

1-MCP 对‘玉露香’梨采后果实品质和叶绿素保持的影响

马凤丽, 杜艳民, 王 阳, 佟 伟, 刘佰霖, 王文辉*, 贾晓辉*

(中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100)

摘 要: 探讨 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 对‘玉露香’梨采后果实品质和叶绿素保持的影响, 为其采后保鲜技术的提出提供理论基础。以‘玉露香’梨为试材, 用 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 熏蒸处理 12 h, 置于常温 (20°C) 下, 测定梨果实颜色、叶绿素含量等与果皮颜色等相关的生理指标, 果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量等品质指标, 以及呼吸速率、乙烯释放量等, 并通过实时荧光定量 PCR 技术检测与叶绿素降解相关的基因表达水平。结果表明: 1-MCP 对常温贮藏条件下‘玉露香’梨果实的硬度和可溶性固形物含量无显著影响, 但显著抑制了可滴定酸和维生素 C 含量的下降、*PbETR1* 和 *PbETR2* 的表达以及呼吸速率, 推迟乙烯释放高峰出现的时间; 1-MCP 处理可以抑制 *PbCLH1* 的表达, 推迟叶绿素分解代谢途径中的下游反应, 从而延缓果皮叶绿素的降解, 对‘玉露香’梨果实采后品质和叶绿素具有较好的维持作用。

关键词: 梨; 1-MCP; 品质; 叶绿素降解; 基因表达

中图分类号: S 661.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2019) 12-2299-10

Effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Quality and Chlorophyll Maintenance of Postharvest ‘Yuluxiang’ Pear

MA Fengli, DU Yanmin, WANG Yang, TONG Wei, LIU Bailin, WANG Wenhui*, and JIA Xiaohui*

(Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

Abstract: Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on chlorophyll degradation and quality maintenance of postharvest of ‘Yuluxiang’ pear fruits were investigated, providing a theoretical basis for the ‘Yuluxiang’ pear about preservation technology. In this study, two groups of ‘Yuluxiang’ pear were used as experimental materials, one group was treated with $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP at 20°C , while the other group was used as control and kept at 20°C without 1-MCP treatment. Chlorophyll content and fruit firmness, soluble solids, titratable acid, vitamin C content, respiration rate and ethylene production were measured. Moreover, the expression level of related genes to chlorophyll degradation were detected by real-time quantitative PCR. The results showed that the firmness and soluble solids content of ‘Yuluxiang’ pear were insignificantly affected between 1-MCP treatment and the control. But 1-MCP

收稿日期: 2019-07-27; **修回日期:** 2019-10-23

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400903-06); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-29-19); 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wangwenhui@caas.cn, jiaxiaohui@caas.cn)

could significantly inhibited the decrease of titratable acid content and vitamin C content, the expression of *PbETR1* and *PbETR2*, and delayed the respiration rate and ethylene retention time; 1-MCP treatment could inhibit the expression of *PbCLH1* gene, delay the downstream reaction in the pathway of chlorophyll catabolism, so as to delay the degradation of chlorophyll, and maintain the quality and chlorophyll of 'Yuluxiang' pear fruit during storage.

Keywords: pear; 1-MCP; quality; chlorophyll degradation; gene expression

‘玉露香’梨是山西省农业科学院果树研究所库勒香梨为母本、雪花梨为父本杂交育成的优质中熟梨新品种,具备了库勒香梨的汁多、酥脆以及香气浓等特点。前期通过对‘玉露香’梨果实采后生物学特性研究发现,该品种贮藏后期果皮易转黄且油腻化现象突出,给果实的商品性带来影响(贾晓辉等,2016)。

对于绿色果蔬而言,褪绿转黄可作为判断其采后成熟衰老的标志,而果蔬褪绿转黄是叶绿素不断降解的结果(Gómez-Lobato et al., 2012)。以‘库勒香梨’、‘玉露香’、‘红香酥’、‘翠冠’等为代表的绿色梨品种,在采后流通过程中果面出现褪绿转黄,显示其临近贮藏寿命或货架期限,商品价值受到严重影响。如何有效抑制果皮叶绿素降解,延缓褪绿转黄对于保持果实商品性很重要。

近年来,关于果蔬中叶绿素降解途径研究已有重要进展,花椰菜(Shi et al., 2016)、青花菜(樊艳燕等,2015)、青梅(王阳光,2003)、香蕉(Yang et al., 2009)、青花椒(陈科伟,2012)、梨(Charoenchongsuk et al., 2015)、橄榄(Vergara-domínguez et al., 2016)等上的研究揭示了叶绿素主要降解过程,大部分研究认为,叶绿素降解遵循脱镁叶绿酸 a 加氧酶(pheophorbide a oxygenase, PaO)途径(张丽华,2012; Vergara-domínguez et al., 2016),参与这些途径的酶有 PPH、PaO 和 RCCR 等。

1-甲基环丙烯(1-MCP)作为一种乙烯拮抗剂,在果蔬保鲜领域应用广泛。为探讨 1-MCP 对‘玉露香’梨果实采后品质维持和叶绿素降解的影响,以‘玉露香’梨为试材,用 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 熏蒸处理 12 h,置于常温(20 °C)下,测定果实颜色、果皮叶绿素含量等与颜色相关的生理指标,果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量等品质指标以及呼吸速率、乙烯释放速率等,并通过实时荧光定量 PCR 技术检测与叶绿素降解相关的基因表达水平,以期对‘玉露香’梨果实采后品质和叶绿素保持技术的提出提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

