

## 1-MCP 对采后台湾青枣果实膜脂代谢的影响

陈 莲<sup>1,2</sup> 王璐璐<sup>2,3</sup> 林河通<sup>2,3\*</sup> 林艺芬<sup>2,3</sup> 陈艺晖<sup>2,3</sup>

(<sup>1</sup> 闽南师范大学生物科学与技术学院 福建漳州 363000

<sup>2</sup> 福建农林大学食品科学学院 福州 350002

<sup>3</sup> 福建农林大学农产品产后技术研究所 福州 350002)

**摘要** 以“中青”台湾青枣果实为材料,研究 1-甲基环丙烯(1-MCP)对采后台湾青枣果实磷脂酶 D(PLD)活性、脂氧合酶(LOX)活性和膜脂脂肪酸组分的影响。结果表明:台湾青枣果实脂肪酸组分按含量从高到低依次为油酸(C<sub>18:1</sub>)、花生酸(C<sub>20:0</sub>)、棕榈酸(C<sub>16:0</sub>)、亚麻酸(C<sub>18:3</sub>)、硬脂酸(C<sub>18:0</sub>)、十七烷酸(C<sub>17:0</sub>)。1-MCP 处理抑制了采后台湾青枣果实 PLD、LOX 活性的升高,延缓了膜脂不饱和脂肪酸的降解和饱和脂肪酸含量的上升而引起的膜结构和完整性的损伤,维持较高的细胞膜膜脂脂肪酸不饱和指数和不饱和度;同时 1-MCP 处理保持了采后台湾青枣果实较高的细胞能荷值,增强了细胞膜的修复能力,最终延缓台湾青枣果实衰老导致的细胞膜结构的破坏。

**关键词** 台湾青枣;膜脂代谢;磷脂酶 D;脂氧合酶;脂肪酸组分;1-甲基环丙烯(1-MCP)

文章编号 1009-7848(2018)10-0202-09 doi: 10.16429/j.1009-7848.2018.10.026

台湾青枣(*Ziziphus mauritiana* Lamk.),又称印度枣、毛叶枣、滇刺枣、西西果等,属于鼠李科枣属植物,其果实呈球形、椭圆形或橄榄形,绿色、淡绿色。台湾青枣口感脆甜,清香爽口,风味独特。果实含多种维生素、矿物质、膳食纤维及大量黄酮类化合物,营养丰富,有热带小苹果和天然维生素丸的美称,深受消费者的欢迎<sup>[1-3]</sup>。成熟的台湾青枣果实中脂肪酸富含中等链长的脂肪酸甘油三酯,短期丰富的中等链长脂肪酸饮食能提高总能量的消耗,食用富含中等链长脂肪酸的台湾青枣果实有利健康<sup>[4]</sup>。然而,台湾青枣果实较不耐贮藏,鲜果易失水皱缩、褐变、腐烂<sup>[5]</sup>。我国台湾青枣主产于广东、广西、福建、海南、云南、台湾等省(区)。近 10 年来,我国台湾青枣生产发展迅速,栽培面积不断扩大,随着投产面积的增加及单位产量的提高,其总产量还将迅速增加。研究可以安全延长台湾青

枣果实采后货架寿命的保鲜新技术十分重要。

乙烯是果实成熟及衰老的启动者和加速者,能促进与果实成熟衰老有关的代谢,从而缩短果实的保鲜期<sup>[6-8]</sup>。控制果实乙烯的生成是延长果实保鲜期的关键。1-甲基环丙烯(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<sup>[6-8]</sup>。1-MCP 处理能较好地抑制台湾青枣果实果皮变色和果肉硬度下降,较好地保持细胞膜系统的完整性,而且细胞膜透性较低,由此认为 1-MCP 抑制果实衰老与其维持细胞膜的完整性有关<sup>[9-12]</sup>。然而,关于 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实膜脂代谢有关的磷脂酶 D(PLD)活性、脂氧合酶(LOX)活性、膜脂脂肪酸组分的影响未见报道。本文以福建省主栽台湾青枣品种“中青”果实为材料,研究 1-MCP 处理对台湾青枣果实细胞 PLD、LOX 和膜脂脂肪酸组分的影响,旨在阐明其生理机制,为延缓台湾青枣果实衰老,延长其保鲜期提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料及试剂

以约八成成熟的“中青”台湾青枣(*Ziziphus mauritiana* Lamk. cv. Zhongqing)果实为材料,果

收稿日期:2017-10-21

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD07B06);福建省自然科学基金项目(2011J05171);福建省财政厅项目(KLe16H01A,KLe16002A);福建省教育厅中青年教育科研项目(JA15691)

作者简介:陈莲,女,1978 年出生,博士,副教授

通讯作者:林河通 E-mail: hetonglin@163.com

实采自福建省漳州市平和县山格镇示范科技果园。果实采收当天运至福建农林大学农产品产后技术研究所食品贮藏保鲜实验室(福州),经剔除病虫果和损伤果后,挑选大小均一、色泽一致的健康果实进行试验。

