

1-MCP、乙烯调控杏果采后活性氧代谢酶活性及同工酶电泳的研究

朱婉彤¹, 白羽嘉^{1,2}, 冯作山¹, 张玥¹, 龚宣匀¹, 王瑾¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业大学作物学博士后流动站, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 以轮台白杏为试材, 使用 1 $\mu\text{L/L}$ 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 和 30 mg/kg 乙烯利处理, 研究 25 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中, 杏果果肉中超氧化物歧化酶(SOD)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和脂氧合酶(LOX)的活性变化规律及其同工酶表达变化。研究表明: 1-MCP 处理组显著地延缓了杏果衰老软化, 乙烯利处理加速了杏果衰老软化; 经 1-MCP 处理后的杏果 SOD、PPO、POD 的酶活均高于对照组及乙烯利处理组。SOD 活性比对照组高 25.21% ($p < 0.05$), PPO 活性比对照组高 12.93% ($p < 0.05$), POD 活性比对照组高 9.96% ($p < 0.05$), LOX 活性显著低于对照及乙烯利处理组, 比对照组低 46% ($p \geq 0.05$); 1-MCP 处理组、对照较乙烯利处理的 SOD、PPO、POD 同工酶表达增强, LOX 同工酶表达减弱。随着贮藏时间的增加同工酶条带由清晰变为弥散, 同工酶表达随着时间的增加而减弱。1-MCP 通过提高活性氧代谢相关酶的活力, 减少活性氧的产生, 减缓细胞衰老进程, 延缓软化, 提高杏果的贮藏品质。

关键词: 轮台白杏; 1-甲基环丙烯; 乙烯; 活性氧代谢; 同工酶; 聚丙烯酰胺凝胶电泳

文章编号: 1673-9078(2019)04-70-76

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.4.011

Activities of Active Oxygen Metabolism Enzymes and Isoenzymes in Apricot Fruit Treated with 1-MCP and Ethephon

ZHU Wan-tong¹, BAI Yu-jia^{1,2}, FENG Zuo-shan¹, ZHANG Yue¹, GONG Xuan-yun¹, WANG Jin¹

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Postdoctoral Mobile Station of Crop Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Using Luntai Baixing as test material, 1 $\mu\text{L/L}$ of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and 30 mg/kg of ethephon were used to treat apricot fruit, the aim is to study the changes in the activities of superoxide dismutase (SOD), polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD) and lipoxigenase (LOX) in apricot pulp stored at 25 $^{\circ}\text{C}$, and their isoenzyme expression changes. The results showed that the 1-MCP treatment group significantly delayed the aging and softening of apricot fruit, and the ethephon treatment accelerated the senescence and softening of apricot fruit. The enzyme activities of SOD, PPO and POD in the apricot fruit treated by 1-MCP were higher than those in the control and ethephon treatment groups. The activity of SOD was 25.21% higher than that of the control group ($p < 0.05$), the activity of PPO was 12.93% higher than that of the control group ($p < 0.05$), the activity of POD was 9.96% higher than that of the control group ($p < 0.05$), and the activity of LOX was significantly lower than that of the control group, and the ethephon treatment group was 46% lower than the control group ($p \geq 0.05$). The expression of SOD, PPO and POD isoenzymes in the 1-MCP treatment group and the control group were enhanced, and the expression of LOX isoenzyme was reduced. As the storage time increased, the isozyme bands changed from clear to diffuse band, and isozyme expression decreased with time. 1-MCP reduced the activity of active oxygen metabolism and the production of reactive oxygen species, slowed down the process of cell aging, delayed softening, and improved the storage quality of apricot fruit.

Key words: Luntai Baixing; 1-MCP; ethylene; active oxygen metabolism; isozyme; PAGE

收稿日期: 2018-11-22

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31401556)

作者简介: 朱婉彤 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工、食品生物技术

通讯作者: 白羽嘉 (1984-), 男, 副教授 (博士后在站), 研究方向: 农产品贮藏与加工、食品生物技术

杏 (*Prunus armeniaca* L.) 为蔷薇科 (*Rosaceae*), 李亚科 (*Prunoideae*), 杏属 (*Armeniaca* Mill.) 植物。小白杏为新疆著名杏品种之一, 主要产地为新疆库车和轮台县。小白杏果实呈卵形, 色泽浅黄透明, 光滑无毛, 果肉黄中透白, 入口绵甜清爽, 具有成熟早、营养丰富特点^[1]。小白杏属于典型的呼吸跃变型果实,

