

1-MCP 处理维持销地鲜切甘蓝的货架品质

张鹏^{1,2}, 王童³, 贾晓昱^{1,2}, 薛友林³, 吴迪^{4,5}, 李江阔^{1,2*}

(1. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 天津 300384) (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, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384) (3. 辽宁大学轻型产业学院, 辽宁沈阳 110036) (4. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058) (5. 浙江大学中原研究院, 河南郑州 450000)

摘要: 为了探究 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架品质的影响。以甘肃榆中甘蓝为实验材料, 1-MCP 熏蒸处理 24 h 后物流运输到目的地置于冷库贮藏, 贮藏 5 d 后进行鲜切处理及真空包装, 置于 10 °C 环境货架贮藏, 每 2 d 测定鲜切甘蓝的褐变度、各项生理生化指标和菌落总数。结果表明, 1-MCP 处理相较于 CK 组(未进行 1-MCP 处理)能够显著抑制鲜切甘蓝褐变度的增加, 货架末期 1-MCP 处理 Vc 含量 49.24 mg/100 g、还原糖含量 11.69 mg/g, 可溶性蛋白含量 0.33 mg/g、可溶性固形物含量 5.37%, 均显著高于 CK ($P < 0.05$); 同时抑制乙烯生成速率、褐变度、呼吸强度、相对电导率、丙二醛相对含量、过氧化物酶活性、抗坏血酸过氧化物酶活性、谷胱甘肽还原酶活性下降与多酚氧化酶活性的升高, 延缓甘蓝组织内细菌数量的增加。1-MCP 处理能延缓鲜切甘蓝的衰老, 维持鲜切甘蓝更好的货架品质。

关键词: 鲜切甘蓝; 1-MCP; 低温; 鲜切果实品质; 统计分析

文章编号: 1673-9078(2023)06-86-92

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0715

1-MCP Treatment to Maintain the Shelf Quality of Fresh-cut Cabbage at the Marketplace

ZHANG Peng^{1,2}, WANG Tong³, JIA Xiaoyu^{1,2}, XUE Youlin³, WU Di^{4,5}, LI Jiangkuo^{1,2*}

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China) (2. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China) (3. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China) (4. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China) (5. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to explore the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the shelf quality of fresh-cut cabbage after 5 days of cold storage, the cabbage from Yuzhong in Gansu province was used as the experimental material. After 1-MCP fumigation for 24 h, the cabbage was transported then stored in cold storage at the destination. After 5 days of storage, the cabbage was freshcut and vacuumpacked, then stored on shelves at 10 °C. The browning degree, various physiological and biochemical indexes, and total number of colonies for the fresh-cut cabbage were determined every 2 days. The results showed that compared with CK treatment (without 1-MCP treatment), the 1-MCP treatment could significantly inhibit the increase of browning degree in fresh-cut cabbage. At the end of shelf life, the Vc content, reducing sugar content, soluble protein content and soluble solids content of the cabbage subjected to 1-MCP treatment were 49.24 mg/100 g, 11.69 mg/g, 0.33 mg/g

引文格式:

张鹏,王童,贾晓昱,等. 1-MCP 处理维持销地鲜切甘蓝的货架品质[J].现代食品科技,2023,39(6):86-92.

ZHANG Peng, WANG Tong, JIA Xiaoyu, et al. 1-MCP treatment to maintain the shelf quality of fresh-cut cabbage at the marketplace [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 86-92.

收稿日期: 2022-06-06

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016); 天津市科技计划项目(22ZYCGSN00210); 贵州省科技计划项目(黔科中引地[2022]4050)

作者简介: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜与无损检测, E-mail: zhangpeng811202@163.com

通讯作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品安全与果蔬贮运保鲜新技术, E-mail: lijkuo@sina.com

and 5.37%, respectively, all significantly higher than those of CK ($P<0.05$). At the same time, the decreases of the ethylene production rate, browning degree, respiratory intensity, relative conductivity, relative malondialdehyde content, peroxidase activity, ascorbic acid peroxidase activity and glutathione reductase activity as well as the increase of polyphenol oxidase activity were inhibited, with the increase in the number of bacteria in cabbage tissues being delayed. 1-MCP treatment could delay the senescence of fresh-cut cabbage and maintain better shelf quality of fresh-cut cabbage.

