

1-甲基环丙烯处理对采后杨桃果实软化和细胞壁代谢的影响

陈艺晖, 张华, 林河通*, 林艺芬, 林媛

(福建农林大学食品科学学院, 农产品产后技术研究所, 福州 350002)

摘要: 为探讨 1-甲基环丙烯(1-MCP)延缓采后杨桃果实软化的作用机理,用 0.6 $\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP 处理‘香蜜’甜杨桃(*Averrhoa carambola* ‘Xiangmi’),对在(15 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 90% 下贮藏的果实软化和细胞壁代谢的影响进行研究。结果表明:与对照果实相比, 1-MCP 处理可保持较高的杨桃果实硬度,有效降低果胶酯酶(PE)、多聚半乳糖醛酸酶(PG)、纤维素酶等细胞壁降解酶活性,延缓原果胶、纤维素、半纤维素含量的下降和水溶性果胶含量的增加。因此,0.6 $\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP 处理能有效控制采后‘香蜜’甜杨桃果实的软化进程,延长果实保鲜期。

关键词: 杨桃; 果实; 软化; 细胞壁代谢; 1-甲基环丙烯; 保鲜期

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.06.011

Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on Softening and Cell Wall Metabolism of Harvested *Averrhoa carambola* Fruits

CHEN Yi-hui, ZHANG Hua, LIN He-tong*, LIN Yi-fen, LIN Yuan

(College of Food Science; Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to understand the mechanism of 1-methylcyclopropene (1-MCP) delaying softening of harvested *Averrhoa carambola* fruits, the effect of 0.6 $\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP on softening and cell wall metabolism of harvested *A. carambola* ‘Xiangmi’ fruits during storage at (15 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ and 90% relative humidity were studied. The results showed that, compared with the control fruits, 1-MCP treatment could keep high fruit firmness, obviously inhibit activities of cell wall-degrading enzymes, such as pectinesterase (PE), polygalacturonase (PG) and cellulase, retard the decrease of contents of protopectin, cellulose and hemicellulose, and meanwhile delay the increase of water soluble pectin content. Therefore, it could be concluded that 0.6 $\mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP treatment could effectively control fruit softening process of harvested *A. carambola* ‘Xiangmi’ fruits, and prolong fruit storage life.

Key words: *Averrhoa carambola*; Fruit; Softening; Cell wall metabolism; 1-Methylcyclopropene (1-MCP); Storage life

杨桃(*Averrhoa carambola* Linn.)又称五星果,隶属于酢浆草科(Oxalidaceae)五敛子属果树,是中国南方特色水果,也是福建省重点发展的名特优水果之一,广泛分布于福建、广东、广西、海南和台

湾等省(区)。杨桃果实以其皮薄汁多、果大味美等优点而享誉海内外。近年来,我国杨桃生产发展迅速,栽培总面积和总产量快速增加。但杨桃果实采后生理代谢旺盛、衰老快,鲜果易黄化、软

收稿日期: 2013-07-31

接受日期: 2013-09-16

基金项目: 国家科技支撑计划专项(2007BAD07B06);福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划资助(闽教科[2007]20号);福建农林大学金山学院青年教师科研项目(020505)资助

作者简介: 陈艺晖(1982~),男,博士,讲师。研究方向:果蔬采后生物学与保鲜技术。E-mail:harris2197395@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hetonglin@163.com

化和腐烂,主要表现为果皮失水皱缩、褪绿转黄,果实棱角褐变,果肉质地软化甚至腐烂。其中,果实软化是杨桃采后品质劣变最为突出的问题,严重影响果实的食用品质和商品价值,是限制杨桃长期贮藏和远距离运销的主要因素。因此,很有必要研究杨桃果实采后果实软化发生的生理机制及控制果实软化的采后处理措施。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene,简称1-MCP)是新型的乙烯作用抑制剂,能有效抑制内源乙烯的合成和外源乙烯的诱导作用,可延缓番石榴(*Psidium guajava*)^[1]、香蕉(*Musa spp.*)^[2]、柿(*Diospyros kaki*)^[3]、李(*Prunus salicina*)^[4]、番木瓜(*Carica papaya*)^[5]、梨(*Pyrus spp.*)^[6]等果实的软化进程,延长果实保鲜期。但目前有关1-MCP控制采后杨桃果实软化而提高果实耐贮性的作用机制未见报道。本文以福建省主栽品种‘香蜜’甜杨桃果实为材料,研究1-MCP处理对采后杨桃果实软化的影响及其与细胞壁代谢的关系,旨在阐明1-MCP控制采后杨桃果实软化的作用机理,为1-MCP应用于杨桃果实保鲜提供生产指导。

