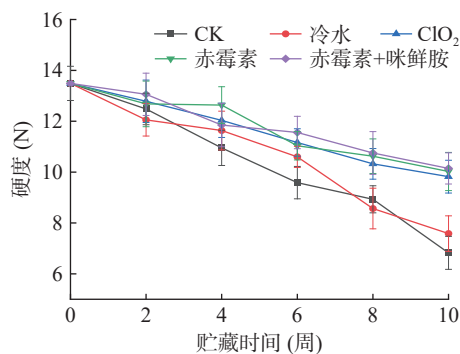


图 6 不同保鲜处理对青皮核桃硬度的影响

Fig.6 Effects of different preservation treatments on the hardness of green walnut

2.6 不同保鲜处理对青皮核桃叶绿素含量的影响

青皮核桃在贮藏过程中色泽的变化与叶绿素含量密切相关^[34]。由图 7 可知,青皮叶绿素随贮藏时

间延长而下降。对照组叶绿素含量在整个贮藏期间始终低于其他处理组,说明保鲜处理可以延缓青皮叶绿素含量的下降。在贮藏前期,赤霉素+咪鲜胺与赤霉素处理的青皮核桃叶绿素含量无显著性差异($P>0.05$),而显著高于对照组($P<0.05$),贮藏到第 10 周时,赤霉素+咪鲜胺处理组的叶绿素含量为 0.34 mg/g ,高于 CK 组 183.3%,显著高于其他处理组($P<0.05$),赤霉素处理可降低叶绿素酶活性,抑制果实叶绿素降解,降低类黄酮物质合成,从而延缓果实衰老腐烂,延长贮藏期^[35]。张建业等^[25]用赤霉酸和咪鲜胺对蒜薹进行保鲜处理,同样可以抑制蒜薹叶绿素的损失,与本文结果一致。由此可得赤霉素+咪鲜胺复合处理可有效抑制叶绿素的降解,延缓青皮的黄化,维持青皮核桃的颜色品质。

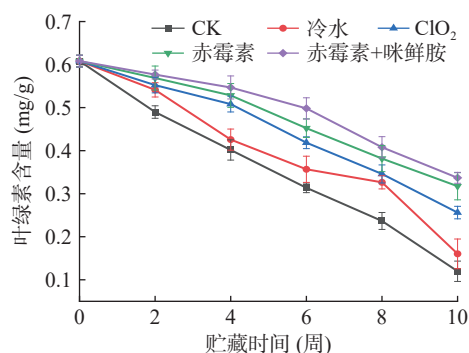


图 7 不同保鲜处理对青皮核桃叶绿素含量的影响

Fig.7 Effects of different preservation treatments on chlorophyll content of walnut

2.7 不同保鲜处理对青皮核桃核仁丙二醛的含量的影响

丙二醛(MDA)含量可以反映细胞膜脂质过氧化程度,MDA 含量增加,细胞组织的破坏加剧^[36]。由图 8 可以看出,MDA 含量在贮藏期总体呈上升趋势。CK 组上升速率高于处理组,在第 6~10 周时,赤霉素+咪鲜胺处理组始终低于其他处理组。在贮藏第 10 周时,赤霉素+咪鲜胺和赤霉素处理组 MDA 含量分别为 5.99 、 6.69 mmol/g ,冷水与 ClO_2 处理组 MDA 含量分别为 7.57 、 7.06 mmol/g ,CK 组含量为

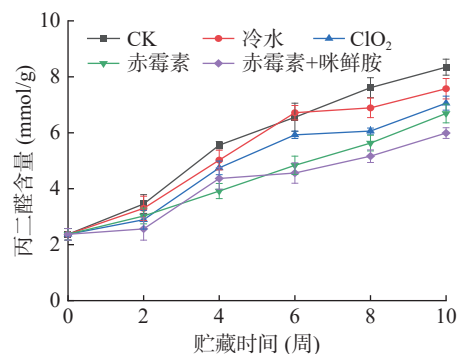


图 8 不同保鲜处理对青皮核桃核仁丙二醛含量的影响

Fig.8 Effects of different preservation treatments on the content of malondialdehyde in walnut kernel

8.34 mmol/g, 赤霉素+咪鲜胺处理组显著低于其他各组($P<0.05$)。这是因为赤霉素可以保持果实细胞膜完整性, 延缓 MDA 含量的上升。刘瑾等^[24]对李果进行采前赤霉素处理, 可以降低果实 MDA 的含量, 提高果实抗低温胁迫的能力。巴良杰等^[37]的研究发现, 咪鲜胺可以抑制火龙果 MDA 的增加, 延缓衰老。由此可见, 赤霉素+咪鲜胺复合处理可以抑制青皮核桃脂质过氧化程度, 维持细胞结构完整性。

