

1-MCP 处理对早晚熟枇杷鲜果采后生理效应的影响

马佳佳¹, 隋思瑶¹, 黄桂丽¹, 李志强², 王毓宁¹

(1. 苏州市农业科学院, 苏州 215155; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 南京 210014)

摘要: **目的** 研究气调保鲜包装结合 1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 处理对枇杷采后生理效应的影响。 **方法** 以早晚熟“白玉”、“丰玉”枇杷为实验材料, 采用 1-甲基环丙烯对其进行处理, 再使用气调保鲜包装 (厚度 35 μm), 将其在冷藏温度为 $(6\pm 1)^\circ\text{C}$ 的条件下贮藏, 观察其采后生理变化特性及不同品种之间的贮藏性能差异。 **结果** 1-MCP 处理可抑制枇杷果实硬度、可溶性固形物含量和可滴定酸含量的下降, 延缓枇杷的褐变、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性的上升, 减少枇杷的腐烂率, 促进枇杷果实多酚氧化酶活性 (Polyphenoloxidase, PPO)、脂氧合酶 (Lipoxygenase, LOX) 活性的下降。枇杷品种白玉的呼吸速率、POD、PPO 活性及褐变指数较丰玉高, LOX 活性和丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量增加明显, 其硬度和营养成分含量较低; 丰玉的腐烂率高于白玉。 **结论** 采用气调保鲜包装结合 1-MCP 处理延缓了枇杷在冷藏过程中营养物质的下降, 进而延迟了枇杷褐变和衰老进程。其中早熟品种白玉枇杷的褐变发生率和膜脂过氧化程度更高。

关键词: “白玉”枇杷; “丰玉”枇杷; 1-MCP; 冷藏; 采后生理

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)01-0007-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.01.002

Effects of 1-MCP Treatment on Postharvest Physiology of the Early and Late-maturing Varieties of Loquat Fruits

MA Jia-jia¹, SUI Si-yao¹, HUANG Gui-li¹, LI Zhi-qiang², WANG Yu-ning¹

(1. Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 215155, China;

2. Jiangsu Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of modified atmosphere fresh-keeping packaging combined with 1-Methylcyclopropene (1-MCP) treatment on postharvest physiology of loquat fruits. The early and late-maturing varieties of "Baiyu" and "Fengyu" loquat fruits were selected as experimental materials, treated with 1-MCP and then stored at $(6\pm 1)^\circ\text{C}$ in modified atmosphere fresh-keeping packaging (thickness: 35 μm). The postharvest physiological characteristics and the difference in storage performances among different varieties were observed. The results showed that, the decrease of fruit hardness, soluble solids and titratable acid content could be inhibited, the browning of loquat and increase of peroxidase (POD) activity could be delayed, the rot rate of loquat could be reduced, and the decline of the activity of polyphenoloxidase (PPO) and Lipoxygenase (LOX) in loquat fruits was promoted with 1-MCP treatment. The respiration rate, POD and PPO activity and browning index of Baiyu loquat were higher, LOX activity and malondialdehyde (MDA) content increased significantly, and its hardness and nutrient content were lower than those of Fengyu. The rot rate of

收稿日期: 2018-10-19

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 (CX(17)3029), 苏州市科技计划 (SNG2017081)

作者简介: 马佳佳 (1989—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品保鲜加工。

通信作者: 王毓宁 (1979—), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬保鲜加工。

Fengyu loquat was higher than Baiyu. The modified atmosphere fresh-keeping packaging combined with 1-MCP treatment postpones the decline of nutrients and then delays the browning and senescence process of loquat during cold storage. The browning rate and membrane lipid peroxidation degree of early-maturing variety of Baiyu loquat were higher.

KEY WORDS: "Baiyu" loquat; "Fengyu" loquat; 1-MCP; cold storage; postharvest physiology

白沙枇杷果肉柔软多汁、酸甜适度、味道鲜美,被誉为“果中之皇”,深受江浙一带消费者喜欢^[1]。白玉于1983年被确定为江苏省发展的优良品种,是苏州当地的主栽早熟品种,单果平均质量为33 g,可溶性固形物质量分数为12.0%~14.6%,可食率为70.6%,不耐储。丰玉是2008年以后由江苏省太湖常绿果树技术推广中心从白沙枇杷中选育并推广的晚熟新品种,单果平均质量为45.5~53.4 g,可溶性固形物质量分数为14.8%~15.3%,可食率为72.1%,耐储性好。丰玉枇杷的品质、丰产性均优于白玉枇杷,种植于苏州的东、西山,且发展迅速^[2]。目前鲜有关于2种枇杷采后贮藏性能比较的研究报道。

近年来,人们研究发现1-MCP能明显阻止或延缓苹果、香蕉、梨、桃、猕猴桃等多种呼吸跃变型果实的乙烯产生,可使果品贮藏期和货架期大大延长。1-MCP具有无毒、低量、高效等优点,在果蔬贮运中具有极大的应用前景。Porat等^[3]在非呼吸跃变型果实柑橘中使用1-MCP,发现其具有减少冷害症状和果柄腐烂、抑制果皮褪绿等作用。庞学群^[4]研究了1-MCP对荔枝褐变、PPO以及POD活性调节的影响。Cao等^[5]等研究表明,1-MCP处理通过调节细胞壁多糖组分,增强了细胞壁强度,使得枇杷果皮具有保鲜效果。王宝亮等^[6]与关筱歆^[7]等分别对巨峰葡萄、玫瑰香葡萄这类软肉型葡萄进行了研究,研究表明1-MCP能够抑制果实硬度下降,显著降低果实腐烂率和果梗褐变指数。张鹏等^[8]的研究表明1-MCP处理能够对红提、夏黑等硬肉型葡萄货架期的衰老进程起到抑制作用。

