

采前喷施胺鲜酯对葡萄果实贮藏期间膜脂代谢的影响

余 鹏¹, 郑方盈¹, 余义和¹, 姜东明², 杨英军^{1,*}

(1.河南科技大学园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471023; 2.江苏红日酒业有限公司, 江苏 徐州 221100)

摘要:为探讨采前喷施胺鲜酯对采后‘巨峰’葡萄果实贮藏期间膜脂质代谢的影响, 分别使用蒸馏水(对照)和50 mg/L胺鲜酯(diethyl aminoethyl hexanoate, DA-6)对转色期的‘巨峰’葡萄进行喷施处理, 成熟后, 将葡萄于(0±1)℃、相对湿度65%~70%条件下贮藏, 并在贮藏的第0、20、30、40、50、60天采集葡萄果皮进行细胞膜相关指标测定。结果显示, 与对照组相比, DA-6处理可有效抑制采后果实贮藏期间果皮细胞膜相对渗透率上升; 较好地维持果皮脂质氧化酶(lipoxygenase, LOX)、脂酶和磷脂酶D(phospholipase D, PLD)活力; 抑制果皮磷脂酰胆碱、磷脂酰肌醇含量的下降和磷脂酸含量的升高; 保持较高的亚油酸和亚麻酸等不饱和酸的相对含量和硬脂酸、山嵛酸、花生酸和棕榈油酸等饱和脂肪酸的相对含量, 将果皮中脂肪酸不饱和度维持在较高水平; 抑制LOX、Lipase和PLD基因的表达。综上, 采前喷施50 mg/L DA-6处理可通过有效延缓贮藏期‘巨峰’葡萄果实细胞膜脂质代谢, 延缓果实的衰老, 并延长其贮藏期, 为葡萄贮藏保鲜提供了参考。

关键词:‘巨峰’葡萄; 耐贮性; 膜脂代谢; 胺鲜酯

Effect of Preharvest Spraying of Diethyl Aminoethyl Hexanoate on Membrane Lipid Metabolism of Grapes during Storage

YU Peng¹, ZHENG Fangying¹, YU Yihe¹, JIANG Dongming², YANG Yingjun^{1,*}

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China;

2. Jiangsu Red Sun Wine Industry Limited Company, Xuzhou 221100, China)

Abstract: In order to investigate the effect of preharvest spraying of diethyl aminoethyl hexanoate (DA-6) on membrane lipid metabolism in ‘Kyoho’ grapes during postharvest storage, distilled water (control) and 50 mg/L DA-6 were used to spray grapes at the veraison stage. The grapes were harvested when they were ripe, stored at (0 ± 1) °C and relative humidity of 65%–70%, and evaluated for cell membrane related indicators of grape skin after 0, 20, 30, 40, 50, and 60 days. The results showed that compared with the control group, DA-6 treatment effectively inhibited the increase in the relative permeability of cell membrane during postharvest storage, maintained the activities of lipoxygenase (LOX), lipase and phospholipase D (PLD), inhibited the decrease of phosphatidylcholine and phosphatidylinositol content and the increase of phosphatidyl acid content, and maintained a high relative content of unsaturated acids such as linoleic acid and linolenic acid as well as saturated fatty acids such as stearic acid, behenic acid, arachidic acid and palmitoleic acid, consequently maintaining the degree of unsaturation of fatty acids at a high level. Additionally, DA-6 treatment suppressed the expression of the LOX, Lipase, and PLD genes. In summary, preharvest spraying of 50 mg/L DA-6 can delay the senescence and prolong the storage period of ‘Kyoho’ grapes by effectively relieving the membrane lipid metabolism during storage.

Keywords: ‘Kyoho’ grape; storability; membrane lipid metabolism; diethyl aminoethyl hexanoate

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221121-243

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2023)23-0159-06

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(202102110043); 河南省高校科技创新人才支持计划项目(21HASTIT035); 洛阳市科技发展计划项目(2101102A); 苏北科技专项(XZ-SZ202147)

第一作者简介: 余鹏(1996—)(ORCID: 0000-0001-6396-2272), 男, 硕士研究生, 研究方向为园艺产品采后处理。

E-mail: yp864303596@163.com

*通信作者简介: 杨英军(1968—)(ORCID: 0000-0003-0574-2022), 男, 教授, 博士, 研究方向为园艺植物生物技术。

E-mail: yangyingjun2003@126.com

引文格式:

余鹏, 郑方盈, 余义和, 等. 采前喷施胺鲜酯对葡萄果实贮藏期间膜脂代谢的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(23): 159-164. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221121-243. <http://www.spkx.net.cn>

