

文章编号: 1674-7054(2016)02-0215-05

外源乙烯对“橡皮化”番木瓜果实品质及软化的影响

郭子娟, 曾 凤, 李 雯

(海南大学 园艺园林学院, 海口 570228)

摘 要: 笔者以8成熟‘日升’木瓜果实为材料, 研究经1-MCP($1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)处理, 发生“橡皮化”的果实, 在不同贮藏时间(10、20、30 d), 用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙烯利溶液处理, 其贮藏品质及软化等相关生理影响。结果表明, 与1-MCP处理相比, 不同时间的外源乙烯处理均可在一定程度上使果实硬度下降, 促进果肉中果胶的降解, 这与外源乙烯处理促进了果实内切-4- β -木聚糖酶、 β -半乳糖苷酶的活性有重要关系; 而果实中纤维素和木质素含量的增加与贮藏期果实水分丢失关系密切。综合3种时间外源乙烯处理对各指标的影响, 1-MCP + (20 d) ETH处理对果实“橡皮化”现象的缓解效果最佳。

关键词: 番木瓜; 乙烯利; 果实软化; 橡皮化

中图分类号: S 667.9

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2016.02.013

番木瓜(*Carica papaya* L.) 又名万寿果、乳瓜, 是热带和亚热带地区常种的肉质草本植物, 为典型的呼吸跃变型果实, 采后短时间内转色、软化、腐烂^[1-3]。采用新型果蔬保鲜剂1-Methylcyclopropene(1-MCP, 1-甲基环丙烯)可有效延缓番木瓜果实的软化和衰老, 延长其贮藏寿命, 在园艺产品采后贮藏保鲜领域具有良好的应用效果和前景^[4]。但‘日升’番木瓜经 $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP处理后, 出现“橡皮化”现象^[5], 到贮藏后期亦不能软化, 且食之无味, 缺少其应有的口感和风味。研究发现, 与对照果实相比, 1-MCP处理后果实中的原果胶无法正常降解, 纤维素与木质素的含量在贮藏过程中无明显下降, 且果实中的细胞壁降解酶, 如多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)、纤维素酶(cellulase, Cx)、 β -半乳糖苷酶(beta-galactosidase, β -Gal)、内切-4- β -木聚糖酶(endo-4- β -xylanase, endo-4- β -Xyl)在贮藏期的活性均被显著抑制。这些与番木瓜果实后熟软化相关的生理指标的改变, 是导致果实出现“橡皮化”现象的主要原因。针对1-MCP引起的这种不良效果, 笔者研究了“橡皮化”番木瓜果实对外源乙烯的反应, 即外源乙烯处理后果实品质和软化相关物质及酶活性的变化, 为揭示番木瓜果实“橡皮化”现象的本质, 阐明1-MCP与乙烯之间的相互关系提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料 采收8成熟的‘日升’番木瓜后立即运回实验室, 挑选出无机械损伤、大小均匀一致的果实, 并剪留0.5 cm长果柄。先用 $1.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的次氯酸钠溶液浸洗10 min, 取出晾干后再用杀菌剂(施宝功)浸洗5 min, 晾干至果柄皱缩备用。

1.2 实验处理 称取1-MCP粉末, 溶于少量蒸馏水中, 室温条件下密闭熏蒸(处理浓度: $1 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$)果实20 h。将果实用0.02 mm厚的PE保鲜袋包装, 每袋3个果实, 轻绑袋口, 放置于15℃, RH为85%~90%智慧人工气候箱中贮藏。果实贮藏至第10、20、30天时分别取出1/3果实, 用 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乙烯利(ETH)溶液处理3 min, 密闭熏蒸24 h后, 用保鲜袋包装贮藏于25℃智慧人工气候箱中贮藏, 每3 d取样测定1次, 每个处理重复3次。

收稿日期: 2016-01-17

基金项目: 国家自然科学基金(31260495)

