

1-MCP 处理保持库尔勒香梨常温贮藏抗氧化酶活性与品质的关系

杜林笑, 赵晓敏, 李丹, 马楠, 李学文

(新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 以库尔勒香梨为实验原料, 选用 1.0 $\mu\text{L/L}$ 的 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 在 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行熏蒸处理, 以蒸馏水熏蒸作为对照组, 将处理后的香梨果实放入常温贮藏库 (22 $^{\circ}\text{C}$ ~25 $^{\circ}\text{C}$ 、RH 80%~85%) 中贮藏。每隔 5 d 测定果实 CAT (过氧化氢酶)、POD (过氧化物酶)、SOD (超氧化物歧化酶) 活性、色度角、硬度、呼吸速率、细胞膜渗透率、MDA (丙二醛) 含量、油渍化指数、蜡质含量。结果表明: 在常温贮藏期间, 与对照组相比, 1-MCP 处理可以保持香梨果实较高的 CAT、POD、SOD 活性; 减缓了果实色度角、硬度的下降; 延缓了果实呼吸速率、细胞膜渗透率、MDA 含量的上升; 抑制了果实油渍化指数、蜡质含量的上升。1-MCP 处理组和对照组果实油渍化指数与蜡质含量呈极显著正相关, 相关系数为 0.948**、0.898**, 果实 CAT 活性与呼吸速率的相关系数为 0.846*、0.832*。说明 1-MCP 处理可以保持果实抗氧化酶的活性和品质, 延缓果实衰老的进程。

关键词: 库尔勒香梨; 1-甲基环丙烯; 抗氧化酶活性; 品质

文章编号: 1673-9078(2018)11-95-102

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.016

Relationship between 1-MCP Treatment and Antioxidant Enzyme Activities and Quality of Korla Fragrant Pear during Room-Temperature Storage

DU Lin-xiao, ZHAO Xiao-min, LI Dan, MA Nan, LI Xue-wen

(College of Food Science and Pharmaceutics, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Using Korla fragrant pear as raw material, 1.0 $\mu\text{L/L}$ of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment was used under the condition of 25 $^{\circ}\text{C}$ for fumigation processing, with distilled water as control group. After fragrant pear fruits were stored under the normal temperature library (22 $^{\circ}\text{C}$ ~25 $^{\circ}\text{C}$ 、RH 80%~85%), the fruit enzymes CAT (catalase), POD (peroxidase) and SOD (superoxide dismutase) activity, Hue-angle, firmness, respiration rate, cell membrane permeability, MDA (malondialdehyde) content, greasiness level and wax content were measured every 5 days. The results showed that 1-MCP treatment could maintain high CAT, POD and SOD activity of pear fruits compared with control; slow down the decrease of fruits Hue-angle and firmness; delay the increase of fruits respiration rate, cell membrane permeability and malondialdehyde content, inhibit the increase of greasiness level and wax content. The greasiness level of the 1-MCP treatment group and the control group showed a significant positive correlation with the wax content, and the correlation coefficient was 0.948** and 0.898**, respectively. The correlation coefficient between CAT activity and respiration rate of 1-MCP treatment group and control group was 0.846* and 0.832*, respectively. 1-MCP treatment can maintain the activity of antioxidant enzymes in fruits, maintain the quality of fruits, and delay the process of fruits senescence.

Key words: Korla fragrant pear; 1-methylcyclopropene; antioxidant enzyme activities; quality

收稿日期: 2018-07-11

基金项目: 新疆自然科学基金项目 (2015N012); 新疆自治区研究生科研创新项目 (XJGR12017071); 新疆农业大学与中国农业大学合作基金 (2016D01A042)

作者简介: 杜林笑 (1991-), 女, 硕士, 果蔬采后生理及贮藏保鲜技术通讯作者: 李学文 (1964-), 男, 博士, 教授, 果蔬采后生理及贮藏保鲜技术

库尔勒香梨 (*Pyrus sinkiangensis* Yü) 属新疆梨种, 原产于新疆巴州、阿克苏等地区, 主要分布于巴州的库尔勒市、尉犁县、轮台县, 阿克苏地区的库车县、沙雅县、阿克苏市, 有一千多年的栽培历史, 是新疆特色水果之一, 因其味甜肉脆、皮薄多汁、石细胞少深受广大消费者的青睐^[1]。据统计, 2015 年香梨产量达到 70 万 t, 占全疆梨产量的 61.41%^[2]; 巴州为大陆