YU Peng, ZHENG Fangying, YU Yihe, et al. Effect of preharvest spraying of diethyl aminoethyl hexanoate on membrane lipid metabolism of grapes during storage[J]. Food Science, 2023, 44(23): 159-164. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20221121-243. <http://www.spkx.net.cn>

‘巨峰’葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 是我国主要的鲜食葡萄品种之一, 栽培面积及产量均位于国际前列^[1]。其果实汁多味美, 含有大量对人体有益物质, 广泛应用于鲜食、制作葡萄干、酿酒等, 具有较高的经济、营养和药用价值^[2]。然而葡萄果实在贮藏期间膜脂代谢旺盛, 极易发生腐烂变质, 严重影响葡萄的营养和商业价值, 造成巨大的经济损失, 极大限制了我国葡萄产业的发展。因此, 对新型的葡萄保鲜技术进行深入研究有着重大的意义。

已有研究表明, 果实膜脂代谢的加快会导致细胞膜结构的破坏, 严重影响果实的耐贮性^[3-4]。目前常见的抑制膜脂代谢方法主要从物理、化学和生物方面着手。物理保鲜中低温冷藏对冷藏室的温度和湿度要求极为严格, 实际操作中很难把控; 辐照保鲜会对葡萄果实的品质和营养带来负面影响; 气调贮藏的保鲜效果较好, 但本身投入大、技术要求高、维护难、推广难; 化学保鲜包括臭氧处理、二氧化氯处理、1-甲基环丙烯处理等方法, 保鲜效果不错, 但是完全无毒且经济实用的保鲜剂还有待探究^[5-6]。因此, 对葡萄的新型保鲜技术有必要进行深入研究。

膜脂代谢是果实在贮藏期间正常的细胞生理代谢, 膜脂代谢加快会导致细胞膜脂相关降解酶活性升高; 细胞膜磷脂组分、饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量下降, 破坏细胞膜结构, 加速果实变质、腐烂, 严重影响果实的耐贮性^[7-8]。DA-6是一种安全无毒、容易调配、操作方便的新型植物生长调节剂, 化学式为 $C_{12}H_{25}NO_2$, 具有维持果实品质的功能^[9-10]。已有研究发现, 采前喷施胺鲜酯 (diethyl aminoethyl hexanoate, DA-6) 可以较好地保持龙眼果实果皮细胞膜完整性, 延缓龙眼果实果皮的膜脂代谢^[3]。本课题组前期通过喷施不同质量浓度的DA-6, 发现50 mg/L的DA-6可以显著降低葡萄果实质量损失率, 维持硬度、VC含量、可溶性固形物含量, 增强果实抗氧化能力, 降低果实氧化速率^[2]。

为进一步探讨DA-6对葡萄采后膜脂代谢的影响, 本研究以‘巨峰’葡萄为实验材料, 通过采前喷施50 mg/L DA-6, 分析DA-6对‘巨峰’葡萄果实采后细胞膜透性及细胞膜脂降解酶活力、磷脂组分含量、脂肪酸含量、代谢相关基因表达的影响, 旨在为控制葡萄采后品质提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

实验所用‘巨峰’葡萄采摘于洛阳偃师河南科技大学科研实验基地。挑选大小、颜色、成熟程度接近的葡萄果实。

乙酸、石油醚、丙酮、疏基乙醇、乙醇、氢氧化钾、甲醇、苯、氯仿、无水醋酸钠、冰醋酸、氯化钙、磷酸二氢钠、石英沙、碳酸钙 国药集团化学试剂有限公司; 乙酸-1-萘酯、固蓝B盐、十二烷基硫酸钠、二硫苏糖醇 北京索莱宝科技有限公司; 卵磷脂、雷氏盐、亚油酸钠 上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

HH-4数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; GL-20G-II高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器有限公司; UV-4802分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司; Cubis II电子天平 德国赛多利斯公司; LC-2030C 3D高效液相色谱仪、GC-2010 Plus气相色谱仪 岛津(日本)有限公司; QuantStudio 6 Flex荧光定量聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction, PCR) 仪 赛默飞世尔科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

分别使用清水(对照)与50 mg/L DA-6在葡萄转色期喷施于果实表面, 每种处理选取18穗, 3次重复, 共118穗。葡萄采收后立即送至实验室, 清水洗净并晾干后, 将葡萄于 $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度65%~70%条件下贮藏60 d, 在贮藏的第0、20、30、40、50、60天对果皮进行指标测定。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 细胞膜透性测定

细胞膜透性以细胞相对渗透率进行表征, 具体参考赵云峰等^[11]的方法进行测定, 单位为%。

1.3.2.2 细胞膜脂质降解酶活力测定

脂氧合酶 (lipoxygenase, LOX) 活力参照陈昆松等^[12]的方法进行测定, 脂酶活力参照刘发强等^[13]的方法进行测定, 磷脂酶D (phospholipase D, PLD) 活力参照吴小建等^[14]的方法进行测定; 以上酶活力单位均用U/mg表示。

