

农产品贮藏加工

1-MCP 对冷胁迫‘香蕉李’磷脂组分和冷害影响研究

吕麟琳, 程顺昌, 高超, 韩芸泽, 纪淑娟, 周倩, 周鑫, 魏宝东
(沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866)

摘要:目的 研究 1-MCP 处理对冷胁迫‘香蕉李’磷脂组分、相关酶活性和衡量冷害发生相关指标的影响, 以证明 1-MCP 处理可以有效地抑制‘香蕉李’冷害的发生。方法 将‘香蕉李’果实进行冷胁迫处理(4℃), 对比对照组(10℃)分析冷胁迫对各项指标产生的影响, 并研究 1-MCP 处理对‘香蕉李’果实采后冷胁迫温度下(4℃)磷脂组分、相关酶活性和衡量冷害发生相关指标的影响。结果 通过 1-MCP 处理能有效地抑制磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)和磷脂酰肌醇(PI)向溶血磷脂酰胆碱(LPC)、溶血磷脂酰乙醇胺(LPE)和溶血磷脂酰肌醇(LPI)水解, 并且能够抑制单半乳糖二酰基甘油(MGDG)向双半乳糖二酰基甘油(DGDG)转化, 从而判定 1-MCP 处理维持了细胞膜的稳定性。采用 0.5 μL/L 的 1-MCP 处理还有效地抑制了信号分子磷脂酸(PA)含量的上升, 从而延缓了‘香蕉李’膜脂过氧化物的发生。1-MCP 处理有效延缓了 LOX 酶活性、PLD 酶活性、MDA 含量增加的时间和速率, 抑制了细胞膜的降解, 保持了细胞膜的完整性, 抑制了冷害指数的升高。结论 贮运前用 1-MCP 处理能延缓和降低‘香蕉李’果实在低温贮运期间的冷害症状, 保持果实细胞膜的完整性, 从而推迟了‘香蕉李’冷害的发生时间, 保证了果实品质。

关键词: ‘香蕉李’果实; 1-MCP; 冷害; 磷脂组分

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)17-0001-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.17.001

Effects of 1-MCP on Phospholipid Components and Chilling Injury of 'Banana Plums' under Cold Stress

LYU Lin-lin, CHENG Shun-chang, GAO Chao, HAN Yun-ze, JI Shu-juan,
ZHOU Qian, ZHOU Xin, WEI Bao-dong

(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of 1-MCP treatment on the phospholipid components, related enzyme activities and related indexes of chilling injury of 'banana plums' under cold stress, so as to prove that 1-MCP treatment can effectively inhibit chilling injury of 'banana plums'. 'Banana plums' were placed under cold stress (4 °C). The effects of cold stress on various indexes were analyzed by comparing with the control group (10 °C), and the effects of 1-MCP treatment on phospholipid components, related enzyme activity and related indexes of chilling injury of 'banana plum' at postharvest cold stress temperature (4 °C) were studied. 1-MCP treatment could effectively inhibit phosphatidyl choline (PC) and phosphatidyl ethanolamine (PE) and phosphatidyl inositol (PI) from being hydrolyzed to lysophosphatidyl choline (LPC), lysophosphatidyl ethanolamine (LPE) and lysophosphatidyl inositol (LPI), and inhibit mono-galactosyl-diaclyglycerol (MGDG) from being converted to digalactosyl-diaclyglycerol (DGDG), thus judging that 1-MCP treatment maintained the stability of cell membrane. In addition, the 0.5 μ/L 1-MCP treatment also effectively inhibited the increase of the content

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: “十三五”国家重点研发计划专项(2018YFD0401303)

作者简介: 吕麟琳(1994—), 女, 沈阳农业大学硕士生, 主攻果蔬生物学与贮藏保鲜。

通信作者: 魏宝东(1969—), 男, 博士, 沈阳农业大学副教授, 主要研究方向为果蔬生物学与贮藏保鲜。

of signal molecule phosphatidic acid (PA), thus delaying the occurrence of membrane lipid peroxidation of 'banana plum'. 1-MCP treatment effectively delayed the increase time and rate of LOX enzyme activity, PLD enzyme activity and MDA content, inhibited the degradation of cell membrane, and maintained the integrity of cell membrane and inhibited the increase of chilling injury index. 1-MCP treatment before storage and transportation can delay and reduce chilling injury symptoms during low temperature storage and transportation of 'banana plums', and maintain the integrity of fruit cell membrane, thus postponing chilling injury occurrence time of 'banana plums' and ensuring fruit quality.