性气候,有充足的光热;阿克苏地区为暖温带干旱型气候,降水量少,有较多的晴天和较长的日照时间,利于果实糖分的积累。香梨为呼吸跃变型果实^[1],耐贮藏,但在贮藏期间,果实的色度角会因叶绿素的分解而下降;组分降解导致果实硬度下降;果皮出现由光洁到油腻粘手的现象,称之为油渍化现象;果实表皮有一层易溶于有机溶剂的脂类混合物,将其称为蜡质,影响果实水分平衡、气体交换^[3,4];果实色度角、硬度的变化和油渍化等现象均影响果实的品质和商品价值。目前,随着生活水平的提高,消费者更加关注食品的安全问题,因此,选用安全无毒的保鲜剂保持果实的贮藏品质显得尤为重要。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene,1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂,延缓果蔬衰老、增强对生理性或侵染性病害的抵御能力^[5],因其成本低、安全无毒、使用量少等特点而被广泛应用,以达到延长贮藏期和保持果实品质的目的。相关研究表明,1-MCP处理能够保持巴特利特梨、金莓果果实的色度角^[6,7];延缓梨果实硬度的下降^[8,9];降低杏、油桃、黄冠梨果实的呼吸速率^[10-12];减缓青枣、油棕果实细胞膜渗透率的上升^[13,14];抑制脆肉梨果实MDA含量的增加^[15];对“粉红女士”苹果果实油渍化指数和蜡质含量有一定的抑制作用^[16];调节菠萝果实CAT、POD、SOD的活性^[17]。目前,对香梨果实常温贮藏期间抗氧化酶活性、品质和相关性的研究尚未见报道,本实验以库尔勒香梨为试材,研究常温贮藏期间香梨果实CAT、POD、SOD的活性、色度角、硬度、呼吸速率、细胞膜渗透率、MDA含量、油渍化指数、蜡质含量的变化以及相关性的研究,以此丰富香梨采后贮藏理论知识。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

采摘于2017年9月15日铁门关市26团的成龄商品果园,采收带有果柄,挑选果皮色泽基本一致、果形整齐、无机械损伤、无病虫害的果实(可溶性固形物含量 $(12.0\pm 0.5)\%$),拷白纸(24 cm×16 cm)包果实,外套网袋后装入45 cm×27 cm×21 cm的瓦楞纸箱(平均单果重为 (120 ± 10) g),次日运至新疆农业大学食品科学与药学院果蔬贮藏运输保鲜技术实验室。

1-MCP(1-甲基环丙烯),美国罗门哈斯中国公司;GY-4 硬度计,浙江省建德市梅城电化分析仪器厂;NH310 电脑色差仪,深圳市三恩驰科技有限公司;0~150 mm 游标卡尺,上海九量五金工具有限公司;KQ-250DE 超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;

GL-20G-II 高速冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;WYT-J 手持糖度计,成都豪创光电仪器有限公司;ML204 电子分析天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;UV-2600 紫外分光光度计,日本岛津(中国)有限公司;氯仿(色谱纯),天津市风船化学试剂科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

根据杜林笑等^[18]筛选的浓度,参考李学文等^[19]的方法,将香梨果实放入塑料周转箱(每箱80个)中,放置在由PE膜(0.1 mm厚)制成的密封的1 m³帐中,精确称量1.6 g 1-MCP粉剂(0.14%,聪明鲜粉剂)放入50 mL烧杯中,放入PE帐内,按1:5(m/V)加入去离子水,轻摇,迅速密封PE帐,其产生的1-MCP量为1.0 μL/L,在25℃条件下,熏蒸24 h后,揭开PE帐,通风30 min。处理结束后,将处理组和对照组果实装入纸箱内,贮藏于22~25℃、RH 80%~85%的常温贮藏库(50 m³)中。于0 d、5 d、10 d、15 d、20 d、25 d取样测定相应指标。每个处理30箱香梨,重复3次。CAT、POD、SOD活性和丙二醛含量的测定,取样为每处理每次取15个香梨,切取带果皮的果肉(除去果核),迅速用液氮进行冷冻,冷冻后贮藏至-80℃低温冰箱中。

1.2.2 CAT活性的测定

参照曹建康^[20]的方法并略有改进。称取2.0 g冻样,加入5.0 mL 0.05 mmol/L磷酸缓冲液(降低酶溶液的浓度)。重复5次,取平均值,CAT活性以U/g FW min表示。

1.2.3 POD活性的测定

参照曹建康^[20]的方法并略有改进。称取2.0 g冻样,加入5.0 mL 0.05 mmol/L磷酸缓冲液(降低酶溶液的浓度)。重复5次,取平均值,POD活性以U/g FW min表示。

1.2.4 SOD活性

参照氮蓝四唑(NBT)还原法测定^[20],重复5次,取平均值,SOD活性以U/g FW表示。

1.2.5 色度角的测定

参照齐会楠^[21]方法,每处理每次取30个果实,沿果实赤道4等分点测定a*、b*的值,取平均值,单位为度。

1.2.6 硬度的测定

参考李学文等^[22]方法,每次随机取30个果实,沿果实的赤道线均匀取4个点,削去果皮后测定,取平均值,单位为kg/cm²。

1.2.7 呼吸速率的测定

采用静置法测定^[20], 每次随机取 10 个果实, 重复 3 次, 取平均值, 单位为 mg CO₂/kg h。

1.2.8 细胞膜渗透率的测定

参照曹建康^[20]的方法, 每次随机取 8 个果实, 将果实用蒸馏水清洗干净, 晾干, 先用打孔器沿赤道部位对称打取相同大小 (直径 8 mm) 香梨果肉, 再用刀片将果肉切成相同厚度 (2 mm) 的薄片, 每个处理取 15 片圆片放入烧杯中, 用 40 mL 蒸馏水冲洗 5 次, 最后一次冲洗后的蒸馏水不倒掉, 用电导率仪测定, 测定电导率, 煮沸 5 min 后加蒸馏水至 40 mL 放至常温再次测定电导率, 重复 3 次, 取平均值, 单位为%。

