

1-MCP 结合乙烯吸附剂处理对黄桃货架期品质的影响

郭智鑫^{1,2}, 孙畅^{1,2}, 李高阳^{1,2}, 苏东林^{2*}, 刘伟^{1,2}, 朱向荣^{1,2*}

(¹ 湖南大学研究生院隆平分院 长沙 410125)

(² 湖南省农业科学院农产品加工研究所 果蔬贮藏加工与质量安全湖南省重点实验室
湖南省果蔬加工与质量安全国际联合实验室 长沙 410125)

摘要 为探究 1-MCP 结合乙烯吸附剂对黄桃货架期品质的影响,以“锦绣”黄桃为试材,采用对照(CK)、1-MCP(10 μ L/L)、乙烯吸附剂(3%)处理和 1-MCP+乙烯吸附剂 4 种处理方法,分析不同处理间黄桃果实货架期品质的变化。结果表明,货架期 10 d 时的腐败率分别为 CK 组 86.7%、乙烯吸附剂组 80%、1-MCP 组 70%、1-MCP+乙烯吸附剂组 60%,1-MCP+乙烯吸附剂处理能够有效抑制黄桃腐烂率的上升,减少果肉褐变的发生,延缓果实可溶性固形物、硬度、维生素 C、可滴定酸的下降,总黄酮与总酚含量最高,分别为 808 mg/100 g 和 559.6 mg/100 g,总抗氧化活性保持在较高水平,多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性均保持在较低的水平。采用主成分分析法分析 4 种处理所得数据,根据模型评价,综合品质得分从高到低排列顺序:1-MCP+乙烯吸附剂>1-MCP>乙烯吸附剂>CK。结论:1-MCP+乙烯吸附剂处理对黄桃采后保鲜效果最好,能够更好地保持黄桃货架期品质。

关键词 黄桃; 1-MCP; 乙烯吸附剂; 货架期; 品质

文章编号 1009-7848(2023)09-0213-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.09.022

桃(*Amygdalus persica* Linn)属蔷薇科李属桃亚属,中国桃种质有着极其丰富的资源条件,其产量与种植面积均排世界第一^[1]。我国种植的桃有诸多品种,主要包括白桃、黄桃、油桃和蟠桃等^[2],其中黄桃(*Amygdalus persica*)食用价值高和风味独特,深受广大消费者喜爱^[3]。黄桃采收期为每年夏天的 7、8 月,天气炎热,黄桃成熟、软化速度较快,导致其货架期较短^[4-5]。目前,冷藏技术是延缓果实成熟和延长桃贮藏时间的常用保鲜方法,然而在冷链运输、配送和零售过程中,不可避免地要在室温下储存,极易导致微生物繁殖和感染,快速腐败,货架期呈指数下降^[6]。

1-甲基环丙烯(1-MCP)作为乙烯抑制剂,能够干扰并阻断乙烯与受体的结合作用,从而延缓果肉细胞的成熟衰老过程^[7]。1-MCP 可以显著抑制果实采后的乙烯释放量和成熟^[8],具有较好的保鲜效果^[9-11]。而 1-MCP 使用不当也会对贮藏期的

果蔬造成不当影响^[12]。乙烯吸附剂是将高锰酸钾(KMnO₄)固定多孔材料上,具有较高的吸附性能,可作为吸附剂氧化乙烯,并将高锰酸钾(KMnO₄)还原为二氧化锰(MnO₂)^[13],从而提高果蔬的贮藏时间。

“锦绣”黄桃是适合鲜食兼加工的晚熟黄桃品种,在湖南、湖北等南方地区大量种植。“锦绣”黄桃具有色泽金黄,口感脆嫩,品质优良等特点。目前,尚未见 1-MCP 结合乙烯吸附剂用于黄桃采后处理,延长货架期品质的报道。本文以“锦绣”黄桃为试验材料,采用对照(CK)、1-MCP、乙烯吸附剂、1-MCP+乙烯吸附剂 4 种方法处理黄桃果实,研究不同处理下果实货架期品质的变化情况,采用主成分分析(PCA)进行综合品质评价,确定最佳处理条件,为采后黄桃的货架期保鲜技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“锦绣”黄桃于 2021 年 8 月采自湖南省长沙市宁乡黄桃种植基地,采摘后立即运输至实验室,处理时间不超过 1 h。

主要试剂:聚乙烯吡咯烷酮、2,6-二氯酚靛

收稿日期:2022-09-08

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2020NK2048);湖南省农业科技创新项目(2021CX80)

第一作者:郭智鑫,男,硕士生

通信作者:朱向荣 E-mail:xiangrongchu@163.com
苏东林 E-mail:sdl791228@163.com

酚,江苏普乐司生物科技有限公司;维生素C标准品、愈创木酚,上海源叶生物科技有限公司;邻苯二酚、乙醇、硫酸、过氧化氢、碳酸钠、亚硝酸钠、乙酸钠、盐酸、硝酸铝、氢氧化钠,国药集团化学试剂有限公司;聚乙二醇6000、福林酚试剂,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;没食子酸标准品、曲拉通X-100,上海沃凯化学试剂有限公司;芦丁标准品,上海诗丹德生物技术有限公司;1-MCP,山东奥维特生物科技有限公司;乙烯吸附剂,山东奥维特生物科技有限公司。

1.2 仪器、设备

UV-1800 紫外-可见分光光度计, 岛津仪器(苏州)有限公司;CT3-4500 物性分析仪, 美国 Brookfield 公司;KQ-数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司;爱拓糖酸度测定仪, 日本 Atago 公司;WP-UP-WF-20 超纯水制备机, 四川沃特尔水处理设备有限公司;Avanti J26XP 型冷冻离心机, 美国 Beckman 公司。

