

1-MCP 处理对采后大荔黄花菜保鲜效应 及作用机理分析

林丽莎

(渭南职业技术学院, 陕西 渭南 714026)

摘要:为了改善黄花菜的保鲜储存效果,延缓黄花菜的成熟和衰老,本研究以新鲜黄花菜为原料,选择 1-甲基环丙烯对采后黄花菜进行保鲜处理,从多个考核指标分析了 1-甲基环丙烯对黄花菜的保鲜效应。研究发现,1-甲基环丙烯的处理可有效改善黄花菜的感官特性,28 d 后样品的感官特性评分均高于商品界限评分,腐烂率均低于 0.6。1-甲基环丙烯的使用可有效抑制黄花菜水分蒸发、减缓代谢效率;1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度下,黄花菜样品的失重率仅 3.946%。同时,该保鲜措施可有效维持黄花菜样品的可溶性固形物、维生素 C 以及可滴定酸含量,1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组的营养物质含量与其他组相比存在极显著差异($P < 0.01$)。此外,1-甲基环丙烯处理后的黄花菜抗氧化防御能力较强,并有效降低了活性氧的积累。

关键词:大荔黄花菜;1-甲基环丙烯;保鲜;超氧化物歧化酶活性;可溶性固形物

中图分类号:S644.3 **文献标识码:**A **文章编号:**0488-5368(2026)02-0018-06

Preservation Effects and Mechanisms of 1-Methylcyclopropene Treatment on Postharvest 'Dali' Daylily

LIN Lisha

(Weinan Vocational & Technical College, Weinan, Shaanxi 714026, China)

Abstract: To improve postharvest preservation and storage quality and to delay the ripening and senescence of daylily, fresh 'Dali' daylily was treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). The preservation effects of 1-MCP on daylily were evaluated using multiple quality indices. The results showed that 1-MCP treatment significantly improved the sensory quality of daylily. After 28 days of storage, sensory scores of all treated samples remained above the commercial acceptability threshold, and the rot rate was lower than 0.6%. 1-MCP treatment effectively inhibited moisture loss and reduced metabolic intensity in daylily. At a concentration of 1.00 $\mu\text{L/L}$, the weight loss rate of daylily samples was only 3.946%. In addition, 1-MCP treatment effectively maintained the levels of soluble solids, vitamin C, and titratable acidity in daylily samples. The nutrient contents in the 1.00 $\mu\text{L/L}$ treatment group were significantly higher than those in the other groups ($P < 0.01$). Furthermore, 1-MCP treated daylily exhibited enhanced antioxidant defense capacity and significantly reduced the accumulation of reactive oxygen species. These results indicate that 1-MCP treatment effectively delays postharvest senescence of daylily and has significant potential for extending shelf life during storage.

Key words: 'Dali' daylily; 1-methylcyclopropene; Postharvest preservation; Superoxide dismutase activity; Soluble solids

收稿日期:2025-02-06 修回日期:2025-03-28

基金项目:2022 年度渭南市重点研发计划项目“1-MCP 延缓大荔黄花菜采后生理后熟衰老的机制研究”(WZYKJ2022-4);渭南职业技术学院 2023 年度院级科研一般项目“不同浓度的 1-MCP 处理对采后大荔黄花菜的保鲜研究”(WZYZZ202318)。

作者简介:林丽莎(1990-),女,硕士研究生,讲师,研究方向为果蔬贮藏保鲜与食品营养。

黄花菜,别名金针菜、柠檬萱草等,百合科萱草属。黄花菜具有较高的营养价值,含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质以及其他特殊营养成分,具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤等多种生物活性。因而,黄花菜具有美容养颜、益智补脑以及补血养血等诸多功效,受到消费市场的广泛关注与喜爱^[1,2]。但由于鲜黄花菜富含糖分,具有极强的吸湿性与保湿性,在高湿度环境下极易吸水返潮,导致黄花菜在短时间内易腐败变质。同时,黄花菜采后贮藏期间生命活动和生理代谢旺盛,具有强烈的呼吸作用和蒸腾作用,对温度、酶以及光较强的敏感性,营养物质容易受到影响而分解,耐贮性能逐渐降低^[3,4]。目前,针对鲜黄花菜的保鲜技术有冷藏处理、脱水处理以及制干处理等,但受限于保鲜成本、效果等因素,现有保鲜方法在鲜黄花菜保鲜中的适用性仍存

