

1-甲基环丙烯延缓采后“油棕”果实衰老及其与膜脂代谢关系

李 辉^{1,2} 林毅雄^{1,3} 林河通^{1,3*} 袁 芳^{1,3} 林艺芬^{1,3} 陈艺晖^{1,3}

(¹ 福建农林大学食品科学学院 福州 350002

² 闽南师范大学生物科学与技术学院 福建漳州 363000

³ 福建农林大学农产品产后技术研究所 福州 350002)

摘要 研究 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对采后“油棕”果实衰老的影响及其与膜脂代谢关系。采后“油棕”果实经 1.2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理 12 h,采用 0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜袋密封包装,在(25 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏。贮藏期间定期测定“油棕”果实细胞膜透性、磷脂酶 D(PLD)、脂酶和脂氧合酶(LOX)活性及膜脂脂肪酸组分。与对照果实相比,1-MCP 处理能有效延缓采后“油棕”果实细胞膜透性的上升,降低 PLD、脂酶、LOX 等膜脂降解酶活性,延缓亚油酸($\text{C}_{18:2}$)、亚麻酸($\text{C}_{18:3}$)等不饱和脂肪酸含量的下降,棕榈酸($\text{C}_{16:0}$)、硬脂酸($\text{C}_{18:0}$)等饱和脂肪酸含量的增加,延缓脂肪酸不饱和指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度的下降。1-MCP 通过降低采后“油棕”果实 PLD、脂酶和 LOX 等膜脂降解酶的活性而减少膜脂不饱和脂肪酸的降解,较好地保持细胞膜结构的完整性,从而延缓“油棕”果实衰老。

关键词 油棕;果实;1-甲基环丙烯(1-MCP);衰老;膜脂代谢

文章编号 1009-7848(2015)12-0143-09 **doi**: 10.16429/j.1009-7848.2015.12.020

棕(nài)(*Prunus salicina* Lindl.)又称桃形李、奈李和歪嘴李,属蔷薇科(Rosaceae)李属(*Prunus*),是我国南方的一种重要水果。棕以其肉厚质脆、皮薄汁多、果香浓郁、味道清甜等优点而深受国内外消费者欢迎,是国内外市场畅销的名贵果品。棕属于呼吸跃变型果实,其果实成熟于 7 月下旬至 8 月上旬,采后生理代谢旺盛,加上皮薄、汁多,常温下极易后熟软化和腐烂变质,引起采后极大损失。研究棕的贮藏保鲜具有重要的理论和实践意义。

有研究认为,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后熟和衰老的一个基本特征。果实的衰老往往伴随着细胞膜透性增加,饱和脂肪酸含量降低和细胞膜区室化结构破坏,并最终导致动态平衡失调^[1-2]。1-甲基环丙烯(1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂,可以通过抑制乙烯的生物合成和作用而延缓果实的后

熟和衰老进程^[3]。Luo 等^[4]研究表明,1-MCP 处理可降低“青棕”果实贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放量,延缓果实软化和色泽转变。笔者认为,1.2 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理 12 h,是“油棕”果实在(25 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏保持其果实品质,延长保鲜期的适宜处理条件^[5]。目前有关 1-MCP 延缓采后“油棕”果实衰老及其与膜脂代谢的关系未见研究报道。

本文以福建省主栽木奈品种“油棕”(*Prunus salicina* Lindl. cv. Younai)果实为材料,研究经 1.2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理 12 h 的“油棕”果实在(25 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏期间的细胞膜透性、PLD 活性、脂酶活性、LOX 活性和膜脂脂肪酸组分的变化规律,旨在阐明 1-MCP 延缓采后“油棕”果实衰老及其与膜脂代谢的关系,为控制采后“油棕”果实衰老,延长果实保鲜期提供科学依据和生产指导。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

供试“油棕”果实采自福建省古田县科技示范果园,在果实约 9 成熟时采收。果实采收当天运至福建农林大学食品贮藏保鲜实验室(福州)。试验所用果实要求大小均匀、果形端正、色泽一致、无

收稿日期:2014-12-25

基金项目:国家科技支撑计划专项(2007BAD07B06);福建省教育厅科研项目(JA13200)

作者简介:李辉,男,1983 年出生,博士,讲师

通讯作者:林河通

机械伤和病虫害。先用 60 mg/L 的二氧化氯溶液浸泡 5 min 对果实进行杀菌消毒,取出晾干后进行以下处理:(1)对照(CK):果实放入体积约 0.04 m³ 的泡沫箱内,在(25±1)℃下密闭 12 h。(2)1-MCP 处理:果实放入体积约 0.04 m³ 的泡沫箱内,根据 1.2 μL/L 的处理浓度截取适宜大小的布片型 1-MCP,将 1-MCP 用蒸馏水喷湿后平铺于果实上,迅速将泡沫箱密封,并在(25±1)℃下密闭 12 h。以上每个处理均重复 3 次。处理后的果实用 0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜袋包装,每个袋子均匀打孔 10 个。每个处理组有 50 袋果实,每袋装果 10 个。果实包装后在(25±1)℃,相对湿度 90% 下贮藏,贮藏期间每隔 3 d 取样测定相关指标。

