

茉莉酸甲酯处理对石榴贮藏品质及相关酶活性的影响

寇莉萍¹, 张萌¹, 郭晓成², 梁文馨¹, 张天天¹, 张钰莹¹, 陈旻琪¹

(1.西北农林科技大学 食品科学与工程学院, 陕西 咸阳 712100;

2.西安市农业技术推广中心, 西安 710061)

摘要: **目的** 研究茉莉酸甲酯对石榴贮藏品质的影响, 为延长石榴货架期提供依据。**方法** 以临潼“净皮甜”石榴为实验材料, 采用不同浓度茉莉酸甲酯(0.01, 0.05, 0.1 mmol/L)对石榴果实进行熏蒸处理, 然后转入(4±0.5)℃冷库贮藏56 d。**结果** 在整个贮藏期间内, 茉莉酸甲酯处理可延缓石榴硬度、可溶性固形物含量、总糖含量、可滴定酸含量、感官品质的下降, 抑制石榴果皮褐变指数和质量损失率的上升, 并能提高CAT, POD, PAL, GLU等的酶活性。实验得出, 当茉莉酸甲酯浓度为0.05 mmol/L时处理效果最好。**结论** 茉莉酸甲酯处理是一种有效保持石榴贮藏品质、延长货架期的方法。

关键词: 石榴; 茉莉酸甲酯; 贮藏品质; 酶活性

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)09-0064-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.09.010

Effects of Methyl Jasmonate Treatment on Storage Quality and Enzymes Activities of Pomegranate

KOU Li-ping¹, ZHANG Meng¹, GUO Xiao-cheng², LIANG Wen-xin¹,
ZHANG Tian-tian¹, ZHANG Yu-ying¹, CHEN Min-qi¹

(1.School of Food Science and Technology, Northwest A & F University, Xianyang 712100, China;

2.Xi'an Agricultural Technology Extension Center, Xi'an 710061, China)

ABSTRACT: To study the effect of methyl jasmonate on the quality of pomegranate during storage and to provide basis for prolonging the shelf life of pomegranate. Lintong "Jingpitian" pomegranate was used as the experimental material. The pomegranate fruits were fumigated with different concentrations of methyl jasmonate (0.01, 0.05, 0.1 mmol/L), and then stored in cold storage at (4±0.5)℃ for 56 days. During the whole storage period, methyl jasmonate treatment could delay the decrease of pomegranate hardness, soluble solid content, total sugar content, titratable acid content and sensory quality, inhibit the increase of pomegranate peel Browning index and mass loss rate, and increase the activities of CAT, POD, PAL, Glu and other enzymes. The experiment showed that the best treatment effect was obtained when the concentration of methyl jasmonate was 0.05 mmol/L. Methyl jasmonate treatment is an effective method to maintain the storage quality and prolong the shelf life of pomegranate.

KEY WORDS: pomegranate; methyl jasmonate; storage quality; activities of pomegranate

收稿日期: 2020-10-09

基金项目: 陕西特色果品(石榴)物流保鲜关键技术研究项目(2019NY-116); 2019年大学生创新创业训练计划(X201910712129)

作者简介: 寇莉萍(1972—), 女, 博士, 西北农林科技大学副教授, 主要研究方向为果品蔬菜贮藏保鲜。

石榴 (*Punica granatum* L.) 属石榴科石榴属, 是集经济、生态、社会效益、观赏、保健功能于一体的优良落叶果树^[1]。我国石榴的种植面积在 2017 年就已达 12 万公顷, 总产量突破 170 万 t, 超越伊朗成为世界第一^[2]。石榴在采后易出现果皮褐变、失水皱缩、籽粒色变、异味等问题。在自身新陈代谢过程中以及外界逆境胁迫下, 体内会产生大量活性氧, 这类物质在体内如不能及时清除, 将会对石榴的生理代谢反应及采后品质产生严重的毒害作用^[3], 因此控制石榴果实采后品质劣变是减少其采后商品价值损失的核心问题。

茉莉酸甲酯 (Methyl Jasmonate, MeJA) 广泛地存在于植物体中, 外源应用能够激发防御植物基因的表达, 作为内源信号分子参与植物的抗逆反应^[4]。茉莉酸甲酯处理果蔬可以延长其保质期, 并维持果蔬品质已运用于多种果蔬保鲜, 例如菠萝^[5]、芒果^[6]、草莓^[7]、番茄^[8]、猕猴桃^[9]等。黎晓茜^[10]、孙晓文^[11]、Liu^[12]等研究发现外源 MeJA 处理可以有效地抑制猕猴桃、葡萄中可溶性固形物 (SSC) 与可滴定酸 (TA) 含量的下降, 并能有效地维持果实硬度; 李蔚^[13]研究发现, MeJA 能有效维持葡萄中可溶性总糖 (TSC) 含量, 并起到抑制 TSC 含量下降的作用。过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT)、多酚氧化酶 (PPO) 是果蔬细胞中清除活性氧的主要酶类。Wei^[14]、董宇^[15]等研究发现, MeJA 处理对桃子软化控制、冬枣贮藏品质改善均与诱导果实中 POD、CAT 与 PPO 活性密切相关。 β -1,3-葡聚糖酶 (GLU) 属于细胞壁水解酶, 在植物中能被真菌及其细胞壁成分所诱导, 可以协同性地破坏病原菌的细胞壁, 从而直接杀死病菌^[16]。王英珍等^[17]在梨果实、Saavedra 等^[18]在草莓上得到, 外源 MeJA 处理可以有效地抑制 GLU 的活性。苯丙氨酸转氨酶 (PAL) 是一种存在于各种植物和少数微生物中的酶, 是连接初级代谢和苯丙烷类物质代谢的关键酶。当受到机械损伤或病原真菌感染时, 果蔬体内以苯丙烷代谢为主的次级代谢途径增强, 导致果蔬的细胞壁和角质层增厚, 降低了病原菌穿透细胞的几率^[19]。Gloeac 等^[20]研究发现, MeJA 处理可以有效地增强杨梅中 PAL 的活性, 从而提升杨梅对 *Penicillium citrinum* 侵染的抗性; Li 等^[21]研究发现, 对火龙果进行 MeJA 熏蒸处理后, 可以有效增强鲜切火龙果中 PAL 的活性。目前有关茉莉酸甲酯处理石榴以延长石榴保质期的相关文献依旧较少, 且相关指标数据并不完善。

