贾朝爽, 王志华, 王文辉, 等. 采后 1-MCP 结合自发气调包装对‘维纳斯黄金’苹果冷藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(6): 319−327. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020244
JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, WANG Wenhui, et al. Effect of Postharvest 1-Methylcyclopropene Combined with Spontaneous Modified Atmosphere Packaging on Cold Storage Quality of 'Venus Golden' Apple[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(6): 319−327. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020244

· 贮运保鲜 ·

采后 1-MCP 结合自发气调包装对‘维纳斯黄金’苹果冷藏品质的影响

贾朝爽[1], 王志华[1,*], 王文辉[1], 张文宽[1], 闫文涛[2], 马常钦[3]
（1.中国农业科学院果树研究所, 辽宁省果品贮藏与加工重点实验室, 辽宁兴城 125100;
2.通辽市林业和草原科学研究所, 内蒙古通辽 028000;
3.通辽市森林公园管护中心, 内蒙古通辽 028000）

摘　要: 为探究 1-甲基环丙烯（1-MCP）结合不同厚度（0.02、0.04 mm）保鲜袋的自发气调包装（MAP）对‘维纳斯黄金’苹果果实褐变和冷藏品质的影响，分别采用 1-MCP（1.0 μL/L）+MAP 和 MAP 贮藏 2 种方式处理‘维纳斯黄金’苹果后，将其贮藏于 0±0.5 ℃ 环境中 60 d 和 160 d。结果表明，0.02 mm 气调保鲜袋（PE）与 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 处理均能在一定程度上减缓果皮转黄及油腻化速度，有效抑制果皮和果肉褐变，对果实硬度、可滴定酸、呼吸速率、乙烯释放速率，以及穿刺参数（涵盖破裂力、屈服力、果肉硬度和果肉做功）的降低起到抑制作用。相较于 CK 组，0.04PE 处理组会使‘维纳斯黄金’苹果更易褐变，加速果实衰老。可见，0.02PE 与 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 处理都能保持‘维纳斯黄金’苹果冷藏品质，降低果实褐变指数，并提高果实口感及风味，其中 1-MCP+0.02PE 处理对‘维纳斯黄金’苹果保鲜效果最优，延长果实贮藏期至 160 d 以上。

关键词: ‘维纳斯黄金’苹果, 冷藏, 品质维持, 自发气调, 1-甲基环丙烯
中图分类号: TS255.3　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)06−0319−09
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020244　　本文网刊:

Effect of Postharvest 1-Methylcyclopropene Combined with Spontaneous Modified Atmosphere Packaging on Cold Storage Quality of 'Venus Golden' Apple

JIA Chaoshuang[1], WANG Zhihua[1,*], WANG Wenhui[1], ZHANG Wenkuan[1], YAN Wentao[2], MA Changqin[3]
（1.Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Fruit Storage and Processing Key Laboratory of Liaoning Province, Xingcheng 125100, China;
2.Tongliao Forestry and Grassland Science Research Institute, Tongliao 028000, China;
3.Tongliao Forest Park Management and Protection Center, Tongliao 028000, China）

Abstract: To investigate the effects of spontaneous controlled atmosphere packaging (MAP) with 1-methylcyclopropene (1-MCP) combined with different thicknesses (0.02, 0.04 mm) of fresh-keeping bags on the browning and cold storage quality of 'Venus Golden' apple fruits, two storage methods, 1-MCP (1.0 μL/L)+MAP and MAP, were used to treat 'Venus Golden' apples, which were then stored at (0±0.5) ℃ for 60 days and 160 days. The results showed that 0.02PE, 1-MCP+0.02PE, and 1-MCP+0.04PE treatments could all slow down the speed of peel yellowing and greasiness to a certain extent, effectively inhibit peel and flesh browning, and suppress the decrease of fruit firmness, titratable acid, respiration

收稿日期: 2025−02−27
基金项目: 中国农业科学院创新工程项目（CAAS-ASTIP-RIP）;‘十四五’国家重点研发计划项目——寒地特色果树产业关键技术研究与应用示范（2022YFD1600504-3）。
作者简介: 贾朝爽（1990−）, 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 特色水果采后生理及贮藏物流保鲜技术研究, E-mail: jiachaoshuang@caas.cn。
*** 通信作者:** 王志华（1974−）, 女, 本科, 研究员, 研究方向: 特色水果采后生理及贮藏物流保鲜技术研究及推广, E-mail: wangzhihua@caas.cn。

rate, ethylene release rate, and puncture parameters (including breaking force, yield force, flesh firmness, and flesh work). Compared with the CK group, the 0.04PE treatment group made 'Venus Golden' apples more prone to browning and accelerated fruit senescence. It can be seen that 0.02PE, 1-MCP+0.02PE, and 1-MCP+0.04PE treatments can all maintain the cold storage quality of 'Venus Golden' apples, reduce the fruit browning index, and improve the fruit taste and flavor, among which the 1-MCP+0.02PE treatment has the best fresh-keeping effect on 'Venus Golden' apples, extending the fruit storage period to more than 160 days.

Key words: 'Venus Golden' apple; low temperature storage; quality maintenance; spontaneous gas regulation; 1-MCP

‘维纳斯黄金’苹果, 又名‘威海金’, 近年来在山东威海地区种植规模较大。该品种 11 月初成熟, 属晚熟苹果[1]。其口感爽脆香甜, 香气浓郁, 深受消费者青睐。王志华等[2] 发现‘维纳斯黄金’苹果在贮藏过程中, 常出现果皮与果肉褐变、质地软绵、果皮油腻化等问题, 同时果实硬度与糖度迅速下降, 严重降低了商品的食用价值, 给果农与果商带来巨大经济损失[3]。

由于多数苹果采收后不会即刻上市, 需长时间储存以保障市场稳定供应, 因此, 在贮藏期有效抑制‘维纳斯黄金’苹果褐变, 减缓果皮转黄与油腻化进程, 对维持其商品价值至关重要。近年来, 1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)在保持果实品质、延长采后贮藏期方面应用广泛[4]。乙烯作为水果成熟与衰老的关键物质, 可通过增强 MdMAPK3 介导的 MdNAC72 磷酸化, 促使苹果果实软化[5]。1-甲基环丙烯属环烯烃, 是乙烯的竞争性抑制剂, 能不可逆地占据乙烯结合受体, 阻断内、外源乙烯作用, 进而抑制成熟与衰老相关基因的激活, 有效延缓果实衰老[6−7]。1-甲基环丙烯在抑制果实呼吸、减少乙烯生成、延缓果实成熟以及缓解乙烯诱导的采后生理紊乱等方面起到积极作用, 已在桃[8]、葡萄[9]、木瓜[10]等水果上得到广泛验证。不过, 1-甲基环丙烯并非对所有水果都适用, 例如在延缓芒果成熟方面仍未见成效[11]。所以, 1-MCP 处理对‘维纳斯黄金’苹果贮藏性能的影响值得深入研究。