1 材料和方法

1.1 材料和处理

以大约八成熟的‘香蜜’甜杨桃(*Averrhoa carambola* Linn. ‘Xiangmi’)果实为材料,于2010年9月采自福建省漳州市漳浦县石榴镇果园,采收当天运至福建农林大学农产品产后技术研究所,挑选成熟度和大小基本一致、无损伤的果实进行试验。果实先用无菌水清洗,然后用0.5% ClO₂消毒剂浸泡5 min,取出晾干。前期的预实验得出在(15 ± 1)℃、相对湿度90%的贮藏条件下,0.6 μL L⁻¹ 1-MCP处理12 h可作为延长采后杨桃果实保鲜期的适宜处理条件。因此,本试验采用1-MCP的处理浓度为0.6 μL L⁻¹。布片型1-MCP处理:果实先放入体积约0.04 m³的泡沫箱,之后根据1-MCP处理浓度要求裁剪适宜大小的布片型1-MCP,布片型1-MCP用蒸馏水喷湿后平铺在果实上,于(15 ± 1)℃下密闭处理12 h。对照(Control)处理:泡沫箱内的果实不做任何处理,在(15 ± 1)℃下密闭12 h。以上每个处理均重复3次。处理后的杨桃果实用聚乙烯薄膜袋(厚度约0.015 mm)包装,每个处理组各50袋,每袋装果6个。之后在(15 ± 1)℃、相对湿度90%下贮藏,每隔4 d取样测定有关果实软化的生理指标。

1.2 果实硬度测定

参照Luo等^[7]的方法,用EZ Test EZ-S型质构仪测定果实棱角的去皮果肉硬度,单位为N cm⁻²。

1.3 果肉细胞壁物质组分含量测定

从6个果实中取果肉30 g,参照余文琴等^[8]的方法测定果肉原果胶、水溶性果胶、纤维素、半纤维素等细胞壁物质组分含量,单位为mg g⁻¹ FW。

1.4 果肉细胞壁降解酶的提取和活性测定

从6个果实中取果肉30 g,按照林河通等^[9]和Andrews等^[10]的方法提取细胞壁降解酶。按照Lin等^[11]的方法测定果胶酯酶(PE)活性,以每小时消耗1 μmol NaOH的酶用量为1个酶活力单位,结果以U g⁻¹ FW表示;按照Gross^[12]的方法测定多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性,以每小时生成1 μmol半乳糖醛酸的酶用量为1个酶活力单位,结果以U g⁻¹ FW表示;按照Andrews等^[10]的方法测定纤维素酶活性,以每小时生成1 μmol葡萄糖的酶用量为1个酶活力单位,结果以U g⁻¹ FW表示。

以上各指标均重复测定3次。

1.5 数据处理

采用SPSS 17.0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 结果和分析

2.1 1-MCP处理对杨桃果实硬度的影响

杨桃果实硬度随贮藏时间的延长而下降(图1)。贮藏前4 d,对照和1-MCP处理均保持较高的果实硬度,贮藏4 d之后果实开始出现不同程度的软化。对照果实贮藏至第8天,果实硬度仅为采收当天的65.7%,而1-MCP处理延缓了杨桃果实的软化进程,果实硬度为采收当天的81.3%。统计分析表明,经1-MCP处理的果实硬度在贮藏8~20 d内极显著($P < 0.01$)高于对照。这表明,1-MCP处理能显著延缓杨桃果实软化,较好地保持果实硬度。