在不足,有必要开发一种针对鲜黄花菜适应性较强的保鲜技术^[5,6]。近年来,研究发现乙烯抑制剂在保鲜市场具有显著的应用优势。乙烯抑制剂则通过与乙烯受体结合,阻断乙烯信号传导,显著延长保鲜期。为了探讨乙烯抑制剂在采后大荔黄花菜中的保鲜效果,选择乙烯抑制剂中的 1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)对黄花菜进行了保鲜试验,并深入分析其作用机理。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

鲜黄花菜为大荔县苏村镇所产本地品种;1-MCP 由山西中诺生物科技有限公司生产,有效物质含量 99%。试验所用的主要仪器名称及试剂的供应商见表 1。

表 1 试验仪器和来源

仪器名称	供应商	仪器名称	供应商
电子天平	上海启前电子科技有限公司	HC-3018R 高速冷冻离心机	北京思博晟达科技 有限公司
手持式糖度计	广州市映丰贸易有限公司	恒温水浴锅 HH-6	无锡玛瑞特科技 有限公司
美国 HACH DR6000 紫外分光光度计	北京华仪通泰环保科技 有限公司	pH 计	上海仪电科学仪器股份 有限公司
GXH-3010D 型红外 CO ₂ 分析仪	北京华仪通泰环保科技 有限公司	酸碱式滴定管	北京博镁基业科学 仪器技术有限公司
氢氧化钠及其他 所有试剂	上海通蔚科研试剂厂家	/	/

1.2 样品处理

采摘成熟度为 4 级,长度 12 cm 以上的新鲜黄花菜作为试验样品,并确保试验材料的规格统一。在筛选过程中,需仔细检查黄花菜是否存在机械损伤和病虫害,严格剔除受损和感病的个体。为了降低黄花菜本身的温差,防止在后续储存或处理过程中形成冰晶,采摘后 2 h 内将黄花菜运送至实验室立即进行预冷处理。根据黄花菜的生理特性和保鲜需求,研究将预冷温度控制在 4 ℃ 左右,预冷 12 h。将预冷并筛选整理完成后的黄花菜装入保鲜袋中,排除空气减少氧气对黄花菜的氧化作用。

将所有黄花菜样品随机划分为六个小组,对照组不做任何保鲜处理,直接放入未喷洒 1-MCP 的泡沫箱中,密封保存。试验组的 1-MCP 液体浓度分别设置 0.25 μL/L、0.50 μL/L、0.75 μL/L、1.00

μL/L、1.25 μL/L。首先确定配置总量与浓度,计算所需 1-MCP 的体积;然后使用精确的微量移液器取出相应体积的 1-MCP 原液;最后将原液加入一定体积的去离子水中,充分混合后将溶液转移至容量瓶中,定容至 1L。根据处理浓度分别配置不同数量的 1-MCP,将其均匀放置在泡沫箱内;将黄花菜均匀放入泡沫箱中,避免堆积,以保证 1-MCP 的均匀接触。答复:已补充说明 1-MCP 的配制过程。最后密封泡沫箱,确保处理环境稳定,避免外界因素干扰,分别在试验前、第 7 天、第 14 天、第 21 天、第 28 天测定各项观测值。

1.3 测定指标

感官特性评定:参照 DB61/T559—2013《地理标志产品大荔黄花菜》标准、《无公害食品干制金针菜》NY5186-2002 对黄花菜的感官特性进行评

定。根据黄花菜的形状、色泽、气味、肉质、腐烂五个维度进行综合评分,评定过程中需观察黄花菜是否出现开花菜、色泽是否光泽、是否出现霉味和其他异味等。设置 10 分为最高分,6 分为商品界限评分。同时在感官品质分析中考察黄花菜样品的腐烂率^[7,8]。

黄花菜呼吸强度的测定:研究采用 GXH-3010D 型红外 CO₂ 分析仪对黄花菜的呼吸强度进行测定。将黄花菜样品放入密闭呼吸室中,确保样品量适中;连接好呼吸室与红外 CO₂ 分析仪的进气口和出气口,调整仪器参数开始记录呼吸室中 CO₂ 浓度的变化,并计算呼吸强度(CO₂ mg/kg·h)^[9,10]。