自发气调包装(Modified atmosphere packaged, MAP), 是利用不同孔径与材质的包装袋对采后水果进行包装贮藏, 借助袋上微孔调节果实微环境气体条件, 以提升保鲜效果[12−14]。MAP 同样可延缓果实后熟, 抑制果实表面微生物滋生, 保持果实新鲜度, 提升果实品质[15−17]。但该技术存在一定风险, 若 O_2 浓度过低或 CO_2 浓度过高, 可能加速果实腐烂或导致风味丧失[18−22]。因此, MAP 技术的关键在于挑选合适的薄膜材料, 以营造最佳果实微环境。

‘维纳斯黄金’苹果对 CO_2 有一定耐受性, 1-MCP 与 MAP 处理均有助于延长其贮藏期并提升品质[2]。但截至目前, 尚未有关于 1-MCP 处理与 MAP 相结合对‘维纳斯黄金’苹果贮藏果实质地影响的研究报道。本研究采用 1-MCP 结合不同厚度保鲜袋的自发气调包装处理, 在冷藏期间, 对‘维纳斯黄金’苹果的感官、硬度、可溶性固形物、色泽、褐变指数、可滴定酸、呼吸速率、乙烯释放速率及穿刺参数等指标变化展开探究, 以期为解决‘维纳斯黄金’苹果贮藏期褐变、软绵问题, 延长其贮藏期与货架期提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘维纳斯黄金’苹果　2023 年 11 月 10 日, 从威海荣成地区一管理水平中上等的果园采收试验果, 选取 20 株长势统一、负载量相近的果树。采收当天经物流车配送, 经 48 h 运至中国农业科学院果树研究所采后技术研究中心实验室, 挑选大小均匀、无病虫害、无机械伤的果实作为试验材料; 1-MCP 保鲜剂　由陕西咸阳西秦生物科技有限公司提供; 气调保鲜袋(PE)　由国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)提供; 邻苯二甲酸氢钾(分析纯)　由上海麦克林生化科技有限公司提供; 氢氧化钠(分析纯)　由天津市天力化学试剂有限公司提供。

CR-400 手持色差仪　日本 Konica Minolta 公司; GS-15 水果质地分析仪　南非 GUSS 公司; PR-101α 折糖仪　日本 ATAGO 公司; Metrohm 808 Titrando 电位滴定仪　瑞士万通中国有限公司; SP-7890 气相色谱仪　山东鲁南瑞虹化工仪器有限公司; TMS-PRO 食品物性分析仪　美国 FTC 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理　课题组于 2022 年进行预实验, 选择不同浓度的 1-MCP(0.5、1.0、1.5、2.0 μL/L)对‘维纳斯黄金’苹果进行熏蒸处理, 依据果实贮藏期间品质指标变化, 发现 1.0 μL/L 浓度的 1-MCP 处理效果最好。

试验分为 3 组, 每组试验果量均为 50 kg: 1-MCP+MAP 处理组: 将试验果放置在 1-MCP 浓度为 1.0 μL/L 2 个 1 m^3 的密封塑料帐内进行熏蒸(20 ℃)12 h 后, 装入 0.02 mm 和 0.04 mm PE 袋内, 并作扎口处理, 分别记作 1-MCP+0.02PE 和 1-MCP+0.04PE; MAP 处理组: 将试验果分别装入 0.02 mm PE 袋和 0.04 mm PE 袋内, 并作扎口处理, 分别记作 0.02PE 和 0.04PE; CK 组: 以 0.02 mm PE 袋和 0.04 mm PE 袋不扎口为对照, 分别记作 0.02PE CK 和 0.04PE CK。以上果实均先置于 0~2 ℃冷库预冷 24 h, 然后进行相应的扎口处理, 随后将其转移至 0±0.5 ℃的冷库中分别贮藏 60 d 和 160 d 后取出, 一部分果实在 20 ℃条件下平衡 24 h 测定其各项理化指标, 另一部分果实在 20 ℃条件放

置 7 d 后测定其货架各理化指标。

1.2.2　果皮颜色测定　果皮颜色运用 CR-400 手持色差仪进行测定。具体操作是，随机挑选 10 个大小较为均匀的果实，将果实中心赤道面上两个相互对称的点选定为测定点，进而测定果皮的 L^*值、a^*值、b^*值、C 值、h^*值。L^*值反映亮度，其数值越高，表明果皮颜色越亮；a^*值反映红绿色度，数值为正时呈现红色，为负时呈现绿色；b^*值代表黄蓝色度，数值为正代表黄色，且数值越大，意味着果皮越黄；C 值表征色饱和度；h^*值表示色度角，当 h^*值处于 0°、90°、180°和 270°时，分别对应红色、黄色、绿色和蓝色，h^*值越大，果皮越绿，h^*值越小，果皮越黄。

1.2.3　褐变指数测定　参考刘佰霖等[23] 的方法，按褐变发生程度分为 6 个等级：0 级无褐变；Ⅰ级褐变面积小于 1/3；Ⅱ级褐变面积为 1/3~1/2；Ⅲ级褐变面积为 1/2~2/3；Ⅳ级褐变面积大于 2/3；Ⅴ级全部褐变。按以下公式计算褐变指数：

褐变指数=Σ(褐变级别×该级别果实个数)/(5×调查果实总数)。

1.2.4　果实感官评定　参照贾朝爽等[24] 方法，挑选 10 名从事果树研究的专业技术人员，对不同处理的果实加以标号后开展盲评。依据预先制定的评价标准打分(表 1)，随后去除一个最高分与一个最低分，将剩余分数的平均值作为该处理的最终得分。每个处理选用 8 个果实，并重复进行 3 次。

表 1　‘维纳斯黄金’苹果感官评价标准

Table 1　Sensory evaluation criteria of ‘Venus Golden’ apple fruit

评价项目	评价标准	分值(分)
口感(55)	肉质细脆，果汁丰富，有浓郁清新的芳香味	36~55
	肉质稍软，果汁较为丰富，芳香味淡化	16~35
	肉质软，果汁极少，几乎无芳香味	0~15
外观(30)	果皮金黄色，不油腻	20~30
	果皮黄色，少油腻	11~20
	果皮暗黄色，皱缩油腻	0~10
气味(15)	果实无异味，气味清香	6~15
	果实有异味，气味难闻	0~5

1.2.5　果实品质测定

1.2.5.1　硬度测定　采用 GS-15 水果质地分析仪测定，所用探头为 11.3 mm，随机选取 20 个果实，每个单果取果中部的 2 个对称部位，去皮后测定，$kg \cdot cm^{-2}$。

1.2.5.2　可溶性固形物含量(SSC)测定　采用 PR-101α 折糖仪测定，随机选取大小均匀的 20 个果实，去果皮、果核后，使用研磨机将其捣碎成浆并过滤，取滤液置于糖度计中进行读数，重复 3 次，取其平均值，%。

