



DOI: 10.13364/j.issn.1672-6510.20230164

数字出版日期: 2024-04-19; 数字出版网址: <http://link.cnki.net/urlid/12.1355.N.20240419.1329.001>

1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激对青皮无花果 采后软化的影响

代理响¹, 何宛宸¹, 何洪鑫¹, 段慧敏¹, 侯双迪^{1,2,3}, 刘霞^{1,2}

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 天津鲜食原品生物科技有限公司, 天津 300450;
3. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品
采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 以山东威海青皮无花果为实验材料, 分别研究了 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)处理、高浓度 CO₂ 短时应激处理(短激)、1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激对果实采后软化等贮藏品质的调控规律。结果表明: 与对照组(CK)相比, 1-MCP 和高浓度 CO₂ 单独与两者协同处理都可抑制青皮无花果采后呼吸强度, 降低多聚半乳糖醛酸酶(PG)、果胶甲酯酶(PME)、纤维素酶(Cx)、 β -葡萄糖苷酶(β -Glu)的酶活性, 维持果实色泽和硬度, 延缓果实软化和降低腐烂率。其中, 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激处理效果最好, 贮藏 20 d 后, 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激处理组硬度为 1.74 N, 原果胶含量比对照组高 38.4%, 果胶甲酯酶和可溶性果胶仅为对照组的 79% 和 80%。本研究为青皮无花果采后抗软化提供了理论依据。

关键词: 1-甲基环丙烯(1-MCP); CO₂; 青皮无花果; 果实软化

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2024)05-0031-06

Effects of 1-MCP Combined with High Concentration CO₂ Short Stimulation on Postharvest Softening of Qingpi Figs

DAI Lixiang¹, HE Wanchen¹, HE Hongxin¹, DUAN Huimin¹, HOU Shuangdi^{1,2,3}, LIU Xia^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Tianjin Fresh Food Original Biological Technology Co., Ltd., Tianjin 300450, China;

3. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: In this study, with the use of Qingpi figs of Weihai, Shandong province as the experimental material, the combined effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and high concentration of CO₂ short treatment on storage quality of Qingpi figs was investigated. The results showed that compared with the control (CK) group, not only 1-MCP and high concentration of CO₂ alone but also combined treatment could inhibit the postharvest respiration intensity, fruit softening and decay rate of Qingpi figs, decreased the content of polygalacturonase (PG), the enzyme activities of pectin methylesterase (PME), cellulase (Cx) and β -Glucosidase (β -Glu), maintain fruit color and firmness. Among them, the combined treatment possessed the best effect. After 20 d storage, the samples of combined treatment presented 1.74 N of the firmness. The protopetin content was 38.4% higher than that of the CK group. Meanwhile, the pectin methylesterase and water-soluble pectin of samples with combined treatment were only 79% and 80% of CK group. Therefore, the study has provided theoretical basis for anti-softening technology for Qingpi fig.

Key words: 1-methylcyclopropene (1-MCP); CO₂; Qingpi fig; fruit softening

收稿日期: 2023-09-05; 修回日期: 2023-12-06

作者简介: 代理响(1998—), 男, 安徽人, 硕士研究生; 通信作者: 刘霞, 教授, liuxia831930@163.com

引文格式:

代理响,何宛宸,何洪鑫,等. 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激对青皮无花果采后软化的影响[J]. 天津科技大学学报, 2024, 39(5): 31-36.

DAI L X, HE W C, HE H X, et al. Effects of 1-MCP combined with high concentration CO₂ short stimulation on postharvest softening of qingpi figs[J] Journal of Tianjin university of science & technology, 2024, 39(5): 31-36.