枇杷果实在采摘转运过程中,易因挤压磕碰而出现机械损伤,采后在常温下贮藏20 d,腐烂率高达80%以上。贮藏过程中会出现失水、褐变、腐烂的现象,导致枇杷果实有效贮藏期和货架期短,给采后处理、贮藏保鲜带来了极大困难,因此,产地枇杷以即采即收即卖为主。这缩短了枇杷的上市期和供货期,成为制约当地枇杷产业发展的瓶颈。有学者采用纳米乳、壳聚糖等涂膜手段,再结合1-MCP在枇杷上的复合保鲜处理技术提高了果实采后的贮藏保鲜效果,但对于产地枇杷的贮藏可借鉴性不强。气调保鲜包装(Modified Atmosphere Packaging, MAP)与1-MCP两者结合不仅能为枇杷创造一个密闭熏蒸,即相对高CO₂、低O₂的微环境,而且能够通过物理手段阻隔外部细菌和气体进入枇杷,延缓枇杷失水,还能调

节枇杷的代谢以达到提高贮藏效果的目的。

文中拟通过研究气调保鲜包装结合1-MCP处理的方法对早晚熟枇杷品种在低温冷藏期间的果实呼吸强度、果实后熟与软化、果肉营养成分、生理病害、酶活性调节的影响,来系统、全面地研究枇杷品种之间的差异对1-MCP处理的影响程度。同时拟找到一种方便、高效、成本低且具有良好保鲜效果的产地保鲜技术,为商业化贮藏提供参考,并推动枇杷这种高营养价值和经济价值水果的产业发展。

1 实验

1.1 材料与处理

“白玉”“丰玉”枇杷采收于苏州市吴中区东山镇,挑选大小一致、色泽均匀、无损伤、无病虫害、九成成熟的果实带柄采摘,然后将果实分装于规格为30.5 cm×18.5 cm×15.5 cm的泡沫箱,每个泡沫箱中的枇杷质量约5.5 kg,重复3个平行实验。选取2种枇杷各一半果实仅用气调保鲜包装扎紧,记为白玉P、丰玉P。另一半果实上方均放置1-MCP(质量为1.25 g),再用气调保鲜包装扎紧,记为白玉P+1-MCP、丰玉P+1-MCP。所有处理组的枇杷在产地冷库同时进行预冷和熏蒸,且1-MCP药包持续到贮藏周期结束。所有果实在温度为(6±1)℃、相对湿度为85%~90%的条件下连续贮藏25 d,每隔5 d取一次样,观察其保鲜效果并测定相关指标。其中气调保鲜包装采用MAPfresh气调保鲜包装材料,购自中山市联亿包装材料有限公司,厚度为35 μm,规格为980 mm×950 mm; O₂透过量为1652 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa), CO₂透过量为18910 cm³/(m²·24 h·0.1 MPa),水蒸气透过率为8.809 g/(m²·24 h)。该产品依据纳米级微孔气调原理,集调气、保持水份、杀菌抑制腐烂等功能为一体,具有持久保鲜作用。

1.2 主要仪器设备与试剂

主要仪器设备有冷库(南京韩威南制冷集团有限公司)、TMS-PRO质构仪(美国FTC公司)、Checkmate 3型顶空分析仪(美国MOCON公司)、PAL-1型数显糖度计(日本ATAGO公司)、TU-1810型紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)、TGL-16M型冷冻离心机(湖南湘仪实验仪器开发有限公司)、ME104E电子天平(梅特勒-托利多仪

器(上海)有限公司)、DW-86W100 型超低温冰箱(青岛海尔有限公司)。

主要试剂有氢氧化钠、酚酞、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、愈创木酚、过氧化氢、邻苯二酚、聚乙烯吡咯烷酮、亚油酸、tween-20、硼酸、醋酸、醋酸钠、三氯乙酸、硫代巴比妥酸,均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。1-MCP 为 0.625 g/袋,原产地为美国。

1.3 测定指标与方法

1) 呼吸速率的测定参考文献[9]中的方法。

2) 硬度的测定参考文献[9]中的测定方法,并做了一定改进。每次取样时,4 组各取 6 个枇杷果实,且在每个果实的相邻部位测定 2 个值,取其平均值。

3) 可溶性固形物的测定参考文献[9]中的方法,并做一定改进。每次取样时,4 组各取 6 个枇杷果实,进行纵向对切,随后两边各挤出汁液进行读数,并取平均值。

4) 可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定,主要酸以苹果酸($K=0.067$)计。

5) 果皮褐变指数采用分级法统计,褐变指数= Σ (褐变级数 $\times$ 各级褐变果数)/调查果实总数,分级标准参考文献[10]。

6) 腐烂率的测定。统计腐烂个数并记录,腐烂率=(腐烂个数/总个数) $\times 100\%$ 。

7) 多酚氧化酶活性采用邻苯二酚比色法测定^[11],以每分钟反应液在 410 nm 处吸光值变化 0.01 为 1 个活力单位 U,测定结果的单位为 $U \cdot g^{-1}$ 。