本试验所用 1-MCP 为纸片型 AnsiP-S (商品名:安喜布),台湾利统股份有限公司。脂肪酸甲酯 35 种混合标样,美国 Nu-Chek-Prep, Inc;亚油酸钠、乙酸钠、氯化钠、卵磷脂、石油醚(色谱纯)、氢氧化钾(色谱纯)、苯(色谱纯)、雷氏盐、丙酮、甲醇、磷酸二氢钠、磷酸一氢二钠、牛血清白蛋白、考马斯亮蓝 G-250、无水乙醇、磷酸。本试验用的试剂均为分析纯级。水为双蒸水。

## 1.2 主要仪器与设备

GC-9A 气相色谱仪,日本岛津;UV-2601 型紫外-可见分光光度计,北京瑞利分析仪器有限公司;电子天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;DK-S24 数显恒温水浴锅,上海精宏设备有限公司;高速冷冻离心机 GL-20G-II,上海安亭科学仪器厂;台式酸度计 6175,上海任氏电子有限公司。

## 1.3 果实预处理

果实用清水清洗,取出晾干后做以下处理:① 1-MCP 处理:前期研究结果表明,(15±1)℃时 1-MCP 处理‘中青’台湾青枣果实适宜的体积浓度为 1.8 μL/L,时间为 12 h<sup>[1]</sup>。因此,本试验选取 1-MCP 的处理体积浓度为 1.8 μL/L。果实装在泡沫箱后,根据 1-MCP 处理体积浓度要求截取适宜大小的纸片型 1-MCP,纸片型 1-MCP 喷少量蒸馏水后平铺在泡沫箱的果实上,之后密封泡沫箱在(15±1)℃下处理 12 h,使 1-MCP 气体释放到整个密闭的泡沫箱内作用于果实。②对照(CK):果实(15±1)℃下,在没有 1-MCP 的泡沫箱内密闭 12 h。以上每一处理重复 3 次,每次 30 kg。经上述采后保鲜处理的台湾青枣果实用厚度为 0.015 mm 的 PE 袋(聚乙烯薄膜袋)密封包装,每袋装果 10 个,果实包装后在(15±1)℃下贮藏。在台湾青枣果实贮藏期间,每隔 3 d 取样测定相关指标。

## 1.4 果实采后生理指标测定

1.4.1 磷脂酶 D(PLD)活性的测定 从 10 个果实中取果肉 3 g,参照周玉婵等<sup>[13]</sup>的方法,以每分钟

光吸收值变化 0.001 表示一个酶活性单位(U),结果以 U/mg 蛋白表示。

1.4.2 脂氧合酶(LOX)活性的测定 从 5 个果实中取果肉 3 g,参照陈昆松等<sup>[14]</sup>的方法,以每分钟光吸收值变化 0.001 表示一个酶活性单位(U),结果以 U/mg 蛋白表示。

1.4.3 膜脂脂肪酸组分测定 从 10 个果实中取果肉 10 g,参照陈艺晖等<sup>[15]</sup>的方法测定台湾青枣果实膜脂脂肪酸组分。

膜脂脂肪酸不饱和指数 $=[(S_i \times t_i)] \times 100$ ,式中, $S_i$ ——膜脂不饱和脂肪酸相对含量; $t_i$ ——该不饱和脂肪酸所含不饱和键的个数。

膜脂脂肪酸不饱和度=不饱和脂肪酸相对含量/饱和脂肪酸相对含量

1.4.4 蛋白质含量测定 参照陈艺晖等<sup>[15]</sup>考马斯亮蓝 G250 染色法测定,以牛血清蛋白作标准曲线。

## 1.5 数据分析

各指标测定均重复 3 次,结果取平均值,数据采用 SPSS 16.0 数据分析软件进行方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实磷脂酶 D(PLD)活性的影响

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<sup>[16]</sup>。由图 1 可知,对照台湾青枣果实 PLD 活性在贮藏 0~3 d 较快下降,3~6 d 变化不明显,6~9 d 快速下降,9~12 d 缓慢上升,随后快速上升。1-MCP 处理台湾青枣果实 PLD 活性在 0~9 d 快速下降,9~12 d 较快上升,随后快速上升。比较发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时间,经 1-MCP 处理的台湾青枣果实 PLD 活性均低于对照。统计分析表明,在贮藏 3~12 d 期间,经 1-MCP 处理的台湾青枣果实 PLD 活性始终显著( $P<0.05$ )低于对照果实。上述结果表明,1-MCP 处理可抑制台湾青枣果实 PLD 活性的升高,保持细胞膜的稳定性。

## 2.2 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实脂氧合酶 (LOX) 活性的影响

由图 2 可知,对照台湾青枣果实 LOX 活性在贮藏 0~9 d 较快上升,9~12 d 快速上升,随后快速下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实 LOX 活性在 0~12 d 缓慢上升,随后缓慢下降。进一步比较发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时间,经 1-MCP

处理的台湾青枣果实 LOX 活性都低于对照。统计分析表明,在整个贮藏期间,经 1-MCP 处理的台湾青枣果实 LOX 活性始终显著 ( $P<0.05$ ) 低于对照果实。上述结果表明,1-MCP 处理可抑制台湾青枣果实 LOX 活性的升高,延缓细胞膜的膜脂过氧化作用。