KEY WORDS: banana plum; 1-MCP; chilling injury; phospholipid component

‘香蕉李’是原产于广东粤北的蔷薇属果实，具有香气独特、酸甜可口的特点。在国内外市场上，‘香蕉李’因其口味独特、营养价值高而广受好评^[1]。李果实的成熟期在每年的7—8月份，高温使果实的呼吸旺盛，加之李果实皮薄汁多，极易腐烂，坏果率较高，在常温条件下仅能存放5~8 d^[2]，因而在市场上多用冷藏的方法降低李果实在采后贮藏过程中的损失。在低温贮藏过程中，李子易发生冷害，容易出现果肉褐变呈凝胶态、果实品质降低、风味丧失等现象^[3]。由此可见，研究能减轻冷藏‘香蕉李’果实冷害发生的技术尤为重要。

著名的冷害“膜脂相变”理论认为，最初发生冷害反应的是细胞膜，其他生理生化指标的变化都是膜相变之后的次生反应，是对细胞膜相变的应答^[4]。其最直观的表现是细胞膜状态由紧绷有序的液晶态转变为松散无序的凝胶态，这种转变使得细胞膜的透性增大^[5]，并使得与细胞膜结合的抗氧化酶活性受到抑制，无法发挥正常的生理功能。磷脂作为细胞膜脂最重要的组成部分^[6]，其组分的改变会破坏细胞膜的完整性及功能性。

1-甲基环丙烯(1-MCP)是一种非常安全有效的采后保鲜剂，具有成本低、效果好的特性，因而广泛应用于各类常见果蔬的保鲜技术上，如苹果^[7]、桃子^[8]、南果梨^[9]等。1-MCP是一种乙烯作用抑制剂，通过与乙烯竞争乙烯受体结合位点，抑制乙烯作用信号的传导，使得相关基因表达受阻，从而延缓了果实成熟和衰老的进程，同时能够有效地延缓李果实在冷藏状态下的品质下降^[10]，且可有效维持细胞膜的完整性^[11]。由此可推断1-MCP处理在果实采后贮藏过程中，可能具有降低果实冷害的效果。文中通过对比冷胁迫下(4℃)1-MCP处理的‘香蕉李’果实、对照组果实和非冷胁迫下CK组的膜透性、丙二醛、磷脂组分变化及关键酶活性的变化，从磷脂组分变化角度阐明1-MCP对减轻‘香蕉李’果实冷害的效果。

1 实验

1.1 材料及处理方法

实验所用‘香蕉李’果实于2018年7月24日采自

沈阳市沈河区新立堡社区大庙村民组农户，采后立即运抵实验室，并置于20℃恒温室内贮藏24 h，以去除田间热。预冷后分3组进行试验：在室温条件下用0.5 μL/L的1-MCP处理24 h后贮藏于4℃下，记为1-MCP组；在室温下放置24 h后贮藏于4℃下，记为CI组；在室温下放置24 h后，贮藏于10℃下，记为CK组。每个处理组有300个果实，采用0.03 mm的PVC薄膜袋进行包装。每7 d进行取样，并对其相关生理指标进行测量，设置3次重复实验。

1.2 冷害指数

对于冷害指数的测定^[12]，每个处理组取20个‘香蕉李’果实。沿缝合线纵切，根据褐变程度将冷害分为5个等级：0级，无冷害；1级，冷害斑小于果实面积的1/10；2级，冷害斑占果实面积的1/10~1/3；3级，冷害斑面积占果实面积的1/3到2/3；4级，冷害斑面积大于果实面积的2/3。冷害指数计算公式：

$$\text{冷害指数} = \frac{\sum(\text{冷害级别} \times \text{数量})}{\text{最大级数} \times \text{总数量}} \times 100\%$$

1.3 相对电导率和丙二醛含量

相对电导率的测定参照司敏^[13]的方法。丙二醛含量的测定参照硫代巴比妥酸比色法^[14]。

1.4 细胞膜磷脂组分

根据Welti等^[15]的方法提取膜脂质，即提取‘香蕉李’果实的磷脂。将磷脂提取液在N₂气流下蒸干，产物在-80℃下保存。经萃取后的‘香蕉李’果实于105℃下干燥12 h(过夜)，并测量其干质量。

