

1-MCP 处理延缓龙眼采后贮藏期间果皮中的膜脂代谢

刘发强, 夏培蓓, 李玉梅, 吴咏梅

(新疆工程学院化学与环境工程学院, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要: 本文研究了 1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 处理延缓龙眼采后贮藏期间果皮中的膜脂代谢, 分析其耐贮藏性。选取福眼龙眼, 经 1-MCP 处理后, 检测果皮脂酶、脂氧合酶 (Lipoxygenase, LOX)、磷脂酶 D (Phospholipase D, PLD)、磷脂酰胆碱 (Phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰肌醇 (Phosphatidylinositol, PI)、丙酮酸 (Pyruvic acid, PA) 的含量, 高效液相色谱-四级杆飞行时间串联质谱技术分析油酸、亚油酸、亚麻酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸膜脂等脂肪酸组分。结果表明, 对照组和实验组的果皮脂酶、LOX、PLD 活力随贮藏时间的延长均升高, PC、PI 含量随贮藏时间的延长均下降。实验组在采后 0~6 d 内, 龙眼果皮 LOX、脂酶、PLD 活力、PC、PI、PA 含量、油酸、亚油酸、亚麻酸含量高于对照组, 肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸含量与对照组采后 0~6 d 相比降低, 差异具有统计学意义 ($p < 0.05$)。实验组经 1-MCP 处理, 在采后 6 d 脂酶、LOX 和 PLD 的活力分别为 25.62 U/mg、12.62 U/mg、和 0.80 U/mg, PC、PI 和 PA 的含量分别为 0.39 mg/g、0.22 mg/g、和 0.52 mg/g。说明 1-MCP 能有效降低采后龙眼贮藏期间果皮中的 LOX、脂酶、PLD 活力, 促进 PC、PI 等磷脂组分含量升高, 抑制磷脂降解产物 PA 产生, 从而能抑制果皮膜的生理代谢, 维持细胞膜系统结构的稳定, 延长龙眼的贮藏时间。

关键词: 1-甲基环丙烯; 龙眼; 膜脂代谢

文章编号: 1673-9078(2020)08-141-146

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0281

1-Methylcyclopropene Treatment Delays Membrane Lipid Metabolism in the Longan Pericarp during Postharvest Storage

LIU Fa-qiang, XIA Pei-bei, LI Yu-mei, WU Yong-mei

(Xinjiang Institute of Engineering, College of Chemistry and Environmental Engineering, Urumqi 830091, China)

Abstract: The storability of longan fruits of the "Fuyan" cultivar was investigated by subjecting them to 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment to delay membrane lipid metabolism in the pericarp during postharvest storage. After 1-MCP treatment, the activities of lipase, lipoxygenase (LOX), and phospholipase D (PLD) and the contents of phosphatidylcholine (PC), phosphatidylinositol (PI), and pyruvic acid (PA) in the pericarp were measured. Fatty acid components, such as oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, myristic acid, palmitic acid, and stearic acid in the cell membranes of the pericarps were analyzed by HPLC-Q-TOF-MS/MS. Results indicated that with the prolongation of storage, the activities of lipase, LOX, and PLD in the control and experimental groups increased, whereas the contents of PC and PI decreased. Within zero to six days after harvest, the experimental group had higher activities of lipase, LOX, and PLD, higher contents of PC, PI, PA, oleic acid, linoleic acid, and linolenic acid, and lower contents of myristic acid, palmitic acid, and stearic acid compared with the control group, with differences being statistically significant ($p < 0.05$). Six days after harvesting, the activities of lipase, LOX, and PLD were 25.62 U/mg, 12.62 U/mg, and 0.80 U/mg, respectively, and the respective contents of PC, PI, and PA were 0.39 mg/g, 0.22 mg/g, and 0.52 mg/g in the experimental group. The results indicated that 1-MCP effectively reduced the activities of lipase, LOX, and PLD, promoting an increase in the contents of phospholipid components, such as PC and PI, and inhibited the production of the phospholipid degradation product PA in the longan pericarp during

引文格式:

刘发强,夏培蓓,李玉梅,等.1-MCP 处理延缓龙眼采后贮藏期间果皮中的膜脂代谢[J].现代食品科技,2020,36(8):141-146

LIU Fa-qiang, XIA Pei-bei, LI Yu-mei, et al. 1-Methylcyclopropene treatment delays membrane lipid metabolism in the longan pericarp during postharvest storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 141-146

收稿日期: 2020-03-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21667029); 新疆工程学院科研基金项目 (2017xgy101910); 新疆工程学院科研育人项目 (2019xgy112112)

作者简介: 刘发强 (1983-), 男, 讲师, 研究方向: 色谱理论及应用研究

通讯作者: 吴咏梅 (1971-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 光催化

postharvest storage. This led to the inhibition of physiological metabolism in the cell membrane of the pericarp, thereby maintaining the stability of the cell membrane system and enabling the prolongation of the storage life of longan fruits.