采后呼吸旺盛,产生大量乙烯,果实迅速衰老、软化导致腐烂,严重影响了商品价值^[2]。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)作为一种安全有效的生物保鲜剂,已广泛用于番茄^[3]、苹果^[4]、芒果^[5]、桃^[6]、梨^[7]和香蕉^[8]等多种果蔬的贮藏保鲜技术上。1-MCP处理杨桃果实可以延长保鲜期并延缓杨桃果实成熟衰老和保持果实贮藏品质^[9]。绿熟期赛买提杏,经1-MCP处理组(1.0 μL/L)可延缓果实硬度^[10,11]。1-MCP处理组促进了青花菜^[12]、苹果^[13]超氧化物歧化酶(SOD)活性的升高,延缓了青花菜、苹果的衰老。乙烯能加速膜透性升高和细胞的区隔化损失,从而促进了果实的软化及衰老,缩短了采后寿命^[14]。乙烯利处理显著促进了茭白采后贮藏初期能量代谢进程^[15]。在杏果保鲜中常用1-MCP处理组延长货架期储藏时间,延缓软化速率,乙烯利处理加速果实软化,两者对杏果实的作用相反^[16]。

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD)和脂氧合酶(Lipoxygenase, LOX)作为细胞内重要的4种活性氧代谢酶,在清除活性氧系统中发挥着重要的作用。SOD作为氧化胁迫的第一防线^[17],各处理均在第三天出现峰值,表明抗氧化系统激活。有研究认为PPO是促进枣果采后衰老的一个重要酶类,PPO活性可以作为评价鲜枣采后生理变化的一个指标^[18]。POD与植物的生长、发育、成熟衰老具有密切关系^[19]。LOX途径产生的氢过氧化物和超氧自由基等物质还参与了乙烯的生成^[20]。通过测定活性氧代谢相关酶活性以及同工酶电泳可以直观的得出活性氧代谢酶与果实衰老软化之间存在关系。

目前1-MCP处理的轮台白杏,大多是从贮藏角度进行的研究。缺乏从活性氧代谢酶活性与同工酶的角度探究杏果实成熟衰老软化规律的研究,活性氧代谢同工酶调控植物活性氧代谢过程与植物果实成熟衰老软化密切相关。通过1-MCP、乙烯利处理研究轮台白杏采后果实细胞成熟衰老软化与活性氧代谢酶活性及同工酶之间的联系,为轮台白杏采后保鲜调控提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验材料

轮台白杏,采收自新疆轮台县。采收时可溶性固形物含量 $\geq 10^\circ\text{Brix}$ 。

1.1.2 实验试剂

聚乙二醇6000、聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、邻苯二酚、Triton X-100、愈创木酚、二硫苏糖醇(DTT)、甲硫氨酸、氮蓝四唑(NBT)、EDTA、核黄素、溴酚蓝、亚油酸、吐温-20以上试剂均为分析纯(AR),购自天津市光复精细化工研究所;考马斯亮蓝G-250,丙烯酰胺,甲叉双丙烯酰胺,过硫酸铵,四甲基乙二胺(TEMED),三羟甲基氨基甲烷(Tris),甘氨酸,硫酸亚铁铵,硫氰酸铵,以上试剂购自上海(生工)生物工程有限公司。

1.2 仪器与设备

高速冷冻离心机(TGL-16G型),上海安亭科学仪器厂;恒温培养箱(MHP-250型),上海鸿都电子科技有限公司;无菌操作台(NBCJ-B型),上海鸿都电子科技有限公司;FRH-1型硬度计,日本竹村制造社;紫外-可见分光光度计(TU-1810型),北京普析通用公司;层析实验冷柜(BYK-1型),北京博医康实验仪器有限公司;脱色摇床(TY-80R型),金坛市医疗仪器厂;电泳仪(DYY-6C型),北京市六一仪器厂;电泳槽(DYCZ-28D型),北京市六一仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 样品处理方法

在前期实验的基础上,选择适宜浓度的乙烯与1-MCP分别对轮台白杏进行处理。乙烯处理组:使用30 mg/kg乙烯利溶液均匀喷洒于果实表面;1-MCP处理组:将轮台白杏放入气帐中,采用1 μL/L 1-MCP熏蒸24 h;对照组:不进行任何处理。杏果实贮藏于25℃ \pm 1℃,相对湿度90%~95%的通风环境中。

各实验组间隔24 h进行取样,取样8次。每次随机选取30个杏果实,将果肉切成1 cm³的块状,迅速置于液氮中速冻后置于-80℃保存。

1.3.2 测定指标与方法

1.3.2.1 硬度

随机取6个杏果果实,围绕果实在等间距的6个位置用FHR-1型果实硬度计测定各个位置果肉的硬度,单位:kg/cm²。

1.3.2.2 活性氧代谢相关酶

(1) SOD酶活力

称取5.0 g杏果果肉,加入5.0 mL提取缓冲液(含100 mmol/L、pH 7.8磷酸缓冲液、5 mmol/L DTT和5% PVP),在冰浴条件下研磨成匀浆,于4℃、12000 r/min离心30 min,收集上清液,制备的粗酶液同时用于同工酶电泳分析。酶促反应体系参照曹建康等^[21]的方法。

(2) PPO 酶活力

称取 5.0 g 杏果果肉, 加入 5.0 mL 提取缓冲液, 在冰浴条件下研磨成匀浆, 于 4 °C、12000 r/min 离心 30 min, 收集上清液, 制备的粗酶液同时用于同工酶电泳分析。酶促反应体系参照曹建康同等方法^[21]。