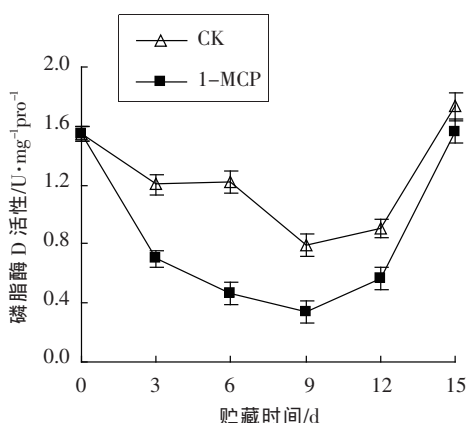


图 1 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实磷脂酶 D 活性的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP treatment on phospholipase D (PLD) activity of harvested *Ziziphus muaritiana* fruit

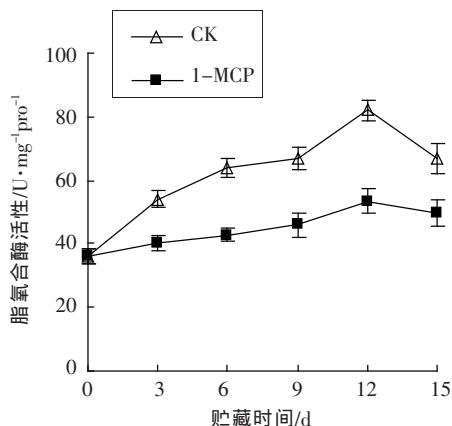


图 2 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实脂氧合酶活性的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP treatment on lipoxygenase (LOX) activity of harvested *Ziziphus muaritiana* fruit

## 2.3 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实膜脂脂肪酸组分及其比例的影响

脂肪酸是生物膜的重要组分,而脂肪酸的相对含量及其比例决定膜的稳定性。采收当天的‘中青’台湾青枣果实脂肪酸组分为油酸( $C_{18:1}$ )、花生酸( $C_{20:0}$ )、棕榈酸( $C_{16:0}$ )、亚麻酸( $C_{18:3}$ )、硬脂酸( $C_{18:0}$ )、十七烷酸( $C_{17:0}$ ),相对含量由高到低的顺序为油酸(44.30%)>花生酸(20.61%)>棕榈酸(20.45%)>亚麻酸(7.25%)>硬脂酸(3.94%)>十七烷酸(3.45%)(表 1)。可见,采收当天的‘中青’台湾青枣果实的膜脂脂肪酸以不饱和脂肪酸(油酸和亚麻酸)为主,占 51.55%,饱和脂肪酸(棕榈酸、十七烷酸、硬脂酸和花生酸)含量占 48.45%。

由图 3a 可以看出,对照台湾青枣果实棕榈酸( $C_{16:0}$ )的相对含量在贮藏 0~3 d 快速上升,3~6 d 缓慢下降,6~12 d 缓慢上升,随后下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实棕榈酸( $C_{16:0}$ )的相对含量在贮

表 1 采收当天台湾青枣果实膜脂脂肪酸组分和相对含量

Table 1 Relative contents of fatty acid composition of membrane lipids in *Ziziphus muaritiana* fruit at harvest day

类别	膜脂脂肪酸组分	相对含量/%
$C_{18:1}$	油酸	44.30
$C_{20:0}$	花生酸	20.61
$C_{16:0}$	棕榈酸	20.45
$C_{18:3}$	亚麻酸	7.25
$C_{18:0}$	硬脂酸	3.94
$C_{17:0}$	十七烷酸	3.45

藏 0~3 d 快速上升,3~12 d 缓慢上升,随后缓慢下降。比较发现,在整个贮藏期间(除第 6 天)的同一贮藏时间,1-MCP 处理的台湾青枣果实棕榈酸相对含量都低于对照。统计分析表明,1-MCP 处理

的台湾青枣果实棕榈酸相对含量在贮藏期 (9~15 d) 显著低于对照 ( $P<0.05$ )。

由图 3b 可知, 对照台湾青枣果实十七烷酸 ( $C_{17:0}$ ) 的相对含量在贮藏 0~6 d 快速下降, 6~9 d 较快上升, 随后下降。1-MCP 处理的台湾青枣果

实十七烷酸 ( $C_{17:0}$ ) 相对含量随贮藏时间的延长而下降。比较发现, 在贮藏前期 (0~6 d) 1-MCP 处理的台湾青枣果实十七烷酸都高于对照, 而在贮藏后期 (9~15 d) 1-MCP 处理的台湾青枣果实十七烷酸都低于对照。统计分析表明, 1-MCP 处理的台