失重率的测定:研究采用称重法完成黄花菜失重率的测定。使用精度 0.01g 的电子天平称量黄花菜样品的质量,失重率计算见公式(1):

$$\alpha = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \quad (1)$$

式中, m_0 、 m_1 分别表示黄花菜初始质量和不同时期的质量(g)。

可溶性固形物(Total Soluble Solids, TSS)含量的测定:采用手持式糖度计读取黄花菜的 TSS 含量,在环境温度 20 °C 重复测定三次,计算平均值和标准偏差。

可滴定酸含量的测定:采用酸碱滴定法测定黄花菜的可滴定酸。取黄花菜样品研磨、过滤后转移至三角瓶中,加入适量的酚酞指示剂。使用滴定管将 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液逐滴加入样品溶液中,同时轻轻摇动三角瓶,使反应均匀进行。当颜色发生明显变化且 5 min 内不褪色时,记录滴定液消耗的体积。最后根据滴定液用量、浓度计算可滴定酸含量^[11]。

维生素 C 含量的测定:研究采用钼蓝比色法测定维生素 C 的含量。首先在标准维生素 C 样品加入草酸-EDTA 溶液、偏磷酸-乙酸溶液和硫酸溶液,使用蒸馏水将其稀释至不同刻度,摇匀,绘制标准曲线。取 2.0 g 黄花菜样品加入草酸-EDTA 溶液研磨成匀浆,将匀浆转移至容量瓶中定容、摇匀。放置 30 min 后取上清液进行离心处理,取 0.4 mL 上清液加入与绘制标准曲线相同的试剂,按标准曲线绘制项操作测定吸光度^[12]。

超氧化物歧化酶活性(Superoxide Dismutase, SOD)的测定:采用氮蓝四唑测定 SOD。称取 1 g 黄花菜样品加入预冷的提取介质在冰浴中研磨匀浆,静置 30 min 后,向上清液中加入反应液置于光照条件下显色反应一定时间。通过测定 560 nm 波

长下吸光度值可计算 SOD 活性。

过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性的测定:称取 1 g 黄花菜样品,研磨后加入适量磷酸缓冲液稀释,摇匀后离心,取上清液备用。然后取一系列浓度的四邻甲氧基苯酚标准溶液,在 470 nm 波长下测定吸光度,绘制标准曲线。最后取试管加入一定量的愈创木酚溶液和磷酸缓冲液,加入上清液、H₂O₂ 在 25 °C 下反应 10 min,使用分光光度计在 470 nm 波长下测定反应液的吸光度。最后根据吸光度值和标准曲线计算出 POD 活性。

过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性的测定:采用紫外吸收法检测黄花菜样品的 CAT 活性。称取 1 g 黄花菜样品加入适量的磷酸缓冲液在冰浴条件下研磨成匀浆,离心去除沉淀后保留上清液作为酶提取液。取一系列不同浓度的 H₂O₂ 溶液加入适量的磷酸缓冲液、在 240 nm 波长下测定吸光度,绘制标准曲线。随后,将酶提取液和反应液混合,在不同时间间隔下,利用紫外分光光度计测定 240 nm 波长处的吸光度,计算吸光度变化量,计算 CAT 活性。

丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量的测定:在高温、酸性条件下,黄花菜样品中的 MDA 能与硫代巴比妥酸反应,生成的红棕色三甲基复合物在波长 532 nm 处有最大光吸收,可间接反映 MDA 含量。

1.4 数据处理

不同组别的黄花菜样品在每项考核指标测定中随机选取 10 支进行测定,每次进行 3 次重复测试。借助 Excel 软件与统计分析软件整理数据。当数据不服从正态分布的数据采用 Mann-Whitney U 秩和检验,符合正态分布使用 t 检验。设置显著性水平,当 $P < 0.05$ 时,认为结果差异显著; $P < 0.01$ 时,认为结果差异极显著。

2 结果分析

2.1 1-MCP 处理对黄花菜感官品质的影响

1-MCP 处理对黄花菜的感官特性影响结果如图 1 所示。由图 1(a)可见,贮藏第 7 天,不同组别的黄花菜的感官特性评分波动于 8.25 到 8.85 区间,此时黄花菜的感官特性较好。随着贮藏时间的延长,不同组别的感官特性评分均逐渐下降;但对比之下,1-MCP 浓度为 1.00 μL/L、1.25 μL/L 时,样品的感官特性评分相对较高。所有经过 1-MCP 处理的样品的评分均高于商品界限评分。由图 1(b)可见,贮藏前期样品的腐烂率较低,低于 0.3;随着贮藏时间的延长,腐烂率逐渐增加,到第 28 天