Key words: 1-methylcyclopropene; longan; membrane lipid metabolism

龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 也称桂圆, 属于一种热带、亚热带水果, 其营养价值、药用价值较高, 受到广大人们的欢迎和喜爱。龙眼果实成熟主要在夏季, 受高温、高湿等条件的影响, 生理代谢加速, 龙眼果肉容易发生自溶、腐烂, 果皮变褐, 影响其品质^[1]。研究指出, 在室温下, 龙眼不耐贮藏, 1 周时间品质全部发生劣变, 对龙眼果实的食用品质以及产业发展产生重要的影响, 导致经济损失巨大^[2]。龙眼果皮主要包括外果皮、中果皮和内果皮, 其中外果皮周皮层相对较薄, 表面栓质相对较少, 连续栓质层未形成, 外果皮表面有大量的微裂口和皮孔, 其形状和大小保持一致, 果皮与果肉之间有输导组织连接, 如果果皮发生失水, 加上果肉不能及时的补充, 果皮会因为失水变得干枯, 褐变速度加快^[3,4]。韩冬梅^[5]研究指出, 失水会导致龙眼果皮变褐, 组织抗氧化能力也随之降低, 活性氧不断积累, 促进细胞膜系统的膜脂过氧化能力提高, 细胞膜结构被破坏。

相关研究指出, 能量一旦亏缺, 加上病原菌侵, 会导致龙眼果实贮藏过程中果皮膜脂代谢加快, 脂氧合酶 (lipoxygenase, LOX)、磷脂酶 D (phospholipase, PLD) 活性也随着提高, 膜磷脂 (phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰肌醇 (phosphatidylinositol, PI)、膜不饱和脂肪酸发生降解, 细胞膜结构被破坏, 对龙眼果实的耐贮性产生严重的影响^[6,7]。也有研究指出, 龙眼在采摘前给予套袋处理, 会避免龙眼果实贮藏期间品质发生劣变, 促进其耐贮性提高^[8]。Wang H 研究指出, 龙眼果实耐贮性与其膜脂代谢有紧密的联系, 在龙眼采摘前或者是在其采摘后进行保鲜, 通过对其膜脂代谢调节, 增强龙眼果实的耐贮性。1-MCP 是一种安全无毒的新型乙烯受体抑制剂, 能抑制乙烯生成, 延缓果实衰老, 延长果实的保鲜期^[9]。1-MCP 处理后能有效的抑制台湾青枣果实果皮变色和果肉硬度下降, 从而保持细胞膜系统的完整性, 降低细胞膜透性, 1-MCP 抑制果实衰老与其维持细胞膜完整性有关^[10]。目前关于 1-MCP 对果皮膜脂代谢的相关研究较少。本文旨在研究采后 1-MCP 处理延缓龙眼采后贮藏期间果皮中的膜脂代谢, 分析其耐贮性。

1 材料与方法

1.1 材料

福眼龙眼品种均来自福建省宁德市蕉城区良种示范果园, 果树的树龄 6~10 年, 长势一致, 龙眼果实九成熟, 在我院食品贮藏保鲜实验室中保存, 所有果实大小、色泽保持一致, 未发现有病虫害以及损伤, 健康果实。

1.2 主要仪器设备

四级杆-飞行时间质谱仪 (型号: AB-Sciex 4600), AB SCIEX 公司提供; 高效液相色谱仪 (型号: LC-2030C 3D), 日本津岛有限公司; 气相色谱仪 (型号: GC-2010 Plus), 日本津岛有限公司。

1.3 主要试剂

纸片型 1-MCP (安喜布), 台湾利统股份有限公司; 氯仿-甲醇溶液、30% 的聚二乙二醇丁二酸脂 (diethylene glycol succinate, DEGS), 北京索莱宝科技有限公司; 石油醚、丙酮、磷酸钾缓冲液、醋酸缓冲液、磷脂酰丝氨酸合成酶 (phosphatidylserine synthetase, PSS)、氯仿-甲醇溶液试剂, 国药集团化学试剂有限公司。

