

1-PentCP 和 1-MCP 处理对番茄果实采后生理和品质影响的比较

程 蕾¹, 马 蓉¹, 徐方旭¹, 冯叙桥^{*1,2}

(1. 沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳, 110866; 2. 渤海大学 食品科学研究院, 辽宁 锦州 121013)

摘要:以 1-MCP(1-甲基环丙烯)处理为参照,未处理番茄果实作为对照,研究了质量浓度为 0.4、0.8、1.2 $\mu\text{L/L}$ 的 1-PentCP(1-戊基环丙烯)处理在常温(18 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 条件下对“粉太郎”番茄(*Solanum lycopersicum L.*)果实采后生理和品质的影响。结果表明,不同体积分数的 1-PentCP 处理在减缓果实后熟衰老进程上与 1-MCP 处理表现出相似的作用。与对照组相比,1-PentCP 和 1-MCP 均能有效抑制果实在贮藏期间硬度的下降、推迟 SOD(超氧化物歧化酶)活性高峰出现的时间、减少果实 VC 的损失、抑制单宁质量分数的下降和可溶性总糖质量分数的上升、减少 MDA(丙二醛)的积累并延缓其含量高峰出现的时间。0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 和 0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 在延缓番茄果实后熟和衰老方面的效果均明显优于其相应的其它浓度处理,并且 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 的处理效果要好于 0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 的处理效果。

关键词: 番茄; 1-戊基环丙烯; 采后生理; 后熟

中图分类号: S 641.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2013)01—0030—07

Effect of Different Concentrations of 1-PentCP on Postharvest Physiology and Quality of Tomato Fruits

CHENG Lei¹, MA Rong¹, XU Fang-xu¹, FENG Xu-qiao^{*1,2}

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Research Institute of Food Science, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Effect of treatment with 0.4 $\mu\text{L/L}$, 0.8 $\mu\text{L/L}$ or 1.2 $\mu\text{L/L}$ 1-pentylcyclopropene (1-PentCP), compared with that of treatment with the same concentrations of 1-MCP, on postharvest physiology and storage quality of green mature 'Fentailang' tomato fruits (*Solanum lycopersicum L.*) at room temperature ($18\pm 2^{\circ}\text{C}$) were investigated. The results show that all the 1-PentCP and 1-MCP treatments slowed down the decline of fruit hardness, delayed the occurrence time of super oxygen dehydrogenases (SOD) activity peak, reduced the loss of vitamin C, inhibited the decrease of tannin

收稿日期: 2012-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(30972064); 辽宁省科技厅重点项目(2008205001); 沈阳农业大学海外高端引进人才基金项目(SYAU20090107); 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301)。

* 通信作者: 冯叙桥(1961—), 男, 河北曲阳人, 农学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事果蔬质量控制安全的研究。

Email: feng_xq@hotmail.com

content and the ascent of soluble sugar content, reduced the accumulation of methane dicarboxylic aldehyde (MDA) and delayed the appearance of its peak. The effect of delaying ripening and senescence of tomato fruits treated with 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP or 0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP was obviously superior to other concentrations, but treatment with 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP was better than that with 0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP.

Keywords: tomato, 1-pentylcyclopropene (1-PentCP), post-harvest physiology, ripening