时,腐烂率范围波动于 0.36 到 0.86;但 1-MCP 处理后的黄花菜样品的腐烂率相对较低。1-MCP 处理在一定程度上延缓了黄花菜感官特性的下降和腐烂率的增加。乙烯激素会促进植物的成熟与衰老,表现在黄花菜的一系列生理代谢过程中,进而

导致黄花菜品质下降。但 1-MCP 能够与植物体内的乙烯受体结合,进而阻断乙烯对植物生理过程的影响,延缓了黄花菜的成熟和衰老进程,从而保持其更好的感官特性和较低的腐烂率。

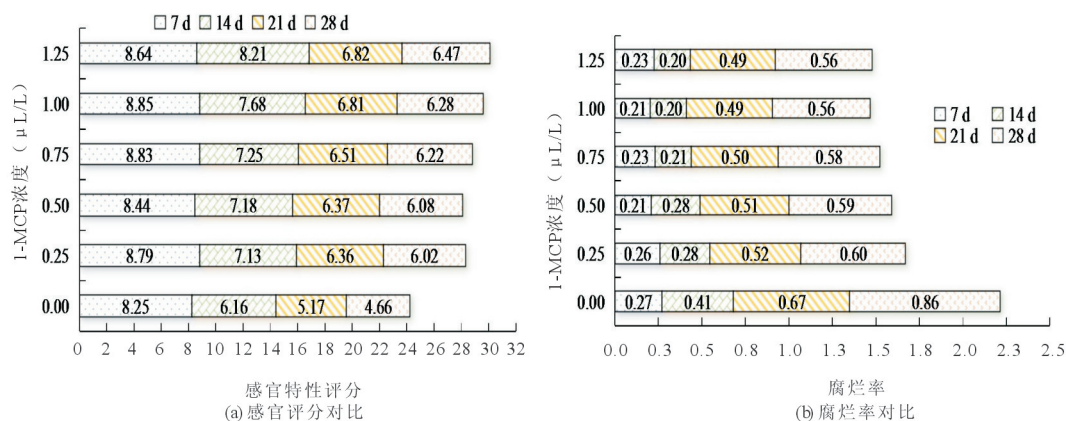


图 1 感官特性评定结果对比

2.2 1-MCP 处理对黄花菜呼吸强度与失重率的影响

1-MCP 处理对黄花菜呼吸强度与失重率的影响见图 2。由图 2(a)可见,对照组、0.25 μL/L、0.50 μL/L 实验组样品的呼吸强度在 14 d 时达到峰值,而高浓度实验组样品的呼吸强度则在 21 d 时达到峰值,1-MCP 处理有效延迟了呼吸高峰出现的时间,且抑制了黄花菜的呼吸强度。呼吸强度是指单位时间内单位重量的样品释放的二氧化碳量,是衡量植物组织代谢活性的重要指标,研究结果表明 1-MCP 通过抑制呼吸作用,减缓了黄花菜的代谢速率,减少了能量消耗及其他营养物质的消耗,从而可能延长其保鲜期。1-MCP 抑制呼吸作用是由于其可影响黄花菜体内的呼吸链电子传递过程,通过降低呼吸链中关键酶的活性抑制细胞呼吸作

用。由图 2(b)可见,不同组别黄花菜样品的失重率随着贮藏时间的延长而逐渐增长,对照组的最大失重率可达 6.942%;1.00 μL/L 浓度下的试验组的失重率最低,为 3.946%。可见,1-MCP 处理显著降低了黄花菜的失重率,且随着 1-MCP 浓度的增加,失重率逐渐降低。但浓度超过 1.00 μL/L,1-MCP 的抑制效果减弱。总体而言,1-MCP 可通过抑制水分蒸发,减缓黄花菜的失水速率,延长其保鲜期。同时延缓了其萎蔫和腐烂过程,如图 1 所示,样品的感官特性整体优于对照组。而 1-MCP 抑制呼吸作用的表现则体现在气孔调节与角质层影响上。一方面,1-MCP 可能影响黄花菜的气孔开闭,使得其气孔关闭或减少张开时间降低水分蒸发量;另一方面,1-MCP 可增强黄花菜角质层的屏蔽作用,进而降低失重率。