2015 年 9 月 5 日,‘玉露香’梨(*Pyrus sinkiangensis* ‘Yuluxiang’)果实从山西省农业科学院果树研究所‘玉露香’梨示范园采收。果园管理水平中上等,选取 10 株有代表性的树体,树龄 10 年。果实采收 72 h 后运至中国农业科学院果树研究所(辽宁兴城)采后技术研究中心实验室。选取 200 个大小均匀、成熟度相对一致、无病虫害及机械伤的健康果实,其中 100 个置于 20 °C 下用 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 密封处理 12 h,另外 100 个以空气密封为对照。处理后将果实放置于常温(20 °C),相对湿度为 85% ~ 90% 的环境中进行货架贮藏。每 10 d 取 1 次样。设 3 个生物学重复,每个重复 10 个果实。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 果实硬度与内在品质指标测定

果实硬度用 GS-15 水果质地分析仪（南非 GUSS 公司）测定，探头直径 11.3 mm；可溶性固形物含量用 PR-101α 折光仪（日本 ATAGO 公司）测定；可滴定酸含量采用酸碱滴定法，用 808 智能电位滴定仪（瑞士万通公司）测定；维生素 C 含量采用 2,6 - 二氯靛酚滴定法，用 808 智能电位滴定仪（瑞士万通公司）测定。

1.2.2 果皮颜色和叶绿素含量测定

果皮颜色采用 CR-400 色差仪测定（日本 Konica Minolta 公司），所用光源为 D₆₅ 光源，其中在 Lab 色空间中，L* 值表示亮度，L* 值越大，果皮颜色越亮，0 表示黑色，100 表示白色，而果实油腻化越严重，果皮越亮，所以 L* 值可以间接反映果皮油腻化程度；h 值为色度角，变化范围 0° ~ 180°，颜色变化依次为紫红、红、橙红、橙、黄、黄绿、绿和蓝绿，h 值越大，果皮越绿，h 值越小，果实越黄。

叶绿素的提取和含量测定参考姜微波和曹建康（2007）的方法。

1.2.3 RNA 提取和实时荧光定量 PCR 分析

RNA 提取按照 Gasic 等（2014）的方法，参照反转录试剂盒（TaKaRa 生物制药公司，大连）说明，将 RNA 提取物进行反向转录。实时荧光定量 PCR（Relative quantitative real-time, RT-PCR）在 ABI 7500 荧光定量仪上完成。各差异基因序列根据转录组数据获得，利用 Primer3 在线设计引物（表 1），3 次生物学重复。反应体系为：SYBR Premix Ex Taq™（TaKaRa，日本）12.5 μL，上、下游定量引物各 1 μL，ddH₂O 8.5 μL，cDNA 2.0 μL，共计 25 μL。反应条件为：95 °C 预变性 30 s，95 °C 变性 5 s，56 °C 退火延伸 30 s，40 个循环。数据分析采用 ABI7500 system 软件和 2^{-ΔΔCT} 法（Hong et al., 2010）。

表 1 叶绿素降解相关基因实时荧光定量 PCR 分析
Table 1 Real-time fluorescence quantitative PCR analysis of chlorophyll degradation related genes

基因 Gene	登录号 Accession number	正向引物序列（5′ - 3′） Forward primer	反向引物序列（5′ - 3′） Reverse primer
<i>PbETR1</i>	KF188464	AGTCTAAGCAGCCTTTTGCACC	TGCTGACCCCATTATCATCC
<i>PbETR2</i>	KF188465	GATCCTGGAGAATCATCAGAGC	GCAGTTACAATGCAACCAAGC
<i>PbCLH1</i>	JN168001	CAACGTTCATAGACTTCCCCTACG	GGAGAGTACAAGGCAAGAGXTGC
<i>PbPaO</i>	JN167998	AGCTAATGCCACCAAGCCTCC	AGCCATAGAACAGATCACGCTGG
<i>PbSGR</i>	JN168000	ATTCAAGGTGGAGTGCTGG	GCCGCTGTTGTTTCCTGG
<i>PbRCCR</i>	JN168002	TTCATAGACTTCCCCTACGTGTCG	GGAGAGTACAAGGCAAGAGCTGC

1.2.4 呼吸速率和乙烯释放速率测定

采用 SP-7890 气相色谱仪（山东鲁南公司）对果实呼吸速率和乙烯释放速率同时进行测定。单位分别是 CO₂ mg · kg⁻¹ · h⁻¹ 和 μL · kg⁻¹ · h⁻¹。测定条件为：用高纯 N₂ 作为载气，控制其流速在 55 ~ 58 mL · min⁻¹ 范围内，燃气采用 H₂ 和空气，其中 H₂ 压力为 0.2 MPa，空气为 0.1 MPa；转化炉温度 360 °C；填充柱采用不锈钢材质，柱温为 120 °C；用温度为 140 °C 的 FID 检测器检测；取挑选出的果实 2 个，分别置于 3 个 2.25 L 的可密封塑料盒内，密封 60 min 后，用注射器取 1 mL 进行测定。