Key words: fresh cut cabbage; 1-MCP; low temperature; fresh cut fruit quality; statistical analysis

甘蓝属是十字花科甘蓝目 (Cruciferae) 芸香属 (*Brassica*) 的一种, 如有花椰菜、芥蓝等。其中, 结球甘蓝 (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.), 也称卷心菜、包白菜等, 味甘、维生素含量高, 营养价值丰富^[1]。近年来鲜切果蔬产品应运而生, 其即食方便的特性迎合快节奏的生活, 受到青年人群的喜爱, 甘蓝作为常见且营养的“轻食”蔬菜, 市场空间广阔。但由于鲜切加工过程中出现的机械损伤, 会引起一系列的生理、化学反应, 缩短其保质期, 从而使其商品价值大幅下降。因此, 如何保证新鲜的甘蓝在加工、运输、贮藏、销售等环节中, 最大限度地保留其原有的品质, 减少其营养成分的流失, 防止在贮藏、销售过程中出现黄化、萎蔫现象^[2-4], 具有重要的现实意义。

近几年来, 很多学者致力于研究探索解决如何延长鲜切果蔬货架期的问题。范郁斐等^[5]研究在冷藏条件 (4 °C) 下不同浓度抗坏血酸处理对鲜切紫甘蓝的褐变度、抗氧化活性以及硫代葡萄糖苷含量等的影响。结果表明, 低温贮藏 7 d, 鲜切紫甘蓝中硫代葡萄糖苷含量变化不大; 低温贮藏 28 d, 硫代葡萄糖苷含量已明显下降, 主要下降的是脂肪族硫苷。抗坏血酸保鲜剂处理对鲜切紫甘蓝品质具有较好的改善作用。许青莲等^[6]采用冰水、冷库、压差运输、强制通风预冷 4 种方法对紫甘蓝进行脱水处理, 经真空包装、模拟物流运输后放置于在 0 °C 下进行 20 d 保鲜贮藏实验, 分析其在贮藏期间褐变程度、营养特性及其他理化性状指标之间的变化。试验结果表明, 压差预冷系统能较好维持紫甘蓝的冷链包装贮运品质, 保鲜效果最佳。赵楠等^[7]探究 1-MCP 结合生物保鲜剂对鲜切甘蓝品质的影响, 通过单因素筛选出复合保鲜剂效果最优组合为 0.3% (*m/m*) 木瓜蛋白酶、0.3% (*m/m*) 菠萝蛋白酶和 0.1% (*m/m*) ϵ -聚赖氨酸, 同时筛选出 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理效果最佳, 进行两者复合保鲜处理, 效果优于单一保鲜剂处理。结果表明: 两者结合相对于 CK、1-MCP 和生物保鲜剂单独处理可有效延缓鲜切甘蓝黄化、腐烂, 9~12 d 期间差异显著 ($P<0.05$); 可减缓 Vc、还原糖、色素含量的下降; 抑制色差、乙烯生成速率、褐变度、呼吸强度、相对电导率、MDA 含量、CAT 活性下降与 PPO、POD 活性的升高。近年来大量国内外

研究学者表明 1-MCP 对于叶菜保鲜有着明显的效果, 但甘蓝立即采后进行 1-MCP 处理, 运往销地冷藏一段时间后, 研究 1-MCP 处理对销地冷藏后货架品质影响鲜有报道。本研究以甘蓝为试验材料, 探究 1-MCP 处理对鲜切甘蓝货架期品质的影响, 销地甘蓝冷藏 5 d 后立即取出鲜切货架观察, 5 d 为模拟实际应用中采后处理、物流运输的过程, 在保证甘蓝自身品质的同时, 最大程度延长市场供应期, 创造更大的经济效益, 对于企业实际生产和销售具有着重要的指导作用。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

甘蓝 (结球甘蓝), 摘自甘肃榆中, 在当地采收时, 选择大小均一、无机械损伤的甘蓝作为实验材料。

冷库, 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津); 聚苯乙烯泡沫箱 (45 cm×29.5 cm×26 cm, 壁厚 2 cm)、真空包装袋 (25 cm×18 cm, 厚度 84 μm), 甘肃榆中蔬菜基地提供。

1.1.2 仪器与设备

2010 PLUS 气相色谱仪, 日本岛津公司; DDS-307A 电导率仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司; 3-30K 离心机, 德国 Sigma 公司; PAL-1 便携式手持折光仪, 日本爱宕公司; Check Piont II 便携式残氧仪, 丹麦 Dansensor 公司; Synergy H1 多功能微孔板检测仪, 美国 Biotek Instrument 公司; SYQ-DSX-280B 高压灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; SW-CJ-1B 超净工作台, 苏州净化设备有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理

挑选形状大小均一的、无损伤甘蓝约 18 kg, 每个泡沫箱放入约 4.50 kg 甘蓝, 分为两个处理, 用 1-MCP (2 $\mu\text{L/L}$) 进行熏蒸处理, 即加入 2 袋便携式 1-MCP 小包用蒸馏水浸湿, 立即放入泡沫箱中, 以未加入便携式 1-MCP 小包的甘蓝作为对照, 记作 CK。处理完成后, 物流运输至天津后, 入冷库 (0 °C) 预冷 24 h

后进行贮藏。贮藏 5 d 后取出, 将甘蓝手工切开后为 5 cm×5 cm 左右片状后进行装袋处理, 进行装袋真空处理, 每袋约 250 g, 每个处理装袋 15 袋。于 10 ℃ 条件下存放, 间隔 2 d 取样测定相关指标, 每个处理每次测定设计 3 次重复。