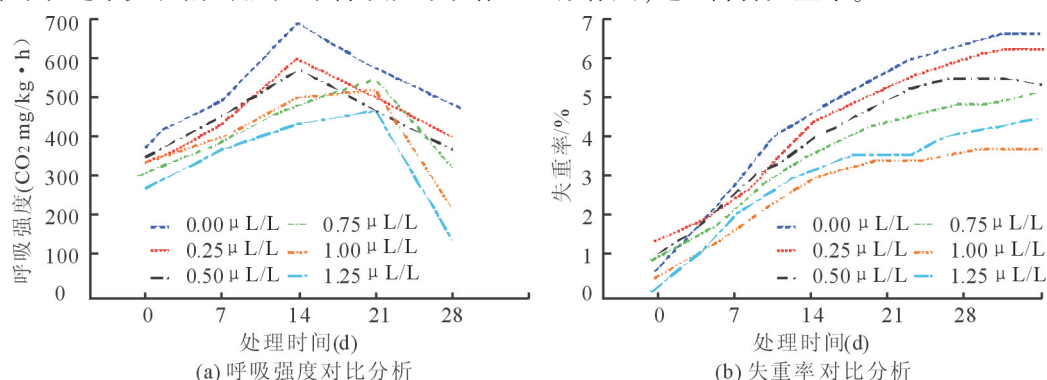


图 2 不同组别样品的呼吸强度与失重率对比

2.3 1-MCP 处理对黄花菜营养物质含量的影响

1-MCP 处理对黄花菜各种营养物质含量的影响如图 3 所示。由图 3(a)可见,不同组别样品的 TSS 含量呈现先上升后降低的趋势,TSS 含量在 7

d 时达到峰值;对照组的 TSS 含量最低,随着 1-MCP 浓度的上升,1.00 μL/L 浓度试验组的 TSS 含量取得最大值 12.268%,与其他组相比存在极显著差异($P < 0.01$)。TSS 可一定程度反映贮藏期间

黄花菜的品质劣化度, TSS 含量越高, 表明产品的食用品质越好。由图 3(b) 可见, 黄花菜采摘后可滴定酸含量随着贮藏时间的延长而逐渐降低, 不同组别之间的含量变化存在显著差异, 其中 1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组的可滴定酸含量最高, 14 d 后与其他处理存在极显著差异 ($P < 0.01$)。可滴定酸含量可反映黄花菜样品的风味, 可见 1-MCP 处理起到了一定的保鲜效应。由图 3(c) 可见, 不同组别

的维生素 C 含量大致呈下降趋势。综合而言, 1-MCP 处理可有效降低黄花菜对维生素 C 的消耗, 1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组的维生素 C 含量高达 323.289 mg/L, 与其他组相比差异存在显著的统计学意义 ($P < 0.01$)。总之, 黄花菜中营养物质与能量消耗的降低与黄花菜呼吸作用被抑制相关联, 通过抑制黄花菜内部分解代谢酶活性, 减缓 TSS、可滴定酸、维生素 C 的消耗。