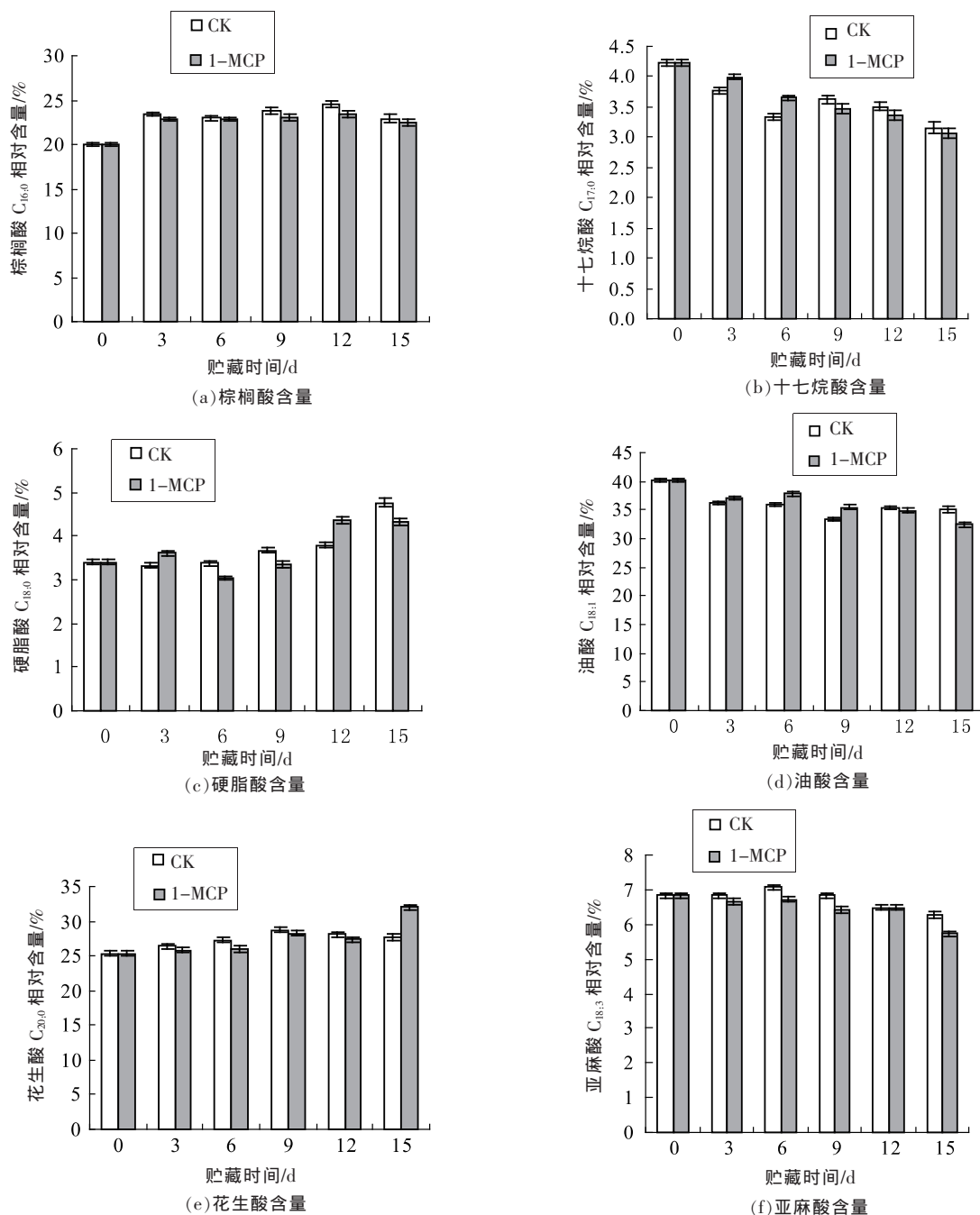


图 3 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实棕榈酸(a)、十七烷酸(b)、硬脂酸(c)、油酸(d)、花生酸(e)和亚麻酸(f)相对含量的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP treatment on contents of palmitic acid (a), margaric acid (b), stearic acid (c), oleic acid (d), arachidic acid (e), and linolenic acid (f) in harvested *Ziziphus muaritian* fruit



湾青枣果实十七烷酸( $C_{17:0}$ )相对含量在贮藏前期(0~6 d)极显著高于对照( $P<0.01$ ),在贮藏后期(9~15 d)显著低于对照( $P<0.05$ )。

由图 3c 可知,对照台湾青枣果实硬脂酸( $C_{18:0}$ )的相对含量在贮藏前期(0~12 d)缓慢上升,随后快速上升。1-MCP 处理的台湾青枣果实硬脂酸( $C_{18:0}$ )相对含量在 0~3 d 缓慢上升,3~6 d 较快下降,6~12 d 较快上升,随后缓慢下降。比较发现,1-MCP 处理的台湾青枣果实硬脂酸( $C_{18:0}$ )相对含量除贮藏第 3 天和第 12 天外均低于对照。

由图 3d 可知,对照台湾青枣果实油酸( $C_{18:1}$ )的相对含量在 0~9 d 内随贮藏时间的延长而下降,随后上升。1-MCP 处理的台湾青枣果实油酸( $C_{18:1}$ )相对含量在 0~3 d 缓慢下降,3~6 d 缓慢上升,后随贮藏时间的延长而下降。进一步比较发现,1-MCP 处理的台湾青枣果实油酸( $C_{18:1}$ )相对含量在贮藏 0~9 d 均高于对照,12~15 d 均低于对照。