参照Xiao等^[16]的方法，采用自动电喷雾电离串联质谱法测量膜脂组分。膜脂质提取物使用正己烷、异丙醇(二者的体积比为4:9)溶解，经0.22 μm滤头过滤后进样检测。具体检测色谱条件为ZORBAX RX-SIL色谱柱，流动相正己烷、异丙醇、甲醇、乙酸(1%)的体积比为4:9:5:2，流动相流速为0.5 mL/min，柱温为30℃，进样量为10 μL，漂移管温度为60℃，气体流速为2 mL/min，根据峰面积及标准曲线计算各磷脂组分的含量(干质量，ng/mg)。

1.5 脂氧合酶活性、磷脂酶 D 酶活性

脂氧合酶(LOX)活性测定采用曹建康^[17]的方法,并稍加改进。取3g李子样品,在液氮中研成粉末,加入8mL经过预冷的pH 6.0的0.1 mol/L磷酸钠缓冲液,再进行研磨、浸提。转入离心管中,在4℃下以8300 r/min离心15 min,上清液即为粗酶液。取2.775 mL 0.1 mol/L、pH 5.5的乙酸-乙酸钠缓冲液,加入25 μL的0.1 mol/L亚油酸钠溶液,在30℃下保温10 min后加入0.2 mL粗酶液,混匀,在234 nm下测定吸光度,每隔5 s读数1次,共测2 min,以1 min内 ΔOD_{234} 降低每0.01为一个酶活性单位(U),酶活性以 $\Delta OD_{234}/(\text{min}\cdot\text{mg})$ 表示。重复3次实验。

磷脂酶D(PLD)活性的测定,取2.0 g李果加入6.0 mL预冷的PBS(pH=7.4)缓冲液,冰浴研磨后在4℃下以8300 r/min的转速离心20 min,并收集上清液,然后根据上海酶联植物磷脂酶D ELISA试剂盒说明书进行测量。用标样在450 nm下测定吸光度值,制作PLD的标准曲线,用标准曲线计算样品浓度。

1.6 数据统计与分析

数据处理使用Excel 2016完成,显著性差异分析使用SPSS 13.0分析完成。

2 结果

2.1 1-MCP 处理对冷胁迫‘香蕉李’冷害指数的影响

冷害指数可以最直观地反映果实的冷害发生程度。由图1可知(文中所有图中的字母均表示显著性),CK组在整个贮藏期间未发生冷害;CI组的‘香蕉李’果实随着冷胁迫时间的延长,冷害指数呈上升趋势。冷胁迫0~14 d时2组‘香蕉李’的状态均较为良好,果

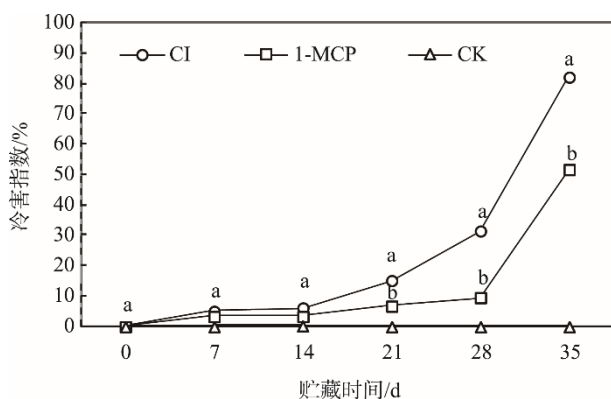


图1 1-MCP 处理对冷藏‘香蕉李’冷害指数的影响
Fig.1 Effects of 1-MCP treatment on chilling injury index in chilled 'banana plums'

实外观无明显区别;在贮藏21 d时,与CK组相比,CI组和1-MCP组相继出现冷害症状,当冷胁迫28 d时CI组的冷害指数增大到31.2%,极显著($P<0.01$)大于1-MCP组的冷害指数;当冷胁迫35 d时,CI组与1-MCP组的冷害指数都极速升高,分别达到82.3%和52.6%。1-MCP组的冷害指数($P<0.05$)显著低于CI组果实的冷害指数。CI组的冷害指数在第21天开始快速上升,1-MCP组在第28天开始快速上升。由此可见,1-MCP处理能够有效抑制‘香蕉李’果实在冷藏状态下冷害指数的上升,并且延缓冷害发生时间。