1.2.2 褐变度的测定

采用林丽莎^[8]的方法, 取样 5 g, 倒入 15 mL $\rho=95\%$ 乙醇, 研磨均匀, 2 000 r/min 离心 20 min, 取上清液于 420 nm 处测定吸光度 A, 即为样品褐变度。空白组样液制备时即为将样品替换为同等质量的蒸馏水。

1.2.3 生理指标测定

呼吸强度采用静置法^[9], 取大小均一的甘蓝内部, 放入保鲜盒内, 密封静置 2 h, 用便携式气体测定仪测定盒内 O₂/CO₂ 含量, 各处理重复 3 次, 取平均值。乙烯生成速率采用气相色谱仪测定^[9], 取甘蓝叶片 50 g, 置入保鲜盒内, 密封静置 2 h 后进行测定, 每个处理重复 3 次, 取平均值。

1.2.4 营养指标的测定

维生素 C (Vc) 含量的测定采用钼蓝比色法^[10]; 还原糖含量的测定参考安容慧等^[11]的方法; 可溶性蛋白的测定参考 Bradford^[12]的方法; 可溶性固形物 (TSS) 采用手持折光仪测定。

1.2.5 衰老指标的测定

采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛的含量^[13]; DDS-307 A 型电导率仪测量其相对电导率, 直径 1 cm 打孔器取得 15 块大小相同、厚度均匀的小扁圆片, 适量的蒸馏水反复冲洗 2 遍, 放入 40 mL 的蒸馏水, 立即测量其导电系数 P₀, 放置 3 h 后, 测量其导电系数 P₁, 再煮沸 10 min, 使植物组织死亡, 冷却到室温, 加入水到原来的标度后室温下平衡 10 min, 测量其导电系数 P₂, 重复 3 次取得算数平均值。

$$P = \frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

P—相对电导率, %;

P₀—初始导电系数;

P₁—放置 3 h 后导电系数;

P₂—煮沸后导电系数。

过氧化氢采用专用试剂盒 (南京建成生物工程研究所) 进行测定。

1.2.6 相关酶活性的测定

参考曹建康等^[13]的方法测定过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO)、抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 的含量。谷胱甘肽还原酶 (GR) 采用专用试剂盒 (南京建成生物工程研究所) 进行测定。

1.2.7 菌落总数的测定

细菌总数参照 GB 4789.15-2010 中的方法测定。

1.3 数据分析

图表制作通过 Excel 2010 进行; 差异显著性分析通过 DPS 7.5 软件 LSD 法对进行优化实现, 下列图表中不同小写字母代表在 5% 水平上显著 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架褐变度的影响

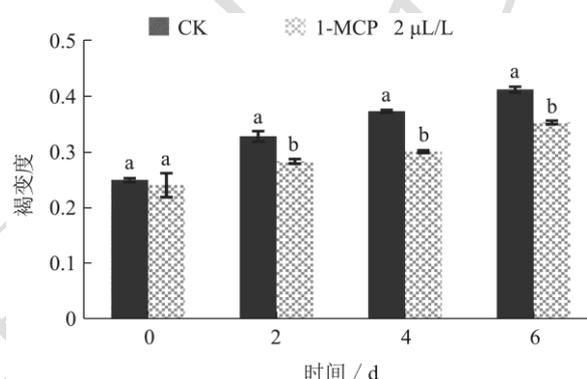


图 1 1-MCP 对鲜切甘蓝货架期间褐变度的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP on browning degree of fresh cut cabbage during shelf life

图 1 是鲜切甘蓝货架期间褐变度的变化情况, 褐变度整体均呈现上升趋势。0 d 时, 整颗 5 d 处理 CK 组、1-MCP 组甘蓝的褐变度分别为 0.25%、0.24%, 几乎没有差异。随着贮藏时间的延长, 甘蓝自身衰老腐败, 褐变程度更加明显。1-MCP 处理鲜切甘蓝褐变度均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), 说明 1-MCP 对于抑制甘蓝褐变有明显的作用。货架期间中鲜切甘蓝的褐变度呈现的这一变化趋势在张雪等^[14]的研究中也有体现。结束贮藏 10 d 后褐变度增至 4.73, 是贮藏前的 3.75 倍。

2.2 1-MCP 处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架生理指标的影响

呼吸作用是可以准确表示果蔬在贮藏运输期间产生的一些生理的变化, 通过测定果蔬中呼吸强度的实时变化, 了解蔬菜不同处理保鲜贮藏期间产生的一些生理状态差异^[15]。如图 2 所示, 在整个货架期间, 两个处理组的甘蓝呼吸强度呈先上升后下降的趋势, 且 1-MCP 处理组呼吸强度均低于 CK 组, 分析原因是开