1.3 试验处理

将采摘后的黄桃运输至实验室, 立即清洗除去表面杂质, 挑选无机械损伤、外观良好的黄桃果实进行处理。在 25℃、相对湿度(90±5)%条件下, 以对照(CK)、10 μL/L 1-MCP、3%乙烯吸附剂、1-MCP 结合乙烯吸附剂处理采后黄桃, 分别在第 0、2、4、6、8、10 天取样, 测定黄桃果实的腐烂率、褐变指数、硬度、可滴定酸等指标, 用液氮研磨切碎的果肉冷冻至粉末状后, 置-80℃低温冰箱中存放。

1.4 指标测定

1.4.1 腐烂率 将腐烂或褐变的面积大于 1 cm² 的黄桃视为坏果, 计算公式^[14]:

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{腐烂果数量}}{\text{样本总果数量}} \times 100$$

1.4.2 褐变指数 根据以下分级标准来判断黄桃的褐变程度^[15], 0=无褐变症状, 1=0~10%, 2=10%~25%, 3=25%~50%, 4=大于 50%, 褐变指数计算公式:

$$\text{褐变指数}(\%) = \frac{\sum(\text{褐变程度} \times \text{该褐变程度数目})}{(\text{总数} \times 4)} \times 100$$

1.4.3 硬度 参考 Shahkoomahally 等^[16]的方法, 使用 CT3-4500 质地分析仪, 测试参数为深度 8

mm, Magness-Taylor 型探针测量, 测试速度 1 mm/s, 直到接触样品, 测试速度 2 mm/s, 距离 8 mm, 使用 50 kg 校准的称重传感器, 单位 g。

1.4.4 维生素 C 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[17]。

1.4.5 可溶性固形物与可滴定酸 使用数字折射计以百分比(%)表示黄桃的可滴定酸(TA)和可溶性固形物(SSC)含量。

1.4.6 总酮与总酚 黄酮的测定参考 Jia 等^[18]的方法: 测定芦丁的标准曲线, 结果以每 100 g 鲜质量中所含芦丁含量表示(mg/100 g), 在 510 nm 处测定吸光度。

总酚的测量参考文献[19],[20]方法并稍作改进。取 1 mL 提取液, 用 80%乙醇溶液定容 2 mL, 加 1 mL 10%福林酚显色剂, 充分摇匀, 静置 6 min 后, 加入 2 mL 7.5 g/L Na₂CO₃ 溶液, 混匀乙醇定容 10 mL, 室温下避光反应 1 h 后, 冷却至常温, 在波长 765 nm 处测定吸光度, 结果以没食子酸含量表示。

1.4.7 抗氧化酶活性 PPO 酶活性测定参考 Laveda 等^[17,21]方法: 加入 2.0 mL 0.1 mol/L 乙酸-乙酸钠缓冲液(pH 5.5)和 1.0 mL 50 mmol/L 邻苯二酚溶液, 最后加入 100 μL 酶提取液。在 420 nm 处吸光度值作为初始值, 以每克鲜质量每分钟吸光度变化值增加 1 为 1 个活性单位。

POD 酶活性测定参考 Ma 等^[17,22]方法: 加入 3.0 mL 25 mmol/L 愈创木酚溶液和 0.5 mL 酶提取液, 再加入 200 μL 0.5 mol/L 过氧化氢溶液, 迅速混合启动反应。在波长 470 nm 处吸光度值作为初始值, 以每克鲜质量每分钟吸光度变化值增加 1 为 1 个活性单位。

1.4.8 总抗氧化性的测定 DPPH 与 ABTS 自由基清除能力的测定, 采用苏州科铭生物技术有限公司生产的试剂盒测定。

1.5 数据处理

试验均重复 3 次, 每组数据均以(平均值±标准差)表示。数据使用 Excel2010 软件进行统计分析; 使用 SPSS16.0 软件进行方差分析和 Duncan 法多重比较, $P < 0.05$ 表示显著; 使用 Orgrin2021b 软件绘图。

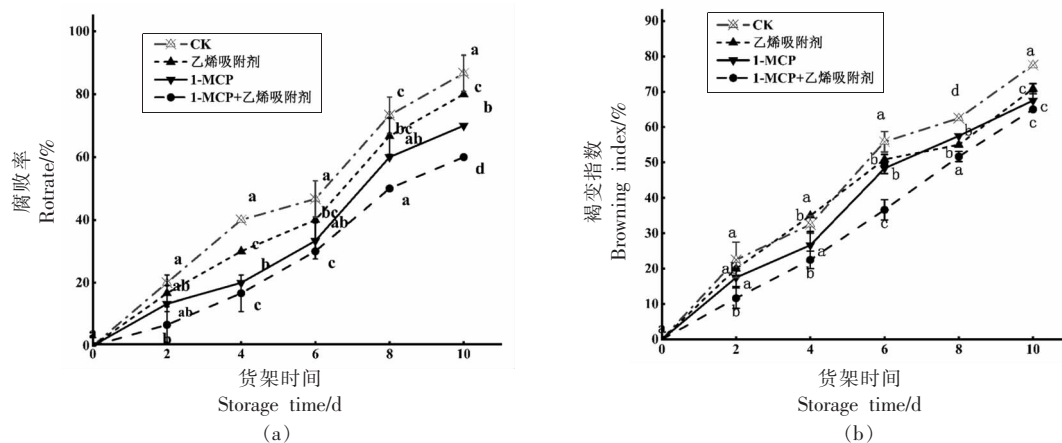
2 结果与分析

2.1 处理方式对黄桃果实腐烂率与褐变指数的影响

如图 1a 所示,采后黄桃果实经不同处理后的第 2 天,CK 和不同处理组均出现腐烂现象。货架期内,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组腐烂率均呈上升趋势;CK 的腐烂率分别为 20%,40%,46.7%,73.3%,86.7%,乙烯吸附剂组的腐烂率分别为 16.7%,30%,40%,66.7%,80%,1-MCP 组腐烂率 13.3%,20%,33.3%,60%,70%,1-MCP+乙烯吸附剂组腐烂率为 6.7%,16.7%,30%,50%,60%。CK 的腐烂率显著高于处理组,且不同处理组的果实腐烂率间具有显著性差异 ($P<0.05$)。该结果表明处理的保鲜效果:1-MCP+乙烯