2.2 1-MCP 处理对冷胁迫‘香蕉李’膜渗透率和丙二醛含量的影响

相对电导率是表示膜渗透率的指标,可有效反映果实细胞膜的完整情况。由图2a可知,随着冷胁迫时间的延长,CK组‘香蕉李’果实的相对电导率呈稳定上升趋势,于贮藏35 d时达到最高值(61%),而CI组和1-MCP组的相对电导率都呈先急后缓的上升趋势。CI组于14 d开始急速上升至69%,并极显著($P<0.01$)大于1-MCP组和CK组;1-MCP组于21 d时上升至69%,且显著($P<0.05$)小于CI组。在冷胁迫28~35 d内CI组和1-MCP组的相对电导率都呈稳步上升趋势,分别达到84%和75%。由此可知,经过1-MCP处理的冷胁迫‘香蕉李’果实的相对电导率较低,细胞膜渗透率较小,即具有更好的细胞膜完整性。

当果实受到逆境胁迫时,大量自由基的产生会导致膜脂过氧化,细胞膜的损伤导致丙二醛含量的积累^[18]。如图2b所示,贮藏第7天CI组和1-MCP组的‘香蕉李’果实在受到低温胁迫时丙二醛含量均升高,且显著($P<0.05$)高于CK组;在14 d时,CI组的MDA含量极速升高到7.64 nmol/g,且极显著($P<0.01$)高于1-MCP组;在21 d时,1-MCP组的丙二醛含量快速上升,但仍显著($P<0.05$)小于CI组;在28~35 d,各处理组的MDA含量均缓慢上升,且CI组显著($P<0.05$)高于其他处理组,为9.41 nmol/g。由此可知,‘香蕉李’果实在受到低温胁迫时,丙二醛开始积累,含量逐渐上升。1-MCP处理组的果实具有更低的丙二醛含量,保持更低的膜脂过氧化程度。

2.3 1-MCP 处理对冷胁迫‘香蕉李’细胞膜磷脂组分的影响

磷脂组分选取了2种半乳糖脂(分别是单半乳糖二酰基甘油(MGDG)和双半乳糖二酰基甘油(DGDG))、4种磷脂(分别是磷脂酸(PA)、磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)和磷脂酰肌醇(PI))、

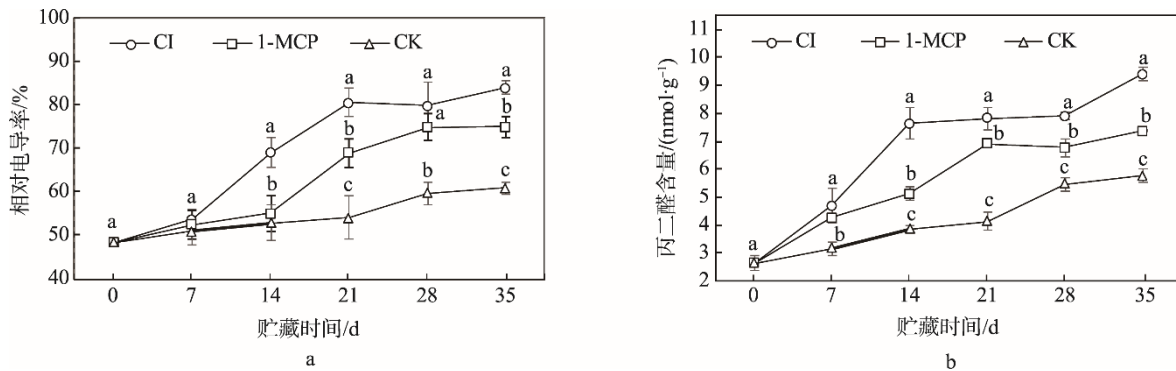


图2 1-MCP处理对冷藏‘香蕉李’膜渗透率和丙二醛含量的影响
Fig.2 Effects of 1-MCP treatment on membrane permeability and MDA content in chilled 'banana plums'