1.2.9 丙二醛含量的测定

采用硫代巴比妥酸法^[20]测定, 重复 3 次, 取平均值, 单位为 μmol/g FW。

1.2.10 油渍化指数的测定

果皮“油渍化”感官评定参照赵晓敏等^[23]的方法。每处理固定的 30 个果实于常温下观察果皮“油渍化”。感官评定小组由 10 人组成, 为减小误差, 对 10 个人进行统一培训。每次测定结果称为“油渍化”指数, 是 10 个人感官评定结果的平均值。

1.2.11 蜡质含量的测定

参照赵晓敏^[24]方法测定, 每次随机取 15 个果实, 重复 3 次, 取平均值, 单位为 μg/cm²。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据汇总处理、分析, SPSS19.0 进行差异显著性分析, $p < 0.05$ 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 处理对香梨果实 CAT 活性的影响

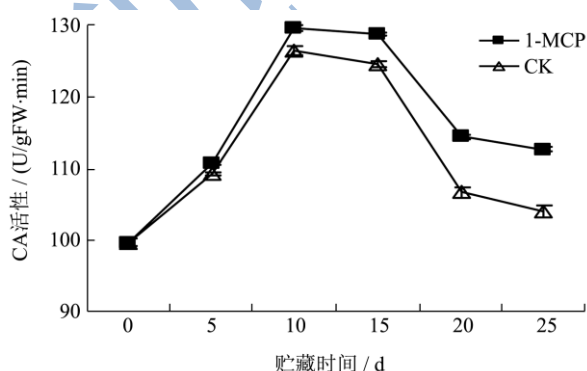


图 1 1-MCP 处理对香梨果实 CAT 活性的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP treatment on the CAT activity of fragrant pear fruits

在常温贮藏期间, 香梨果实 CAT 活性随贮藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势 (图 1)。

整个贮藏期间, 1-MCP 处理组果实 CAT 活性高于对照组。1-MCP 处理组和对照组果实 CAT 活性均在贮藏第 10 d 达到高峰, 峰值分别为 129.57 U/g FW min、126.47 U/g FW min。贮藏结束时, 1-MCP 处理组果实 CAT 活性比对照组多了 8.67 U/g FW min ($p < 0.01$)。

2.2 1-MCP 处理对香梨果实 POD 活性的影响

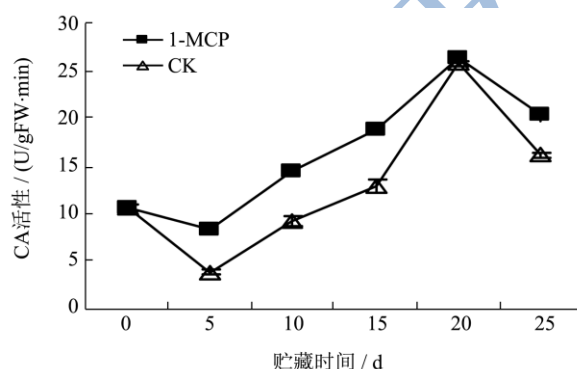


图 2 1-MCP 处理对香梨果实 POD 活性的影响

Fig.2 Effect of 1-MCP treatment on the POD activity of fragrant pear fruits

由图 2 可知, 香梨果实 POD 活性呈下降-上升-下降的趋势, 1-MCP 处理组果实 POD 活性高于对照组。1-MCP 处理组和对照组果实均在贮藏第 20 d 出现高峰, 其峰值分别为 26.39 U/g FW min、25.74 U/g FW min。在贮藏第 25 d, 1-MCP 处理组果实 POD 活性为 20.32 U/g FW min, 是对照组 (16.16 U/g FW min) 的 1.26 倍 ($p < 0.01$)。

2.3 1-MCP 处理对香梨果实 SOD 活性的影响

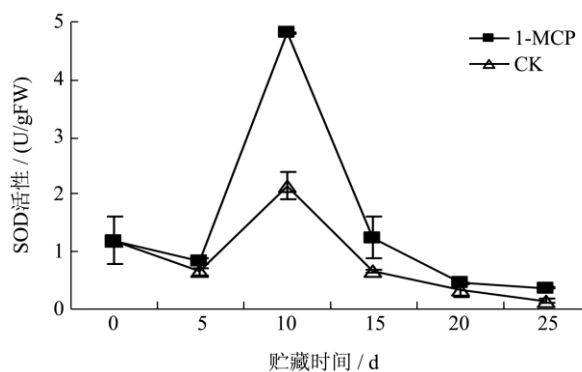


图 3 1-MCP 处理对香梨果实 SOD 活性的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP treatment on the SOD activity of fragrant pear fruits

1-MCP 处理组和对照组果实 SOD 活性随贮藏时间的延长呈先下降 (0~5 d) 再上升 (5~10 d) 然后继

续下降(10~25 d)的趋势(图3)。在贮藏第10 d出现活性高峰, 1-MCP处理组和对照组果实的SOD活性峰值分别为4.82 U/g FW、2.14 U/g FW ($p<0.01$)。贮藏结束时, 1-MCP处理组(0.36 U/g FW)和对照组(0.13 U/g FW)果实SOD活性较贮藏0 d相比, 分别下降了69.74%、89.08%。