1.4 方法

1.4.1 龙眼果实处理

在实验前期, 选择福眼龙眼品种, 盛花期过后 120 d 进行采收, 先在冷库中 3~4 °C 进行预冷处理时间为 3 h, 龙眼果实先使用蒸馏水进行清洗干净后, 晾干, 使用聚乙烯薄膜袋进行包装厚度为 0.015 mm (50 个/袋)^[11]。实验组: 根据 1-MCP 处理体积浓度裁取适宜大小的纸片型 1-MCP, 纸片型 1-MCP 表面喷少量蒸馏水后平铺在聚乙烯薄膜袋中的果实上, 之后密封, (15±1) °C 下处理 12 h, 促进 1-MCP 气体释放在整个聚乙烯薄膜袋中。对照组: 果实在 (15±1) °C 下, 无 1-MCP 的聚乙烯薄膜袋中密闭 12 h。

1.4.2 龙眼果皮细胞膜饱和脂肪酸含量、不饱和脂肪酸含量、IUFA 含量测定

参考林志强^[12]文献称取果皮 1 g, 使用滤纸吸干表面水分后剪碎, 100 °C, 钝化处理时间为 10 min, 加入氯仿-甲醇溶液 (1:2) 研磨, 抽提总脂, 通过液-液分离法使用石油醚对组织进行反复的冲洗, 将中性脂清除干净, 得到极性脂。

极性脂甲酯化处理后, 使用气相层析仪 (103 型)

检测龙眼果皮细胞膜饱和脂肪酸含量、不饱和脂肪酸含量、IUFA 含量。相关参数设置:层析柱长为 2 m,柱径设置为 4 mm,固定液(30% DEGS),柱槽温度设置为 190~195 °C,进样器 250 °C,H2 火焰 210 °C,载气 N2 流量设置成 50 mL/s。使用归一法计算各种脂肪酸含量。

1.4.3 龙眼果皮脂酶、LOX、PLD 活力测定

称取龙眼果皮 1 g,将 10 mL 预冷的 0.1 M 磷酸钾缓冲液(其 pH 值=6.8)与 0.15 g 的 PVP 混合均匀,12000 r/min,4 °C 离心处理 20 min,采集上清液检测 LOX 活性。取 3 mL 反应体系中的 100 mmol/L 的亚油酸钠母液 25 μ L,2.775 mL 的 100 mmol/L 醋酸缓冲液(其 pH 值=5.5),0.2 mL 酶液混合均匀,在 30 °C 反应,检测 LOX 活性。采用酶联比色法检测果皮脂酶和 PLD 活力,磷脂酰丝氨酸合成酶(PSS, pH 值=5.6,30 °C)通过对 L- α -卵磷脂水解,促进胆碱产生,显色,在 A_{500 nm} 下测定果皮脂酶和 PLD 活力。

1.4.4 龙眼果皮 PC、PI、PA 含量测定

参考陈艺晖^[13]文献,称取称取果皮组织 1 g 放在 50 mL 带盖离心管中保存,添加 Folch 试剂 15 mL(氯仿:甲醇=2:1),超声提取时间为 1 h,在 4 °C 环境下,9000 r/min 离心处理时间为 20 min。观察离心管中液体分层情况,分离上层液体,取下层氯仿相保存在离心管中,之后加入丙酮 1 mL 经过漩涡振荡处理 2 min,连续重复 3 次,经过氮气吹干后将其溶于 1 mL 的 Folch 试剂内,使用 0.22 μ m 滤膜过滤,保存。

采用高效相色谱法检测龙眼果皮 PC、PI、PA 含量,具体操作:SIL100A 色谱柱参数:250 mm \times 4.8 mm、5 μ m,进样量为 10 μ L,柱温为 40 °C,流速设置为 0.8 mL/min,需要测定的波长为 254 nm,通过等度洗脱方法完成。ELSD-LTII 蒸发光散射检测器参数设置:温度为 40 °C,压力值为 350 kPa,以正己烷-异丙醇-乙酸-三乙胺为流动相 A(814.2:170:15:0.8),以异丙醇-水-乙酸-三乙胺为流动相 B(844.2:140:15:0.8)^[14]。