文中实验以临潼“净皮甜”石榴为材料, 研究不同浓度 MeJA 处理对石榴在 4 °C 贮藏期间主要品质指标和相关酶活性的影响, 为石榴采后贮藏保鲜提供理论依据和技术参考。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 石榴, 采自陕西省西安市临潼区, 品种为“净皮甜”, 采收时果实表面 85%~90% 呈鲜红色。挑选表面完好、光滑有光泽、无明显机械损伤、裂纹、病斑、果萼完好、无病菌侵染和病虫害, 质量为 350~400 g 的果实作为实验材料, 于 2019 年 10 月采收并运回西北农林科技大学食品科学与工程学院果蔬贮藏与加工实验室备用。

主要仪器: AR224CN 电子分析天平, 常州国华电器有限公司; DK-98-11A 电热恒温水浴锅, 天津泰斯特仪器有限公司; CS101-2EB 磁力搅拌加热器, 国华电器有限公司; TA.XT Plus 质构仪, Stable Micro systems Ltd.; Ci7600 色度仪, 爱色丽 (上海) 色彩科技有限公司; PAL-1 数显糖度计, Atago Co., Ltd.

1.2 处理方法

将挑好的石榴随机分为 4 组: 3 个处理组果实分别用 0.01, 0.05, 0.1 mmol/L 的 MeJA 在 20 °C 环境下密闭熏蒸 16 h, 以相同密闭条件下不熏蒸处理的果实为对照组 (CK 组)。熏蒸后通风 2 h, 于 4 °C 预冷 12 h, 再将石榴果实装于厚度 0.03 mm 的聚乙烯薄膜袋中, 折口包装, 贮藏温度为 (4±0.5) °C, 相对湿度为 85%~90% 的冷库中。每袋装 6 枚果实。每隔 14 d, 对不同处理组的石榴果实进行品质指标的测定, 每次测定用果 6 枚, 均做 3 次平行实验。每次测定时, 将果实的果皮与籽粒剥离, 并分别将其保存于密封袋, 贮藏于 -80 °C 冰箱中, 以最大程度维持试样相关酶活性。

1.3 指标测定

1.3.1 品质指标测定

1) 果皮褐变指数测定^[9]公式为:

$$\text{褐变指数} = \sum \frac{\text{褐变级别} \times \text{该级别褐变果实数}}{\text{最高褐变级别} \times \text{总果实数}} \times 100\% \quad (1)$$

根据石榴果实表面积的大小将褐变程度分为: 0 级 (无褐变, 褐变面积为 0)、1 级 (轻微褐变, 0<褐变面积≤5%)、2 级 (轻度褐变, 5%<褐变面积≤10%)、3 级 (中度褐变, 10%<褐变面积≤30%)、4 级 (重度褐变, 30%<褐变面积≤60%)、5 级 (极度褐变, 褐变面积>60%)。

2) 籽粒可溶性固形物 (Soluble Solids Content, SSC) 含量测定。采用糖度计测定法。

3) 籽粒总糖含量 (Total Sugar Content, TSC) 测定。采用酸水解-莱因-埃农氏法^[22]。

4) 籽粒可滴定酸 (Total Acid, TA) 含量测定。采用碱滴定法^[23]。

5) 籽粒硬度测定。采用质构仪测定法^[24]。

6) 果皮颜色测定。采用色度仪测定法。

7) 果实质量损失率测定。采用称量法测定。

8) 外观品质评价。参照初丽君等^[25]的外观评定方法。

1.3.2 酶活性测定

1) 果皮过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 活性测定。采用邻苯二酚比色法^[26]。

2) 果皮多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, PPO) 活性测定。采用紫外吸收法^[27]。