2.4 1-MCP处理对香梨果实色度角的影响

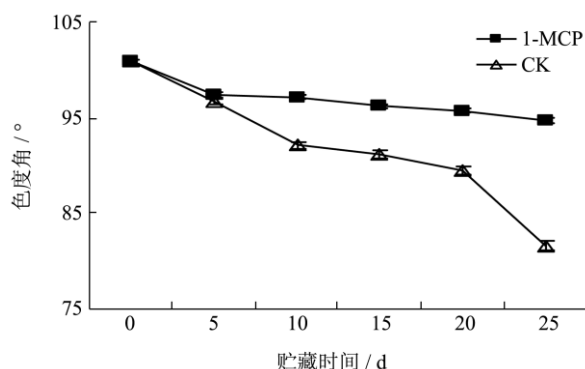


图4 1-MCP处理对香梨果实色度角的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP treatment on the Hue-angle of fragrant pear fruits

如图4所示, 香梨果实色度角随着贮藏时间的延长而下降, 1-MCP处理组果实色度角较对照组下降的缓慢。1-MCP处理组果实色度角由0 d的100.83°下降至25 d的94.64°; 对照组果实色度角由0 d的100.83°下降至25 d的81.53°; 贮藏至25 d时, 1-MCP处理组果实色度角是对照组1.16倍 ($p<0.01$)。

2.5 1-MCP处理对香梨果实硬度的影响

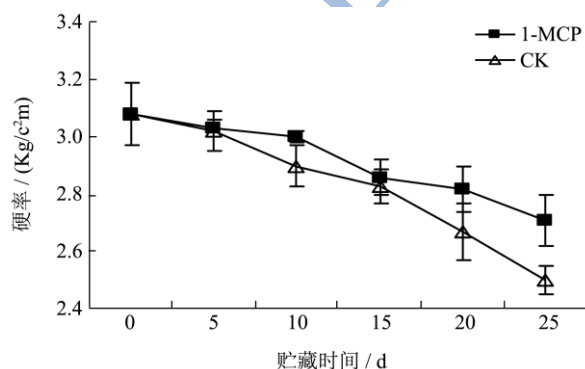


图5 1-MCP处理对香梨果实硬度的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP treatment on the firmness of Fragrant Pear fruits

在整个贮藏期间, 香梨果实的硬度呈不断下降的趋势, 且1-MCP处理组果实硬度始终高于对照组(如图5所示)。贮藏25 d时, 1-MCP处理组和对照组果实硬度与0 d相比, 分别下降了12.01%、18.83%, 1-MCP处理组果实硬度是对照组的1.08倍 ($p<0.01$)。

2.6 1-MCP处理对香梨呼吸速的影响

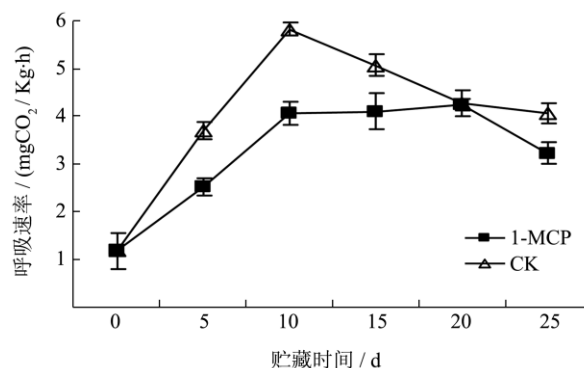


图6 1-MCP处理对香梨果实呼吸速率的影响

Fig.6 Effect of 1-MCP treatment on the respiration rate of fragrant pear fruits

由图6可知, 香梨果实的呼吸速率呈先上升后下降的趋势, 1-MCP处理组果实的呼吸速率低于对照组。1-MCP处理组果实的呼吸速率在第20 d出现呼吸高峰, 峰值为4.25 mg CO₂/kg h; 对照组在第10 d出现呼吸高峰, 峰值为5.83 mg CO₂/kg h, 1-MCP处理组果实较对照组推迟10 d出现呼吸高峰; 贮藏结束时, 1-MCP处理组果实的呼吸速率比对照组少了20.39%。

2.7 1-MCP处理对香梨果实细胞膜渗透率的影响

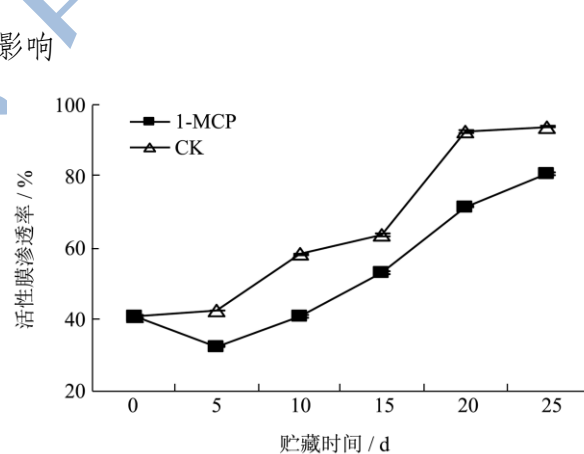


图7 1-MCP处理对香梨果实细胞膜渗透率的影响

Fig.7 Effect of 1-MCP treatment on the cell membrane permeability of fragrant pear fruits