1.2.5.3　可滴定酸(TA)测定　参考仝月澳等[25] 的方法稍作修改，果肉压榨后，称取 3 g 果汁，加入蒸馏水至刻度线 30 mL，用电位滴定仪进行测定，结果用 % 表示。

1.2.6　呼吸速率和乙烯释放速率测定　运用气相色谱仪对‘维纳斯黄金’苹果果实的呼吸速率与乙烯释放速率同时进行测定。单位分别为 $mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ 和 $\mu L \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$。具体测定条件如下：以高纯 N_2 作为载气，控制其流速在 55~58 $mL \cdot min^{-1}$ 范围内，燃气选用空气与氢气，其中 H_2 压力为 0.2 MPa，空气为 0.1 MPa；转化炉温度设定为 360 ℃；填充柱采用不锈钢材质，柱温保持在 120 ℃，利用温度为 140 ℃ 的 FID 检测器进行检测。选取 6 个经挑选的果实，分别放置于 3 个 2.25 L 的可密封塑料盒内，密封 1 h 后，用注射器抽取 1 mL 进样量进行测定。每个处理重复 3 个塑料盒，每个盒测定 3 次，最终取平均值。按照以下公式计算呼吸速率和乙烯释放速率。

$$呼吸速率(mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}) = \frac{C1 \times v}{m1 \times t} \times 1.97$$

$$乙烯释放速率(\mu L \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}) = \frac{C2 \times v \times 1000}{m2 \times t}$$

式中，C1 为密封容器中的 CO_2 浓度(mg/L)；C2 为密封容器中的乙烯浓度(μL/L)；v 为密封容器的容积(L)；t 为静置时间(h)；m1 为样品的质量(kg)；m2 为样品的质量(g)。

1.2.7　穿刺参数测定　采用食品物性分析仪测定果实质地性状。随机选取 20 个果实，运用直径 6 mm 的圆柱探头，对果实赤道线附近相对的两个部位进行去皮穿刺试验。测定参数包括破裂功、破裂力、破裂位移、屈服功、屈服力和屈服位移，这些参数由物性分析仪自带软件自动计算得出。

1.3　数据处理

试验采用随机设计，每次测定重复 3 次，使用 Origin 2018、Excel 进行作图，SPSS 22.0 软件进行差异显著性分析(Duncan 新复极差法)，$P<0.05$ 表示差异显著，$P<0.01$ 表示差异极显著。

2　结果与分析

2.1　1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果果皮颜色的影响

由图 1A 可知，贮藏 60 d 时，1-MCP+0.02PE 和 1-MCP+0.04PE 处理果实的 L^*值显著低于 CK 组($P<0.05$)，MAP 处理组与 CK 组的 L^*值均无显著差异($P>0.05$)，其中 0.04PE 组的 L^*值最高，为 89.54。贮藏 160 d 时，1-MCP+0.02PE 处理果实的 L^*值显著低于 CK 组($P<0.05$)，其余处理组与 CK 组的 L^*值无显著差异($P>0.05$)。

由图 1B 可知，贮藏 60、160 d 时，0.04PE 处理组的 a^*值最高，显著大于 0.02PE、1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 处理组($P<0.05$)，0.04PE CK、0.02PE CK组与任意处理组的 a^*值均无显著性差异($P>0.05$)。

由图 1C 和图 1D 可知，贮藏 60 d 时，1-MCP+

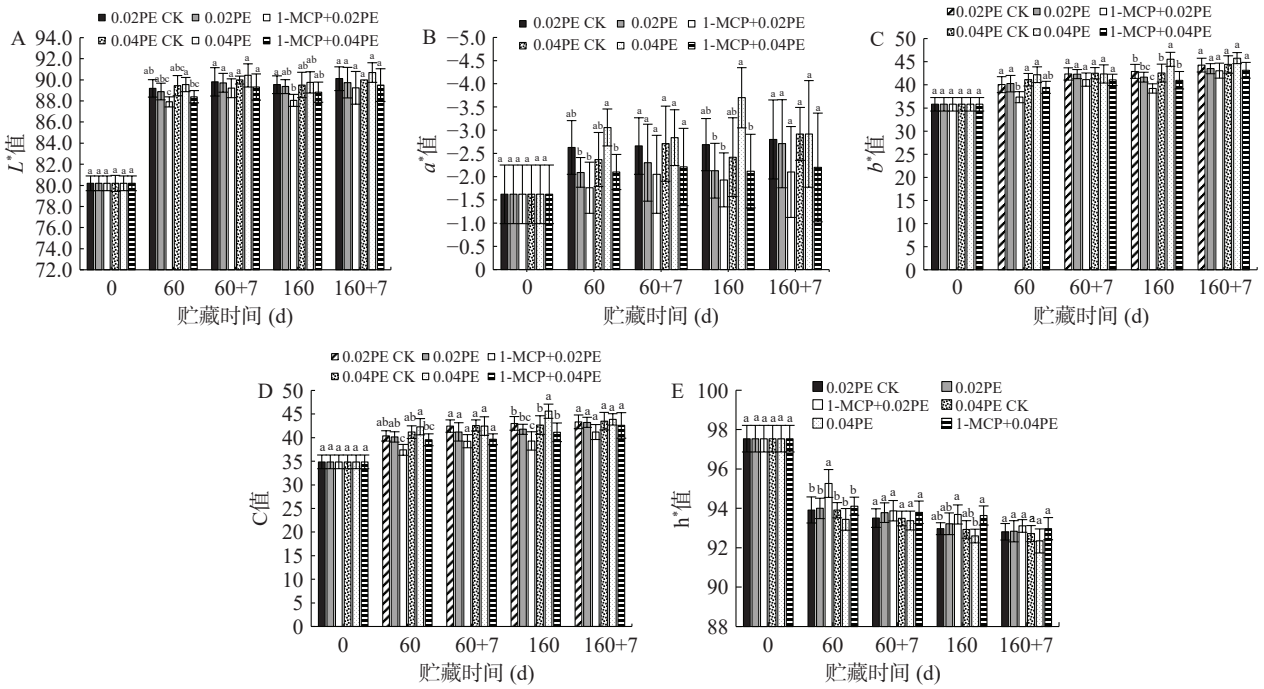


图 1 1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果果皮颜色的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP and MAP treatments on peel color of 'Venus Golden' apple