8) 过氧化物酶活性采用愈创木酚比色法测定^[12-13],以每分钟反应液在 470 nm 处吸光值变化 0.01 为 1 个活力单位 U,测定结果的单位为 $U \cdot g^{-1}$ 。

9) 脂氧合酶的测定参考陈昆松^[14]的方法,测定结果用 $\Delta OD_{234}/(kg \cdot min)$ 表示, ΔOD_{234} 表示波长在 234 nm 下的吸光值的变化值。

10) 丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法。

1.4 数据处理与分析

试验中对照组和处理组的相关数据结果用平均值 $\pm$ 标准偏差(SD)表示,用 Excel 软件对试验数据进行制图;选用 SAS 9.4 软件进行统计分析;采用 Duncan's 多重比较法对差异显著性进行 ANOVA 检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间呼吸速率的影响

1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实呼吸速率的影响见图 1,可知在贮藏前期(10 d 内),1-MCP

处理的早晚熟枇杷的果实呼吸速率高于未处理组。这说明 1-MCP 处理对枇杷等非呼吸跃变型水果的呼吸强度影响并不显著,与 1-MCP 结合气调包装对枸杞^[15]呼吸速率的影响表现类似,因为 1-MCP 处理通常仅会抑制一些呼吸跃变型果蔬的呼吸速率。此外,1-MCP 处理的早晚熟枇杷果实呼吸速率升高可能是对外界处理导致环境胁迫的一种应答表现。在贮藏末期(25 d),1-MCP 处理的枇杷呼吸速率小于未处理组,主要是由于未处理组果实的腐烂率较高。

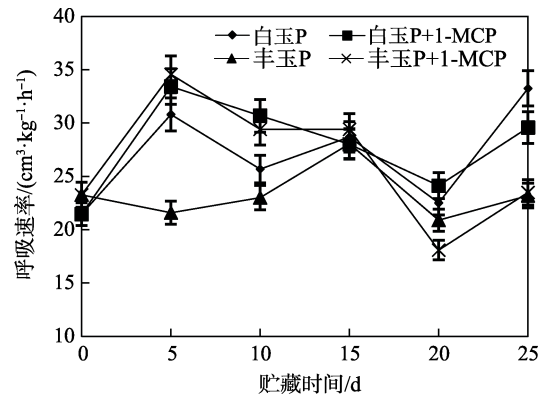


图 1 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实呼吸速率的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP treatment on respiration rate of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

由图 1 还可得知贮藏期间早熟白玉枇杷的呼吸速率要高于晚熟的丰玉枇杷;从第 10 d 开始,丰玉 P 的呼吸速率显著($P < 0.05$)小于白玉及丰玉 P+1-MCP。此外,统计分析得出整个贮藏期不同组间枇杷果实的呼吸速率有显著差异($P < 0.05$),多重比较表明白玉 P+1-MCP>白玉 P>丰玉 P+1-MCP>丰玉 P。

2.2 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间硬度的影响

早晚熟枇杷在低温冷藏过程中的硬度变化见图 2,可知贮藏前丰玉枇杷的硬度要高于白玉枇杷,超出 44.9%。贮藏期的丰玉果实硬度变化呈现先下降后上升的趋势,白玉枇杷呈现先上升后下降再上升的趋势,下降是果实的呼吸作用和细胞壁降解酶的影响所致^[10],是枇杷果实成熟衰老的表现。硬度是枇杷不同于其他果蔬的重要指标,冷藏条件下会出现类似于木质化败坏的硬度上升现象^[11],与 Zheng^[16]研究的“宁海白”枇杷在低温下的硬度变化一致,是白沙系列品种的共性。经过 1-MCP 处理的枇杷硬度略高于对照组,主要是因为 1-MCP 阻止了引起果实软化的细胞物质降解,抑制了果实软化相关酶的活性。统计分析得出整个贮藏期不同组间枇杷果实的硬度有显著差异($P < 0.05$),多重比较表明丰玉 P+1-MCP>丰玉 P>白玉 P+1-MCP>白玉 P。

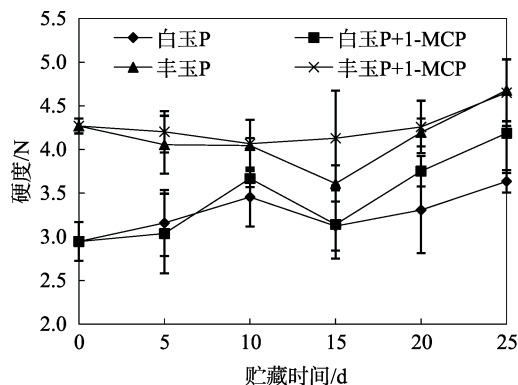


图2 1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实硬度的影响
Fig.2 Effect of 1-MCP treatment on hardness of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.3 1-MCP处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间可溶性固形物含量的影响

1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实可溶性固形物的影响见图3。可溶性固形物是判断果蔬采收时间和耐贮藏性的一个重要指标^[17]，由图3可知，丰玉枇杷的可溶性固形物含量高于白玉枇杷。贮藏过程中，2个品种的枇杷可溶性固形物含量均随着贮藏时间延长逐渐下降，经过1-MCP处理后，白玉枇杷的可溶性固形物含量下降速度渐缓。贮藏结束时，白玉P的损失率为13.2%，白玉P+1-MCP的损失率仅为2.0%；丰玉P的损失率为18.3%，丰玉P+1-MCP的损失率为19.6%，说明1-MCP处理对早熟品种白玉枇杷的可溶性固形物含量下降的抑制效果更佳。经统计分析得出，整个贮藏期不同组间枇杷果实的可溶性固形物有显著差异（ $P<0.05$ ），多重比较表明丰玉P+1-MCP>丰玉P>白玉P+1-MCP>白玉P。