2.8 不同保鲜处理对青皮核桃 PPO 活性的影响

PPO 是引起果实褐变的主要酶类。由图 9 可以看出, PPO 活性总体呈现先上升后下降的趋势。在贮藏前期, CK、冷水、 ClO_2 处理组的 PPO 活性迅速上升, 当果蔬细胞遭到破坏时, PPO 与酚类物质在氧作用下生成醌类, 醌类物质进一步生成褐色物质, 引起果实褐变, 导致 PPO 活性上升^[38]。赤霉素、赤霉素+咪鲜胺处理组的 PPO 活性降低, 可能是青皮核桃受低温胁迫的影响, PPO 活性变大, 赤霉素和咪鲜胺可以抑制 PPO 活性。在贮藏 10 周时, 对照组 PPO 活性为 1.61 U/g, 各处理组的 PPO 活性均低于对照组, 其中赤霉素+咪鲜胺处理青皮核桃的 PPO 活性最低, 为 0.87 U/g, 显著低于对照组($P<0.05$)。赤霉素可降低 PPO 的生物合成, 以延缓果实褐变^[39]。此类研究结果在崔志宽等^[40]的研究中得到验证, 赤霉素+水杨酸处理可以抑制水蜜桃 PPO 活性。因此赤霉素+咪鲜胺能够有效降低采后青皮核桃 PPO 活性, 减少酚类物质的氧化。

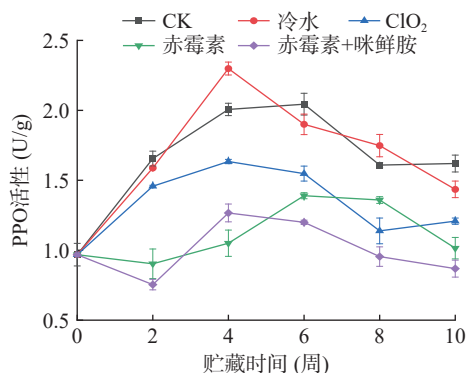


图 9 不同保鲜处理对青皮核桃 PPO 活性的影响
Fig.9 Effects of different preservation treatments on PPO activity of green walnut

2.9 不同保鲜处理对青皮核桃 POD 活性的影响

POD 是一种氧化还原酶, 可以清除自由基, 延缓果蔬的衰老。由图 10 可以看出, 各组的青皮核桃 POD 活性均呈先上升后降低的趋势, 贮藏前期 POD 可以清除自由基, 延缓果实成熟衰老, 贮藏后期过氧化氢积累, POD 参与酚类物质代谢造成果实衰老^[41]。在整个贮藏过程中, 对照组 POD 活性始终高于其他保鲜剂处理组。贮藏第 10 周时, 对照组的 POD 活性为 0.63 U/g, 显著高于其他处理组($P<0.05$), 冷水与 ClO_2 处理组分别为 0.6 和 0.57 U/g,

赤霉素处理组为 0.49 U/g, 赤霉素+咪鲜胺处理组为 0.38 U/g, 保鲜剂处理组均能抑制 POD 活性, 其中赤霉素+咪鲜胺处理组最低, 显著低于对照组($P<0.05$)。POD 可以降低因过氧化氢积累造成的果实损伤。赤霉素可以调节果蔬细胞内多种酶的活性^[42]。咪鲜胺可以维持细胞膜的完整性, 提高抗氧化能力, 因此赤霉素+咪鲜胺复合处理保鲜效果最好。与吕芳^[43]研究结论一致, 赤霉素可以抑制香蕉 POD 活性上升, 延缓香蕉的成熟衰老。

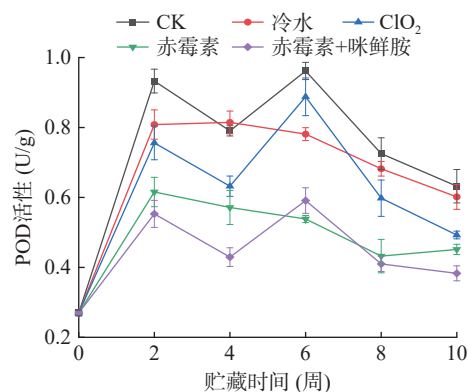


图 10 不同保鲜处理对青皮核桃 POD 活性的影响
Fig.10 Effects of different preservation treatments on POD activity of green walnut