作者简介: 郭子娟(1989-), 女, 海南大学园艺园林学院2013级硕士研究生. E-mail: zijuan828@sina.com

通信作者: 李雯(1967-), 女, 教授, 主要从事果实采后贮藏研究. E-mail: liwen9-210@163.com

1.3 测定内容与方法 用 FHM-1 果实硬度计测定番木瓜果实的硬度; 用咔唑比色法测定果肉中果胶含量^[5]; 纤维素含量参照 Lazan H. 等的方法测定^[6-8]; 木质素含量参照陈郭刚等的方法测定^[9]; 内切-1,4-木聚糖酶的活性参照 Siwaporn Thumdee 等的方法测定^[10]; β -半乳糖苷酶活性参照 Siwaporn Thumdee 等的方法测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 外源乙烯处理对果实硬度的影响 果实硬度是衡量果实成熟衰老的重要指标。由图 1 可以看出, 在果实贮藏期, 仅 1-MCP 处理的果实其硬度无明显变化, 而 3 个 1-MCP + ETH 处理组的果实的硬度随着贮藏时间的延长逐渐下降。1-MCP 处理组果实硬度维持在 $0.96 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 左右; 1-MCP + (10 d) ETH, 1-MCP + (20 d) ETH, 1-MCP + (30 d) ETH 组处理果实贮藏末期 (12 d) 的硬度较单独 1-MCP 处理下降了 0.069, 0.072, 0.078 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 3 组处理均与 1-MCP 处理组间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 外源乙烯处理后贮藏 6 d 的结果表明, 不同时间用外源乙烯处理“橡皮化”番木瓜, 可在一定程度上促进果实硬度的下降。

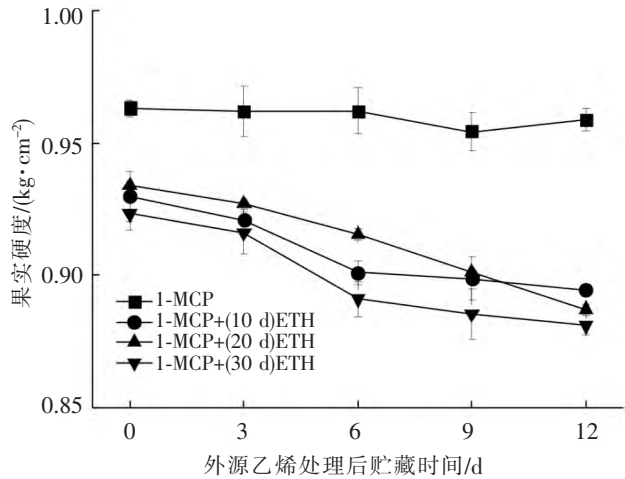


图 1 乙烯利处理对“橡皮化”番木瓜果实硬度的影响
Fig.1 Effects of ethylene on firmness of rubbery papaya fruit

2.2 外源乙烯处理对果实结构物质的影响

2.2.1 对果胶含量的影响 由图 2(A) 可见, 1-MCP 处理组果实原果胶含量贮藏期内无明显下降; 1-MCP + (10 d) ETH, 1-MCP + (20 d) ETH, 1-MCP + (30 d) ETH 处理组果胶含量均逐渐下降, 其中 1-MCP + (10 d) ETH, 1-MCP + (20 d) ETH 处理果实原果胶含量在 0 ~ 3 d 内迅速下降后逐渐缓慢下降, 1-MCP + (30 d) ETH 处理果胶含量在整个贮藏期均匀缓慢下降; 3 组外源乙烯处理组果实原果胶含量贮藏期内分别下降 0.33%, 0.38%, 0.20%, 下降率分别为 0.817%, 0.824%, 0.401%。由图 2(B) 可看出, 与 1-MCP 处理相比, 3 组 1-MCP + ETH 处理的果实可溶性果胶的含量随着贮藏时间的延长逐渐增加。1-MCP + (10 d) ETH, 1-MCP + (20 d) ETH, 1-MCP + (30 d) ETH 3 组处理果实的可溶性果胶的含量在第 9 天时可溶性果胶的含量分别为 0.794%, 0.925%, 0.589%, 与 1-MCP 处理组之间存在显著差异 ($P < 0.05$), 整个贮藏期分别增加了 0.489%, 0.621%, 0.328%。结果表明, “橡皮化”果实不同时间经外源乙烯处理均能促进果肉中原果胶降解, 水溶性果胶含量增加, 且以 1-MCP + (20 d) ETH 处理效果最好。