1.3.2.3 细胞膜磷脂组分含量测定

磷脂酰胆碱 (phosphatidylcholine, PC)、磷脂酰

肌醇 (phosphatidylinositol, PI)、磷脂酸 (phosphatidic Acid, PA) 含量参照许佳妮等^[7]的方法进行测定, 单位均为mg/g。

1.3.2.4 细胞膜脂质脂肪酸组分测定

脂肪酸组分相对含量及不饱和度参照Lin Yifen等^[15]的方法进行测定。

1.3.2.5 细胞膜脂代谢相关基因表达量测定

参照孟祥轩等^[16]的方法, 使用实时荧光定量PCR (quantitative real-time PCR, qPCR) 对细胞膜脂代谢相关基因进行扩增。比较Ct值法计算相对表达量; 葡萄肌动蛋白基因作为内参。利用Primer Premier 5.0软件根据相关基因序列设计qPCR引物, 由GENEWIZ生物技术合成实验室 (江苏) 合成。每个样本进行3个独立重复, 引物如表1所示。

表1 qPCR引物序列

Table 1 Primer sequences used for qPCR

基因	正向序列	反向序列
Actin	5'-CAAGAGCTGGAACCTGCAAAGA-3'	5'-AATGAGAGATGGCTGGAAGAGG-3'
LOX	5'-TCAAAGGGACAACGCTGTATGG-3'	5'-TGCTTCCACTGCGGCTTCC-3'
Lipase	5'-GGATACACAACACAGGTCCC-3'	5'-TGCTTCTGAGTCCACCAC-3'
PLD	5'-CAAAAGGGTGGACCAAGGGA-3'	5'-AACAGGGATGGGGGAATAA-3'

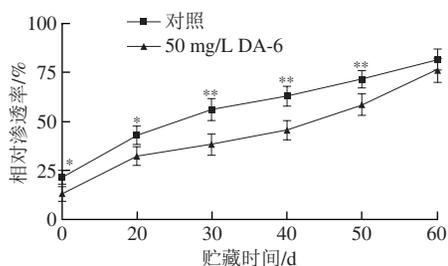
1.4 数据处理

采用SPSS软件进行数据分析, 并利用T检验法进行差异显著性分析。采用Excel软件作图。

2 结果与分析

2.1 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜透性的影响

膜系统被破坏时, 果皮细胞相对渗透率增加, 会导致膜脂降解, 是果实衰老或病变的基本特征之一^[8,17]。由图1可知, 对照组与处理组的‘巨峰’葡萄果实果皮细胞相对渗透率随贮藏时间延长呈现不断上升的趋势。在整个贮藏过程中, DA-6处理组细胞相对渗透率显著或极显著低于对照组 ($P < 0.05$ 、 $P < 0.01$)。表明采前喷施50 mg/L DA-6可有效抑制采后‘巨峰’葡萄果实贮藏期间果皮细胞相对渗透率上升, 从而延缓果实衰老。

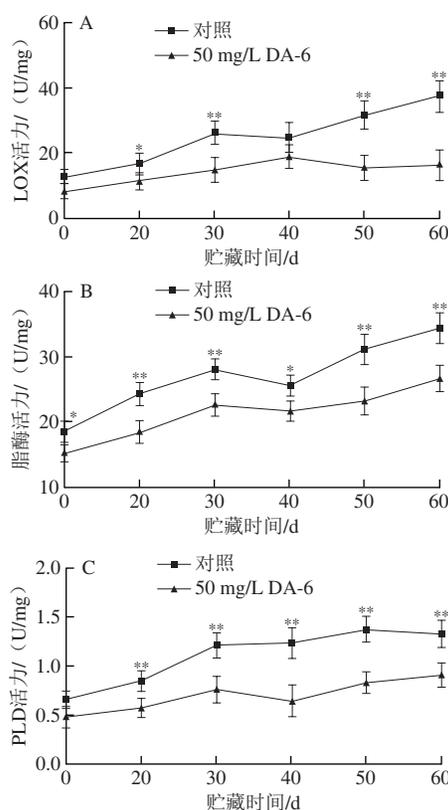


DA-6处理组与对照组相比, *.差异显著 ($P < 0.05$); **.差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

图1 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜透性的影响
Fig. 1 Effect of preharvest spraying of DA-6 on cell membrane permeability of postharvest grapes during storage