如图7所示, 对照组香梨果实细胞膜渗透率随贮藏时间的延长逐渐上升, 1-MCP处理组则呈先下降后上升的趋势; 对照组果实细胞膜渗透率始终高于1-MCP处理组 ($p<0.01$)。贮藏结束时, 1-MCP处理组果实细胞膜渗透率(80.60%)低于对照组(93.695%)。

2.8 1-MCP处理对香梨果实MDA含量的影响

在贮藏期间, 香梨果实 MDA 含量逐渐上升, 对照组果实 MDA 含量高于 1-MCP 处理组 (图 8)。在贮藏第 25 d 时, 对照组果实 MDA 含量为 5.82 $\mu\text{mol/g}$ FW, 1-MCP 处理组 MDA 含量为 3.75 $\mu\text{mol/g}$ FW, 对照组果实 MDA 含量是 1-MCP 处理组的 1.55 倍 ($p < 0.01$)。

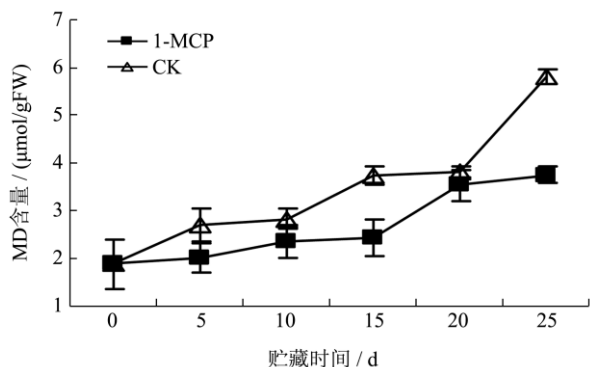


图 8 1-MCP 处理对香梨果实 MDA 含量的影响

Fig.8 Effect of 1-MCP treatment on the MDA content of fragrant pear fruits

2.9 1-MCP 处理对香梨果实油渍化指数的影响

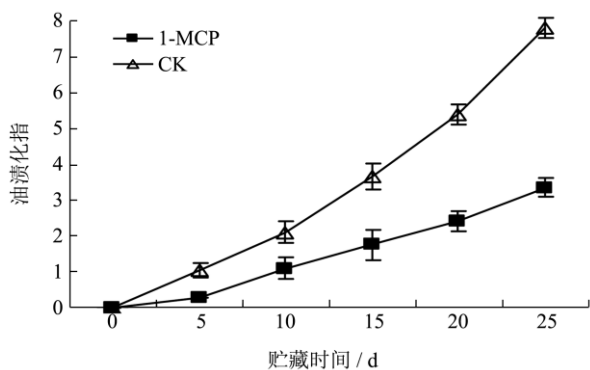


图 9 1-MCP 处理对香梨果实油渍化指数的影响

Fig.9 Effect of 1-MCP treatment on the greasiness level of fragrant pear fruits

在贮藏期间, 香梨果实油渍化指数逐渐增大, 对照组果实油渍化指数始终大于 1-MCP 处理组 (图 9)。贮藏至 25 d 时, 1-MCP 处理组和对照组果实油渍化指数由 0 d 的 0 分别增大至 25 d 的 3.35、7.80, 对照组果实油渍化指数是 1-MCP 处理组的 2.33 倍, 两组果实油渍化指数差异极显著 ($p < 0.01$)。

2.10 1-MCP 处理对香梨果实蜡质含量的影响

由图 10 可知, 香梨果实的蜡质含量随贮藏时间的延长而上升, 1-MCP 处理果实的蜡质含量与对照组相比, 上升趋势较为缓慢。与贮藏 0 d ($417.81 \mu\text{g}/\text{cm}^2$)

相比, 在贮藏 25 d 时, 1-MCP 处理组和对照组果实的蜡质含量上升了 $371.23 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、 $577.92 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($p < 0.01$)。

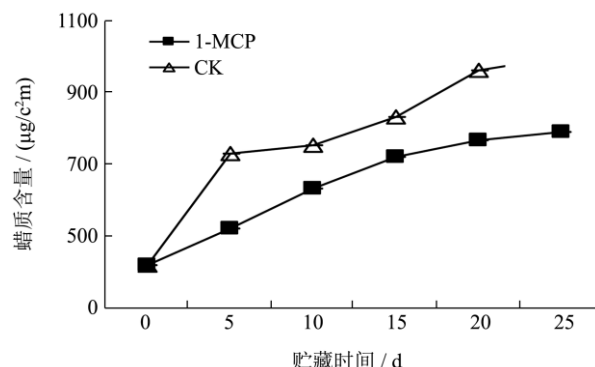


图 10 1-MCP 处理对香梨果实蜡质含量的影响

Fig.10 Effect of 1-MCP treatment on the wax content of fragrant pear fruits

2.11 香梨采后果实衰老相关性指标分析

1-MCP 处理组和对照组香梨果实 CAT 活性与呼吸速率呈显著正相关, POD 活性与细胞膜渗透率呈显著正相关。1-MCP 处理组和对照组果实色度角与硬度的相关系数为 0.880*、0.970*。1-MCP 处理组和对照组果实硬度与细胞膜渗透率的相关系数为 -0.942**、-0.971**; 果实硬度与 MDA 含量呈极显著负相关, 相关系数为 -0.929**、-0.958**; 果实硬度与油渍化指数相关系数分别为 -0.986**、0.997**, 达到极显著水平。1-MCP 处理组和对照组果实 MDA 含量与油渍化指数相关系数分别为 0.956**、0.970**, 果实 MDA 含量增加时, 油渍化指数不断增大; 果实 MDA 含量与蜡质含量呈显著正相关, 且相关系数为 0.874*、0.860*。