1.4.5 膜脂中的脂肪酸组分测定

反相色谱柱参数设置:100 mm \times 2.1 mm,2.6 μ m;正相色谱柱参数设置:100 mm \times 2.1,3 μ m,流速设置为 0.35 mL/min。反相色谱法操作步骤:流动相主要由溶剂 A(0.1%甲酸水溶液)、溶剂 B(0.1%甲酸乙腈溶液)组成。梯度洗脱参数:0.0~1.0 min,1% B;1.0~8.0 min,5%~85% B;8.0~12.0 min,85% B;12.0~12.1 min,85%~5% B。正相色谱法:流动相主要由溶剂 C(水/乙腈(V/V),0.1%甲酸)、溶剂 D(水/乙腈,0.1%甲酸)组成。梯度洗脱参数设置:0.0~1.0 min,95% D;1.0~8.0 min,95%~50% D;8.0~12.0 min,50% D;

12.0~12.1 min,50%~95% D。四级杆-飞行时间质谱仪,设置为电喷雾正离子、负离子电离模式。碰撞能量参数设置:40 \pm 15(+ESI),-40 \pm 15(-ESI)离子喷雾电压:阳离子模式+5500 V,阴离子模式-4500 V;热箱温度设置为 600 °C。雾化气压力设置为 55 Psi;涡轮增压气压力设置为 55 Psi;气帘气压力设置为 25 Psi;进行全扫描。质量扫描范围选择为 50~1000 D;一级质谱采集频率 0.25 s,二级质谱采集频率 0.1 s,每次需要采集 8 个数据。进样量设置为 10 μ L;进针方式为随机在 4 °C 中保存。分析油酸、亚油酸、亚麻酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 20.0 统计软件包进行统计分析处理。计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)描述,多组数据比较采用 *F* 值检验,两组间比较采用独立样本 *t* 检验,*p*<0.05 具有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 1-MCP 处理对采后龙眼果皮中脂酶、LOX、PLD 活力的影响

生理代谢失调,当生理代谢失调时,细胞膜膜脂相关成分会降解,PLD、脂酶、LOX 属于膜脂降解相关酶,其活性也随着提高^[15,16]。磷脂是生物膜的主要骨架成分且被认为参与细胞的信息传递过程,PLD 通过水解细胞膜中的磷脂而影响膜的结构、功能和稳定性。PLD 是一种催化细胞膜磷脂水解起始酶,在催化膜磷脂降解过程中具有重要作用,有研究认为 PLD 活性能反映膜磷脂降解程度^[17]。LOX 在膜脂肪酸代谢过程中发挥着关键性的作用,通过催化多不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸、亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸)促进游离脂肪酸生成,膜脂过氧化能力被激活,导致细胞膜损伤,细胞膜透性也随之增加^[18]。实验组龙眼果皮脂酶、PLD 活力随贮藏时间的延长均升高;采后 0~3 d LOX 活力逐渐升高,在采后 3 d 出现高峰,采后 4~6 d 活力降低;采后 0 d 龙眼果皮脂酶、PLD 活力最低;实验组在各时间段脂酶、LOX、PLD 活力分别低于对照组 1~6 d 脂酶、LOX、PLD 活力。说明 1-MCP 处理对龙眼果皮脂酶、LOX、PLD 活力有抑制作用。实验组在采后 6 d 脂酶(25.62 U/mg)、LOX(12.62 U/mg)、PLD(0.80 U/mg)活力最高,说明 1-MCP 处理可有效降低采后龙眼果实贮藏期间的果皮 LOX、脂酶、PLD 活力。1-MCP 处理通过抑制 LOX 活性的升高,

延缓细胞膜的膜脂过氧化;通过抑制 PLD 活性升高, 谢, 延长龙眼储存时间。有助于保持细胞膜稳定性。从而调节果皮膜的生理代

表 1 采后不同贮藏时间龙眼果皮中脂酶、LOX、PLD 活力比较

Table 1 Comparison of lipase, LOX and PLD activities in longan peel at different storage time ($\bar{x} \pm s$)