3) 果皮过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性测定。采用紫外吸收法^[27]。

4) 果皮 β -1,3-葡聚糖酶 (β -1,3-Glucanase, β -1,3-GLU) 活性测定。采用紫外吸收法^[27]。

5) 果皮苯丙氨酸解氨酶 (Phenylalanine ammonia-lyase, PAL) 活性测定。采用紫外吸收法^[28]。

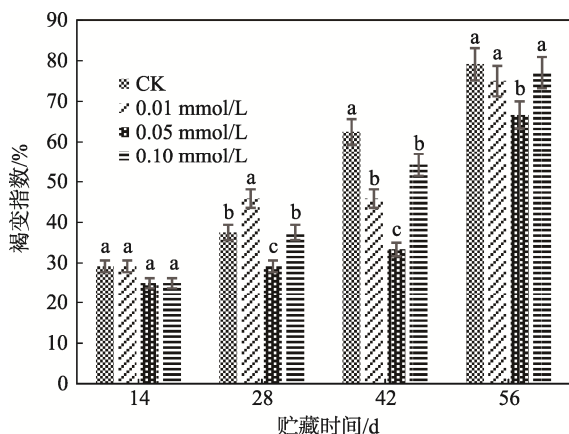
1.4 数据处理方法

实验数据采用方差分析, 每组实验均做3次平行实验, 计算平均值和标准偏差, 用 SPSS 软件进行统计分析。显著水平取 $P=0.05$ (差异显著) 或 $P=0.01$ (差异及其显著)。文中所有数值均从石榴预冷后计起, 即从处理之日算起。

2 结果与分析

2.1 茉莉酸甲酯处理对石榴品质的影响

果皮褐变指数是反映果实新鲜度的基本指标。图1显示, 在贮藏的0~56 d内, 石榴果皮的褐变指数总体呈现上升趋势。在整个贮藏期内, 0.05 mmol/L 组的褐变指数显著低于其余3个实验组 ($P<0.05$), 而其他3个实验组的褐变指数值无显著差异。表明处理浓度为0.05 mmol/L 的茉莉酸甲酯抑制石榴果皮褐



注: 字母 a, b, c 表示显著性差异

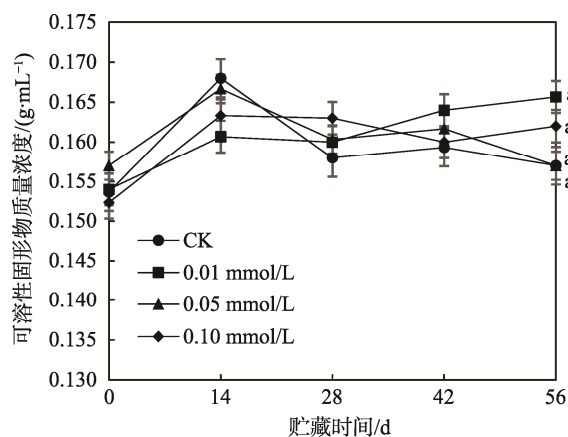
图1 茉莉酸甲酯处理对石榴果皮褐变指数的影响
Fig.1 Effect of Methyl Jasmonate on Browning Index of Pomegranate Peel

变的效果最佳。

可溶性固形物含量是果实品质的基本指标。如图2显示, 整个贮藏期间, 石榴的可溶性固形物含量变化不显著 ($P>0.05$), 各浓度 MeJA 处理后对石榴可溶性固形物含量也没有显著影响 ($P>0.05$)。

总糖反映着果实中可溶性单糖和低聚糖的总量, 是分析果实品质的重要指标。从图3看出, 在整个贮藏的0~56 d内, 石榴的总糖含量总体基本呈下降趋势。不同浓度 MeJA 处理组的总糖含量均高于 CK 组, 说明 MeJA 处理能减少石榴糖分的损失。其中, 0.05 mmol/L 组能显著抑制总糖含量的下降 ($P<0.05$)。

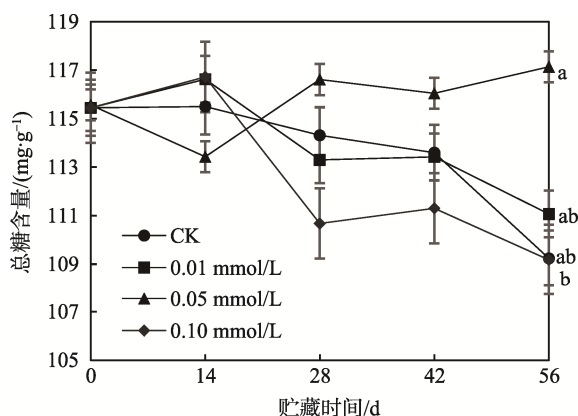
可滴定酸含量 (TA) 变化是反映果实品质的常见指标之一。如图4所示, 整个贮藏期间, 石榴的可滴定酸含量变化不显著 ($P>0.05$)。比较不同浓度 MeJA 处理组间可知, 0.05 mmol/L 组同其余3个实验组间有显著差异 ($P<0.05$), 这说明该浓度的茉莉酸甲酯处理能够更好地抑制果实的采后呼吸及能量代谢, 减少有机酸成分消耗。



注: 字母 a 表示显著性差异

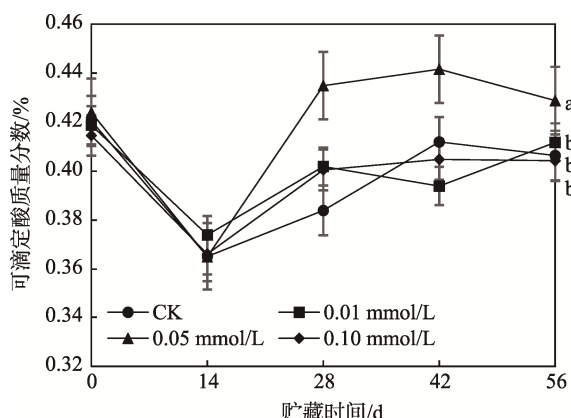
图2 茉莉酸甲酯处理对石榴籽粒可溶性固形物质量浓度的影响

Fig.2 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on the Concentration of Soluble Solids in Pomegranate Seeds