1.2 指标测定

1.2.1 细胞膜透性测定 采用相对电导率表示细胞膜透性大小,参照陈莲等^[6]的方法测定细胞膜相对电导率。

1.2.2 磷脂酶 D(PLD)活性的测定 PLD 活性测定参照 Liu 等^[7]的方法,PLD 活性以每毫克蛋白的光吸收值表示,蛋白质含量采用考马斯亮蓝染色法测定。

1.2.3 脂酶活性的测定 参照 Liu 等^[7]的方法,以每分钟吸光值变化 0.001 为 1 个酶活性单位(U),结果以 U/mg protein 表示。

1.2.4 脂氧合酶(LOX)活性的测定 参照吴敏等^[2]的方法,以每分钟吸光值增加 0.01 为 1 个 LOX 活性单位(U),结果以 U/g FW 表示。

1.2.5 膜脂肪酸组分的测定 参照高慧等^[8]的方法进行膜脂的提取和类脂的甲酯化。采用安捷伦 7890 型气相色谱仪进行膜脂肪酸组分的测定。色谱柱为 SP2560 (100 m×0.25 mm×0.20 μm,SUPELCO 公司),进样口温度为 270℃,压力:216.868 kPa,分流比为 30:1,氢火焰检测器(FID)温度 280℃,氢气流速为 30 mL/min,空气流速 400 mL/min。

$$\text{膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)} = \left[\sum_{i=1}^n (S_i \times t_i) \right] \times$$

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。

膜脂脂肪酸饱和度=不饱和脂肪酸相对含量/饱和脂肪酸相对含量。

1.3 数据分析

各指标测定均重复 3 次,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“油棕”果实细胞膜透性的影响

采后果实的衰老与细胞膜透性的上升有关,细胞内膜结构破坏,则透性增加,细胞内电解质大量外渗,因而电导率增大。因此,果实细胞膜相对电导率大小可以反映细胞膜的完整性和果实的衰老程度^[5]。由图 1 可知,“油棕”果实细胞膜相对电导率随贮藏时间的延长而增加,但不同处理的变化幅度不同。其中,对照果实在贮藏 0~3 d 内,细胞膜相对电导率快速增加,3~12 d 内较快增加,12~18 d 内缓慢增加。而经 1-MCP 处理的果实细胞膜相对电导率在贮藏 0~3 d 内快速增加,3~15 d 内较快增加,之后快速增加。统计分析发现,经 1-MCP 处理的果实在 3~18 d 内细胞膜相对渗透率显著($P<0.05$)低于对照果实。上述结果表明,1-MCP 处理能有效延缓“油棕”果实细胞膜相对电导率的增加和延缓果实衰老,较好地维持细胞膜结构的完整性。

2.2 1-MCP 处理对采后“油棕”果实 PLD 活性的影响

由图 2 可知,“油棕”果实 PLD 活性在采后贮藏期间总体呈下降趋势。对照果实 PLD 活性在贮藏 0~3 d 内较快下降,3~9 d 内变化不大,9~12 d 内迅速下降,12~15 d 内有所回升,之后又快速下降,贮藏 18 d 时的 PLD 活性为 0 d 时的 31.07%。1-MCP 处理果实 PLD 活性 0~3 d 内快速下降,3~6 d 内有所回升,6~12 d 内持续下降,12~15 d 内快速回升,之后快速下降至 0 d 时的 28.41%。进一步的比较发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时期,经 1-MCP 处理的果实 PLD 活性都低于对照。统计分析发现,经 1-MCP 处理的果实 PLD 活性在贮藏 3~12 d 内显著($P<0.05$)低于对照果实。上述结果表明,1-MCP 处理可降低“油棕”果实贮藏期间 PLD 活性。

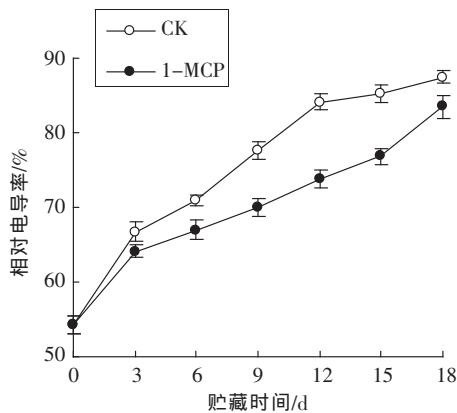


图 1 1-MCP 处理对采后“油棕”果实细胞膜相对电导率的影响

Fig.1 Effects of 1-MCP treatment on cell membrane relative leakage rate of harvested 'Younai' plums