始时鲜切造成的机械损伤呼吸最盛,而后随着 1-MCP 与乙烯受体结合发挥抑制作用,呼吸强度随着时间延长逐步放缓。货架 2 d 时,CK 组呼吸强度峰值为 511.50 mg/(kg h),1-MCP 处理组呼吸强度峰值为 410.59 mg/(kg h),差异显著 ($P<0.05$)。

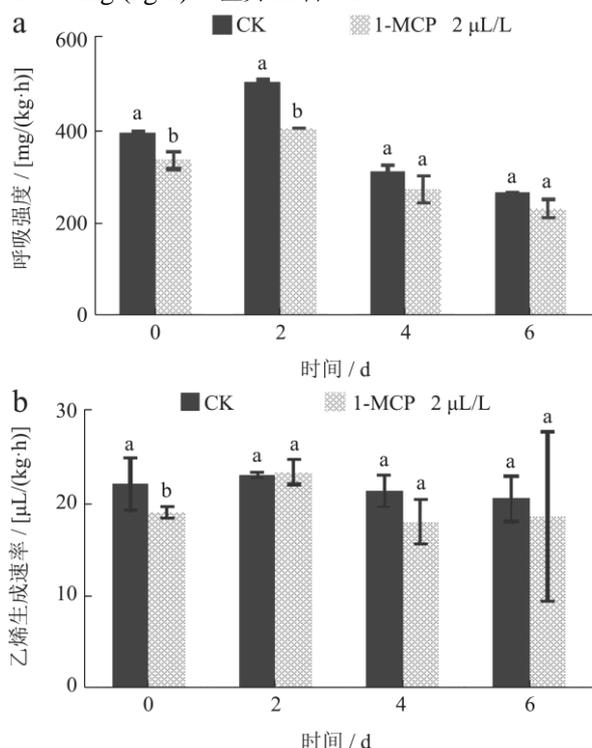


图 2 1-MCP 对鲜切甘蓝货架期间呼吸强度和乙烯生成速率变化的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP on respiratory intensity and ethylene production rate of fresh cut cabbage during shelf life

两个处理组的乙烯生成速率均呈现先上升后下降的趋势,与呼吸强度变化趋势类似,整体看 CK 组乙烯生成速率高于 1-MCP 组。由此初步证明,1-MCP 处理有效可以抑制甘蓝的乙烯生成速率。冷库贮藏期间,低温环境抑制果实呼吸作用,两组处理相差不大,后期置于常温环境货架观察,果实自身呼吸作用加强,两组处理差异明显。

2.3 1-MCP 处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架营养指标的影响

如图 3 所示,货架期内 Vc 含量呈现随着贮藏时间的增长逐渐减少的趋势,其中 1-MCP 处理组 Vc 含量下降速率较慢,说明 1-MCP 处理可以有效减缓甘蓝中 Vc 含量的下降。初期 0 d 时,CK 组甘蓝 Vc 含量为 57.05 mg/100 g,1-MCP 处理甘蓝 Vc 含量为 57.90 mg/100 g;货架 6 d 时,1-MCP 处理组甘蓝 Vc 含量(49.24 mg/100 g)显著高于 CK 组(40.19 mg/100 g)。

