涂慧,吴勉,余泽涛,等.乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃采后品质和保鲜的影响[J].江西农业大学学报,2026,48(2):387-398.
TU Hui,WU Mian,YU Zetao,et al.Effects of ethylene and 1-MCP treatment on postharvest quality and preservation of ‘Jinfeng’ kiwifruit[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2026,48(2):387-398.

乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃采后品质和保鲜的影响

涂　慧[1],吴　勉[1],余泽涛[1],陈艳燕[1],师冀康[1],石茂松[2],陶俊杰[1],黄春辉[1*]

(1.江西农业大学 农学院,江西 南昌 330045;2.江西新西蓝生态农业科技有限责任公司,江西 宜春 330700)

摘要:【目的】旨在系统分析乙烯和1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对‘金奉’猕猴桃采后品质的影响,并评估其保鲜效果,从而为完善该品种的采后贮藏保鲜技术体系提供科学依据和技术支撑。【方法】以‘金奉’猕猴桃为试材,在常温(20±1)℃贮藏条件下,根据果实硬度动态变化(8~10,6~8,4~6,3~4,<3 kgf/m^2 5个阶段),分别采用25 μL/L乙烯和不同浓度1-MCP(0.25,0.5,0.75,1.0 μL/L)进行处理,观测比较不同处理组合对果实采后品质的影响。【结果】试验结果表明,不同硬度阶段的‘金奉’猕猴桃经1-MCP处理均能有效延缓猕猴桃果实硬度下降。具体表现为:在第一阶段(8~10 kgf/m^2),CK组的硬度从第8天开始均低于E0.5M和E0.25M处理组;其中E0.25M处理组的可溶性固形物含量在第12天达到17.5%,且在软熟期间可溶性糖含量高达13.27%,可滴定酸含量为0.48%,维生素C含量最高达到193.48 mg/100g,感官评价优于其他处理组。在第二阶段(6~8 kgf/m^2),从第8天起CK组的硬度低于E0.25M和E1.0M处理组,其中E0.25M处理组效果最佳;该处理组可溶性固形物含量在第8天即达到16.59%,高于其他处理组;软熟期间,其可溶性糖(14.52%)、可滴定酸(0.48%)和维生素C(175.72 mg/100g)含量均优于其他处理组,且在滋味方面表现最佳。在第三阶段(4~6 kgf/m^2),E0.5M处理组在第10天达到可食状态[(2±0.5)kgf/m^2],较CK组延长了4 d;同时,该处理组的可溶性固形物含量上升至17.35%;而在软熟期间,0.25M处理组的可溶性糖(9.67%)、可滴定酸(0.56%)和维生素C(169.53 mg/100g)含量均为各处理组最高。在第四阶段(3~4 kgf/m^2),CK组的果实硬度始终低于各1-MCP处理组;其中E0.5M处理组在第6~10天的硬度下降较缓,且可溶性固形物含量保持上升趋势,口感评价最佳。在第五阶段(<3 kgf/m^2),CK组和E0.25M处理组的可食用窗口期较短(4 d),而E0.5M处理组较CK组延长了4 d,同时保持了较高的可溶性糖、可滴定酸和维生素C含量。综合各阶段结果可知,在8~10 kgf/m^{2}和6~8 kgf/m^{2}硬度范围内,E0.25M处理组效果最佳;而在4~6 kgf/m^2、3~4 kgf/m^{2}及<3 kgf/m^{2}阶段,则以E0.5M处理效果最佳。【结论】在常温贮藏条件下,外源乙烯处理可显著促进‘金奉’猕猴桃果实软化进程。乙烯处理组果实在处理后4~6 d内即达到可食用状态,较CK组提前2~4 d。在果实呼吸高峰前进行1-MCP处理,不仅能够有效延缓‘金奉’猕猴桃的后熟软化进程,还可延长果实货架期并保持其优良品质。这些研究结果为开发‘金奉’猕猴桃采后保鲜新技术提供了重要理论支撑和实践指导。

关键词:‘金奉’猕猴桃;采后;乙烯;1-MCP;果实品质
中图分类号:S663.4　　**文献标志码:**A　　**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**
文章编号:1000-2286(2026)02-0387-12
CSTR:32399.14.aauj.2026033

收稿日期:2025-07-13　　**修回日期:**2026-01-05　　**接受日期:**2026-02-28
基金项目:江西省重点研发计划项目(20232BBF60004)
Project supported by the Key Research and Development Program Projects of Jiangxi Province(20232BBF60004)
作者简介:涂慧,硕士生,orcid.org/0009-0004-4702-8067,2236479011@qq.com;*通信作者:黄春辉,教授,博士,主要从事果树种质资源及品质调控研究,orcid.org/0000-0003-4051-8325,lindahch@126.com。
©《江西农业大学学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

Effects of ethylene and 1-MCP treatment on postharvest quality and preservation of 'Jinfeng' kiwifruit

TU Hui[1], WU Mian[1], YU Zetao[1], CHEN Yanyan[1], SHI Jikang[1], SHI Maosong[2], TAO Junjie[1], HUANG Chunhui[1*]

(1. School of Agriculture, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Xinxilan Ecological Agriculture Technology Co., Ltd., Yichun, Jiangxi 330700, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to systematically analyze the effects of ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatments on the postharvest quality of 'Jinfeng' kiwifruit and evaluate their preservation effects, thereby providing a scientific basis and technical support for improving the postharvest storage and preservation technology system of this cultivar. [**Method**] 'Jinfeng' kiwifruit was used as test materials. Under ambient temperature (20±1)℃ storage conditions, and based on dynamic changes in fruit firmness (five stages: 8-10, 6-8, 4-6, 3-4, and <3 kgf/m^2), 25 μL/L ethylene and different concentrations of 1-MCP (0.25, 0.5, 0.75, and 1.0 μL/L) were applied respectively, and the effects of different treatment combinations on postharvest fruit quality were observed and compared. [**Result**] The results show that 1-MCP treatment can effectively delay the decline in fruit firmness of 'Jinfeng' kiwifruit at different firmness stages: in Stage 1 (8-10 kgf/m^2), the firmness of the CK group was lower than that of the E0.5M and E0.25M treatments from the 8th day onward, with the E0.25M treatment group showing the highest soluble solids content (17.5%) on the 12th day, soluble sugar content reaching 13.27%, titratable acid content at 0.48%, vitamin C content peaking at 193.48 mg/100g during the soft-ripe period, and sensory evaluation superior to other groups; in Stage 2 (6-8 kgf/m^2), from the 8th day, the firmness of the CK group was lower than that of the E0.25M and E1.0M treatments, with E0.25M showing the best effect, as this group had a soluble solids content of 16.59% on the 8th day (higher than other groups), and during soft-ripening, its soluble sugar (14.52%), titratable acid (0.48%), and vitamin C (175.72 mg/100g) contents were superior, with the best taste; in Stage 3 (4-6 kgf/m^2), the E0.5M treatment group reached the edible state [(2±0.5) kgf/m^2] on the 10th day, 4 days longer than the CK group, with soluble solids content increasing to 17.35%, while during soft-ripening, the E0.25M group had the highest soluble sugar (9.67%), titratable acid (0.56%), and vitamin C (169.53 mg/100g) contents among all treatments; in Stage 4 (3-4 kgf/m^2), the firmness of the CK group was consistently lower than that of all 1-MCP treatments, with the E0.5M group showing a slower firmness decline from the 6th to 10th day, soluble solids content maintaining an upward trend, and the best taste evaluation; in Stage 5 (<3 kgf/m^2), the CK and E0.25M groups had a short edible window (4 days), while the E0.5M group extended this window by 4 days compared to the CK group and maintained high soluble sugar, titratable acid, and vitamin C contents; overall, the E0.25M treatment was optimal for firmness ranges of 8-10 kgf/m^2 and 6-8 kgf/m^2, while the E0.5M treatment was most effective for stages of 4-6 kgf/m^2, 3-4 kgf/m^2, and <3 kgf/m^2. [**Conclusion**] Under ambient storage conditions, exogenous ethylene treatment significantly promotes the fruit softening process of 'Jinfeng' kiwifruit, with ethylene-treated fruits reaching the edible state within 4-6 days after treatment, 2-4 days earlier than the CK group; applying 1-MCP before the fruit respiratory climacteric not only effectively delays the post-ripening softening process of 'Jinfeng' kiwifruit but also extends fruit shelf life and maintains its excellent quality, and these findings provide important theoretical support and practical guidance for developing new postharvest preservation technologies for 'Jinfeng' kiwifruit.