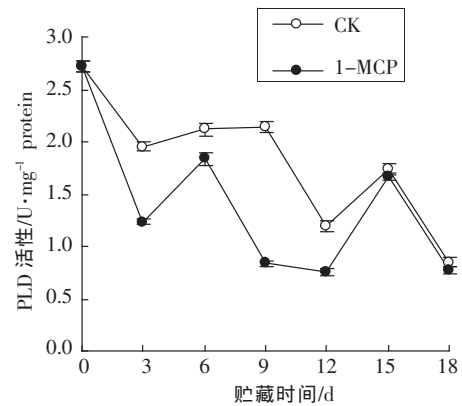


图 2 1-MCP 处理对采后“油棕”果实 PLD 活性的影响

Fig.2 Effects of 1-MCP treatment on PLD activity of harvested 'Younai' plums

2.3 1-MCP 处理对采后“油棕”果实脂酶活性的影响

由图 3 可知,“油棕”果实脂酶活性在贮藏期间变化不大,对照和 1-MCP 处理果实的脂酶活性变化趋势基本一致。其中,对照果实脂酶活性 0~9 d 内较快下降,并在第 9 天达到酶活性最低值,为 0 d 时的 80.57%,9~15 d 内较快回升,15~18 d 内略有下降;1-MCP 处理果实的脂酶活性 0~3 d 内较快下降,3~9 d 内缓慢下降,第 9 天时降至最低值,为 0 d 时的 75.38%,9~12 d 内有所回升,之后缓慢下降。进一步的比较发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时期,经 1-MCP 处理的果实脂酶活性都低于对照。如贮藏至 18 d 时,1-MCP 处理果实的脂酶活性为对照果实的 84.1%,两者间差异显著 ($P<0.05$)。以上结果表明,1-MCP 处理降低了“油棕”果实贮藏期间脂酶活性。

2.4 1-MCP 处理对采后“油棕”果实脂氧合酶 (LOX) 活性的影响

由图 4 可知,“油木奈”果实 LOX 活性在贮藏期间总体呈先上升后下降再回升的趋势,对照和 1-MCP 处理果实 LOX 活性变化趋势基本一致,但不同处理的变化幅度不同。其中,对照果实 LOX 活性在贮藏 0~6 d 内快速上升,在贮藏第 6 天时 LOX 活性达到高峰,6~9 d 内缓慢下降,9~12 d 内急速下降,12~18 d 内有所回升,但仍低于 0 d 时的水平;1-MCP 处理果实 LOX 活性在贮藏 0~6 d

内快速上升,也在贮藏第 6 天时 LOX 活性达到高峰,6~12 d 内急速下降,12~15 d 内较快上升,之后缓慢下降。进一步的比较发现,在整个贮藏期间的同一贮藏时期,经 1-MCP 处理的果实 LOX 活性都低于对照。统计分析发现,经 1-MCP 处理的果实 LOX 活性在贮藏 6~18 d 内显著 ($P<0.05$) 低于对照果实。以上结果表明,1-MCP 处理降低了“油棕”果实贮藏期间 LOX 活性。

2.5 1-MCP 处理对采后“油棕”果实膜脂脂肪酸组分及其比例的影响

脂肪酸含量的改变与细胞膜衰老过程密切相关。采收当天的“油棕”果实中检测到了 5 种脂肪酸:棕榈酸 ($C_{16:0}$)、硬脂酸 ($C_{18:0}$)、油酸 ($C_{18:1}$)、亚油酸 ($C_{18:2}$) 和亚麻酸 ($C_{18:3}$),其中 2 种饱和脂肪酸 (棕榈酸和硬脂酸),1 种单不饱和脂肪酸 (油酸) 和 2 种多不饱和脂肪酸 (亚油酸和亚麻酸)。采收当天“油棕”果实膜脂脂肪酸组分相对含量由高到低的顺序为:亚油酸 (41.12%)>棕榈酸 (35.08%)>亚麻酸 (14.67%)>硬脂酸 (6.14%)>油酸 (2.99%)。进一步分析发现,采收当天的“油棕”果实膜脂脂肪酸以不饱和脂肪酸 (油酸、亚油酸和亚麻酸) 为主,占 58.78%,而饱和脂肪酸 (棕榈酸和硬脂酸) 含量占 41.22%,其中饱和脂肪酸以棕榈酸 (35.08%) 为主,不饱和脂肪酸以亚油酸 (41.12%) 为主。

由图 5a 可知,“油棕”果实棕榈酸含量随贮藏

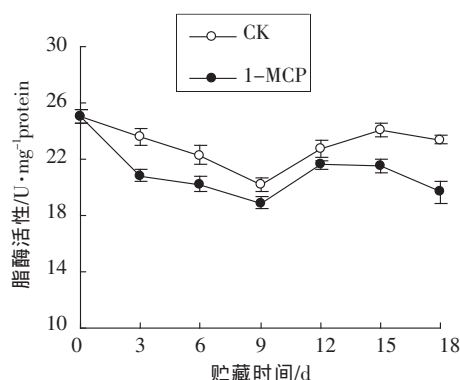


图3 1-MCP处理对采后“油棕”果实脂酶活性的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP treatment on lipase activity of harvested 'Younai' plums