(3) POD 酶活力

称取 5.0 g 杏果果肉, 加入 5.0 mL 提取缓冲液(含 1 mM PEG、4% PVPP 和 1% Triton X-100), 在冰浴条件下研磨成匀浆, 于 4 °C、12000 r/min 离心 30 min, 收集上清液, 制备的粗酶液同时用于同工酶电泳分析。酶促反应体系参照曹建康同等方法^[21]。

(4) LOX 酶活力

称取 5.0 g 杏果果肉, 加入 5.0 mL 经 4 °C 预冷的提取缓冲液, 在冰浴条件下研磨匀浆, 于 4 °C、12000 r/min 离心 30 min, 收集上清液, 制备的粗酶液同时用于同工酶电泳分析。酶促反应体系参照曹建康同等方法^[21]。

1.3.3 聚丙烯酰胺凝胶电泳 (PAGE)

1.3.3.1 PAGE 制作

采用聚丙烯酰胺凝胶电泳 (PAGE), 浓缩胶 5%, 分离胶 8%^[22]。采用 Bradford 法^[23]测定蛋白浓度。LOX 上样为每孔 9 mg 蛋白, SOD、PPO、POD 上样每孔 3 mg 蛋白, 计算上样体积。酶液按 4:1 的比例加入 5× 上样缓冲液, 混匀后上样。电泳电压 220 V、电流 60 mA, 4 °C 电泳 4 h。

1.3.3.2 SOD 同工酶染色

用蒸馏水清洗凝胶, 放入 NBT 溶液中避光浸泡 20 min, 然后放入含 0.01% 核黄素的 pH 为 7.8 磷酸缓冲液中避光浸泡 20 min, 取出凝胶放入含 1.0×10^{-4} mol/L EDTA 的 pH 为 7.8 的磷酸缓冲液中, 光照处理约 2 h, 当蓝紫色背景的凝胶中出现白色的超氧化物歧化酶条带时, 用蒸馏水冲洗终止反应^[23]。

1.3.3.3 PPO 同工酶染色

用蒸馏水清洗凝胶, 放入染色液(含 100 mmol/L 磷酸-磷酸钠缓冲液 100 mL、邻苯二酚 0.25 g、无水对氨基苯磺酸 0.03 g, pH 6.5) 中, 当白色背景的凝胶中出现粉红色的多酚氧化酶条带时, 用蒸馏水冲洗终止反应^[23]。

1.3.3.4 POD 同工酶染色

用蒸馏水清洗凝胶, 放入染色液(含 0.03% 联苯胺溶液、5% EDTA、4% 氯化铵、0.3% H₂O₂ 溶液) 中, 当白色背景的凝胶中出现蓝色的过氧化物酶条带时, 用蒸馏水冲洗终止反应^[23]。

1.3.3.5 LOX 同工酶染色

染色液 A: 取 20 mmol/L 亚油酸钠溶液 3.6 mL 溶

于 100 mL 的 0.2 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (pH 7.0)。

染色液 B: 5% 硫酸亚铁铵, 3% HCl。

染色液 C: 20% 硫氰酸铵。

染色前, 染色液 A 在室温氧化 20~30 min, 然后用蒸馏水清洗凝胶, 放入染色液 A 中 38 °C 孵育 50 min。漂洗凝胶, 浸入染色液 B 中孵育 1 min, 后浸入染色液 C 中孵育 1 min, 当凝胶中出现红棕色条带时, 用蒸馏水冲洗终止反应。

1.4 数据统计分析

数据采用 SPSS 19.0 软件进行显著性分析。用 Origin Pro 8.5 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 不同处理条件杏果采后果肉硬度的变化

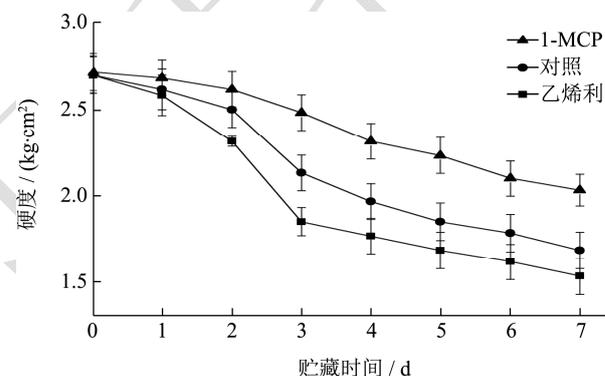


图 1 1-MCP、乙烯利处理后杏果硬度变化

Fig.1 Apricot fruit hardness change after 1-MCP and ethylene treatment

由图 1 可知, 各组处理杏果果实随着贮藏时间的延长, 硬度逐渐下降。不同处理杏果果实硬度下降程度存在较大差异, 1-MCP 处理硬度下降较慢高于对照, 乙烯利处理硬度下降最快。表明 1-MCP、乙烯利可以调控果实衰老软化速率。

