

1-MCP 复合 GA_3 处理对乌龙头贮藏品质的影响

陈柏, 颌敏华*, 吴小华, 王学喜, 王彦淳

(1. 甘肃省农业科学院 农产品贮藏加工研究所, 兰州 730070;

2. 甘肃省果蔬贮藏加工技术创新中心, 兰州 730070)

摘要: **目的** 为探究不同保鲜剂对乌龙头贮藏品质的影响, 筛选出适宜的保鲜剂, 为乌龙头贮藏保鲜提供参考依据。**方法** 以“长白”乌龙头为研究对象, 分别采用含量为 $3\ \mu\text{L/L}$ 的 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 熏蒸 12 h、质量浓度为 $200\ \text{mg/L}$ 的赤霉素 (GA_3) 溶液浸泡 3 min 和含量为 $3\ \mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 熏蒸 12 h 后于质量浓度为 $200\ \text{mg/L}$ 的 GA_3 溶液中浸泡 3 min, 浸泡后晾干, 于 $0\ ^\circ\text{C}$ 下贮藏, 每隔 4 d 测定乌龙头的感官品质、腐烂指数、呼吸速率、质量损失率、叶绿素含量、色度值、粗纤维含量、丙二醛 (MDA) 含量、过氧化物酶 (POD) 活性和多酚氧化酶 (PPO) 活性等指标。**结果** 对照处理于 $0\ ^\circ\text{C}$ 下贮藏期仅为 12 d, 贮藏后期出现感官品质下降、叶绿素流失、PPO 和 POD 活性增高、异味严重的现象, 失去商品性。贮藏期间, 各保鲜剂处理能显著延缓采后“长白”乌龙头感官品质的下降, 抑制呼吸速率、腐烂指数和粗纤维含量的升高, 有效保持叶绿素含量和色度 a^* 值, 抑制 MDA 含量的积累, 同时能够抑制贮藏期间乌龙头的 POD 和 PPO 活性的上升, 提升其抗氧化能力。其中, 以 1-MCP 复合 GA_3 处理后的保鲜效果最佳, 保鲜效果优于单一保鲜剂处理。贮藏 20 d 时, 1-MCP 复合 GA_3 处理组乌龙头的感官品质为 80.2、腐烂指数为 0.02、质量损失率为 6.44%、叶绿素含量为 $3.7\ \text{mg/g}$ 、色度 a^* 值为 -5.1、MDA 的含量为 $4.7\ \mu\text{mol/g}$ 、POD 活性为 $37.2\ \text{U/g}$ 、PPO 活性为 $16.6\ \text{U/g}$ 。**结论** 1-MCP 复合 GA_3 处理后的保鲜效果最佳, 能够抑制乌龙头腐烂, 保持其营养品质, 贮藏期延长了 8 d。

关键词: 乌龙头; 1-甲基环丙烯; 赤霉素; 贮藏品质

中图分类号: S647 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)17-0009-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.17.002

Effect of 1-MCP Composite GA_3 Treatment on the Storage Quality of Wulongtou (*Aralia chinensis*)

CHEN Bai, XIE Min-hua*, WU Xiao-hua, WANG Xue-xi, WANG Yan-chun

(1. Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China; 2 Gansu Innovation Center of Fruit and Vegetable Storage and Processing, Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of different preservatives on the storage quality of wulongtou, select suitable preservatives, and provide reference basis for the storage and preservation of wulongtou. With "Changbai" wulongtou as the research object, the wulongtou was fumigated with $3\ \mu\text{L/L}$ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) for 12 hours and immersed in $200\ \text{mg/L}$ GA_3 solution for 3 minutes, and fumigated with $3\ \mu\text{L/L}$ 1-MCP for 12 hours and then soaked in GA_3 solution of $200\ \text{mg/L}$ for 3 minutes respectively. After soaking, the wulongtou was dried and stored at $0\ ^\circ\text{C}$. The sensory quality, decay index, respiratory rate, weight loss rate, chlorophyll content, chromaticity value, crude fiber content, malondialdehyde content (MDA), peroxidase (POD) activity, and polyphenol oxidase (PPO) activity of wulongtou

were measured every 4 days. The control group was stored at 0 °C for only 12 days, which in the later stage of storage, was followed by decreased sensory quality, loss of chlorophyll, increased PPO and POD activities, severe odors, and loss of commercial value. During storage, all preservative treatments could significantly delay the decline in sensory quality of "Changbai" wulongtou during storage, inhibit its respiratory rate, decay index and crude fiber content, effectively maintain chlorophyll content and color value a^* , inhibit the accumulation of MDA content and the increase in POD and PPO activity of wulongtou during storage, thus enhancing its antioxidant capacity. The preservation effect of the 1-MCP composite GA_3 treatment was the best, and its preservation effect was better than that of a single preservative treatment. When stored for 20 days, the sensory quality of wulongtou treated with 1-MCP composite GA_3 was 80.2, the decay index was 0.02, the weight loss rate was 6.44%, the chlorophyll content was 3.7 mg/g, the color value a^* was -5.1, and the MDA content was 4.7 $\mu\text{mol/g}$, the POD activity was 37.2 U/g and the PPO activity was 16.6 U/g. The preservation effect of 1-MCP composite GA_3 treatment is the best, which can inhibit the decay of wulongtou, maintain its nutritional quality, and extend the storage period by 8 days.