吸附剂>1-MCP>乙烯吸附剂>CK。

如图 1b 所示,随着货架期的增加,黄桃果实的褐变程度因腐败率的增加而开始加剧,其褐变指数也随之增加,在货架期第 2 天,CK 与处理组均出现明显的褐变现象,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组、1-MCP+乙烯吸附剂组的褐变指数情况分别为 22.5%,20%,17.5%,11.7%。第 10 天时,黄桃果实的褐变指数达到最高值,CK 为 77.5%,乙烯吸附剂组为 70.8%,1-MCP 组为 67.5%,1-MCP+乙烯吸附剂组为 65%,而 CK 比处理组的黄桃果实褐变程度严重,说明以上 3 种处理均能显著 ($P<0.05$) 延缓黄桃果实褐变指数的增加,且效果最好的处理方式为 1-MCP+乙烯吸附剂。



注:不同小写字母表示处理方式之间的差异显著 ($P<0.05$),下同。

图 1 不同处理对采后黄桃腐烂率(a)和褐变指数(b)的影响

Fig.1 The effects of different treatments on the rot rate (a) and browning index (b) of postharvest yellow peach

2.2 处理方式对黄桃果实生理品质的影响

如图 2a 所示,采后黄桃果实经不同处理后的硬度在货架期内显著下降 ($P<0.05$),且 CK 的硬度均低于处理组。在货架期第 10 天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组硬度分别降至 127.7,186,326.5 g 和 419.7 g。通过对比数据可知,1-MCP+乙烯吸附剂处理方式对采后黄桃果实的硬度保鲜效果最好。

如图 2b 所示,货架期内黄桃果实的 SSC 含量均呈先上升后下降的趋势。货架期第 10 天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂

组的 SSC 含量分别降至 10.6%,11.8%,12.1% 和 12.3%。不同处理组间 SSC 含量具有显著性差异 ($P<0.05$)。

如图 2c 所示,1-MCP+乙烯吸附剂组的 TA 质量分数呈先上升后下降趋势。货架期第 10 天时,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组的 TA 值分别为 0.13%,0.14%,0.16% 和 0.17%。不同处理组间具有显著性差异 ($P<0.05$)。

如图 2d 所示,不同处理组在整个货架期内的维生素 C 含量均呈持续下降趋势。货架期第 10 天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯

吸附剂组硬度分别降至 2.2, 2.9, 3.6 mg/100 g 和 4.2 mg/100 g。结果表明, 1-MCP+乙烯吸附剂处理

黄桃果实的维生素 C 含量保持效果最好, 且不同处理方式间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

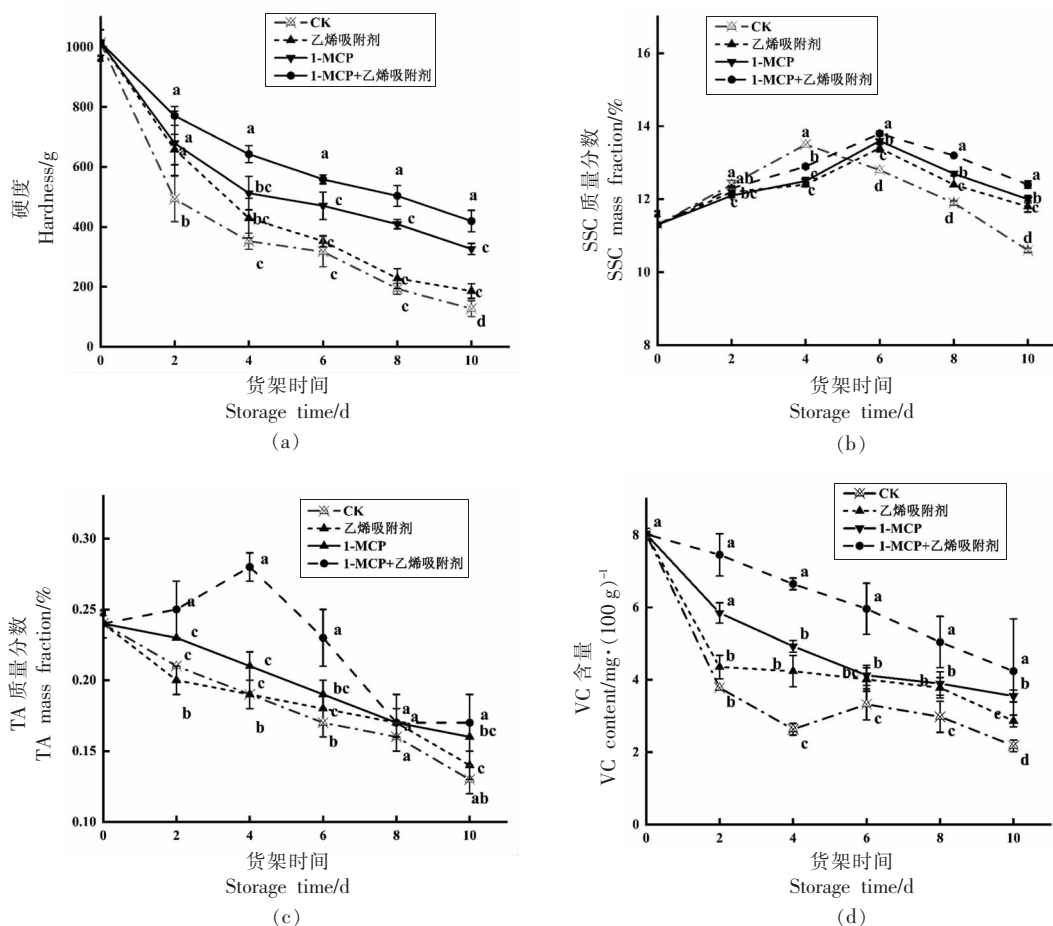


图2 不同处理对采后黄桃硬度(a)、可溶性固形物(b)、可滴定酸(c)、维生素C(d)的影响

Fig.2 The effects of different treatments on the hardness (a), soluble solids (b), titratable acid (c) and vitamin C (d) of harvest yellow peaches