2.2 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂质降解酶活力的影响

LOX、脂酶和PLD活力上升是诱导果皮细胞膜脂质降解的主要原因^[18]。由图2A可知, 对照组果皮LOX活力在贮藏期间总体呈上升趋势; 处理组果皮LOX活力在0~40 d时平稳上升, 在40 d时达到最大值, 随后开始下降, 且始终低于对照组。两组LOX活力在20 d时具有显著差异 ($P < 0.05$), 在30、50 d和60 d时具有极显著差异 ($P < 0.01$)。由图2B可知, 对照组与处理组果脂酶活力总体呈上升趋势。DA-6处理组果脂酶活力始终显著或极显著低于对照组 ($P < 0.05$ 、 $P < 0.01$)。由图2C可知, 对照组与DA-6处理组果皮PLD活力随贮藏时间延长总体呈上升趋势, 且整个贮藏期间, DA-6处理组PLD活力极显著低于对照组 ($P < 0.01$)。结果表明, 采前喷施50 mg/L DA-6可有效抑制‘巨峰’葡萄果实采后贮藏期间果皮LOX、脂酶和PLD活力的上升, 从而缓解细胞膜脂质降解, 维护细胞膜结构的完整, 延缓果实衰老。



A. LOX活力; B.脂酶活力; C. PLD活力。

图2 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂质降解酶活力的影响

Fig. 2 Effect of preharvest spraying of DA-6 on cell membrane lipid-degrading enzyme activity of postharvest grapes during storage

2.3 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜磷脂组分的影响

PC、PI是果蔬细胞膜磷脂的主要成分, 主要承担

胞膜的结构和功能, PA是PLD水解细胞膜的产物^[19]。由图3A可知, 对照组与DA-6处理组‘巨峰’葡萄果实果皮PC含量随着贮藏时间延长总体呈现下降趋势, 且DA-6处理组果实果皮PC含量高于对照组, 其中在40~60 d具有极显著差异。由图3B可知, 对照组与DA-6处理组‘巨峰’葡萄果实果皮PI含量随着贮藏时间延长总体呈现下降趋势, 且DA-6处理组果实果皮PI含量整体上极显著高于对照组。由图3C可知, 对照组与DA-6处理组‘巨峰’葡萄果实果皮PA含量随着贮藏时间延长总体呈现上升趋势, 且处理组果实果皮PA含量极显著低于对照组。结果表明, 采前喷施50 mg/L DA-6可有效维持‘巨峰’葡萄果实贮藏期果皮PC、PI含量, 抑制PA的产生, 从而延缓果实衰老。

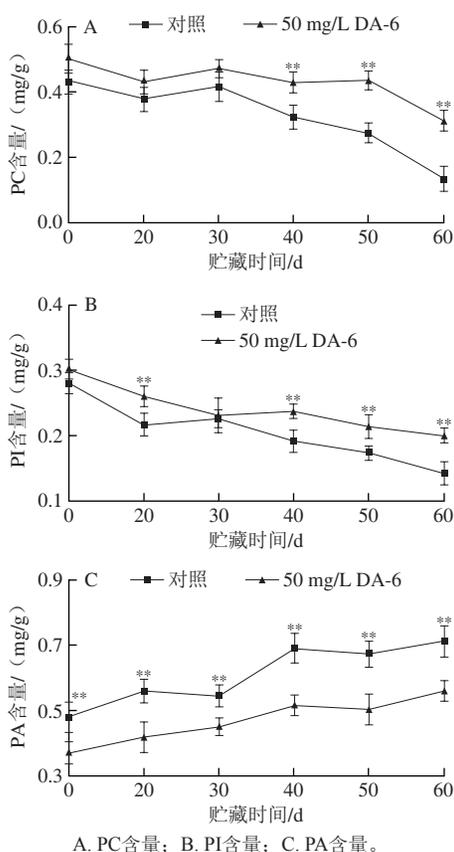


图3 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜磷脂组分含量的影响

Fig. 3 Effect of pre-harvest spraying of DA-6 on the contents of phospholipid components in cell membrane of postharvest grapes during storage