注: 字母 a, b 表示显著性差异

图3 茉莉酸甲酯处理对石榴籽粒总糖含量的影响
Fig.3 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Total Sugar Content of Pomegranate Seeds



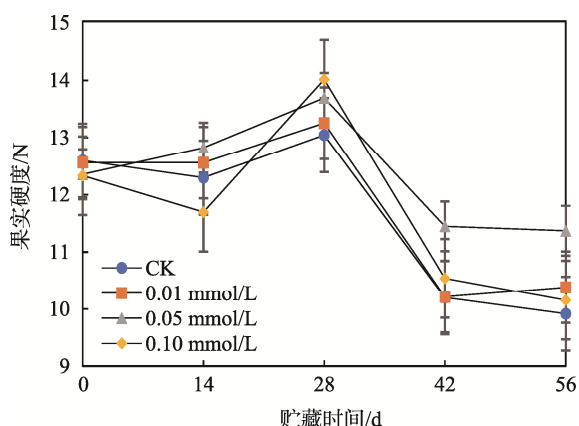
注: 字母 a, b 表示显著性差异

图 4 茉莉酸甲酯处理对石榴籽粒可滴定酸含量的影响
Fig.4 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Titratable Acid Content of Pomegranate Seeds

果实硬度是石榴贮藏过程中的重要指标之一, 同时也是影响石榴食用品质的重要指标。如图 5 所示, 贮藏期间石榴的硬度整体呈下降趋势。不同浓度 MeJA 处理组的硬度均高于 CK 组, 说明 MeJA 处理能抑制石榴硬度的下降。其中 0.05 mmol/L 组能极显著抑制硬度的下降, 与对照组达极显著差异 ($P < 0.01$), 保持石榴的新鲜品质。

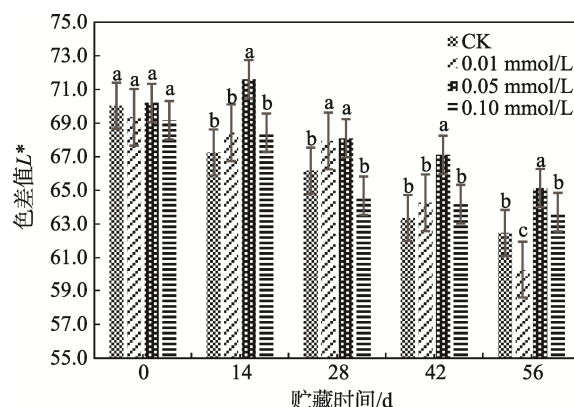
颜色是消费者在购买产品时的主要参考指标。石榴颜色测定以 L^* 值的降低表示褐变的程度。由图 6 可知, 随着贮藏时间的延长, 石榴果皮的 L^* 值呈缓慢下降趋势, 褐变情况逐渐增加, 各浓度 MeJA 处理对石榴果皮的 L^* 值影响差异显著 ($P < 0.05$)。其中 0.05 mmol/L 组的亮度值 L^* 始终极显著高于其他 3 个实验组 ($P < 0.01$), 表明此处理可显著抑制石榴果皮的褐变。

质量损失率是衡量果实保鲜效果的一个重要指标。如图 7 所示, 整个贮藏期间石榴果实的质量损失率随贮藏期的延长总体呈现上升趋势, 贮藏结束时,



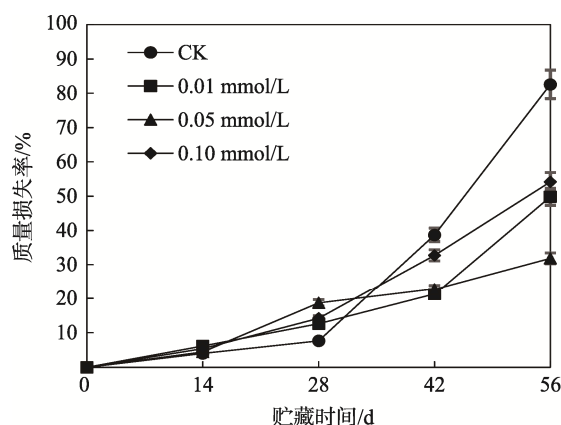
注: 字母 a, b 表示显著性差异

图 5 茉莉酸甲酯处理对石榴硬度的影响
Fig.5 Effect of Methyl Jasmonate on the Firmness of Pomegranate



注: 字母 a, b, c 表示显著性差异

图 6 茉莉酸甲酯处理对石榴果实色差值 L^* 的影响
Fig.6 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Color Difference L^* of Pomegranate Fruit



注: 字母 a, b 表示显著性差异

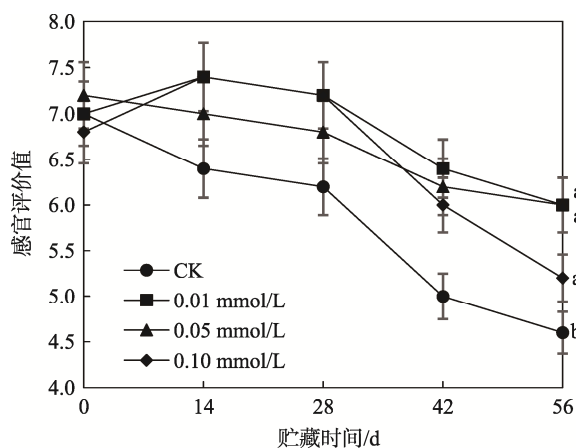
图 7 茉莉酸甲酯处理对石榴果实质量损失率的影响
Fig.7 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Mass Loss Rate of Pomegranate Fruit