2.3 黄桃果实总黄酮与总酚的影响

如图 3a 所示, 不同处理组黄桃果实的总黄酮含量均呈先上升后下降的趋势。货架期第 6 天, CK、乙烯吸附剂组和 1-MCP 组达到最大值, 分别为 1 296.2, 1 421.5 mg/100 g 和 1 663.5 mg/100 g, 而 1-MCP+乙烯吸附剂组在货架期第 4 天达到峰值 1 806.1 mg/100 g。货架期第 10 天, 不同处理组的总黄酮含量降至最低, CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组分别为 146.9, 401.8, 756.1 mg/100 g 和 808 mg/100 g, 且在整个货架期内, CK 与处理组间的总黄酮含量具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

如图 3b 所示, 黄桃果实的总酚含量变化与总黄酮变化趋势相似, 呈先上升后下降趋势。CK 在货架期第 2 天达到峰值 706.6 mg/100 g, 乙烯吸附剂组在货架期第 6 天达到峰值 697.2 mg/100 g, 1-MCP 组在货架期第 4 天达到峰值 630.8 mg/100 g, 1-MCP+乙烯吸附剂组在货架期第 4 天达到峰值 1 100.3 mg/100 g。货架期第 10 天, 黄桃果实的总黄酮含量降至最低, CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组分别为 146.9, 401.8, 756.1 mg/100 g 和 808 mg/100 g, 且在整个货架期内, CK 与处理组间的总黄酮含量具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.4 处理方式对黄桃果实抗氧化性酶活力的影响

如图 4a 所示, 黄桃果实经不同处理方式后

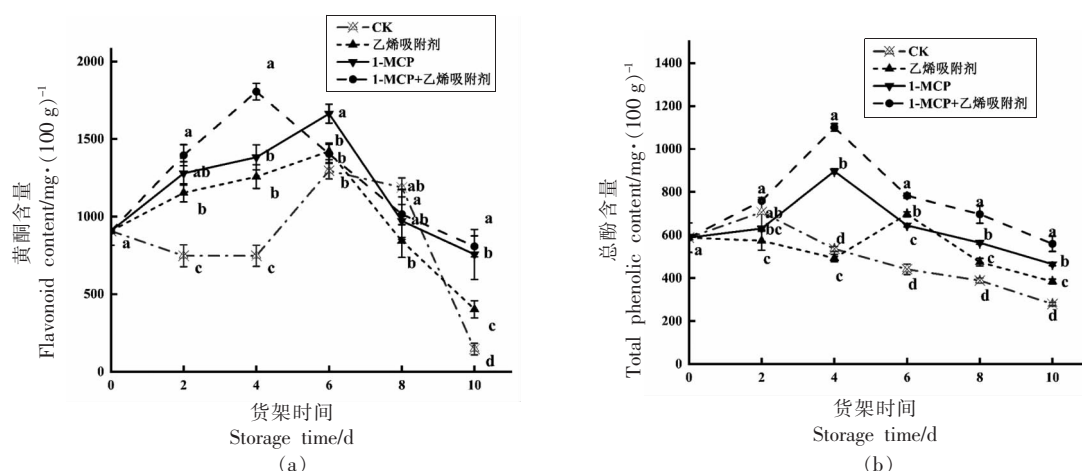


图 3 不同处理对采后黄桃黄酮(a)与总酚(b)含量的影响

Fig.3 The effect of different treatments on the flavonoids (a) and total phenols content (b) of harvest yellow peach

POD 活力均呈先上升后下降的趋势,CK 在货架期第 2 天达到峰值 0.69 U/g,乙烯吸附剂组在货架期第 6 天达到峰值 0.63 U/g,1-MCP 组在货架期第 4 天达到峰值 0.59 U/g,1-MCP+乙烯吸附剂组在货架期第 6 天达到峰值 0.49 U/g。货架期第 10 天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组的 POD 活力分别降至 0.3,0.14,0.21 U/g 和 0.1 U/g。货架期内,不同处理方式 POD 活力具有显著性差异($P<0.05$),1-MCP+乙烯吸附剂组的酶活力最低。

如图 4b 所示,PPO 活力在货架期内呈先上升

后下降趋势,与 PPO 活力趋势相同。CK 在货架期第 4 天达到峰值 1.48 U/g,乙烯吸附剂组在货架期第 6 天达到峰值 1.19 U/g,1-MCP 组在货架期第 6 天达到峰值 1.13 U/g,1-MCP+乙烯吸附剂组在货架期第 6 天达到峰值 0.97 U/g。货架期第 10 天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组 PPO 活力分别降至 0.86,0.63,0.43 U/g 和 0.19 U/g。货架期内,CK 的 POD 活力显著低于其它处理组($P<0.05$),1-MCP+乙烯吸附剂组的酶活力最低。