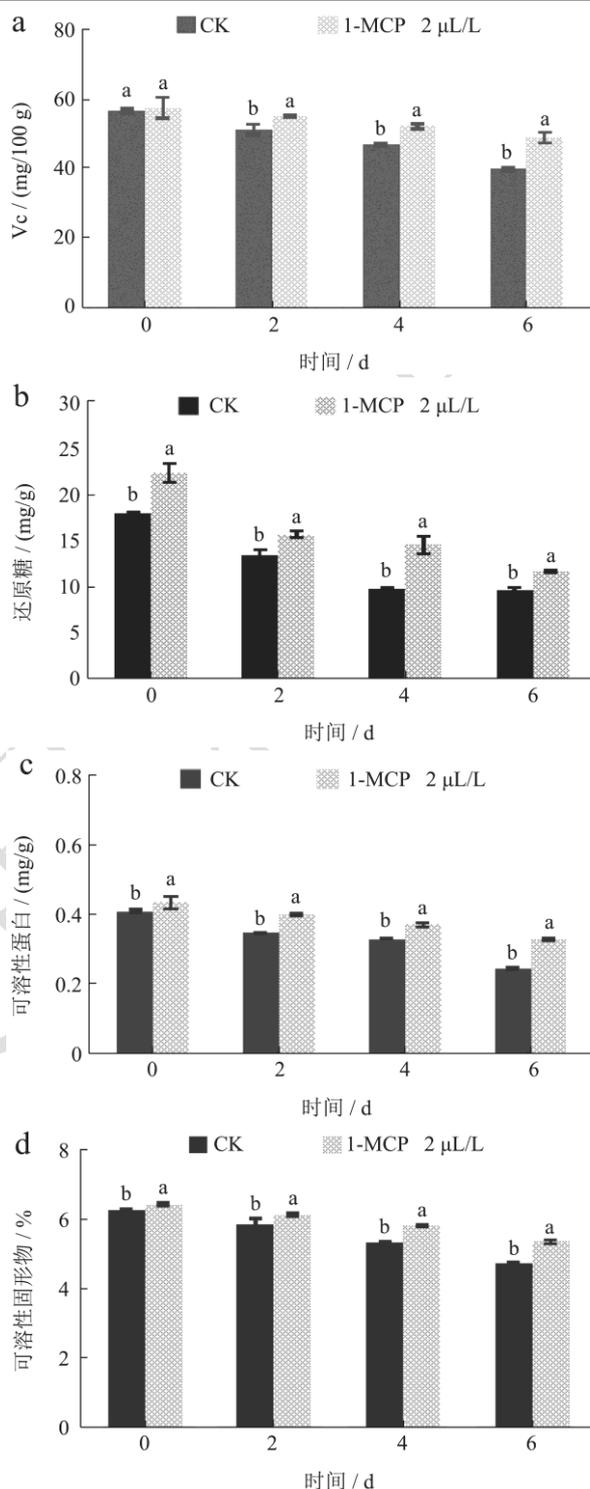


图 3 1-MCP 对鲜切甘蓝货架期间 Vc、还原糖、可溶性蛋白和可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP on Vc, reducing sugar, soluble protein and soluble solid content of fresh cut cabbage during shelf life

Rabia 等^[16]研究了 1-甲基环丙烯(1-MCP)和改性大气包装(MAP)处理对秋葵采后品质的影响,处理和未处理的秋葵样品分别在环境温度(27 ℃)和低温度(7 ℃)温度下保存 8 d 和 20 d。结果表明,1-MCP 和 MAP 处理成功地抑制了秋葵软化,低温贮藏有效

降低了Vc和叶绿素的流失,Vc含量下降到0.70 mg/g,保持率达到52%,与本论文实验结果相似。

1-MCP处理组甘蓝还原糖显著高于CK($P<0.05$),初期CK与1-MCP相比还原糖含量相差明显,这可能是由于甘蓝货架贮藏过程中呼吸强度减弱,甘蓝中多糖等大分子物质含量降低。6 d时CK组甘蓝还原糖含量为9.67 mg/g,2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理组甘蓝还原糖含量为11.69 mg/g。由此可见1-MCP处理可以维持稳定甘蓝中还原糖含量,抑制营养物质的消耗。

货架期间鲜切甘蓝可溶性蛋白含量整体呈现下降趋势,货架末期6 d 1-MCP和CK处理组含量分别为0.33、0.25 mg/g,1-MCP处理组甘蓝可溶性蛋白含量显著高于CK($P<0.05$)。由此可见1-MCP可以有效减缓甘蓝中可溶性蛋白含量的下降,这一实验结果,同安容慧等^[11]研究中结论相近:1-MCP处理组娃娃菜的可溶性蛋白含量显著高于CK组,在贮藏的第24 d,1-MCP处理组可溶性蛋白含量是CK组的1.14倍,1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理能有效减缓娃娃菜贮藏过程中可溶性糖和可溶性蛋白含量的降解。

蔬菜中的可溶性固形物含量也能有效反应蔬菜自身的营养品质^[17],是衡量果蔬成熟度快慢变化和评价果蔬保鲜贮藏技术品质状况的重要指标之一。总体来看,货架期间不同处理甘蓝TSS总体呈下降趋势,CK组初末期可溶性固形物含量分别为6.27%、4.73%,初期是末期的132%;1-MCP组初末期可溶性固形物含量分别为6.43%、5.37%,初期是末期的119%。该实验结果表明1-MCP组能有效缓解可溶性固形物含量的下降,维持更高的营养价值。

2.4 1-MCP处理对销地甘蓝冷藏5 d后鲜切货架衰老指标的影响

相对电导率反映细胞膜的完整程度,也测量细胞膜的相对渗透能力,一定程度上体现出细胞的受损程度情况,及时了解果蔬的衰老腐败水平^[18]。货架期间随着天数的增加各处理组相对电导率随之增加,其中CK处理组上升幅度大于1-MCP组,0 d时,CK组为15.56%,1-MCP组为13.13%,为对照的115.38%。这说明1-MCP在较低浓度时能更好地抑制其相对电导率的上升,并能有效地延缓鲜切甘蓝老化现象的发生。

图4b是鲜切甘蓝货架期间MDA含量的变化情况,鲜切甘蓝MDA含量整体皆呈上升趋势,可能是由于切分后细胞膜受到不可逆的伤害,膜透性不断增加,加速甘蓝组织衰老以及品质劣变。果蔬细胞膜脂氧化状态与甘蓝MDA含量呈现正比关系^[19],CK