时间	脂酶/(U/mg)		LOX/(U/mg)		PLD/(U/mg)	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
0 d	16.28±1.14 ^a	21.21±3.44 ^{*a}	9.16±2.04 ^a	9.12±2.06 ^a	0.68±0.07 ^a	0.72±0.08 ^a
1 d	20.22±2.20 ^b	23.63±3.86 ^{*b}	9.79±2.12 ^b	17.32±5.16 ^{*b}	0.74±0.08 ^b	0.81±0.07 ^{*b}
2 d	21.36±2.85 ^c	23.62±3.88 ^b	13.32±3.31 ^c	20.20±6.17 ^{*c}	0.54±0.04 ^c	0.69±0.07 ^{*c}
3 d	22.59±3.17 ^c	26.77±4.48 ^{*c}	17.75±4.48 ^d	22.33±6.58 ^{*d}	0.40±0.02 ^d	0.95±0.08 ^{*d}
4 d	20.12±1.18 ^b	25.52±2.24 ^{*b}	13.86±3.14 ^c	30.69±2.15 ^{*c}	0.67±0.07 ^a	0.80±0.10 ^{*a}
5 d	23.37±2.24 ^c	30.31±3.66 ^{*c}	8.96±1.12 ^a	31.35±3.27 ^{*a}	0.72±0.08 ^b	1.06±0.12 ^{*b}
6 d	25.62±3.38 ^d	32.58±2.59 ^{*d}	12.62±2.54 ^c	32.47±1.19 ^{*a}	0.80±0.09 ^{bc}	1.21±0.22 ^{*c}

注: 同列字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$; *与实验组相比, $p < 0.05$; 下表同。

表 2 采后不同贮藏时间龙眼果皮中 PC、PI、PA 含量比较

Table 2 Comparison of the contents of PC, PI and PA in longan peel at different storage time ($\bar{x} \pm s$)

时间	PC/(mg/g)		PI/(mg/g)		PA/(mg/g)	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
0 d	0.58±0.06 ^a	0.49±0.05 ^{*a}	0.28±0.02 ^a	0.24±0.04 ^{*a}	0.38±0.02 ^a	0.46±0.05 ^{*a}
1 d	0.50±0.03 ^b	0.40±0.02 ^{*b}	0.26±0.03 ^b	0.21±0.02 ^{*b}	0.41±0.03 ^b	0.50±0.06 ^{*b}
2 d	0.53±0.04 ^b	0.42±0.03 ^{*b}	0.27±0.04 ^a	0.24±0.03 ^{*a}	0.49±0.05 ^c	0.58±0.06 ^{*c}
3 d	0.60±0.08 ^a	0.30±0.02 ^{*a}	0.28±0.05 ^a	0.22±0.03 ^{*a}	0.45±0.04 ^d	0.65±0.08 ^{*d}
4 d	0.51±0.02 ^b	0.37±0.03 ^{*b}	0.25±0.03 ^b	0.24±0.04 ^b	0.50±0.04 ^c	0.62±0.05 ^{*c}
5 d	0.47±0.03 ^c	0.28±0.02 ^{*c}	0.24±0.02 ^c	0.20±0.02 ^{*c}	0.51±0.05 ^c	0.60±0.04 ^{*c}
6 d	0.39±0.02 ^d	0.15±0.01 ^{*d}	0.22±0.01 ^c	0.16±0.01 ^{*c}	0.52±0.05 ^c	0.61±0.03 ^{*c}

2.2 1-MCP 处理对采后龙眼果皮 PC、PI、PA 含量的影响

PC、PI 是果蔬等植物细胞膜磷脂的主要有效成分, 主要作用是维持细胞膜系统结构、功能, PC 通过催化作用产生 PA、胆碱, 会促进膜磷脂降解和磷脂酸积累, 一旦细胞膜磷脂双分子层发生破坏, 会引起生理代谢失调。经过磷脂酸磷酸酯酶和非特异性酯酰基水解酶作用下, PA 经过催化作用是磷酸甘油二酯, 磷酸甘油二酯经过相关水解酶水解产生游离脂肪酸, 细胞膜结构被破坏^[19]。启动膜磷脂双分子层降解, 促进膜磷脂 PC 和 PI 的降解, PA 含量积累, 增加细胞膜透性, 降低采后果蔬的耐贮性。对照组和实验组两组龙眼果皮 PC、PI 含量随贮藏时间的延长均下降, PA 含量随时间延长均升高; 实验组龙眼果皮在 0~6 d PC、PI 含量分别高于对照组 0~6 d, PA 含量低于对照组 0~6 d。实验组 0 d 采后 PC、PI 含量最高, PA 含量最低; 实验组采后 6 d PC (0.39 mg/g)、PI (0.22 mg/g)、PA (0.52 mg/g) 水平最低。胡妍芸^[20]研究也认为, 经过