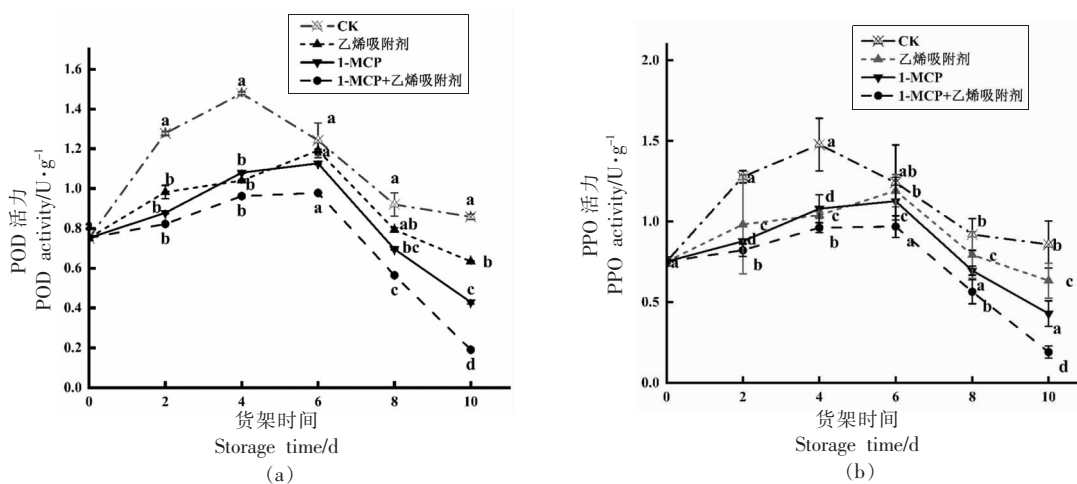
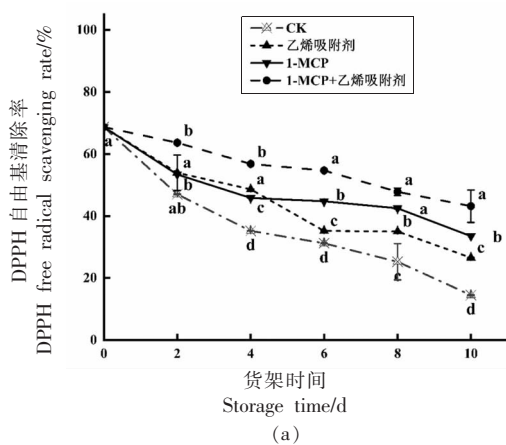


图 4 不同处理对采后黄桃 POD 酶活力(a)与 PPO 酶活力(b)的影响

Fig.4 The effects of different treatments on the POD enzyme activity (a) and PPO enzyme activity (b) of postharvest yellow peach

2.5 处理方式对黄桃果实总抗氧化性的影响

为了全面评价黄桃果实货架期总抗氧化性的变化,采用2种方法(DPPH、ABTS)测定不同处理的总抗氧化性值。如图5a所示,不同处理的黄桃果实 DPPH 自由基清除率在货架期内均呈下降趋势,相比 CK,其它3个处理组变化较为平缓。货架期第0天,DPPH 自由基清除率为 68.9%;第10天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组分别降至 14.5%,26.5%,33.5%和 43.2%,不同处理间具有显著性差异($P<0.05$)。经对比,1-



MCP+乙烯吸附剂组的 DPPH 自由基清除率效果最好。

如图5b所示,不同处理的黄桃果实 ABTS 自由基清除率在货架期内均呈先上升后下降的趋势。货架期第4天,CK、乙烯吸附剂组、1-MCP 组和 1-MCP+乙烯吸附剂组的自由基清除率分别为 54.5%,71.6%,62.4%和 75.2%;第10天,以上4种处理的自由基清除率分别为 29.4%,32.7%,37.2%和 40.2%。经对比,1-MCP+乙烯吸附剂处理方式的 ABTS 自由基清除率效果最好。

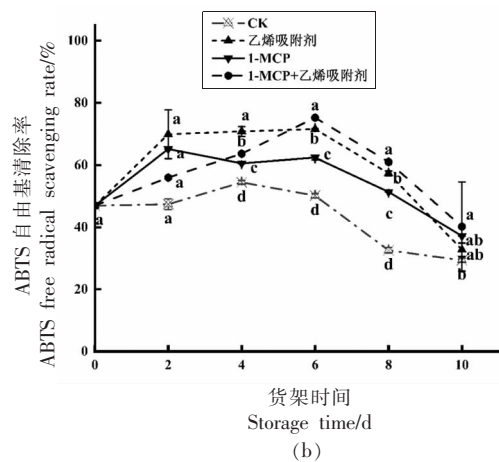


图5 不同处理对采后黄桃 DPPH(a)与 ABTS(b)的影响

Fig.5 The effects of different treatments on DPPH (a) and ABTS (b) of postharvest yellow peach

2.6 PCA 品质评价分析

采用 PCA 分析不同处理黄桃果实腐败率、褐变指数、硬度、SSC、TA、维生素 C、黄酮含量等 12 个指标的变化情况。前 2 个主成分贡献率 PC1 为 52.8%,PC2 为 27.3%。采用 PCA 提取出前 2 个主成分,包含的信息量占总信息量的 80.2%,可充分反映原始数据的主要信息,计算 4 种处理黄桃的理化指标综合得分。综合得分越高,排名越高,说明该处理的黄桃果实货架期品质越高,反之则越低。由表 1 可知,1-MCP+乙烯吸附剂组的平均综合得分最高,1-MCP 组和乙烯吸附剂组次之,CK 最低,说明经 1-MCP 或乙烯吸附剂处理对采后黄桃均有保鲜效果,且二者结合使用效果最佳。

图 6 显示 4 种处理的 PCA 得分。由图 6a 可见乙烯吸附剂组、1-MCP 组、1-MCP+乙烯吸附剂

组和 CK 有着明显的差别,其中 1-MCP+乙烯吸附剂组与其它组在 PC2 方向上有明显差异。图 6b 为 PCA 载荷图,结合得分图看,与该种处理方式在相同区域中的位置越近可说明该种处理方式与黄桃果实的理化指标相关性越强,反之则越弱。货架期第 0 天,CK、1-MCP 组、乙烯吸附剂组、1-MCP+乙烯吸附剂组与 TA、维生素 C、DPPH 和硬度指标相关性较高;货架期第 2 天,CK 与 SSC、PPO、POD、ABTS、黄酮、总酚指标的相关性较高;货架期第 4 天,1-MCP 组、乙烯吸附剂组、1-MCP+乙烯吸附剂组与 SSC、PPO、POD、ABTS、黄酮、总酚指标的相关性较高;货架期第 6 天,CK、乙烯吸附剂组与腐败率、褐变率指标相关性较高;货架期第 8 天,CK 和乙烯吸附剂组与腐败率、褐变率指标相关性较高。