不同浓度 MeJA 处理组的质量损失率均低于 CK 组, 说明 MeJA 处理能抑制石榴质量损失率的上升。其中 0.05 mmol/L 组能极显著抑制质量损失率的上升 ($P < 0.01$), 维持石榴的新鲜品质。

感官评价是可以直观反映出果实口感好坏的基本指标。由图 8 可知, 在整个贮藏期内, 4 个实验组的感官评价价值总体呈现下降趋势, 且不同浓度 MeJA 处理组的感官评价指标均高于 CK 组, 表明 MeJA 处理可以有效抑制石榴感官评价价值的下降。茉莉酸甲酯处理组与 CK 组间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中, 0.05 mmol/L 组感官评价价值变化最为稳定。由此可得, 茉莉酸甲酯处理石榴可有效地延缓石榴果实感官品质的下降。

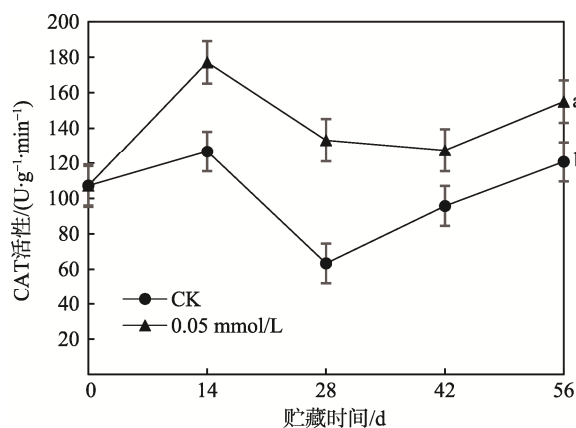
2.2 茉莉酸甲酯处理对石榴采后相关酶活性的影响

果蔬内的过氧化氢酶 (CAT) 通过参与抗逆^[29]、抗病^[30]、衰老^[31]等多种生理过程, 可防止果蔬遭到 H_2O_2 侵害。由图 9 可知, 在整个贮藏期间, 处理组



注：字母 a, b 表示显著性差异

图 8 茉莉酸甲酯处理对石榴感官评价的影响
Fig.8 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Sensory Evaluation of Pomegranate



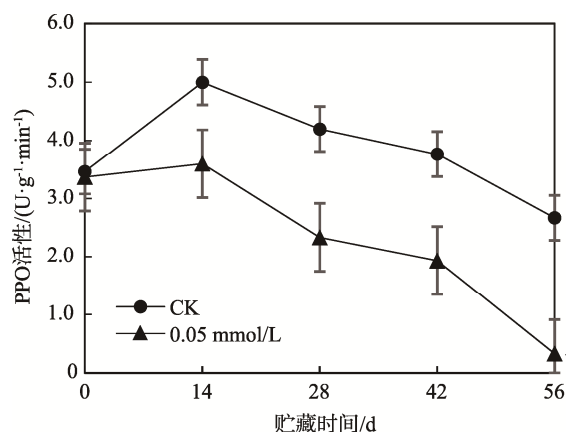
注：字母 a, b 表示显著性差异

图 9 茉莉酸甲酯处理对石榴过氧化氢酶活性的影响
Fig.9 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Catalase Activity of Pomegranate

与对照组的 CAT 活性总体呈上升、下降后上升的趋势,且对照组的 CAT 活性始终低于茉莉酸甲酯处理组。贮藏结束时,0.05 mmol/L MeJA 处理组的 CAT 活性显著高于 CK 组 ($P<0.05$),说明 MeJA 处理能抑制石榴果皮 CAT 活性的下降,提高石榴的抗病性。

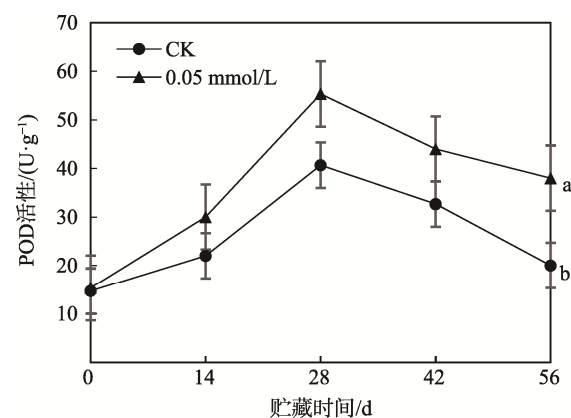
多酚氧化酶 (PPO) 是植物中广泛存在的催化酚类物质氧化的酶类, PPO 活性的增加是果实内部组织开始衰老后的普遍反应,是水果和蔬菜组织褐变的主要原因,使果实颜色发生变化,影响其品质。由图 10 可得,在整个贮藏期间,对照组与处理组的 PPO 活性总体呈先上升后下降趋势,且处理组的 PPO 活性始终显著低于对照组 ($P<0.05$),表明茉莉酸甲酯能有效抑制 PPO 活性,从而有效抑制果实褐变。