注: 小写字母表示同一时间不同组间差异(P<0.05); 图 3 同。

0.02PE 处理果实的 b^*值显著低于 CK 组(P<0.05), 与 1-MCP+0.04PE 处理组无显著差异(P>0.05), 其他处理组的 b^*值均与 CK 组无显著差异(P>0.05); 1-MCP+0.02PE 处理果实的 C 值与 1-MCP+0.04PE 处理组无显著性差异, 显著小于其他处理组和 CK 组(P<0.05); 1-MCP+0.04PE 处理组的 C 值显著小于 0.04PE 处理组(P<0.05), 与 0.02PE CK 组、0.02PE 组、0.04PE CK 组的 C 值无显著差异(P>0.05)。贮藏 160 d 时, 1-MCP+0.02PE 处理果实的 b^*值和 C 值最低, 分别为 39.23、39.29, 显著小于其他处理组和 CK 组; 0.04PE 处理组的 b^*值和 C 值最高, 分别为 45.53、45.59, 显著高于其他处理组和 CK 组(P<0.05); 1-MCP+0.04PE 处理组的 b^*值与 0.02PE CK 组、0.02PE 组、0.04PE CK 组的 b^*值无显著差异(P>0.05)。

由图 1E 可知, 贮藏 60 d 时, 1-MCP+0.02PE 处理果实的 h*值显著高于其他处理组和 CK 组(P<0.05), 且其他处理组和 CK 组间的 h*值无显著性差异(P>0.05)。贮藏 160 d 时, 0.04PE 处理组的 h*值最低, 为 92.6, 显著低于 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 处理组(P<0.05), 与其他处理组和 CK 组无显著差异(P>0.05); 1-MCP+0.02PE 的 h*值最高, 为 93.69, 与 0.02PE CK、0.02PE、0.04PE CK 和 1-MCP+0.04PE 组无显著性差异(P>0.05)。

‘维纳斯黄金’苹果衰老的外观表现为果皮黄色逐渐加深, 并伴有油腻化程度逐渐加重的现象。由图 1整体可知, 随着贮藏时间的增加, 果皮 L^*值、b^*值、C 值逐渐增加, a^*值、h*值逐渐下降。不同处理组、CK 组间的果实在整个货架期间(60+7 d、160+7 d)果皮颜色(L^*值、a^*值、b^*值、C 值、h*值)均无显著性差异(P>0.05)。可见 1-MCP+MAP 处理和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果货架期间果皮颜色的维持和防止果皮油腻化有作用, 但作用不显著。

2.2 1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果组织褐变(果皮、果肉、果心)、感官评分的影响

由表 2 可知, 对‘维纳斯黄金’苹果出库当天进行

表 2 1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果果实褐变指数、感官评分的影响

Table 2 Effects of 1-MCP and MAP treatments on the browning index and sensory score of 'Venus Golden' apple fruit

1-MCP和MAP处理	果皮褐变指数		果肉褐变指数		果心褐变指数		感官评分(分)	
	60+7 d	160+7 d	60+7 d	160+7 d	60+7 d	160+7 d	60+7 d	160+7 d
0.02PE CK	0	1.33±0.01^{b}	0	0.85±0.00^{b}	0	0	85.00±11.05^{b}	74.00±11.70^{c}
0.02PE	0	0	0	0	0	0	87.00±11.86^{ab}	80.14±10.85^{b}
1-MCP+0.02PE	0	0	0	0	0	0	92.00±10.23^{a}	87.25±11.54^{a}
0.04PE CK	0	1.62±0.00^{b}	0	0.97±0.01^{b}	0	0	83.00±10.65^{b}	73.21±11.64^{c}
0.04PE	0.16±0.01	4.33±0.00^{a}	0.10±0.01	3.00±0.01^{a}	0	0	88.00±11.04^{ab}	69.00±10.89^{d}
1-MCP+0.04PE	0	0.02±0.00^{c}	0	0	0	0	90.00±9.66^{a}	88.00±11.92^{a}

注: 同列不同小写字母表示有显著差异(P<0.05), 表3~表5同。

组织褐变调查，发现所有果实均未出现果实褐变情况。与 CK 相比，除 0.04PE 处理外，其他不同处理均不同程度降低果实的果皮和果肉褐变指数，提高了果实感官分值。试验结果表明，同一贮藏时间和相同处理条件下，果肉褐变指数低于果皮褐变指数。贮藏 60+7 d 时，除 0.04PE 处理的果实发生轻微的果皮和果肉褐变，其他处理组和 CK 组无褐变发生；贮藏 160+7 d 时，0.04PE 处理的果实果皮和果肉褐变指数分别为 4.33、3.00，显著高于 CK 组（P<0.05），1-MCP+0.04PE 处理组果实果皮褐变指数显著（P<0.05）低于 CK 组，0.02PE CK 和 0.04PE CK 组果皮和果肉褐变指数无显著差异（P>0.05），其他处理组仍无褐变发生。同时本试验还得出不同处理组和 CK 组的‘维纳斯黄金’苹果在整个贮藏期间无果心褐变现象发生。1-MCP+0.02PE 和 1-MCP+0.04PE 处理均显著维持了果实的感官品质，感官评分最高，而 0.04PE 处理则明显降低果实感官品质，感官评分较低，主要表现在果实外观油腻化、果肉发绵、果实有异味。综上可知，贮藏 60 d，相较于 CK 组，0.04PE 处理组可加重果皮和果肉褐变指数，其他处理组对其影响不明显；贮藏 160 d 时，1-MCP+0.02PE 和 0.02PE 处理组可避免果实发生果皮和果肉褐变，1-MCP+0.04PE 处理可减轻果皮褐变指数，避免果肉褐变，0.04PE 处理组依旧加重了果皮和果肉褐变。

2.3　1-MCP 和 MAP 处理对果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸含量的影响

由表 3 可知，在整个贮藏期和货架期，同一厚度 PE 袋条件下，与 CK 组相比，MAP 和 1-MCP+MAP 处理组可在一定程度上抑制果实硬度的下降，0.04PE 处理与 0.02PE CK 组的硬度无显著差异，且 1-MCP+0.04PE 处理果实硬度显著高于 0.04PE 处理（P<0.05），而 1-MCP+0.02PE、0.02PE、1-MCP+0.04PE 处理组果实硬度无显著差异（P>0.05）。

表 3　1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’果实硬度的影响（kg·cm^{-2}）

Table 3　Effects of 1-MCP and MAP treatments on the fruit firmness of 'Venus Golden' apple (kg·cm^{-2})

1-MCP和MAP处理	贮藏时间			
	60 d	60+7 d	160 d	160+7 d
0.02PE CK	6.81±0.45^{bc}	6.56±0.56^{b}	6.48±0.65^{bc}	6.17±0.85^{b}
0.02PE	7.08±0.64^{ab}	7.01±0.53^{a}	6.76±0.78^{ab}	6.51±0.92^{a}
1-MCP+0.02PE	7.28±0.53^{a}	7.06±0.67^{a}	6.89±0.67^{a}	6.60±0.83^{a}
0.04PE CK	6.52±0.56^{c}	6.29±0.61^{c}	6.27±0.66^{c}	6.16±0.80^{b}
0.04PE	6.65±0.57^{c}	6.42±0.61^{b}	6.34±0.74^{c}	6.18±0.71^{b}
1-MCP+0.04PE	7.13±0.45^{ab}	6.95±0.55^{a}	6.85±0.54^{ab}	6.41±0.56^{a}