表 1 4 种处理的主成分得分表

Table 1 Principal component scores of four treatments

处理方式	货架时间/d	PCA1	PAC2	P1	P2	P	P _{平均}	排名
CK	0	2.92	-2.50	18.51	-8.19	9.41	-5.13	4
	2	0.38	1.03	2.43	3.39	2.76		
	4	-0.97	2.71	-6.15	8.88	-1.03		
	6	-1.65	1.93	-10.43	6.34	-4.72		
	8	-3.19	0.07	-20.24	0.24	-13.26		
	10	-5.31	-1.59	-33.66	-5.22	-23.97		
乙烯吸附剂	0	2.92	-2.50	18.51	-8.19	9.41	0.01	3
	2	1.11	0.54	7.06	1.79	5.26		
	4	0.14	1.19	0.86	3.90	1.90		
	6	-0.27	2.91	-1.74	9.54	2.10		
	8	-2.16	0.17	-13.70	0.57	-8.83		
	10	-1.95	-1.48	-26.70	-4.86	-9.80		
1-MCP	0	2.92	-2.50	18.51	-8.19	9.41	1.13	2
	2	1.83	-0.01	11.58	-0.04	7.62		
	4	1.35	1.47	8.53	4.83	7.27		
	6	0.25	2.48	1.59	8.14	3.82		
	8	-1.57	-0.15	-9.98	-0.49	-6.75		
	10	-3.01	-1.79	-19.11	-5.86	-14.60		
1-MCP+乙烯吸附剂	0	2.92	-2.50	18.51	-8.19	9.41	5.57	1
	2	2.98	-0.50	18.90	-1.63	11.90		
	4	3.50	1.52	22.17	4.99	16.32		
	6	1.78	1.94	11.29	6.37	9.61		
	8	-0.53	-0.13	-3.35	-0.43	-2.35		
	10	-2.11	-2.35	-13.40	-7.70	-11.46		

注: P1、P2 为主成分得分, 计算公式为 $P1=PAC1*6.34$, $P2=PAC2*3.28$; P 为根据主成分得分所得相关性综合得分, 计算公式为 $P=(P1*52.83+P2*27.32)/80.15$; P 平均为各处理方式 P 值之和的平均值。

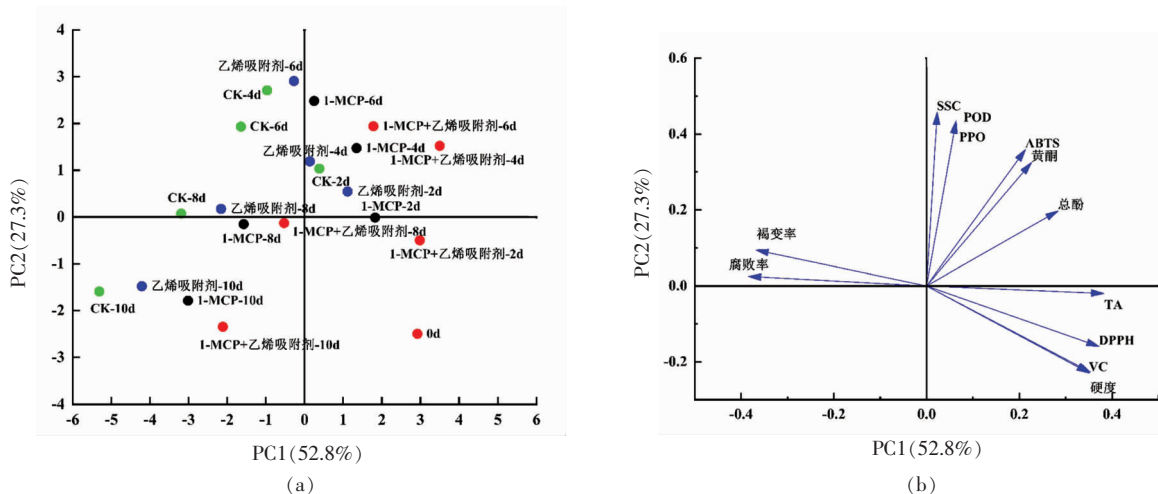


图 6 不同处理的 PCA 得分图(a)和载荷图(b)

Fig.6 PCA score plot (a) and loading plot (b) of different treatments

3 讨论

本研究中,1-MCP+乙烯吸附剂联合处理的黄

桃品质好于单独使用,其原因在于联合处理能够双重抑制黄桃果实的乙烯合成与释放,延缓成熟

与衰老,减少果实腐烂率和褐变指数的升高,从而起到保鲜作用,这与张鹏^[23]与赵猛^[24]等研究结果一致。果蔬货架期的维生素 C 含量伴随着果实成熟逐渐氧化分解,呈现下降趋势^[25],采用 1-MCP+乙烯吸附剂处理方式可有效抑制黄桃维生素 C 含量流失,这与阎根柱等^[26]研究结果一致。采后果实 SSC 含量上升与硬度下降相关,这与 Zhang^[27]与毛惠娟等^[28]研究结果一致,1-MCP 或乙烯吸附剂处理能够抑制黄桃硬度、可滴定酸的降低,而对可溶性固形物含量影响较小。这可能与处理后货架期内果实呼吸速率下降有关^[29],这与曹森等^[30]的研究结果一致。