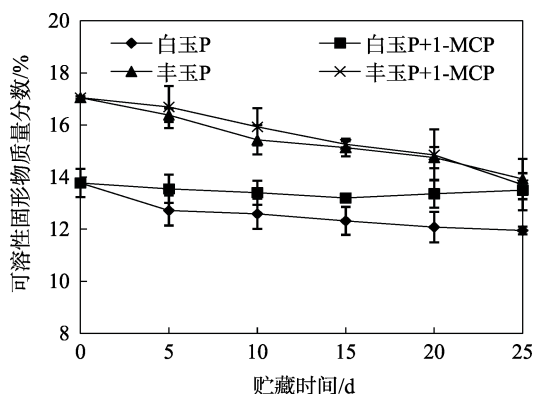


图3 1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP treatment on soluble solid of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.4 1-MCP处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间可滴定酸含量的影响

1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实可滴定

酸的影响见图4。可滴定酸是反映枇杷果实风味品质的重要指标之一，由图4可知，1-MCP熏蒸处理能明显延缓白玉与丰玉枇杷可滴定酸含量的下降，这与俞静芬^[18]采用1-MCP与微孔膜气调包装对红阳猕猴桃的研究结果一致。贮藏结束时，丰玉P+1-MCP处理组的可滴定酸含量下降了31.8%，白玉P+1-MCP处理组下降了33.3%，而未处理组分别下降了45.5%，48.1%，由此可知，丰玉枇杷的下降速度要低于白玉。统计分析得出整个贮藏期不同组间枇杷果实的可滴定酸有显著差异（ $P<0.05$ ），多重比较表明丰玉P+1-MCP>丰玉P>白玉P+1-MCP>白玉P。

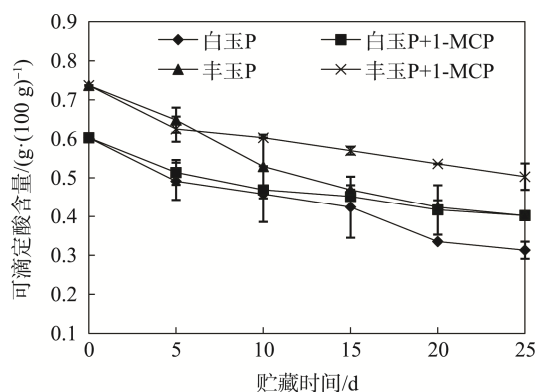


图4 1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实可滴定酸含量的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP treatment on titratable acid of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.5 1-MCP处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间褐变指数的影响

1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实褐变指数的影响见图5。采后枇杷在受到机械损伤时，极易发生果皮褐变，果皮褐变则会严重影响枇杷果实的商品价值。由图5可知，经过1-MCP处理的白玉枇杷整个贮藏期褐变程度明显低于未处理组，而丰玉枇杷

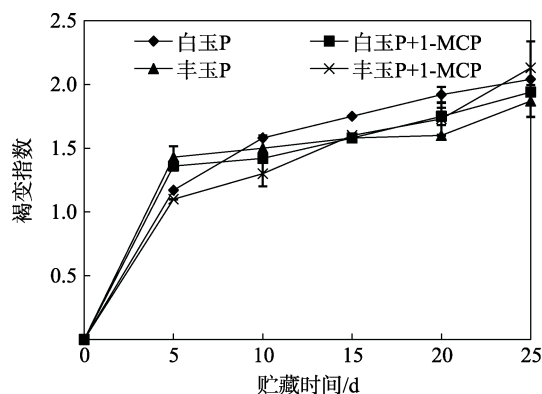


图5 1-MCP处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实褐变指数的影响

Fig.5 Effect of 1-MCP treatment on browning index of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

经过 1-MCP 处理后褐变程度在贮藏前期较低, 15 d 后褐变程度高于未处理组。经 1-MCP 处理的丰玉枇杷的褐变进程效应受到贮藏时间的影响, 在贮藏后期, 1-MCP 处理对丰玉枇杷不起作用, 这与何近刚等^[19]采用 1-MCP 处理抑制“红富士”苹果果柄端果肉和果心褐变试验的结论一致。未处理组的白玉枇杷褐变指数高于丰玉, 经 1-MCP 处理后, 白玉与丰玉枇杷的褐变指数差异缩小, 且在贮藏末期处理组丰玉的褐变程度高于白玉。统计分析得出整个贮藏期不同组间枇杷果实的褐变指数有显著差异 ($P<0.05$), 多重比较表明白玉 P>白玉 P+1-MCP>丰玉 P>丰玉 P+1-MCP。

2.6 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期间腐烂率的影响

腐烂率是果实运输和贮藏过程中最能直观判断果实贮藏品质和反映保鲜效果的指标^[11]。早晚熟枇杷在贮藏 25 d 后的腐烂率情况见图 6。经过 1-MCP 处理后, 枇杷腐烂率下降, 其中白玉枇杷腐烂率占未经 1-MCP 处理的 88.7%, 丰玉枇杷占 94.7%。这与姚亚明等^[20]采用 1-MCP 处理结合纳米包装检测金针菇采后腐烂程度试验的结果类似。在贮藏过程中丰玉枇杷腐烂的情况要比白玉枇杷严重, 超出了果实商品性的限值 (腐烂率 $\leq 25\%$), 因此丰玉枇杷的耐贮性要比白玉低, 主要是丰玉枇杷与白玉枇杷果实内部所含成分的数量差异所致。