番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 原产于南美洲西部太平洋沿岸安第斯山脉的秘鲁、厄瓜多尔、玻利维亚和智利等国的高原或谷地^[1]。由于番茄具有较高的营养价值, 因此在各国的蔬菜作物种植中占有很大的比例。番茄为典型的呼吸跃变型果实, 果实的成熟受乙烯的调控, 且具有果实皮薄, 不易贮藏的特点。1-MCP (1-methylcyclopropene) 是一种有效的乙烯效应抑制剂, 它被认为能作用于乙烯受体, 从而阻断乙烯与受体的正常结合, 抑制乙烯所诱导的与果实后熟相关的一系列反应^[2]。目前, 国内外对 1-MCP 处理番茄采后贮藏效果的研究已经有很多^[3-5]。Sisler^[4-5]等分别以鳄梨、柑橘叶片、豌豆苗、番茄为试材研究了 1-MCP 的 8 种结构相似物: 1-ECP (1-乙基环丙烯)、1-PCP (1-丙基环丙烯)、1-BCP (1-丁基环丙烯)、1-PentCP (1-戊基环丙烯)、1-HCP (1-己基环丙烯)、1-HeptCP (1-庚基环丙烯)、1-OCP (1-辛基环丙烯)、1-PCP (1-癸基环丙烯) 对乙烯效应的影响, 结果表明这些结构相似物对抑制乙烯效应均具有一定作用。但这些结构相似物在结构、浓度、作用效应等方面的关系, 有待进一步阐明。

虽然 1-MCP 在果蔬贮藏的应用方面具有用量少、低毒和良好的稳定性等特点, 但由于尚未确定出 1-MCP 的使用浓度、时间、温度与果实成熟度的最佳搭配, 使得其在商业上的应用受到一定的限制^[6]。1-PentCP 是 1-MCP 的结构相似物, 作者研究了常温条件下, 不同体积分数的 1-PentCP 和 1-MCP 对贮藏期间番茄果实品质的影响, 探讨了它们在常温条件下的最佳处理浓度、抑制乙烯效应的时间与果实贮藏效果, 为这两种新型乙烯效应抑制剂能应用于农业实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂和仪器

1-PentCP 的合成主要参照 Al Dulayymi 的方法

^[7], 在沈阳农业大学食品学院实验室合成, 合成后的 1-PentCP 被分装成 0.5 mL 的小包装, 保藏于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中备用, 使用前用乙醚稀释至 50 mL。1-MCP (质量分数 3.4%) 粉剂, 由中国农科院 (兴城) 果树所提供。

离心机: CR-21G 型, 日立工机株式会社产品; 旋转蒸发仪: RE-52AA 型, 上海亚荣生化仪器厂产品; 低温生化培养箱: SHP-2500 型, 上海精宏实验设备有限公司产品; 硬度计: GY-1 型, 东莞市塘厦精工仪器厂产品; 真空泵: AP-01P 型, 天津奥特塞恩斯仪器有限公司产品; 紫外分光光度计: UV-2000 型, 上海尤尼克仪器有限公司产品; 电子天平: FA2004 型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司产品; 恒温磁力搅拌器: JB-2 型, 常州博远实验分析仪器厂产品; 数显恒温水浴锅: HH-4 型, 国华电器有限公司产品; 数字式照度计: LX-1010B 型, 深圳市佳信仪器仪表贸易有限公司产品; 恒温培养振荡器: 2DP-250 型, 上海精宏实验设备有限公司产品。

1.2 材料处理

供试番茄“粉太郎”, 于 2012 年 4 月 25 日采自辽宁省沈阳市于洪区马三家子镇, 采收当日运回实验室, 挑选大小均匀、无病虫害、成熟度一致的果实用于试验。将挑选出的果实随机分为 10 组, 每组 60 个果, 分别放入 10 个体积为 0.125 m^3 的塑料帐内并进行以下处理。

1.2.1 1-PentCP 处理 在室温 (18 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 分别取一定体积 1-PentCP 的乙醚溶液滴于滤纸上, 并置于 3 个塑料帐内, 使 1-PentCP 的释放浓度分别为 0.4, 0.8, 1.2 $\mu\text{L/L}$, 迅速封闭塑料帐, 处理 20 h。

1.2.2 1-MCP 处理 参照孙希生的方法进行^[8]。在室温条件下, 用分析天平分别精确称取一定量的 1-MCP 粉剂, 把药品放入可密封已标记好的小瓶里, 按 1 g:16 mL 的比例加入温度约为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温水, 然后立即扣紧瓶盖, 充分摇匀后放入塑料帐内, 打开