2.2 不同处理条件对杏果采后果肉活性氧代谢酶活力的影响

2.2.1 不同处理条件对杏果采后果肉 SOD 酶活性的影响

在贮藏 0~7 d, 1-MCP 和乙烯利处理组杏果果实中 SOD 活性呈先升高后下降的变化趋势 (图 2)。1-MCP 处理组 SOD 活性在贮藏 1~7 d 均高于对照组。乙烯利处理组 1~7 d 显著低于对照组 ($p < 0.05$)。在贮藏第 3 d 达到峰值, 对照组杏果果实 SOD 活性为 52.59 U, 1-MCP 处理组 SOD 活性为 65.85 U, 比对照组高

25.21% ($p < 0.05$); 乙烯利处理组 SOD 活性为 65.73 U, 比对照组低 24.49% ($p < 0.05$)。

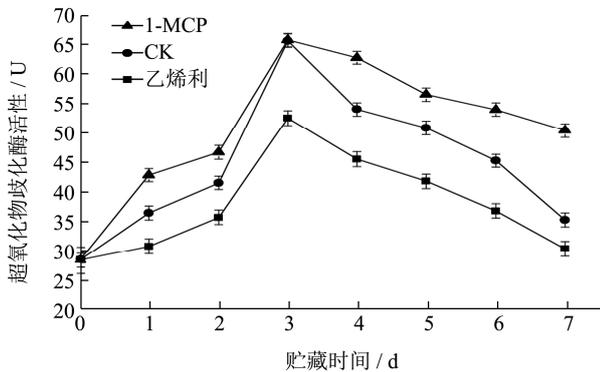


图2 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 SOD 酶活性变化

Fig.2 Changes of SOD enzyme activity after 1-MCP and ethylene treatment of apricot fruit

2.2.2 不同处理条件对杏果采后果肉 PPO 酶活性的影响

乙烯利处理组杏果果实 PPO 活性在贮藏 1~7 d 显著低于对照组 ($p < 0.05$), 1-MCP 处理组杏果果实中 PPO 活性在贮藏 1~7 d 始终高于对照组 (图 3)。贮藏第 3 d, 对照组、1-MCP 和乙烯利处理组杏果果实中 PPO 活性均达到峰值。对照组杏果果实中 PPO 活性为 120.91 U, 乙烯利处理组 PPO 活性为 98.91 U, 比对照组低 18.20% ($p < 0.05$), 1-MCP 处理组 PPO 活性为 136.55 U, 比对照组高 12.93% ($p < 0.05$)。

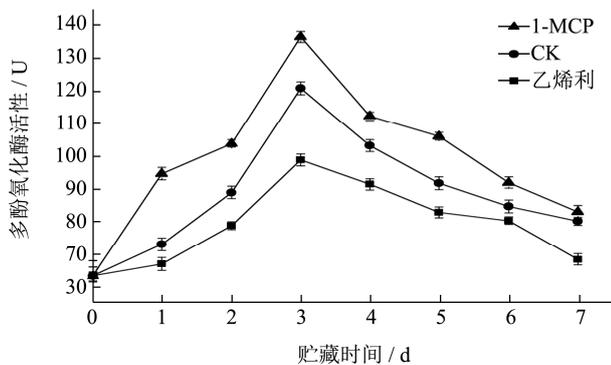


图3 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 PPO 酶活性变化

Fig.3 Changes of PPO enzyme activity after 1-MCP and ethylene treatment of apricot fruit

2.2.3 不同处理条件对杏果采后果肉 POD 酶活性的影响

贮藏 0~7 d, 1-MCP 处理组、乙烯利处理组以及对照组杏果果实中 POD 活性呈先升高后下降的变化趋势 (图 4)。在第 2 d 时 POD 的活性达到峰值, 乙烯利处理组 POD 活性在贮藏 1~7 d 均低于对照组; 而 1-MCP 处理组 POD 活性在贮藏 1~7 d 均显著高于对照组 ($p < 0.05$)。贮藏第 2 d, 对照组杏果果实 POD 活性为 3.11 U, 乙烯利处理组 POD 活性为 2.16 U, 比

对照组低 30.62% ($p < 0.05$), 1-MCP 处理组 POD 活性为 3.42 U, 比对照组高 9.96% ($p < 0.05$)。

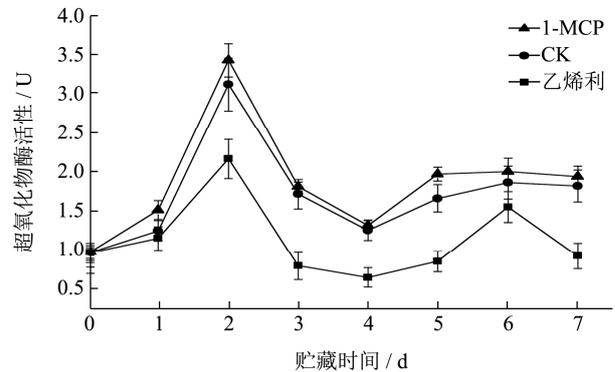


图4 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 POD 酶活性变化

Fig.4 Changes of POD enzyme activity after 1-MCP and ethylene treatment of apricot fruit