1.2.5 数据处理

用 Excel 2010 软件进行数据计算和绘图，采用 SAS9.4 进行方差分析和相关性分析，Duncan’s 多重比较。所有数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实常温贮藏过程中硬度和内在品质的影响

由表 2 可以看出,在常温(20℃)下,无论是对照还是 1-MCP 处理,‘玉露香’梨果实硬度均呈下降趋势,但处理与对照差异不显著;可溶性固形物在贮藏 10 d 时略有上升,后逐渐下降,这可能与果实采后淀粉转化为糖有关,但处理与对照间无显著差异;在整个贮藏过程中,维生素 C 含量也呈现下降趋势,1-MCP 处理显著抑制了可滴定酸和维生素 C 含量的下降。

表 2 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中硬度和内在品质的影响

Table 2 Effect of 1-MCP treatment on firmness and internal quality in 'Yuluxiang' pear during storage at 20℃

贮藏天数 Days of storage	硬度/(kg·cm ⁻²) Firmness		可溶性固形物/% Soluble solids		可滴定酸/% Titratable acid		维生素 C/(mg·kg ⁻¹) Vitamin C	
	1-MCP	对照 Control	1-MCP	对照 Control	1-MCP	对照 Control	1-MCP	对照 Control
0	4.63 a	4.63 a	11.84 a	11.84 a	0.053 a	0.053 a	22.71 a	22.71 a
10	4.62 a	4.56 a	11.96 a	11.92 a	0.058 a	0.042 b	20.50 a	19.22 b
20	4.60 a	4.58 a	11.57 a	11.57 a	0.057 a	0.039 b	17.05 a	15.29 b
30	4.57 a	4.53 a	11.52 a	11.54 a	0.044 a	0.033 b	15.39 a	14.32 b

注:不同小写字母表示处理与对照之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatment and control ($P < 0.05$). The same below.

2.2 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实常温贮藏过程中果皮颜色的影响

由图 1 可以看出,1-MCP 处理可使‘玉露香’梨果皮较好地保持绿色而且减轻了油腻化程度,进一步测定果皮亮度(L^*)和色度角(h)。常温贮藏 20 和 30 d 时,经 1-MCP 处理的果实 L^* 值低于对照,即油腻化程度较轻,而 h 值则高于对照,即果皮较绿。常温贮藏至 10 d 时,对照与处理间 L^* 值和 h 值差异不显著。

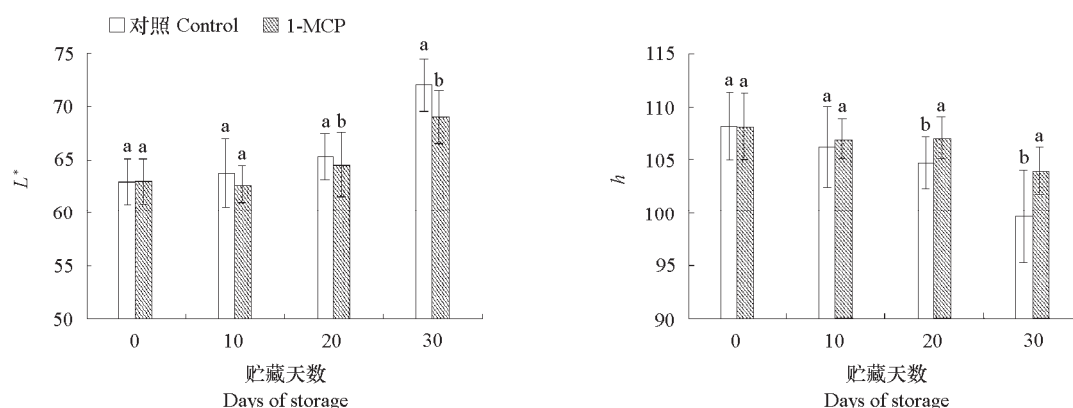


图 1 1-MCP 处理后果实贮藏过程中(20℃)果皮颜色亮度(L^*)和色度角(h)的变化

Fig. 1 Changes of peel color brightness (L^*) and chromaticity angle (h) during fruit storage after 1-MCP treatment at 20℃

2.3 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实常温贮藏过程中叶绿素含量的影响

由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,‘玉露香’梨果皮叶绿素(叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b)含量均呈现下降趋势,且 1-MCP 处理的叶绿素含量均显著高于对照。就叶绿素 a 而言,30 d 内对照

组下降了 71.43%, 1-MCP 处理组下降了 45.71%; 就叶绿素 b 而言, 30 d 内对照组下降了 71.2%, 1-MCP 处理组下降了 45.6%; 就总叶绿素 (叶绿素 a + b) 而言, 30 d 内对照组下降了 71.28%, 1-MCP 处理组下降了 45.64%。由此可见, 1-MCP 处理可以显著抑制叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a + b 含量的降解。