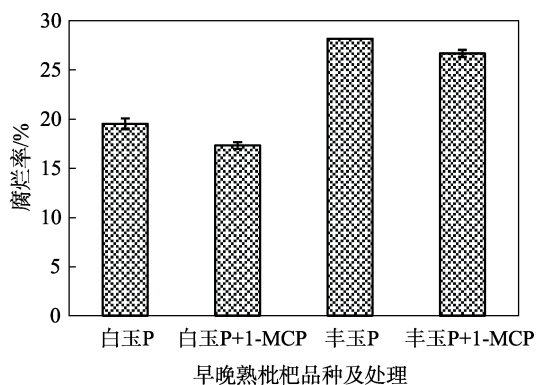


图 6 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实腐烂率的影响

Fig.6 Effect of 1-MCP treatment on rot rate of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.7 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期 POD 活性的影响

POD 可分解 H_2O_2 和催化果实中酚类物质的氧化聚合反应, 并引发果实的褐变和木质素的合成^[11]。1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期 POD 活性的影响见图 7。对照组枇杷的 POD 活性呈现持续增加趋势, 经 1-MCP 处理的枇杷 POD 在贮藏 15~20 d 达到活性高峰后下降。其中 1-MCP 处理后的枇杷能够延

缓 POD 活性的上升, 也能抑制褐变指数的上升 (见图 5), 而且白玉的褐变指数和 POD 活性均高于丰玉。统计分析得出整个贮藏期不同组间枇杷果实的 POD 活性有显著差异 ($P<0.05$), 多重比较表明白玉 P>白玉 P+1-MCP>丰玉 P>丰玉 P+1-MCP。

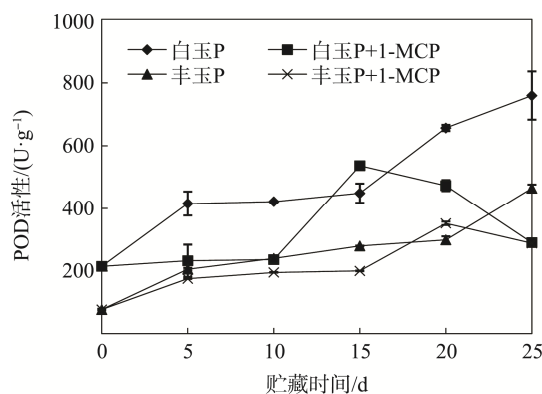


图 7 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 POD 活性的影响

Fig.7 Effect of 1-MCP treatment on POD activity of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.8 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期 PPO 活性的影响

1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 PPO 活性的影响见图 8。PPO 可催化果实中的多酚类物质氧化成醌类化合物, 进而引起果实褐变, 是决定果蔬组织褐变程度的一个重要因素^[21]。由图 8 可知, 丰玉枇杷在贮藏期的 PPO 活性均值低于白玉枇杷, 这与褐变指数和 POD 活性变化趋势类似, 也说明了白玉枇杷较丰玉枇杷容易褐变。1-MCP 处理对果实 PPO 活性的影响比较复杂, 在贮藏前期抑制了 PPO 的活性, 在贮藏后期提高了果实 PPO 的活性, 这与许丽敏^[22]等的研究结果一致。早晚熟枇杷 PPO 活性在贮藏后期均出现活性高峰后下降, 对照组的 PPO 活性处于

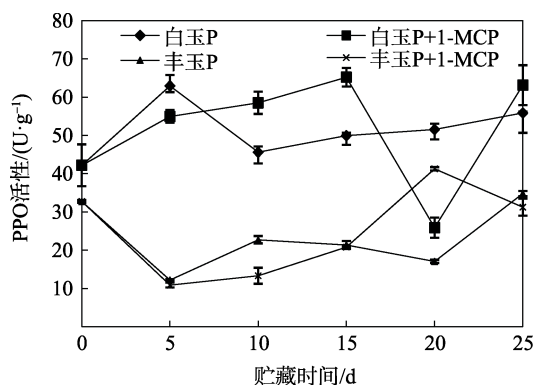


图 8 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 PPO 活性的影响

Fig.8 Effect of 1-MCP treatment on PPO activity of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

持续增加趋势, 1-MCP 处理虽不能较好抑制 PPO 活性上升和活性峰值, 但能促进它的降低。统计分析显示整个贮藏期不同组间枇杷果实的 PPO 活性有显著差异 ($P<0.05$), 多重比较表明白玉 P+1-MCP>白玉 P>丰玉 P+1-MCP>丰玉 P。