由表 4 可知，在整个贮藏期和货架期，除 0.04PE CK 袋随着贮藏时间的增加，可提高果实可溶性固形物含量外，其他 CK 组和处理组可在一定程度上降低可溶性固形物的含量，但之间差异不显著（P>0.05）。

由表 5 可知，在整个贮藏期和货架期，‘维纳斯黄金’苹果果实可滴定酸含量并未随着时间的延长呈规律性下降，货架期可滴定酸含量普遍高于从冷库取出时，1-MCP+0.04PE 组的可滴定酸含量最高，同一厚度的 PE 袋，MAP 和 1-MCP+MAP 处理组果实的可滴定酸含量显著高于 CK 组（P<0.05），从而说明‘维纳斯黄金’苹果经 MAP 和 1-MCP+MAP 处理可延缓可滴定酸含量的下降。

表 4　1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’果实可溶性固形物的影响（%）

Table 4　Effects of 1-MCP and MAP treatments on total soluble solid of 'Venus Golden' apple (%)

1-MCP和MAP处理	贮藏时间			
	60 d	60+7 d	160 d	160+7 d
0.02PE CK	10.31±0.68^{bc}	10.25±0.83^{a}	10.41±0.68^{a}	10.10±0.94^{b}
0.02PE	11.16±1.04^{a}	10.45±0.79^{a}	10.07±0.83^{a}	9.92±1.19^{b}
1-MCP+0.02PE	10.93±1.06^{ab}	10.39±1.09^{a}	10.34±1.29^{a}	9.49±0.54^{bc}
0.04PE CK	9.67±0.69^{c}	10.65±0.99^{a}	10.20±0.67^{a}	11.26±0.72^{a}
0.04PE	11.11±1.31^{a}	10.63±1.10^{a}	10.16±1.26^{a}	9.64±2.28^{bc}
1-MCP+0.04PE	10.39±1.23^{bc}	10.18±1.17^{a}	9.72±0.57^{a}	9.50±2.08^{bc}

表 5　1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’果实可滴定酸的影响（%）

Table 5　Effects of 1-MCP and MAP treatments on titratable acid of 'Venus Golden' apple (%)

1-MCP和MAP处理	贮藏时间			
	60 d	60+7 d	160 d	160+7 d
0.02PE CK	0.116±0.001^{e}	0.145±0.002^{c}	0.098±0.001^{f}	0.132±0.002^{d}
0.02PE	0.129±0.000^{d}	0.159±0.003^{a}	0.121±0.001^{d}	0.159±0.002^{b}
1-MCP+0.02PE	0.139±0.001^{c}	0.143±0.002^{cd}	0.132±0.01^{b}	0.151±0.00^{c}
0.04PE CK	0.130±0.001^{d}	0.140±0.002^{d}	0.118±0.001^{e}	0.105±0.001^{e}
0.04PE	0.158±0.002^{b}	0.151±0.001^{b}	0.126±0.001^{c}	0.157±0.000^{b}
1-MCP+0.04PE	0.177±0.001^{a}	0.160±0.002^{a}	0.137±0.001^{a}	0.170±0.00^{a}

2.4　1-MCP 和 MAP 处理对果实呼吸速率和乙烯释放速率的影响

由图 2 可知，‘维纳斯黄金’苹果货架期间的呼吸速率和乙烯释放速率的变化趋势具有一致性，0.04PE 货架 2 d 时呼吸速率和乙烯释放速率出现峰值，0.02PE CK 和 0.04PE CK 呼吸速率和乙烯释放速率的峰值在货架 3 d 时出现，而 0.02PE、1-MCP+0.02PE 和 1-MCP+0.04PE 呼吸速率以及乙烯释放速率的峰值延迟到货架 4 d 时出现。由此可知，相较于 CK 组，0.02PE、1-MCP+0.02PE 和 1-MCP+0.04PE 处理均可延缓果实的呼吸速率和乙烯释放速率峰值的出现时间，并降低其峰值，且 1-MCP+MAP 延缓效果优于 0.02PE 处理，而 0.04PE 处理将加速果实呼吸速率和乙烯释放速率峰值的出现时间。

2.5　不同处理对果实贮藏期间穿刺参数的影响

2.5.1　穿刺参数之间的相关性　由表 6 可知，破裂位移与破裂功呈极显著正相关（P<0.01），与屈服力呈极显著负相关（P<0.01）；屈服位移与破裂力、果肉硬度呈显著正相关（P<0.05），与屈服功呈极显著正相关（P<

表 6 1-MCP 和 MAP 处理的‘维纳斯黄金’果实各项穿刺参数之间的相关性

Table 6 Correlation between various puncture parameters of 'Venus Golden' fruits with 1-MCP and MAP treatments

指标	破裂力	破裂位移	破裂功	屈服力	屈服位移	屈服功	果肉硬度	果肉做功
破裂力	1	−0.325	0.032	0.909**	0.413*	0.608**	0.965**	0.948**
破裂位移		1	0.920**	−0.591**	−0.127	−0.013	−0.301	−0.312
破裂功			1	−0.279	0.049	0.288	0.073	0.050
屈服力				1	0.383	0.502*	0.895**	0.888**
屈服位移					1	0.809**	0.451*	0.278
屈服功						1	0.688**	0.557**
果肉硬度							1	0.980**
果肉做功								1

注: *表示数据差异显著, $P<0.05$, **表述数据差异极显著, $P<0.01$。

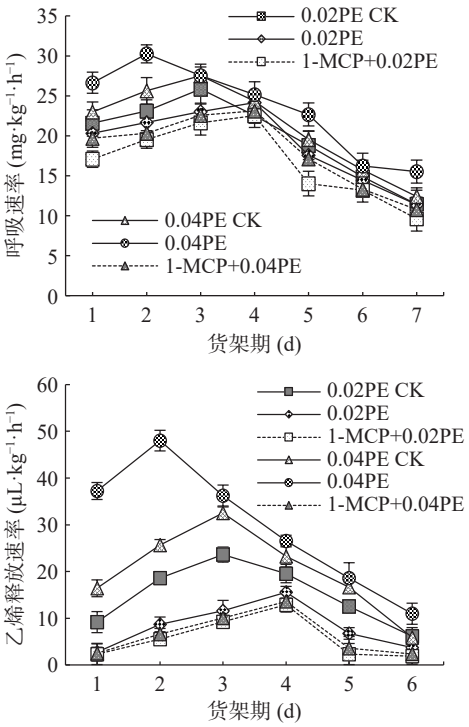


图 2 1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果冷藏 160 d 后的货架期呼吸速率和乙烯释放速率的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP and MAP treatments on respiration rate and ethylene production rate during the 160 d shelf life of 'Venus Golden' apple