KEY WORDS: wulongtou; 1-MCP; gibberellin; storage quality

乌龙头 (*Aralia elata*(Miq.) Seem.) 又名刺嫩芽, 广泛分布于我国吉林、辽宁、陕西、甘肃等地区, 是山林地区名贵野菜, 因其野味浓郁、营养丰富、保健作用高, 深受消费者喜爱, 市场前景广阔^[1-2]。近年来, 人工栽培乌龙头的产业规模越来越大, 成为许多山林地区的特色林果产业, 有着巨大的经济价值和生态效益^[3]。由于乌龙头的采收季节性强, 嫩芽代谢旺盛, 贮藏期间易失水腐烂, 影响其销售和食用^[4]。因此, 探寻安全、有效的保鲜方式是乌龙头产业发展的必然需要。

吴淑清等^[5]通过复合保鲜液对长白刺嫩芽进行护色保鲜来提升其贮藏品质。冯磊等^[6]通过低温气调和等离子技术使得刺嫩芽贮藏期达 15 d。刘欢等^[7]研究发现, 4 °C 真空预冷方式可以延缓刺嫩芽感官品质的下降。段红梅等^[8]通过涂膜处理, 可有效延长刺嫩芽的贮藏期。笔者前期研究发现, 0 °C 低温可以显著抑制乌龙头腐烂, 提高其叶绿素和 V_C 含量^[4], 但是 0 °C 低温下保鲜剂处理对乌龙头贮藏品质的影响尚未进行探索。目前, 虽然可通过多种保鲜方式延长乌龙头贮藏期, 但是仍存在贮藏后期品质下降、产生异味等问题。

1-甲基环丙烯 (1-MCP) 通过与乙烯受体结合来抑制果蔬采后成熟衰老, 降低果蔬采后呼吸强度, 提高其贮藏品质^[9-11]。赤霉素 (GA_3) 是一种植物激素, 采后使用 GA_3 处理可有效抑制果蔬贮藏过程中丙二醛积累, 维持细胞膜完整性, 降低过氧化产物积累, 具有显著效果^[12-15]。本文以甘肃天水的人工驯化栽培乌龙头为试材, 研究不同保鲜剂处理 (1-MCP、 GA_3 、1-MCP 复合 GA_3) 对乌龙头 0 °C 低温贮藏期间感官品质和营养品质的影响, 以期延长乌龙头的贮藏期, 提高其贮藏品质, 为人工栽培乌龙头保鲜提供一定依据。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 以“长白”乌龙头为研究材料, 采自甘肃省天水市绿野种养殖农民专业合作社基地, 选取

大小均匀、无损伤、无病虫害的新鲜乌龙头, 采收后用冷藏车运至冷库待用。

主要仪器: CA-10 型呼吸代谢测量系统, 美国 Sable Systems 公司; Cary-100 型紫外分光光度计, 美国瓦里安技术中国有限公司; TGL-16LM 型冷冻离心机, 湖南星科科学仪器有限公司; CR-400300 型色差计, 日本柯尼卡公司。

1.2 设计

实验以不处理作为对照 (CK, 对照组)。1-MCP 处理: 乌龙头置于气调保鲜箱中以含量为 3 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 熏蒸处理 12 h (1-MCP 处理组)。 GA_3 处理: 于质量浓度为 200 mg/L 的 GA_3 溶液中浸泡 2 min 后取出晾干 (GA_3 处理组)。1-MCP 复合 GA_3 处理: 以含量为 3 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 熏蒸处理 12 h 后再置于质量浓度为 200 mg/L 的 GA_3 溶液中浸泡 2 min (1-MCP 复合 GA_3 处理组)。所有处理的乌龙头置于保鲜袋中, 扎紧袋口, 置于 0 °C 贮藏; 每种处理中每袋乌龙头质量为 1.5 kg; 整个贮藏期的时间为 20 d, 每隔 4 d 测定一次相关指标, 每种处理 3 个重复。

1.3 指标测定

1.3.1 感官品质

参照陈柏等^[4]的方法, 按照表 1 评价标准计算, 每种处理每次调查共统计 30 棵乌龙头, 取平均值。

1.3.2 腐烂指数

按照表 2 的分级标准进行分级, 每次调查共统计 30 颗乌龙头, 再按照式 (1) 计算腐烂指数。

$$\text{腐烂指数} = \frac{\sum (\text{腐烂级别} \times \text{腐烂颗数})}{\text{总颗数} \times \text{最高级数}} \quad (1)$$

1.3.3 呼吸速率

将乌龙头样品置于密闭容器中 2 h, 注射器取 1 mL 气体, 于 CA-10 型呼吸代谢测量系统中测定。采用气流法, 气体流速为 600 mL/min, 呼吸速率 (v) 的单位为 $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ^[17], 呼吸速率的计算见式 (2)。

表 1 感官品质的评分标准
Tab.1 Criteria for sensory quality

评分标准	色泽	气味
90~100 (一级)	叶片顶端呈紫色, 中部根部呈翠绿色	固有香味, 无异味
80~89 (二级)	叶片顶端呈深紫色, 中部根部呈翠绿色	固有气味变淡
70~79 (三级)	叶片顶端深紫色, 中部根部呈墨绿色	无异味
60~69 (四级)	叶片顶端黑色, 中部根部呈墨绿色	有异味
<60 (五级)	叶片顶端呈黑色, 中部根部呈墨绿色, 出现褐色斑	有严重异味

表 2 腐烂指数的分级标准
Tab.2 Classification standard of decay index

等级	腐烂指数
0 级	无腐烂
1 级	腐烂面积≤10%
2 级	10%<腐烂面积≤20%
3 级	20%<腐烂面积≤30%
4 级	30%<腐烂面积

$$v=\frac{44\times 273\times S\times T_{CF}\times (V_1-V_2)}{22.4\times (273+T)\times m\times t}$$
 (2)

式中: S 为气体峰面积; T_{CF} 为常数, $T_{CF}=13.6$; V_1 为容器体积, mL; V_2 为样品体积, mL; T 为环境温度, $^{\circ}\text{C}$; m 为试样质量, g; t 为密闭时间, h。

1.3.4 质量损失率

采用称量法测量质量损失率^[16], 计算式见式(3)。记录数据, 重复 3 次。

$$w=\frac{m_1-m_2}{m_1}\times 100\%$$
 (3)