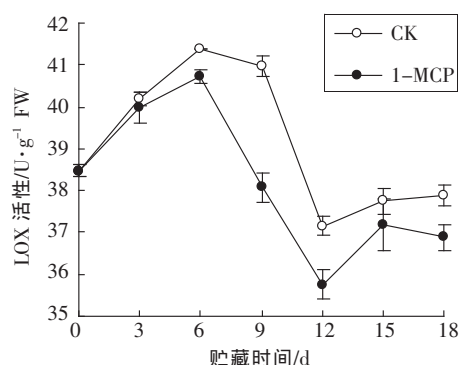


图4 1-MCP处理对采后“油棕”果实LOX活性的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP treatment on LOX activity of harvested 'Younai' plums

期间的延长呈逐渐上升趋势。其中贮藏0~6 d内棕榈酸含量变化不大,6~18 d内快速上升,贮藏第18天时对照和1-MCP处理果实的棕榈酸含量达到最高值,分别为38.17%和37.45%。统计分析表明,1-MCP处理“油棕”果实的棕榈酸含量显著($P<0.05$)低于对照。

由图5b可以看出,“油棕”果实硬脂酸含量随贮藏期间的延长呈逐渐上升趋势。其中对照果实硬脂酸含量在贮藏期间持续上升,而1-MCP处理果实硬脂酸含量在贮藏0~3 d内变化不大,3~6 d内较快上升,6~15 d内缓慢上升,之后快速上升。对照和1-MCP处理果实的硬脂酸含量都在贮藏第18天时达到最高值,分别为6.76%和6.14%。统计分析表明,1-MCP处理“油棕”果实的硬脂酸含量极显著($P<0.01$)低于对照。

由图5c可知,“油棕”果实油酸含量随贮藏期间的延长而逐渐上升。其中贮藏0~3 d内油酸含量变化不大,3~9 d内快速上升,9~12 d内变化不大,12 d后快速上升,并在贮藏第18天时达到最高值,此时对照和1-MCP处理果实的油酸含量分别为3.09%和3.46%。统计分析发现,1-MCP处理果实油酸含量在贮藏0~12 d与对照果实差异不显著($P>0.05$),15~18 d内显著($P<0.05$)高于对照果实。

由图5d可知,“油棕”果实亚油酸含量随贮藏期间的延长而逐渐下降,但1-MCP处理果实的下降速率低于对照果实。贮藏第18天时,对照和1-

MCP处理果实的亚油酸含量降至最低值,分别为38.77%和39.33%。统计分析发现,1-MCP处理“油棕”果实的亚油酸含量显著($P<0.05$)高于对照。

由图5e可知,“油棕”果实亚麻酸含量随采后贮藏期间的延长而逐渐下降,但1-MCP处理减缓了果实亚麻酸含量的下降速率。统计分析发现,1-MCP处理“油棕”果实的亚麻酸含量显著($P<0.05$)高于对照。

上述结果表明,与对照果实相比,1-MCP处理延缓了不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸含量的下降,抑制了饱和脂肪酸棕榈酸和硬脂酸含量的上升,表明1.2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理诱导了“油棕”果实膜脂脂肪酸组分的改变。

膜脂脂肪酸不饱和指数(IUFA)可反映膜脂脂肪酸不饱和程度和膜的流动性。“油棕”果实IUFA=(1×油酸相对含量+2×亚油酸相对含量+2×亚麻酸相对含量)。由图6a可知,“油棕”果实IUFA随贮藏时间的延长而逐渐下降,说明随着贮藏时间的延长,不饱和脂肪酸含量逐渐下降。在整个贮藏期间的同一贮藏时期,经1-MCP处理的果实IUFA都高于对照,说明1-MCP处理可保持较高的不饱和脂肪酸含量,延缓了不饱和脂肪酸的过氧化。统计分析发现,经1-MCP处理的“油棕”果实IUFA值极显著($P<0.01$)高于对照。