3种溶血磷脂(分别是溶血磷脂酰胆碱(LPC)、溶血磷脂酰乙醇胺(LPE)和溶血磷脂酰肌醇(LPI))进行测定。在非冷胁迫时,各组分的变化趋势相对较平缓。当植物受到低温胁迫时,MGDG分子会转变为DGDG以维持类囊体膜的稳定性^[19]。由图3a—b可知,糖脂类组分的MGDG呈下降趋势,DGDG呈上升趋势,且1-MCP处理组很好地抑制了MGDG组分的下降和DGDG组分的上升,1-MCP组和CI组都在贮藏14d时呈现显著性($P<0.05$)差异。由图3c—h可知,各处理组‘香蕉李’果实的PC,PE,PI等含量均随着冷胁迫时间的延长呈下降趋势,而LPC,LPE,LPI等含量则呈上升趋势。这是由于溶血磷脂由磷脂通过磷脂酶D降解而成,PLD酶受冷胁迫激活后,将磷脂水解成为相对应的溶血磷脂。其中,1-MCP处理组可以有效地抑制和延缓磷脂的水解,使李果实保持更完整的细胞膜状态。除此之外,从图3i和图3j可知,PA含量呈升高趋势,而总磷脂则呈下降趋势。CI组的PA含量在14d时出现激增,显著($P<0.05$)大于1-MCP组,1-MCP组的激增点则推迟至21d,达到6.217 ng/mg,且显著($P<0.05$)小于同期的CI组。总磷脂的下降代表细胞膜的崩溃,1-MCP处理可以有效地抑制这一现象的发生。

2.4 1-MCP处理对冷胁迫‘香蕉李’LOX酶活性和PLD酶活性的影响

由图4a可知,在低温贮藏过程中,‘香蕉李’果实组织的LOX酶活性都呈现先升高后下降的趋势,都存在活性峰值。CI组的峰值(鲜质量)出现在第14天,达到8.31 U/(g·min),极显著($P<0.01$)大于1-MCP组和CK组,且在峰值后逐渐降低,在冷胁迫35d时降低到5.60 U/(g·min);1-MCP组的峰值出现在第21天,达到6.95 U/(g·min),显著低于CI组,从第28天开始酶活性逐渐降低。由此可见,1-MCP处理可以有效地抑制LOX酶活性的上升,并且使LOX酶活性峰延后出现。

PLD是植物中降解细胞膜磷脂的主要酶,当外界环境改变时,磷脂酶D被激活,首先通过水解磷脂产生信号物质——磷脂酸(PA),会激活一系列蛋白酶,以应对逆境胁迫的应答。其次,在磷脂酶D的作用下会发生磷脂转移作用,改变了细胞膜的组成,影响细胞膜的稳定性^[20]。由图4b可知,PLD酶活性随着冷胁迫时间的延长而增长,而1-MCP处理能够有效地抑制这一变化的发生。在冷胁迫7d时,1-MCP组和对照组无明显差异,当贮藏14d时CIPLD活性上升,并显著($P<0.05$)大于1-MCP组。此后,CI组和1-MCP组果实的PLD酶活性都呈上升趋势,但1-MCP组显著($P<0.05$)小于CI组。在冷胁迫35d时,1-MCP组的活性达到770.03 U/L,而CI组的活性则达到1116.27 U/L。

3 讨论

在‘香蕉李’果实采后使用1-MCP处理可以有效地抑制果实在冷胁迫状态下冷害的发生,这与1-MCP能减轻桃^[21]、安哥诺李^[22]、番茄果^[23]等果蔬冷害症状的研究结果一致。1-MCP处理可以有效地降低冷胁迫下果实的冷害指数。首先,1-MCP处理有效地抑制了磷脂组分PC,PE,PI向溶血磷脂LPC,LPE,LPI的水解进程,维持了更高的总磷脂含量,保持了更稳定的细胞膜结构,且通过MGDG向DGDG转化的趋势不同可知,1-MCP处理提高了‘香蕉李’果实的冷害耐受性。

磷脂酶D的活性在经过1-MCP处理后呈现出显著($P<0.05$)降低的状态,PA是磷脂通过PLD水解得到的产物。PA作为信号分子会促使脂肪酸的氧化,最终致使膜脂过氧化情况加重^[24]。在经过1-MCP处理后,处理组PA含量的上升得到了抑制,这与Zhang等^[25]在拟南芥中的研究相同,同时LOX酶活性也会受到调控,活性得到显著($P<0.05$)降低,1-MCO组MDA含量的增量也显著($P<0.05$)低于对照组。这与范林林等^[26]在西葫芦中的研究结果一致。