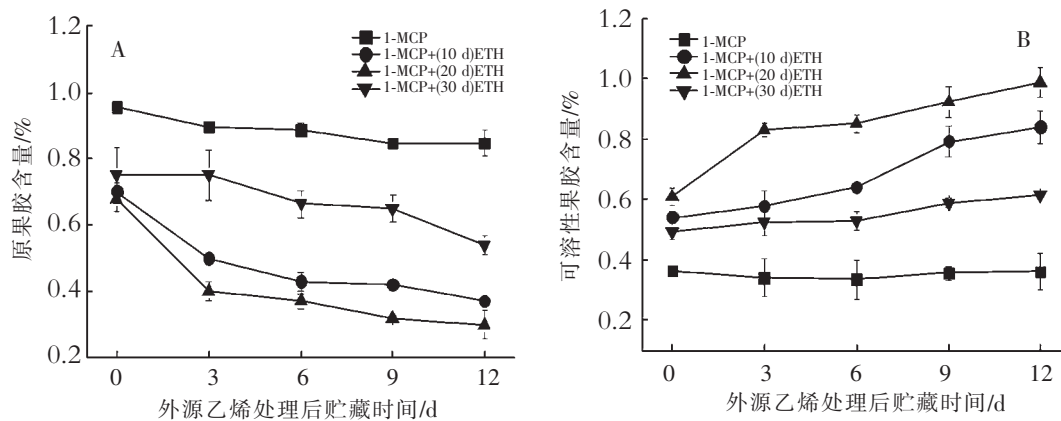


图 2 乙烯利处理对“橡皮化”番木瓜果实果胶含量的影响
Fig.2 Effects of ethylene on content of pectin of rubbery papaya fruit

2.2.2 对纤维素及木质素含量的影响 木质素与纤维素含量与果蔬的感官品质关系密切,对果实品质有很大影响。由图3可看出,不同处理组果实的纤维素和木质素含量均随贮藏时间的延长逐渐增加。1-MCP, 1-MCP+(10 d) ETH, 1-MCP+(20 d) ETH和1-MCP+(30 d) ETH 4组处理果实中纤维素含量在贮藏期分别上升了1.09, 1.389, 1.047和0.556 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 木质素分别上升了0.367, 0.509, 0.440和0.448 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 第6天时4组处理果实纤维素含量分别为5.998, 6.398, 6.768, 7.315 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 木质素含量分别为2.698, 2.855, 3.009, 3.101 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。贮藏期内外源乙烯处理并未使番木瓜果实中纤维素与木质素逐渐分解,这可能是随着贮藏时间的延长,果实逐渐脱水造成的。