脂肪酸不饱和度也反映了膜脂脂肪酸含量的变化。“油棕”果实的脂肪酸不饱和度=(油酸相对含量+亚油酸相对含量+亚麻酸相对含量)/(棕榈

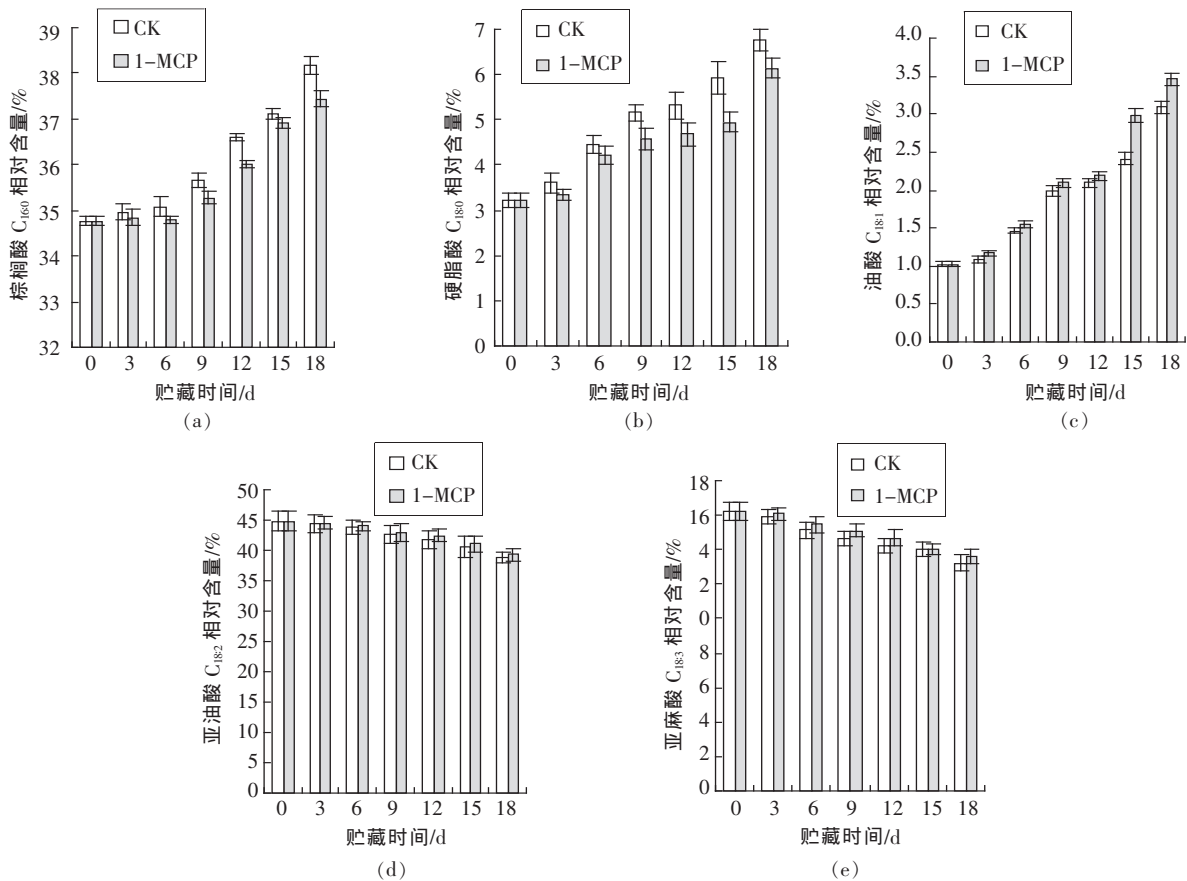


图 5 1-MCP 处理对采后“油棕”果实棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸含量的影响

Fig.5 Effects of 1-MCP treatment on relative contents of palmitic acid (a), stearic acid (b), oleic acid (c), linoleic acid (d) and linolenic acid (e) in harvested 'Younai' plums

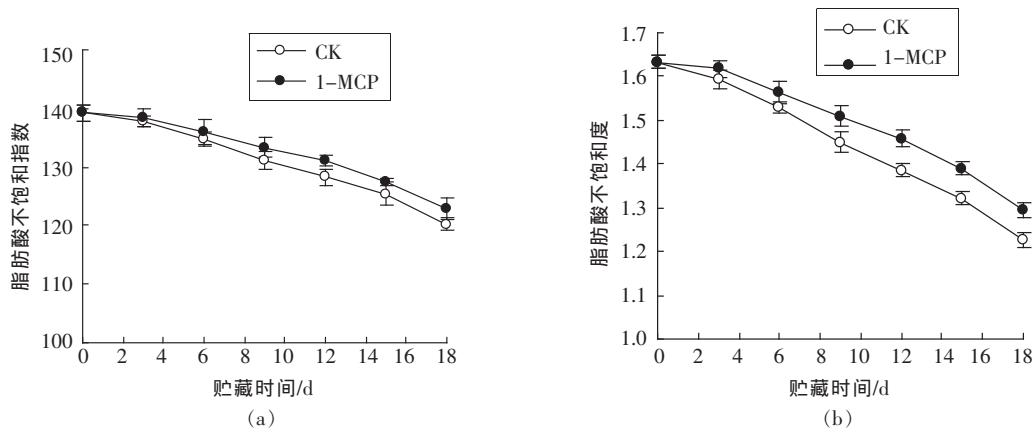


图 6 1-MCP 处理对采后“油棕”果实脂肪酸不饱和指数(a)和脂肪酸不饱和度(b)的影响

Fig.6 Effects of 1-MCP treatment on index of unsaturated fatty acids (IUFA) and unsaturated degree of fatty acids of harvested 'Younai' plums