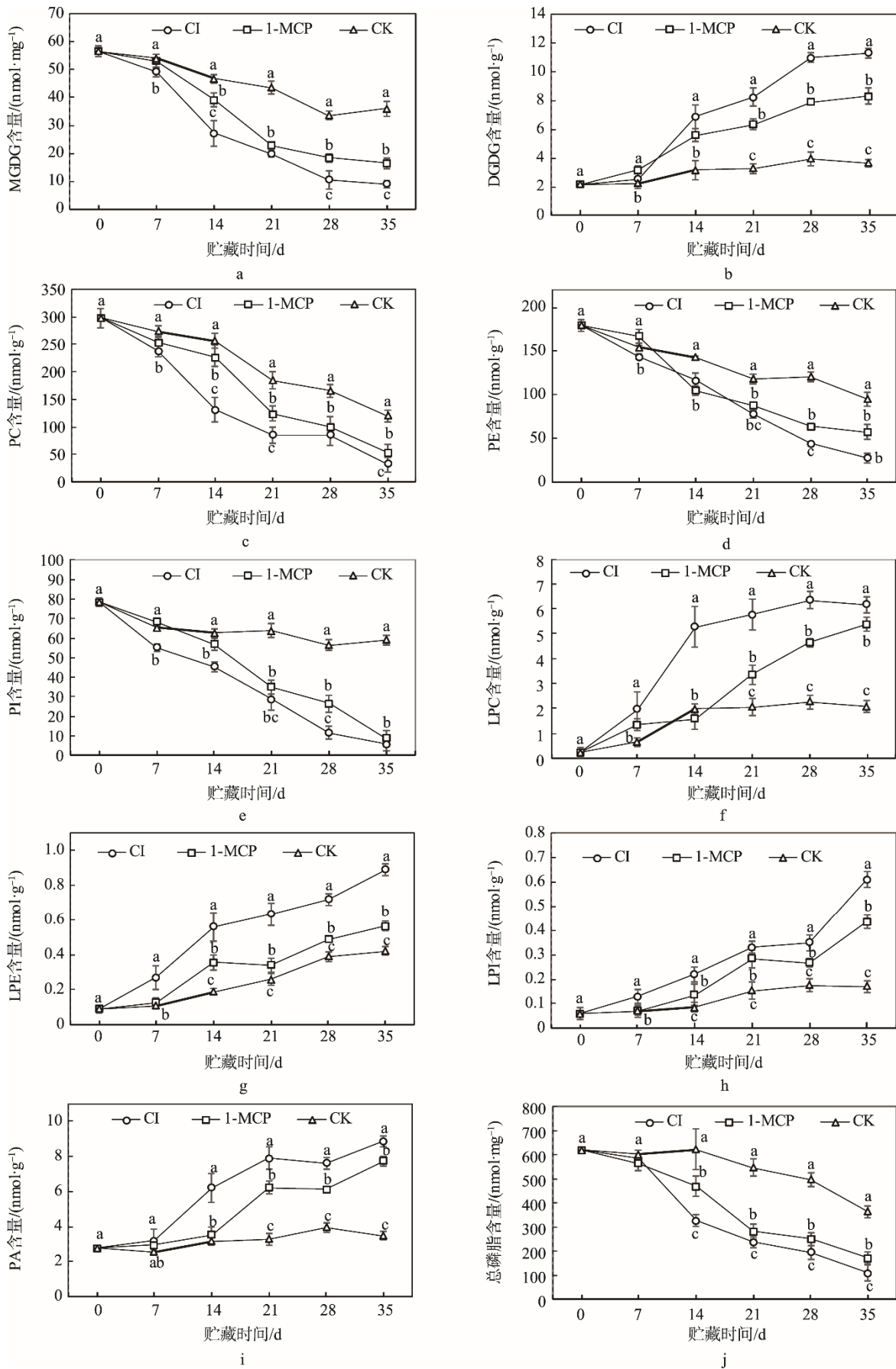


图 3 1-MCP 处理对冷藏‘香蕉李’磷脂组分的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP treatment on the phospholipid components in chilled 'banana plums'