式中: m_1 为初始质量; m_2 为贮后质量。

1.3.5 叶绿素含量

取 1 g 乌龙头样品, 于研钵中加入 5 mL 体积分数为 95% 的乙醇和少量石英砂, 研磨后静止, 转移至 50 mL 棕色容量瓶中, 用体积分数为 95% 的乙醇定容。紫外分光光度计在 663、645 nm 波长处检测吸光值, 叶绿素含量单位为 mg/g。

1.3.6 色度值

采用 CR-400300 型色差计测定色度值。将色差计的测量部分与乌龙头叶片样品对准, 测量每个样品的不同部位 3 次, 最后将测得的数据取平均值。

1.3.7 粗纤维质量分数

参照 GB/T 5009.10—2003 酸碱洗涤法测定粗纤维质量分数。取 20 g 乌龙头样品, 加入 200 mL 煮沸的体积分数为 1.25% 的硫酸, 维持 30 min, 沸水洗涤后加入煮沸的体积分数为 1.25% 的氢氧化钾溶液维持 30 min, 洗涤抽干后, 于 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤至质量不变。

1.3.8 丙二醛含量

采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛含量 (MDA)^[11]。取 1 g 乌龙头样品, 加 5 mL 质量浓度为

100 g/L 的三氯乙酸 (TCA) 液研磨后, 于 4 $^{\circ}\text{C}$ 、8 000 r/min 条件下离心 20 min, 取上清液 2 mL, 加入 2 mL 硫代巴比妥酸 (TBA) 溶液后置于沸水浴中 20 min, 冷却后离心 1 次; 取上清液测定 450、532 和 600 nm 波长处的吸光值。丙二醛含量的单位为 $\mu\text{mol/g}$ 。

1.3.9 过氧化物酶和多酚氧化酶活性

取 2 g 样品低温研磨, 测定样品酶活性。过氧化物酶 (POD) 和多酚氧化酶 (PPO) 采用酶测定试剂盒测定。POD 活性: 每克样品每分钟吸光度变化 0.01 为 1 个 POD 活性单位 (U)。PPO 活性: 每克样品每分钟吸光度变化 0.01 为 1 个 PPO 活性单位 (U)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据分析与制图, 采用 SPSS 22.0 软件进行差异性分析。

2 结果与分析

2.1 不同保鲜剂处理对乌龙头感官品质的影响

感官品质可以直观判断乌龙头新鲜度^[4]。由图 1 可知, 贮藏至 16 d 时, 对照组感官品质下降至 68.2, 叶片软化呈墨绿色, 并有轻微异味, 失去商品性。贮藏至 20 d 时, 1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的感官品质分别为 70.6、73.4 和 80.2, 仍具有商品性。其中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的感官品质保持效果最好, 与对照组、1-MCP 处理组和 GA₃ 处理组相比, 感官品质分别提升了 24.3%、13.6% 和 9.3%, 差异均显著 ($P<0.05$)。贮藏期间 1-MCP 复合 GA₃ 处理组对乌龙头的感官品质保持效果优于单独处理组的, 感官品质下降趋势最缓慢。这说明与单一处理相比, 复合处理能更有效地保持乌龙头外观色泽和新鲜度, 提高其商品价值^[17]。

2.2 不同保鲜剂处理对乌龙头腐烂指数的影响

腐烂指数是反映果蔬贮藏品质的重要指标, 随贮藏时间的延长, 腐烂情况逐渐加重。如图 2 所示, 对照组于贮藏 12 d 开始出现腐烂, 且贮藏期间腐烂指

数均高于其他处理组。1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组与对照组相比, 出现腐烂的时间分别延长了 4、4 和 8 d。贮藏 20 d 时, 对照组、1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的腐烂指数分别为 0.19、0.06、0.04 和 0.02。其中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理组对腐烂的抑制效果最好。1-MCP 复合 GA₃ 处理组比对照组、1-MCP 处理组和 GA₃ 处理组的腐烂指数分别降低了 89.5%、66.6% 和 50.0%, 差异均显著 ($P<0.05$)。贮藏期间各处理腐烂指数均较低, 其中, 复合处理能显著抑制乌龙头腐烂程度, 提升商品价值。

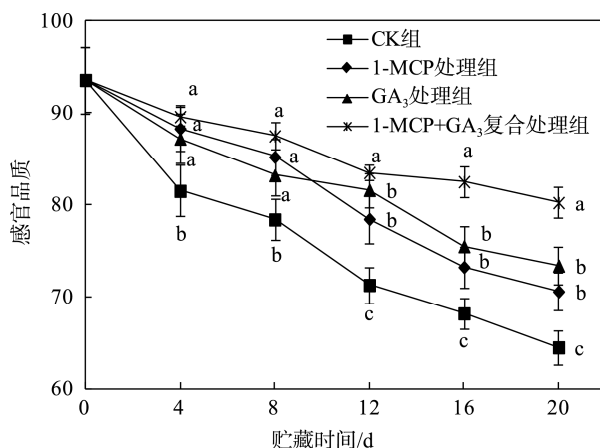


图1 保鲜剂处理对乌龙头感官品质的影响

Fig.1 Effect of preservatives on sensory quality of wulongtou

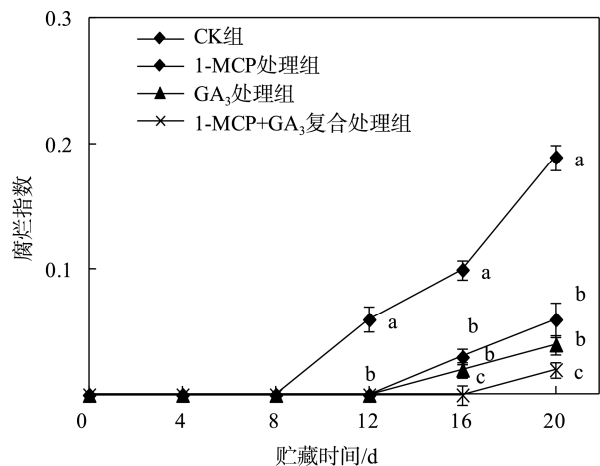


图2 保鲜剂处理对乌龙头腐烂指数的影响

Fig.2 Effect of preservatives on decay index of wulongtou

2.3 不同保鲜剂处理对乌龙头呼吸速率的影响

前人研究发现, 1-MCP 可显著降低黄花菜、养心菜的采后呼吸强度, 提升贮藏品质^[18-19]。由图 3 可知, 对照组于贮藏 12 d 时出现呼吸高峰, 呼吸速率为 185.4 mg/(kg·h), 随后开始下降。1-MCP 处理组、GA₃