由图 3e 可知,对照台湾青枣果实花生酸( $C_{20:0}$ )的相对含量在贮藏 0~12 d 随贮藏时间的延长而缓慢上升,随后缓慢下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实花生酸( $C_{20:0}$ )相对含量在贮藏 0~6 d 缓慢上升,6~9 d 较快上升,9~12 d 下降,随后较快上升。比较发现,在采后的 0~12 d 的贮藏期间同一贮藏时间(除 9 d),1-MCP 处理的台湾青枣果实花生酸相对含量显著低于对照( $P<0.05$ )。

由图 3f 可知,对照台湾青枣果实亚麻酸( $C_{18:3}$ )的相对含量在 0~6 d 缓慢上升,随后缓慢下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实亚麻酸( $C_{18:3}$ )相对含量随贮藏时间的延长而缓慢下降。比较发现,在整个贮藏期间(除第 12 天)的同一贮藏时间,1-MCP 处理的台湾青枣果实亚麻酸相对含量都低于对照。

上述结果表明,对照台湾青枣果实膜脂脂肪酸组分中棕榈酸(20.45%)、硬脂酸(3.94%)相对含量上升,油酸(44.3%)、十七烷酸(3.45%)相对含量下降,花生酸(20.61%)和亚麻酸(7.25%)相对含量在贮藏中无明显变化。1-MCP 处理改变了台湾青枣果实膜脂脂肪酸组分的相对含量,抑制了台湾青枣果实中棕榈酸(20.45%)、硬脂酸(3.94%)和花生酸(20.61%)等饱和脂肪酸相对含量的上升,延

缓了油酸(44.3%)、亚麻酸(7.25%)等不饱和脂肪酸相对含量的下降,加速了十七烷酸(3.45%)饱和脂肪酸相对含量的下降。

膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)是衡量膜脂脂肪酸不饱和程度的一个重要指标,能反映出膜的流动性<sup>[17]</sup>。IUFA 的变化会改变细胞膜的生物物理和生物化学特性,引起膜系统区室化功能的丧失<sup>[18]</sup>。由图 4a 可知,对照台湾青枣果实 IUFA 值在贮藏 0~3 d 内快速下降,3~6 d 内缓慢上升,6~9 d 快速下降,9~12 d 变化不大,随后快速下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实 IUFA 值在贮藏 0~3 d 内快速下降,3~6 d 内缓慢上升,6~9 d 快速下降,随后缓慢下降。比较分析发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时间,经 1-MCP 处理的台湾青枣果实 IUFA 值均高于对照。

膜脂脂肪酸不饱和度是衡量膜脂脂肪酸不饱和程度的另一个重要指标,它能反映出膜脂脂肪酸构成和比例的变化。由图 4b 可以看出,对照台湾青枣果实膜脂脂肪酸不饱和度在贮藏 0~3 d 快速下降,3~9 d 较快下降,9~12 d 缓慢上升,随后快速下降。1-MCP 处理的台湾青枣果实膜脂脂肪酸不饱和度在贮藏 0~3 d 快速下降,3~6 d 缓慢上升,6~9 d 较快下降,随后缓慢下降。比较分析发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时间,经 1-MCP 处理的台湾青枣果实膜脂脂肪酸不饱和度均高于对照组。

上述结果表明,膜脂脂肪酸不饱和指数和膜脂脂肪酸不饱和度的下降,可能是由于主要饱和脂肪酸棕榈酸相对含量上升和主要不饱和脂肪酸油酸相对含量的下降导致。1-MCP 处理可延缓饱和脂肪酸相对含量的上升和不饱和脂肪酸相对含量的下降,从而维持台湾青枣果实膜脂脂肪酸较高的不饱和程度,增加膜的流动性,延缓果实衰老。

### 3 讨论

前人研究认为细胞膜是较早反映衰老相关变化的一个关键部位,细胞膜的降解是果实衰老的一个基本特征<sup>[18]</sup>。磷脂酶 D(PLD)是调节细胞膜磷脂代谢的关键酶,它催化植物细胞膜中的磷脂酰胆碱水解生成磷脂酸,磷脂酸在磷脂酸酶的作用

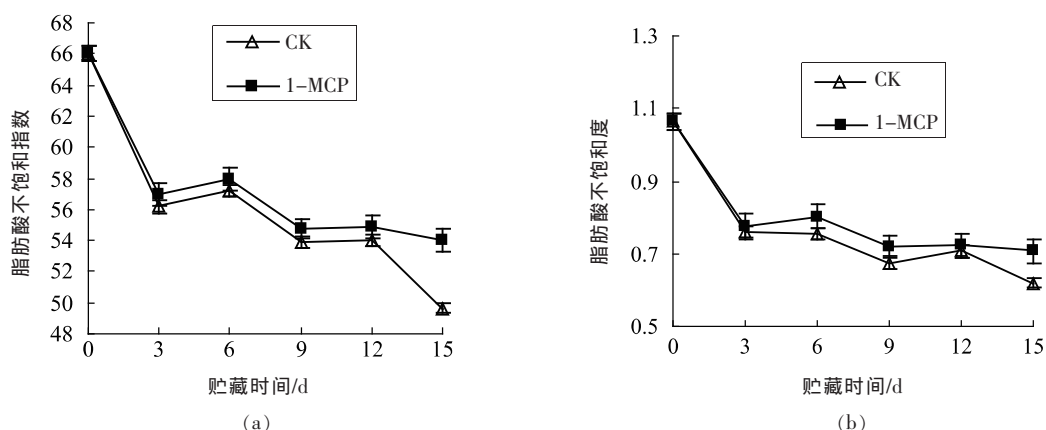


图 4 1-MCP 处理对采后台湾青枣果实脂肪酸不饱和指数(a)和不饱和度(b)的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP treatment on index of unsaturated fatty acids (a) and unsaturated / saturated fatty acid ratio (b) of harvested *Ziziphus mauritiana* fruit