2.9 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期 LOX 活性的影响

果蔬组织衰老时伴随着 LOX 活性的升高, LOX 可启动膜脂过氧化作用, 催化形成氢过氧化物、自由基等促进衰老的物质^[23]。早晚熟枇杷在贮藏期的 LOX 活性变化趋势见图 9, 呈现先增加后下降的趋势, LOX 活性上升可能是低温胁迫导致脂质过氧化增强造成的^[24], 也与枇杷果实成熟和细胞膜脂过氧化作用的启动有关^[25-26]。经过 1-MCP 处理的白玉与丰玉枇杷 LOX 活性上升明显, 不仅活性高峰出现的时间 (10 d) 较对照组 (20 d) 提前, 而且峰值也较对照组的大, 这与 1-MCP 加聚乙烯袋包装处理青皮核桃^[19]有效抑制 LOX 活性和推迟冷藏期“花牛”苹果^[27]酶活性高峰出现的结论不一致, 这可能是果实的品种差异所致, 也可能是低温导致 1-MCP 气体渗入枇杷果实组织的能力下降或与受体结合的能力降低所致。统计分析得出贮藏 15 d 内不同组间枇杷果实的 LOX 活性有显著差异 ($P<0.05$), 多重比较表明丰玉 P+1-MCP>白玉 P+1-MCP>丰玉 P>白玉 P。从贮藏 20 d 开始直至贮藏结束, 不同组间枇杷果实的 LOX 活性无差异 ($P>0.05$), 1-MCP 处理有效促进了枇杷 LOX 活性的降低。

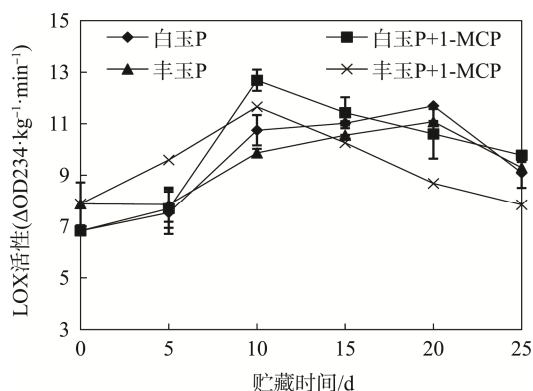


图9 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 LOX 活性的影响

Fig.9 Effect of 1-MCP treatment on LOX activity of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

2.10 1-MCP 处理对早晚熟枇杷果实贮藏期 MDA 含量的影响

1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 MDA 含量的影响见图 10。MDA 是 LOX 催化细胞中的脂类物质与活性氧物质反应生成的过氧化产物, MDA 含

量积累过高将导致果实败坏变质。由图 10 可知, 早晚熟枇杷在贮藏结束时, MDA 含量总体呈增加趋势, 白玉 P、白玉 P+1-MCP、丰玉 P、丰玉 P+1-MCP 的 MDA 含量较新鲜样品分别增加了 22.3%, 31.6%, 20.4%, 25.3%。1-MCP 处理的白玉枇杷 MDA 含量在贮藏后期高于未处理组, 丰玉枇杷经 1-MCP 处理后在贮藏前期 MDA 含量较高, 与 LOX 活性较高且活性高峰出现时间较早表现 (见图 9) 一致, 1-MCP 处理可能是通过提高 LOX 活性而促进丰玉枇杷果实后熟的。由图 10 所知, 丰玉枇杷的 MDA 含量起始时高于白玉, 采后前 5 d MDA 含量上升, 随后持续下降 10 d, MDA 含量达到最低值, 此后再增加, 与白玉枇杷在贮藏中的 MDA 含量变化趋势不完全一致, 导致最终的 MDA 增长量受到影响。统计分析得出贮藏前 10 d 不同组间枇杷果实的 MDA 含量有显著差异 ($P<0.05$), 多重比较表明丰玉 P+1-MCP>丰玉 P>白玉 P+1-MCP>白玉 P。从贮藏 15 d 开始直至贮藏结束, 不同组间枇杷果实的 MDA 含量无差异 ($P>0.05$)。

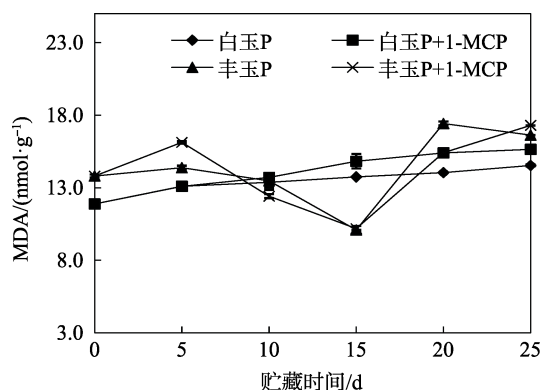


图10 1-MCP 处理对早晚熟枇杷贮藏期间果实 MDA 含量的影响

Fig.10 Effect of 1-MCP treatment on MDA content of the early and late-maturing varieties of loquats during storage

3 结语

1-MCP 处理可抑制枇杷果实的软化, 延缓可滴定酸的下降, 保持较高的可溶性固形物含量, 其中对早熟品种白玉枇杷的可溶性固形物含量下降的抑制效果更佳, 丰玉枇杷可滴定酸含量的下降速度要低于白玉。1-MCP 处理能够抑制枇杷褐变指数、延缓枇杷 POD 活性的上升和减少枇杷腐烂的发生率, 且能促进 PPO, LOX 活性的下降, 一定程度上抑制枇杷果实氧化胁迫上升和膜脂氧化进程。1-MCP 处理不能抑制枇杷在贮藏过程中的呼吸代谢速率, 且不能阻止果实在贮藏后期的硬度上升。