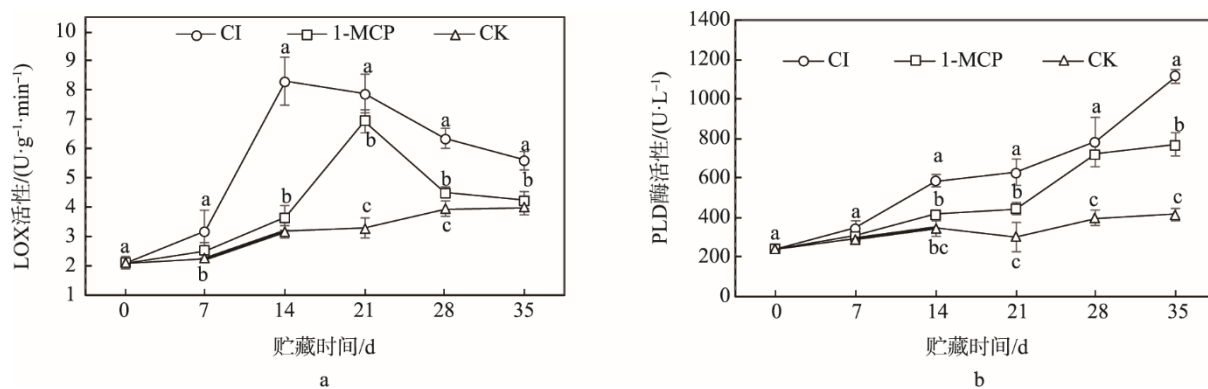


图4 1-MCP处理对冷藏‘香蕉李’LOX酶和PLD酶活性的影响
Fig.4 Effects of 1-MCP treatment on the activity of LOX and PLD in chilled 'banana plums'

4 结语

1-MCP处理有效地抑制了冷胁迫下PLD酶活性的上升,从而延缓了细胞膜磷脂组分的改变,调控了‘香蕉李’果实的膜脂代谢,保持了更好的细胞膜状态。通过研究磷脂组学的方法,验证了在‘香蕉李’果实采后,使用1-MCP处理可以有效地延缓和降低冷胁迫下冷害的发生。

参考文献:

- [1] 丁丹. 李子采后生理特性及保鲜技术的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
DING Dan. Research on Postharvest Physiological Characteristics and Preservation Technology of Plum [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [2] 林炎娟, 周丹蓉, 叶新福, 等. 李子保鲜技术研究进展[J]. 东南园艺, 2017, 5(1): 43—49.
LIN Yan-juan, ZHOU Dan-rong, YE Xin-fu, et al. Research Progress of Plum Preservation Technology [J]. Southeast Horticulture, 2017, 5(1): 43—49.
- [3] 郭丹, 郝义, 韩英群. 李子采后特性及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 237—240.
GUO Dan, HAO Yi, HAN Ying-qun. Research Progress on Post-harvest Characteristics and Storage and Preservation Technology of Plums[J]. Food Industry, 2015, 36(9): 237—240.
- [4] LYONS J M. Chilling Injury in Plants[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1973, 24(1): 445—466.
- [5] 张敏, 解越. 采后果蔬低温贮藏冷害研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(1): 1—11.
ZHANG Min, XIE Yue. Research Progress of Postharvest Fruits and Vegetables Cryopreservation Damage[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2016, 35(1): 1—11.
- [6] WEINER M D, FEIGENSON G W. Molecular Dynamics Simulations Reveal the Impact of Compositional Asymmetry in Lipid Membranes on Phase Behavior and

Leaf Letinteractions[J]. Biophysical Journal, 2017(3): 377.

- [7] YANG Xiao-tang, SONG Jun, CAMPBELL P 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.
- [8] ORTIZ A, GRAELL J, LOPEZ M L, et al. Volatile Ester-synthesis Capacity in 'Tardibelle' Peach Fruit in Response to Controlled Atmosphere and 1-MCP Treatment[J]. Food Chemistry, 2010, 123: 698—704.
- [9] 纪淑娟, 董玲, 周鑫, 等. 水杨酸对1-MCP处理南果梨冷藏后酯类香气的影响及作用机理[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 168—175.
JI Shu-juan, DONG Ling, ZHOU Xin, et al. Effects and Mechanism of Salicylic Acid on Ester Aroma of South Fruit Pear Treated with 1-MCP after Refrigeration[J]. Chinese Journal of Food Science, 2016, 16(6): 168—175.
- [10] 及华, 刘媛, 王燕霞, 等. 1-MCP对不同成熟度安格诺李冷藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(10): 178—183.
JI Hua, LIU Yuan, WANG Yan-xia, et al. Effects of 1-MCP on Refrigerated Quality of Angelica Plum with Different Maturity[J]. Food Research and Development, 2012, 33(10): 178—183.
- [11] 吴雪莹, 邓丽莉, 王宝刚, 等. 1-MCP处理对李果实采后生理的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 270—276.
WU Xue-ying, DENG Li-li, WANG Bao-gang, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Postharvest Physiology of Plums[J]. Food Science, 2015, 36(20): 270—276.
- [12] 王艳颖, 胡文忠, 田密霞, 等. 氯化钙处理对李果实抑制冷害作用的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 286—290.
WANG Yan-ying, HU Wen-zhong, TIAN Mi-xia, et al. Effect of Calcium Chloride Treatment on Chilling Damage Inhibition of Plums[J]. Food Science, 2011, 32(8): 286—290.
- [13] 司敏, 伍利芬, 薛华丽, 等. 采前赤霉素处理对李果