组MDA含量均显著高于1-MCP组($P<0.05$),这充分说明1-MCP处理对甘蓝起到保护作用。0 d时,两组处理MDA含量分别为0.08、0.07 $\mu\text{mol/g}$;6 d时,两组处理MDA含量分别为0.13、0.12 $\mu\text{mol/g}$,1-MCP组甘蓝MDA含量均显著低于CK组($P<0.05$)。综上,1-MCP处理能有效抑制甘蓝贮藏期间MDA的含量上升,抑制果实衰老腐败,延长货架期。

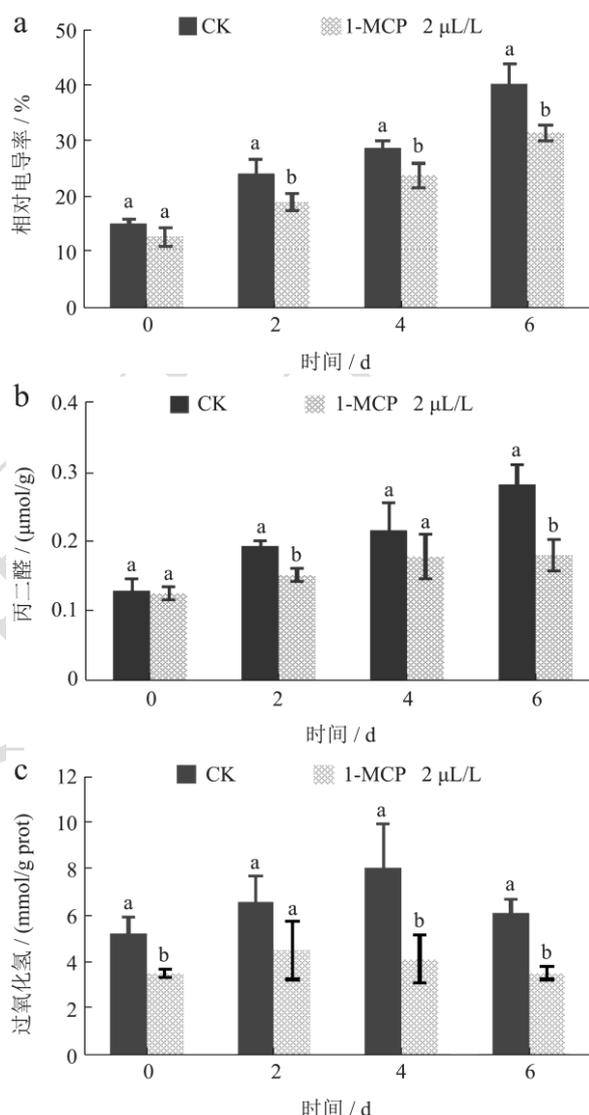


图4 1-MCP对鲜切甘蓝货架期间相对电导率、丙二醛、过氧化氢含量的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP on relative conductivity, malondialdehyde and hydrogen peroxide of fresh cut cabbage during shelf life

随着贮藏时间的延长,甘蓝组织内H₂O₂逐渐积累,CK和1-MCP组甘蓝的H₂O₂含量在货架4 d时含量分别为6.63和4.52 $\mu\text{mol/g}$,达到货架期峰值。至货架结束6 d时CK组H₂O₂含量降至6.24 $\mu\text{mol/g}$,比1-MCP组高0.74倍。该结果表明1-MCP处理能延缓鲜切甘蓝衰老腐败现象的发生,有效清除甘蓝组织中的H₂O₂。