2.10 不同保鲜处理对核桃青皮总酚含量的影响

核桃青皮中总酚具有较强的抗氧化性, 与果实的抗病性和褐变有密切关系^[44]。由图 11 可知, 各处理组的青皮核桃总酚含量整体呈现下降趋势。在贮藏前期处理组和对照组总酚含量呈下降趋势, 这可能是青皮核桃挥发性物质损耗, 导致总酚含量下降, 贮藏第 4 周时, 果实受到生理状态的改变, 酚类物质的转化机能被激发, 促使组织内酚类物质的合成。在第 6 周时, 总酚含量呈上升趋势出现峰值, 赤霉素+咪鲜胺、 ClO_2 和赤霉素处理的青皮核桃总酚含量显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏后期, 呈现下降趋势, 原因是酚类物质随贮藏时间的延长逐渐降解, 含量降低。贮藏至 10 周时, 赤霉素+咪鲜胺、赤霉素和 ClO_2 的总酚含量降到 4.54、3.93 和 3.57 mg/g, 显

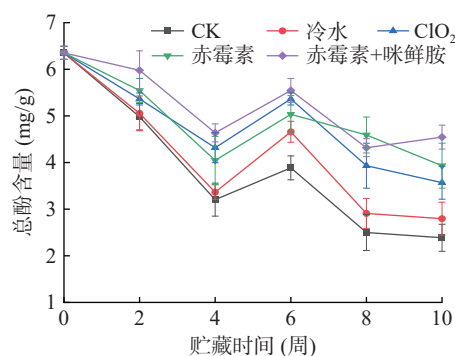


图 11 不同保鲜处理对青皮核桃总酚含量的影响
Fig.11 Effects of different preservation treatments on total phenol content of walnut

著高于对照组($P<0.05$),说明赤霉素+咪鲜胺、赤霉素和 ClO_2 能延缓总酚含量的下降,其中赤霉素+咪鲜胺复合处理效果最佳。程晨^[45]的研究结果表明,咪鲜胺与松属素的复配处理对柑橘具有良好的防腐保鲜效果。

2.11 不同保鲜处理对核桃青皮总黄酮含量的影响

核桃青皮中的总黄酮具有抗氧化活性^[46]。由图 12 可知,总黄酮含量总体呈现下降-上升-下降的趋势,这与陈柏等^[47]研究趋势相一致。青皮核桃在遭遇胁迫时,可以积累类黄酮,类黄酮具有清除活性氧的功能,可以提高青皮核桃的抗逆性。在贮藏结束时,各处理组的总黄酮含量为 7.98、7.19、6.69、6.02 和 5.27 mg/g,赤霉素+咪鲜胺和对照组分别下降了 22.82% 和 49%,差异显著($P<0.05$),说明赤霉素+咪鲜胺处理可以延缓青皮核桃总黄酮含量的下降。这与前人研究类似,咪鲜胺+松属素、咪鲜胺+高良姜素复配处理均能提高柑橘果皮中黄酮含量^[45]。

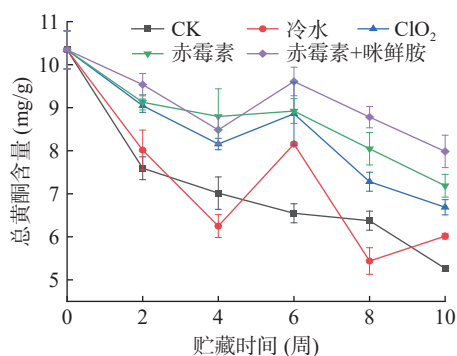


图 12 不同保鲜方法对青皮核桃总黄酮含量的影响

Fig.12 Effects of different preservation methods on total flavonoids content in walnut

3 结论

本研究采用冷水、 ClO_2 、赤霉素和赤霉素+咪鲜胺对青皮核桃进行保鲜处理,对贮藏过程中各组青皮核桃的生理指标进行分析。结果表明,冷水、 ClO_2 、赤霉素和赤霉素+咪鲜胺处理都能一定程度地提高青皮核桃的耐贮性,保持青皮核桃的品质。其中,赤霉素+咪鲜胺的复合处理保鲜效果最佳,可以显著降低青皮核桃的褐变指数和呼吸强度,降低呼吸峰的峰值,有效的减少水分含量的下降,显著抑制青皮核桃 MDA、PPO 和 POD 活性的上升,延缓青皮色差、硬度和叶绿素含量的降低,抑制总酚、总黄酮的消耗,有效延缓果实衰老,维持较高的贮藏品质。该研究为青皮核桃的贮藏保鲜提供一定的理论基础和依据。虽然赤霉素+咪鲜胺的复合处理可以提高青皮核桃的贮藏品质,但对于赤霉素和咪鲜胺对青皮核桃保鲜的协同机理尚不明确,且浓度需进一步优化,以期降低生产成本。