在低温冷藏过程中, 白玉枇杷的呼吸速率要高于丰玉枇杷, 而呼吸代谢以糖、酸为主要消耗底物, 这与丰玉枇杷有着较高的硬度、可溶性固形物及可滴定

酸含量表现一致。由褐变指数可知,白玉枇杷比丰玉枇杷更容易褐变,此外,其 POD、PPO 活性均高于丰玉,而 PPO 和 POD 是参与多酚反应并引起果实褐变的主要酶类。LOX、MDA 均是参与果实后熟衰老的关键酶与重要过氧化产物,白玉枇杷 LOX 活性高以及 MDA 含量增加较多,表明该品种的枇杷在贮藏过程中更易发生膜脂过氧化,导致活性氧代谢紊乱和细胞膜的降解,因此果实更易衰老。丰玉枇杷在贮藏中腐烂发生率比白玉严重,可能与丰玉的成熟度有关,但果实遭受田间及贮藏微生物侵染的可能性更大。

气调保鲜包装结合 1-MCP 复合处理能有效保持枇杷果实的风味口感,对枇杷果实成熟衰老的影响受到枇杷品种、贮藏时间和 1-MCP 效应发挥等因素的控制。早熟品种白玉枇杷的褐变发生率和膜脂过氧化程度更高,而晚熟品种丰玉容易腐烂,至于引起不同品种采后褐变、腐烂表现差异的诱因和机理还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘恒蔚, 颜婕, 袁卫明, 等. 白沙枇杷采后果皮与果肉活性氧代谢差异研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(1): 151—153.
LIU Heng-wei, YAN Jie, YUAN Wei-ming, et al. Differences in Active Oxygen Metabolism between Peel and Pulp of Baisha Loquat after Harvest[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(1): 151—153.
- [2] 朱裕忠, 周坤杰, 席为君. 枇杷品种丰玉和白玉丰产性对比分析[J]. 园艺与种苗, 2014(8): 6—7.
ZHU Yu-zhong, ZHOU Kun-jie, XI Wei-jun. Comparative Analysis on High Yield Characteristics of Loquat Varieties Fengyu and Baiyu[J]. Horticulture & Seed, 2014(8): 6—7.
- [3] PORAT R, WEISS B, COHEN L, et al. Effects of Ethylene and 1-Methylcyclopropene on the Postharvest Qualities of "Shamouti" Oranges[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 15: 155—163.
- [4] 庞学群, 张昭其, 段学武, 等. 乙烯与 1-甲基环丙烯对荔枝采后果皮褐变的影响[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 11—14.
PANG Xue-qun, ZHANG Zhao-qi, DUAN Xue-wu, et al. The Effects of Ethylene and 1-Methylcyclopropene on Pericarp Browning of Postharvest Lychee Fruit[J]. Journal of South China Agricultural University, 2001, 22(4): 11—14.
- [5] CAO S F, ZHENG Y H, WANG K T, et al. Effect of 1-methylcyclopropene Treatment on Chilling Injury, Fatty Acid and Cell Wall Polysaccharide Composition in Loquat Fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(18): 843—8443.
- [6] 王宝亮, 王志华, 王孝娣, 等. 1-MCP 对巨峰葡萄贮藏效果研究[J]. 中国果树, 2013(3): 45—47.
WANG Bao-liang, WANG Zhi-hua, WANG Xiao-di, et al. Study on Storage Effect of 1-MCP on Kyoho Grape[J]. China Fruits, 2013(3): 45—47.
- [7] 关筱歆. 1-MCP 结合 ClO₂ 对鲜食葡萄冰温保鲜效果及衰老生理的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
GUAN Xiao-xin. Study of 1-MCP+ClO₂ on Controlled Freezing-point Storage Preservation Technology and Aging Regulatory Mechanism of the Table Grape[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012.
- [8] 张鹏, 邵丹, 李江阔, 等. 1-MCP 对硬肉型葡萄货架期间品质及挥发性物质的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(4): 219—227.
ZHANG Peng, SHAO Dan, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP on Quality and Volatile Components of Hard Meat-type Grapes during Shelf Life[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(4): 219—227.
- [9] 马佳佳, 隋思瑶, 丁青青, 等. 低 O₂ 高 CO₂ 对常温贮藏白玉枇杷品质及活性氧代谢的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(5): 1089—1096.
MA Jia-jia, SUI Si-yao, DING Qing-qing, et al. Effect of Lower O₂ Higher CO₂ Gas Component on Qualities and Active Oxygen Metabolism of Baiyu Loquat Stored at Room Temperature[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(5): 1089—1096.
- [10] 杨松夏, 吕恩利, 陆华忠, 等. 不同保鲜运输方式对荔枝果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 225—232.
YANG Song-xia, LYU En-li, LU Hua-zhong, et al. Effects of Different Fresh-keeping Transportation Modes on Quality of Litchi Fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 225—232.
- [11] 孙正烜, 陈惠云, 杨虎清, 等. 纳米乳涂膜和 1-甲基环丙烯处理对枇杷果实保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 39(23): 257—262.
SUN Zheng-xuan, CHEN Hui-yun, YANG Hu-qing, et al. Effect of Nanoemulsion Coatings and 1-MCP on Retain Quality of Loquat Fruit[J]. Food Science, 39(23): 257—262.
- [12] 邓雨艳, 明建, 张昭其, 等. 壳聚糖诱导脐橙果实抗病性、水杨酸及活性氧代谢变化[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 812—820.
DENG Yu-yan, MING Jian, ZHANG Zhao-qi, et al. Effect of Chitosan on Salicylic Acid and Active Oxygen Metabolism of Navel Orange Fruit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(4): 812—820.
- [13] 李文文, 吴光斌, 陈发河. 秋水仙碱处理对采后莲雾果实冷藏期间品质、活性氧代谢和能量代谢的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 272—279.
LI Wen-wen, WU Guang-bin, CHEN Fa-he. Effects of Inducer Treatment on Physiological Quality, Active Oxygen and Energy Metabolism of Postharvest Wax Apples during Cold Storage[J]. Food Science, 2016,