酸相对含量+硬脂酸相对含量)。由图 6b 可知,“油棕”果实的脂肪酸不饱和度随贮藏时间的延长而下降,但 1-MCP 处理延缓了其下降速度。在整个

贮藏期间的同一贮藏时期,经 1-MCP 处理的果实脂肪酸不饱和度都高于对照。统计分析表明,1-MCP 处理的“油棕”果实脂肪酸不饱和度极显著

($P<0.01$)高于对照。

以上结果表明,1-MCP处理提高了“油棕”果实膜脂脂肪酸的不饱和程度,从而增大膜的流动性。

3 讨论

细胞膜是生物体的重要组成部分,膜的结构和功能发生变化是细胞衰老的基本特征。膜系统的破坏意味着膜完整性的丧失、细胞离子泄漏和去区室化,表现为膜透性的增加。细胞膜的完整性遭到破坏会使选择透性丧失,进而导致细胞物质平衡破坏,生理生化代谢紊乱,长时间则会引起细胞崩溃^[9-10]。本试验结果表明,“油棕”果实细胞膜透性随贮藏时间的延长而增加,表明“油棕”果实的衰老与细胞膜完整性的丧失有关。而1-MCP处理从第3天开始就有效抑制了果实相对电导率的增加,12 d时1-MCP处理果实的相对电导率比对照降低了12.2%(图1),表明1-MCP处理显著($P<0.05$)延缓了“油棕”果实细胞膜结构的破坏。

膜脂的降解是植物体衰老或遭受逆境胁迫时信号转导途经的基本特征。PLD、脂酶和LOX是膜脂代谢途经中起关键作用的酶。PLD是磷脂降解途径的第一个酶,它启动了磷脂分解代谢,是磷脂代谢途径的关键酶。磷脂分解代谢的程度可在一定程度上由PLD的活性决定,因为后面的酶都不能直接作用于磷脂^[11]。脂酶可将磷酸甘油二酯的酰基去酯化,生成游离脂肪酸^[12]。带有顺式-1,4-戊二烯结构的不饱和脂肪酸(亚油酸、亚麻酸)可被LOX作用,导致脂肪酸的过氧化^[13]。这一步骤可能导致活性氧的产生,活性氧作用于膜组分,会导致膜离子泄漏、膜的损伤和膜完整性丧失。研究表明,荔枝果实贮藏期间果皮的脂酶、PLD和LOX活性的增加会造成细胞膜完整性的破坏和区室化结构的破坏,导致褐变加剧和果实品质劣变^[7]。Mao等^[14]研究表明,西瓜的磷脂降解与乙烯的诱导有关,1-MCP可以抑制PLD和LOX等磷脂降解酶活性的升高和磷脂组分的降解。1-MCP处理还可以降低黄金梨^[15]、猕猴桃^[16]、枇杷^[17]和李^[18]等果实贮藏期间LOX活性,减少膜脂不饱和脂肪酸降解,保持细胞膜结构的完整性。

本研究表明,与对照果实相比,1-MCP处理能明显降低PLD、脂酶和LOX的活性(图2~图4),这表明1-MCP处理能抑制“油棕”果实贮藏期间膜脂降解酶活性,降低细胞膜脂的分解,从而维持细胞膜的完整性,这可能与1-MCP抑制了乙烯的作用有关。研究表明:果实的衰老进程伴随着PLD活性的升高。PLD活性可被细胞质中 Ca^{2+} 浓度的升高和细胞质pH的降低诱导^[19]。乙烯可以促进细胞质膜ATP酶(如 Ca^{2+} -ATP酶和 H^{+} -ATP酶)活性降低,造成细胞质中 Ca^{2+} 和 H^{+} 跨膜运输受阻,导致 Ca^{2+} 和 H^{+} 在细胞质中累积,从而诱导了PLD活性升高^[20]。因此,我们认为1-MCP处理通过抑制乙烯的作用而抑制了PLD活性,进而降低细胞膜脂的分解,延缓了果实的衰老进程。

膜的流动性是膜结构的基本特征之一,也是细胞进行生命活动所必需的条件。细胞膜的正常功能依赖于膜的流动性,膜脂的流动性在很大程度上取决于脂肪酸链的长度和脂肪酸的不饱和度,脂肪酸链越短,不饱和程度越高,膜脂的流动性越大^[21]。脂肪酸是植物细胞膜的主要组成部分,细胞膜上脂肪酸组分的变化会改变细胞膜的生物物理和生物化学特性^[22]。前人研究表明,果实衰老过程伴随着细胞膜脂含量和脂肪酸不饱和指数的变化^[23]。38℃热空气处理5 h能抑制枇杷果实棕榈酸和硬脂酸含量的增加,延缓亚油酸和亚麻酸含量的下降,从而保持较高的脂肪酸不饱和度^[24]。经草酸处理的桃果实冷害症状的减轻与脂肪酸不饱和度较高有关^[25]。膜中较高浓度的不饱和脂肪酸有利于维持膜的完整性和延缓衰老^[26]。