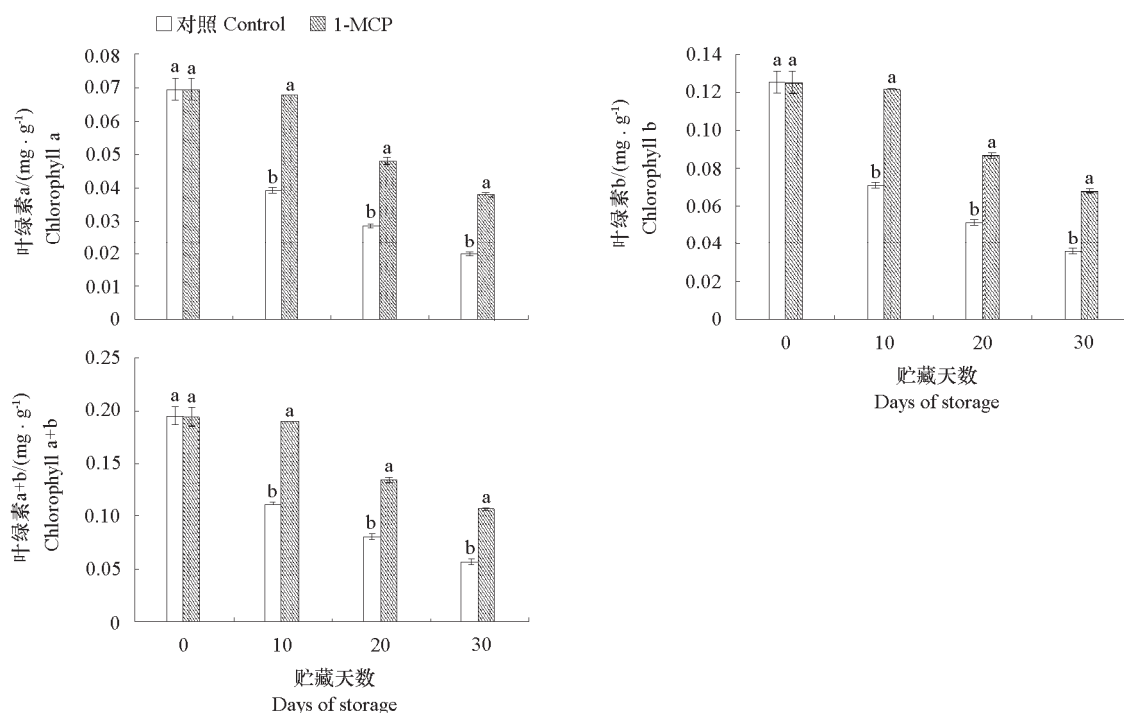


图2 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中 (20 °C) 叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of 1-MCP treatment on the contents of chlorophyll pigments in ‘Yuluxiang’ pear during storage at 20 °C

2.4 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中乙烯释放相关基因表达量的影响

编码乙烯受体的基因属于多基因家族, 根据其结构特征, 将乙烯受体家族成员分成 *ETR1* 和 *ETR2* 两大家族 (Roman et al., 1995), 其中亚家族 I 包括 *PbETR1* 和 *PbERS1*, 亚家族 II 包括 *PbETR2*、*PbERS2* 和 *PbEIN4*。本研究中选择两大家族中的代表性基因 *PbETR1* 和 *PbETR2*, 研究其与乙烯调控之间的关系。

由图 3 可知, 随着贮藏时间的延长, *PbETR1* 的相对表达量经 1-MCP 处理后急剧下降, 在贮藏 20 和 30 d 时呈现上升趋势; 对照 *PbETR1* 的表达量呈现下降趋势, 但在贮藏 30 d 时有所上升; 且 1-MCP 处理 *PbETR1* 的表达量显著低于对照。

随着贮藏时间的延长, 1-MCP 处理后 *PbETR2* 的相对表达量呈下降趋势, 对照的呈现上下波动趋势, 在贮藏 10 d 时 *PbETR2* 的相对表达量最大, 且 1-MCP 处理 *PbETR2* 的相对表达量显著低于对照。

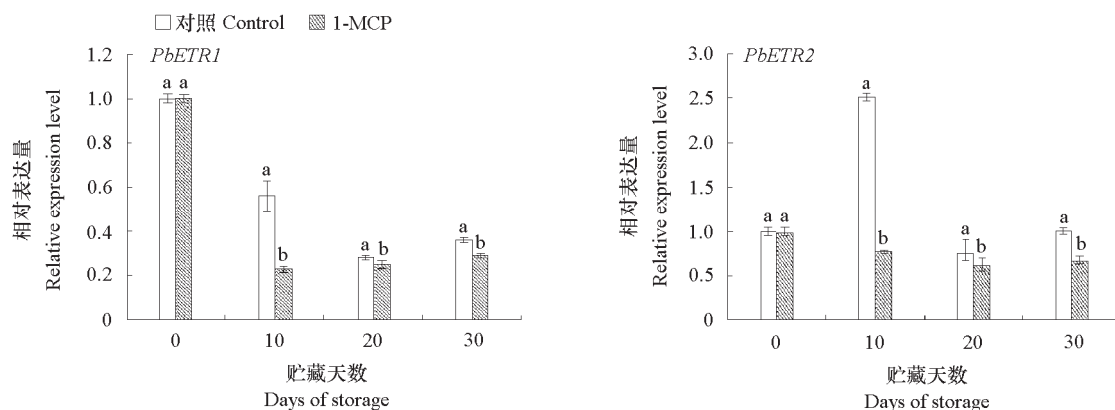


图3 1-MCP处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中(20 °C)乙烯释放相关基因表达量的影响

Fig. 3 Effect of 1-mcp treatment on ethylene release related gene expression in 'Yuluxiang' pear during storage at 20 °C