处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组于贮藏 16 d 时出现呼吸高峰, 峰值分别为 118.2、132.5 和 103.4 mg/(kg·h)。对照组的呼吸速率峰值分别是 1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组呼吸峰值的 1.45 倍、1.30 倍和 1.67 倍。乌龙头采后的呼吸作用会产生呼吸热, 加快生理生化变化, 降低贮藏品质^[7]。各保鲜剂处理均可以抑制乌龙头的呼吸作用, 推迟呼吸高峰出现, 降低其呼吸峰值, 从而维持较好的品质。

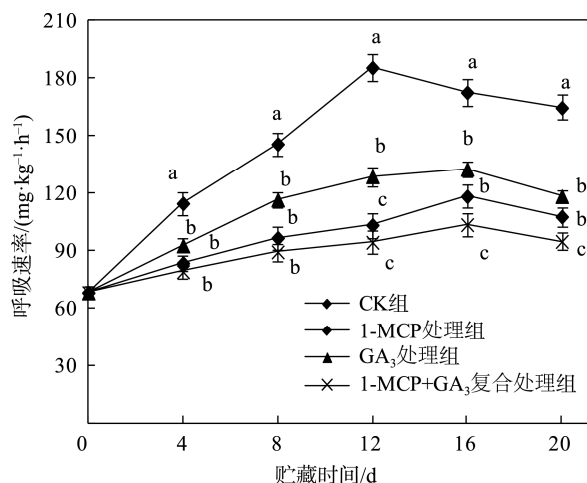


图3 保鲜剂处理对乌龙头呼吸速率的影响

Fig.3 Effect of preservatives on respiratory rate of wulongtou

2.4 不同保鲜剂处理对乌龙头质量损失率的影响

质量损失率也是反映果蔬新鲜度的重要指标。随着贮藏期延长, 乌龙头质量会产生损失, 叶片萎焉, 质量损失率升高^[5]。由图 4 可知, 各处理组的质量损失率在贮藏期间均呈上升趋势, 其中对照组呈快速上升趋势。贮藏 20 d 时, 对照组、1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的质量损失率分别为 21.2%、8.88%、11.25% 和 6.44%。其中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的质量损失率最低, 与对照组、1-MCP 处理组和 GA₃ 处理组相比, 质量损失率分别降低了 69.7%、27.5% 和 42.8%, 与对照组和 1-MCP 处理组之间的差异显著 ($P<0.05$), 与 GA₃ 处理组之间的差异不显著 ($P>0.05$)。由此可见, 1-MCP 复合 GA₃ 处理通过降低乌龙头呼吸速率, 减缓其代谢活动, 因此水分丢失较少, 能更有效地延缓萎焉, 减少质量损失。

2.5 不同保鲜剂处理对乌龙头叶绿素含量的影响

由图 5 可知, 各处理组的叶绿素含量呈下降趋势。贮藏 8 d 时, 各处理组之间叶绿素含量的差异性不显著 ($P>0.05$)。贮藏 20 d 时, 对照组、1-MCP 处

理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的叶绿素含量分别为 1.9、3.4、3.1 和 3.7 mg/g。其中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理组对叶绿素含量保持效果最好, 与对照组、1-MCP 处理组和 GA₃ 处理组相比, 叶绿素含量分别提高了 94.7%、8.82 % 和 19.4 %, 与对照组和 GA₃ 处理组之间的差异显著 ($P < 0.05$), 与 1-MCP 处理组之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。上述结果表明, 1-MCP 处理组、1-MCP 复合 GA₃ 处理组的效果更好, 说明 1-MCP 在乌龙头叶绿素含量的保持上, 可能起了主要作用。

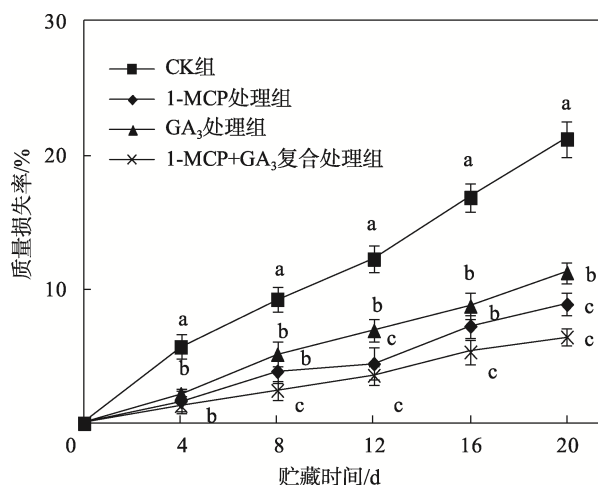


图 4 保鲜剂处理对乌龙头质量损失率的影响
Fig.4 Effect of preservatives on weight loss rate of wulongtou

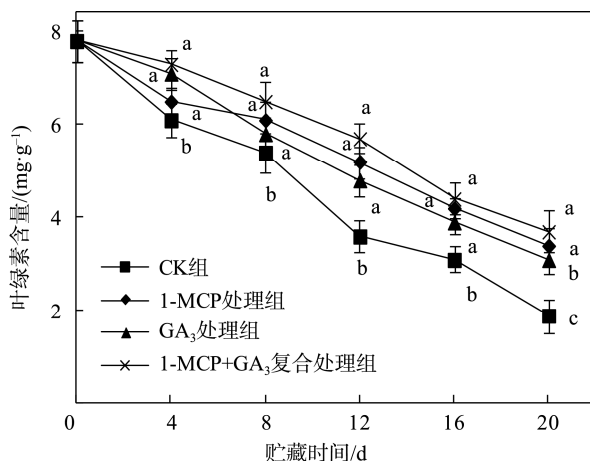


图 5 保鲜剂处理对乌龙头叶绿素含量的影响
Fig.5 Effect of preservatives on chlorophyll content of wulongtou