无花果(*Ficus carica* L.)属于桑科榕属植物,是世界上种植最早的果树之一,目前主要在我国山东威海和新疆南部等地栽培^[1]。2019年,全国无花果种植面积达 270 km²,鲜果产量约 50 万 t^[2],其果肉味道鲜美,富含维生素、氨基酸、黄酮和多糖等生物活性物质^[3]。无花果属于典型呼吸跃变型果实^[4],采后放置 2~3 d 后便开始变软腐烂^[5],其不耐储运、货架期短^[6]等缺点已严重制约我国无花果产业发展。

硬度是无花果的重要指标之一,也是影响果实品质的主要因素。果实采后软化主要与细胞壁中多糖组分的变化相关,如果胶、纤维素、半纤维素等^[7]。王磊^[8]对无花果采后生理变化研究发现,无花果果实的硬度与可溶性果胶(soluble pectin, SP)含量以及多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)、果胶甲酯酶(pectin pectylhydrolase, PME)、纤维素酶(Cx)的酶活性呈显著负相关,与原果胶(protopectin, PP)含量呈显著正相关。马佳佳等^[9]对无花果采后品质研究发现,果实使用气调处理可延缓果实硬度下降,较好地保持了原果胶含量,抑制了可溶性果胶含量的上升。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种乙烯竞争性抑制剂,通过与乙烯受体结合抑制果蔬乙烯生成系统 II 的乙烯生成,从而阻断乙烯反馈调节的生物合成,抑制乙烯发挥生理效应^[10-11],可有效降低呼吸跃变型果蔬呼吸强度,延缓果实成熟衰老、软化,维持果实品质^[12]。CO₂可降低呼吸强度,推迟或抑制果蔬呼吸跃变高峰,对许多新鲜果蔬采后储存或包装中呼吸速率、能量代谢、乙烯生成和生理变化产生影响^[13]。Chang 等^[14]研究发现,90% CO₂处理可抑制桃子的 PG、果胶裂解酶(pectatylases, PL)等软化相关酶的酶活性,以及减少果实中乙烯的生成,可以显著抑制桃子软化。Besada 等^[15]研究指出,95% CO₂短时应激处理柿子,可缓解果实的冷害症状以及增强活性氧清除酶的酶活性,减少果胶降解和增加果实抗逆性,延缓果实的软化和腐烂。

有研究^[16]将自发气调与 1-MCP 复合处理应用于无花果,以保持无花果采后的品质并延长其贮藏期,但关于高浓度 CO₂短时应激处理(短激)与 1-MCP 复合用于无花果果实的采后抗软化却鲜有报道。本研

究以青皮无花果为实验材料,研究 1-MCP、CO₂短激及 1-MCP 协同 CO₂短激处理对果实采后生理变化和软化调控规律,为改进和完善无花果贮藏保鲜技术提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

青皮无花果,2023年9月5日在山东威海无花果果园采摘,放置于塑料泡沫包装盒,经冷藏车第二日陆运回校,当天挑选八成熟(果肉较硬,果面全部着色,绿色或浅绿色)^[17]、大小均匀、无病虫害和损伤的新鲜果实。

果蔬保鲜专用 PE 袋(30 cm × 40 cm,厚度 0.15 mm),市售;1-MCP 粉剂,山东维特生物科技有限公司。

TGL-16M 型冷冻离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;PL203 型电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Check Point 3(O₂/CO₂)型顶空气体成分分析仪,丹圣(上海)贸易有限公司;GXH-3051H 型果蔬呼吸测定仪,北京均方理化科技研究所;WR-18 型精密色差仪,深圳市威福光电科技有限公司;EPOCH-1908028 型酶标仪,美国伯腾仪器有限公司。

1.2 实 验 方 法

1.2.1 样 品 预 处 理

挑选出大小一致、单颗质量 60~65 g、新鲜无霉变、无机械损伤的无花果。经前期经单因素实验确定 1-MCP 最佳含量为 1.25 μL/L,高浓度 CO₂最佳处理时长为 30 min。

将挑选的无花果置于(1±1)℃条件下预冷 24 h,然后分为 4 组置于预冷后气调瓶内:对照组(CK)不进行任何处理;1.25 μL/L 1-MCP 熏蒸 24 h;80% CO₂处理 30 min;80% CO₂处理 30 min 后通风 2 min,再用 1.25 μL/L 1-MCP 熏蒸 24 h。将以上 4 组无花果,每组 150 颗果实平均分成 3 份进行平行实验,分别装入开圆孔的果蔬保鲜专用袋(每隔 10 cm 开口直径 0.5 cm), (1±1)℃贮藏,以 4 d 为一个周期测定相关