2.5 1-MCP处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中叶绿素降解相关基因表达量的影响

由图4可知,随着贮藏时间的延长,*PbCLH1*的相对表达量呈现下降趋势,且1-MCP处理*PbCLH1*的相对表达量显著高于对照;*PbPaO*的相对表达量呈现先上升后下降的趋势,且对照*PbPaO*的相对表达量在贮藏20 d时达到最大值(1.80),1-MCP处理的也达到最大值(1.96);*PbRCCR*的相对表达量呈现下降趋势,且1-MCP处理与对照呈现显著差异;*PbSGR*的相对表达量呈现先下降后上升的趋势,且1-MCP处理与对照呈现显著差异。

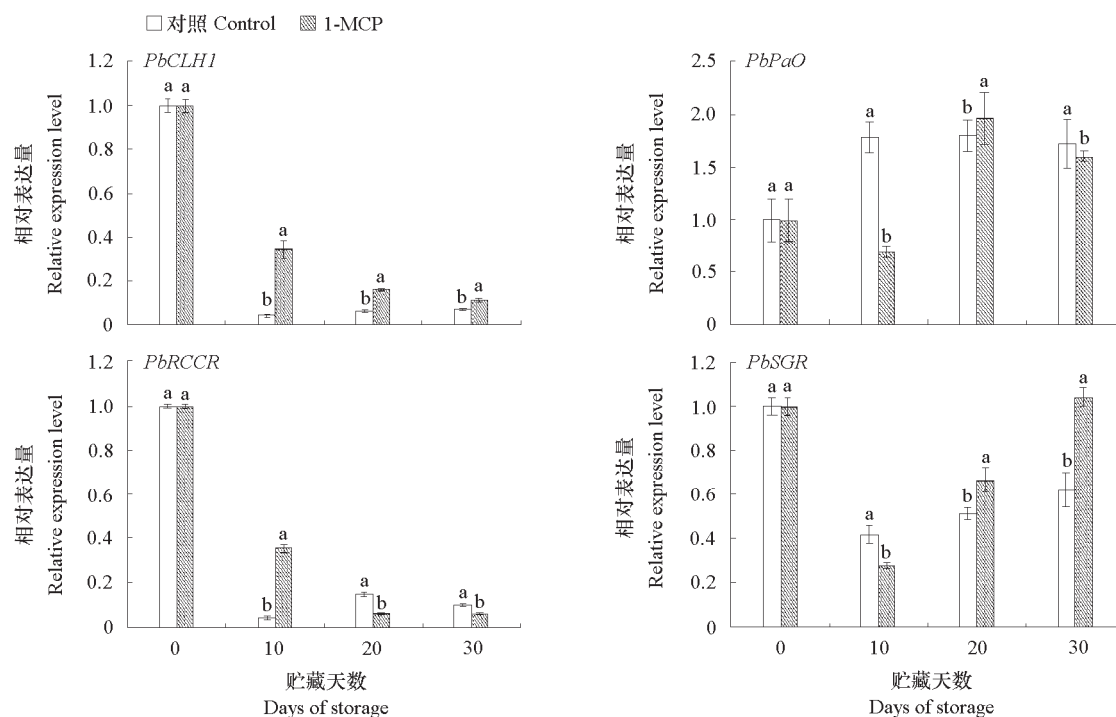


图4 1-MCP处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中(20 °C)叶绿素降解相关基因表达量的影响

Fig. 4 Effect of 1-MCP treatment on chlorophyll degradation related gene expression in 'Yuluxiang' pear during storage at 20 °C

2.6 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中呼吸速率和乙烯释放的影响

‘玉露香’梨为呼吸跃变型果实。由图 5 可知, 对照在贮藏 16 d 时出现呼吸高峰, 峰值为 $31.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 1-MCP 处理在贮藏 28 d 时出现呼吸高峰, 峰值为 $25.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 显著低于对照。对照在贮藏 10 d 时出现乙烯释放高峰, 峰值为 $156.99 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 1-MCP 处理乙烯释放速率缓慢增加, 在贮藏 30 d 时才达到 $123.46 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由此可见, 1-MCP 抑制了‘玉露香’梨果实中呼吸速率和乙烯释放。

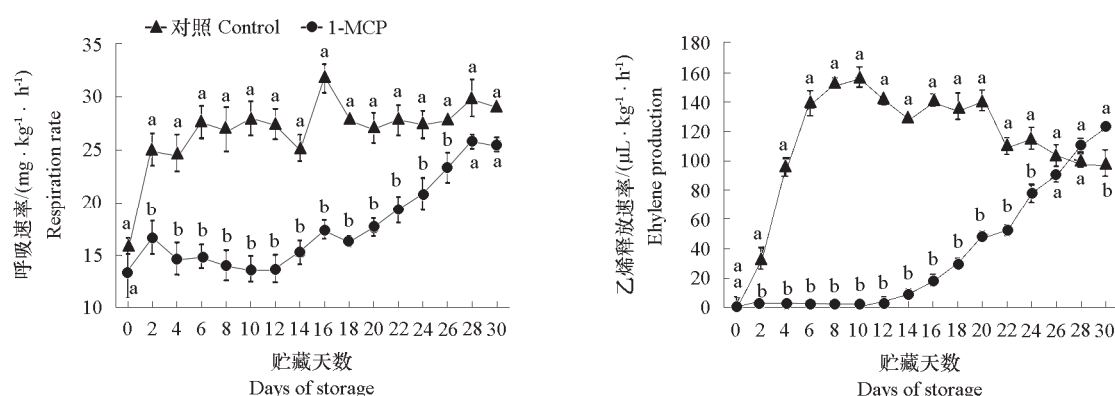


图 5 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中 (20 °C) 呼吸速率和乙烯释放的影响

Fig. 5 Effect of 1-MCP treatment on respiration rate and ethylene production in ‘Yuluxiang’ pear during storage at 20 °C