2.6 不同保鲜剂处理对乌龙头色度 a^* 值的影响

由图 6 可知, 所有处理组的乌龙头色度 a^* 值在贮藏期间均呈上升趋势。对照组的色度 a^* 值于贮藏 12 d 时快速上升, 这也与贮藏 12 d 时叶绿素含量的快速下降相对应。贮藏 20 d 时, 对照组、1-MCP 处理组、

GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的色度 a^* 值分别为 -2.3、-3.7、-4.4 和 -5.1。其中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的色度 a^* 值最低, 与对照组和 GA₃ 处理组之间的差异显著 ($P < 0.05$), 与 1-MCP 处理组之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。说明保鲜剂处理对乌龙头色度保持的效果上与叶绿素的一致, 1-MCP 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的效果更好。

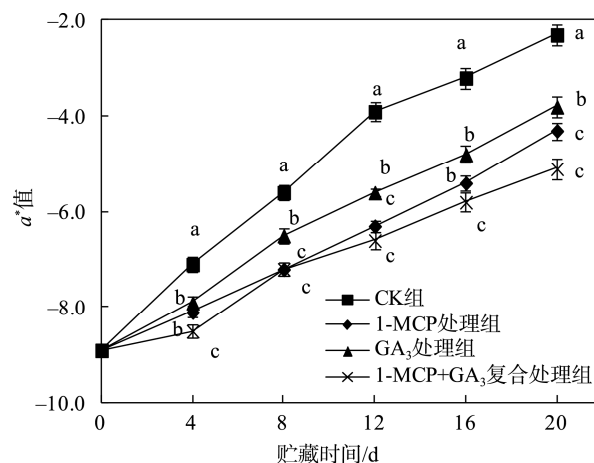


图 6 保鲜剂处理对乌龙头色度 a^* 值的影响
Fig.6 Effect of preservatives on color value a^* of wulongtou

2.7 不同保鲜剂处理对乌龙头粗纤维含量的影响

粗纤维含量越高, 乌龙头的老化程度越重。如图 7 所示, 各保鲜剂处理组整体上升趋势较平缓, 对照组贮藏 12 d 后粗纤维含量上升明显, 质量分数为 1.7%, 与其他处理组差异极显著 ($P < 0.01$)。贮藏 20 d 时, 对照组、1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的粗纤维质量分数分别为 2.31%、1.55%、1.67% 和 1.35%。与对照组相比, 1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理组的粗纤维质量分数分别下降了 32.9%、27.7% 和 41.6%, 差异均显著 ($P < 0.05$), 各保鲜剂处理之间, 差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏期间各保鲜剂处理组的粗纤维含量显著低于对照组的, 说明各保鲜剂处理均可以抑制乌龙头采后粗纤维质量分数的增加, 延缓其老化进程。

2.8 不同保鲜剂处理对乌龙头 MDA 含量的影响

贮藏期间 MDA 含量越高, 乌龙头衰老程度越严重^[7]。由图 8 可知, 各处理组的 MDA 含量贮藏期间均呈上升趋势, 贮藏 8 d 之前, 各处理之间变化不明显; 贮藏 12 d 时, 对照组快速上升, MDA 的含量为 5.8 $\mu\text{mol/g}$, 与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$), 说明对照组的膜稳定性已经开始被破坏。贮藏 20 d 时, 1-MCP 处理组、GA₃ 处理组和 1-MCP 复合 GA₃ 处理

组的MDA含量分别为85.9、5.2和4.7 $\mu\text{mol/g}$, 1-MCP复合 GA_3 处理组的MDA含量最低, 与对照组、1-MCP处理组和 GA_3 处理组相比, MDA含量分别下降了42.7%、20.3%和9.6%, 与对照处理组和1-MCP处理组之间的差异显著($P<0.05$), 与 GA_3 处理组之间的差异不显著($P>0.05$)。 GA_3 处理组、1-MCP复合 GA_3 处理组对MDA的抑制效果更好, 说明赤霉素 GA_3 可以抑制膜脂过氧化作用, 控制MDA含量增加, 从而提高贮藏品质。