过氧化物酶 (POD) 能促进果蔬抗病物质聚合,调节果蔬遭受胁迫时的代谢,减少活性氧自由基的损伤。如图 11 所示,在整个贮藏期间,石榴果皮过氧化物酶活性呈现上升后下降的趋势,且处理组的 POD 活性始终显著高于对照组 ($P<0.01$),表明 MeJA



注：字母 a, b 表示显著性差异

图 10 茉莉酸甲酯处理对石榴多酚氧化酶活性的影响
Fig.10 Effect of Methyl Jasmonate on Polyphenol Oxidase Activity of Pomegranate



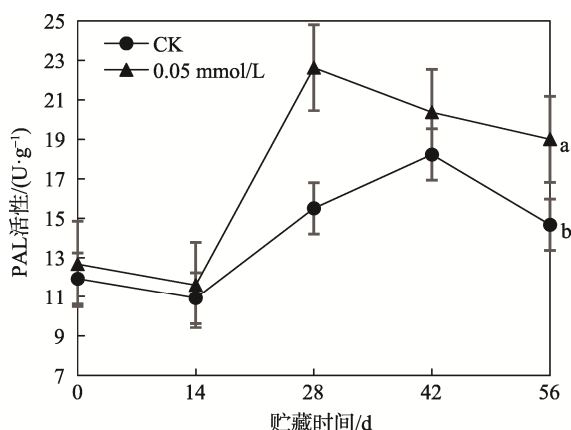
注：字母 a, b 表示显著性差异

图 11 茉莉酸甲酯处理对石榴过氧化物酶活性的影响
Fig.11 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Peroxidase Activity of Pomegranate

处理能够有效提高石榴果皮中 POD 活性,提高石榴的抗病性。

苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 与果蔬抗病性有关。PAL 活性总体呈现上升后下降趋势,见图 12。在整个贮藏期间,MeJA 处理组与 CK 组样品之间具有极显著差异 ($P<0.01$),贮藏时间与浓度的交互作用对 PAL 活性的影响也具有极显著差异 ($P<0.01$),表明 MeJA 处理能够有效提高石榴 PAL 活性,从而抑制石榴遭到病害侵蚀。

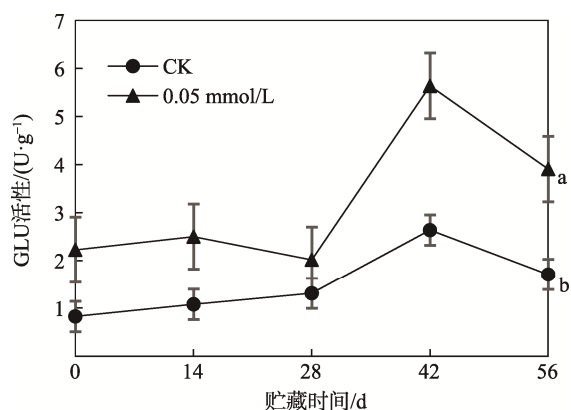
β -1,3-葡聚糖作为真菌细胞壁成分可被 β -1,3-葡聚糖酶 (GLU) 水解,因此可以通过水解真菌组成成分消灭致病菌,与果蔬抗病性有关。如图 13 所示,在整个贮藏的 0~56 d 内, GLU 活性总体呈现先上升后下降的趋势,且处理组 GLU 活性始终显著高于对照组 ($P<0.01$);贮藏时间与浓度的交互作用对 GLU 活性的影响也具有极显著差异 ($P<0.01$)。实验表明,茉莉酸甲酯能够有效提高石榴果皮中 GLU 活性。



注: 字母 a, b 表示显著性差异

图 12 茉莉酸甲酯处理对石榴苯丙氨酸解氨酶活性的影响

Fig.12 Effect of Methyl Jasmonate Treatment on the Activity of Phenylalanine Ammonia-lyase of Pomegranate



注: 字母 a, b 表示显著性差异

图 13 茉莉酸甲酯处理对石榴 β -1,3-葡聚糖酶活性的影响
Fig.13 Effect of Methyl Jasmonate on β -1,3-Glucanase Activity of Pomegranate

3 结语

研究发现, 外源 MeJA 处理石榴可以有效地抑制果实质量损失率的上升, 并能保持石榴的颜色、硬度, 并延缓 SSC, TSC, TA 的下降, 这与前人研究效果有共同之处; MeJA 处理可有效地提高石榴果皮中 GLU 的活性, 使得 GLU 的活性显著高于对照组。该实验研究发现, 茉莉酸甲酯处理石榴可以使处理组在整个贮藏期内的 PAL 活性均显著高于对照组, 这与前人研究的结果一致。为了延长石榴的货架期, 通常需要低温贮藏石榴。若贮藏温度低于 5℃时, 石榴就会发生低温伤害, 症状多为果皮褐变、表皮出现凹陷斑点和易腐烂。外源 MeJA 处理石榴可以有效地清除石榴体内的活性氧, 激活防御机制, 提高石榴果皮中 POD, CAT, PPO, GLU, PAL 的活性, 并能促进 PPO 活性下降, 使石榴在整个贮藏期中有效地抑制病害侵染, 从而延长其货架期。