本文研究表明,与对照果实相比,1-MCP处理改变了“油棕”果实膜脂脂肪酸组分的相对含量,提高不饱和脂肪酸亚油酸($\text{C}_{18:2}$)和亚麻酸($\text{C}_{18:3}$)含量,降低饱和脂肪酸棕榈酸($\text{C}_{16:0}$)和硬脂酸($\text{C}_{18:0}$)含量(图5a~图5e)。一般来说,不饱和脂肪酸的含量越多,越能增加膜的流动性、柔软性和保持膜的完整性。脂肪酸不饱和指数和脂肪酸不饱和度的下降与“油棕”果实衰老过程中脂肪酸组分含量变化有关,即不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸含量下降,而饱和脂肪酸棕榈酸和硬脂酸含量上升。1-MCP处理可使果实保持较高的脂肪酸不饱和指数和脂肪酸不饱和度,说明1-MCP处理延缓

了“油棕”果实的衰老进程。

综合以上分析可以认为,1-MCP 处理降低了“油棕”果实中 PLD、脂酶和 LOX 的活性,抑制了不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸的降解,维持较高的膜脂脂肪酸不饱和度,较好地保持了细胞膜结构的完整性,从而延缓了果实的衰老进程。

4 结论

1.2 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理能有效延缓采后“油

棕”果实细胞膜透性的上升,降低 PLD、脂酶、LOX 等膜脂降解酶活性,延缓亚油酸 ($\text{C}_{18:2}$)、亚麻酸 ($\text{C}_{18:3}$) 等不饱和脂肪酸相对含量的下降和棕榈酸 ($\text{C}_{16:0}$)、硬脂酸 ($\text{C}_{18:0}$) 等饱和脂肪酸相对含量的增加,延缓脂肪酸不饱和指数(IUFA)和脂肪酸不饱和度的下降。因此认为,1-MCP 可通过降低采后“油棕”果实 PLD、脂酶和 LOX 等膜脂降解酶的活性而减少膜脂不饱和和脂肪酸的降解,较好地保持细胞膜结构的完整性,从而延缓“油棕”果实衰老。

参 考 文 献

- [1] Yi C, Jiang YM, Shi J, et al. Effect of adenosine triphosphate on changes of fatty acids in harvested litchi fruit infected by *Peronophythora litchi*[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 54 (3): 159–164.
- [2] 吴敏, 陈昆松, 张上隆, 等. 桃果实采后脂氧合酶活性和膜脂脂肪酸组分的变化[J]. 园艺学报, 2001, 28(3): 218–222.
- [3] Watkins CB. The use of 1-methylcyclopropene(1-MCP) on fruits and vegetables[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24 (4): 389–409.
- [4] Luo ZS, Xie J, Xu TQ, et al. Delay ripening of ‘Qingnai’ plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene [J]. Plant Science, 2009, 177 (6): 705–709.
- [5] 李辉, 林河通, 袁芳, 等. 不同浓度 1-MCP 处理对采后油木奈果实的保鲜效应[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 114–121.
- [6] 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.
- [7] Liu H, Song LL, You YL, et al. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 60 (1): 24–30.
- [8] 高慧, 饶景萍. 冷害对贮藏油桃膜脂脂肪酸及相关酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27 (4): 710–714.
- [9] 罗云波. 果蔬采后生理与生物技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 27–28.
- [10] 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.
- [11] Whitaker BD. Membrane lipid metabolism and oxidative stress involved in postharvest ripening, senescence, and storage disorders of fruits[J]. Acta Horticulturae, 2012, 945: 269–282.
- [12] Paliyath G, Murr DP, Handa AK, et al. Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers[M]. Ames: Wiley-Blackwell Publishing, 2008: 195–202.
- [13] Baysal T, Demirdoven A. Lipxygenase in fruits and vegetables: A review[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2007, 40(4): 491–496.
- [14] Mao LC, Karakurt Y, Huber DJ. Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit: induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33 (1): 1–9.
- [15] 田长平, 王延玲, 刘遵春, 等. 1-MCP 和 NO 处理对黄金梨主要贮藏品质指标及脂肪酸代谢酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2962–2972.
- [16] Jhalegar MJ, Sharma RR, Pal RK, et al. Analysis of physiological and biochemical changes in kiwifruit (*Actinidia*