果实总抗氧化性高低与总酚、总黄酮的合成或快速降解有关^[31]。本研究中,黄桃果实的总抗氧化性与总黄酮、总酚含量变化趋势均呈先上升后下降的趋势,说明三者呈正相关关系。相比 1-MCP 或乙烯吸附剂单独处理,采用 1-MCP+乙烯吸附剂处理黄桃的黄酮和总酚含量得到更好地保持,总抗氧化性下降和果实褐变得到更有效抑制,这可能与 1-MCP 或乙烯吸附剂联合处理明显地抑制了呼吸速率和乙烯释放,增加了 HMP(磷酸戊糖)途径比例有关,因为 HMP 途径的 4-磷酸赤藓糖正是酚类物质合成的中间化合物^[32]。

PPO 催化反应引起果肉褐变,影响其风味并导致营养成分损失^[33]。本研究中黄桃货架期 PPO 活力呈先增加后降低的趋势,对照组 PPO 活力上升较快,各处理组 PPO 活力上升较慢。1-MCP+乙烯吸附剂联合处理 PPO 活力最低,因此,联合处理具有减缓 PPO 活力上升的作用。而 POD 能清除活性氧,降低膜脂过氧化作用,因此果实 POD 活力越高,其衰老越严重^[34]。与 PPO 活力类似,黄桃 POD 活性也呈先增加后降低的趋势。1-MCP 与乙烯吸附剂联合处理组 POD 活性最低,而对照组上升最快。1-MCP 与乙烯吸附剂联合处理具有减缓黄桃果实 POD 活力上升的作用,使其细胞免受过氧化氢的伤害^[35]。这与陈浩等^[36]的研究结果类似。

4 结论

采用 1-MCP、乙烯吸附剂和 1-MCP+乙烯吸附剂对“锦绣”黄桃进行处理,研究不同处理对货架期内果实品质的影响。相比于单独使用 1-MCP

或者乙烯吸附剂,1-MCP+乙烯吸附剂联合处理的黄桃货架期保鲜效果最好,品质最佳。采用 PCA 法建立上述指标的数学模型并对 4 种处理方法进行综合评价,综合品质得分从高到低排序:1-MCP+乙烯吸附剂>1-MCP>乙烯吸附剂>CK,且 1-MCP+乙烯吸附剂与其它 3 个处理组存在明显的差异。综上所述,采用 1-MCP 或乙烯吸附剂处理均能延缓黄桃果实货架期品质的下降,且将二者联合使用效果更佳。

参 考 文 献

- [1] 宋悦,金鑫,毕金峰,等. 超声辅助渗透处理对热风干燥及真空冷冻干燥黄桃片品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 177-185.
SONG Y, JIN X, BI J F, et al. Effect of ultrasonic-assisted osmotic dehydration on the quality characteristics of hot air dried and vacuum freeze dried yellow peach chips [J]. Food Science, 2020, 41(15): 177-185.
- [2] 毕金峰,吕健,刘璇,等. 国内外桃加工科技与产业现状及展望[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(5): 7-15.
BI J F, LÜ J, LIU X, et al. Research on techniques and industry situation and prospect for peach processing in domestic and abroad [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(5): 7-15.
- [3] LYU J, ZHOU L, BI J, et al. Quality evaluation of yellow peach chips prepared by explosion puffing drying[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 8204-8211.
- [4] YANG X Z, CHEN J H, JIA L W, et al. Rapid and non-destructive detection of compression damage of yellow peach using an electronic nose and chemometrics[J]. Sensors, 2020, 20(7): 1866.
- [5] LI J, YAN J Q, CAO J K, et al. Preventing the wound-induced deterioration of Yali pears by chitosan coating treatments[J]. Food Science and Technology International, 2012, 18(2), 123-128.
- [6] 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.
- [7] DU M, JIA X Y, LI J K, 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] WATKINS C B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(4): 389-409.
- [9] CAI H F, AN X J, HAN S, et al. Effect of 1-MCP on the production of volatiles and biosynthesis-related gene expression in peach fruit during cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 141: 50-57.
- [10] ZHOU R, ZHANG G X, HU Y S, et al. Reductions in flesh discoloration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 985-992.
- [11] WANG Q, WEI Y Y, CHEN X Y, et al. Postharvest strategy combining maturity and storage temperature for 1-MCP-treated peach fruit[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(4): e14388.
- [12] 胡筱, 潘浪, 丁胜华, 等. 1-MCP 作用机理及其在果蔬贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 304-309, 316.
- HU X, PAN L, DING S H, et al. Research progress on the mechanism of action of 1-MCP and its application in postharvest fruits and vegetables storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(8): 304-309, 316.
- [13] DONG L, LURIE S, ZHOU H W. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of 'Canino' apricots and 'Royal Zee' plums[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(2): 135-145.
- [14] ZHANG Q, DAI W T, JIN X W, et al. Calcium chloride and 1-methylcyclopropene treatments delay postharvest and reduce decay of New Queen melon[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 1-10.
- [15] LIU H, JIANG W K, CAO J K, et al. Effect of chilling temperatures on physiological properties, phenolic metabolism and antioxidant level accompanying pulp browning of peach during cold storage[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 255(20): 175-182.
- [16] SHAHKOOMAHALLY S, CHANG Y, BRECHT J K, et al. Influence of rootstocks on fruit physical and chemical properties of peach cv. UFSun[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(1): 401-413.
- [17] 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, 2007: 39-41.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M, et al. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press Ltd, 2007: 39-41.
- [18] JIA Z S, TANG M C, WU J M. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 555-559.
- [19] MOKRANI A, MADANI K. Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit[J]. Separation and Purification Technology, 2016, 162: 68-76.
- [20] BONILLA E P, AKOH C C, SELLAPPAN S, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of Muscadine grapes[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2003, 51(18): 5497-5503.
- [21] LAVEDA F, NÚÑEZ-DELICADO E, GARCÍA-CARMONA F, et al. Proteolytic activation of latent paraguay peach PPO characterization of monophenolase activity[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2001, 49(2): 1003-1008.
- [22] MA Z X, YANG L Y, YAN H X, et al. Chitosan and oligochitosan enhance the resistance of peach fruit to brown rot[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 94(1): 272-277.
- [23] 张鹏, 秦骅, 李江阔, 等. 1-MCP、乙烯吸收剂双控对富士苹果贮后货架品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 179-188.
- ZHANG P, QIN H, LI J K, et al. Effect of 1-MCP combined with ethylene absorbent on the shelf quality of fuji apple after cold storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 179-188.
- [24] 赵猛, 阎根柱, 施俊凤, 等. 1-甲基环丙烯与乙烯吸收剂对黄金梨防褐保鲜效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(4): 42-48.