研究表明, 0.05 mmol/L 的茉莉酸甲酯浓度可以达到维持石榴贮藏品质的最佳效果。过低浓度 (0.01 mmol/L) 的茉莉酸甲酯处理对于维持石榴贮藏品质的效果优于高浓度 (0.1 mmol/L); 高浓度 (0.1 mmol/L) 对于石榴品质的维持效果并不明显, 但优于对照组。

综上所述, 适宜浓度的 MeJA 处理 (0.05 mmol/L) 可以有效地维持石榴果实的生理状态, 参与石榴对于非生物胁迫的防御反应, 从而提高有关抗病酶、活性氧清除酶活性, 达到延长石榴货架期, 维持果实品质的目的。

参考文献:

- [1] 胡青霞, 张丽婷, 李洪涛, 等. 石榴果实贮藏生理变化与采后保鲜技术研究进展[J]. 河南农业科学, 2014, 43(3): 5—11.
HU Qing-xia, ZHANG Li-ting, LI Hong-tao, et al. Research Progress on Physiological Changes during Storage and Postharvest Preservation Technology of Pomegranate Fruits[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(3): 5—11.
- [2] 陶华云, 黄敏, 王秀兰. 我国石榴产业发展趋势分析与对策建议[J]. 中国果业信息, 2019, 36(7): 13—16.
TAO Hua-yun, HUANG Min, WANG Xiu-lan. Analysis of the Development Trend of Pomegranate Industry in China and Countermeasures and Suggestions[J]. China Fruit News, 2019, 36(7): 13—16.
- [3] 崔席席, 李富军, 张新华, 等. 茉莉酸甲酯调控果蔬采后品质的机制及应用研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 304—311.
CUI Xi-xi, LI Fu-jun, ZHANG Xin-hua, et al. Recent Progress in Mechanism of Action and Application of Methyl Jasmonate in Postharvest Quality Regulation of Fruits and Vegetables[J]. Food Science, 2019, 40(13): 304—311.
- [4] 徐伟, 严善春. 茉莉酸在植物诱导防御中的作用[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2074—2082.
XU Wei, YAN Shan-chun. The Function of Jasmonic Acid in Induced Plant Defence[J]. Acta Ecol Sin, 2005, 25(8): 2074—2082.
- [5] 季悦, 李静, 王雷, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切菠萝品质及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 258—263.
JI Yue, LI Jing, WANG Lei, et al. Effect of Methyl Jasmonate Treatment on Quality and Antioxidant Activity of Fresh-Cut Pineapples[J]. Food Science, 2018, 39(1): 258—263.

- [6] 弓德强, 黄训才, 黄光平, 等. 茉莉酸甲酯处理对采后芒果果实抗病性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(12): 2294—2299.
GONG De-qiang, HUANG Xun-cai, HUANG Guang-ping, et al. Effect of Methyl Jasmonate Treatment in Harvested Mango on Disease Resistance Fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(12): 2294—2299.
- [7] 闫艳华. 茉莉酸甲酯对草莓果实品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 62—68.
YAN Yan-hua. Effect of Methyl Jasmonate on Fruit Quality of Strawberries[J]. Food Research and Development, 2020, 41(10): 62—68.
- [8] 陶华云, 黄敏, 王秀兰. 我国石榴产业发展趋势分析与对策建议[J]. 中国果业信息, 2019, 36(7): 13—16.
TAO Hua-yun, HUANG Min, WANG Xiu-lan. Analysis of the Development Trend of Pomegranate Industry in China and Countermeasures and Suggestions[J]. China Fruit News, 2019, 36(7): 13—16.
- [9] 盘柳依. 茉莉酸甲酯 (MeJA) 对猕猴桃诱导抗采后软腐病的机理及其保鲜效果的研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2019: 5—7.
PAN Liu-yi. Effects of Methyl Jasmonate (MeJA) Induced Resistance to Soft Rot and Storage Preservation in Postharvest Kiwifruit[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2019: 5—7.
- [10] 黎晓茜, 龙友华, 尹显慧, 等. 茉莉酸甲酯处理对猕猴桃软腐病菌作用机制及果实品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(15): 239—247.
LI Xiao-qian, LONG You-hua, YIN Xian-hui, et al. Mechanism of Action of Methyl Jasmonate Against Kiwifruit Soft Rot and Its Effect on Fruit Quality[J]. Food Science, 2019, 40(15): 239—247.
- [11] 齐笑笑, 秦改花. 石榴采后果皮褐变影响因子的研究[J]. 果树学报, 2017, 34(6): 735—743.
QI Xiao-xiao, QIN Gai-hua. Study on Influencing Factors of Postharvest Pomegranate Peel Browning[J]. Acta pomologica Sinica, 2017, 34(6): 735—743.
- [12] LIU Hao-ran, MENG Fan-liang, MIAO Hui-ying, et al. Effects of Postharvest Methyl Jasmonate Treatment on Main Healthpromoting Components and Volatile Organic Compounds in Cherry Tomato Fruits[J]. Food Chemistry, 2018, 263: 194—200.
- [13] 孙晓文, 高登涛, 魏志峰, 等. 茉莉酸酯类‘圣诞玫瑰’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(1): 43—51.
SUN Xiao-wen, GAO Deng-tao, WEI Zhi-feng, et al. Effect of Jasmonates on Coloration and Quality of the 'Christmas Rose' Grape Berry[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(1): 43—51.
- [14] WEI J X, WEN X C, TANG L. Effect of Methyl Jasmonic Acid on Peach Fruit Ripening Progress[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 220: 206—213.
- [15] 董宇, 支欢欢, 徐娟, 等. 外源茉莉酸甲酯处理对冬枣冷藏抗氧化代谢及褐变的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(1): 152—158.
DONG Yu, ZHI Huan-huan, XU Juan, et al. Effect of Exogenous Methyl Jasmonate Treatment on Antioxidant Metabolism and Browning of Post-Harvest Jujube Fruit during Cold Storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(1): 152—158.
- [16] 胡文忠, 姜爱丽, 杨宏, 等. 茉莉酸甲酯对鲜切苹果生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 338—341.
HU Wen-zhong, JIANG Ai-li, YANG Hong, et al. Effect of Jasmonic Acid Methyl Ester Treatment on the Physiological and Biochemical Reactions of Fresh-cut Apple[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 338—341.
- [17] 王英珍, 程瑞, 张绍铃, 等. 采前茉莉酸甲酯(MeJA)处理对梨果实抗病性的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(6): 694—700.
WANG Ying-zhen, CHENG Rui, ZHANG Shao-ling, et al. Effect of Methyl Jasmonate (MeJA) Treatment on Disease Resistance of Pear Fruit[J]. Acta fruticariae sinica, 2016, 33(6): 694—700.
- [18] SAAVEDRA G M, SANFUENTES E, FIGUEROA P M, et al. Independent Preharvest Applications of Methyl Jasmonate and Chitosan Elicit Differential Upregulation of Defense-Related Genes With Reduced Incidence of Gray Mold Decay During Postharvest Storage of Fragaria Chiloensis Fruit[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(7): 1420—1437.
- [19] 崔席席, 李富军, 张新华, 等. 茉莉酸甲酯调控果蔬采后品质的机制及应用研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 304—311.
CUI Xi-xi, LI Fu-jun, ZHANG Xin-hua, et al. Advances in the Mechanism and Application of Methyl Jasmonate in Regulating Postharvest Quality of Fruits and Vegetables[J]. Food science, 2019, 40(13): 304—311.
- [20] GLOEACZ M, ROETS N, SIVAKUMAR D. Control of Anthracnose Disease via Increased Activity of Defence Related Enzymes in 'Hass' Avocado Fruit Treated with Methyl Jasmonate and Methyl Salicylate[J]. Food Chemistry, 2017, 234: 163—167.
- [21] LI X A, LI M L, WANG L, et al. Methyl Jasmonate Primes Defense Responses Against Wounding Stress and Enhances Phenolic Accumulation in Fresh-Cut Pi-