3 结论

3.1 香梨果实在常温贮藏过程中, 随着贮藏时间的延长, 果实逐渐加速衰老, 叶绿素被降解, 色度角不断下降, 1-MCP 处理组果实的色度角高于对照组, 1-MCP 处理可以延缓色度角的下降, 与李辉、杜林笑^[11,18]结果相一致。硬度是水果直接的外观品质之一, 果实硬度随时间的变化而改变, 处理组果实硬度明显高于对照组, 1-MCP 处理可保持果实的硬度, 这与孙思胜、王淑贞^[25,26]的研究结果相似。呼吸速率的变化影响了果蔬的贮藏品质, 贮藏结束时, 1-MCP 处理组果实呼吸速率比对照组少了 $0.83 \text{ mg CO}_2/\text{kg h}$, 1-MCP 处理可以降低果实的呼吸速率, 和张绍阳^[27]研究结果相同。细胞膜渗透率的变化可以表示果蔬在贮藏过程中是否收到不良环境的胁迫, 贮藏 25 d, 对照组果实细胞膜渗透率比 1-MCP 处理组高了 7.09%, 1-MCP

处理可以保持较低的细胞膜渗透率,保持香梨果实果实细胞膜的完整性,与 Hershkovitz V^[28]研究结果一致。MDA 的大量累积对果实细胞器和细胞质膜有一定的伤害,贮藏 25 d,对照组果实 MDA 含量高于 1-MCP 处理组 2.07 μmol/g FW, 1-MCP 处理可以抑制香梨果实 MDA 含量的上升,减轻对细胞膜的伤害,和王春红^[29]研究结果相同。1-MCP 处理组果实的 CAT、POD、SOD 活性得到了保持,和 Juan Kan^[30]研究结果相似。果实抗氧化酶活性、品质之间的相关性分析发现,果实 CAT 活性增加时,果实呼吸速率增加;POD 活性与细胞膜渗透率的相关系数为 0.865*、0.841*, POD 活性增加,细胞膜渗透率也随着不断增加;色度角下降时,果实硬度随之下降。1-MCP 处理组和对照组果实硬度与细胞膜渗透率呈极显著负相关

关系,当果实硬度下降时,细胞膜渗透率上升;果实 MDA 含量随硬度的下降而上升;果实硬度与油渍化指数呈极显著负相关,果实的油渍化指数随硬度的下降而上升。1-MCP 处理组和对照组果实细胞膜渗透率与油渍化指数呈极显著正相关,相关系数为 0.949**、0.961**,果实细胞膜渗透率增加时,油渍化指数也随之增加。果实油渍化指数与蜡质含量呈极显著正相关,相关系数为 0.948**、0.898**,油渍化指数增大时,蜡质含量随着增加。

3.2 综上所述,1-MCP 处理可以保持香梨果实常温贮藏期间抗氧化酶活性,进而影响果实品质的变化,1-MCP 处理可以有效延缓衰老进程,保持果实的品质。

表 1 香梨果实抗氧化酶与品质相关性分析

Table 1 Correlation analysis between antioxidant enzymes and quality of pear fruits

指标	CAT	POD	SOD	色度角	硬度	呼吸速率	细胞膜渗透率	MDA	油渍化指数	蜡质含量	
1-MCP	CAT	1	0.296	0.581	-0.517	-0.247	0.846*	0.020	0.090	0.288	0.531
	POD	0.296	1	-0.271	-0.695	-0.826*	0.706	0.865*	0.861*	0.844*	0.878*
	SOD	0.581	-0.0271	1	0.184	0.422	0.256	-0.463	-0.370	-0.298	-0.162
	色度角	-0.517	-0.695	0.184	1	0.880*	-0.783	-0.712	-0.804	-0.879*	-0.939**
	硬度	-0.247	-0.826*	0.422	0.880*	1	-0.577	-0.942**	-0.929**	-0.986**	-0.935**
	呼吸速率	0.846*	0.706	0.256	-0.783	-0.577	1	0.420	0.524	0.618	0.828*
	细胞膜渗透率	0.020	0.865*	-0.463	-0.712	-0.942**	0.420	1	0.965**	0.949**	0.836*
	MDA	0.090	0.861*	-0.370	-0.804	-0.929**	0.524	0.965**	1	0.956**	0.874*
	油渍化指数	0.288	0.844*	-0.298	-0.879*	-0.986**	0.618	0.949**	0.956**	1	0.948**
	蜡质含量	0.531	0.878*	-0.162	-0.939**	-0.935**	0.828*	0.836*	0.874*	0.948**	1
CK	CAT	1	-0.228	0.520	-0.093	0.074	0.832*	-0.101	-0.068	-0.081	0.185
	POD	-0.228	1	-0.470	-0.531	-0.701	0.105	0.841*	0.497	0.684	0.570
	SOD	0.520	-0.470	1	0.470	0.577	0.184	-0.557	-0.636	-0.627	-0.539
	色度角	-0.093	-0.531	0.470	1	0.970**	-0.544	-0.900*	-0.969**	-0.968**	-0.908*
	硬度	0.074	-0.701	0.577	0.970**	1	-0.403	-0.971**	-0.958**	-0.997**	-0.892*
	呼吸速率	0.832*	0.105	0.184	-0.544	-0.403	1	0.380	0.374	0.391	0.667
	细胞膜渗透率	-0.101	0.841*	-0.557	-0.900*	-0.971**	0.380	1	0.865*	0.961**	0.874*
	MDA	-0.068	0.497	-0.636	-0.969**	-0.958**	0.374	0.865*	1	0.970**	0.860*
	油渍化指数	-0.081	0.684	-0.627	-0.968**	-0.997**	0.391	0.961**	0.970**	1	0.898**
	蜡质含量	0.185	0.570	-0.539	-0.908*	-0.892*	0.667	0.874*	0.860*	0.898**	1