2.2 1-MCP处理对杨桃果实细胞壁物质组分的影响

杨桃果实采后原果胶含量呈快速下降趋势(图2: A),而1-MCP处理抑制了原果胶含量的下降。

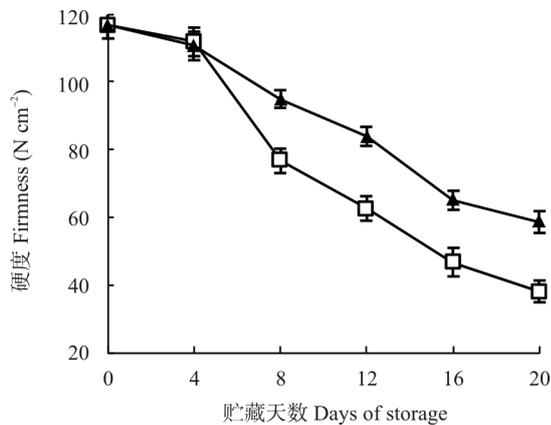


图1 1-MCP处理对采后杨桃果实硬度的影响。□:对照;▲:处理。

Fig. 1 Effect of 1-MCP on firmness of harvested *Averrhoa carambola* fruits. □: Control; ▲: Treatment.

在贮藏4~20 d内,经1-MCP处理的果实原果胶含量都高于对照。贮藏至20 d时,经1-MCP处理的果实原果胶含量为 $0.99 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$,而对照果实的原果胶含量为 $0.85 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$,两者间差异显著($P < 0.05$)。

杨桃果实水溶性果胶含量随贮藏时间的延长而增加(图2: B)。其中,对照果实在贮藏0~4 d内,水溶性果胶含量快速增加,4~8 d内变化不大,8~12 d又快速增加,之后缓慢增加。而经1-MCP处理的果实水溶性果胶含量在贮藏0~20 d内均不断增加,但不同贮藏时期增加的幅度不同。进一步的比较表明,在贮藏4~20 d内,经1-MCP处理的果实水溶性果胶含量都低于对照。贮藏20 d时,1-MCP处理和对照果实的水溶性果胶含量分别为 $1.56 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$ 和 $1.83 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$,两者间差异显著($P < 0.05$)。

杨桃果实采后纤维素含量呈快速下降趋势(图2: C)。但不同处理的杨桃果实在不同贮藏时期的变化幅度不同。对照果实的纤维素含量在贮藏0~4 d内快速下降,4~8 d内缓慢下降,8~12 d内快速下降,之后缓慢下降;而经1-MCP处理的杨桃果实纤维素含量下降速度比对照果实慢。贮藏20 d时,1-MCP处理的杨桃果实纤维素含量为 $13.39 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$,而对照果实的纤维素含量为