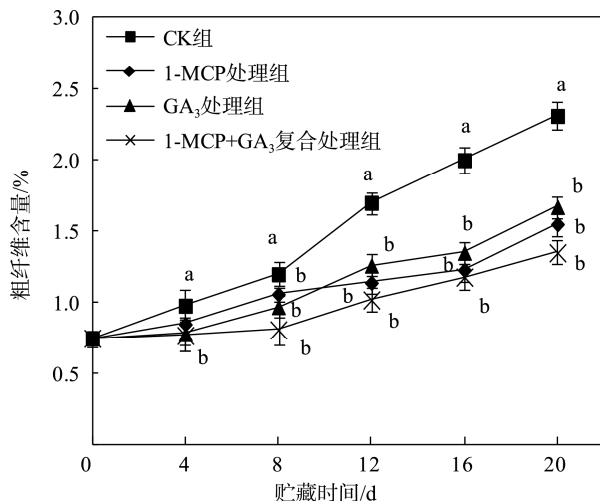


图7 保鲜剂处理对乌龙头粗纤维含量的影响

Fig.7 Effect of preservatives on crude fiber content of wulongtou

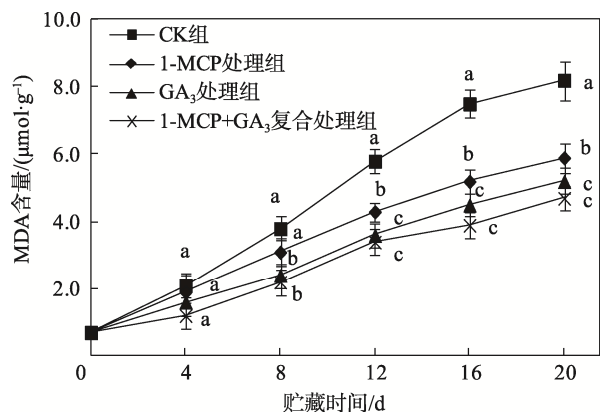


图8 保鲜剂处理对乌龙头MDA含量的影响

Fig.8 Effect of preservatives on MDA content of wulongtou

2.9 不同保鲜剂处理对乌龙头 POD 活性的影响

POD是清除活性氧的关键酶, 可以评价乌龙头的衰老程度^[8]。随着贮藏期延长, 各处理组乌龙头的POD活性呈上升趋势, 贮藏末期趋于平缓。 GA_3 处理组和1-MCP复合 GA_3 处理组在贮藏3 d时POD活性下降, 随后上升。贮藏至12 d时, 对照组的POD活性达到最高, 为52.8 U/g, 贮藏至20 d时, 与对照组相比, 1-MCP处理组、 GA_3 处理组和1-MCP复

合 GA_3 处理组的POD活性分别下降了22.1%、16.4%和24.7%。各保鲜剂处理组与对照组之间的差异均显著($P<0.05$), 各保鲜剂处理组之间的差异不显著($P>0.05$)。这说明所有保鲜剂处理均可以抑制自由基的积累, 增强乌龙头的抗氧化能力, 从而延长其贮藏期。

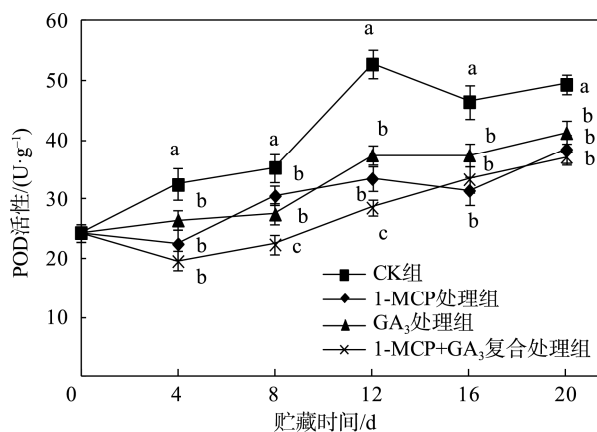


图9 保鲜剂处理对乌龙头POD活性的影响

Fig.9 Effect of preservatives on POD activity of wulongtou

2.10 不同保鲜剂处理对乌龙头 PPO 活性的影响

PPO活性可以反映乌龙头贮藏期间组织褐变程度^[7]。不同保鲜剂处理对乌龙头PPO活性的影响如图10所示。随着贮藏期延长, 各处理组乌龙头的PPO活性呈上升趋势。贮藏至20 d时, 各处理组的PPO活性达到最高, 其中1-MCP组和 GA_3 复合处理组的PPO活性最低, 为16.6 U/g, 与对照组、1-MCP处理组和 GA_3 处理组相比, PPO活性分别下降了48.9%、34.9%和28.8%, 差异均显著($P<0.05$)。由此可见, 1-MCP处理和 GA_3 复合处理均可以显著抑制乌龙头的PPO活性, 减缓酚类物质的氧化变色, 效果优于保鲜剂单独处理。

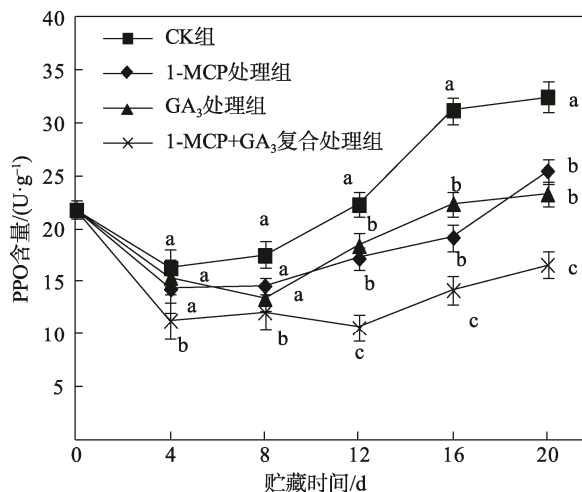


图10 保鲜剂处理对乌龙头PPO活性的影响

Fig.10 Effect of preservatives on PPO activity of wulongtou

3 讨论与分析

乌龙头嫩芽采后呼吸强度大,贮藏期间失水、养分丢失、感官品质下降,继而衰老腐烂^[4]。本研究中,对照组于 0℃下贮藏期仅为 12 d,贮藏后期出现叶绿素流失、PPO 和 POD 活性增高、异味严重的现象,失去商品价值。冯磊等^[20]研究发现,未处理的龙牙楸木嫩芽在 4℃下贮藏 9 d,感官品质下降严重,质量损失率升高,与本研究结果一致。

叶绿素含量和色度 a^* 值可以衡量果蔬绿色程度,代表乌龙头的外观品质。色度 a^* 值表示红绿, + 表示偏红, - 表示偏绿^[21]。张丹等^[22]研究发现 1-MCP 可通过降低呼吸作用,减缓刺嫩芽叶绿素的降解速度,从而减轻其黄化程度。贾晓昱等^[23]研究发现 1-MCP 可降低西兰花黄化指数,降低其代谢速率,延缓衰老。郭衍银等^[15]认为, GA₃ 处理可通过提高铁、镁、锰、锌等微量元素的含量,来延缓花菜的黄化。本研究中, 1-MCP 单独处理和 1-MCP 复合 GA₃ 处理在乌龙头叶绿素和色度的保持上效果优于 GA₃ 处理的,说明 1-MCP 在乌龙头保绿效果上可能起一定的主导作用。