参考文献

- [1] HICYILMAZ H, VURAL H, DELIBAS N, et al. The effects of walnut supplementation on hippocampal NMDA receptor subunits NR2A and NR2B of rats[J]. *Nutritional Neuroscience*, 2017, 20(3): 203–208.
- [2] PYCIA K, KAPUSTA I, JAWORSKA G, et al. Antioxidant properties, profile of polyphenolic compounds and tocopherol content in various walnut (*Juglans regia* L.) varieties[J]. *Eur Food Res Technol*, 2019, 245(3): 607–616.
- [3] WANG X M, CHEN H X, LI S Q, et al. Physico-chemical properties, antioxidant activities and antihypertensive effects of walnut protein and its hydrolysate[J]. *J Sci Food Agric*, 2016, 96(7): 2579–2587.
- [4] UURLU S, OKUMU E, BAKKALBAI E. Reduction of bitterness in green walnuts by conventional and ultrasound-assisted maceration[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 66: 105094.
- [5] 何萍. 两种冷激处理对不同成熟度壶瓶枣保鲜效果的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2020. [HE P. Effects of two kinds of cold shock treatment on the fresh-keeping effect of jujube with different maturity[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2020.]
- [6] ZHANG H, YANG S, JOYCE C D, et al. Physiology and quality response of harvested banana fruit to cold shock[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 55(3): 154–159.
- [7] CHEN A Q, YANG Z, ZHANG N, et al. Effects of cold shock intensity on physiological activity of harvested cucumbers during storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 197: 420–427.
- [8] MU Y W, FENG Y Q, WEI L J, et al. Combined effects of ultrasound and aqueous chlorine dioxide treatments on nitrate content during storage and postharvest storage quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2020, 333: 127500.
- [9] 王进, 蒋柳庆, 马惠玲, 等. ClO_2 和 1-MCP 对青皮核桃二步贮藏的效应[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 137–145. [WANG J, JIANG L Q, MA H L, et al. Effects of ClO_2 and 1-MCP on two-step storage of walnuts[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2015, 15(3): 137–145.]
- [10] 李广胜, 高悦, 马骏, 等. 不同处理方式对青皮核桃保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(11): 28–33. [LI G S, GAO Y, MA J, et al. Effects of different treatment methods on preservation of walnut[J]. *Preservation and Processing*, 2021, 21(11): 28–33.]
- [11] 董晓庆, 朱守亮, 张文斌, 等. 二氧化氯处理对鲜食泡核桃保鲜效果的影响[J]. *经济林研究*, 2021, 39(4): 230–238. [DONG X Q, ZHU S L, ZHANG W E, et al. Effect of chlorine dioxide treatment on preservation of fresh pickled walnuts[J]. *Research of Economic Forestry*, 2021, 39(4): 230–238.]
- [12] 任邦来, 靳文生. 赤霉素对番茄保鲜效果的影响[J]. *中国食物与营养*, 2012, 18(4): 22–25. [REN B L, JIN W S. Effect of gibberellin on fresh-keeping effect of tomato[J]. *Food and Nutrition in China*, 2012, 18(4): 22–25.]
- [13] 王旭. 赤霉素对朝阳大平顶枣保鲜效果研究[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(4): 49, 131. [WANG X. Study on the preservation effect of gibber on Dapingding jujube in Chaoyang[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 26(4): 49, 131.]
- [14] 焦莉, 王大平. 赤霉素对生菜保鲜的品质影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(1): 324–325. [JIAO L, WANG D P. Effect of gibberellin on fresh-keeping quality of lettuce[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(1): 324–325.]
- [15] 吴忠红, 张平, 阿塔乌拉·铁木尔, 等. 咪鲜胺对新疆喀什石榴贮藏品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(1): 20–25. [WU