Keywords: 'Jinfeng' kiwifruit; post harvest; ethylene; 1-MCP

【研究意义】猕猴桃富含维生素C、叶酸、类胡萝卜素、钾以及膳食纤维等多种营养成分[1],素有"水果

之王”和“维生素之王”等美称。‘金奉’猕猴桃是由江西农业大学猕猴桃研究所与江西省奉新县猕猴桃研究所共同选育的中熟黄肉猕猴桃新品种[2]。该品种具有生长势强、单果质量大、果形均匀一致、果肉金黄、肉质细腻等突出特点[3],具有显著的市场开发价值。猕猴桃为典型的呼吸跃变型水果,其果实采摘后会在呼吸高峰前后软化。若在软化阶段贮藏条件控制不当,会导致猕猴桃果实硬度急剧下降,进而显著降低果实品质,使其丧失商品价值。目前,单独使用乙烯或1-MCP进行处理,仅能单方面解决果实软化和货架期的问题,难以实现猕猴桃“即食”的效果。因此,本研究结合乙烯和1-MCP的拮抗作用,将两者结合进行处理,探究常温下不同处理阶段采用不同的处理方式对‘金奉’猕猴桃软化品质及货架期的影响,为后续猕猴桃“即食”技术研发奠定基础。【前人研究进展】猕猴桃采后保鲜通常采用物理保鲜、化学保鲜和生物保鲜3种技术[4]。其中,1-甲基环丙烯(1-MCP)作为一种高效的乙烯作用抑制剂,其保鲜机理是通过竞争性结合乙烯受体位点,阻断乙烯信号传导途径,从而有效延缓果实成熟衰老进程,显著延长果实贮藏期[5]。Song等[6]研究表明,香蕉经1-MCP处理后,其绿熟期有效延长,果实的成熟软化进程也被明显推迟。张瑜瑜等[7]研究发现,1-MCP处理能够抑制蓝莓果实可滴定酸和维生素C含量的下降,延缓乙烯释放高峰的出现,并延缓蓝莓果实衰老。Wasala等[8]对香蕉的1-MCP处理研究也证实,1-MCP能够抑制乙烯的产生而延缓果实成熟,同时保证果实品质。然而,也有研究发现,只有采用适宜浓度的1-MCP处理才能有效延长果实采后贮藏期[9]。在番茄[10]、苹果[11]、梨[12]等水果中,1-MCP的保鲜效果与处理剂量、处理时果实成熟度以及后续贮藏温度密切相关[13];当处理条件不匹配时,1-MCP可能难以发挥预期保鲜作用,还可能增加果实后熟受阻及褐变等生理失调风险,尤其在低温贮藏条件下[14]。【本研究切入点】前期课题组对不同浓度乙烯处理效果进行探究,结果表明25 μL/L乙烯处理效果最佳。因此,本研究对‘金奉’猕猴桃进行25 μL/L乙烯和不同浓度1-MCP梯度处理,通过测定果实品质和感官评价,筛选出适宜的处理浓度和组合。【拟解决的关键问题】探究乙烯和1-MCP不同处理组合对‘金奉’猕猴桃采后果实品质及保鲜的影响,确定最佳的组合处理,为制定‘金奉’猕猴桃采后保鲜技术措施提供理论支撑。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

‘金奉’猕猴桃果实采自江西省奉新县江西新西蓝生态农业有限责任公司。供试果树为6年生‘米良1号’实生苗砧木。采用大棚架栽培模式,树形为单主干双主蔓羽状分枝,田间管理按常规标准进行。果实采收标准为干物质含量≥19%、可溶性固形物含量≥7%。选取成熟度一致、无机械损伤和病虫害的果实用于试验。试验所用乙烯购自北京兆格气体科技有限公司,1-MCP购自山东奥特维生物科技有限公司。

1.2　果实采收与处理

‘金奉’猕猴桃果实于2024年10月9日采收,采收后立即转运至江西新西蓝生态农业有限责任公司加工厂。挑选无机械损伤和病害且果形均匀的果实,置于通风良好、清洁卫生的环境下预冷24 h,以充分散发田间热。预冷完成后,将果实转移至0~2 ℃恒温冷库中贮藏备用。

本研究以‘金奉’猕猴桃为对象,基于其呼吸跃变期前后的硬度变化规律采用动态取样策略:果实先于2 ℃条件下贮藏,其间每日测定果实硬度,并根据实时硬度值动态划分为5个阶段(8~10 kgf/m^2、6~8 kgf/m^2、4~6 kgf/m^2、3~4 kgf/m^2、<3 kgf/m^2),每个阶段选取3 000个果实用于试验,共15 000个果实。试验共设置6个处理组,具体如下:①空白对照组(CK);②乙烯处理组(25 μL/L);③~⑥为乙烯与不同浓度1-MCP的复合处理组,分别为E0.25M(25 μL/L乙烯+0.25 μL/L 1-MCP)、E0.5M(25 μL/L乙烯+0.5 μL/L 1-MCP)、E0.75M(25 μL/L乙烯+0.75 μL/L 1-MCP)、E1.0M(25 μL/L乙烯+1.0 μL/L 1-MCP)。其中,复合处理组(③~⑥)的处理时序:先进行乙烯处理,待果实硬度降至3 kgf/m^{2}时,再进行对应浓度的1-MCP熏蒸处理;需特别说明的是,第五阶段(硬度<3 kgf/m^2)的果实不单独进行乙烯处理。所有处理均在(20±1)℃恒温条件下持续24 h,处理完成后将果实转移至(20±1)℃环境中恒温贮藏。在14 d的试验周期内,每2 d测定1次果实硬度、失重率及可溶性固形物含量。当果实后熟至软熟状态(硬度达1.5~2.0 kgf/m^2)时,每组随机选取6~8个果实混合为1个样本,每个处理设3次生物学重复,用于测定可溶性糖、可滴定酸及抗坏血酸含量。取上述软熟果实的果肉组织,经液氮速冻后保存于-80 ℃超低温环境中,以备后续品质指标的进一步测定。

1.3 指标测定方法

果实硬度测定采用GY-4型果实硬度计，每组随机选取15个果实，在果实赤道部位两侧各削去1 mm厚果皮后，使用直径8 mm的探头，在互为90°的2个位点进行测量[15]，取2次测量结果的平均值作为果实硬度值，单位为kgf/m^2。可溶性固形物含量测定采用PAL-1型手持数字糖度计（Atago），将果实汁液滴加至折射仪样本槽内，每处理3次重复[16]。每个处理选取30个果实，每2 d称量1次果实质量，按以下公式计算失重率：失重率=（贮藏前果实质量-贮藏后果实质量）/贮藏前果实质量×100%。可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定，每个处理重复测定3次并取平均值。可滴定酸含量测定采用NaOH中和滴定法，每个处理重复测定3次取平均值[17]。抗坏血酸含量采用钼蓝比色法测定，每个处理重复测定3次并取平均值[18]。

1.4 感官评价

感官评价方法参照宋小青等[19]的方法并加以改进。选取10名经过培训的感官评价员（男女各5名）组成感官评定小组，在20 ℃恒温环境下，对经乙烯及1-MCP处理并后熟至硬度为（2±0.5）kgf/m^{2}的猕猴桃果实进行评价。具体评价指标如表1所示。