随贮藏时间的延长,各处理后乌龙头的粗纤维质量分数增加,品质逐渐变差^[24]。MDA 含量可以反映乌龙头贮藏期间膜脂过氧化程度,MDA 含量越高,说明乌龙头的细胞损伤程度越重^[5]。POD 是果蔬清除活性氧的关键酶指标,在龙芽楸木贮藏中表现为伤害效应,可以评价乌龙头的衰老程度^[22]。刘欢等^[7]发现, PPO 会催化刺嫩芽中的酚类物质氧化为醌,并通过聚合反应导致组织褐变。张丹等^[22]发现进行 1-MCP 处理可降低贮藏期间刺嫩芽的菌落总数、质量损失率、MDA 含量以及 POD 和 PPO 活力。吴春岩^[25]研究发现,GA 处理可以使龙芽楸木 MDA 含量、POD 和 PPO 活性保持在较低水平。本研究中,各处理均可抑制粗纤维含量和 MDA 含量的增加,POD 和 PPO 活性的升高,提高乌龙头贮藏品质,与前人研究结果一致。本研究中, GA₃ 处理和 1-MCP 复合 GA₃ 处理后抑制 MDA 的效果优于 1-MCP 处理后的效果。可能是因为 GA₃ 能够调节乌龙头内容物的合成与降解,从而抑制其积累。本研究中, 1-MCP 复合 GA₃ 处理能够将 1-MCP 处理减缓代谢活动与 GA₃ 处理提高抗氧化的能力相结合,解决 2 个保鲜剂单独处理的局限性,进而提升保鲜效果。

4 结语

综上所述, 0℃条件下贮藏,含量为 3 μL/L 的 1-MCP 处理、质量浓度为 200 mg/L 的 GA₃ 处理和含量为 3 μL/L 的 1-MCP 复合质量浓度为 200 mg/L 的 GA₃ 处理均可提高乌龙头贮藏品质,抑制腐烂与减少质量损失,贮藏期达 20 d,与对照组相比,贮藏期延

长了 8 d。其中,采后 1-MCP 复合 CA₃ 处理组的乌龙头感官品质最高,腐烂率、质量损失率和 PPO 活性最低,保鲜效果显著优于单一保鲜剂处理组的。说明复合处理对乌龙头贮藏保鲜的保持效果最好。

由于气候条件、管理水平可能存在差异,本研究中筛选出的保鲜剂在“长白”等品种上的效果有待进一步验证。本研究中 1-MCP 复合 GA₃ 处理对感官品质保持、抑制腐烂和 PPO 活性方面的效果优于二者单独处理,但 1-MCP 的处理浓度是否达到了最佳保鲜效果,以及二者的相互作用机理还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] ZHANG Yan, HAN Feng-ying, WU Jie, et al. Triterpene Saponins with a -Glucosidase and PTP1B Inhibitory Activities from the Leaves of *Aralia Elata*[J]. *Phytochemistry Letters*, 2018, 26: 179-183.
- [2] 刘欢, 赵焱羽, 叶露露, 等. 高氧气调包装对鲜切刺嫩芽保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(7): 153-158.
- [3] LIU Huan, ZHAO Han-yu, YE Lu-lu, et al. Effects of High-Oxygen Modified Atmosphere Packaging of the Quality of Fresh-Cut *Aralia Elata*[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(7): 153-158.
- [4] 许国权. 张家川县刘堡镇乌龙头产业发展优势及建议[J]. *农业科技与信息*, 2018, 15(20): 60-61.
- [5] XU Guo-quan. Advantages and Suggestions of Wulongtou Industry Development in Liubao Town, Zhangjiachuan County[J]. *Information of Agricultural Science and Technology*, 2018, 15(20): 60-61.
- [6] 陈柏, 颜敏华, 杨发荣, 等. 贮藏温度对乌龙头品质的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2020(10): 68-72.
- [7] CHEN Bai, XIE Min-hua, YANG Fa-rong, et al. Effect of Storage Temperature on Quality of *Aralia Elata*[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2020(10): 68-72.
- [8] 吴淑清, 段红梅, 王顺余, 等. 复合保鲜液对长白楸木嫩芽护色保鲜效果的研究[J]. *中国调味品*, 2020, 45(10): 17-23.
- [9] WU Shu-qing, DUAN Hong-mei, WANG Shun-yu, et al. Study on the Effect of Compound Preservation Liquid on Color Protection and Preservation of *Aralia Continentalis Kitagawa Sprouts*[J]. *China Condiment*, 2020, 45(10): 17-23.
- [10] 冯磊, 么宏伟, 谢晨阳, 等. 刺嫩芽、刺五加嫩茎叶采