2.5 1-MCP 处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架相关酶活性

架相关酶活性

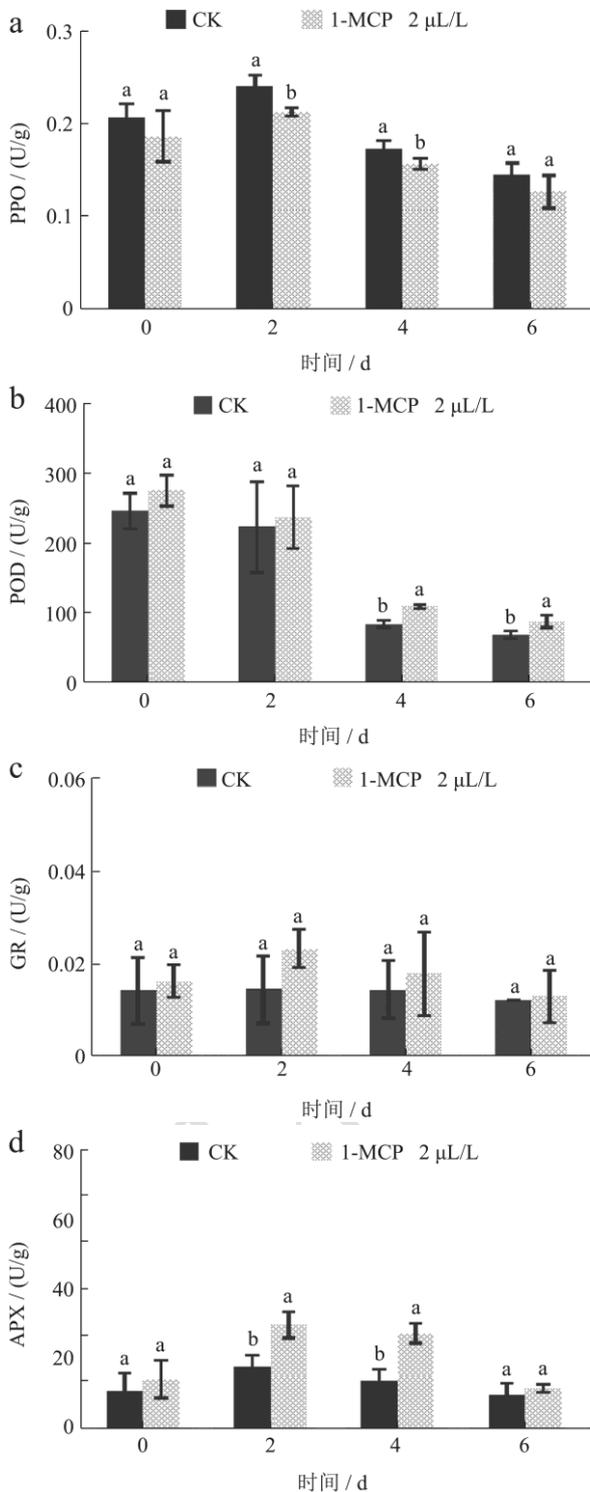


图 5 1-MCP 对鲜切甘蓝货架期间 PPO、POD、APX 和 GR 含量的影响

Fig.5 Effects of 1-MCP on PPO, POD, APX and GR contents of fresh cut cabbage during shelf life

多酚氧化酶 (PPO) 是直接影响果蔬褐变的重要

氧化酶, 正常生理状态下 PPO 不会与环境底物接触发生氧化反应, 但随着果蔬逐渐衰老, 细胞结构功能被彻底破坏, PPO 就会与多酚类物质发生氧化反应生成醌, 醌发生聚合反应可生成黑色物质导致褐变^[20]。PPO 活性变化如图 5a 所示, 鲜切甘蓝 PPO 活性呈先上升后下降趋势, 且 1-MCP 组的 PPO 酶活性始终低于 CK 组, 整颗 5 d 处理 0 d 时, CK、1-MCP 组活性分别为 0.21、0.11 U/g, 6 d 时, CK、1-MCP 组活性分别为 0.15、0.13 U/g。说明 1-MCP 可以抑制鲜切甘蓝货架过程中 PPO 活性。

POD 具有选择性地对组织中 H₂O₂ 进行杀灭的功能, 从而保护鲜切甘蓝不被组织中积累 H₂O₂ 的影响加速衰老腐败^[21]。图 5b 是甘蓝在货架期间 POD 活性的变化。整个货架期间, 两组处理甘蓝 POD 总体活力下降, 6 d 时, CK、1-MCP 组活性分别为 70.67、90.60 U/g, 两组处理前期差异不明显, 4~6 d 两组之间差异显著 (P<0.05)。由此可见, 1-MCP 处理显著提高了甘蓝组织 POD 活性。

APX 是一种具有抗氧化功能的酶, 它能抵抗活性氧的代谢^[22]。由图 5c 可知, APX 活性整体呈现先上升后下降的趋势, 货架初期 (0~2 d), 常温处理中 APX 酶活性逐渐升高, 在货架 2 d 达到峰值, 1-MCP 组甘蓝 APX 酶活力 30.40 U/g, 显著高于 CK 组 18.40 U/g (P<0.05)。可见, 1-MCP 处理能改善货架期抗氧化能力, 维持较高的 APX 活力。

如图 5d 所示, 甘蓝在货架过程中组织内 GR 活性呈现先上升后下降的趋势, 与 APX 活性变化趋势相似, 但整体波动并不明显。整颗 5 d 处理鲜切甘蓝货架在 2 d 时 GR 活性达到峰值, 其中 CK 组为 0.01 U/g, 1-MCP 组为 0.02 U/g, 货架后期 GR 活性逐渐下降。这表明, 1-MCP 处理可维持甘蓝组织较高的 GR 活性。

2.6 1-MCP 处理对销地甘蓝冷藏 5 d 后鲜切货架菌落总数的影响

架菌落总数的影响

菌落总数可以直观反映甘蓝被微生物污染的轻重程度, 是直接评价出环境状态稳定的其中一个十分重要的指标^[1]。由表 1 可以看出, 随着货架期的延长, 鲜切甘蓝的细菌菌落总数均呈上升趋势。货架初期 0 d 时, 细菌总数保持较低的水平, 货架后期 0~4 d 时, 细菌总数上升幅度较大, 在 6 d 达到峰值, CK、1-MCP 组细菌菌落总数分别为 3.84×10⁶、3.64×10⁵ CFU/g。1-MCP 组细菌菌落总数显著低于 CK 组 (P<0.05), 由此说明, 1-MCP 熏蒸能延缓甘蓝组织在货架期内细菌数量的增加, 有效抑制腐败。