- deliciosa* cv. Allison) after the postharvest treatment with 1-methylcyclopropene[J]. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 2011, 20(2): 205–210.
- [17] Cao SF, Zheng YH, Wang KT, et al. Effects of 1-methylcyclopropene on oxidative damage, phospholipases and chilling injury in loquat fruit[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(13): 2214–2220.
- [18] Li ZQ, Wang LJ. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening and superficial scald of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Akemizu) fruit at two temperatures[J]. Food Science and Technology Research, 2009, 15(5): 483–490.
- [19] Brown JH, Paliyath G, Thompson JE. Influence of acyl chain composition on the degradation of phosphatidylcholine by phospholipase D in carnation microsomal membranes[J]. Journal of Experimental Botany, 1990, 41(8): 979–986.
- [20] Paliyath G, Rao MV, Ghosh S, et al. Changes in the activities of proton pump and ATPase in microsomal membranes from carnation flower petals during senescence[J]. Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1997, 3: 63–76.
- [21] Saquet AA, 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.
- [22] Wongsheree T, Ketsa S, Doorn WC. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum citriodorum*) leaves[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51(1): 91–96.
- [23] Gutiérrez M, Sola MM, Vargas AM. Fatty acid composition of phospholipids in mesocarp of cherimoya fruit during ripening[J]. Food Chemistry, 2005, 90(3): 341–346.
- [24] Rui HJ, Cao SF, Shang HT, et al. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(9): 1557–1561.
- [25] Jin P, Zhu H, Wang L, et al. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents[J]. Food Chemistry, 2014, 161: 87–93.
- [26] Cao SF, Yang ZF, Cai YT, et al. Antioxidant enzymes and fatty acid composition as related to disease resistance in postharvest loquat fruit[J]. Food Chemistry, 2014, 163: 92–96.

Delaying Senescence of Harvested ‘Younai’ Plum Fruit by 1-methylcyclopropene and Its Relation to the Metabolism of Membrane Lipids

Li Hui^{1,2} Lin Yixiong^{1,3} Lin Hetong^{1,3*} Yuan Fang^{1,3} Lin Yifen^{1,3} Chen Yihui^{1,3}

⁽¹⁾College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002

⁽²⁾School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian

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

Abstract Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on senescence of harvested ‘Younai’ (*Prunus salicina* Lindl. cv. Younai) plum fruit in relation to the metabolism of membrane lipids were investigated. The harvested ‘Younai’ (*Prunus salicina* Lindl. cv. Younai) plums were pre-treated with 1.2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP for 12 h and then packed into sealed polyethylene bags (0.015 mm thickness) and stored at $(25\pm 1)^\circ\text{C}$. Cellular membrane permeability, activities of phospholipase D (PLD), lipase and lipoxygenase (LOX), and fatty acid constituents of membrane lipids of ‘Younai’ plums during storage were determined. As compared to the control fruit, 1-MCP could effectively retard an increase of cellular membrane permeability, reduce activities of membrane lipid-degrading enzymes like PLD, lipase and LOX, delay a decrease in relative contents of unsaturated fatty acids including linoleic acid ($\text{C}_{18:2}$) and linolenic acid ($\text{C}_{18:3}$), and an increase in relative contents of saturated fatty acids like palmitic acid ($\text{C}_{16:0}$) and stearic acid ($\text{C}_{18:0}$), retard the decreases of index of unsaturated fatty acids (IUFA) and unsaturated degree of fatty acids. It was suggested that delaying senes-

cence of harvested ‘Younai’ plums by 1-MCP might be due to decreases of activities of membrane lipid-degrading enzymes like PLD, lipase and LOX, which might reduce the degradation of unsaturated fatty acids of membrane lipids, and maintain higher integrity of cell membrane structure.

Keywords Younai (*Prunus salicina* Lindl. cv. Younai) plum; fruit; 1-methylcyclopropene (1-MCP); senescence; metabolism of membrane lipids

信息窗

中国科协等七部门联合印发“五不准”规范学术论文发表

为弘扬科学精神,加强抵制学术不端行为,重申和明确科技工作者在发表学术论文过程中的科学道德行为规范,中国科协、教育部、科技部、国家卫生计生委、中科院、工程院、国家自然科学基金委员会共同研究制定并于近日发布了《发表学术论文“五不准”》。

发表学术论文“五不准”

1. 不准由“第三方”代写论文。科技工作者应自己完成论文撰写,坚决抵制“第三方”提供论文代写服务。
2. 不准由“第三方”代投论文。科技工作者应学习、掌握学术期刊投稿程序,亲自完成提交论文、回应评审意见的全过程,坚决抵制“第三方”提供论文代投服务。
3. 不准由“第三方”对论文内容进行修改。论文作者委托“第三方”进行论文语言润色,应基于作者完成的论文原稿,且仅限于对语言表达方式的完善,坚决抵制以语言润色的名义修改论文的实质内容。
4. 不准提供虚假同行评审人信息。科技工作者在学术期刊发表论文如需推荐同行评审人,应确保所提供的评审人姓名、联系方式等信息真实可靠,坚决抵制同行评审环节的任何弄虚作假行为。
5. 不准违反论文署名规范。所有论文署名作者应事先审阅并同意署名发表论文,并对论文内容负有知情同意的责任;论文起草人必须事先征求署名作者对论文全文的意见并征得其署名同意。论文署名的每一位作者都必须对论文有实质性学术贡献,坚决抵制无实质性学术贡献者在论文上署名。

本“五不准”中所述“第三方”指除作者和期刊以外的任何机构和个人;“论文代写”指论文署名作者未亲自完成论文撰写而由他人代理的行为;“论文代投”指论文署名作者未亲自完成提交论文、回应评审意见等全过程而由他人代理的行为。