表1 感官试验评分标准

Tab.1 Scoring criteria for sensory experiments

评定指标 Evaluating index	评分标准 Scoring criteria	得分 Score
硬度 Hardness	较硬	8~10
	适中	4~7
	较软	1~3
色泽 Color and lustre	颜色鲜艳明亮	8~10
	颜色略暗沉	4~7
	颜色暗沉无光泽	1~3
芳香度 Aroma	猕猴桃香味较浓，无异味	8~10
	猕猴桃香味较弱，无异味	4~7
	无猕猴桃香味，或有其他异味	1~3
甜度 Sweetness	猕猴桃甜味较浓	8~10
	猕猴桃甜味较弱	4~7
	无猕猴桃甜味	1~3
酸度 Acidity	猕猴桃酸味较浓	8~10
	猕猴桃酸味较弱	4~7
	无猕猴桃酸味	1~3
汁液度 Juiciness	饱满多汁	8~10
	汁液量一般	4~7
	汁液量较少	1~3
组织状态 Texture	口感细腻无粗糙渣感	8~10
	口感稍硬或稍软，略带渣感	4~7
	口感过硬或过软，渣感明显很好	1~3
淀粉感 Starchy texture	颗粒细小，总体满意	8~10
	颗粒适中，可以接受	4~7
	颗粒明显，较难接受	1~3
能否接受不去皮 Acceptability of eating with skin	可以完全接受	8~10
	部分接受	4~7
	不能接受	1~3
总体可接受程度 Overall acceptability	很好，总体满意	8~10
	一般，可以接受	4~7
	差，难以接受	1~3

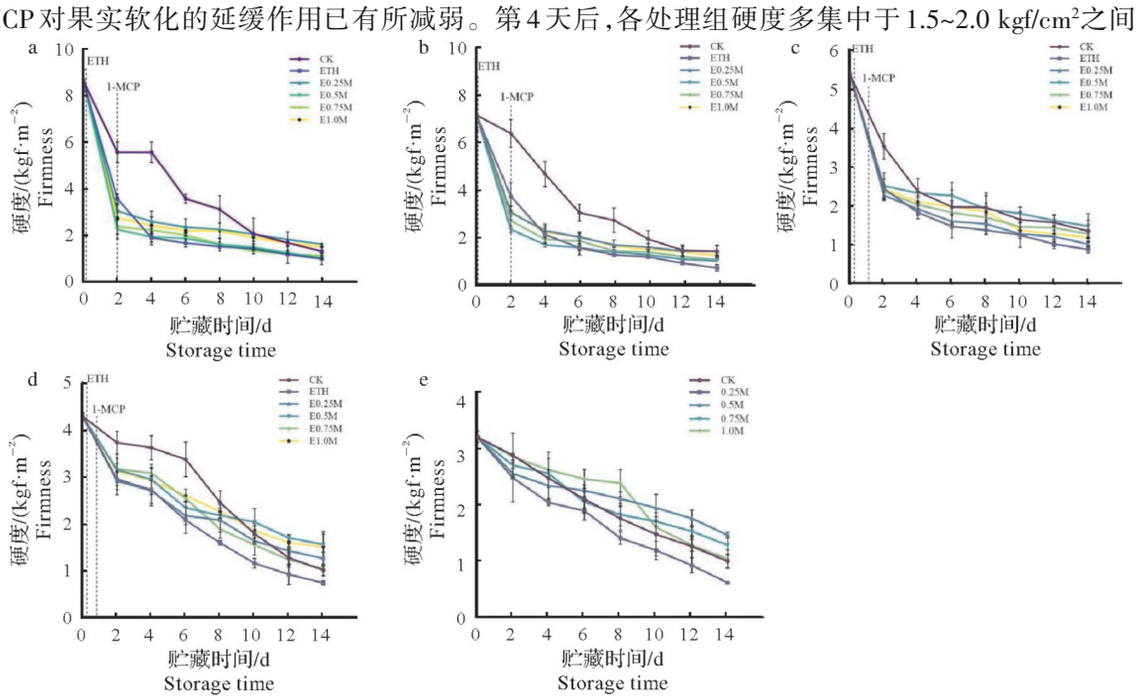
1.5　数据处理

采用Excel 2024进行数据整理和初步分析,使用SPSS 19.0软件进行统计分析,并运用Origin 2021和GraphPad Prism10.1.2进行图表绘制。

2　结果与分析

2.1　乙烯和1-MCP处理组合对‘金奉’猕猴桃果实硬度的影响

由图1可见,不同处理对果实贮藏期间硬度变化具有明显影响,且这种影响在不同阶段表现出一定差异。第一阶段(图1a),ETH处理组在贮藏初期软化最快,0~2 d硬度由约8.5 kgf/cm²迅速降至约2.5 kgf/cm²,于第2天左右即接近货架期终点;而CK组同期仅由约9.0 kgf/cm²降至约5.5 kgf/cm²,较ETH组保持了更高硬度。各1-MCP处理组的硬度变化总体介于CK组与ETH组之间,降至2.0 kgf/cm²左右的时间约为第4~6天,较ETH处理延后约2~4 d。至贮藏末期,各处理组硬度均下降至1.0~1.5 kgf/cm²。第二阶段(图1b),CK组硬度保持效果最为突出,0~2 d仅由约7.5 kgf/cm²降至约6.0 kgf/cm²,并在第8天左右才接近2.0 kgf/cm²阈值。相比之下,ETH处理组由约7.0 kgf/cm²快速降至约2.0 kgf/cm²,于第2天左右即达到货架期终点。各1-MCP处理组降至2.0 kgf/cm²的时间主要集中于第4~6天,较ETH组延长约2~4 d。尤其在第4~8天,CK组仍维持较高硬度水平,与其余处理组差异较为明显。至贮藏后期,各组硬度同样趋于1.0~1.5 kgf/cm²。第三阶段(图1c)中,各处理间硬度差异较前2个阶段明显缩小。ETH处理组在0~2 d时由约5.0 kgf/cm²降至约2.0 kgf/cm²,CK组同期则由约5.5 kgf/cm²降至约2.5 kgf/cm²,二者差距已明显减弱。各1-MCP处理组大致于第3~4天降至2.0 kgf/cm²左右,仅较ETH组延后约1~2 d,说明该阶段1-MCP对果实软化的延缓作用已有所减弱。第4天后,各处理组硬度多集中于1.5~2.0 kgf/cm²之间,至



①CK:不使用乙烯、1-MCP处理组;②ETH:乙烯处理组;③E0.25M:乙烯+0.25 μL/L 1-MCP处理组;④E0.5M:乙烯+0.5 μL/L 1-MCP处理组;⑤E0.75 M:乙烯+0.75 μL/L 1-MCP处理组;⑥E1.0M:乙烯+1.0 μL/L 1-MCP处理组。⑦0.25M:0.25 μL/L 1-MCP处理组;⑧0.5M:0.5 μL/L 1-MCP处理组;⑨0.75 M:0.75 μL/L 1-MCP处理组;⑩1.0M:1.0 μL/L 1-MCP处理组。a、b、c、d、e分别代表第一阶段、第二阶段、第三阶段、第四阶段、第五阶段(硬度划分成8~10 kgf/m2、6~8 kgf/m²、4~6 kgf/m²、3~4 kgf/m²、<3 kgf/m² 5个阶段)。

CK:untreated control (without ethylene or 1-MCP);ETH:ethylene treatment;E0.25M:ethylene + 0.25 μL/L 1-MCP treatment;E0.5M:ethylene + 0.5 μL/L 1-MCP treatment;E0.75M:ethylene + 0.75 μL/L 1-MCP treatment;E1.0M:ethylene + 1.0 μL/L 1-MCP treatment;0.25M:0.25 μL/L 1-MCP treatment;0.5M:0.5 μL/L 1-MCP treatment;0.75M:0.75 μL/L 1-MCP treatment;1.0M:1.0 μL/L 1-MCP treatment.a-e represent the first, second, third, fourth, and fifth stages, respectively (fruit firmness:8-10 kgf/cm², 6-8 kgf/cm², 4-6 kgf/cm², 3-4 kgf/cm², and <3 kgf/cm²).