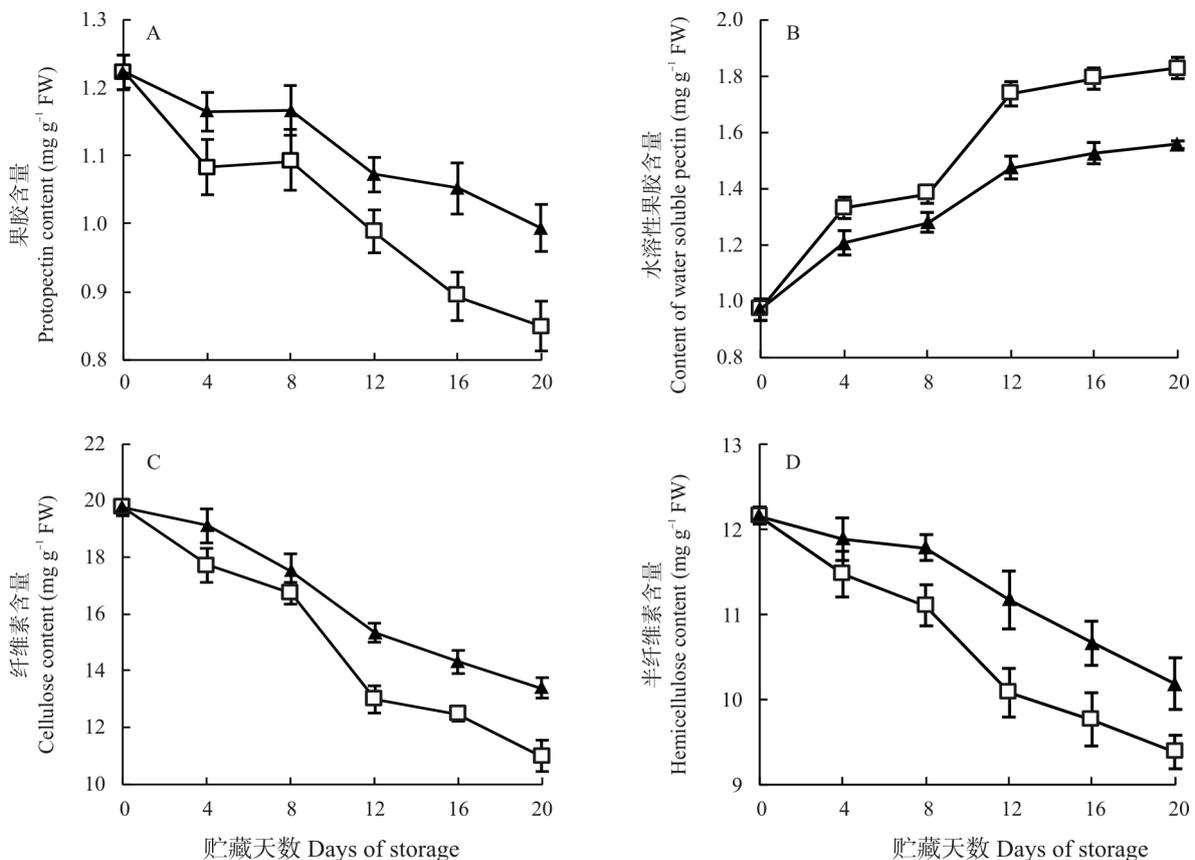


图2 1-MCP对采后杨桃果实原果胶(A)、水溶性果胶(B)、纤维素(C)和半纤维素(D)含量的影响。□:对照;▲:处理。

Fig. 2 Effect of 1-MCP on contents of protopectin (A), water soluble pectin (B), cellulose (C) and hemicellulose (D) of harvested *Averrhoa carambola* fruits. □: Control; ▲: Treatment.

10.98 mg g⁻¹ FW, 两者间差异显著($P < 0.05$)。

采后杨桃果实半纤维素含量迅速下降(图 2: D)。在贮藏 0 ~ 8 d 内, 对照果实的半纤维素含量快速下降, 而经 1-MCP 处理的杨桃果实半纤维素含量缓慢下降; 贮藏 8 d 后, 1-MCP 处理和对照果实的半纤维素含量均迅速下降, 但 1-MCP 处理显著($P < 0.05$)抑制了半纤维素的降解。

上述结果表明, 1-MCP 处理能有效抑制杨桃果实细胞壁物质(原果胶、纤维素和半纤维素)的降解, 并延缓水溶性果胶的生成。

2.3 1-MCP对果实细胞壁降解酶活性的影响

杨桃果实果胶酯酶(PE)活性随贮藏时间的延长呈现先升后降的变化趋势(图 3: A)。对照果实的 PE 活性在 0 ~ 12 d 内快速上升, 第 12 天达到活性高峰, 之后快速下降; 1-MCP 处理可降低果实 PE 活性。在同一贮藏时期, 1-MCP 处理的果实 PE 活性均显著($P < 0.05$)低于对照果实。