- 37(16): 272—279.
- [14] 陈昆松, 徐昌杰, 许文平, 等. 猕猴桃和桃果实脂氧合酶活性测定方法的建立[J]. 果树学报, 2003, 20(6): 436—438.
CHEN Kun-song, XU Chang-jie, XU Wen-ping, et al. Improved Method for Detecting Lipxygenase Activity from Kiwifruit and Peach Fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6): 436—438.
- [15] 王瑞庆, 冯建华, 魏雯雯, 等. 1-MCP 处理和气调包装对枸杞鲜果低温贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 287—292.
WANG Rui-qing, FENG Jian-hua, WEI Wen-wen, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and Modified Atmosphere Packaging on Quality Retention during Cold-temperature Storage of Lycium Barbarum Fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(19): 287—292.
- [16] CAO S F, YANG Z F, ZHENG Y H. Sugar Metabolism in Relation to Chilling Tolerance of Loquat Fruit[J]. Food Chemistry, 2013, 136: 139—143.
- [17] 陈学玲, 张莉会, 严守雷, 等. 包装材料对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 246—250.
CHEN Xue-ling, ZHANG Li-hui, YAN Shou-lei, et al. Effects of Packaging Materials on Storage Quality of Fresh-cut Broccoli[J]. Food Science, 2018, 39(13): 246—250.
- [18] 俞静芬, 尚海涛, 凌建刚, 等. 1-MCP 结合微孔保鲜膜对猕猴桃出库货架期品质影响研究[J]. 农产品加工, 2018(2): 4—5.
YU Jing-fen, SHANG Hai-tao, LING Jian-gang, et al. 1-MCP Combined with Microporous Preservative Film Influence on Kiwifruit Storage Shelf Quality[J]. Farm Products Processing, 2018(2): 4—5.
- [19] 何近刚, 冯云霄, 程玉豆, 等. 采后 1-MCP 和 MAP 处理对“红富士”苹果冷藏和货架期品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 301—306.
HE Jin-gang, FENG Yun-xiao, CHENG Yu-dou, et al. Effects of Postharvest 1-MCP and MAP Treatments on Physiological Characteristics and Quality of "Fuji" Apple during Cold Storage and Subsequent Shelf Life[J]. Food Science, 2016, 37(22): 301—306.
- [20] 姚亚明, 任月月, 刘芮, 等. 1-MCP 处理结合纳米包装对金针菇贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 295—300.
YAO Ya-ming, REN Yue-yue, LIU Rui, et al. Effect of 1-MCP Treatment Combined with Nano-packaging on the Quality of Flammulina Velutipes[J]. Food Science, 2016, 37(22): 295—300.
- [21] 陈文烜, 郜海燕, 陈杭君, 等. 1-MCP 结合减压贮藏对翠冠梨采后生理和品质的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 227—232.
CHEN Wen-xuan, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effects of 1-MCP Treatment Combined with Hypobaric Storage on Postharvest Physiology and Quality of Cuiguan Pear[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(4): 227—232.
- [22] 许丽敏, 韩艳文, 姜微波, 等. D-VCNa 结合 1-MCP 对杏梅贮藏品质及特性的影响[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 28—34.
XU Li-min, HAN Yan-wen, JIANG Wei-bo, et al. Effects of D-VCNa Combined with 1-MCP Treatment on Storage Quality and Characteristics of Apricot Fruit[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 28—34.
- [23] 郭园园, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 1-MCP 处理复合薄膜包装对青皮鲜核桃采后品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 252—257.
GUO Yuan-yuan, LU Xiao-xiang, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP and Film Packaging Treatments on Postharvest Quality of Green Walnuts[J]. Food Science, 2014, 35(10): 252—257.
- [24] SUKHVINDER P S, ZORA S. Postharvest Oxidative Behaviour of 1-methylcyclopropene Treated Japanese Plums (*Prunus Salicina* Lindell) during Storage under Controlled and Modified Atmospheres[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 74(3): 26—35.
- [25] 吴敏, 陈昆松, 张上隆. 桃果实采后成熟过程中脂氧合酶活性变化[J]. 园艺学报, 1999, 26(4): 227—231.
WU Min, CHEN Kun-song, ZHANG Shang-long. Involvement of Lipxygenase in the Postharvest Ripening of Peach Fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(4): 227—231.
- [26] SONG H W, YUAN W M, JIN P, et al. Effects of Chitosan/Nano-silica on Postharvest Quality and Antioxidant Capacity of Loquat Fruit during Cold Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 136: 139—143.
- [27] 吴小华, 颀敏华, 王宝春, 等. 1-MCP 对冷藏花牛苹果生理活性及香气合成相关酶活性的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018(2): 1—5.
WU Xiao-hua, XIE Min-hua, WANG Bao-chun, et al. Effects of 1-MCP on Physiological Activity and Enzyme Activity Related to Aroma Components of Huaniniu Apples during Cold Storage[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2018(2): 1—5.