指标,贮藏时间为 20 d。

1.2.2 色差的测定

随机选取 5 颗无花果,使用精密色差仪测定色度值 L^* 、 a^* 、 b^* ,总色差 ΔE 按照式(1)计算。 ΔE 值越大,代表色泽差异越明显。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

1.2.3 腐烂率的测定

参照 Villalobos 等^[18]的方法,若肉眼观察无花果出现表皮开裂、果目开裂、病菌感染黑斑、酸败等现象,均视为腐烂果实。按照式(2)计算腐烂率(R)。

$$R = N_1 / N \times 100\% \quad (2)$$

式中: N 为果实总数, N_1 为腐烂果实数。

1.2.4 呼吸强度测定

使用 JFQ-3150H 型果蔬呼吸测定仪测定呼吸速率(v),随机取质量接近的果实,重复测定 3 次取平均值,按照式(3)计算呼吸速率。

$$v = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot V \cdot M \times 1000}{V_m \cdot m \cdot t} \quad (3)$$

式中: v 为呼吸速率,mg/(kg·h); φ_1 为空白实验呼吸罐中 CO₂ 含量,%; φ_2 为测定后呼吸罐中 CO₂ 含量,%; V 为呼吸罐内总体积,L; M 为 CO₂ 的摩尔质量,g/mol; V_m 为测定温度下 CO₂ 的摩尔体积,L/mol; m 为测定果实的质量,kg; t 为测定时果蔬呼吸时间,h。

1.2.5 硬度测定

使用 GY-4 型果实硬度计(3.5 mm 探头)测定果实硬度。

1.2.6 原果胶和可溶性果胶含量的测定

参照曹建康等^[19]的方法测定原果胶(PP)和可溶性果胶(SP)的含量。

1.2.7 酶活性的测定

多聚半乳糖醛酸酶(PG)的酶活性参照刘耀娜等^[20]的方法进行测定。

纤维素酶(Cx)的酶活性测定参照曹建康等^[19]的方法。

用 1.5 mL 10 g/L 水杨苷溶液代替 1.0 mL 50 mmol/L 乙酸-乙酸钠缓冲液(pH 5.5)和 0.5 mL 10 g/L 多聚半乳糖醛酸溶液,在 585 nm 波长处测定显色液吸光度, β -葡萄糖苷酶(β -Glu)的酶活性测定的其他步骤与 PG 的酶活性测定相同。

果胶甲酯酶(PME)酶活性的测定参照 Hagerman 等^[21]的方法。

1.3 数据处理

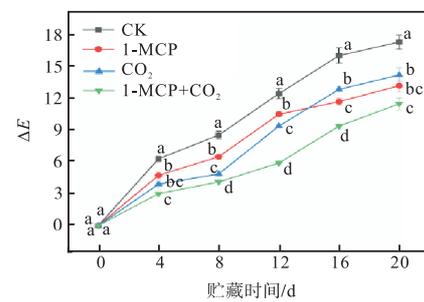
各指标平行测定 3 次,结果以“平均值 \pm 标准

差”表示,数据统计分析采用 SPSS 22.0 统计软件,差异显著性检验采用邓肯多重比较法,不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

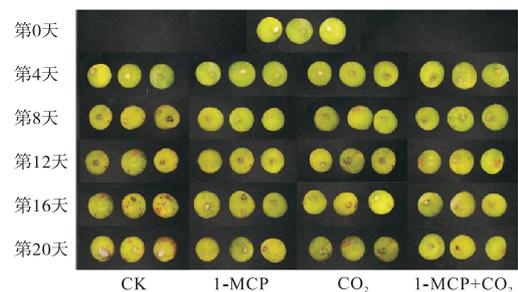
2 结果与分析

2.1 不同处理对无花果色差的影响

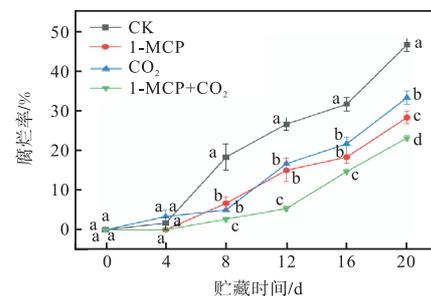
果实色泽可以直观反映果实的新鲜程度^[22], ΔE 越大表明贮藏一段时间后与贮藏初期相比色泽差异越大,新鲜程度越低。不同处理对无花果 ΔE 、外观品质和腐烂率的影响如图 1 所示。