- Z H, ZHANG P, A TIMUR, et al. Effects of mexiamin on storage quality of pomegranate from Kashi, Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2015, 52(1): 20–25.]
- [16] 董慧, 鲁周民, 马艳萍, 等. 辐照对核桃果实冷藏生理与品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(20): 228–233. [DONG H, LU Z M, MA Y P, et al. Effects of irradiation on physiology and quality of walnut fruit during cold storage[J]. *Food Science*, 2016, 37(20): 228–233.]
- [17] YUN Z, GAO H J, CHEN X, et al. Effects of hydrogen water treatment on antioxidant system of litchi fruit during the pericarp browning[J]. *Food Chemistry*, 2021, 336: 127618.]
- [18] 张婷, 徐斌, 潘俨, 等. 不同厚度 PE 膜包装对青皮核桃果实采后鲜贮效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(1): 19–24, 32. [ZHANG T, XU B, PAN Y, et al. Effect of PE film packaging with different thickness on fresh storage effect of green walnut fruit[J]. *Preservation and Processing*, 2021, 21(1): 19–24, 32.]
- [19] 李雪瑞, 李宏, 冯艳芳, 等. 1-MCP 结合低温通过调控脆性、叶绿素降解缓解叶类蔬菜采后衰老[J]. *西北农业学报*, 2022, 31(5): 586–594. [LI X R, LI H, FENG Y F, et al. 1-MCP combined with low temperature alleviates postharvest senescence of leaf vegetables by regulating brittleness and chlorophyll degradation[J]. *Journal of Northwest Agricultural Sciences*, 2022, 31(5): 586–594.]
- [20] 马艳萍. 鲜食核桃采后生理及辐照效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010. [MA Y P. Study on postharvest physiology and radiation effects of fresh walnut[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010.]
- [21] 蒋柳庆. 青皮核桃的耐贮性及药剂保鲜效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013. [JIANG L Q. Study on storability and preservative effect of Green bark walnut[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.]
- [22] 叶姐. 气体协同控制青皮核桃果实褐变的效应及生理机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. [YE N. Effect and physiological mechanism of gas synergistic control on fruit Browning of walnut[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019.]
- [23] 兰文忠, 冀利, 贺晓芳, 等. 冬枣汁与金丝小枣汁总酚、总黄酮含量及抗氧化性能的比较研究[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(1): 90–94. [LAN W Z, JI L, HE X F, et al. Comparative study on contents of total phenols and flavonoids and antioxidant properties of Dongjube Juice and Jube jube juice[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2021, 57(1): 90–94.]
- [24] 刘瑾, 毕阳, 李永才, 等. 采前赤霉素处理对李果冷害的抑制及膜脂过氧化和品质的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(1): 134–137. [LIU J, BI Y, LI Y C, et al. Inhibition of chilling injury and effect of membrane lipid peroxidation and quality of plum fruit treated with preharvest gibberellin[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2010, 45(1): 134–137.]
- [25] 张建业, 杜庆志, 刘翔, 等. 赤霉素与杀菌剂处理对蒜薹贮存期品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(4): 126–130. [ZHANG J Y, DU Q Z, LIU X, et al. Effects of gibberic acid and fungicide treatment on the quality of garlic during its storage period[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(4): 126–130.]
- [26] 徐斌, 唐继兴, 赵焱焱, 等. 咪鲜胺和二氧化氯处理对仔姜贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2022, 43(13): 100–106. [XU B, TANG J X, ZHAO Y Y, et al. prochloraz and chlorine dioxide treatment on seed storage quality of ginger[J]. *The Influence of Packaging Engineering*, 2022, 43(13): 100–106.]
- [27] 周会玲, 饶景萍. GA₃ 处理对番茄采后成熟生理的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2003(5): 61–63. [ZHOU H L, RAO J P. Effects of GA₃ treatment on postharvest maturation physiology of tomato[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2003(5): 61–63.]
- [28] 聂青玉. 咪鲜胺壳寡糖复合涂膜对脐橙果实采后品质的影响[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 37(4): 59–63. [NIE Q Y. Effect of composite coating of imimine chitosan oligosaccharide on postharvest quality of navel orange fruit[J]. *Journal of Southwest Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, 37(4): 59–63.]
- [29] COLETTA C, BOTONDI R, FORNITI R, et al. Alternating temperature in postharvest cooling treatment of ‘Fiano’ and ‘Falanghina’ grapes affects cell wall enzyme rate, berry softening and polyphenols[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(6): 3142–3148.]
- [30] 崔志宽. 不同物理化学处理对凤凰水蜜桃保鲜效果研究[D]. 南京: 南京大学, 2014. [CUI Z K. Effects of different physicochemical treatments on the preservation of Phoenix peach[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.]
- [31] 曾凤, 郭子娟, 李雯. 赤霉素对台农芒果保鲜效果的研究[J]. *广东农业科学*, 2016, 43(5): 112–117. [ZENG F, GUO Z J, LI W. Study on preservation effect of gibberellin on Tainong mango[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43(5): 112–117.]
- [32] 任邦来, 张灵. 不同浓度赤霉素处理对油桃保鲜效果的影响[J]. *中国食物与营养*, 2013, 19(4): 29–32. [REN B L, ZHANG L. Effect of different concentrations of gibberellin on fresh-keeping effect of nectarine[J]. *Chinese Food and Nutrition*, 2013, 19(4): 29–32.]
- [33] 谢冬娣, 覃丽丹, 宋慕波, 等. 不同处理方式对荸荠冷藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(4): 20–25. [XIE D D, QIN L D, SONG M B, et al. Effects of different treatment methods on refrigerated quality of water chestnut[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(4): 20–25.]
- [34] CAI J H, CHENG S C, LUO F, et al. Influence of ethylene on morphology and pigment changes in harvested broccoli[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(5): 883–897.]
- [35] 董真真. 外源赤霉素处理对不同品种芒果品质的影响[D]. 海口: 海南大学, 2019. [DONG Z Z. Effects of exogenous gibberellin treatment on quality of different varieties of mango[D]. Haikou: Hainan University, 2019.]
- [36] CHEN H, GAO H, FANG X, et al. Effects of allyl isothiocyanate treatment on postharvest quality and the activities of antioxidant enzymes of mulberry fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 108: 61–67.]
- [37] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 等. 不同保鲜剂处理对火龙果贮藏品质和生理指标的影响[J]. *中国南方果树*, 2020, 49(1): 75–80. [BA L J, LUO D L, CAO S, et al. Effects of different preservative treatments on storage quality and related physiological indexes of pitaya fruit[J]. *Fruit Trees of Southern China*, 2019, 49(1): 75–80.]
- [38] CAO S F, SHAO J R, SHI L Y, et al. Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 1–11.]
- [39] 张琪, 刘军红. 枸杞多酚氧化酶研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(15): 16–18, 24. [ZHANG Q, LIU J H. Research progress of polyphenol oxidase of Lycium barbarum[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(15): 16–18, 24.]
- [40] 崔志宽, 李阳, 李建龙, 等. 赤霉素处理对凤凰水蜜桃保鲜效果的研究[J]. *天津: 天津农业科学*, 2014, 20(4): 37–41. [CUI Z