图1　不同阶段乙烯+1-MCP处理组合对‘金奉’猕猴桃果实采后硬度的影响

Fig.1　Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatment combinations on postharvest firmness of ‘Jinfeng’ kiwifruit

第 14 天均降至 1.0~1.5 kgf/cm²。第四阶段(图 1d)中,ETH 处理组在第 4 天左右降至约 2.0 kgf/cm²,CK 组硬度下降相对较缓,但与 ETH 组的差距已进一步缩小。各 1-MCP 处理组降至货架期终点的时间约为第 5~6 天,仅较 ETH 组延后约 1 ~ 2 d,表明其延缓软化作用较前期阶段进一步减弱。贮藏 10 d 后,各组硬度均降至 1.5 kgf/cm²以下,至第 14 天时均接近 1.0 kgf/cm²。第五阶段(图 1e)中,贮藏前 4 d 各处理组硬度变化趋势基本一致,处理间差异较小;但自第 6 天起,CK 组硬度下降明显加快,第 8 天时已降至约 1.5 kgf/cm²,而 0.75M 处理组仍维持在约 2.5 kgf/cm²,显示出较好的硬度保持效果。至第 14 天,CK 组硬度降至约 0.6 kgf/cm²,为五个阶段中最低,而各 1-MCP 处理组降至 2.0 kgf/cm²左右的时间约为第 8~10 天,较 CK 组延后约 2 ~ 4 d,且贮藏末期仍维持在 1.2 ~ 1.5 kgf/cm²,整体表现优于 CK 组。

2.2 不同乙烯和 1-MCP 处理对‘金奉’猕猴桃果实可溶性固形物的影响

由图 2 可见,在整个贮藏过程中,各处理组果实可溶性固形物(SSC)含量总体均呈持续上升趋势,说明果实在贮藏期间后熟不断推进,体内淀粉等贮藏物质持续向可溶性糖转化。但不同处理对 SSC 积累进程的调节作用存在明显差异,且这种差异在不同硬度阶段表现并不一致。于初始硬度较高的第一、第二阶段(图 2a、图 2b),CK 组和 ETH 组 SSC 升高较快,尤其 ETH 组在贮藏前期即表现出更快的上升趋势,表明外源乙烯对果实后熟进程及糖代谢转化具有较强促进作用。相比之下,各 1-MCP 处理组在这一时期 SSC 增幅相对较缓,说明 1-MCP 在一定程度上延缓了后熟早期可溶性糖的积累过程。进入第三、第四阶段(图 2c、图 2d)后,各处理间 SSC 差异进一步显现,ETH 组整体仍保持较高水平,而 1-MCP 处理则呈现出较为明显的浓度响应特征,即随着处理浓度由 0.25 μL/L 提高至 1.0 μL/L,SSC 上升速度总体趋于减缓,对 SSC 持续快速积累具有一定抑制作用。至第五阶段(图 2e),各处理组 SSC 仍维持上升趋势,但 1-MCP 处理组,特别是较高浓度处理组,整体增幅依然较为平缓,表明在果实后熟后期,1-MCP 处理仍对 SSC 变化具有一定延缓和调控作用。

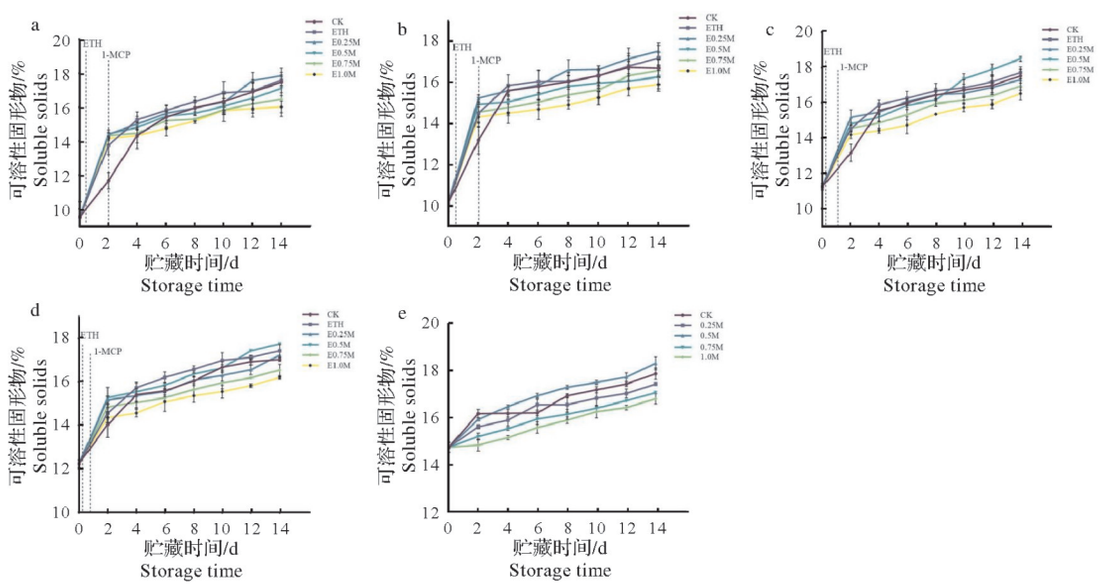


图 2 不同阶段乙烯+1-MCP 处理组合对‘金奉’猕猴桃采后可溶性固形物的影响

Fig.2 Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatment combinations on postharvest soluble solids in ‘Jinfeng’ kiwifruit

2.3 不同乙烯和 1-MCP 处理对‘金奉’猕猴桃果实失重率的影响

由图 3 可见,在整个贮藏过程中,各处理组果实失重率均随贮藏时间延长而持续增加,说明采后果实在贮藏期间始终存在蒸腾失水和呼吸底物消耗现象,但不同处理对失重进程的调控作用存在明显差异。于初始硬度较高的第一、第二阶段(图 3a、图 3b),各处理组失重率总体较低,增长幅度较缓,组间差异尚不明显。随着贮藏进程推进至第三、第四阶段(图 3c、图 3d),CK 组和 ETH 组失重率升高更为显著,其中 ETH 组整体处于较高水平,表明乙烯处理加快了果实代谢活动,促进了水分散失和品质下降。相比之下,各 1-MCP 处理组失重率增幅均受到不同程度抑制,并呈现一定的浓度效应,即随着处理浓度提高,失重率总体趋于降低。至深度软化的第五阶段(图 3e),各处理组失重率进一步增加,其中 ETH 组达到较高

水平,果实失水加剧并更易出现皱缩等品质劣变现象;而1-MCP处理组仍保持相对较低的失重率,说明其在贮藏后期仍具有较好的保鲜效果。

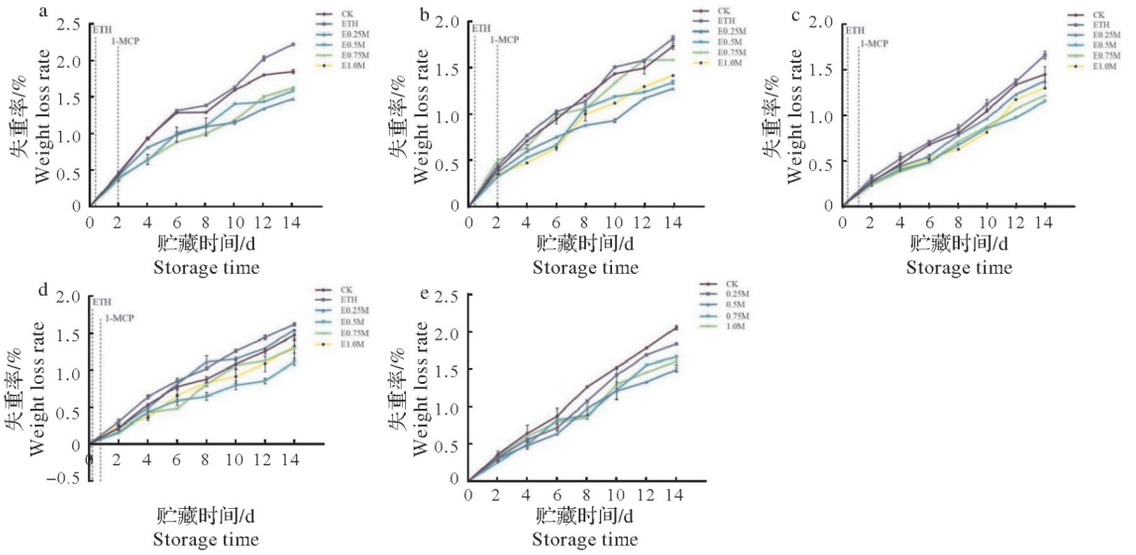


图3　不同阶段乙烯+1-MCP处理组合对‘金奉’猕猴桃失重率的影响

Fig.3　Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatment combinations on weight loss rate in ‘Jinfeng’ kiwifruit