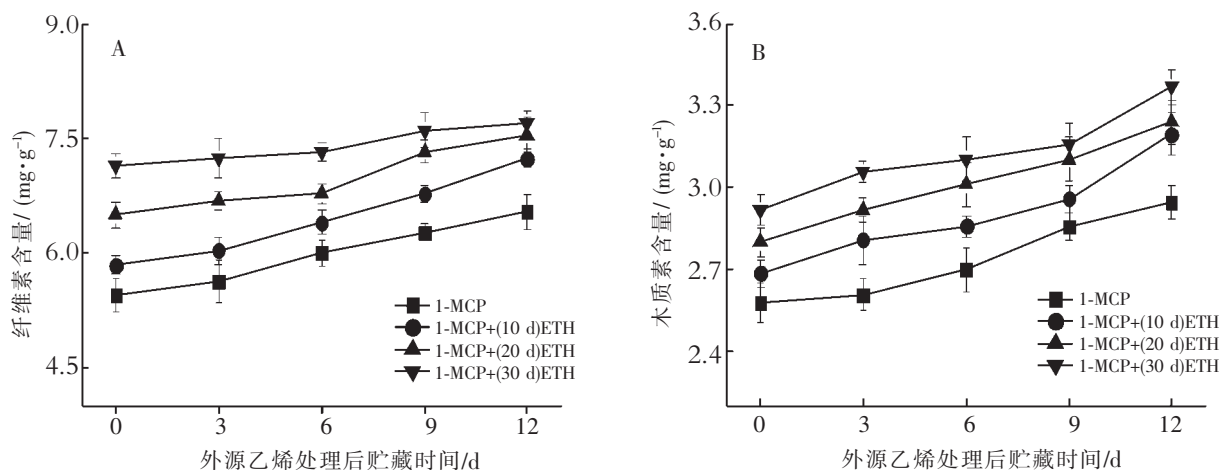


图3 乙烯处理对“橡皮化”番木瓜果实纤维素和木质素含量的影响
Fig.3 Effects of ethylene on content of cellulose and lignin of rubbery papaya fruit

2.3 外源乙烯处理对果实软化酶活性的影响 果实的软化与一系列细胞壁降解酶活性的变化密切相关,内切-1,4-木聚糖酶、 β -半乳糖苷酶是重要的细胞壁降解酶之一。由图4(A)可看出,1-MCP处理组果实endo-1,4-Xyl活性在贮藏期无明显变化,而3组1-MCP+ETH处理果实endo-1,4-Xyl活性缓慢上升,且1-MCP+(10 d) ETH处理组在6 d时出现高峰,1-MCP+(20 d) ETH和1-MCP+(30 d) ETH处理组果实该酶的活性高峰出现在第3天,峰值分别为63.359, 76.822, 70.352 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;第6天时1-MCP, 1-MCP+(10 d) ETH, 1-MCP+(20 d) ETH和1-MCP+(30 d) ETH处理组endo-1,4-Xyl活性分别为53.358, 63.358, 75.118, 69.578 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,处理间差异显著($P < 0.05$)。结果表明,采用外源乙烯处理“橡皮化”番木瓜果实,可明显促进endo-1,4-Xyl活性的升高,其中以20 d处理效果最好。

由图4(B)可看出,外源乙烯对“橡皮化”番木瓜果实 β -半乳糖苷酶活性的影响因处理时间不同而异,与1-MCP处理相比,1-MCP+(20 d) ETH和1-MCP+(30 d) ETH处理果实 β -Gal活性呈峰型变化,活性高峰均出现在第9天,其活性值分别为25.58, 24.86 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,而1-MCP+(10 d) ETH处理 β -Gal活性无明显上升,与1-MCP处理间不存在显著性差异($P > 0.05$)。结果说明,1-MCP+(20 d) ETH处理对番木瓜果实“橡皮化”现象的缓解效果最好。

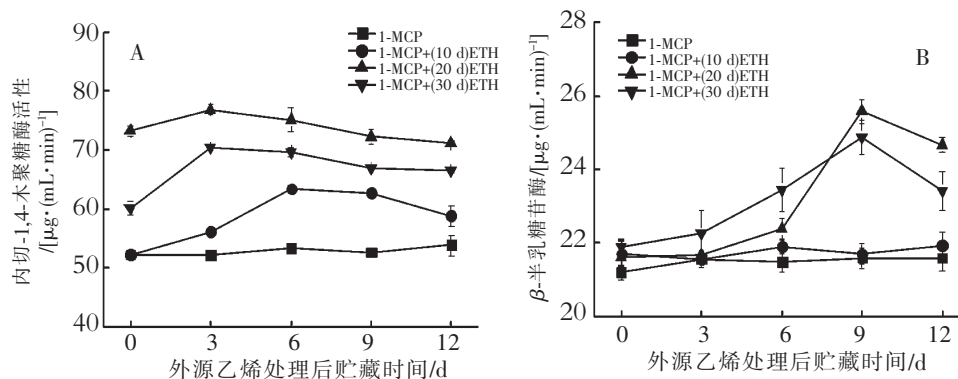


图4 乙烯处理对“橡皮化”番木瓜果实内切-1,4-木聚糖酶和 β -半乳糖苷酶活性的影响
Fig.4 Effects of ethylene on endo-1,4-xylanase and β -galactosidase activities of rubbery papaya fruit