2.4 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂质中脂肪酸含量的影响

脂肪酸是细胞膜的重要成分, 脂肪酸含量直接影响细胞膜的稳定性与功能性。研究表明, 不饱和脂肪酸含量与细胞膜流动性和稳定性、果实的抗逆性成正比^[20]。

由表2可知, ‘巨峰’葡萄果实果皮中饱和脂肪酸主要有棕榈酸($C_{16:0}$)、硬脂酸($C_{18:0}$)、山嵛酸

($C_{22:0}$)、花生酸($C_{20:0}$)、棕榈油酸($C_{16:1}$)。随着贮藏时间延长, DA-6处理组棕榈酸相对含量呈现先下降再上升的趋势, 在40 d时达到最小值, 始终低于对照组, 在20~30 d和50 d~60 d时显著低于对照组; DA-6处理组硬脂酸相对含量呈现先上升再下降的趋势, 在30 d时达到最大值, 在20~60 d时显著高于对照组; DA-6处理组山嵛酸相对含量呈现先上升再下降的趋势, 在30 d时达到最大值, 在30~50 d时显著高于对照组; DA-6处理组花生酸相对含量呈现先上升再下降的趋势, 在40 d时达到最大值, 在40~60 d时显著高于对照组; DA-6处理组棕榈油酸相对含量呈现先上升再下降的趋势, 在20 d时达到最大值, 在20~60 d时显著高于对照组。‘巨峰’葡萄果实果皮中不饱和脂肪酸主要有亚油酸($C_{18:2}$)、亚麻酸($C_{18:3}$)。其中, DA-6处理组亚油酸相对含量总体呈现下降趋势, 在20~60 d时始终显著高于对照组; DA-6处理组亚麻酸相对含量呈现先上升再下降的趋势, 在40 d时达到最大值, 且在20~60 d时显著高于对照组。整个贮藏过程中DA-6组果皮中脂肪酸不饱和度均高于处理组, 且在0~20 d与40~60 d时差异显著。

表2 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂质中脂肪酸相对含量的影响

Table 2 Effect of preharvest spraying of DA-6 on relative contents of cell membrane lipid fatty acids in postharvest grapes during storage

指标	组别	贮藏时间/d					
		0	20	30	40	50	60
饱和脂肪酸	对照组	36.86±1.94 ^a	36.22±1.30 ^a	38.84±1.91 ^a	34.62±1.71 ^a	35.85±1.92 ^a	35.42±2.83 ^a
	DA-6组	33.38±2.16 ^b	33.2±1.46 ^b	30.62±1.28 ^b	30.13±1.53 ^b	30.46±1.63 ^b	33.26±1.43 ^b
硬脂酸	对照组	10.35±1.31 ^a	11.43±1.29 ^a	10.43±1.32 ^a	10.56±1.28 ^a	10.71±1.25 ^a	12.23±1.72 ^a
	DA-6组	9.99±1.58 ^b	11.79±1.25 ^b	12.33±1.41 ^b	11.79±1.21 ^b	11.79±1.20 ^b	11.78±1.43 ^b
山嵛酸	对照组	1.44±0.31 ^a	1.56±0.29 ^a	1.28±0.29 ^a	1.28±0.30 ^a	1.21±0.32 ^a	1.42±0.44 ^a
	DA-6组	1.30±0.25 ^b	1.49±0.30 ^b	1.50±0.30 ^b	1.41±0.30 ^b	1.41±0.32 ^b	1.20±0.30 ^b
花生酸	对照组	0.94±0.28 ^a	0.98±0.27 ^a	1.09±0.34 ^a	1.07±0.28 ^a	0.97±0.38 ^a	1.06±0.38 ^a
	DA-6组	0.84±0.33 ^b	0.94±0.20 ^b	1.23±0.25 ^b	1.47±0.30 ^b	1.35±0.28 ^b	1.30±0.30 ^b
棕榈油酸	对照组	0.31±0.09 ^a	0.31±0.15 ^a	0.18±0.06 ^a	0.14±0.05 ^a	0.04±0.02 ^a	0.03±0.01 ^a
	DA-6组	0.30±0.13 ^b	0.37±0.14 ^b	0.31±0.11 ^b	0.29±0.09 ^b	0.27±0.05 ^b	0.28±0.07 ^b
亚油酸	对照组	31.09±1.71 ^a	30.87±1.38 ^a	30.42±1.65 ^a	29.95±1.73 ^a	29.68±2.16 ^a	28.88±1.87 ^a
	DA-6组	36.26±1.80 ^b	32.17±1.48 ^b	30.95±1.37 ^b	31.75±1.56 ^b	31.74±1.45 ^b	31.02±1.69 ^b
亚麻酸	对照组	19.00±1.45 ^a	18.63±1.76 ^a	22.76±1.98 ^a	22.37±1.70 ^a	21.54±2.17 ^a	20.96±2.58 ^a
	DA-6组	17.94±1.11 ^b	20.04±1.37 ^b	23.07±1.47 ^b	23.16±1.49 ^b	22.94±1.27 ^b	21.17±1.52 ^b
脂肪酸不饱和度	对照组	1.00±0.08 ^a	0.98±0.10 ^a	1.14±0.09 ^a	1.10±0.09 ^a	1.05±0.11 ^a	0.99±0.08 ^a
	DA-6组	1.18±0.03 ^b	1.09±0.04 ^b	1.17±0.03 ^b	1.22±0.04 ^b	1.21±0.04 ^b	1.09±0.04 ^b