瓶盖,迅速密封塑料帐,使其释放体积分数分别为0.4,0.8,1.2 $\mu\text{L/L}$,处理20 h。

1.2.3 对照 果实不采取任何处理,密封于塑料帐内20 h。果实经处理后,每9个番茄果实装入一个0.02 mm的PE保鲜袋(天第包装材料有限公司,佛山市南海区里水镇和同工业区)中置于常温($18\pm 2^\circ\text{C}$)条件下贮藏,每隔3 d测定1次生理生化指标,每次测定取3个果,重复3次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 硬度 果实硬度用GY-1型果实硬度计测定,每次取3个果实进行测定,每个果实测定3个位置点的硬度,取平均值。

1.3.2 SOD活性 SOD活性采用NBT还原法测定,按照孙群等^[9]的方法。

1.3.3 VC质量分数 2,6-二氯酚法^[10]。

1.3.4 单宁质量分数 高锰酸钾滴定法^[10]。

1.3.5 可溶性总糖质量分数 蒽酮比色法^[10]。

1.3.6 MDA质量分数 按照朱广廉^[11]的方法。

1.4 数据统计与分析

所有试验数据均为鲜重状态下测得,采用Excel 2003进行数据计算和作图,用SPSS 13.0专业统计软件,利用 t 检验方法进行差异显著性分析, $p<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 1-PentCP体积分数对番茄果实硬度的影响

果实硬度是衡量果实本身特性和贮藏过程中及结束贮藏时果品品质好坏的重要指标之一^[12]。两种乙烯抑制剂均能较好地延缓果实硬度的下降,1-PentCP的最佳体积分数是0.4 $\mu\text{L/L}$,1-MCP的最佳体积分数是0.8 $\mu\text{L/L}$ 。处理后贮藏期间,番茄果实硬度均呈不断下降的趋势,但处理组的果实硬度要比对照组下降的速度缓慢得多。在贮藏到第20 d时,对照组果实硬度为6.2 kg/cm^2 ,而0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP处理组的果实硬度为10.7 kg/cm^2 ,0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理组的果实硬度为11.8 kg/cm^2 ,差异达到显著水平($p<0.05$)。当到达贮藏后期(16~24 d)时,无论哪种处理的番茄果实硬度均会迅速下降(图1)。两种处理对于贮藏期在20 d之内的番茄来说,作用更加明显,且1-MCP处理的效果更好;而对于贮藏到第24 d的番茄来说影响很小或无效,此结果与赵英凯对不同成熟度番茄硬度的测定结果相一

致^[12]。1-PentCP与1-MCP一样,在处理一定时期番茄果实能恢复对乙烯的敏感性,这一特性说明经1-PentCP处理的番茄果实不会出现难以成熟或畸形成熟的问题,使1-PentCP有可能应用于果实贮藏保鲜的实践中。

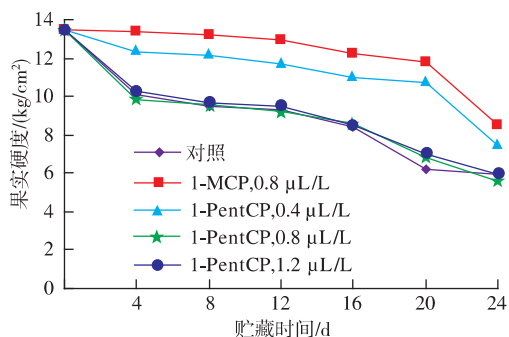


图1 1-PentCP和1-MCP处理对番茄果实硬度的影响

Fig. 1 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on firmness of tomato fruit