- 实采后冷害的抑制及部分机理研究[J]. 中国果树, 2018(4): 4—9.
- SI Min, WU Li-fen, XUE Hua-li, et al. Inhibition of Pre-harvest Gibberellin Treatment on Postharvest Chilling Injury of Plum Fruits and Some of Its Mechanisms[J]. China Fruit Trees, 2018(4): 4—9.
- [14] 程顺昌, 魏宝东, 周倩, 等. CO₂对模拟运输条件下西兰花品质和贮藏特性的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 1—6.
- CHENG Shun-chang, WEI Bao-dong, ZHOU Qian, et al. Effects of CO₂ on Quality and Storage Characteristics of Broccoli under Simulated Transportation Conditions[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 1—6.
- [15] WELTI R, LI W, LI M, et al. Profiling Membrane Lipids in Plant Stress Responses[J]. Biological Chemistry, 2002, 277(35): 31994—32002.
- [16] XIAO S, GAO W, CHEN Q F, et al. Overexpression of Arabidopsis Acyl-CoA Binding Protein ACBP₃ Promotes Starvation-induced and Age-dependent Leaf Senescence[J]. Plant Cell, 2010, 22: 1463—1482.
- [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.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guide for Fruits and Vegetables after Harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [18] 张银志, 孙秀兰, 刘兴华, 等. 低温胁迫和变温处理对李子生理特性的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(2): 134—138.
- ZHANG Yin-zhi, SUN Xiu-lan, LIU Xing-hua, et al. Effects of Low Temperature Stress and Variable Temperature Treatment on Physiological Characteristics of Plums[J]. Food Science, 2003, 24(2): 134—138.
- [19] PABLO T, KIRSTIN F, IVO F. An Enhanced Plant Lipidomics Method Based on Multiplexed Liquid Chromatography-Mass Spectrometry Reveals Additional Insights into Cold and Drought-Induced Membrane Remodeling[J]. Plant J, 2015, 84: 621—633.
- [20] 李伟丽. 桃磷脂酶 D 家族基因鉴定及其在桃果实采后低温适应性中的作用分析[D]. 上海: 上海大学, 2014.
- LI Wei-li. Identification of The Phospholipase D Family Gene of Peach Phospholipase and Its Role in Low-Temperature Adaptation of Peach Fruits after Harvest[D]. Shanghai: Shanghai University, 2014.
- [21] 殷健东. 1-MCP 和乙烯对水蜜桃采后冷害发生的生理调控机制研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- YIN Jian-dong. Physiological Regulation Mechanism of 1-MCP and Ethylene on the Occurrence of Cold Damage in Peach after Harvest[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018.
- [22] 周爽. 逐步降温结合 1-MCP 处理对‘安格诺’李贮藏效果的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- ZHOU Shuang. Effect of Gradual Cooling Combined with 1-MCPTreatment on Storage Effect of 'An-ge-nuo' Plums[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017.
- [23] 周枫. 采收成熟度、1-MCP 和乙烯处理对番茄果实冷害和贮藏效果的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- ZHOU Feng. Effects of Harvest Maturity, 1-MCP and Ethylene Treatment on Chilling Damage and Storage Effect of Tomato Fruits[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [24] SUN J, YOU X, Li, et al. Effects of a Phospholipase D Inhibitor on Postharvest Enzymatic Browning and Oxidative Stress of Litchi Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(3): 288—294.
- [25] ZHANG Y Y, ZHOU H Y. Phospholipase D α_1 and Phosphatidic Acid Regulate NADPH Oxidase Activity and Production of Reactive Oxygen Species in ABA-Mediated Stomatal Closure in Arabidopsis[J]. Plant Cell, 2009, 21(8): 2357—2377.
- [26] 范林林, 高元惠, 高丽朴, 等. 1-MCP 处理对西葫芦冷害和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 330—334.
- FAN Lin-lin, GAO Yuan-hui, GAO Li-pu, et al. Effects of 1-MCPTreatment on Cold Damage and Quality of Zucchini[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 330—334.