3 讨 论

1-MCP 通过与乙烯竞争受体, 阻断乙烯与受体结合, 显著抑制乙烯诱导的成熟生理生化反应, 实现对果蔬的保鲜效果。1-MCP 的这种竞争性抑制作用可通过增加果实贮藏环境中乙烯的浓度得到缓解, 随着果实贮藏时间的延长, 果实逐渐产生内源乙烯和新的乙烯受体, 1-MCP—乙烯受体复合体逐步解离, 并恢复对乙烯的敏感性。结合贮藏环境中大量的乙烯利, 果实的后熟软化的一系列生理生化反应也将必然发生。

关于 1-MCP 与乙烯的相互作用在不同果实上均有研究, 且在不同果实上表现不同。经 1-MCP 处理后的苹果利用外源乙烯处理, 1-MCP 依旧发挥作用, 到贮藏后期苹果也未变软, 而用外源乙烯处理已经过 1-MCP 处理的草莓, 外源乙烯可快速发挥作用, 使果实硬度短期内下降^[11]; 经 1-MCP 处理后的猕猴桃在出库后利用乙烯利处理, 与对照相比延长了货架期, 保持了果实良好的外观品质、果实风味和营养价值^[12]; 也有在果实启动成熟后利用 1-MCP 延长果实贮藏期的报道, Hlwasa 等曾利用 1-MCP 处理已经启动软化的梨果实, 发现 1-MCP 同样可抑制梨果实硬度进一步的下降, 至采收第 17 天硬度才有明显下降, 而对照果实采后第 4 天果实就迅速软化^[13]。

笔者根据上述理论针对番木瓜果实的“橡皮化”现象, 在贮藏期间通过利用外源乙烯处理促进已发生“橡皮化”的番木瓜果实后熟软化, 从而改变这一现象。研究结果表明, 与单独 1-MCP 处理相比, 1-MCP + 外源乙烯处理可促进果肉中原果胶的水解, 并增加可溶性果胶的含量; 使细胞壁降解酶之一的内切- β -木聚糖酶的活性随着处理后贮藏时间的延长逐渐上升, 且因外源乙烯处理时间的不同而表现出差异, 果实果肉中 β -半乳糖苷酶的活性在外源乙烯处理后, 10 d 处理的无明显变化, 而 20、30 d 处理酶的活性呈明显的峰型变化, 峰值分别达到了 25.58 和 24.86 $\mu\text{g} \cdot (\text{mL} \cdot \text{min})^{-1}$; 细胞壁降解酶活性的升高、细胞壁结构物质果胶的水解使“橡皮化”番木瓜果实的硬度在外源乙烯处理后逐步下降, 使果实的“橡皮化”现象得到缓解。

从基因分子水平分析 1-MCP 处理导致番木瓜果实发生“橡皮化”的原因, 可能是 1-MCP 在一定水平上抑制 1 个或多个细胞壁降解酶基因家族中的单个或多个基因在果实后熟软化过程中的转录水平, 使基因的表达水平较对照果实处在 1 个较低的水平, 从而影响细胞壁降解酶的活性, 使其在果实后熟过程中无法促进细胞壁结构物质的崩解, 果实无法软化。

参考文献:

- [1] 李文文, 黄铭慧, 邢浩, 等. 1-MCP 对采后番木瓜果实软化相关酶活性的影响[J]. 食品科技, 2014, 39(9): 51–55.
- [2] 孙思胜, 贾志伟, 高豪杰, 等. 不同成熟度的番木瓜果实对采后 1-MCP 处理的反应[J]. 食品科技, 2012, 37(6): 48–52.
- [3] 邵远志, 孙思胜, 贾志伟, 等. 1-MCP 和外源乙烯处理对番木瓜果实贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(2): 3–7.
- [4] 高培吉, 刘垂珩. 研究纤维素酶活性时测定还原糖方法的选择[J]. 植物生理学通讯, 1985(2): 51–54.
- [5] 胡笑安, 谭兴和, 张喻, 等. 柑橘果皮果胶含量与性质的测定方法[J]. 农产品加工, 2011(9): 94–103.
- [6] Zainon Mohd. Ali, Lieng-Hong Chin, Muthusamy Marimuthu, et al. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 33: 181–192.
- [7] Zainon Mohd Ali, Lieng-Hong Chin, Hamid Lazan. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits[J]. Plant Science, 2004, 167(2): 317–327.
- [8] Zainon Mohd Ali, Lieng-Hong Chin, Muthusamy Marimuthu, et al. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 33(2): 181–192.
- [9] 陈国刚, 刘琦, 任雷厉, 等. 库尔勒香梨锈斑形成过程中果皮木质素和纤维素含量的变化研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 356–359.
- [10] Siwaporn Thumdee, Ashariya Manenoi, Nancy J. Chen, et al. Papaya Fruit Softening: Role of Hydrolases. Tropical Plant Biology, 2010(3): 98–109.
- [11] 李富军. 1-MCP 对几种果实衰老的效应及调控机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004: 19–81.
- [12] 王胜男, 任艳, 任小林. 1-MCP 处理对猕猴桃果实货架期品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(8): 137–141.
- [13] Kyoko Hlwasa, Yuichi Klnugase, Satomi Amano, et al. Ethylene is required for both the initiation and progression of soften-

- ing in pear (*Pyrus communis* L.) fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(383): 771 – 779.
- [14] 李俊俊,李文文,邵远志,等. 1-MCP 对香蕉、芒果和番木瓜果实贮藏品质影响的比较研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 46 – 51.
- [15] 吴雪莹,王宝刚,曾凯芳. 1-MCP 处理对李果实采后生理和贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2015, 36(1): 97 – 102.
- [16] 王愈,李里特,郝建雄. 贮藏山楂果胶酶活性及果胶含量的变化规律[J]. 农产品加工, 2006(2): 11, 12, 15.
- [17] 汪峰,郑永华,张兰,等. 1-MCP 对冷藏食荚豌豆衰老及品质的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30(2): 167 – 172.
- [18] 程杰山,沈火林,杨学研,等. 不同硬度辣椒品系果实组织结构观察与细胞壁物质含量测定[J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 150 – 156.
- [19] Chung Keat Tan, Zainon Mohd Ali, Ismanizan Ismail, et al. Effects of 1-Methylcyclopropene and modified atmosphere packing on the antioxidant capacity in pepper ‘Kulai’ during low-temperature storage[J]. The Scientific World Journal, 2012, (142): 23 – 31.
- [20] Cristian Balbontín, Carlos Gaete-Eastman, Mireya Vergara, et al. Treatment with 1-MCP and the role of ethylene in aroma development of mountain papaya fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43: 67 – 77.
- [21] María Alejandra Moya-León, Mario Moya, Raúl Herrera. Ripening of mountain papaya (*Vasconcea pubescebs*) and ethylene dependence of some ripening events[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34: 211 – 218.
- [22] Zainon Mohd Ali, Lieng-Hong Chin, Hamid Lazan. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits[J]. Plant Science, 2004, 167: 317 – 327.

Effects of Ethephon Treatments on Storage Quality and Softening of ‘Rubbery’ Papaya Fruit

GUO Zijuan, ZENG Feng, LI Wen

(College of Horticulture and Landscape Achitecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract ‘Sunrise’ papaya fruits were pre-treated by 1-methylcyclopropene (1-MCP) for 10, 20, and 30 days and then treated with ethephon at $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ to observe their storage quality and softening changes as well as their ‘rubbery’ texture. As compared with the 1-MCP treatment, the 1-MCP + ETH treatments can promote drop in fruit firmness to some extent, and accelerated the degradation of pectin, which is due to the treatment of ethephon improving Endo-1,4-xylanase and Beta – galactosidase activities. The increase of cellulose and lignin content was closely related to the water loss during storage. Considering the effects of ethephon treatment at different time on measurement indicators, the 1-MCP + (20 d) ETH treatment produced the best effect on alleviation of the ‘rubbery’ phenomenon of papaya fruits.

Keywords: papaya; ethephon; fruit softening; rubbery