表 1 1-MCP 对鲜切甘蓝货架期间菌落总数的影响

Table 1 Effect of 1-MCP on total bacterial count of fresh cut cabbage during shelf life

处理	细菌总数/(CFU/g)			
	0 d	2 d	4 d	6 d
CK	54.24±2.77 ^a	(1.32±0.93)×10 ^{2a}	(3.36±0.13)×10 ^{4a}	(3.84±0.17)×10 ^{6a}
1-MCP	50.60±8.64 ^a	(1.10±0.46)×10 ^{2a}	(3.06±0.69)×10 ^{3b}	(3.64±0.86)×10 ^{5b}

注: 每列不同小写字母代表在 5%水平上显著 ($P<0.05$)。

3 结论

甘蓝 1-MCP 处理后运输至销地, 冷藏 5 d 后进行鲜切、真空处理, 在 10 °C 货架期间, 1-MCP 能够显著延缓褐变度的升高 ($P<0.05$), 对鲜切甘蓝的呼吸强度和乙烯生成速率均有明显的抑制且峰值降低, 能够延缓 Vc、还原糖、可溶性蛋白和 TSS 含量的流失, 减缓相对电导率、丙二醛含量的上升及过氧化氢的累积, 延缓鲜切甘蓝的衰老, 抑制 POD、APX、GR 活性的降低和 PPO 活性的升高, 延缓甘蓝组织内细菌数量的增加, 对延长鲜切甘蓝的货架期起到积极的作用。

参考文献

- [1] 王冉冉, 姜茜茜, 陈存坤, 等. 速冻低温保鲜处理对鲜切甘蓝品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(5): 25-31.
- [2] 王冉冉, 赵欣, 易若琨, 等. 鲜切紫甘蓝加压气保处理条件的响应面优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 253-258.
- [3] 王佳宇, 管玉格, 王怡, 等. 切分方式对鲜切花椰菜品质和抗氧化活性的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(3): 87-95.
- [4] 唐月明, 高佳, 朱永清, 等. 自发气调包装薄膜透气性对花椰菜低温贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15): 169-174.
- [5] 范郁斐, 朱祝军. 抗坏血酸处理对鲜切紫甘蓝品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(1): 102-105.
- [6] 许青莲, 王冉冉, 王丽, 等. 不同预冷方式对鲜切紫甘蓝冷链贮运品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 135-143.
- [7] 赵楠. 生物保鲜剂结合 1-MCP 处理在鲜切甘蓝中的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2021.
- [8] 林丽莎. 1-MCP 处理延缓采后芙蓉李果实成熟衰老及其生理机制研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- [9] 张鹏, 颜碧, 贾晓昱, 等. 鲜切莲藕防褐变剂配方优化及保鲜效果研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(1): 169-175.
- [10] 李玉红. 钼蓝比色法测定水果中还原型维生素 C[J]. 天津化工, 2002(1): 31-32.
- [11] 安容慧, 陈皖豫, 胡花丽, 等. 1-甲基环丙烯对娃娃菜贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 194-203.
- [12] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1): 248-254.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013.
- [14] 张艳慧, 胡文忠, 刘程惠, 等. 光电杀菌技术在鲜切果蔬保鲜中应用的研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 309-313.
- [15] ZHANG Junhua, CHENG Dong, WANG Baobin, et al. Ethylene control technologies in extending postharvest shelf life of climacteric fruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(34): 7308-7319.
- [16] Kanwal R, Ashraf H, Sultan M, et al. Effect of 1-methyl cyclopropane and modified atmosphere packaging on the storage of okra (*Abelmoschus esculentus* L.): theory and experiments [J]. Sustainability, 2020, 12(18).
- [17] 谢晓宇, 韩欣如, 曾媛, 等. 采前 CaCl₂ 处理对西兰花采后品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 40-47.
- [18] Zhou H. The biocontrol of postharvest decay of Tab. grape by the application of kombucha during cold storage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 253: 134-139.
- [19] 李翠红, 魏丽娟, 李长亮, 等. 不同保鲜剂对鲜切娃娃菜贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 22-28.
- [20] 安容慧, 周宏胜, 罗淑芬, 等. 真空预冷及不同流通方式对上海青货架品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 241-248.
- [21] 曾诗娴, 赵孝玲, 左进华, 等. 曲酸处理对娃娃菜采后褐变的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(17): 241-247.
- [22] 黄文部, 马菡笛, 文豪, 等. 3 种精油处理对鲜切西兰花品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 126-132.