下快速生成甘油二酯,甘油二酯水解释放游离脂肪酸,其中一部分不饱和脂肪酸被脂氧合酶(LOX)氧化<sup>[19-20]</sup>。PLD和它的催化产物,亚麻酸和磷脂酸,诱导脂氧合酶途径和细胞信号转导<sup>[16]</sup>。植物PLD活性受到严格控制,反之不受控制的PLD活性引起膜脂成分发生变化,膜脂双分子层局部组织结构改变,膜脂双分子层不稳定,最终导致细胞膜完整性丧失<sup>[21-22]</sup>。脂氧合酶是细胞膜脂肪酸代谢中的一个关键酶,LOX通过催化亚油酸、亚麻酸等含有顺-1,4-戊二烯结构的多不饱和脂肪酸的迅速氧化而生成过氧氢基脂肪酸,激活膜脂过氧化作用而产生烷过氧基(ROO·)、烷氧基(RO·)等自由基,催化膜脂氧化引起膜的损伤,细胞膜透性增加<sup>[17,23]</sup>。反之,细胞膜的降解加速了活性氧的生成。细胞膜结构的保持有利于保持果实品质,延长货架期。Testerink等<sup>[24]</sup>研究发现磷脂酸的积累与PLD活性成正相关,认为植物中磷脂酸含量的增加是由于PLD活性上升引起细胞膜磷脂降解的结果。Xiong等<sup>[25]</sup>研究认为,高PLD活性危及膜的完整性。PLD抑制剂处理采后草莓、龙眼等,均能较好保持其果实品质<sup>[26-27]</sup>。反义PLD基因番茄果实的PLD活性低、可较好地保持番茄果实硬度而延缓其衰老<sup>[28]</sup>。胡位荣等<sup>[29]</sup>用直接或间接维持细胞膜稳定的物质(如脱落酸、亚精胺、1-甲基环丙烯等)处理采后荔枝果实,能降低贮藏期间荔枝果皮LOX活性,减轻荔枝果皮褐变程度;相反用质量浓度为40 g/L的乙烯利处理采后台湾青枣果实,会

促进细胞膜透性增大,加快果实腐败<sup>[30]</sup>。Saquet等<sup>[31]</sup>研究认为,延迟气调贮藏(Delayed controlled atmosphere storage)能保持‘Conference’梨果实中较高的亚油酸和亚麻酸等多不饱和脂肪酸含量,较好地保持细胞膜结构的完整性,延缓果实衰老。

Rawyle等<sup>[32]</sup>研究认为,植物细胞能量代谢对细胞膜自身的修复能力起着重要的调节作用,ATP的合成低于阈值会导致细胞膜脂的水解。Yi等<sup>[33]</sup>用ATP处理采后荔枝果实,能降低贮藏期间游离脂肪酸,减轻细胞膜膜脂水解程度,延缓荔枝果实褐变。陈莲等<sup>[34]</sup>研究发现,对照采后台湾青枣果实细胞内能荷快速下降,细胞膜透性快速上升,两者呈显著负相关。这进一步表明,细胞组织能量亏损是引起植物衰老的关键因素,而细胞膜系统的破坏是采后果蔬衰老的原初反应。1-MCP处理的台湾青枣果实可能因为1-MCP处理可降低乙烯的生成并抑制其作用,从而降低果实的呼吸作用和ATP的消耗<sup>[12]</sup>,造成ATP的积累,1-MCP处理的台湾青枣果实保持较高的细胞能荷值<sup>[34]</sup>,增强细胞膜的修复能力,最终延缓了衰老导致的细胞膜结构的破坏。

本试验结果表明,1-MCP处理抑制台湾青枣果实LOX、PLD活性的升高(图1、图2),抑制了台湾青枣果实中棕榈酸(20.45%)、硬脂酸(3.94%)和花生酸(20.61%)等饱和脂肪酸相对含量的上升,延缓了油酸(44.3%)、亚麻酸(7.25%)等不饱和脂肪酸相对含量的下降(图3),抑制脂肪酸不饱和

指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度(图4)的下降,由于1-MCP处理能够保持较高台湾青枣果实能荷水平,并能较好维持台湾青枣果实细胞膜结构的完整性<sup>[34]</sup>,因此认为1-MCP处理可能是抑制台湾青枣果实PLD、LOX活性的提高,抑制台湾青枣果实细胞膜膜脂不饱和脂肪酸的降解,饱和脂肪酸含量的上升,以及由膜脂肪组分含量的变化而引起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,增强细胞膜的修复能力,维持较高的台湾青枣果实细胞膜膜脂脂肪酸不饱和指数和不饱和度,延缓台湾青枣果实衰老导致的细胞膜结构的破坏。