2.2.4 不同处理条件对杏果采后果肉 LOX 酶活性的影响

在贮藏 0~7 d, 1-MCP、乙烯利处理组和对照组杏果果实中 LOX 活性呈先升高后下降的变化趋势 (图 5)。乙烯利处理组 LOX 活性在贮藏 1~2 d 均高于对照组; 对照组 LOX 活性在贮藏 1~2 d 显著高于 1-MCP 处理组 ($p < 0.05$)。贮藏第 2 d, 对照组杏果果实 LOX 活性为 36.36 U, 乙烯利处理组 LOX 活性为 39.63 U, 比对照组高 9% ($p < 0.05$), 1-MCP 处理组 LOX 活性为 19.64 U, 比对照组低 46% ($p < 0.05$)。

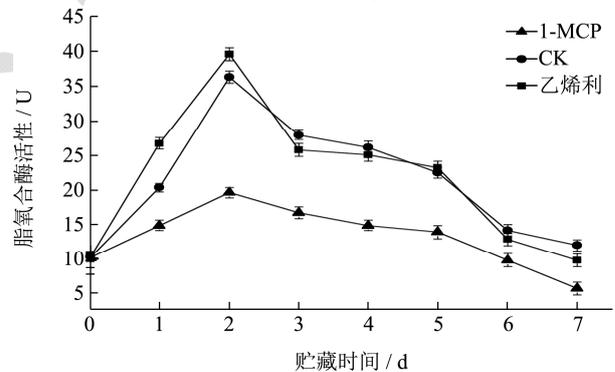


图5 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 LOX 酶活性变化

Fig.5 Changes of LOX enzyme activity after 1-MCP and ethylene treatment of apricot fruit

2.3 不同处理条件对杏果采后果肉同工酶电泳图分析

2.3.1 不同处理条件对杏果采后果肉 SOD 同工酶电泳图分析

从图 6 可以看出, 1-MCP、乙烯利处理的杏果 SOD 同工酶有 3 个条带; 对照组有 2 个条带。对照组中 A 带清晰明亮, C 带带型模糊, 缺失 B 带; 与对照组对

比 1-MCP 处理组杏果 SOD 同工酶 A 带明亮清晰, B 带、C 带较 A 带带型模糊, 1-MCP 处理组诱导酶的表达, 与对照组对比乙烯利处理杏果 SOD 同工酶 A 带明亮清晰, 轻微弥散; B 带、C 带颜色变浅, 条带变宽, 部分出现拖尾、变形条带。随着贮藏时间的不断变化, 果实细胞衰老软化速度加快。1-MCP 处理组的杏果 SOD 同工酶酶带表达能力较强, 对照组表达能力较弱, 乙烯利处理组次之。

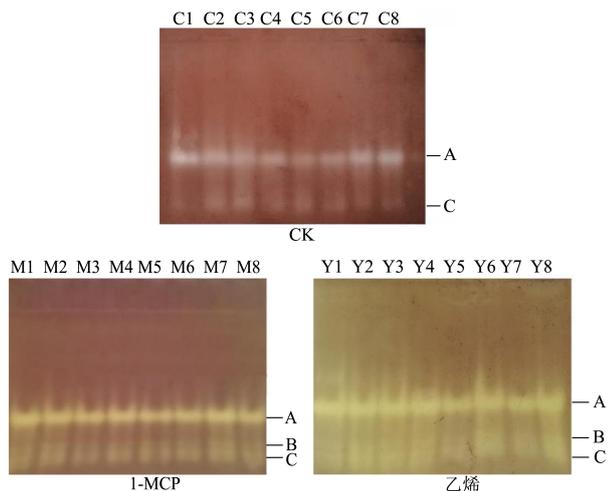


图 6 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 SOD 同工酶电泳图

Fig.6 1-MCP, ethylene treatment of apricot fruit after harvesting LOX isozyme electrophoresis

2.3.2 不同处理条件对杏果采后果肉 PPO 同工酶电泳图分析

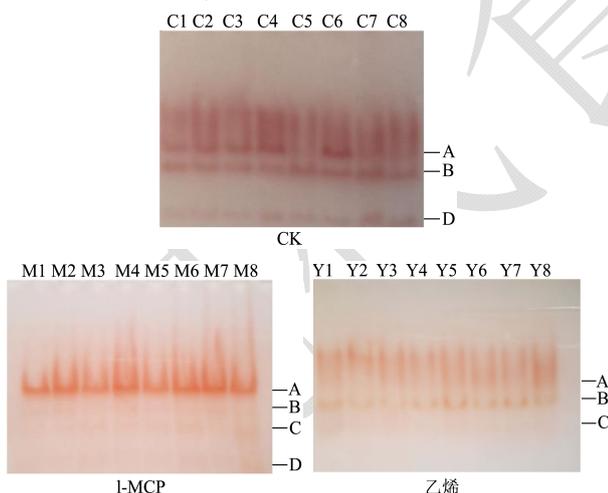


图 7 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 PPO 同工酶电泳图

Fig.7 1-MCP, ethylene treatment of apricot fruit after harvesting LOX isozyme electrophoresis