苯并噻重氮处理后, 柑橘果实 PLD 活力显著提高, PC 和 PI 含量降低, PA 含量升高, 与本文研究结果保持一致, 但是其未对采后不同时间 PLD 活力、PC 和 PI 含量进行研究。经过本文研究证实, 1-MCP 处理后, 龙眼果皮 PC、PI 等磷脂组分含量升高, 抑制磷脂降解产物 PA 产生, 从而有助于维持维持细胞膜系统结构的稳定, 增加其耐贮性。

2.3 1-MCP 处理对采后龙眼果皮膜脂脂肪酸组分的影响

膜脂组分含量变化会导致细胞膜结构和性质的变化导致膜系统完整性受损, 同时保持较高的能荷水平, 促进细胞膜的修复能力, 维持较高的龙眼果皮细胞膜膜脂脂肪酸不饱和指数和不饱和度, 延缓果实衰老, 减少细胞膜结构破坏。在猕猴桃果实熟软化过程中, LOX 活性变化与膜脂脂肪酸组分变化水平保持一致, 在果实采后初期, 随着 LOX 活性不断增加, 底物亚油酸和亚麻酸被消耗, 膜脂过氧化作用启动, LOX 可以自我活化, 促进细胞膜中游离脂肪酸释放,

LOX 底物亚油酸、亚麻酸迅速积累^[21]。实验组在 1~6 d 果皮油酸、亚麻酸含量分别高于对照组 1~6 d 果皮油酸、亚麻酸含量；肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸含量分别低于对照组 0~6 d 肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸含量。实验组油酸、亚油酸亚麻酸随贮藏时间的延长呈下降趋势；亚麻酸在 0~2 d 升高，3~6 d 降低；肉豆蔻

酸、棕榈酸、硬脂酸随贮藏时间的延长呈升高趋势。说明 1-MCP 处理后，龙眼果皮果皮油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸相对含量较高，延缓果皮肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸相对含量增加，减缓龙眼果皮衰老速度，避免细胞膜结构被破坏。

表 3 采后不同贮藏时间龙眼果皮膜脂中脂肪酸组分比较

Table 3 Comparison of fatty acid composition of longan pericarp membrane at different time after harvest ($\bar{x} \pm s$)

时间	油酸		亚油酸		亚麻酸	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
0 d	4.26±1.25 ^a	3.92±0.89 ^{*a}	41.29±1.28 ^a	40.02±0.25 [*]	20.85±1.12 ^a	19.12±0.56 ^a
1 d	4.01±1.12 ^b	3.85±0.56 [*]	40.45±1.08 ^a	39.92±0.12 ^{*a}	21.02±1.36 ^a	18.17±0.23 ^{*a}
2 d	3.86±1.02 ^c	3.56±0.23 ^{*c}	40.28±0.85 ^a	39.42±0.09 ^{*a}	21.96±1.40 ^b	18.47±0.14 ^{*b}
3 d	3.90±0.89 ^c	3.50±0.18 [*]	39.92±0.72 ^a	39.13±0.09 ^{*a}	20.92±1.11 ^a	18.32±0.10 [*]
4 d	3.96±0.71 ^b	3.44±0.20 ^{*b}	38.81±0.62 ^b	38.11±0.08 ^{*b}	19.41±1.03 ^c	18.02±0.09 ^{*c}
5 d	3.98±0.56 ^b	3.41±0.12 [*]	38.12±0.50 ^b	37.42±0.07 ^{*b}	19.19±0.66 ^c	17.91±0.08 ^{*c}
6 d	3.93±0.40 ^b	3.40±0.10 ^{*b}	37.71±0.12 ^b	37.01±0.06 ^{*b}	18.96±0.10 ^c	16.56±0.07 ^{*c}