(a) ΔE



(b) 外观品质



(c) 腐烂率

图 1 不同处理对无花果 ΔE 、外观品质和腐烂率的影响
Fig. 1 Effects of different treatments on ΔE , appearance quality and decay rate of figs

由图 1(a)可知,随着贮藏时间的延长,无花果的色差值 ΔE 呈现不断上升的趋势,说明果实新鲜程度不断降低。在贮藏至 20 d 时,CK、1-MCP、CO₂、1-

MCP + CO₂ 组的色差分别上升至 17.33、13.21、14.23、11.50。其中, CO₂ 和 1-MCP 处理在贮藏期间抑制了 ΔE 的上升,但在贮藏前期 CO₂ 处理效果优于 1-MCP 处理,在贮藏中后期 CO₂ 组 ΔE 上升速率大于 1-MCP 组。贮藏结束时 1-MCP + CO₂ 组 ΔE 显著低于其余 3 组 ($P < 0.05$), 比 CK 组降低了 33.6%。

由图 1(b)和图 1(c)可以看出,贮藏到 20 d 时,对照组已出现大规模褐斑并出现霉变,腐烂率已达到 48%,而 1-MCP + CO₂ 组腐烂率仅为 20%,并仍保持良好色泽与状态,表明 1-MCP + CO₂ 处理可减少果实的霉变腐烂并对无花果色泽具有良好的调控作用。

2.2 不同处理对无花果呼吸强度的影响

果实呼吸代谢旺盛会加快自身营养物质消耗,控制果实呼吸速率可延长果蔬贮藏期^[23]。不同处理对无花果呼吸强度的影响如图 2 所示。由图 2 可知,不同处理方式的无花果果实呼吸强度呈现先上升后下降的趋势,但是各组呼吸高峰值和达到呼吸高峰的贮藏时间不同。CK 组在贮藏 4 d 达到呼吸高峰,峰值为 94.54 mg/(kg·h),而 1-MCP + CO₂ 处理将呼吸高峰推迟到第 12 天,呼吸高峰下降到 78.24 mg/(kg·h),峰值相较于 CK 组下降了 17.2%。这说明无花果属于呼吸跃变型果实^[24], 1-MCP + CO₂ 处理能有效抑制果实呼吸强度,延缓呼吸高峰的出现,保持果实的营养成分,减缓果实贮藏期间后熟衰老的进程^[25]。

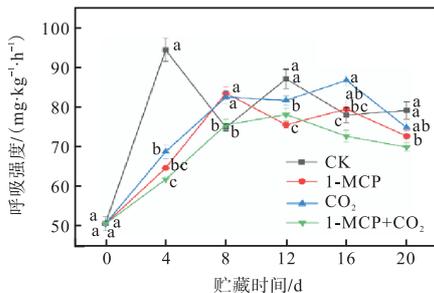


图 2 不同处理对无花果呼吸强度的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on respiration intensity of figs

2.3 不同处理对无花果硬度的影响

果实的硬度是衡量果实品质和果实成熟软化的重要指标。不同处理对无花果硬度的影响如图 3 所示。由图 3 可知,无花果果实在贮藏过程中硬度迅速下降。在整个贮藏期间,1-MCP + CO₂ 组对果实硬度的维持显著优于其余 3 组 ($P < 0.05$)。CK 组硬度下降速率最快,仅为同时期 1-MCP + CO₂ 组(硬度为 1.74 N)的 74%。结果表明 1-MCP + CO₂ 处理可较好维持无花果果实硬度,从而提高果实的转运周期。

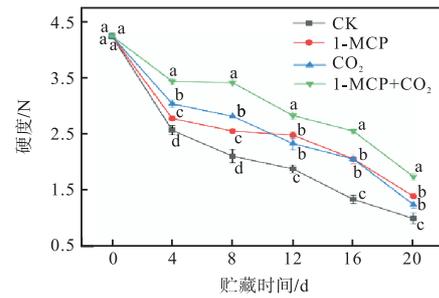
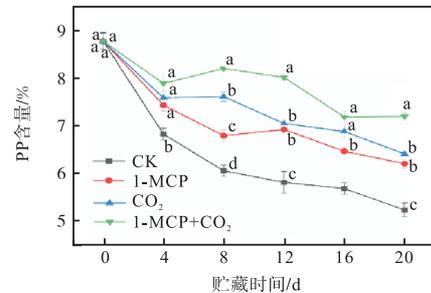