- 用低温气调及等离子保鲜技术的研究[J]. 中国林副特产, 2014(1): 26-29.
- FENG Lei, YAO Hong-wei, XIE Chen-yang, et al. Study on Low Temperature Controlled Atmosphere and Plasma Preservation Technology for Tender Buds and Tender Stems and Leaves of *Acanthopanax Senticosus*[J]. Forest by-Product and Speciality in China, 2014(1): 26-29.
- [7] 刘欢, 王冰玉, 潘美伊, 等. 真空预冷处理对刺嫩芽贮藏期间保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 44-48.
- LIU Huan, WANG Bing-yu, PAN Mei-yi, et al. Effect of Vacuum Pre-Cooling Treatment on Preservation of *Aralia Elata* Seem during Storage[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 44-48.
- [8] 段红梅, 何建新, 王丹丹, 等. 壳聚糖-魔芋粉复合涂膜对长白楸木嫩芽保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(12): 42-47.
- DUAN Hong-mei, HE Jian-xin, WANG Dan-dan, et al. Fresh-Keeping of *Aralia Continentalis* Kitagwa Sprouts with Chitosan Combined with Konjak Powder[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(12): 42-47.
- [9] 李建挥, 禹霖, 柏文富, 等. 缓释保鲜纸对蓝莓采后冷藏品质的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(1): 193-198.
- LI Jian-hui, YU Lin, BAI Wen-fu, et al. Effect of Slow-Release Fresh-Keeping Paper on Postharvest Refrigeration Quality of Blueberries[J]. Non-Wood Forest Research, 2019, 37(1): 193-198.
- [10] 王森, 谢碧霞. 1-甲基环丙烯对货架期中秋酥脆枣鲜果质构特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(11): 137-141.
- WANG Sen, XIE Bi-xia. Effect of 1-MCP on Texture Properties of Fresh Fruit in Storage Shelf Period of *Zizyphus Jujube* cv. *Zhongqiusucui*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(11): 137-141.
- [11] MA Yu-rong, BAN Qing-feng, SHI Jing-ying, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP), Storage Time, and Shelf Life and Temperature Affect Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of 'Jonagold' apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 150: 71-79.
- [12] 赵婕, 张子晗, 侯秋彦, 等. 东京野茉莉种子休眠特性的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(1): 45-51.
- ZHAO Jie, ZHANG Zi-han, HOU Qiu-yan, et al. Investigation on Dormancy Characteristics of *Styrax Tonkinensis* Seeds[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(1): 45-51.
- [13] 马凯恒, 谢牧洪, 郑欣悦, 等. 脱落酸和赤霉素对核桃 *JrGSTU8* 基因响应炭疽病的表达调控[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(12): 121-129.
- MA Kai-heng, XIE Mu-hong, ZHENG Xin-yue, et al. ABA and GA Regulate the Expression of Walnut *JrGSTU8* Gene in Response to Anthracnose[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(12): 121-129.
- [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 Li, WANG Da-ping. Effects of Gibberellin on the Quality of Lettuce in Storage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(1): 324-325.
- [15] 郭衍银, 张楠, 朱艳红, 等. 赤霉素处理对青花菜花球矿质元素含量及保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 274-278.
- GUO Yan-yin, ZHANG Nan, ZHU Yan-hong, et al. Effects of Gibberellin on the Mineral Elements Content and Preservation of Broccoli Flower Head[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 274-278.
- [16] 尹健, 颀敏华, 陈柏, 等. 1-MCP 复合杀菌剂处理对“金红宝”甜瓜常温贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(1): 40-45.
- YIN Jian, XIE Min-hua, CHEN Bai, et al. Effects of 1-MCP Compound Fungicide Treatment on the Storage Quality Of 'Jinhongbao' Melon at Room Temperature[J]. Storage and Process, 2021, 21(1): 40-45.
- [17] 陈志怡, 李金月. 赤霉素与 1-MCP 处理对雏菊切花保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2015, 36(7): 69-73.
- CHEN Zhi-yi, LI Jin-yue. Gibberel in and 1-Methylcyclopropene Treatments on Preservation of Cut Flower *Bellis Perennis*[J]. The Food Industry, 2015, 36(7): 69-73.
- [18] 张悦, 李安, 潘立刚, 等. 1-甲基环丙烯结合植酸处理对菠菜保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 231-238.
- ZHANG Yue, LI An, PAN Li-gang, et al. Effects of Combined Treatment with 1-Methylcyclopropene and Phytic Acid on Quality Preservation of Spinach[J]. Food

- Science, 2023, 44(1): 231-238.
- [19] 王通, 王娟, 马晓艳, 等. 1-MCP 处理结合冷库预冷对黄花菜低温贮藏效果的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(12): 15-22.
- WANG Tong, WANG Juan, MA Xiao-yan, et al. Effect of 1-MCP Treatment Combined with Cold Storage Pre-cooling on Low Temperature Storage of Daylily[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(12): 15-22.
- [20] 冯磊, 刘健美. 榆耳天然复合防腐剂应用于龙牙楸木嫩芽保鲜的研究[J]. 林业科技, 2015, 40(5): 31-34.
- FENG Lei, LIU Jian-mei. Study on Aralia Mandshrica Buds Preservation by Natural Compound Preservatives of Gloeostereum Incarnatum[J]. Forestry Science & Technology, 2015, 40(5): 31-34.
- [21] 朱雁青, 凌红妹. 微波加热下菠菜叶叶绿素含量与绿色色度的相关性[J]. 现代食品, 2019(1): 137-140.
- ZHU Yan-qing, LING Hong-mei. Analysis of the Correlation between Chlorophyll Content and Green Color of Spinach Leaves under Microwave Heating[J]. Modern Food, 2019(1): 137-140.
- [22] 张丹, 赵焱羽, 周飘飘, 等. 1-MCP 对鲜切刺嫩芽保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 167-172.
- ZHANG Dan, ZHAO Han-yu, ZHOU Piao-piao, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Treatment on Quality of Fresh-Cut Aralia Elata Seem[J]. The Food Industry, 2022, 43(5): 167-172.
- [23] 贾晓昱, 康丹丹, 张鹏, 等. 1-MCP 处理对相温贮藏西兰花品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(12): 25-30.
- JIA Xiao-yu, KANG Dan-dan, ZHANG Peng, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Quality of Broccoli Stored at Phase Temperature[J]. Storage and Process, 2021, 21(12): 25-30.
- [24] 李振, 张秀玲, 张文涛, 等. 1-甲基环丙烯熏蒸结合茶多酚涂膜处理对蕨菜保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(19): 218-225.
- LI Zhen, ZHANG Xiu-ling, ZHANG Wen-tao, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene Fumigation Combined with Tea Polyphenol Coating Treatment on Quality Preservation of Pteridium Aquilinum Var. latiusculum[J]. Food Science, 2021, 42(19): 218-225.
- [25] 吴春岩. 龙芽楸木采后处理及贮藏效果的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007: 27-29.
- WU Chun-yan. Research on Effect of Postharvest Treatments on Storability of Aralia Elata[D]. Changchun: Changchun University, 2020: 27-29.

责任编辑: 曾钰婵