时间	肉豆蔻酸		棕榈酸		硬脂酸	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
0 d	1.01±0.05 ^a	1.38±0.12 ^{*a}	30.32±0.41 ^a	35.52±0.75 ^{*a}	4.26±0.10 ^a	5.12±0.12 ^{*a}
1 d	1.07±0.06 ^b	1.49±0.20 ^{*b}	30.97±0.33 ^a	34.84±0.62 [*]	4.29±0.08 ^a	4.75±0.10 ^{*a}
2 d	1.12±0.07 ^c	1.50±0.10 [*]	31.10±0.20 ^a	33.35±0.32 ^{*a}	5.17±0.10 ^b	5.26±0.15 ^b
3 d	1.25±0.10 ^d	1.60±0.09 ^{*d}	31.98±0.15 ^b	35.85±0.21 ^{*b}	5.20±0.09 ^b	5.31±0.09 ^b
4 d	1.28±0.09 ^d	1.65±0.08 ^{*d}	32.26±0.10 ^b	36.02±0.14 ^{*b}	5.21±0.06 ^b	6.78±0.10 ^{*b}
5 d	1.28±0.08 ^d	1.69±0.10 ^{*d}	32.86±0.09 ^b	36.02±0.14 [*]	5.58±0.08 ^c	6.78±0.10 [*]
6 d	1.29±0.11 ^d	1.74±0.09 ^{*d}	32.33±0.08 ^b	36.02±0.14 [*]	6.02±0.17 ^d	6.56±0.09 [*]

3 结论

3.1 1-MCP 处理对采后龙眼果实的耐贮性机制体现在：1-MCP 通过抑制 LOX 活性的升高，延缓细胞膜的膜脂过氧化；通过抑制 PLD 活性升高，有助于保持细胞膜稳定性。从而调节果皮膜的生理代谢，延长龙眼储存时间。

3.2 1-MCP 能促进龙眼果皮 PC、PI 等磷脂组分含量升高，抑制磷脂降解产物 PA 产生，从而有助于维持维持细胞膜系统结构的稳定，增加其耐贮性。

3.3 1-MCP 能增加龙眼果皮果皮油酸、亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸相对含量，延缓果皮肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸相对含量增加，减缓龙眼果皮衰老速度，避免细胞膜结构被破坏。

参考文献

[1] Tang Y Y, He X M, Sun J, et al. Polyphenols and alkaloids in byproducts of longan fruits (*Dimocarpus longan* Lour.) and their bioactivities [J]. *Molecules*, 2019, 24(6): 1186

[2] Zhou M, Ndeumio K H, Zhao L, et al. Impact of precooling and controlled-atmosphere storage on γ -aminobutyric acid (GABA) accumulation in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit [J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(33): 6443-6450

[3] Wang H, Zhi W, Qu H, et al. Application of α -aminoisobutyric acid and β -aminoisobutyric acid inhibits pericarp browning of harvested longan fruit [J]. *Chem Cent J*, 2015, 9(1): 54

[4] Riederer M, Arand K, Burghardt M, et al. Water loss from litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruits is biphasic and controlled by a complex pericarpal transpiration barrier [J]. *Planta*, 2015, 242(5): 1207-1219

[5] 韩冬梅,谷李桃,李双双,等.不同包装材料对龙眼果实贮藏特性的影响[J].*热带作物学报*,2017,38(12):2347-2354

HAN Dong-mei, GU Li-tao, LI Shuang-shuang, et al. Effect of different packaging materials on storage characteristics of longan fruit [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2017, 38(12): 2347- 2354