注: 同一指标同一贮藏时间两个组别小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

上述结果表明, 采前喷施50 mg/L DA-6在贮藏期能有效保持‘巨峰’葡萄果实较高的亚油酸和亚麻酸等不饱和酸的含量和硬脂酸、山嵛酸、花生酸和棕榈油酸等饱和脂肪酸的相对含量, 将脂肪酸不饱和度维持在较高水平, 提高并维持细胞膜的稳定性, 延缓果实衰老。

2.5 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂代谢相关基因表达的影响

果蔬中LOX、Lipase和PLD相对表达量与细胞膜脂代谢相关酶活力有直接关系^[8]。由图4可知, 贮藏期间

对照组与DA-6处理组LOX基因表达量变化趋势一致,在20 d与40 d时出现高峰。DA-6处理组在各个时间点的LOX基因表达量均极显著低于对照组。由图4可知,对照组Lipase表达量在0~30 d时呈下降趋势,在30~40 d时快速上升,在40~50 d时快速下降,在50~60 d时较快上升;处理组Lipase表达量在呈先下降上升的变化趋势。DA-6处理组在各个时间点的Lipase表达量都低于对照组,且在0、30、40 d和60 d时差异极显著。对照组PLD表达量在0~20 d时缓慢上升,在20~30 d时快速下降,在30~40 d时缓慢下降,在40~50 d时较快上升,在50~60 d时缓慢下降;DA-6处理组PLD表达量在整个贮藏过程中均低于对照组,且在0、20、30、50 d时与对照组差异极显著。上述结果表明,与对照组相比,采前喷施50 mg/L DA-6在贮藏期间能有效抑制‘巨峰’葡萄果实采后贮藏过程中LOX、Lipase和PLD基因的表达。

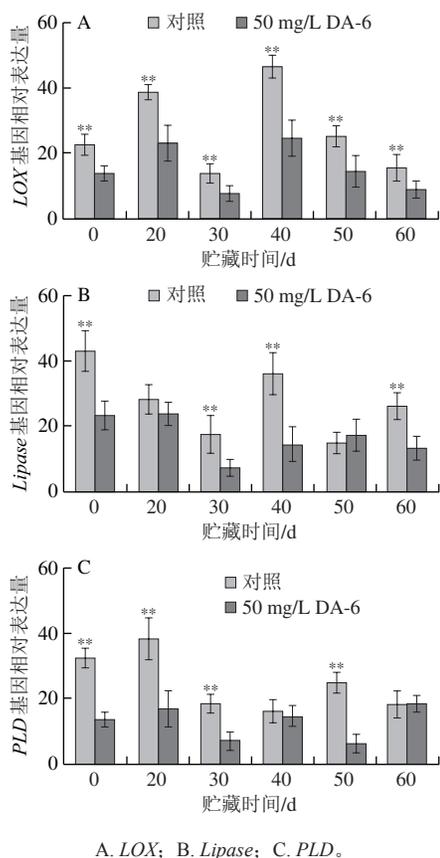


图4 采前喷施DA-6对采后葡萄果实贮藏期间细胞膜脂质代谢相关基因表达的影响

Fig. 4 Effect of preharvest spraying of DA-6 on the expression of genes related to cell membrane lipid metabolism in postharvest grapes during storage

3 讨论

细胞膜结构的完整与稳定是果实进行正常生理代谢的基础,细胞膜结构的损坏意味着果实开始衰老^[21]。当

果实受到逆境胁迫时会产生如细胞膜脂质代谢增强等生理代谢失调,导致细胞膜透性增加,影响采后果蔬的耐贮性,加速果蔬的衰老与变质^[22]。因此,细胞相对渗透率可直接反映果蔬的耐贮性。正常情况下,细胞膜透性越大,果蔬耐贮性越差;反之则果蔬耐贮性越强。

细胞膜主要由脂质、蛋白质和少量碳水化合物构成,具有流动性和选择透过性。当生理代谢失调时,LOX、脂酶和PLD活力会升高,并促进细胞膜脂质降解^[23]。LOX是细胞膜脂肪酸代谢的关键酶,主要催化亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸生成游离脂肪酸,使细胞膜脂质过氧化,损伤细胞膜,导致细胞膜透性的增大。脂酶一种常见的水解酶,在果蔬中脂酶会将脂类水解成酸类与醇类,促进细胞膜脂质降解。PLD是促进细胞膜磷脂水解的起始酶,也是促进细胞膜磷脂降解的关键酶。吴小建等研究表明较高的细胞膜脂质降解酶活性会导致果皮过氧化程度较高,从而导致活性氧积累,造成细胞膜降解^[14]。Zhang Shen等研究表明细胞膜脂质降解酶会加速膜磷脂的降解,破坏果实细胞膜结构^[19]。因此可以通过LOX、脂酶和PLD活力评估细胞膜磷脂的降解的轻重程度。本实验中,采前喷施50 mg/L DA-6可有效抑制‘巨峰’葡萄果实采后贮藏期果皮LOX、脂酶和PLD活力上升,延缓细胞膜脂质降解,维护细胞膜结构的完整。