- ZHAO M, YAN G Z, SHI J F, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene absorbent on browning prevention and preservation of 'Whangkeumba' pear[J]. *Storage and Process*, 2019, 19(4): 42-48.
- [25] LIU H, CAO J K, JIANG W B. Evaluation and comparison of Vitamin C, Phenolic Compounds, Antioxidant properties and metal chelating activity of pulp and peel from selected peach cultivars[J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2015, 63(2): 1042-1048.
- [26] 阎根柱, 王春生, 王华瑞, 等. 1-MCP与乙烯吸收剂对猕猴桃果实采后生理及品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(22): 52-58.
- YAN G Z, WANG C S, WANG H R, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene absorbent on physiology and fruit quality of kiwifruit after harvest[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(22): 52-58.
- [27] ZHANG L H, LI S F, LIU X H, et al. Effects of ethephon on physicochemical and quality properties of kiwifruit during ripening[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 65: 69-75.
- [28] 毛惠娟, 王月, 吕云皓, 等. 乙烯利和1-MCP处理对库尔勒香梨表皮蜡质的影响[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(6): 216-230.
- MAO H J, WANG Y, LV Y H, et al. Effects of ethephon and 1-MCP treatments on the cuticular wax of korla Pear[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(6): 216-230.
- [29] ZHANG W L, ZHAO H, ZHANG J, et al. Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289(15): 160-168.
- [30] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 265-271.
- CAO S, MA C, LONG X B, et al. Effect of 1-MCP coupling with ethylene adsorbent treatment on storage quality and physiological of blueberry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 265-271.
- [31] LIU H, JIANG W B, CAO J K, et al. A combination of 1-methylcyclopropene treatment and intermittent warming alleviates chilling injury and affects phenolics and antioxidant activity of peach fruit during storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 229: 175-181.
- [32] 梁雅芹, 张元湖, 穆清泉, 等. 1-MCP对绿豆种子萌发过程中酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2009, 40(1): 21-26.
- LIANG Y Q, ZHANG Y H, MU Q Q, et al. Effect of 1-MCP on polyphenols and antioxidant activity response during mung bean germination[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2009, 40(1): 21-26.
- [33] 吴乾, 王艳芳, 蔚沐庭, 等. 红肉苹果果实酚类物质含量及抗氧化性测定[J]. *山西农业科学*, 2020, 48(11): 1763-1766, 1776.
- WU Q, WANG Y F, WEI M T, et al. Determination of phenolics content and antioxidant capacity of red-fleshed apple[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48(11): 1763-1766, 1776.
- [34] ZHAN L J, LI Y, HU J Q, et al. Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012, 14: 70-76.
- [35] 何靖柳, 段钰, 杜小琴, 等. 几种保鲜处理对红阳猕猴桃活性氧代谢的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(1): 225-231.
- HE J L, DUAN Y, DU X Q, et al. Influence of different preservations on antioxidation in Red Sun kiwifruit[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(1): 225-231.
- [36] 陈浩, 张润光, 付露莹, 等. 1-MCP与Na₂S₂O₅复合保鲜剂对'红提'葡萄采后生理及贮藏品质的影响[J]. *中国农业学报*, 2019, 52(7): 1192-1204.
- CHEN H, ZHANG R G, FU L Y, et al. Effects of 1-MCP and Na₂S₂O₅ composite preservative on postharvest physiology and storage quality of red globe grapes[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(7): 1192-1204.

Effect of 1-MCP Combined with Ethylene Absorbent on the Shelf-life Quality of Yellow Peach

Guo Zhixin^{1,2}, Sun Chang^{1,2}, Li Gaoyang^{1,2}, Su Donglin^{2*}, Liu Wei^{1,2}, Zhu Xiangrong^{1,2*}

(¹Graduate School of Longping Branch, Hunan University, Changsha 410125

²Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Hunan Provincial Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage, Processing and Quality Safety, Hunan Province International Joint Laboratory on Fruits and Vegetables Processing, Quality and Safety, Changsha 410125)

Abstract The effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) combined with ethylene absorbent (EA) on the shelf-life quality and physiology of yellow peach was investigated. ‘Jinxiu’ yellow peach was used as the material, and four treatments including the control (CK), 1-MCP (10 μ L/L), EA (3%) and 1-MCP-EA were employed, and the shelf-life quality and physiology of yellow peach of different methods were analyzed. The results showed that the decay rates at 10 days of shelf life were 86.7% in the CK group, 80% in the ethylene adsorbent group, 70% in the 1-MCP group, and 60% in the 1-MCP+ethylene adsorbent group, and the treatment of 1-MCP combined with ethylene absorbent (1-MCP-EA) effectively inhibited the rise of decay rate of yellow peach, reduced the occurrence of pulp browning, and delayed the decline of fruit hardness, soluble solids, titratable acid and vitamin C. At the meanwhile, the content of total flavonoids and total phenols is the highest, 808 mg/100 g and 559.6 mg/100 g, and the total antioxidant activity remains at a high level, while the activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) remain at a low level. Principal component analysis (PCA) was used for comprehensive comparative analysis through the obtained index data. According to the evaluation model, the overall quality scores of the four treatment groups were arranged in order from high to low: 1-MCP-EA > 1-MCP > EA > CK. Therefore, 1-MCP-EA has the best effect on the postharvest preservation, and can better maintain shelf-life quality of yellow peach.

Keywords yellow peach; 1-MCP; ethylene adsorbent; shelf-life; quality