图 3 不同处理对无花果硬度的影响

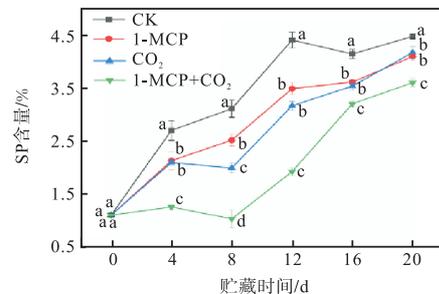
Fig. 3 Effects of different treatments on the firmness of figs

2.4 不同处理对无花果 PP 和 SP 含量的影响

果胶参与细胞壁分子间相互作用,主要存在于中间片层和初生细胞壁中,在果实后熟软化过程中,PP 被相关酶水解成 SP,导致果实硬度下降^[26]。不同处理对无花果 PP 和 SP 含量的影响如图 4 所示。



(a) PP 含量



(b) SP 含量

图 4 不同处理对无花果 PP 和 SP 含量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on PP and SP contents in figs

如图 4(a)所示,在贮藏期间各组 PP 含量呈现降低趋势。贮藏前 8 d 急速下降,1-MCP + CO₂ 组 PP 含量显著高于其余 3 组 ($P < 0.05$)。贮藏结束时,处理组 PP 含量均大于 CK 组,其中 1-MCP 组和 CO₂ 组 PP 含量差异不显著,1-MCP + CO₂ 组显著高于其余 3 组 ($P < 0.05$),PP 含量比 CK 组高 38.4%。如图 4(b)所示,各组无花果 SP 含量在贮藏期间呈上升趋势,于 20 d 达到峰值,1-MCP + CO₂ 组的 SP 含量为 CK 组的 80%,1-MCP + CO₂ 组 SP 含量显著低于其余 3

组 ($P < 0.05$), 说明无花果果实在采摘后, 贮藏前期果胶酶的酶活性增加, 果实成熟软化十分迅速, 这一现象与 Cui 等^[27]的研究结果一致。1-MCP + CO₂ 处理在贮藏过程中较好地抑制了 PP 的水解和 SP 含量的上升。这说明 1-MCP + CO₂ 处理对无花果的抗软化有良好效果。

2.5 不同处理对无花果 PG 酶活性的影响

PG 作为主要的细胞壁降解酶之一, 能作用于酯化的高半乳糖醛酸, 造成细胞壁结构的破坏, 从而使果实软化。PME 使果胶去甲酯化, 催化生成高半乳糖醛酸, 为 PG 提供反应底物^[28]。不同处理对无花果 PG 酶活性的影响如图 5 所示。贮藏 8 d, CK 组 PG 酶活性急速升高至 5.51 mg/(kg·h), 然后缓慢下降; 1-MCP 和 CO₂ 组贮藏期间差异不显著 ($P > 0.05$), 而 1-MCP + CO₂ 组 PG 酶活性在贮藏期间先出现略微下降后再上升, 贮藏 16 d 内酶活性显著低于其余处理组, 说明 1-MCP + CO₂ 处理有效抑制了无花果 PG 酶活性, 减缓细胞壁结构的破坏, 从而延缓果实软化。

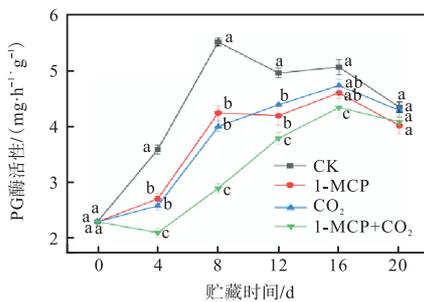


图 5 不同处理对无花果 PG 酶活性的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on PG enzyme activity of figs