2.4　不同乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃果实可溶性糖的影响

由图4可知,不同处理对果实可溶性糖含量的影响在各阶段表现出明显差异。总体上,乙烯+1-MCP复合处理在不同阶段呈现“低浓度促进/中等浓度维持、高浓度抑制”的趋势。在阶段a中,各处理可溶性糖含量约为10.8%~13.3%,其中E0.25M、E0.5M与ETH处于较高水平,而E1.0M最低;阶段b中,各处理间差异进一步拉开,E0.25M最高(约14.5%),而E0.5M显著最低,E0.75M与E1.0M处于中等水平。进入c、d阶段后,优势转向中等浓度处理。阶段c中E0.5M显著最高(约9.7%),E1.0M最低(约6.4%),

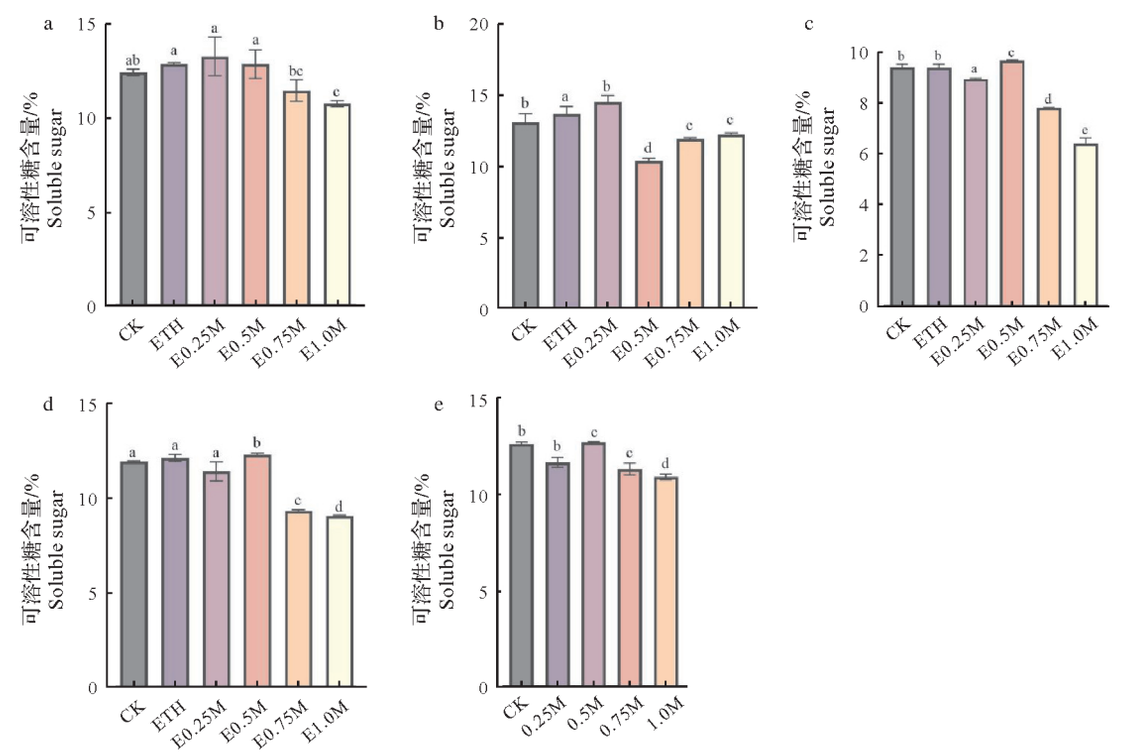


图4　不同阶段乙烯+1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃可溶性糖的影响

Fig.4　Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatments on soluble sugars in ‘Jinfeng’ kiwifruit

E0.75M亦显著偏低；阶段d中同样表现为E0.5M最高，而E0.75M与E1.0M分别处于较低水平。在阶段e中，可溶性糖含量随1-MCP浓度升高总体呈下降趋势，0.5M组维持较高水平，而1.0M组最低。综上，可溶性糖含量对处理的响应具有阶段性，早期以E0.25M更有利于糖分积累、维持较高水平，而中后期以E0.5M表现更优，较高浓度（0.75~1.0 M）总体上降低可溶性糖含量。

2.5 不同乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃果实可滴定酸的影响

如图5所示，各处理在不同阶段的可滴定酸含量总体波动幅度较小，整体维持在0.48%~0.60%，但在不同阶段仍表现出显著的处理差异（同一子图中不同小写字母表示差异显著，$P<0.05$）。在阶段a中，各处理间酸含量差异较小，其中E0.75M处理的可滴定酸含量最高，显著高于E0.25M处理，其余处理多处于中间水平。阶段b处理效应更为明显，酸含量总体呈现随1-MCP复合浓度提高而上升的趋势。其中，E1.0M处理处于较高水平，显著高于CK、E0.25M和E0.5M处理；E0.75M处理处于中间水平。阶段c中所有处理柱上均为同一字母（a组），表明该阶段不同处理间酸含量差异不显著，整体处于相近水平。阶段d处理间差异再次显现，E0.25M与E1.0M处理的可滴定酸含量整体高于CK、ETH与E0.5M处理，而E0.75M处理则与其他所有处理存在显著差异。阶段e中，0.5M与1.0M的酸含量显著低于CK、0.25M与0.75M，说明在该阶段单独施用较高剂量（0.5~1.0 μL/L）1-MCP更易降低可滴定酸含量。总体而言，可滴定酸对处理的响应具有阶段性：部分阶段复合处理中高浓度处理可提高或维持较高酸度，而在后期单独1-MCP处理中，0.5~1.0 μL/L则表现为降低酸度的趋势。