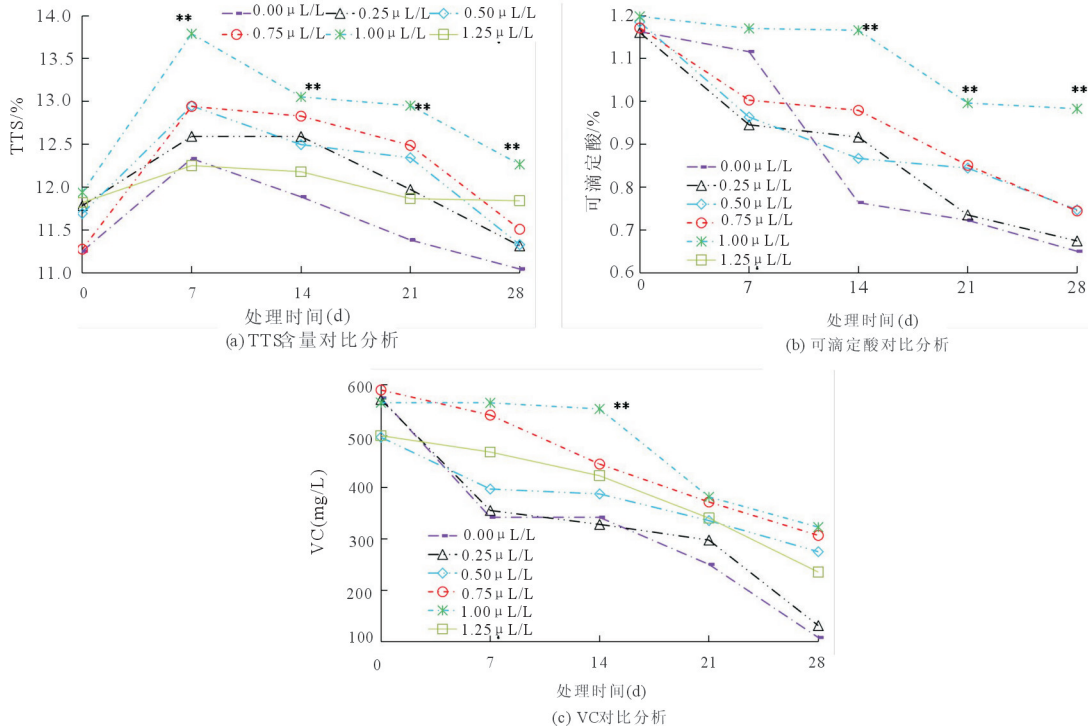


图 3 不同组别样品的营养物质含量对比

2.4 1-MCP 处理对黄花菜活性物质含量的影响

由图 4(a) 可见, 在贮藏 21 d 时, 各组样品的 POD 达到峰值, 1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度试验组的 POD 含量达到峰值 45.773 U/g · Min, 表明此时 1-MCP 激活了黄花菜的抗氧化防御系统。同时, 图 4(b) 中, 不同组别样品的 SOD 含量在贮藏 14 d 时达到峰值, 1-MCP 处理浓度的增加一定程度上可有效地维持样品的 SOD 活性, 使其保持在较高水平。在贮藏 14 d 时, 1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组的 SOD 活

性达到 185.614 U/g · FW。SOD 和 POD 是植物体内重要的抗氧化酶, 其在清除活性氧和防止氧化应激中发挥关键作用。二者均可防止氧化应激和细胞损伤, SOD 将超氧阴离子转化为过氧化氢和氧气, 而 POD 则进一步将过氧化氢转化为水和氧气。通过激活抗氧化酶系统, 1-MCP 处理有助于保持黄花菜在贮藏期间的品质, 减少氧化损伤, 延缓成熟和衰老过程。

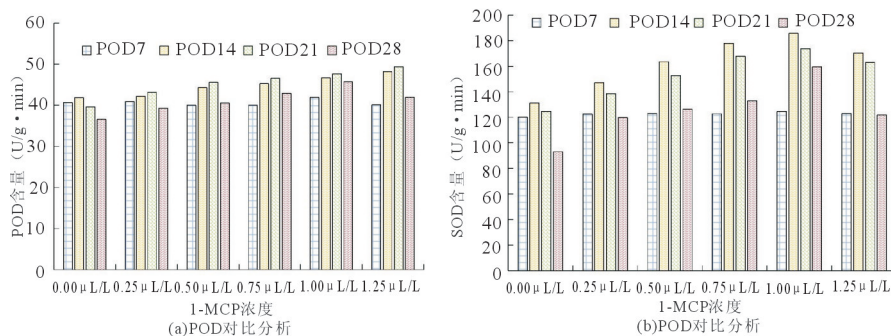


图 4 POD 与 SOD 含量对比分析

1-MCP 处理对黄花菜 CAT 与 MDA 含量的影响如图 5 所示。由图 5(a)可见,不同样品的 CAT 活性在不同 1-MCP 浓度下随时间增长而逐渐降低。其中,28 d 贮藏期时,1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组的 CAT 活性处于最高水平,达到 92.448 $\text{U/g} \cdot \text{Min}$ 。CAT 是植物体内重要的抗氧化酶之一,负责分解过氧化氢,减少活性氧的积累,保护细胞免受

氧化损伤。由图 5(b)可见,不同样品的 MDA 含量随时间增长而逐渐降低,对照组的 MDA 含量始终处于最高水平,1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度实验组样品中的 MDA 含量最低。MDA 是脂质过氧化的产物,其含量可反映细胞膜的氧化损伤程度。可见,1-MCP 处理有效降低了黄花菜样品细胞膜的损伤。