采后不同处理的杨桃果实多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性变化趋势基本一致(图 3: B)。对照果实 PG 活性在 0 ~ 8 d 内缓慢上升, 8 ~ 12 d 内快速上升, 之后又缓慢上升; 而经 1-MCP 处理的杨桃果实 PG 活性在 0 ~ 4 d 内略有下降, 4 ~ 12 d 内快速上升, 贮藏 12 d 后 PG 活性变化不大, 维持较高的活性水平。进一步比较表明, 贮藏前期(0 ~ 8 d 内)两处理组间的差异不显著($P > 0.05$); 贮藏后期(12 ~ 20 d 内), 1-MCP 处理的杨桃果实 PG 活性显著($P < 0.05$)低于对照。

对照果实纤维素酶活性在贮藏 0 ~ 8 d 内缓慢

上升, 8 ~ 12 d 内快速上升, 贮藏第 12 天时, 达到活性高峰, 贮藏 12 ~ 20 d 内下降, 但仍维持较高的活性水平; 而经 1-MCP 处理的杨桃果实纤维素酶活性在贮藏 0 ~ 4 d 内缓慢上升, 4 ~ 12 d 内快速上升, 之后变化不大(图 3: C)。统计分析表明, 贮藏前期(0 ~ 8 d 内)两处理组间差异不显著($P < 0.05$); 贮藏后期(12 ~ 20 d 内), 1-MCP 处理的杨桃果实纤维素酶活性显著($P < 0.05$)低于对照。

上述结果表明, 1-MCP 处理能有效降低采后杨桃果实细胞壁降解酶(PE、PG 和纤维素酶)的活性。

3 讨论

3.1 细胞壁物质组分变化与采后果实软化的关系

果实细胞壁物质组分主要由纤维素、半纤维素、果胶等大分子组成, 是维持果实硬度的重要物质基础。有研究认为, 纤维素、半纤维素、果胶等细胞壁物质的降解是导致采后果实软化的重要原因。罗自生^[13]的研究表明, 刚采收的柿果硬度很高, 随着柿果的软化, 原果胶和纤维素含量下降, 而水溶性果胶含量增加。柿果果肉硬度与原果胶、纤维素含量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.981 和 0.997; 柿果果肉硬度与水溶性果胶含量呈显著负相关, 相关系数为 -0.993, 认为原果胶和纤维素的降解在柿果采后软化过程中起关键作用。庄军平等^[14]报道, 香蕉果实细胞壁物质含量和组分在果实成熟软化过程中均发生明显变化。其中, 纤维素、半纤维素含量不断降低; 水溶性果胶含量不断增加, 原果胶和不溶性果胶酸含量不断减少, 且在果实硬