注: *: 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, **: 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

参考文献

[1] 高启明,李疆,李阳.库尔勒香梨研究进展[J].经济林研究,2005,23(1):79-82
GAO Qi-ming, LI Jiang, LI Yang. Literature review of

researches on "kuerle sweet pear" [J]. Nonwood Forest Research, 2005, 23(1): 79-82
[2] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015
Statistics Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region.

- Statistical Yearbook of Xinjiang [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015
- [3] Vogg G, Fischer S, Leide J, et al. Tomato fruit cuticular waxes and their effects on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very-long-chain fatty acid β -ketoacyl-CoA synthase [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(401): 1401-1410
- [4] Jeffree C E. *The Fine Structure of the Plant Cuticle* [M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2006
- [5] 孙志栋,田雪冰,倪穗,等.1-MCP 对采后果实贮藏品质影响的研究进展[J].现代食品科技,2017,7:336-341
SUN Zhi-dong, TIAN Xue-bing, NI Sui, et al. Research on the Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on the Storage Quality of Postharvest Fruits [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 7: 336-341
- [6] Zhao J, Xie X B, Dai W H, et al. Effects of precooling time and 1-MCP treatment on 'Bartlett' fruit quality during the cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 240: 387-396
- [7] Gutierrez M S, Trincherro G D, Cerri A M, et al. Different responses of goldenberry fruit treated at four maturity stages with the ethylene antagonist 1-methylcyclopropene [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(2): 199-205
- [8] 韩英群,郭丹,郝义,等.室温下 1-MCP 缓释剂对早金酥梨贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2017,38(12):178-181
HAN Ying-qun, GUO Dan, HAO Yi, et al. Effect of 1-MCP relievers on quality in Zaojinsu pear during room temperature storage [J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(12): 178-181
- [9] Li G, Jia H, Li J, et al. Effects of 1-MCP on volatile production and transcription of ester biosynthesis related genes under cold storage in 'Ruanerli' pear fruit (*Pyrus ussuriensis*, Maxim.) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 111: 168-174
- [10] 罗岩,李蓓.1-MCP 结合低温贮藏对杏果实采后软化及相关酶活的影响[J].保鲜与加工,2018,18(3):43-48
LUO Yan, LI Bei. Effects of 1-MCP combined with low temperature storage on postharvest softening and related enzyme activity of apricot fruits [J]. *Storage and Process*, 2018, 18(3): 43-48
- [11] 张晓慧,杨晓颖,曲清莉,等.常温货架期间油桃果实不同部位对 1-MCP 的响应[J].保鲜与加工,2016,4:23-29
ZHANG Xiao-hui, YANG Xiao-ying, QU Qing-li, et al. Response of 1-MCP on different parts of nectarine fruits during shelf life at room temperature [J]. *Storage and Process*, 2016, 4: 23-29
- [12] 陈柏,颜敏华,王学喜,等.1-MCP 处理对常温贮藏黄冠梨褐心病和果实品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(24):342-345
CHEN Bai, XIE Min-hua, WANG Xue-xi, et al. Effects of 1-MCP treatment on browning heart and quality of Huangguan pears during storage at room temperature [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(24): 342-345
- [13] 陈莲,王璐璐,林河通,等.1-MCP 延缓采后台湾青枣果实衰老及其与能量代谢的关系[J].热带作物学报,2017,38(1): 175-182
CHEN Lian, WANG Lu-lu, LIN He-tong, et al. Delaying senescence of harvested *Ziziphus mauritiana Lamk* fruit by postharvest 1-Methylcyclopropene(1-MCP) treatment and its relation to energy metabolism [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38(1): 175-182
- [14] 李辉,林毅雄,林河通,等.1-MCP 延缓采后'油木奈'果实衰老及其与能量代谢的关系[J].现代食品科技,2015,4:121-127
LI Hui, LIN Yi-xiong, LIN He-tong, et al. Delayed senescence in harvested 'Younai' plums induced by 1-MCP treatment and its relation to energy metabolism [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 4: 121-127
- [15] 王阳,王志华,王文辉,等.1-MCP 处理对几种脆肉梨果实贮藏品质及采后生理的影响[J].果树学报,2016,S1:147-156
WANG Yang, WANG Zhi-hua, WANG Wen-hui, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on quality and physical characteristics of crispy pears during storage [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, S1: 147-156
- [16] 王晓飞,任小林,杨艳青,等.'粉红女士'苹果果皮蜡质油腻化的研究[J].果树学报,2014,31(2):201-205
WANG Xiao-fei, REN Xiao-lin, YANG Yan-qing, et al. Study on epicuticular wax greasiness of 'Pink Lady' apple fruits [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(2): 201-205
- [17] 张鲁斌,贾志伟,谷会.适宜 1-MCP 处理保持采后菠萝常温贮藏品质[J].农业工程学报,2016,4: 290-295
Zhang Lu-bin, Jia Zhi-wei, Gu Hui. Suitable 1-MCP treatment maintaining postharvest quality during storage at room temperature [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(4): 290-295
- [18] 杜林笑,赵晓敏,李学文,等.不同浓度 1-MCP 处理对库尔勒香梨采后生理及贮藏品质的影响[J].新疆农业大学学报,2017,40(3):185-190
DU Lin-xiao, ZHAO Xiao-min, LI Xue-wen, et al. Effects of