0.01); 屈服力与屈服功呈显著正相关($P<0.05$), 与果肉硬度、果肉做功呈极显著正相关($P<0.01$); 破裂力、屈服力、果肉硬度、果肉做功之间均呈极显著正相关($P<0.01$), 且相关性较强, 相关系数均在 0.88 以上, 从而说明‘维纳斯黄金’苹果在贮藏过程中质地变化可以通过以上几个参数共同反映, 因此后续主要探究破裂力、屈服力、果肉硬度、果肉做功 4 个穿刺参数的变化。

2.5.2 贮藏期间主要穿刺参数的变化 由图 3 可知, 随着贮藏时间的增加, ‘维纳斯黄金’苹果的破裂力、屈服力、果肉硬度和果肉做功均呈现不同程度的下降。其中在整个贮藏期和货架期间 1-MCP+0.02PE 处理的破裂力、屈服力、果肉硬度和果肉做功最高, 0.04PE 最低。破裂力是指样品第一次出现破碎时的力, 图 3A 显示贮藏 60 d 时, 所有处理果实破裂力无显著差异($P>0.05$); 贮藏 60+7 d 及 160 d 时, 0.04PE 处理破裂力最低, 分别为 18.15N、17.19N, 显著低于其他处理组($P<0.05$); 贮藏 160+7 d 时, 1-MCP+0.02PE 处理的破裂力最高, 可达 19.11 N, 其次是 0.02PE 处理破裂力, 0.04PE 处理破裂力最低, 仅为 15.39 N。

图 3B 显示贮藏 60 d 及 160 d 时, 0.04PE 处理屈服力最低, 分别为 18.35 N、15.48 N, 与 0.04PE CK 屈服力无显著差异($P>0.05$), 但显著低于其他处理组($P<0.05$); 贮藏 60+7 d 时, 0.04PE 处理的屈服力为 16.64 N, 显著低于 1-MCP+0.02PE 处理($P<0.05$), 但与其他处理屈服力均不显著($P>0.05$); 贮藏 160+7 d 时, 0.04PE 处理的屈服力为 13.30 N, 显著低于其他处理组($P<0.05$), 其次是 0.04PE CK, 0.02PE CK、0.02PE、1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 的屈服力无显著差异($P>0.05$)。

图 3C 显示贮藏 60 d 时, 1-MCP+0.02PE 处理的果肉硬度, 为 18.28 N, 显著高于其他处理组($P<0.05$), 而其他处理组之间无显著差异($P>0.05$); 贮藏 60+7 d 时, 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE、0.02PE 的果肉硬度分别为 17.13、16.57、16.27 N, 显著高于 0.04PE CK、0.04PE($P<0.05$), 0.02PE CK 与其他处理组均无显著差异($P>0.05$); 贮藏 160 d 时, 0.04PE 果肉硬度为 14.34 N, 与 0.04PE CK 无显著差异($P>0.05$), 但显著低于其他处理组($P<0.05$), 0.02PE CK、0.02PE、1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 果肉硬度分别为 15.5、15.32、15.8、15.78 N, 均无显著差异($P>0.05$); 贮藏 160+7 d 时, 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE 果肉硬度, 分别为 15.53、15.21 N, 显著大于 0.02PE CK、0.04PE CK、0.04PE($P<0.05$), 0.02PE 果肉硬度, 为 14.32 N, 与 1-MCP+0.02PE、1-MCP+0.04PE、0.02PE CK、0.04PE CK 均无显著差异($P>0.05$)。

图 3D 显示贮藏 60 d 及 60+7 d 时, 1-MCP+0.02PE 处理的果肉做功分别为 149.91 N、136.04 N, 显著高于其他处理组($P<0.05$), 其他处理组果肉做功之间无显著差异($P>0.05$); 贮藏 160 d 及 160+7 d 时,

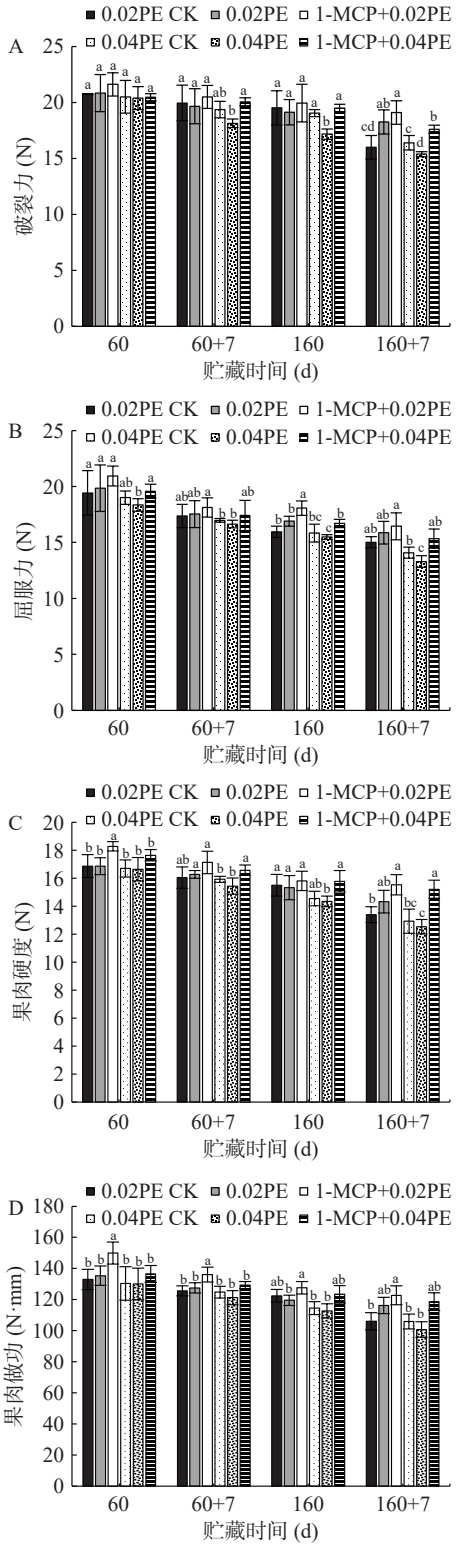


图 3　1-MCP 和 MAP 处理对‘维纳斯黄金’苹果破裂力、屈服力、果肉硬度、果肉做功的影响

Fig.3　Effects of 1-MCP and MAP treatments on disruptive force, yield force, flesh hardness, and flesh work of 'Venus Golden' apple

0.02PE、1-MCP+0.04PE 果肉做功，分别为 119.56、116.13；123.4、118.70 N，与其他处理均不显著（$P>0.05$），但 1-MCP+0.02PE 处理的果肉做功，为 127.61、122.72 N，显著大于 0.04PE CK、0.04PE、0.02PE CK（$P<0.05$）。