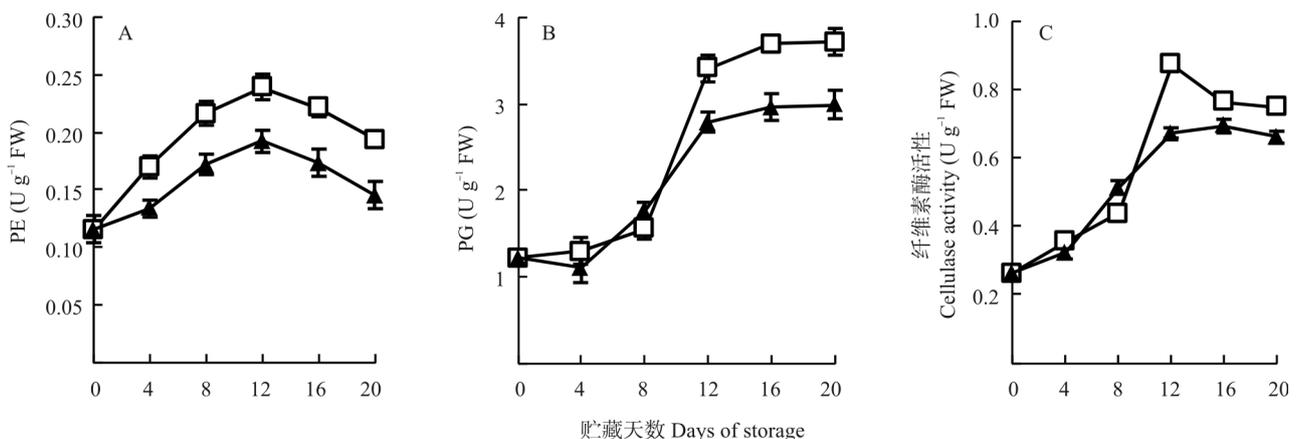


图 3 1-MCP 对采后杨桃果实果胶酯酶(PE, A)、多聚半乳糖醛酸酶(PG, B)和纤维素酶(C)活性的影响。□: 对照; ▲: 处理。

Fig. 3 Effect of 1-MCP on activities of pectinesterase (PE, A), polygalacturonase (PG, B) and cellulase (C) of harvested *Averrhoa carambola* fruits. □: Control; ▲: Treatment.

度快速下降时变化明显,进一步证明细胞壁物质含量和组分的变化是导致香蕉果实软化的主要原因。

本研究结果表明,刚采收的杨桃果实硬度很高(图 1),果实细胞壁物质组分以纤维素和半纤维素为主,而果胶含量较低。在杨桃果实采后贮藏期间,果实硬度随采后贮藏时间的延长而下降(图 1),而果实原果胶、纤维素、半纤维素含量快速下降,水溶性果胶含量快速增加(图 2)。果实硬度(y)与贮藏时间(x)呈极显著负相关($y = 118.55 - 4.3074x$, $r = -0.979$, $P < 0.01$)(图 1);果实硬度(y)(图 1)与原果胶含量(x)(图 2: A)呈极显著正相关($y = -148.9 + 219.76x$, $r = 0.927$, $P < 0.01$);果实硬度(y)(图 1)与纤维素含量(x)(图 2: C)呈极显著正相关($y = -63.325 + 9.1854x$, $r = 0.962$, $P < 0.01$);果实硬度(y)(图 1)与半纤维素含量(x)(图 2: D)呈极显著正相关($y = -239.77 + 29.567x$, $r = 0.970$, $P < 0.01$)。因此认为,原果胶、纤维素、半纤维素等细胞壁物质的降解与采后杨桃果实软化密切相关。

3.2 细胞壁降解酶在采后果实软化中的作用

果实软化是由细胞壁降解酶(PE、PG 和纤维素酶)催化细胞壁物质(果胶、纤维素和半纤维素)降解而实现的^[15]。在细胞壁物质降解所引起果实软化的过程中,各种细胞壁降解酶所发挥的作用不同。PE 的主要功能是作用于果胶半乳糖醛酸残基,使果胶部分脱去甲氧基,催化果胶酯酸转化为果胶酸,生成适合 PG 作用的底物^[16],进而 PG 可作用于多聚半乳糖醛酸的 1,4-2-D-半乳糖苷键,将其水解为半乳糖醛酸或半乳糖醛酸的低聚物,参与果胶的降解。因此,果胶的降解是在 PE 和 PG 协同作用下完成的。纤维素酶是一种复合型水解酶,主要作用于纤维素微纤丝的无定形区,能将天然纤维素水解成无定形纤维素,接着继续水解成纤维寡糖,最终水解成为葡萄糖分子的过程^[9]。

本研究结果表明,PE 和 PG 分别在贮藏第 12 天和第 16 天出现酶活性高峰(图 3: A,B)。PE 活性高峰早于 PG,使果胶发生去酯化作用,为 PG 的作用提供了有利条件。在 PE 和 PG 的协同作用下,果肉细胞壁中的原果胶大量降解生成水溶性果胶(图 2: A,B),果实硬度下降(图 1)。经相关分析表明,在贮藏 0 ~ 20 d 内,杨桃果实硬度的下降(图 1)与原果胶含量的下降(图 2: A)呈极显著正相关($r = 0.927$, $P < 0.01$);原果胶含量的下降(图 2: A)与