#### 4 结论

‘中青’台湾青枣果实脂肪酸组分按含量高低顺序依次为油酸( $C_{18:1}$ )、花生酸( $C_{20:0}$ )、棕榈酸( $C_{16:0}$ )、亚麻酸( $C_{18:3}$ )、硬脂酸( $C_{18:0}$ )、十七烷酸( $C_{17:0}$ )。1-MCP处理抑制采后台湾青枣果实磷脂酶D(PLD)和脂氧合酶(LOX)活性的升高,抑制了膜脂不饱和脂肪酸的降解和饱和脂肪酸含量的上升而引起膜系统完整性受损,维持较高的细胞膜膜脂脂肪酸不饱和指数和不饱和度;保持了较高的细胞能荷值,增强了细胞膜的修复能力,最终延缓台湾青枣果实衰老导致的细胞膜结构的破坏。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈莲, 林河通, 郭巧玲, 等. 台湾青枣多糖抗氧化活性的研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(5): 863-866.
- [2] PAREEK S. Nutritional composition of jujube fruit[J]. Emir J Food Agric, 2013, 25(6): 463-470.
- [3] 徐小艳, 吴锦铸. 台湾青枣的营养成分分析与利用[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 32-34.
- [4] GUIL-GUERRERO J L, DELGADO A D, MATA LLANA M C. Fatty acids and carotenoids in some ber (*Ziziphus jujube* Mill)[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2004, 59(1): 23-27.
- [5] 陈莲, 林河通, 陈艺晖, 等. 台湾青枣果实采后生理和病害研究进展[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(6): 45-53.
- [6] BLANKENSHIP S M, DOLE J M. 1-Methylcyclopropene: A review[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(1): 1-25.
- [7] 赵鑫, 高美须, 沈月, 等. 包装材料与乙烯吸收剂, 1-MCP组合处理对延长银白杏贮藏期的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(7): 103-109.
- [8] CHENG Y D, DONG Y, YAN H B, et al. Effects of 1-MCP on chlorophyll degradation pathway-associated genes expression and chloroplast ultrastructure during the peel yellowing of Chinese pear fruits in storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2): 415-422.
- [9] 陈莲, 林钟铨, 林河通, 等. AnisP-S处理对台湾青枣果实果皮活性氧代谢和细胞膜透性的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(4): 1-7.
- [10] 张艳宜, 马婷, 宋小青, 等. 1-MCP处理对猕猴桃货架期生理品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 204-212.
- [11] 贾晓辉, 夏玉静, 王文辉, 等. 采收成熟度结合1-MCP对苹果采后品质和生理效应的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 197-203.
- [12] 陈莲, 林河通, 王璐璐, 等. 安喜布处理对采后台湾青枣果实的保鲜效应[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 113-120.
- [13] 周玉婵, 潘小平, 唐友林. 采后GA3诱导菠萝多酚氧化酶活性升高的机理[J]. 植物学报, 1998, 40(3): 247-250.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] BARGMANN B O R, MUNNIK T. The role of phospholipase D in plant stress responses[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2006, 9(5): 515-522.
- [17] 孔祥佳, 林河通, 郑俊峰, 等. 热空气处理诱导冷藏橄榄果实抗冷性及其与膜脂代谢的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 752-760.

- [18] MARANGONI A G, PALMA T, STANLEY D W. Membrane effects in postharvest physiology[J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7(3): 193–217.
- [19] LI M, HONG Y, WANG X. Phospholipase D- and phosphatidic acid-mediated signaling in plants[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids, 2009, 1791(9): 927–935.
- [20] LIU Y, SU Y, WANG X. Phosphatidic acid-mediated signaling[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2013, 991(3): 159–176.
- [21] TESTERINK C, MUNNIK T. Molecular, cellular, and physiological responses to phosphatidic acid formation in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(7): 2349–2361.
- [22] WALLEY J W, KLIEBENSTEIN D J, BOSTOCK R M, et al. Fatty acids and early detection of pathogens[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2013, 16(4): 520–526.
- [23] 梁丽雅, 胡小松, 何爱红, 等. 降温方法对不同成熟度鸭梨果肉脂氧合酶活性和膜脂脂肪酸的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(4): 35–39.
- [24] TESTERINK C, MUNNIK T. Phosphatidic acid: A multifunctional stress signaling lipid in plants[J]. Trends Plant Science, 2005, 10(8): 368–375.
- [25] XIONG L, SCHUMAKER K S, ZHU J K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress[J]. Plant Cell, 2002, 14(Suppl): S165–S183.
- [26] 张辉, 李英华, 曹彬彬, 等. 磷脂酶 D 抑制剂处理对草莓果实采后品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 228–231.
- [27] 李杰民, 孙健, 李昌宝, 等. 磷脂酶 D 抑制剂处理对采后龙眼果实贮藏性质的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(9): 1534–1537.
- [28] PINHERO R G, ALMQUIST K C, NOVOTNA Z, et al. Developmental regulation of phospholipase D in tomato fruits [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2003, 41(3): 223–240.
- [29] 胡位荣, 刘顺枝, 张昭其, 等. 荔枝果实采后脂氧合酶活性的变化[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(3): 285–289.
- [30] 郑诚乐, 王晓飞, 潘东明, 等. 乙烯利处理对毛叶枣果实采后保护酶活性及膜透性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(1): 36–39.
- [31] SAQUET A A, STREIF J, BANGERTH F. Energy metabolism and membrane lipid alterations in relation to brown heart development in Conference pears during delayed controlled atmosphere storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 30(2): 123–132.
- [32] RAWYLER A, PAVELIC D, GIANINAZZI C, et al. Membrane lipid integrity relies on a threshold of ATP production rate in potato cell cultures submitted to anoxia[J]. Plant Physiology, 1999, 120(1): 293–300.
- [33] YI C, JIANG Y M, SHI J, et al. Effect of adenosine triphosphate on changes of fatty acids in harvested litchi fruit infected by *Peronophythora litchii*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 54(3): 159–164.
- [34] 陈莲, 林河通, 王璐璐, 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.