2.6 不同处理对无花果 PME 酶活性的影响

PME 是一种以多种形式存在于组织内关系到果实质地优劣的重要水解酶。不同处理对无花果 PME 酶活性的影响如图 6 所示。

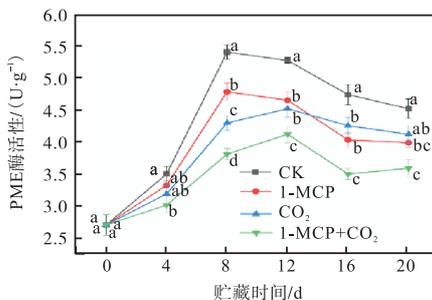


图 6 不同处理对无花果 PME 酶活性的影响

Fig. 6 Effects of different treatments on PME enzyme activity of figs

无花果采后 PME 酶活性随贮藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势, CK 组和 1-MCP 组在贮藏 8 d 达到峰值, 分别为 5.42 U/g 和 4.80 U/g, CO₂ 组和 1-MCP + CO₂ 组在 12 d 出现峰值, 分别为 4.53 U/g 和 4.13 U/g。在整个贮藏期间, 1-MCP + CO₂ 组 PME 酶活性始终处于较低水平, 且显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。这说明该处理能有效抑制 PP 在 PME 作用下发生的去酯化作用, 从而抑制 PG 的进一步水解 PP, 有效维持果实细胞间的黏合力, 从而维持果实硬度。贮藏 20 d 后, 1-MCP+CO₂ 组的 PME 仅为 CK 组的 79%。

2.7 不同处理对无花果 Cx 酶活性的影响

Cx 通过将纤维素和半纤维素水解成葡萄糖分子破坏细胞结构, 造成果实软化。不同处理对无花果 Cx 酶活性的影响, 如图 7 所示, 各组果实 Cx 酶活性整体呈现先上升后下降的趋势。1-MCP + CO₂ 组 Cx 酶活性在贮藏 8 d 急速下降至 5.05 mg/(kg·h), 与其余 3 组 Cx 酶活性差异显著 ($P < 0.05$); 推测是编码细胞壁降解酶的基因在高 CO₂ 处理后下调^[29], 降低了 Cx 酶活性^[30], 并由于 1-MCP 减少了乙烯的生成, 导致 Cx 酶活性进一步降低。至贮藏结束时, 1-MCP + CO₂ 组 Cx 酶活性始终处于较低水平, 说明 1-MCP + CO₂ 处理对果实 Cx 酶活性抑制效果较好, 可以有效减少细胞壁的降解, 维持果实纤维素含量, 缓解果实软化进程。

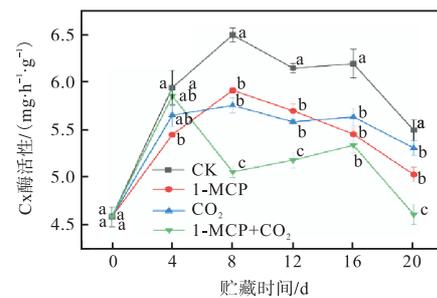


图 7 不同处理对无花果 Cx 酶活性的影响

Fig. 7 Effects of different treatments on Cx enzyme activity of figs

2.8 不同处理对无花果 β-Glu 酶活性的影响

β-Glu 是纤维素酶的重要组成部分, 与果实生长发育过程中细胞壁的松弛与加固有关。不同处理对无花果 β-Glu 酶活性的影响如图 8 所示, CK 组 β-Glu 酶活性先上升后下降, 并在第 12 天达到峰值 [3.56 mg/(kg·h)], 处理组酶活性呈先下降后上升最后再下降的趋势, 且酶活性均显著小于 CK 组 ($P < 0.05$)。这说明 1-MCP、CO₂ 和 1-MCP + CO₂ 都对无

花果 β -Glu 酶活性有抑制作用,其中 1-MCP + CO₂ 组抑制效果最明显。在整个贮藏期间,1-MCP + CO₂ 组的 β -Glu 酶活性均保持在较低水平,在第 16 天出现峰值时,比 CK 组低了 16.3%。这说明 1-MCP + CO₂ 处理能有效抑制 β -Glu 酶活性,从而进一步抑制细胞壁结构的破坏。