- K, LI Y, LI J L, et al. Study on fresh-keeping effect of gibberellin treatment on Fenghuang peach[J]. Tianjin: Tianjin Agricultural Sciences, 2014, 20(4): 37–41.]
- [41] WANG J, LI P, GONG B, et al. Phenol metabolism and preservation of fresh in-hull walnut stored in modified atmosphere packaging[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(15): 5335–5342.
- [42] XING J L, SAN Y L, LIN J X, et al. Effect of GA3 spraying on lignin and auxin contents and the correlated enzyme activities in bayberry (*Myrica rubra* Bieb.) during flower-bud induction[J]. *Plant Science*, 2003, 164(4): 549–556.
- [43] 吕芳. 赤霉素对香蕉贮藏品质的影响研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2014. [LÜ F. Effect of gibberellin on storage quality of banana[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2014.]
- [44] GAO M, FENG L, JIANG T. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom(*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment[J]. *Food Chemistry*, 2014, 149(8): 107–113.
- [45] 程晨. 柑橘采后杀菌剂的筛选及防腐保鲜研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. [CHENG C. Research on screening and preservation of postharvest fungicides for citrus[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.]
- [46] BURKE M, SINGH A, BERMAN D, et al. The development, implementation, and evaluation of innovative strategies to reduce food insecurity among children in the United States[J]. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2021, 11(16): 324–332.
- [47] 陈柏, 顾敏华, 吴小华, 等. 1-MCP 浓度对‘清香’青皮核桃冷藏期间品质及抗氧化活性的影响[J]. *经济林研究*, 2019, 37(2): 73–81. [CHEN B, JIE M H, WU X H, et al. Effects of 1-MCP concentration on quality and antioxidant activity of ‘fragrant’ green walnut during cold storage[J]. *Economic Forest Research*, 2019, 37(2): 73–81.]