2.2 1-PentCP体积分数对番茄果实可溶性单宁质量分数的影响

可溶性单宁是番茄涩感的来源,是影响口感的重要指标^[13]。实验结果表明,各处理都能有效保持番茄果实单宁质量分数。当1-PentCP的体积分数为0.4 $\mu\text{L/L}$,1-MCP的体积分数为0.8 $\mu\text{L/L}$ 时对番茄中单宁质量分数的保持效果最好(图2)。无论是处理组还是对照组的番茄果实中单宁质量分数都呈现逐步递减的趋势,而且在贮藏第12 d之前单宁含量下降的速度比贮藏后期(16~24 d)的要快。第12 d之后,对照组番茄单宁的质量分数由0.025%下降至0.019%,而0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP处理组番茄的单宁质量分数由0.029%下降至0.026%,0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理组番茄的单宁质量分数由0.029%下降至0.027%。在贮藏后期(16~24 d),对照组番茄单宁质量分数的下降明显($p<0.05$)比0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP处理组番茄单宁质量分数的下降更加迅速,0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP处理组番茄单宁质量分数的下降明显($p<0.05$)比0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理组番茄单宁质量分数的下降更加迅速。

2.3 1-PentCP体积分数对番茄果实VC质量分数的影响

VC质量分数是衡量果蔬品质的一个重要指标^[12]。由实验得出,对于降低番茄果实VC质量分数损失而言,0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP和0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP处理都有较好效果,均优于相应处理的其他浓度(图

3)。对照组番茄在贮藏第 12 d 时出现 VC 质量分数的最高值 28.89 mg/hg,贮藏到第 24 d 时 VC 的质量分数下降为 17.07 mg/hg,0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 和 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理则在第 16 d 时出现最高值(分别为 31.54 和 32.88 mg/hg),而贮藏到第 24 d 时质量分数分别为 21.00 和 24.00 mg/hg。贮藏到第 16 d 时,0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 和 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理番茄的 VC 质量分数分别为 31.54 和 32.88 mg/hg,均显著高于对照组 22.67 mg/hg 的质量分数($p<0.05$)。

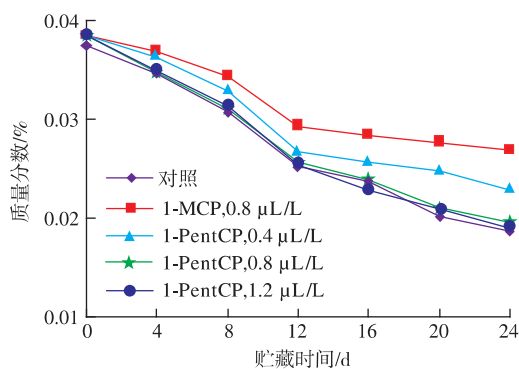


图 2 1-PentCP 和 1-MCP 体积分数对番茄果实可溶性单宁质量分数的影响

Fig. 2 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on tannin content of tomato fruit

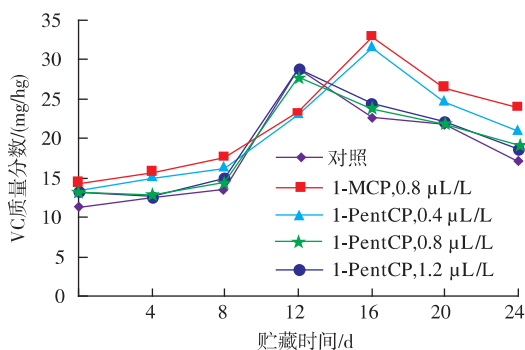


图 3 1-PentCP 和 1-MCP 体积分数对番茄果实维生素 C 质量分数的影响

Fig. 3 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on VC content of tomato fruit

2.4 1-PentCP 体积分数对番茄果实可溶性总糖质量分数的影响

番茄果实品质的高低在很大程度上决定于果实内所含可溶性总糖的含量^[14]。在有效抑制番茄可溶性总糖质量分数上升的方面,1-PentCP 的最佳体

积分数是 0.4 $\mu\text{L/L}$,1-MCP 的最佳体积分数是 0.8 $\mu\text{L/L}$ 。由图 4 可知,对照组番茄在第 12 d 之前,可溶性总糖的质量分数不断上升,贮藏到第 12 d 时达到了最大值 10.07%。0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 和 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理组的番茄中可溶性总糖质量分数在第 16 d 之前不断上升,在第 16 d 时达到最大值,分别为 9.6%和 9.0%。可以看出,在贮藏到第 12 d 时,0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 和 0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理番茄中可溶性总糖质量分数分别为 7.11%和 7.07%,显著低于对照组 10.07%的质量分数($p<0.05$),而两种处理间无明显差异($p<0.05$)。