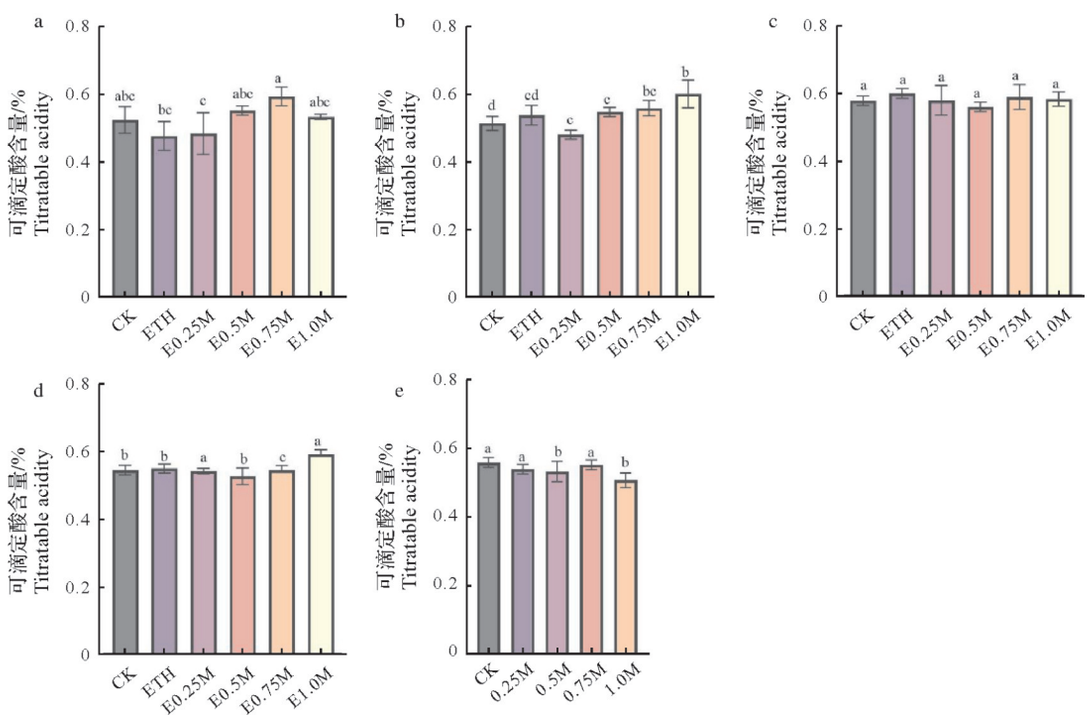


图5 不同阶段乙烯+1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃可滴定酸的影响

Fig.5 Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatments on titratable acid in ‘Jinfeng’ kiwifruit

2.6 不同乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃果实维生素C的影响

维生素C是猕猴桃的主要营养成分之一，但在贮藏过程中，其成分含量逐渐下降，因此保持其稳定性对营养价值至关重要。由图6可知，各处理间维生素C含量在不同阶段存在显著差异（同一子图中不同小写字母表示差异显著，$P<0.05$），且呈现明显的阶段性响应。在阶段a中，各处理维生素C含量总体处于较高区间，其中E0.25M处于较高水平，而E0.5M相对较低，提示在该阶段较低剂量1-MCP与乙烯复合更有利于维生素C的维持；阶段b中，处理的差异进一步扩大，E0.25M处理维持最高水平，而E0.5M处理显著低于其他处理，表明中等剂量的复合处理在该阶段不利于维生素C的保持。进入阶段c、d后，维生素C含量的优势处理发生转移。阶段c中，E1.0M与部分复合处理维持相对较高水平；而阶段d中，E0.5M升至最高水平，显著高于E0.75M及CK组，说明在该阶段0.5 μL/L 1-MCP与乙烯复合更有利于维

生素C的保持。此外,在仅比较单独1-MCP处理的阶段e中,各1-MCP处理组的维生素C含量总体均高于CK,其中0.25M处理显著最高,而0.5~1.0M处理多处于同一显著性水平,提示单独1-MCP对维生素C具有一定维持作用,但其效应并非随剂量增加而线性增强。综上,乙烯与1-MCP处理对维生素C含量的影响具有浓度依赖与阶段依赖特征,早期以E0.25M更有利,而中后期以E0.5M的维持效果更突出,高浓度处理在部分阶段可能不利于维生素C的保持。

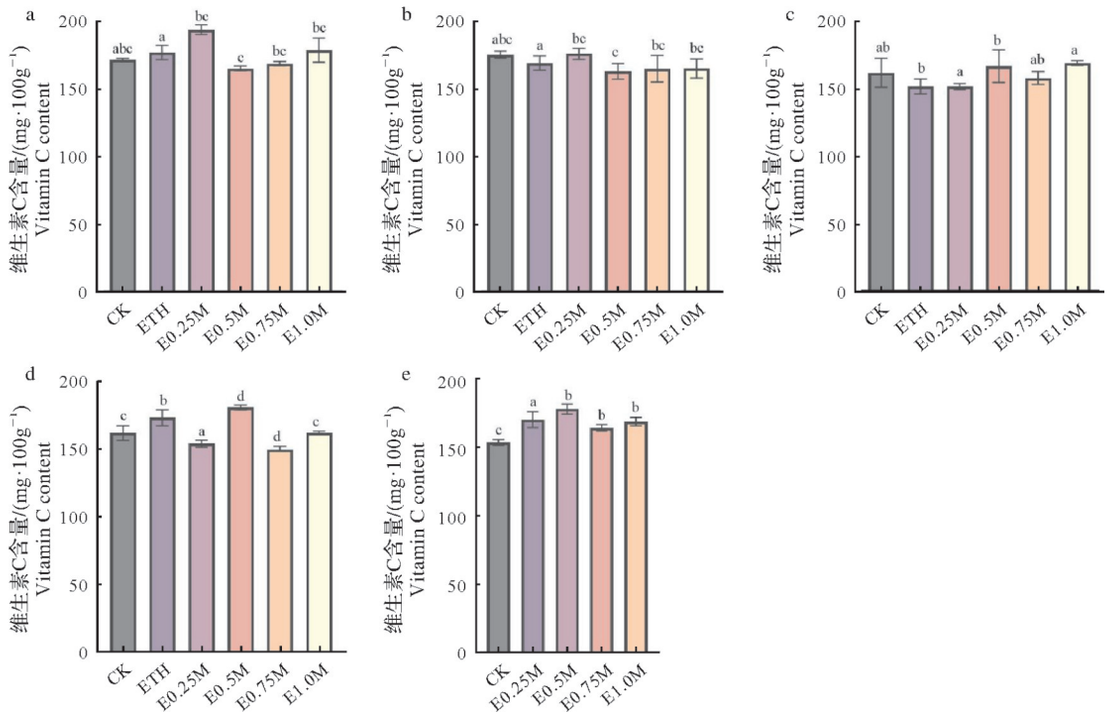


图6　不同阶段乙烯+1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃维生素C的影响

Fig.6　Effects of different stages of ethylene + 1-MCP treatments on vitamin C in ‘Jinfeng’ kiwifruit

2.7　不同乙烯和1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃感官评价的影响

感官评价是连接果实特性和用户体验最直接的方法。由图7可知,在第一阶段中,E0.25M处理组的果味香气浓郁,且淀粉颗粒较小,口感细腻,总体得分高于CK;第二阶段中,E0.25M处理组在香气、滋味和可接受程度上得分较高;在第三阶段、第四阶段和第五阶段中,E0.5M处理组的口感、果实软硬程度和

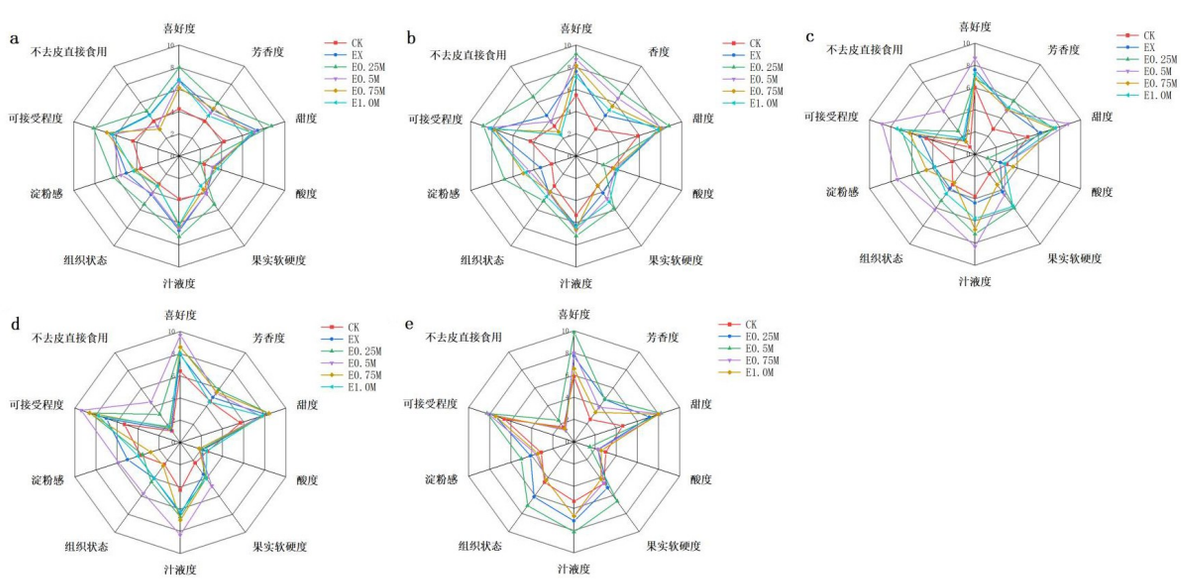


图7　不同阶段乙烯+1-MCP处理对‘金奉’猕猴桃感官评价的影响

Fig.7　Effects of ethylene+1-MCP treatment at different stages on sensory evaluation of 'Jinfeng' kiwifruit