PC和PI是果蔬细胞膜磷脂的主要成分,主要维持细胞膜系统的结构和功能。PC和PI含量的下降、PA含量上升会导致细胞膜磷脂降解和磷脂酸积累,进而破坏细胞膜磷脂双分子层,并引起生理代谢失调^[24]。刘发强等研究表明PC、PI含量的提高可以抑制PA的产生,维持细胞膜结构的稳定,增加果实的耐贮性^[13]。本实验中,采前喷施50 mg/L DA-6可有效保持‘巨峰’葡萄果实贮藏期果皮PC、PI含量,并抑制PA的产生。

细胞膜脂肪酸成分与含量直接影响细胞膜的稳定性与功能性。细胞膜脂肪酸中不饱和脂肪酸的相对含量与PLD和LOX活力密切相关,较低的PLD和LOX活力可减少不饱和脂肪酸的消耗,从而维持细胞膜的透性^[20,25]。马明杰等研究表明饱和脂肪酸含量的上升与不饱和脂肪酸含量的下降会导致脂肪酸不饱和指数下降,降低果皮细胞膜流动性,从而使细胞膜完整性与功能性缺失^[26]。李君兰等研究表明热水处理能够抑制枣果皮细胞中不饱和脂肪酸的降解和饱和脂肪酸的合成,稳定细胞膜脂的构成,有效延缓细胞膜结构的衰老和破坏^[27]。因此,可以通过饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸相对含量以及脂肪酸不饱和度来判断细胞膜结构是否完整稳定。本实验中,采前喷施50 mg/L DA-6可有效保持‘巨峰’葡萄果实贮藏期较高的亚油酸和亚麻酸等不饱和酸的相对含量和硬脂酸、山嵛酸、花生酸和棕榈油酸等饱和脂肪酸的相对

含量,将果皮中脂肪酸饱和度维持在较高水平,从而维持细胞膜的稳定。

结合图2和图4可以发现,‘巨峰’葡萄果实中LOX、脂酶和PLD活力与相关基因表达量呈正相关。已有研究表明,在果实受到胁迫时,相关酶的基因表达量会有显著变化,促使细胞膜脂质降解酶活力提升,加速果实衰老^[20]。因此可以通过LOX、Lipase和PLD基因表达量来判断果蔬是否遭受胁迫。本实验中,采前喷施50 mg/L DA-6可有效抑制‘巨峰’葡萄果实中LOX、Lipase和PLD的表达量,从而维持‘巨峰’葡萄果实的品质。

4 结论

与对照组相比,采前喷施50 mg/L DA-6可有效抑制采后‘巨峰’葡萄果实贮藏期间果皮细胞相对渗透率上升,抑制果皮LOX、脂酶和PLD活力上升,从而有效保持果皮PC、PI含量,抑制PA的产生,并有效保持‘巨峰’葡萄果实中较高的亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸的含量和硬脂酸、山嵛酸、花生酸和棕榈油酸等饱和脂肪酸的含量,将果皮中脂肪酸饱和度维持在较高水平,从而延缓膜脂质的降解。结合前期实验结论,采前喷施DA-6可有效维持果实品质,提高果实抗氧化能力^[2]。推断采前喷施DA-6能够维持‘巨峰’葡萄果实细胞膜结构的完整性和稳定性,从而增加其抗逆性,提高果实耐贮性。

参考文献:

- [1] 雷超,吴明松,魏雪宁,等. 二氧化氯对巨峰葡萄的保鲜效果及品质影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 184-188. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.01.035.
- [2] 余鹏,孟祥轩,余义和,等. 采前喷施胺酯对采后‘巨峰’葡萄果实品质和活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 182-188. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220124-241.
- [3] 林毅雄,林河通,陈艺晖,等. 采前喷施胺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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20181224-283.
- [4] 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. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.10.026.
- [5] 姜沛宏,郭风军,陈东杰,等. 不同保鲜处理对葡萄果实采后风味物质的影响[J]. 中国果菜, 2021, 41(11): 7-12. DOI:10.19590/j.cnki.1008-1038.2021.11.002.
- [6] 莫华,周晓洁,戴赛飞,等. 鲜食型葡萄采后保鲜技术研究进展[J]. 农产品加工(下半月), 2020(12): 59-63. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2020.12.050.
- [7] 许佳妮,曹琦,邓丽莉,等. 低成熟度柑橘果实油胞病发病过程中的膜脂代谢[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 262-270. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201624042.
- [8] 余经,林育钊,范中奇,等. 果蔬采后病害的发生与活性氧和膜脂代谢的关系研究进展[J]. 亚热带农业研究, 2020, 16(2): 132-137. DOI:10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2020.02.011.
- [9] 徐加利,尹红增,周海燕,等. 复硝酚钠和胺酯·复硝酚钠对大棚番茄生长和果实品质的影响[J]. 植物医生, 2019, 32(1): 23-26. DOI:10.13718/j.cnki.zwys.2019.01.006.
- [10] ZHANG Huiyi, LI Huizhi, WANG Huaer, et al. Study on the effect of DA-6 on the maturity and fruit quality of ‘Aikansui’ pear[J]. E3S Web of Conferences, 2020, 165(12): 03061. DOI:10.1051/e3sconf/202016503061.
- [11] 赵云峰,林河通,林娇芬,等. 龙眼果实采后呼吸强度、细胞膜透性和品质的变化[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2005, 34(2): 263-268. DOI:10.3969/j.issn.1671-5470.2005.02.030.
- [12] 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. DOI:10.3969/j.issn.1009-9980.2003.06.003.
- [13] 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; 289. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0281.
- [14] 吴小建,陈茜,梁朋光,等. 炭疽病胁迫下采后香蕉的膜脂代谢[J]. 南方农业学报, 2021, 52(5): 1325-1333. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2021.05.023.
- [15] LIN Yifen, LIN Hetong, LIN Yixiong, et al. The roles of metabolism of membrane lipids and phenolics in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 53-61. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.07.030.
- [16] 孟祥轩,杨盛迪,李旭飞,等. 丁香酚-壳聚糖纳米颗粒抑制SO₂引起巨峰葡萄采后脱落的转录调控网络预测[J]. 果树学报, 2022, 39(6): 1099-1110. DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20210639.
- [17] 李泽,黄和,钟赛意,等. 减压处理对荔枝果实膜脂代谢和能量代谢的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(16): 159-165. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.027515.
- [18] 王静,茅林春,杨璐,等. 草酸处理对采后哈密瓜果实膜脂代谢的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 189-198. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.08.022.
- [19] ZHANG Shen, LIN Yuzhao, LIN Hetong, et al. *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl.-induced disease development and pericarp browning of harvested longan fruit in association with membrane lipids metabolism[J]. Food Chemistry, 2018, 244: 93-101. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.10.020.
- [20] LIN Yifen, LIN Yixiong, LIN Hetong, et al. Inhibitory effects of propyl gallate on membrane lipids metabolism and its relation to increasing storability of harvested longan fruit[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 133-138. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.08.065.
- [21] 陈莲,林河通,陈艺晖,等. 2,4-二硝基苯酚对采后龙眼果皮脂氧合酶活性和膜脂脂肪酸组分的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(5): 477-482. DOI:10.3969/j.issn.1005-3395.2009.05.009.
- [22] LIN Yifen, CHEN Mengyin, LIN Hetong, et al. DNP and ATP induced alteration in disease development of *Phomopsis longanae* Chi-inoculated longan fruit by acting on energy status and reactive oxygen species production-scavenging system[J]. Food Chemistry, 2017, 228: 497-505. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.02.045.
- [23] BOLOMINI-VITTORI M, MENNENS S F B, JOOSTEN B, et al. PLD-dependent phosphatidic acid microdomains are signaling platforms for podosome formation[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 1-18. DOI:10.1038/s41598-019-39358-0.
- [24] LIN Yifen, CHEN Mengyin, LIN Hetong, et al. *Phomopsis longanae*-induced pericarp browning and disease development of longan fruit can be alleviated or aggravated by regulation of ATP-mediated membrane lipid metabolism[J]. Food Chemistry, 2018, 269: 644-651. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.07.060.
- [25] LIANG Shumin, KUANG Jianfei, JI Shujuan, et al. The membrane lipid metabolism in horticultural products suffering chilling injury[J]. Food Quality and Safety, 2020, 4(1): 9-14. DOI:10.1093/fqsaf/fyaa001.
- [26] 马明杰,程顺昌,纪淑娟,等. 低温胁迫对青椒膜脂代谢的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(3): 21-27. DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.004.
- [27] 李君兰,刘志芳,南勇. 热水处理对近冰温贮藏鲜枣品质提高与膜脂代谢的相关性分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 335-343. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021050199.