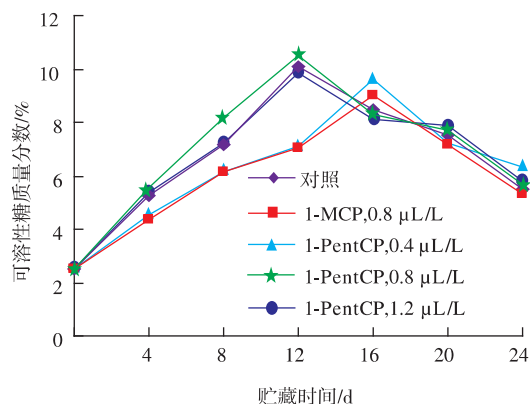


图 4 1-PentCP 和 1-MCP 体积分数对番茄果实可溶性总糖质量分数的影响

Fig. 4 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on soluble sugar content of tomato fruit

2.5 1-PentCP 体积分数对番茄果实中 MDA 质量分数的影响

MDA 是膜脂过氧化产物之一,也是 LOX(脂肪氧合酶)催化产生氢过氧化产物所分解的醛类物质之一,它的产生与增加是膜渗漏、衰老加速的一种体现^[15]。实验发现,体积分数为 0.4 $\mu\text{L/L}$ 的 1-PentCP 和 0.8 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 抑制番茄果实中 MDA 积累的效果最佳(图 5),两种处理的番茄果实中 MDA 含量明显低于对照组,均在第 16 d 时出现了 MDA 含量的最高峰,比对照组最高峰的出现时间晚了 4 d,且 0.4 $\mu\text{L/L}$ 1-PentCP 处理组番茄 MDA 的最高峰值比对照组低了 34 nmol/g,0.8 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理组番茄 MDA 的最高峰值比对照组低了 43 nmol/g。从而推断,1-PentCP 能够明显的抑制番茄中 MDA 的积累,但效果没有 1-MCP 处理明显($p<0.05$)。

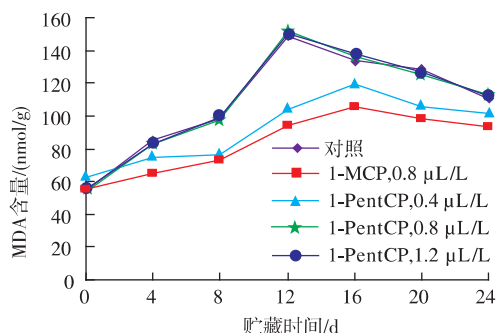


图5 1-PentCP 和 1-MCP 体积分数对番茄果实中 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on MDA content of tomato fruit

2.6 1-PentCP 对番茄果实中 SOD 活性的影响

SOD 具有清除自由基的作用^[16],其活性的高低反映了果实的衰老程度^[12]。0.4 μL/L 1-PentCP 和 0.8 μL/L 1-MCP 在推迟番茄果实 SOD 活性高峰出现时间和提高其高峰值方面,表现出了更好的效果。由图 6 可见,在贮藏前期(0~12 d),两种处理组番茄的 SOD 值都低于对照组;贮藏后期(16~24 d),两种处理均延迟了番茄 SOD 高峰出现的时间。对照组番茄 SOD 活性最高峰出现在第 12 d,峰值为 48.52 U/g;0.4 μL/L 1-PentCP 和 0.8 μL/L 1-MCP 处理都出现在第 16 d,峰值分别为 50.33 U/g 和 54.07 U/g。说明这两种处理都具有保持 SOD 活性水平的作用,使处理果实具有较强的清除其产生的自由基的能力。