风味方面的得分较高，平均较 CK 高 3~4 分，较乙烯处理高 1~3 分。这些结果表明，乙烯处理虽能加快果实后熟达到可食状态，但后期果实口感和综合品质不佳。E0.25M 处理组在果实第一、第二阶段更契合消费者对香气和滋味的需求；E0.5M 处理组果实在第三、四、五阶段更符合消费者对口感和风味的偏好。

3 讨论与结论

在猕猴桃采后生理研究中，果实硬度是衡量其成熟软化进程最直观的核心指标[20]。作为典型的呼吸跃变型果实，猕猴桃在呼吸高峰前后往往伴随着细胞壁的剧烈降解，呈现出明显的硬度骤降特征[21]。1-MCP 作为一种高效的乙烯抑制剂，能够不可逆地作用于乙烯受体，从而阻断内源及外源乙烯与受体的正常结合[22]。已有研究表明，通过 1-MCP 与乙烯的协同调控，不仅能有效维持软枣猕猴桃的生理活性，还能显著改善其贮藏品质[23]；在苹果等果实中，该处理亦能延缓贮藏期果实硬度的下降，在质地保持与色泽维持方面表现出显著效果[24-25]。本研究结果进一步证实，1-MCP 能显著抑制猕猴桃的后熟进程[26]。此外，已有研究结合转录组手段，揭示了外源调节剂诱导猕猴桃增强采后抗性的分子机制，为采后调控剂的精准应用提供了参考[27]。尽管 1-MCP 的贮藏保鲜效果显著，但其作用效能受品种差异及处理时机的影响较大，针对不同品种在不同生理时期的最佳施用浓度仍存在显著差异。

乙烯作为重要的植物激素之一，在调控植物生长发育过程中发挥着关键作用。外源乙烯处理可刺激果实内源乙烯的生物合成，从而加速其成熟。研究表明，外源乙烯处理能显著促进猕猴桃果实软化，有效缩短其后熟周期[26]。与之相对，1-MCP 作为乙烯的高效抑制剂，可通过阻断乙烯受体来抑制乙烯信号转导，进而延缓果实成熟并显著延长货架期[28]。目前，1-MCP 在许多果实采后保鲜中得到广泛应用[9-11]。为系统探究乙烯和 1-MCP 处理对‘金奉’猕猴桃采后品质的影响，本研究基于果实硬度动态变化（8~10，6~8，4~6，3~4 及<3 kgf/m^2 5 个阶段），在常温（20±1）℃条件下设置浓度 25 μL/L 乙烯单独处理及与不同浓度 1-MCP（0.25，0.5，0.75，1.0 μL/L）的复合处理，通过测定果实硬度、可溶性固形物、营养成分并进行感官评价，揭示协同处理对果实成熟软化的调控机制。结果表明，不同硬度阶段的果实对处理的响应存在显著差异，且浓度为 0.25 μL/L 与 0.5 μL/L 的 1-MCP 分别在果实较硬和偏软阶段表现出最优效果，其核心机制与乙烯信号阻断、软化相关基因表达抑制及代谢平衡维持密切相关。

在果实硬度较高的第一和第二阶段，E0.25M 处理表现出最佳调控效果。该处理可使果实硬度下降速率较对照组降低 30%~40%，货架期延长 4~6 d，且第一、第二阶段可溶性固形物含量在第 12 天分别达 17.5% 和 16.59%，显著高于其他处理组。软熟期间，第一、第二阶段经 E0.25M 处理后，可溶性糖含量分别为 13.27% 和 14.52 %，可滴定酸含量维持在 0.48%，维生素 C 含量最高达 193.48 mg/100g，感官评价中香气浓郁度和口感细腻度得分较对照组高 3~4 分。这一结果是由于 1-MCP 在低浓度下优先竞争性结合乙烯受体，通过抑制果胶降解和淀粉水解，在延缓硬度下降的同时促进可溶性固形物积累，从而实现早期软化调控与品质提升的平衡。而在果实偏软的第三、第四和第五阶段，中浓度 E0.5M 效果更显著。该处理使果实硬度下降速率较对照组降低 50% 以上，第三阶段果实在第 10 天达到可食状态[硬度（2±0.5）kgf/m^2]，较对照组延长 4 d，第五阶段可食用窗口期延长至 8 d，且失重率始终维持在最低水平，仅为 5%。营养品质方面，E0.5M 处理在第三阶段的可溶性糖含量达 9.67%，可滴定酸含量 0.56%，维生素 C 含量 169.53 mg/100g，均为各处理组最高；感官评价中，果实软硬适中、风味协调，尤其在第四、五阶段口感得分较乙烯单独处理高 1~3 分。这可能与果实成熟后期乙烯受体数量增加有关：随着软化进程推进，内源乙烯合成增强，需中浓度 1-MCP 才能有效占据受体位点，从而持续阻断乙烯信号传导，避免因过度软化而导致的品质劣变。

本研究基于乙烯与 1-MCP 复合处理技术，从 5 个成熟阶段的 29 组处理组合中筛选出 5 个最优处理方案。其中，第一、第二阶段采用效果较好的 E0.25M 处理，第三至第五阶段采用 E0.5M 处理，相较于对照组（CK）均显著延长了果实货架期。进一步分析显示，针对不同成熟阶段采用差异化的乙烯+1-MCP 组合处理，其中 E0.25M、E0.5M 可显著延长果实货架期，最长延长 8 d，并维持较高的营养品质，其中维生素 C 保留率提升 10%~15%，并通过感官评价验证了这些处理组合更符合消费者对口感与风味的需求。试验结果进一步证实，1-MCP 处理可有效抑制‘金奉’猕猴桃果实软熟，延长货架期。

参考文献 References:

[1] RICHARDSON D P, ANSELLl J.The nutritional and health attributes of kiwifruit: a review[J].European journal of nutrition,2018,57:2659-2676.

[2] LIAO G L, XU X B, ZHONG M, et al.A novel mid-maturing cultivar with high dry matter content from seedlings of ‘Jinfeng’ kiwifruit(*Actinidia chinensis*)[J].European journal of horticultural science,2019,84(5):294-301.

[3] 涂贵庆,廖光联,刘青,等.中华猕猴桃黄肉新品种“奉黄1号”的生物学特性及其主要栽培技术[J].中国南方果树,2020,49(2):153-156.
TU G Q, LIAO G L, LIU Q, et al.Biological characteristics and main cultivation techniques of a new yellow-fleshed kiwifruit cultivar ‘Fenghuang No.1’[J].South China fruits,2020,49(2):153-156.

[4] 邢蕊.果蔬新型保鲜技术研究进展[J].现代食品,2025(7):29-32.
XING R.Research progress on new preservation technologies for fruits and vegetables[J].Modern food,2025(7):29-32.

[5] ALI M, RAZA M A, LI S, et al.1-Methylcyclopropene treatment controls ethanol accumulation associated with regulation of mitochondrial energy metabolism in kiwifruit(*Actinidia deliciosa*)cv. “Bruno” during storage at room temperature[J].Journal of food biochemistry,2020,44(7):e13273.

[6] SONG Z Y, QIN J J, YAO Y L, et al.A transcriptomic analysis unravels key factors in the regulation of staygreen disorder in peel of banana fruit(Fenjiao)caused by treatment with 1-MCP[J].Postharvest biology and technology,2020,168:111290.