3 讨论

3.1 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实采后叶绿素降解的影响

通过唐蕾等 (2011) 对叶绿素酶同工酶的基因克隆与酶学性质分析得到 3 种叶绿素酶同工酶蛋白 (BoCLH1、BoCLH2 和 BoCLH3), 经酶学分析显示重组 BoCLH2 和 BoCLH3 的叶绿素酶活性非常低, 原因可能是催化三联体的不完整, 所以 BoCLH1 更适合水解脱镁叶绿素, 因此选取基因 *PbCLH1* 的表达量来研究叶绿素降解途径。通过李栋栋和罗自生 (2013) 对成熟果实中叶绿素降解途径的研究可知, 参与这些途径的酶依次有 PaO、RCCR 和 SGR, 所以选取基因 *PbPaO*、*PbRCCR* 和 *PbSGR* 来研究 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果实贮藏过程中叶绿素降解相关基因表达量的影响。

本试验结果显示, *PbCLH1* 在两种处理中均只在贮藏前检测到较高表达, 而贮藏过程中表达量很低, 说明其可能主要参与‘玉露香’梨初始衰老时叶绿素的降解, 在随后的衰老中作用较小。*PbPaO* 在叶绿素降解代谢中起重要的调控作用, 该酶与叶绿素降解呈显著正相关关系, 且该酶催化的这一过程是绿色褪去的重要过程 (Pružinskā et al., 2003; Chung et al., 2006)。Gómez-Lobato 等 (2011) 也研究发现细胞分裂素、1-MCP 以及热空气处理均能延缓 *PbPaO* 表达量的增加, 而对 *PbRCCR* 的表达影响较小。本试验结果表明 *PbPaO* 的表达在贮藏过程中出现急剧增加过程, 且对应的叶绿素含量下降幅度最大, 说明该基因表达活性提高会加速叶绿素降解。在贮藏 10 d 时对照组出现最大表达量, 而在 20 d 时 1-MCP 处理组出现最大表达量, 且当 *PbPaO* 的表达量最大时肉眼观测发现果实开始黄化, 说明 *PbPaO* 活性的急剧升高预示着黄化的开始。对基因功能分析表明, SGR

可能参与叶绿素从类囊体膜中的释放过程,是 PaO 途径的上游作用基因, RCCR 活性在叶片生命过程中基本保持不变 (Pružinská et al., 2005)。在本试验中, *PbSGR* 在贮藏前期 0 ~ 20 d 时表达规律与 *PbPaO* 相同,但在 30 d 时 1-MCP 处理组表达量显著高于对照组; *PbRCCR* 在‘玉露香’梨中的表达规律与 *PbSGR* 的表达规律截然相反,说明 SGR 可能激发 RCCR 与聚光色素复合体 II (LHC II) 相互作用,形成 SGR-CCE-LHC II 复合体,降低叶绿素降解产物对细胞的毒害作用,这与 Yasuhito 等 (2012) 的研究结果一致。

综上,在本试验中, *PbPaO* 活性的升高预示着黄化的开始,‘玉露香’梨对照组在贮藏 10 d 时开始黄化, 1-MCP 处理组在 20 d 时开始黄化; 1-MCP 处理可以抑制 *PbRCCR* 的表达,促进 *PbSGR*、*PbCLHI* 的表达,推迟了叶绿素分解代谢途径中的下游反应,从而延缓果皮黄化期间叶绿素的降解。

3.2 1-MCP 处理对‘玉露香’梨果采后品质维持的影响

果实在贮藏过程中的成熟与衰老是一系列生化反应所共同调控的结果,其中也与果实本身耐贮性有关。‘玉露香’梨耐贮性较好,在 $-1 \sim -0.5$ °C 下可贮藏 210 d (贾晓辉 等, 2016)。在‘玉露香’梨果实贮藏过程中,果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量均呈下降趋势,但 1-MCP 处理可显著抑制可滴定酸和维生素 C 含量下降,这与王阳等 (2016) 研究脆肉梨的结论相符。对照在贮藏 10 d 时乙烯释放达到峰值,这与对照乙烯受体基因 *ETR2* 表达量在贮藏 10 d 时达到最大的结果相符,说明 1-MCP 处理可以显著抑制呼吸速率,推迟乙烯释放峰值的出现。

通过研究 1-MCP 处理对‘早魁’梨的影响发现,果皮黄化的抑制作用与其抑制叶绿素的分解具有密切关系 (董宇 等, 2013)。在本试验中,随着果实的成熟衰老,‘玉露香’果皮颜色由绿转黄,并伴有油腻化现象发生, L^* 值逐渐上升, h 值逐渐降低,并且在贮藏 20 d 时处理与对照差异达显著水平,与肉眼观察一致;叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 含量降低,且在整个贮藏过程中 1-MCP 处理叶绿素含量显著高于对照,说明 1-MCP 处理可显著抑制果实转黄、叶绿素降解和油腻化现象。