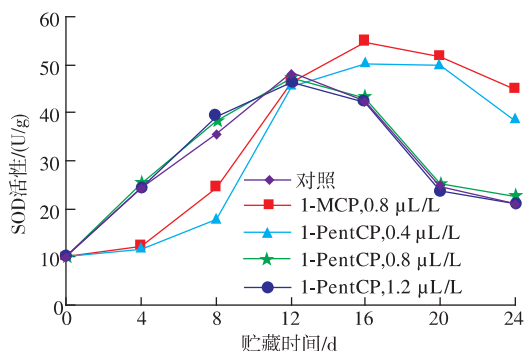


图6 1-PentCP 和 1-MCP 体积分数对番茄果实中 SOD 活性的影响

Fig.6 Effect of treatment with 1-PentCP or 1-MCP on SOD content of tomato fruit

3 讨论与结语

1-MCP 是一种乙烯效应抑制剂,其抑制乙烯效

应的作用,被认为是与乙烯受体结合来实现的^[17]。它能够抑制苹果、南国梨、香梨等的后熟和衰老,其抑制作用在具有呼吸高峰的果实上表现更为明显^[18]。近年来,又发现 1-MCP 的结构类似物也有相似作用^[19]。1-PentCP 是具有 5 个碳支链的环丙烯类物质,是 1-MCP 的结构相似物^[17]。番茄属于典型的跃变型果实,具有明显的呼吸高峰^[20],果实存在着一个后熟的过程,番茄的后熟软化是影响其贮藏和运输过程中品质的重要问题^[20]。组织结构解体是果实后熟衰老过程中重要的变化之一。组织结构解体的直接表现就是果实硬度的降低^[12]。不同体积分数的 1-PentCP 和 1-MCP 均能抑制番茄果实硬度的下降。与此同时,两种乙烯抑制剂还能够减少果实 VC 和单宁质量分数的损失,抑制可溶性总糖质量分数的上升。

1-MCP 对果蔬采后衰老的延缓影响,一是通过减缓内源抗氧化剂的分解,维持组织内活性氧代谢的平衡。另外可能是由于 1-MCP 可以影响乙烯的生物合成与信号传导那样调节抗氧化酶系统,从而达到延缓果蔬采后衰老的效果^[21]。SOD 是植物内源的活性氧清除剂,属保护酶系统,是果实后熟衰老中的保护性酶类,它可以清除活性氧自由基^[22-23]。在逆境中维持较高的酶活性,才能有效地清除活性氧并使之保持在较低水平,从而减少其对膜结构和膜功能的破坏,达到延缓细胞衰老的目的,所以它的活性高低在一定程度上也反映了果实衰老的程度^[12]。在贮藏前期(0~12 d),经过 1-PentCP 和 1-MCP 处理的番茄 SOD 活性比对照组番茄的要低,但在贮藏后期(16~24 d),1-PentCP 和 1-MCP 处理延迟了 SOD 活性高峰出现的时间,提高了活性高峰值,降低了 SOD 活性下降的速度。这可能是由于处理前期,两种处理抑制了果实的软化,产生的自由基少,SOD 活性被激活的程度低;但贮藏后期,随着果实自由基的积累增多,从而激发了 SOD 的活性。

MDA 是膜脂过氧化产物之一,也是 LOX 催化产生氢过氧化产物所分解的醛类物质之一。它的产生与增加是膜渗漏和衰老加速的一种体现^[15]。同时,MDA 积累的速率也可以代表组织总清除自由基能力的大小,MDA 积累越多,表明组织保护能力越弱^[15]。1-PentCP 和 1-MCP 处理推迟了番茄 MDA 含量高峰出现的时间,降低了其峰值。这表明,1-PentCP 和 1-MCP 均可减弱果实膜脂过氧化程度,使质膜透性