溶性果胶含量的增加(图 2: B)呈极显著负相关($r = -0.967$, $P < 0.01$);原果胶含量的下降(图 2: A)与 PG 活性的升高(图 3: B)呈显著负相关($r = -0.917$, $P < 0.05$);在贮藏 0 ~ 12 d 内,原果胶含量的下降(图 2: A)与 PE 活性的升高(图 3: A)呈显著负相关($r = -0.924$, $P < 0.05$)。据此认为,PE 和 PG 协同促进原果胶的降解在杨桃果实软化进程中起重要作用。

杨桃果实纤维素酶活性在贮藏 0 ~ 12 d 内快速上升,贮藏第 12 天时,达到活性高峰,之后仍维持较高的活性水平(图 3: C),联系到杨桃果实纤维素含量(图 2: C)和果实硬度(图 1)在整个贮藏期间均下降。这表明采后杨桃果实硬度的下降与纤维素酶促进纤维素的降解有关。经相关分析表明,杨桃果实硬度的下降(图 1)与纤维素含量的下降(图 2: C)呈极显著正相关($r = 0.962$, $P < 0.01$);杨桃果实纤维素含量的下降(图 2: C)与纤维素酶活性的升高(图 3: C)呈极显著负相关($r = -0.939$, $P < 0.01$)。因此认为,纤维素酶促进纤维素的降解在杨桃果实软化进程中起重要作用。

综合以上分析可以认为,杨桃果实采后软化与原果胶、纤维素、半纤维素等细胞壁物质降解及 PE、PG、纤维素酶等细胞壁降解酶的作用有关。

3.3 1-MCP 处理延缓采后杨桃果实软化的作用机理

果实软化与细胞壁降解酶催化细胞壁物质降解有关^[15]。前人应用热处理^[13]、钙处理^[17]、NSCC 涂膜^[18]、NO 熏蒸^[19]、1-MCP^[3-5]、气调贮藏^[20]等措施以抑制细胞壁降解酶(PE、PG、纤维素酶等)活性和减缓细胞壁物质(原果胶、纤维素、半纤维素等)的降解,从而保持较高的果实硬度,延缓果实的软化进程,延长果实保鲜期。本研究结果表明,1-MCP 处理有效抑制了杨桃果实 PE、PG 和纤维素酶活性的增加,从而延缓了原果胶、纤维素和半纤维素的降解以及水溶性果胶含量的增加,保持较高的果实硬度。

因此认为,1-MCP 处理延缓采后杨桃果实软化是 1-MCP 处理降低 PE、PG、纤维素酶等细胞壁降解酶活性而减少果胶、纤维素、半纤维素等细胞壁物质降解的结果。