- 1-MCP treatment on postharvest physiology and quality of korla fragrant pear fruit [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2017, 40(3): 185-190
- [19] 李学文,韩江.1-MCP 处理对香梨采后生理效应的影响[J].新疆农业大学学报,2006,29(2):30-32
LI Xue-wen, HAN Jiang. Effects of 1-MCP postharvest treatment on physiological function of fragrant pear [J].Journal of Xinjiang Agricultural University, 2006, 29(2): 30-32
- [20] 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
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [21] 齐会楠.CO₂ 诱导库尔勒香梨果心褐变发生机理的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014
QI Hui-nan. Mechanism study on high carbon dioxide induced core browning of postharvest fruit korla fragrant pear [D]. Urumqi: XinJiang Agricultural University, 2014
- [22] 李学文,廖亮,叶强,等.UV-C 结合 1-MCP 处理对香梨采后果实品质及生理活性的影响[J].中国农学通报,2014,30(22):191-196
LI Xue-wen, LIAO Liang, YE Qiang, et al. Effect of UV-C combined with 1-mcp treatment on postharvest qualities and physiologies of fragrant pear fruit [J].Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(22): 191-196
- [23] 赵晓敏,杨玉荣,李建鲲,等.1-MCP 处理对库尔勒香梨采后果皮蜡质变化的影响[J].食品科学,2015,36(18):262-266
ZHAO Xiao-min, YANG Yu-rong, LI Jian-kun, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene treatment on postharvest changes in epicuticular wax of korle fragrant pear fruits during ambient temperature storage [J]. Food Science, 2015, 36(18): 262-266
- [24] 赵晓敏.库尔勒香梨采后衰老过程中蜡质层结构及组分变化的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015
ZHAO Xiao-min. Study on the changes of epicuticular wax structure and composition during the postharvest senescence of korla fragrant pear fruits [D]. Urumqi: XinJiang Agricultural University, 2015
- [25] 孙思胜,贾志伟,高豪杰,等.不同成熟度的番木瓜果实对采后 1-MCP 处理的反应[J].食品科技,2012,6:48-52
SUN Si-sheng, JIA Zhi-wei, GAO Hao-jie, et al. The response of papaya fruits with different harvest maturities on 1-MCP application [J]. Food Science and Technology, 2012, 6: 48-52
- [26] 王淑贞,杨雪梅,张元湖,等.1-MCP 处理对梨贮藏品质及抗氧化活性的影响[J].中国食物与营养,2011,17(9):47-50
WANG Shu-zhen, YANG Xue-mei, ZHANG Yuan-hu, et al. Effects of 1-MCP on storage quality and antioxidant activity of 'Xiufeng' pear [J]. Food and Nutrition in China, 2011, 17(9): 47-50
- [27] 张绍阳,王艳,秦晓宇,等.1-MCP 处理对沙子空心李果实贮藏保鲜效应的研究[J].铜仁学院学报,2015,17(4):1-6
ZHANG Shao-yang, WANG Yan, QIN Xiao-yu, et al. Storing effects of 1-MCP to *Prunus Salicina Lindl* CV'Shazhi kongxinli' Plum Fruit [J]. Journal of TongRen University, 2015, 17(4): 1-6
- [28] Hershkovitz V, Saguy S I, Pesis E. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 252-264
- [29] 王春红,孟泉科,刘兴华,等.1-MCP 处理对猕猴桃中抗坏血酸含量及其品质,生理的影响[J].中国食品学报,2014,14(5):134-141
WANG Chun-hong, MENG Quan-ke, LIU Xing-hua, et al. Effect of 1-MCP treatment on ascorbic acid content and its quality, physiological of actinidia chinensis [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(5): 134-141
- [30] Juan Kan, Jing Che, Hai Yan Xie, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest physiological changes of 'Zaohong' plum [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(5): 1669-1677