保持在较低水平,在一定程度上维持了质膜的完整性。这与程顺昌等研究不同环丙烯对寒富苹果中 MDA 含量的影响结果基本一致^[17]。

1-PentCP 和 1-MCP 对番茄采后贮藏效果的影响与处理浓度的高低有关。同样处理 20 h 后,1-PentCP 的最佳处理体积分数为 0.4 $\mu\text{L/L}$,1-MCP 的为 0.8 $\mu\text{L/L}$ 。据 Ku 和 Wills 报道(1999)^[23],用不同体积分数的 1-MCP 处理草莓果实来抑制乙烯效应,在一定范围内,增加体积分数可以缩减处理时间和提高处理效果,但过高体积分数的处理可能导致反效果。对于 1-MCP 而言,体积分数为 0.4 $\mu\text{L/L}$ 时不能够完全抑制乙烯与番茄乙烯受体的结合,因此效果没有体积分数为 0.8 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 效果好。当体积分数达到 1.2 $\mu\text{L/L}$ 时,体积分数过高可能抑制

了某些有利的代谢系统^[23],因而使得处理效果不佳。0.4 $\mu\text{L/L}$ 的 1-PentCP 在处理番茄 20 h 后效果达到最佳,当其体积分数为 0.8 $\mu\text{L/L}$ 或 1.2 $\mu\text{L/L}$ 时,因为抑制剂处于较高浓度,它可能激发某些不利的代谢系统,从而干预番茄本身的防御系统从而达不到最佳效果^[23]。Feng^[5,24]等以鳄梨和番茄为材料,比较了 1-MCP、1-ECP (1-ethylcyclopropene,1-乙基环丙烯) 和 1-PCP (1-propylcyclopropene,1-丙基环丙烯) 抑制乙烯效应的作用,结果表明不同组织的反应与抑制剂的浓度有关,抑制剂效应与其分子大小和结构有很大关系。不同分子质量的乙烯抑制剂对乙烯的抑制作用机理,可能是通过对果实乙烯受体基因表达的调控而实现的,这方面问题有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 余延年,吴定华,陈竹君,等. 番茄遗传学[M]. 长沙:湖南科技出版社,1999.
- [2] Goren R, Feng X, Apelbaum A, et al. Effect of two structural analogues of 1-methylcyclopropene on ethylene-induced ripening of avocado fruits [J]. **Fourth International Conference on Postharvest Science, Jerusalem, Israel, Acta Horticulturae**; 2000,553:163-166.
- [3] 刘颖,王兰菊,魏云潇,等. 1-MCP 对番茄采后生理效应的影响[J]. 贵州农业科学,2009,37(11):172-174.
LIU Ying, WANG Lan-ju, WEI Yun-xiao, et al. Effect of 1-MCP on physiological characteristics of food during storage period[J]. **GUI Zhou Agricultural Sciences**, 2009, 37(11): 172-174. (in Chinese)
- [4] Sisler E C, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development [J]. **Physiological Plant**, 1997, 100: 577-582.
- [5] Feng X, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene activity in various plant systems by structural analogues of 1-methylcyclopropene[J]. **Plant Growth Regulation**, 2004, 22(42): 29-38.
- [6] 陈金印,刘康. 1-MCP 对秋番茄果实采后生理及贮藏效果的影响[J]. 食品科学,2008,29(10):598-603.
CHEN Jin-yin, LIU Kang. Effects of 1-MCP treatment on post-harvest physiology and storage of autumn tomato [J]. **Food Science**, 2008, 29(10): 598-603. (in Chinese)
- [7] Apelbaum A, Sisler E C, Feng X, et al. Assessment of the potency of 1-substituted cyclopropenes to counteract ethylene-induced processes in plants[J]. **Plant Growth Regulation**, 2008, 36(55): 101-113.
- [8] 孙希生,王文辉,李志强,等. 1-MCP 对砀山酥梨保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工,2001,21(6):14-17.
SUN Xi-sheng, WANG Wen-hui, LI Zhi-qiang et al. Effects of 1-MCP on cold storage of dangshansuli pears [J]. **Storage and Process**, 2001, 21(6): 14-17. (in Chinese)
- [9] 孙群,胡景江,曹翠玲,等. 植物生物学研究技术[M]. 杨凌:西北农林科技大学,2004.
- [10] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京:中国农业大学出版社,1996.
- [11] 朱广廉. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990.
- [12] 赵英凯. 1-MCP 处理对不同成熟度番茄采后生理效应的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2009.
- [13] 庄艳. 1-甲基环丙烯对火晶柿果实采后贮藏保鲜效果的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [14] 滕林. 番茄果实品质形成特征及其与环境关系的模拟研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [15] 宋纯鹏. 植物衰老生物学[M]. 北京:北京大学出版社,1998.
- [16] 樊秀彩. 1-甲基环丙烯对采后猕猴桃果实生理效应的影响[J]. 园艺学报,2001,28(5):399-402.
FAN Xiu-cai. Effect of postharvest treatment with 1-MCP on physiology of Ki-wifruit [J]. **Acta Horticulturae Sinica**, 2001, 28