[6] 林毅雄,林河通,陈艺晖,等.采前喷施胺鲜酯对采后龙眼果

- 实贮藏期间果皮膜脂代谢的影响[J].食品科学,2019,40(21):203-210
- LIN Yi-xiong, LIN He-tong, CHEN Yi-hui, et al. Effect of spraying fresh amine ester before harvest on membrane lipid metabolism of longan fruit during storage [J]. Food Science, 2019, 40(21): 203-210
- [7] 许佳妮,曹琦,邓丽莉,等.低成熟度柑橘果实油胞病发病进程中的膜脂代谢[J].食品科学,2016,37(24):262-270
- XU Jia-ni, CAO Qi, DENG Li-li, et al. Membrane lipid metabolism in the pathogenesis of low maturity citrus oleifera [J]. Food Science, 2016, 37(24): 262-270
- [8] Luo T, Niu J, Guo X, et al. Preharvest zinc sulfate spray improves the storability of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruits by protecting the cell wall components and antioxidants of pericarp [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(3): 1098-1107
- [9] 许兰芝,王洪岗,耿秀芳,等.龙眼肉乙醇提取物对雌性大鼠垂体-性腺轴的作用[J].中医药信息,2002,19(5):57-58
- XU Lan-zhi, WANG Hong-gang, GENG Xiu-fang, et al. Effect of ethanol extract from longan meat on pituitary gonad axis in female rats [J]. Chinese Medicine Information, 2002, 19(5): 57-58
- [10] 陈莲,王璐璐,林河通,等.1-MCP 对采后台湾青枣果实膜脂代谢的影响[J].中国食品学报,2018,18(10):202-210
- CHEN Lian, WANG Lu-lu, LIN He-tong, et al. Effect of 1-MCP on membrane lipid metabolism of postharvest Taiwan jujube fruit [J]. Chinese Journal of Food Science, 2018, 18(10): 202-210
- [11] 何婷,王凯,赵雷,等.大孔树脂纯化龙眼核多酚及其组分分析[J].食品工业科技,2019,40(16):1-6,13
- HE Ting, WANG Kai, ZHAO Lei, et al. Purification of longan nuclear polyphenol by macroporous resin and analysis of its components [J]. Food Industry Technology, 2019, 40(16): 1-6, 13
- [12] 林志强,郭志雄,潘东明.龙眼采后果肉脂氧合酶活性和膜脂脂肪酸组分的变化[J].热带作物学报,2010,31(3):381-386
- LIN Zhi-qiang, GUO Zhi-xiong, PAN Dong-ming. Changes of lipoxygenase activity and membrane fatty acid composition in longan fruits [J]. Journal of Tropical Crops, 2010, 31(3): 381-386
- [13] 陈艺晖,林河通,林艺芬,等.拟茎点霉侵染对采后龙眼果皮 LOX 活性和膜脂脂肪酸组分的影响[J].热带亚热带植物学报,2011,19(3):260-266
- CHEN Yi-hui, LIN He-tong, LIN Yi-fen, et al. Effects of *Pythium* on LOX activity and membrane fatty acid composition of longan peel [J]. Journal of Tropical and Subtropical Plants, 2011, 19(3): 260-266
- [14] 安瑞丽,王斌,魏长庆,等.不同贮藏温度对采后伽师瓜果实冷害及品质的影响[J].食品科学,2018,39(9):196-201
- AN Rui-li, WANG Bing, WEI Chang-qin, et al. Effects of different storage temperatures on chilling injury and quality of postharvest Jiashi melon fruits [J]. Food Science, 2018, 39(9): 196-201
- [15] 韩冬梅,杨武,吴振先,等.龙眼果实贮藏品质理化指标评估体系的构建[J].华南农业大学学报,2015,36(6):39-46
- HAN Dong-mei, YANG Wu, WU Zhen-xian, et al. Establishment of evaluation system of physical and chemical indexes of longan fruit storage [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(6): 39-46
- [16] 吴锦程,吴毕莎,黄审剑,等.枇杷幼果 PLD 和 LOX 对低温胁迫的响应[J].植物科学学报,2015,33(2):203-209
- WU Jin-cheng, WU Bi-sha, HUANG Shen-jian, et al. Response of PLD and LOX in young loquat fruit to low temperature stress [J]. Journal of Plant Science, 2015, 33(2): 203-209
- [17] Bolomin-Vitto M, Mennens Sfb, Joosten B, et al. PLD-dependent phosphatidic acid microdomains are signaling platforms for podosome formation [J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 3556
- [18] 樊晓岚,李月圆,张引引,等.降温方式对鸭梨采后 FAD 及 LOX 基因表达及其褐变的影响[J].食品科学,2019,40(5):222-227
- FAN Xiao-lan, LI Yue-yuan, ZHANG Yin-yin, et al. Effects of cooling methods on fad and LOX gene expression and browning of Yali [J]. Food Science, 2019, 40(5): 222-227
- [19] Shen J L, Li C L, Wang M, et al. Mitochondrial pyruvate carrier 1 mediates abscisic acid-regulated stomatal closure and the drought response by affecting cellular pyruvate content in *Arabidopsis thaliana* [J]. BMC Plant Biol, 2017, 17(1): 217
- [20] 胡妍芸,李霁昕,王雨,等.采后苯并噻重氮处理对厚皮甜瓜细胞膜磷脂代谢的影响[J].食品科学,2018,39(15):165-173
- HU Yan-yun, LI Ji-xin, WANG YU, et al. Effects of Postharvest benzothiadiazepine treatment on phospholipid metabolism of muskmelon cell membrane [J]. Food Science, 2018, 39(15): 165-173

(下转第 289 页)