### Effects of 1-MCP Treatment on Metabolism of Membrane Lipids in Harvested *Ziziphus mauritiana* Lamk. Fruit

Chen Lian<sup>1,2</sup> Wang Lulu<sup>2,3</sup> Lin Hetong<sup>2,3\*</sup> Lin Yifen<sup>2,3</sup> Chen Yihui<sup>2,3</sup>

<sup>(1)</sup>School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian

<sup>(2)</sup>College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002

<sup>(3)</sup>Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002)

**Abstract** Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on activities of phospholipase D (PLD), lipoxygenase



(LOX) and fatty acid constituents in membrane lipid in harvested *Ziziphus mauritiana* (*Ziziphus mauritiana* Lamk. cv. Zhongqing) fruit were investigated. The results showed that the major fatty acid component in *Ziziphus mauritiana* consisted of oleic acid ( $C_{18:1}$ ), followed by arachidic acid ( $C_{20:0}$ ), palmitic acid ( $C_{16:0}$ ), linolenic ( $C_{18:3}$ ), stearic acid ( $C_{18:0}$ ), margaric acid ( $C_{17:0}$ ). As compared with the control fruit, 1-MCP treatment could decrease activities of PLD and LOX, delay the decreases of unsaturated fatty acids like oleic acid ( $C_{18:1}$ ), retard the increase of saturated fatty acids such as palmitic acid ( $C_{16:0}$ ), maintain higher index of unsaturated fatty acids (IUF) and higher unsaturation degree of fatty acids, as well as keep higher level of energy charge and more availability of energy involving in lipid cellular synthesis, which could retard the change of membrane properties, and delay the loss of cellular compartmentalization and ion leakage.

**Keywords** *Ziziphus mauritiana*; membrane lipids metabolism; phospholipase D (PLD); lipoxygenase (LOX); fatty acid constituents; 1-methylcyclopropene (1-MCP)

## 信 息 窗

### 科学家成功“驯化”出番茄新品种

过去,人们把狼驯化成狗,更多地是为了让它看家护院;现在,如果让我们重新驯化狗,可能我们更需要它的陪伴,甚至把它看作一名“家庭成员”。时代不同,需求也不同。那么农作物是不是也可以重新“驯化”,使之更加符合我们的需求呢?

中国科学院遗传与发育生物学研究所许操研究组与高彩霞研究组合作,从大自然中选择了4种野生番茄,利用基因编辑技术,根据人们的需求,重新“驯化”出了一种同时具有天然抗性(野性)和优良产量、营养性状的新型番茄,相关研究成果发表于10月1日《自然-生物技术》。

以前,人们“驯化”农作物的主要目的是提高产量以获取更多的食物。“当时人们只是为了吃饱肚子,所以最初驯化野生植物时,首先考虑的是产量。为了能够生存,人们甚至可以将全部精力投入到农业生产和照顾作物。结果使得作物比它们的祖先(野生植物)越来越“娇贵”,一旦脱离人的照顾难以生存。”许操告诉《中国科学报》记者。

为了提升作物的抗逆性,传统育种做出了巨大贡献,它主要通过杂交的方式,将野生种的抗逆性状导入栽培种,这种方式需耗时多年,而且常伴随连锁累赘,导致抗逆性状的导入降低了作物的产量或品质。

如今,随着经济发展和科技进步,人们对农作物特性的需求也有所变化。需要全新的作物品种,能够把人们从繁重的农业生产中解放出来。“因此,我们希望利用现代生命科学技术,设计一种快速精准的方法,从头开始,‘驯化’出符合人类需求的新作物。”许操说。

研究人员在大自然中寻找到了具有天然抗逆性的野生番茄品种——醋栗番茄,在不牺牲其抗逆性的前提下,利用基因编辑技术精确靶向基因编码区及调控区,将产量和营养性状精准地导入野生番茄,将其“驯化”成了新的作物类型。

这种重新驯化策略的优势在于,它是从大自然中寻找的、具备天然抗逆性状(野性)的、“血统纯正”的野生植物,使用现代生命科学技术进行精准驯化,在保证“血统纯正”的前提下,获得符合人们需求的新型作物。

“我们通过这一研究重新驯化获得的番茄新品种,保持了它“野生血统”中的抗盐碱和抗细菌病害的能力,同时又提升了产量和营养。”许操说。

(消息来源:科学网)