- (5):399-402. (in Chinese)
- [17] 程顺昌,冷俊颖,任小林,等.不同环丙烯类抑制剂对苹果常温贮藏保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(6):269-273.
CHENG Shun-chang, LENG Jun-ying, REN Xiao-lin, et al. Effect of different 1-substituted cyclopropenes as ethylene inhibitors on postharvest physiology of apple stored at ambient temperature [J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2012, 28(6):269-273. (in Chinese)
- [18] 魏宝东,冷俊颖,程顺昌,等.1-甲基环丙烯及其结构相似物处理对寒富苹果贮藏品质的影响[J]. 食品科学,2012,32(12):281-284.
WEI Bao-dong, LENG Jun-ying, CHENG Shun-chang, et al. Effect of 1-MCP and its structural analogue on hanfu apple quality during storage at ambient temperature[J]. **Food Science**, 2012, 32(12):281-284. (in Chinese)
- [19] 冯叙桥,关筱歆,张鹏,等.1-MCP结合ClO₂处理对冰温贮藏玫瑰香葡萄生理和品质的影响[J]. 食品工业科技,2012,33(17):333-337.
FENG Xun-qiao, GUAN Xiao-xin, ZHANG Peng, et al. Effect of 1-MCP and ClO₂ treatments on postharvest quality and physiology of muscat hamburg grape under controlled freezing point storage [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(17):333-337. (in Chinese)
- [20] 付琳,程顺昌,魏宝东,等.1-MCP及其结构相似物处理对番茄采后贮藏效果的影响[J]. 食品发酵与工业,2012,38(289):195-198.
FU Lin, CHENG Shun-chang, WEI Bao-dong, et al. Effects of 1-MCP and its structural analogues treatment on post-harvest storage of tomato[J]. **Food and Fermentation Industry**, 2012, 38(289):195-198. (in Chinese)
- [21] 张鹏,张愨.采后1-甲基环丙烯处理对绿芦笋贮藏品质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2007,26(3):24-26.
ZHANG Peng, ZHANG Min. Effect of 1-MCP treatment on post-harvest quality of green asparagus[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2007, 26(3):24-26. (in Chinese)
- [22] 丁建国,陈昆松,许文平,等.1-MCP处理对美味猕猴桃果实后熟软化的影响[J]. 园艺学报,2003,30(3):227-280.
DING Jian-guo, CHEN Kun-song, XU Wen-ping, et al. Regulation of 1-methylcyclopropene on the ripening and softening of postharvest kiwifruit[J]. **Acta Horticulturae Sinica**, 2003, 30(3):227-280. (in Chinese)
- [23] Ku V, Wills R. 1-methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberry exposed to ethylene [J]. **HortSci**, 1999, 34:119-120.
- [24] Feng X, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene[J]. **Postharvest Biol Tec**, 2000, 20:143-150.