3　讨论与结论

感官评分在很大程度上左右着贮藏果实后期的销售与流通，而果实组织褐变，更是果蔬采后贮藏保鲜过程中面临的关键难题[26]。王慧等[27]发现 1-MCP 处理能够保持安油柿果实较好的感官品质、减少果实腐烂变质、提高果实保鲜品质；刘雪梅等[28]使用 1-MCP 处理鸭梨，发现可减少鸭梨果皮皱缩，推迟果心褐变时间，降低褐变程度。在本项研究中发现 1-MCP 结合 MAP 处理，同样能够切实有效地防止‘维纳斯黄金’苹果在贮藏期与货架期出现果实口感变差的问题，且维持硬度效果最优，还能较好地应对果肉与果心褐变等贮藏难题。

‘维纳斯黄金’苹果采后产生油腻化以及组织褐变是制约水果贮藏保鲜的主要原因，本研究结果表明，L^*值、b^*值、C 值、h*值等参数可以较好地表征‘维纳斯黄金’苹果贮藏过程中果皮转黄程度以及油腻化程度，这与于宛婷等[29]对玉露香梨研究结果一致。且发现在冷藏过程中，1-MCP+MAP 处理和 MAP 处理对‘维纳斯黄金苹果’货架期间果皮颜色的维持和防止果皮油腻化有一定作用，但作用不显著，这是因为 1-MCP 与 MAP 组合可以通过改变色素的代谢从而延缓果实颜色变化，但是延缓程度不一[30]。1-MCP+0.02PE 处理可明显延缓 L^*值、b^*值、C 值增加的速度，阻碍 a^*值、h*值的下降，因此可最好地保持果皮本身颜色、降低果皮油腻化发生，其次是 1-MCP+0.04PE。另外 1-MCP+0.02PE 处理还显著维持了果实的感官品质，在贮藏 160 d 时，1-MCP+0.02PE 处理组可避免果实发生果皮和果肉褐变。

乙烯可促进果实衰老[31]，1-MCP 通过和乙烯结合位点紧密结合[32]，从而延缓乙烯生成的速率，自发气调处理则通过形成的高浓度 CO_2 也可以抑制乙烯作用[33]。贾朝爽等[34]研究表明，使用 0.02PE 袋包装的塞外红果实呼吸高峰和乙烯释放高峰出现时间和峰值均出现延迟和降低。本次结果同样表明 1-MCP+MAP 处理可有效延缓果实的呼吸速率和乙烯释放速率峰值的出现时间，并降低其峰值，这可能也是果皮转黄速度降低的原因之一，这与 Yahia 等[35]的研究结果一致。同时，研究还发现 1-MCP+MAP 处理对维持果实穿刺参数影响显著，且薄膜厚度为 0.02 mm 时效果最好。

依据本研究结果，相较于 CK 组，0.04PE 处理可加重果皮和果肉褐变指数，不适合用于贮藏‘维纳斯黄金’苹果，这可能是因为‘维纳斯黄金’苹果虽对二氧化碳有一定的耐受力，但无法承受过高浓度的二氧化碳有关。‘维纳斯黄金’苹果耐二氧化碳适宜范围以及果实风味和香气变化等特性，待今后继续深入研究。

采用 1-MCP 搭配 MAP 的方式冷藏‘维纳斯黄金’苹果，能够在一定程度内减缓果皮转黄与油腻化进程，其中 1-MCP 搭配 0.02PE 袋的处理效果最为

理想，能够较好地保留果实刚采摘时的脆感、口感与风味并能将其贮藏期延长至 160 d 以上。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

［1］ 孙燕霞, 宋来庆, 唐岩, 等. 苹果品种‘金冠’与其实生后代‘维纳斯黄金’的性状比较[J]. 中国果树, 2020(1): 31−35. ［SUN Yanxia, SONG Laiqing, TANG Yan, et al. Comparison of characteristics between apple variety' Jinguan' and its progeny' *Venus* Golden'[J]. China Fruits, 2020(1): 31−35.］

［2］ 王志华, 贾朝爽, 王文辉, 等. 维纳斯黄金苹果采收及贮藏保鲜关键技术[J]. 果树实用技术与信息, 2021(8): 39−43. ［WANG Zhihua, JIA Chaoshuang, WANG Wenhui, et al. Key techniques for harvest, storage and preservation of *Venus* golden apple[J]. Practical Techniques and Information for Fruit Trees, 2021(8): 39−43.］

［3］ 王志华, 贾朝爽, 谭焕光, 等. 采收期结合 1-MCP 对苹果采后生理和贮藏品质的影响[J]. 2022(20): 293−300. ［WANG Zhihua, JIA Chaoshuang, TAN Huanguang, et al. Effects of harvest time combined with 1-MCP on postharvest physiology and storage quality of apple[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022(20): 293−300.］

［4］ WIN N M, YOO J, NAING A H, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment delays modification of cell wall pectin and fruit softening in “Hwangok” and “Picnic” apples during cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 180: 111599.

［5］ WEI Yun, LIU Zhi, LÜ Tianxing, et al. Ethylene enhances MdMAPK3-mediated phosphorylation of MdNAC72 to promote apple fruit softening[J]. The Plant Cell, 2023, 35(8): 2887−2909.

［6］ MENG Xiangzhi, FANG Jiazhen, FU Maorun, et al. The role of 1-methylcyclopropylene (1-MCP) and salicylic acid (SA) in induced resistance of postharvest fruits[J]. Horticulturae, 2023, 9(1): 108.

［7］ DU Meijun, JIA Xiaoyu, LI Jiangkuo, et al. Regulation effects of 1-MCP combined with flow microcirculation of sterilizing medium on peach shelf quality[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 260: 108867.

［8］ ZHAO Yaoyao, SONG Congcong, LIN Qiong, et al. Exploring the effects of different 1-MCP concentration treatment on chilling injury of postharvest peach fruit[J]. Journal of Food Biochemistry, 2024, 2024(1): 9917257.

［9］ TONG Xiuzi, SONG Huibo, CHEN Yanan, et al. 1-MCP combined with laser microporous film packaging maintains the quality and prolongs the storage period of Xiahei grapes[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2024, 59(3): 1550−1559.

［10］ SHU C, WALL M M, FOLLETT P A, et al. Effect of humidity-triggered controlled-release 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest quality of *Papaya* Fruit[J]. Horticulturae, 2023, 9(10): 1062.

［11］ PRABASARI I, SETIAWAN C K, UTAMA N A, et al. Application of 1-MCP does not slow down the ripening process of Mango (*Mangifera indica* L.)[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, 1287(1): 012031.