参考文献

- [1] Hong K Q, Xie J H, Zhang L B, et al. Effects of 1-MCP on

- physiology and quality of harvested 'Pearl' guava [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, 20(6): 566–570.
- 洪克前, 谢江辉, 张鲁斌, 等. 1-MCP对'珍珠'番石榴采后生理和品质的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(6): 566–570.
- [2] Ketsa S, Wisutiamonkul A, van Doorn W G. Apparent synergism between the positive effects of 1-MCP and modified atmosphere on storage life of banana fruit [J]. *Postharv Biol Technol*, 2013, 85: 173–178.
- [3] Luo Z S. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit [J]. *LWT: Food Sci Technol*, 2007, 40(2): 285–291.
- [4] Khan A S, Singh Z. 1-MCP application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during cold storage of 'Tegan Blue' Japanese plum [J]. *Plant Sci*, 2009, 176(4): 539–544.
- [5] Krongyut W, Srilaong V, Uthairatanakij A, et al. Physiological changes and cell wall degradation in papaya fruits cv. 'Kaek Dum' and 'Red Maradol' treated with 1-methylcyclopropene [J]. *Int Food Res J*, 2011, 18(4): 1251–1259.
- [6] Wei J M, Ma F W, Guan J F, et al. Cell wall metabolism and its regulation in harvested *Pyrus ussuriensis* Maxim. cv. Jingbaili fruit during ripening [J]. *Sci Agri Sin*, 2009, 42(8): 2987–2996.
- 魏建梅, 马锋旺, 关军锋, 等. 京白梨果实后熟软化过程中细胞壁代谢及其调控 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2987–2996.
- [7] Luo Z S, Xie J, Xu T Q, et al. Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene [J]. *Plant Sci*, 2009, 177(6): 705–709.
- [8] She W Q, Zhao X L, Pan D M, et al. Relationship between cell wall metabolism and fruit juicy sac granulation during fruit mature stage of pummelo [*Citrus grandis* (L.) Osbeck 'Guanxi-miyou'] [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2008, 16(6): 545–550.
- 余文琴, 赵晓玲, 潘东明, 等. 细胞壁代谢与琯溪蜜柚果实成熟过程汁胞粒化的关系 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2008, 16(6): 545–550.
- [9] Lin H T, Zhao Y F, Xi Y F. Changes in cell wall components and cell wall-degrading enzyme activities of postharvest longan fruit during aril breakdown [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 2007, 33(2): 137–145.
- 林河通, 赵云峰, 席珂芳. 龙眼果实采后果肉自溶过程中细胞壁组分及其降解酶活性的变化 [J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2007, 33(2): 137–145.
- [10] Andrews P K, Li S L. Cell wall hydrolytic enzyme activity during development of nonclimacteric sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit [J]. *J Hort Sci*, 1995, 70(4): 561–567.
- [11] Lin T P, Liu C C, Chen S W, et al. Purification and characterization of pectinmethylesterase from *Ficus awkeotsang* Makino achenes [J]. *Plant Physiol*, 1989, 91(4): 1445–1453.
- [12] Gross K C. A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2-cyanoacetamide [J]. *Hortscience*, 1982, 17(6): 933–934.
- [13] Luo Z S. Effects of heat shocks on softening and cell wall material metabolism in persimmon fruits [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2006, 6(3): 84–88.
- 罗自生. 热激处理对柿果实软化和细胞壁物质代谢的影响 [J]. *中国食品学报*, 2006, 6(3): 84–88.
- [14] Zhuang J P, Lin H Z, Chen W X. Changes of cell wall substances during ripening of banana fruit [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2006, 14(3): 218–221.
- 庄军平, 林焕章, 陈维信. 香蕉果实成熟软化过程中细胞壁物质的变化 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2006, 14(3): 218–221.
- [15] Peng L T, Rao J P, Yang S Z, et al. Changes in cell wall components and related hydrolytic enzymes in fruit softening [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2002, 10(3): 271–280.
- 彭丽桃, 饶景萍, 杨书珍, 等. 果实软化的胞壁物质和水解酶变化 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(3): 271–280.
- [16] Wakabayashi K, Chun J P, Huber D J. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase [J]. *Physiol Plant*, 2000, 108(4): 345–352.
- [17] Ortiz A, Graell J, Lara I. Cell wall-modifying enzymes and firmness loss in ripening 'Golden Reinders' apples: A comparison between calcium dips and ULO storage [J]. *Food Chem*, 2011, 128(4): 1072–1079.
- [18] Luo Z S, Shou H L. Effect of NSCC coating on ripening and cell wall metabolism in Huanghua pear fruit (*Pyrus pyrifolia*) [J]. *J Fruit Sci*, 2011, 28(1): 143–146.
- 罗自生, 寿浩林. NSCC涂膜对黄花梨软化和细胞壁代谢的影响 [J]. *果树学报*, 2011, 28(1): 143–146.
- [19] Zhu S H, Liu M C, Zhou J. Effects of fumigation with nitric oxide on cell wall metabolisms of postharvest Feicheng peaches [J]. *Sci Agri Sin*, 2006, 39(9): 1878–1884.
- 朱树华, 刘孟臣, 周杰. 一氧化氮熏蒸对采后肥城桃果实细胞壁代谢的影响 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(9): 1878–1884.
- [20] Girardi C L, Corrent A R, Lucchetta L, et al. Effect of ethylene, intermittent warming and controlled atmosphere on postharvest quality and the occurrence of woolliness in peach (*Prunus persica* cv. Chiripá) during cold storage [J]. *Postharv Biol Technol*, 2005, 38(1): 25–33.