从图 7 可以看出, 1-MCP 处理组杏果 PPO 同工酶有 4 个条带; 乙烯利处理的杏果 PPO 同工酶有 2 个条带, 缺失 A、D 条带; 对照组杏果 PPO 同工酶有 3 个条带, 缺失 C 条带。对照组中 A 带部分酶带呈弥散状, 表达较弱。B 带条带清晰, 具有较强的表达强度。

C 带呈弥散状, 条带颜色变浅。与对照组对比 1-MCP 处理组杏果 PPO 同工酶中 A 带清晰明亮, 具有较强的表达强度。B、C、D 带模糊, 颜色变浅, 条带变宽, 部分出现拖尾、变形条带, D 带模糊不清, 难以辨别。与对照组对比乙烯利处理杏果 PPO 同工酶 B 带模糊, 颜色较浅, 呈弥散状, 表达能力弱。随着贮藏时间的不断变化, 果实细胞衰老软化速度加快, 1-MCP 处理组的杏果 PPO 同工酶酶带表达能力较强。乙烯利处理的杏果 PPO 同工酶酶带表达能力逐渐减弱。对照组杏果 PPO 同工酶酶带表达能力逐渐变弱。

2.3.3 不同处理条件对杏果采后果肉 POD 同工酶电泳图分析

从图 8 可以看出, 1-MCP、乙烯利处理以及对照组杏果 POD 同工酶有 2 个条带。对照组中 A 带分离不清, 存在拖尾现象, B 带较粗且颜色较深, 具有极强的表达强度, 呈单一条状。1-MCP 处理组杏果 POD 同工酶 B 带颜色深, 条带较粗, 具有极强的表达强度, 存在严重的拖尾、变形现象。C 带呈单一条状, 条带清晰, 无拖尾、变形。乙烯利处理杏果 POD 同工酶 A 带清晰明亮, 具有极强的表达强度。B 带呈单一条状, 酶带变细, 颜色变浅。1-MCP 处理组、对照组的杏果 POD 同工酶酶带表达能力先减弱后增强, 乙烯利处理下的杏果 POD 同工酶酶带表达能力逐渐减弱。

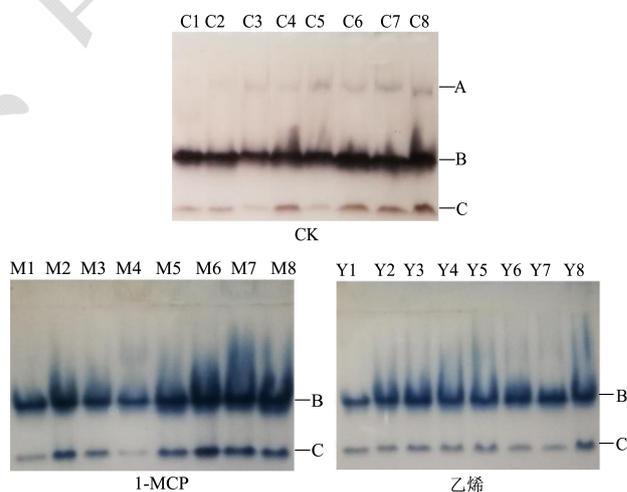


图 8 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 POD 同工酶电泳图

Fig.8 1-MCP, ethylene treatment of apricot fruit after harvesting LOX isozyme electrophoresis

2.3.4 不同处理条件对杏果采后果肉 LOX 同工酶电泳图分析

图 9 可以看出, 1-MCP、乙烯利处理以及对照组 LOX 同工酶在无色透明的背景下出现呈棕红色单一条带。对照组中杏果 LOX 同工酶条带部分清晰明亮, 表达强度一般; 与对照组对比 1-MCP 处理组杏果 LOX 同工酶出现降解, 表达强度较低; 与对照组对比

乙烯利处理杏果 LOX 同工酶条带清晰明亮, 表达强度较高。不同处理条件的杏果实随着贮藏时间的增加, 果实细胞衰老软化, 酶带强度逐渐变弱, 脂氧合酶降解, 条带弥散。