[7] 张瑜瑜,洪永忠,用成健,等.基于多元变量统计分析法分析1-甲基环丙烯处理对蓝莓果实冷藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(2):257-263.
ZHANG Y Y, HONG Y Z, YONG C J, et al.The effect of 1-methylcyclopropene treatment on refrigerated quality of blueberry fruit was analyzed based on multivariate statistical analysis[J].Food and fermentation industries,2023,49(2):257-263.

[8] WASALA W M C B, BENARAGAMA C K, KUMARA G D K, et al.Application of 1-Methylcyclopropene(1-MCP)for delaying the ripening of banana: A Review[J].Asian research journal of agriculture,2021,14(1):44-56.

[9] 李志文,张平,刘翔,等.1-MCP结合冰温贮藏对葡萄采后品质及相关生理代谢的调控[J].食品科学,2011,32(20):300-306.
LI Z W, ZHANG P, LIU X, et al.Effects of 1-MCP treatment in combination with controlled freezing-point storage on postharvest qualities and physiological metabolism of grape(*Vitis vinifera* L.)[J].Food science,2011,32(20):300-306.

[10] PRISTIJIONO D, PAPOUTSIS K, SCARLETT C J, et al.Postharvest UV-C treatment combined with 1-methylcyclopropene (1-MCP), followed by storage in continuous low-level ethylene atmosphere, improves the quality of tomatoes[J].The fournal of horticultural science and biotechnology,2017,92(5):521-529.

[11] ZANELLA A, ROSSI O, et al.Post-harvest retention of apple fruit firmness by 1-methylcyclopropene(1-MCP)treatment or dynamic CA storage with chlorophyll fluorescence(DCA-CF)[J].European journal of horticultural science,2015,80(1):11-17.

[12] XIE X B, SONG J K, WANG Y, et al.Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated ‘d’Anjou’pears are affected by storage temperature[J].Postharvest biology and technology,2014,97:1-10.

[13] CHAI J X, LI J W, LI L J, et al.1-MCP application in ‘Xuxiang’ kiwifruit at appropriate firmness avoids hard-core and prolongs the shelf life[J].Postharvest biology and technology,2023,206:112569.

[14] HAN Y, WANG R, JI N, et al.Preparation, shelf, and eating quality of ready-to-eat “Guichang” kiwifruit: regulation by ethylene and 1-MCP[J].Frontiers in chemistry,2022,10:934032.

[15] 曹建康,谈小芳,王敏,等.1-甲基环丙烯(1-MCP)真空渗透处理对货架期杏果实采后生理和品质的影响[J].食品工业科技,2008(4):254-257.
CAO J K, TAN X F, WANG M, et al.Effects of vacuum-infiltration of 1-methylcyclopropene(1-MCP)on post-harvest physiology and quality of apricot fruit during shelf life[J].Science and technology of food industry,2008(4):254-257.

[16] 曹建康,姜微波.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
CAO J K, JIANG W B.Guidance for Postharvest Physiological and Biochemical Experiments on Fruits and Vegetables[M].Beijing: China Light Industry Press,2007.

[17] 于国萍.食品生物化学实验[M].北京:中国林业出版社,2012.
YU G P.Food Biochemistry Experiments[M].Beijing: China Forestry Publishing House,2012.

[18] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
GAO J F.Guidance for Plant Physiology Experiments[M].Beijing: Higher Education Press,2006.

[19] 宋小青,任亚梅,张艳宜,等.CPPU、1-MCP处理对猕猴桃贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(4):266-271.
SONG X Q,REN Y M,ZHANG Y Y,et al.Effects of CPPU and 1-MCP treatments on kiwifruit quality during cold storage [J].Food and fermentation industries,2017,43(4):266-271.
[20] 陈璐,高柱,毛积鹏,等.不同温度处理采后猕猴桃果实淀粉降解的转录组分析[J].江西农业大学学报,2023,45(3):591-604.
CHEN L,GAO Z,MAO J P,et al.Transcriptome analysis of starch degradation in post-harvest kiwifruit treated at different temperatures[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2023,45(3):591-604.
[21] 何斌.猕猴桃即食控熟技术研究[D].武汉:华中农业大学,2023.
HE B.Exploration of controlled ripening technology for 'Ready-to-eat' kiwifruit[D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,2023.
[22] CHAI J X,LI J W,LI L J,et al.1-MCP application in 'Xuxiang' kiwifruit at appropriate firmness avoids hard-core and prolongs the shelf life[J].Postharvest biology and technology,2023,206:112549
[23] 张鹏,陈曦冉,贾晓昱,等.1-MCP结合乙烯吸收剂对软枣猕猴桃贮藏品质的影响[J].包装工程,2022,43(21):17-24.
ZHANG P,CHEN X R,JIA X Y,et al.Effects of 1-MCP combined with ethylene absorbent on storage quality of *Actinidia arguta*[J].Packaging engineering,2022,43(21):17-24.
[24] 何近刚,冯云霄,程玉豆,等.1-MCP、乙烯吸收剂以及MAP处理对"新红星"苹果冷藏和货架期品质的影响[J].保鲜与加工,2018,18(6):39-43.
HE J G,FENG Y X,CHENG Y D,et al.Effects of 1-MCP,Ethylene absorbent and MAP on quality of 'Starkrimson' apple during cold storage and shelf life[J].Storage and process,2018,18(6):39-43.
[25] 付永琦,陈明,刘康,等.1-MCP二次处理对猕猴桃果实采后生理生化及贮藏效果的影响[J].果树学报,2007,24(1):43-48.
FU Y Q,CHEN M,LIU K,et al.Effects of the second treatment with 1-MCP on post-harvest physiological and bio-chemical characteristics of kiwifruit[J].Journal of fruit science,2007,24(1):43-48.
[26] 焦旋,冯志宏,高振峰,等.外源乙烯熏蒸对1-MCP处理猕猴桃货架品质的影响[J].北方园艺,2021(3):107-113.
JIAO X,FENG Z H,GAO Z F,et al.Effects of exogenous ethylene fumigation on shelf quality of kiwifruit treated by 1-methylcyclopropylene[J].Northern horticulture,2021(3):107-113.
[27] 康乃慧,李树成,肖刘华,等.基于转录组分析茉莉酸甲酯诱导猕猴桃果实抗采后软腐病作用机制[J].江西农业大学学报,2024,46(5):1206-1220.
KANG N H,LI S C,XIAO L H,et al.Mechanism of methyl jasmonate-induced resistance to soft rot disease in kiwifruit based on transcriptomics analysis[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2024,46(5):1206-1220.
[28] ZHAO Y N,YAN M R,ZHANG K,et al.Effects of 1-methylcyclopropene treatment on postharvest quality and metabolism of different kiwifruit varieties[J].Foods,2024,13(22):3632.

(责任编辑:刘玉香)



第一作者简介:涂慧,硕士生,研究方向为猕猴桃采后贮藏与保鲜。在研究生期间获得学业奖学金。曾参加2024年中国国际大学生创新创业《为你着"猕"——小果子走出致富大路子助力乡村振兴》获得省金和国银。共发明实用新型专利和实用新型专利两项。



通信作者简介:黄春辉,江西农业大学教授,博士、硕士生导师,江西省青年井冈学者、江西农业大学"未来之星"、江西省猕猴桃产业体系育种岗位专家、中国农技协江西猕猴桃科技小院负责人、江西省科技特派员、中国园艺学会猕猴桃分会常务理事、江西省园艺学会副秘书长。主要从事果树种质资源与果实品质调控研究,主持科研项目10余项,发表学术论文30余篇,获省科学技术进步奖二等奖1项,选育猕猴桃新品种2个,先后被评为江西省"五一巾帼标兵",江西省"三八红旗手"、江西省首届"乡村振兴青年先锋",江西省"新时代赣鄱先锋"之"群众身边好党员"和江西省"新时代学生心中的好老师"。