1-MCP 对常温贮藏条件下‘玉露香’梨果实硬度和可溶性固形物含量无显著影响,但可显著抑制可滴定酸释放和维生素 C 含量下降,并通过显著抑制 *PbETR1* 和 *PbETR2* 的表达,来推迟果实呼吸速率和乙烯释放峰值的出现时间,通过抑制 *PbCLHI* 的表达,以及前期抑制 *PbRCCR*,后期抑制 *PbSGR* 进而抑制整个常温贮藏过程中果皮的叶绿素降解,对‘玉露香’梨果实采后品质具有较好的维持作用。

References

- Charoenchongsuk N, Ikeda K, Itai A, Oikawa A, Murayama H. 2015. Comparison of the expression of chlorophyll-degradation-related genes during ripening between stay-green and yellow-pear cultivars. *Scientia Horticulturae*, 181: 89 - 94.
- Chen Ke-wei. 2012. The enzymatic degradation mechanism of chlorophyll and its color protecting technology in dried green pepper [M. D. Dissertation]. Chongqing: Southwest University. (in Chinese)
- 陈科伟. 2012. 青花椒干燥时叶绿素的酶降解机理及其护色技术的研究 [硕士论文]. 重庆: 西南大学.
- Chung D W, Pružinská A, Hörtensteiner S, Ort D R. 2006. The role of pheophorbide a oxygenase expression and activity in the canola green seed problem. *Plant Physiology*, 142 (1): 88 - 97.
- Dong Yu, Zhao Qian, Guan Jun-feng, Gao Man-man, Li Yi-hong. 2013. Effects of 1-MCP on ripening softening, chlorophyll content and pericarp structure of ‘Zaokui’ pear after harvest. *Journal of Hebei Agricultural University*, 36 (6): 33 - 37. (in Chinese)
- 董宇, 赵倩, 关军锋, 高曼曼, 李义红. 2013. 1-MCP 对‘早魁’梨采后成熟软化、叶绿素含量和果皮结构的影响. *河北农业大学学报*, 36 (6): 33 - 37.

- Fan Yan-yan, Liu Yu-mei, Li Zhan-sheng, Fang Zhi-yuan, Yang Li-mei, Zhuang Mu, Zhang Yang-yong, Sun Pei-tian. 2015. Analysis of the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli. *Acta Horticulturae Sinica*, 42 (7): 1338 – 1346. (in Chinese)
- 樊艳燕, 刘玉梅, 李占省, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 孙培田. 2015. 青花菜衰老过程中叶绿素降解相关基因的表达分析. *园艺学报*, 42 (7): 1338 – 1346.
- Gasic K, Hernandez A, Korban S S. 2004. RNA extraction from different apple tissues rich in polyphenols and polysaccharides for cDNA library construction. *Plant Mol Biol Rep*, 22 (4): 437 – 438.
- Gómez-Lobato M E, Civello P M, Martínez G A. 2011. Effects of ethylene, cytokinin and physical treatments on *BoPaO* gene expression of harvested broccoli. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 92 (1): 151 – 158.
- Gómez-Lobato M E, Hasperué J H, Civello P M, Chaves A R, Martínez G A. 2012. Effect of 1-MCP on the expression of chlorophyll degrading genes during senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Scientia Horticulturae*, 144 (3): 208 – 211.
- Hong H, Huiqin Z, Yali Z, Jiao W, Jiang F K M L. 2010. Whole genome wide expression profiles of *Vitis amurensis* grape responding to downy mildew by using *Solexa* sequencing technology. *BMC Plant Biology*, 10 (1): 234.
- Jia Xiao-hui, Wang Wen-hui, Jiang Yun-bin, Du Yan-min, Wang Zhi-hua, Tong Wei. 2016. Effects of storage temperature on green keeping and quality of ‘Yuluxiang’ pear. *Journal of Fruit Science*, (S1): 166 – 174. (in Chinese)
- 贾晓辉, 王文辉, 姜云斌, 杜艳民, 王志华, 佟 伟. 2016. 不同贮藏温度对‘玉露香’梨果实保绿效果和品质维持的影响. *果树学报*, (S1): 166 – 174.
- Jiang Wei-bo, Cao Jian-kang. 2007. Guidance on physiological and biochemical experiments of fruits and vegetables after harvest. Beijing: China Light Industry Press. (in Chinese)
- 姜微波, 曹建康. 2007. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社.
- Li Dong-dong, Luo Zi-sheng. 2013. Chlorophyll breakdown in plant senescent leaves and ripening fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (10): 2039 – 2048. (in Chinese)
- 李栋栋, 罗自生. 2013. 植物衰老叶片与成熟果实中叶绿素的降解. *园艺学报*, 40 (10): 2039 – 2048.
- Ma Feng-li, Jia Xiao-hui, Wang Zhi-hua, Li Yan, Du Yan-min, Tong Wei, Sun Ping-ping, Cui Jian-chao, Wang Yang, Wang Wen-hui. 2018. Physiological and biochemical changes during postharvest ripening in ‘Docteur Jules Guyot’ pear and their correlations. *Journal of Fruit Science*, 35 (6): 718 – 28. (in Chinese)
- 马凤丽, 贾晓辉, 王志华, 李 艳, 杜艳民, 佟 伟, 孙平平, 崔建潮, 王 阳, 王文辉. 2018. ‘三季梨’果实成熟过程中的生理生化变化及其相关性分析. *果树学报*, 35 (6): 718 – 728.
- Pružinská A, Tanner G, Anders I, Roca M, Hörtensteiner S. 2003. Chlorophyll breakdown: pheophorbide a oxygenase is a Rieske-type iron-sulfur protein, encoded by the accelerated *cell death 1* gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (25): 15259 – 15264.
- Pružinská A, Tanner G, Aubry S, Anders I, Moser S, Müller T, Ongania K H, Kräutler B, Youn J Y, Liljegren S J, Hörtensteiner S. 2005. Chlorophyll breakdown in senescent *Arabidopsis* leaves. Characterization of chlorophyll catabolites and of chlorophyll catabolic enzymes involved in the degreening reaction. *Plant Physiology*, 139 (1): 52 – 63.
- Roman G, Lubarsky B, Kieber oiu J J, Rothenberg M, Ecker J R. 1995. Genetic analysis of ethylene signal transduction in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics*, 139 (3): 1393 – 1409.
- Sakurba Y, Schelbert S, Park S Y, Han S H, Lee B D, Andrès C B, Kessler F, Hörtensteiner S, Paek N C. 2012. STAY-GREEN and chlorophyll catabolic enzymes interact at light-harvesting complex II for chlorophyll detoxification during leaf senescence in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 24 (2): 507 – 518.
- Shi J, Gao L, Zuo J, Wang Q, Wang Q, Fan L. 2016. Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation. *Postharvest Biology & Technology*, 116: 98 – 104.
- Tang Lei, Mao Zhong-gui. 2011. Degradation pathway of plant chlorophyll and its molecular regulation. *Plant Physiology Journal*, 47 (10): 936 – 942. (in Chinese)
- 唐 蕾, 毛忠贵. 2011. 植物叶绿素降解途径及其分子调控. *植物生理学报*, 47 (10): 936 – 942.