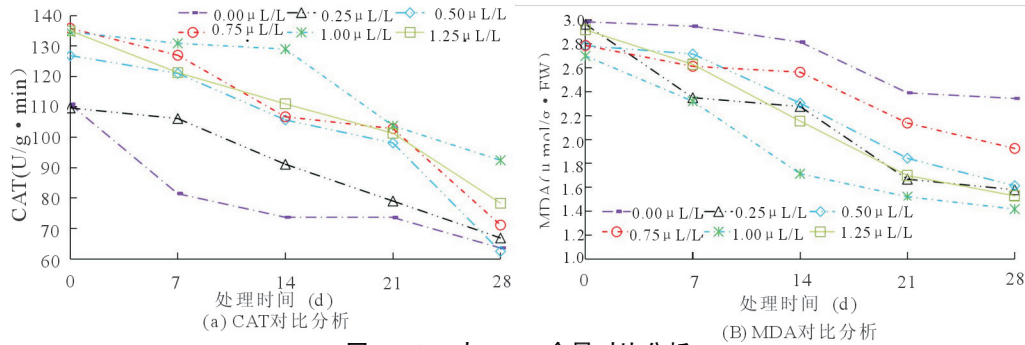


图 5 CAT 与 MDA 含量对比分析

3 结论

为探讨 1-MCP 处理对采后大荔黄花菜的保鲜效果,并深入分析其作用机理,通过对比试验验证 1-MCP 能否有效延长黄花菜的保鲜期。试验结果表明,1-MCP 处理延缓了黄花菜感官特性的下降和腐烂率的增加,可有效抑制黄花菜的呼吸作用,降低失重率,最高腐烂率仅 0.60,最低失重率仅 3.946%。1.00 $\mu\text{L/L}$ 浓度 1-MCP 处理对黄花菜样品的营养物质保留最为有利,TSS、维生素 C 以及可滴定酸含量均处于最高水平,且与其他处理相比差异极显著 ($P < 0.01$)。同时,该浓度的 1-MCP 处理使得 POD 含量达到峰值 45.773 $\text{U/g} \cdot \text{Min}$,SOD 含量达到峰值 173.813 $\text{U/g} \cdot \text{FW}$,CAT 活性达到峰值 92.448 $\text{U/g} \cdot \text{Min}$,并有效降低了 MDA 含量。可见,1-MCP 作为一种新型的乙烯抑制剂,在黄花菜保鲜领域具有广阔的应用前景。但研究还应考虑更多保鲜手段的联合使用,以实现更优的保鲜效应。

参考文献:

[1] 李可昕,韩晨瑞,孙敏敏,等.基于转录组学分析 1-MCP 与 EBR 联合处理对鲜黄花菜采后衰老的影响[J].食品科学,2024,45(4):279-288.

[2] 高晶霞,裴红霞,张清云,等.水肥耦合对黄花菜生长发育及产量的影响[J].灌溉排水学报,2024,43(1):5-8.

[3] 楚倩倩,任广跃,段续,等.不同预处理方式对热风干燥黄花菜褐变及干燥特性的影响[J].食品科学,2023,44(7):81-88.

[4] 张涵,杨城,陈桂芸,等.等离子体活化水辅助超声提取黄花菜多糖及其降糖活性[J].食品工业科技,2024,46(3):1-9.

[5] 杨双喜,马雪梅,张海红,等.GC-MS 结合化学计量法分析不同干燥方式对黄花菜风味物质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(4):274-281.

[6] 赵丽平,裴克莉,赵海明,等.山西大同黄花菜品质的影响因素与关键气象因子模型构建[J].山西农业科学,2024,52(2):110-120.

[7] Jia M, Wang J, Cao D, et al. The pan-plastome of *Hemerocallis citrina* reveals new insights into the genetic diversity and cultivation history of an economically important food plant[J]. BMC plant biology, 2024, 24(1): 44-56.

[8] 董成虎,任洁,邓勇,等.不同浓度 1-MCP 处理对树莓贮藏保鲜效果的影响[J].保鲜与加工,2023,23(9):6-11.

[9] 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.

[10] Zhang X, Yang J, Shang X, et al. The characteristics and analysis of the complete chloroplast genome of *Hemerocallis cultivar Small orange lamp 2019* (Asphodelaceae)[J]. Mitochondrial DNA Part B, 2024, 9(12): 1632-1635.

[11] 刘晨,张轶斌,贾晓昱,等.臭氧结合 1-MCP 处理对油桃贮藏色泽和品质的影响[J].食品工业科技,2024,46(4):1-9.

[12] 李自芹,李文绮,王纪文,等.1-MCP 协同冷库处理对克瑞森葡萄保鲜效果的影响[J].包装与食品机械,2023,41(5):17-22.