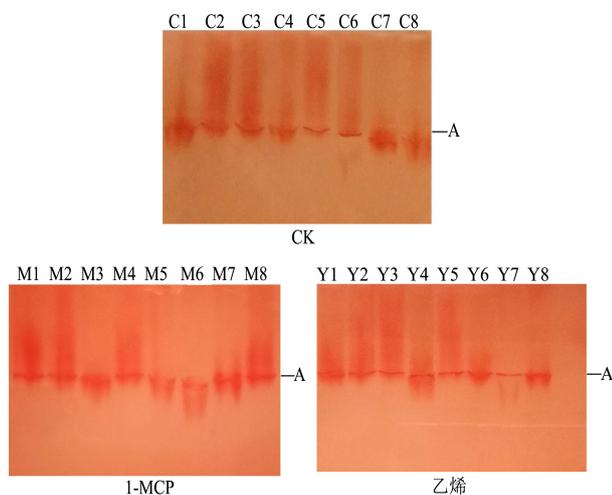


图9 1-MCP、乙烯利处理杏果采后 LOX 同工酶电泳图

Fig.9 1-MCP, ethylene treatment of apricot fruit after harvesting LOX isozyme electrophoresis

3 结论

3.1 果实衰老过程中氧化胁迫上升, 一方面会加快膜脂氧化等衰老进程, 另一方面会激活抗氧化系统。果蔬采后质量的下降与氧化胁迫有密切的联系^[24], 植物在长期进化过程中自身形成了由抗氧化物质和抗氧化酶共同构成的活性氧清除系统来清除活性氧, 防止膜脂不饱和脂肪酸的过氧化作用, 以保护细胞膜的完整性^[25]。本研究与千春录^[19]等, 研究结果一致。猕猴桃常温下快速软化衰老, 1-MCP 处理能抑制常温贮藏猕猴桃乙烯释放, 提高 SOD, POD 活力, 从而保持较高的抗氧化性, 进而延缓软化和衰老进程。

3.2 本文通过对 SOD、POD、PPO、LOX 四个活性氧代谢相关酶的酶活的测定及同工酶电泳的研究得出以下结论: (1) 1-MCP 处理组杏果随着贮藏时间的增加硬度缓慢下降, 显著减缓果实衰老软化的速率; 乙烯利处理杏果随着贮藏时间的增加硬度下降速率加快, 显著加快果实衰老软化的进程。1-MCP、乙烯利可以调控果实软化的速率。(2) 随着贮藏时间的增加, 1-MCP、乙烯利处理可以有效地调节杏果果实贮藏期间衰老软化生理变化。1-MCP、乙烯利处理及对照的 SOD、PPO、POD、LOX 活性呈先升高后降低的趋势, 1-MCP 处理组 SOD、PPO、POD 活力显著高于对照及乙烯利处理 ($p \geq 0.05$), LOX 活力显著低于对照及乙烯利处理 ($p \geq 0.05$)。 (3) 随着贮藏时间的增加, 各处理间同工酶表达强度存在差异, 1-MCP 处理组、对照

较乙烯利处理的 SOD、PPO、POD 同工酶表达增强; 1-MCP 处理组、对照较乙烯利处理的 LOX 同工酶表达减弱。随着贮藏时间的增加同工酶条带由清晰变为弥散, 说明在果实衰老软化过程中同工酶表达随着时间的增加而减弱。1-MCP 与乙烯可以有效的调控杏果同工酶表达强度, 1-MCP 通过提高活性氧代谢相关酶的活力, 减少活性氧的产生, 减缓细胞衰老进程, 延缓软化, 提高杏果的贮藏品质, 乙烯利处理反之。

参考文献

- [1] 王聘. 新疆小白杏果实采后贮藏保鲜的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
WANG Pin. Study on postharvest storage and preservation of Xinjiang Xiaobai apricot fruit [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [2] Wu B, Guo Q, Wang G X, et al. Effects of different postharvest treatments on the physiology and quality of Xiaobai apricots at room temperature [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 2247-2255
- [3] Guillen F, Castillo S, Zapata P J, et al. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(1): 23-27
- [4] Yang X, Song J, Campbell-Palmer L, et al. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 78: 55-66
- [5] Singh, Rupinderl, Dwivedi, et al (upendradwivedi@hotmail.com). Effect of Ethrel and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on antioxidants in mango (*Mangifera indica* var. *Dashehari*) during fruit ripening [J]. Food Chemistry, 2008, 111(4): 951-956
- [6] Abel Ortiz. Volatile ester-synthesising capacity in 'Tardibelle' peach fruit in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment [J]. Food Chemistry, 2010, 123(3): 698-704
- [7] Villalobos-Acua Max G, Biasi William V, Flores Sylvia, et al. Effect of maturity and cold storage on ethylene biosynthesis and ripening in 'Bartlett' pears treated after harvest with 1-MCP [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(1): 1-9
- [8] Ketsa Saichol, Wisutiamonkul Apinya, van Doorn, et al. Apparent synergism between the positive effects of 1-MCP and modified atmosphere on storage life of banana fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013: 173-178