- Vergara-domínguez H, Ríos J, GandulRojas B, Roca M. 2016. Chlorophyll catabolism in olive fruits (var. *Arbequina* and *Hojiblanca*) during maturation. Food Chemistry, 212: 604 - 611.
- Wang Yang, Wang Zhi-hua, Wang Wen-hui, Tong Wei, Jia Xiao-hui, Du Yan-min, Yang Xiao-long. 2016. Effects of 1-MCP treatment on the storage quality and post-harvest physiology of several crispy pear fruits. Journal of Fruit Science, (S1): 149 - 158. (in Chinese)
- 王 阳, 王志华, 王文辉, 佟 伟, 贾晓辉, 杜艳民, 杨晓龙. 2016. 1-MCP 处理对几种脆肉梨果实贮藏品质及采后生理的影响. 果树学报, (S1): 149 - 158.
- Wang Yang-guang. 2003. Mechanism of chlorophyll degradation and green preservation of postharvest fruits [Ph. D. Dissertation]. Hangzhou: Zhejiang University. (in Chinese)
- 王阳光. 2003. 采后青梅果实叶绿素降解机制及保绿措施的研究 [博士学位]. 杭州: 浙江大学.
- Yang X T, Zhang Z Q, Joyce D, Huang X M, Xu L Y, Pang X Q. 2009. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. Food Chemistry, 114 (2): 383 - 390.
- Zhang Li-hua. 2012. Study on chlorophyll degradation mechanism and green protection method in kiwifruit pulping [Ph. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 张丽华. 2012. 猕猴桃果实制浆中叶绿素降解机理及其护绿方法研究 [博士学位]. 杨凌: 西北农林科技大学.

征订

欢迎订阅《植物遗传资源学报》

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的学术期刊, 中国科技核心期刊、全国中文核心期刊、中国科学引文数据库 (CSCD) 核心期刊, 被国内多家数据库收录, 被 CA 化学文摘 (美) (2014)、JST 日本科学技术振兴机构数据库 (日) (2018) 收录, 荣获 2015 年度中国自然资源学会高影响力十佳期刊。据《中国科技期刊引证报告》(核心版) 统计: 2018 年影响因子 1.159, 居 21 种农艺学科期刊的第二位。

在 2018 年中国科学文献计量评价研究中心发布的《世界学术期刊学术影响力指数 (WAJCI) 年报》中,《植物遗传资源学报》在世界农艺学 102 种期刊中排名 49, 入选 Q2 区。

报道内容为大田、园艺作物, 观赏、药用植物, 林用植物、草类植物及其一切经济植物的有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。如种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新, 信息学、管理学等; 起源、演化、分类等系统学; 基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

双月刊, 大 16 开本, 288 页, 彩色铜版纸印刷。定价 68 元, 全年 408 元。各地邮局发行。邮发代号: 82-643。国内连续出版物号 CN11-4996/S, 国际连续出版物号 ISSN1672-1810。本刊编辑部常年办理订阅手续, 如需邮挂每期另加 3 元。

地 址: 北京市中关村南大街 12 号《植物遗传资源学报》编辑部

邮 编: 100081 电话: 010-82105795 网 址: www.zwyczy.cn

E-mail: zwyczyxb2003@163.com; zwyczyxb2003@sina.com

微信 ID: 植物遗传资源学报 作者 QQ 群: 372958204