［12］ 申文赟, 徐碧媛, 宋健坤, 等. 自发气调包装和 1-MCP 处理对无花果(*Ficus carica* L.)果实低温贮藏保鲜效果的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2019, 36(3): 164−170. ［SHEN Wenbin, XU Biyuan, SONG Jiankun, et al. Effects of spontaneous modified atmosphere packaging and 1-MCP treatment on low temperature storage of *Ficus carica* L.[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2019, 36(3): 164−170.］

［13］ 张怡, 滕清, 赵婧, 等. 1-甲基环丙烯结合自发气调包装处理对迷你黄瓜贮藏品质和抗氧化能力的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2024, 45(4): 100−108. ［ZHANG Yi, TENG Qing, ZHAO Jing, et al. Effects of 1- methylcyclopropene combined with modified atmosphere packaging on storage quality and antioxidant capacity of mini cucumber[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2024, 45(4): 100−108.］

［14］ WEI Wenwen, LÜ Ping, XIA Qiaoping, et al. Fresh-keeping effects of three types of modified atmosphere packaging of pine-mushrooms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 62−70.

［15］ 高雪, 王然, 朱俊向, 等. 冰温结合自发气调包装贮藏对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J]. 2013(12): 122−128. ［GAO Xue, WANG Ran, ZHU Junxiang, et al. Effect of ice temperature combined with spontaneous modified atmosphere packaging and storage on fresh-keeping effect of fresh-cut broccoli[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013(12): 122−128.］

［16］ 徐凌, 张广燕, 李晗, 等. 不同厚度 PE 保鲜膜包装对‘早金酥’梨果实品质和贮藏性的影响[J]. 中国果树, 2020(4): 41−44. ［XU Ling, ZHANG Guangyan, LI Han, et al. Effects of different thickness of PE film on fruit quality and storage of'Zaojinsu' pear[J]. China Fruits, 2020(4): 41−44.］

［17］ CALEB O J, MAHAIAN P V, OPARA U L, et al. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: Modeling and experiments[J]. Trends in Food Science and Technology, 2013, 31(2): 239−251.

［18］ D’AQUINO S, MISTRIOTIS A, BRIASSOULIS D, et al. Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20 ℃[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 115: 103−112.

［19］ OLVEIRA-BOUZAS V, PITA-CALVO C, LOURDES V M, et al. Evaluation of a modified atmosphere packaging system in pallets to extend the shelf-life of the stored tomato at cooling temperature[J]. Food Chemistry, 2021, 364: 130309.

［20］ WANG Y, SUGAR D. Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged ‘Bartlett’ pears during storage and transit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 83: 72−82.

［21］ MASSANTINI R, CRISTOFORI V, FRANGIPANE M T. Storage of the early ripe almonds under modified atmosphere to preserve kernel qualitative and sensory traits[J]. Agriculture, 2022, 12(7): 974.

［22］ 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 等. 自发气调包装对库尔勒香梨采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(24): 4785−4796. ［JIA Xiaohui, WANG Wenhui, TONG Wei, et al. Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on postharvest physiology and storage quality of Korla fragrant pear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(24): 4785−4796.］

［23］ 刘佰霖, 王文辉, 马风丽, 等. 自发气调包装和乙烯吸收剂对‘玉露香’梨果实品质及耐贮性的影响[J]. 2019(7): 911−921. ［LIU Bailin, WANG Wenhui, MA Fengli, et al. Effects of spontaneous modified atmosphere packaging and ethylene absorbent on fruit quality and storability of' Yuluxiang' pear[J]. Journal of Fruit

Science, 2019(7): 911−921. ］
［24］ 贾朝爽, 王志华, 包敖民, 等. 温度对瑞香红苹果果实贮藏品质的影响[J]. 中国果树, 2022(9): 7−11. ［JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, BAO Aomin, et al. Effect of temperature on storage quality of'Ruixianghong'apple fruit[J]. China Fruits, 2022(9): 7−11. ］
［25］ 仝月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社, 1982. ［TONG Yueao, ZHOU Houji. Nutritional diagnosis of fruit trees[M]. Beijing: Agriculture Press, 1982. ］
［26］ 王志华, 贾朝爽, 张舒敏. 采收期结合精准控温对维纳斯黄金苹果贮藏品质和防褐保鲜的效应[J]. 华北农学报, 2023, 38(S1): 194−202. ［WANG Zhihua, JIA Chaoshuang, ZHANG Shumin. Effects of harvest time combined with precise temperature control on storage quality and browning preservation of *Venus* golden apple[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2023, 38(S1): 194−202. ］
［27］ 王慧, 陈燕华, 林河通, 等. 不同浓度 1-MCP 处理对采后安溪油柿果实的保鲜效应[J]. 热带作物学报, 2018, 39(10): 2060−2066. ［WANG Hui, CHEN Yanhua, LIN Hetong, et al. Effect of different concentrations of 1-MCP treatment on postharvest Anxi persimmon fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(10): 2060−2066. ］
［28］ 刘雪梅, 孟晓萌, 潘少香, 等. 1-MCP 结合预冷方式对鸭梨贮藏品质的影响研究[J]. 中国果菜, 2020, 40(6): 41−46. ［LIU Xuemei, MENG Xiaomeng, PAN Shaoxiang, et al. Effect of 1-MCP combined with precooling on storage quality of Yali pear[J]. China Fruit AVegetable, 2020, 40(6): 41−46. ］
［29］ 于宛婷, 王文辉, 张鑫楠, 等. 外源褪黑素对玉露香梨常温贮藏品质和生理特性的影响[J]. 果树学报, 2023, 40(8): 1583−1591. ［YU Wanting, WANG Wenhui, ZHANG Xinnan, et al. Effects of exogenous melatonin on fruit quality and physiological characteristics during room temperature storage in Yuluxiang pear[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(8): 1583−1591. ］
［30］ HAARD N F. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[J]. Journal of Chemical Education, 1984, 61(4): 277.
［31］ GONG Y P, MATTHEIS J P. Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on chlorophyll catabolism of broccoli florets [J]. Plant Growth Regulation, 2003, 40(1): 33−38.
［32］ BLANKENSHIP S M, DOLE J M. 1-methylcyclopropene: A review[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(1): 1−25.
［33］ ISENBERG, F-M-R. Controlled atmosphere storage of vegetables[M]. Janick J. Horticultural reviews: Volume 1. New Jersey: Wiley-Black wall, 2011: 337−394.
［34］ 贾朝爽, 王志华, 王文辉, 等. 不同厚度自发气调包装袋对塞外红苹果冷藏期和货架期品质的影响[J]. 中国果树, 2023(5): 23−27,42. ［JIA Chaoshuang, WANG Zhihua, WANG Wenhui, et al. Effects of different thickness of modified atmosphere packaging bags on the quality of red apples in cold storage and shelf life[J]. China Fruits, 2023(5): 23−27,42. ］
［35］ YAHIA E M, RIVERA-DOMINGUEZ M, HERNÁNDEZ-OCHOA L. Effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on fruit quality and physiological disorders in 'Keitt' mangoes[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2006, 81(5): 796−802.