- taya Fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 145: 101—107.
- [22] KIM Ji-gang, LUO Ya-guang, TAO Yang, et al. Effect of Initial Oxygen Concentration and Film Oxygen Transmission Rate on the Quality of Fresh-cut Romaine lettuce[J]. *SciFood & Agric*, 2005, 85(10): 1622—1630.
- [23] GB 5009.8—2016, 食品安全国家标准《食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖含量的测定》[S].
GB 5009.8—2016, National Standard for Food Safety "Determination of Fructose, Glucose, Sucrose and Maltose Content in Food"[S].
- [24] 姚尧, 张爱琳, 钱卉苹, 等. 不同气调贮藏条件对早酥梨采后生理品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(11): 291—296.
YAO Yao, ZHANG Ai-lin, QIAN Hui-ping, et al. Effects of Different Controlled Atmosphere Storage on Postharvest Physiological Quality of "Zaosu" Pear[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(11): 291—296.
- [25] 初丽君, 王琼, 王敏, 等. 不同厚度 PE 膜包装对鲜食石榴籽粒保鲜效果的影响[J]. *保鲜与加工*, 2017, 17(6): 20—26.
CHU Li-jun, WANG Qiong, WANG Min, et al. Effects of PE Film Packaging with Different Thickness on the Preservation Effect of Fresh Pomegranate Seeds[J]. *Fresh-Keeping and Processing*, 2017, 17(6): 20—26.
- [26] 张润光. 石榴采后果实品质劣变机理及其防控机制研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018: 235—321.
ZHANG Run-guang. Study on the Mechanism of Fruit Quality Deterioration and Its Prevention and Control Mechanism in Pomegranate After Harvest[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018: 235—321.
- [27] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 325—332.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 325—332.
- [28] DUAN Xue-wu, SU Xin-guo, YOU Yan-li, et al. Effect of Nitric Oxide on Pericarp Browning of Harvested Longan Fruit in Relation to Phenolic Metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(2): 571—576.
- [29] TOSHIHARU S, TORU T, HARUKO Y, et al. Inhibition of Ascorbate Peroxidase Under Oxidative Stress in Tobacco Having Bacterial Catalase in Chloroplasts[J]. *FEBS Letters*, 1998, 428(1): 109—120.
- [30] ENGEL N, SCHMIDT M, LUTZ C, et al. Molecular Identification, Heterologous Expression and Properties of Light-insensitive Plant Catalases[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2006, 29(4): 265—282.
- [31] LEON J, LAWTON M A, RASKIN I. Hydrogen Peroxide Stimulates Salicylic Acid Biosynthesis in Tobacco[J]. *Plant Physiology*, 1995, 108(4): 168—185.