- [9] 陈艺晖,张华,林河通,等.1-MCP处理对杨桃果实采后生理和贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(1):16-21
CHEN Yi-hui, ZHANG Hua, LIN He-tong, et al. Effects of 1-MCP treatment on postharvest physiology and storage quality of carambola fruit [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 16-21
- [10] 于军,侯旭杰,李海纬,等.1-MCP-OHAA 在小白杏贮藏保鲜中的应用研究[J].食品工业,2012,2:113-116
YU Jun, HOU Xu-jie, LI Hai-wei, et al. Application of 1-MCP-OHAA in storage and preservation of Xiaobai apricot [J]. Food Industry, 2012, 2: 113-116
- [11] 吴芳,周江,朱尤可,等.水杨酸和 1-甲基环丙烯处理对赛买提杏冷藏后货架期品质的影响[J].食品科技,2016,41(3):52-57
WU Fang, ZHOU Jiang, ZHU You-ke, et al. Effects of salicylic acid and 1-methylcyclopropene treatment on shelf life quality of simamat apricot after refrigeration [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 52-57
- [12] 汪俏梅,郭得平,袁晶,等.1-甲基环丙烯延缓青花菜衰老的效应及机理[J].园艺学报,2004,2:205-209
WANG Qiao-mei, GUO De-ping, YUAN Jing, et al. Effect and mechanism of 1-methylcyclopropene delaying senescence of broccoli [J]. Journal of Horticulture, 2004, 2: 205-209
- [13] Vilaplana R, William S Conway, Wojciech J Janisiewicz, et al. Effect of combining 1-MCP treatment and heat treatment on the storage capability of 'blanquilla' pear [J]. Springer Netherlands, 2007: 437-439
- [14] 孙爱萍.1-甲基环丙烯延缓采后甜瓜果实衰老的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2009
SUN Ai-ping. 1-methylcyclopropene delays the senescence of postharvest melon fruit [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009
- [15] 王伟华,姜丽,王利斌,等.采后 1-MCP 和乙烯利处理对茭白呼吸代谢及细胞结构的影响[J].现代食品科技,2017,33(12):129-136,67
WANG Wei-hua, JIANG Li, WANG Li-bin, et al. Effects of postharvest 1-MCP and ethephon treatment on respiratory metabolism and cell structure of white peony [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(12): 129-136, 67
- [16] 谢绍忠,钟梅,吴斌,等.1-MCP 对新疆小白杏采后生理和贮藏品质的影响[J].食品科技,2009,34(3):60-64
XIE Shao-zhong, ZHONG Mei, WU Bin, et al. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and storage quality of Xinjiang Xiaobai apricot [J]. Food Science, 2009, 34(3): 60-64
- [17] Zhu SH, Sun LN, Zhou J. Effects of different nitric oxide application on quality of kiwifruit during 20 degrees C storage [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(2): 245-251
- [18] 刘军伟,胡志和,苏莹.紫薯中多酚氧化酶活性的研究及褐变控制[J].食品科学,2012,33(17):207-211
LIU Jun-wei, HU Zhi-he, SU Ying. Study on polyphenol oxidase activity and control of browning in purple potato [J]. Food Science, 2012, 33(17): 207-211
- [19] 千春录,殷建东,王利斌,等.1-甲基环丙烯和自发气调对猕猴桃品质及活性氧代谢的影响[J].食品科学,2018,39(11):233-240
QIAN Chun-lu, YIN Jian-dong, WANG LI-bin, et al. Effects of 1-methylcyclopropene and spontaneous gas modulation on kiwifruit quality and active oxygen metabolism [J]. Food Science, 2018, 39(11): 233-240
- [20] 韩云云,宋方圆,韩艳文,等.不同采收贮藏条件下鸭梨果实 LOX 基因表达及其与果心褐变的关系[J].食品科学,2016,37(18):216-222
HAN Yun-yun, SONG Fang-yuan, HAN Yan-wen, et al. LOX gene expression in Ya pear fruit under different harvesting conditions and its relationship with fruit browning [J]. Food Science, 2016, 37(18): 216-222
- [21] 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. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [22] 沃兴德.蛋白质电泳与分析[M].北京:军事医学科学出版社.2009
WO Xing-de. Protein Electrophoresis and Analysis [M]. Beijing: Military Medical Science Press, 2009
- [23] 曼琴科.酶的凝胶电泳检测手册(原著第 2 版)(精)[M].北京:化学工业出版社,2008
MAN Qin-ke. Manual for Gel Electrophoresis Detection of Enzymes (formerly 2nd Edition) (fine) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008
- [24] Dominique Lacan (A1), Jean-Claude Baccou (A1). High levels of antioxidant enzymes correlate with delayed senescence in nonnetted muskmelon fruits [J]. Planta. 1998, 204(3): 377-382
- [25] 金鹏,吕慕雯,孙萃萃,等.MeJA 与低温预贮对枇杷冷害和活性氧代谢的影响[J].园艺学报,2012,39(3):461-468
JIN Peng, LYU Mu-wen, SUN Cui-cui, et al. Effects of MeJA and low temperature pre-storage on chilling injury and active oxygen metabolism in alfalfa [J]. Journal of Horticulture, 2012, 39(3): 461-468

现代食品科技