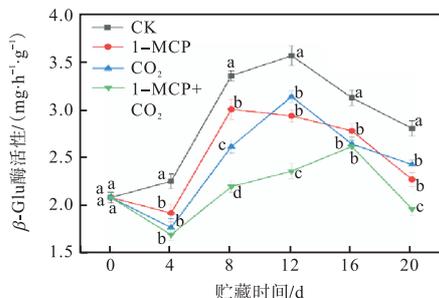


图 8 不同处理对无花果 β -Glu 活性的影响

Fig. 8 Effects of different treatments on β -Glu exzyme activity of figs

3 结 语

以山东威海青皮无花果为实验材料,分别研究了 1-MCP、高浓度 CO₂ 短激和 1-MCP 协同高浓度 CO₂ 短激对果实采后软化等贮藏品质的调控规律。结果表明:果实贮藏前期乙烯释放量增多、PG 和 PME 酶活性升高,促进 PP 向 SP 转化,使 PP 含量急速下降,导致果实快速软化,硬度下降;与 CK 组相比,单独 1.25 μ L/L 1-MCP、80% CO₂ 和 1-MCP + CO₂ 处理都具有抑制青皮无花果 PG、PME、纤维素酶和 β -葡萄糖苷酶的酶活性;1-MCP + CO₂ 处理方式抑制效果最好,不仅降低果实的腐烂率并保持原有的绿色,还维持了果实较高的硬度和果胶含量,保持了细胞壁结构的完整性,延缓了无花果采后软化进程,与 CK 组相比可延长果实贮藏期 4~8 d。因此,本研究结果为青皮无花果采后抗软化提供了可靠理论依据,对提高威海无花果产业和当地经济具有积极作用。

参考文献:

- [1] 王玉玲,潘一山,李晔. 波姬红无花果果干制作方法筛选[J]. 福建热作科技,2017,42(1):1-5.
- [2] 巴哈依丁·吾甫尔,胡西旦·买买提,任红松. 无花果的栽培特点与生物生态学特性[J]. 新疆农业科技,2020(1):22-24.
- [3] 余希成,卢俊,曹为民. 水溶性无花果多糖的微波提取技术[J]. 食品研究与开发,2009,30(9):19-23.
- [4] 王磊,张子德,张晓娜,等. 1-MCP 处理对无花果采后

乙烯生物合成代谢的影响[J]. 中国食品学报,2013,13(4):119-124.

- [5] 杜佳铭,郭晓宏,刘倩婷,等. 1-MCP 与 PE 保鲜膜处理对无花果贮藏特性的影响研究[J]. 食品研究与开发,2022,43(19):10-18.
- [6] IRFAN P K, VANJAKSHI V, PRAKASH M N K, et al. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life[J]. Postharvest biology and technology, 2013, 82: 70-75.
- [7] BRUMMELL D A, HARPSTER M H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants[J]. Plant molecular biology, 2001, 47(1/2):311-339.
- [8] 王磊. 无花果采后生理变化及其影响因素研究[D]. 保定:河北农业大学,2012.
- [9] 马佳佳,陆皓茜,隋思瑶,等. 气调对无花果采后品质及活性氧代谢的影响[J]. 保鲜与加工,2019,19(5):66-71.
- [10] SISLER E C, SEREK M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments[J]. Physiologia plantarum, 1997, 100(3):577-582.
- [11] BLANKENSHIP S M, DOLE J M. 1-methylcyclopropene: a review[J]. Postharvest biology and technology, 2003, 28(1):1-25.
- [12] HUAN C, ZHANG J, JIA Y, et al. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on quality, volatile production and ethanol metabolism in kiwifruit during storage at room temperature[J]. SCI Horticulture-amsterdam, 2020, 265: 10.
- [13] HARKER F R, ELGAR H J, WATKINS C B, et al. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments[J]. Postharvest biology and technology, 2000, 19(2):139-146.
- [14] CHANG E H, LEE J S, KIM J G. Cell wall degrading enzymes activity is altered by high carbon dioxide treatment in postharvest 'Mihong' peach fruit[J]. SCI Horticulture-amsterdam, 2017, 225: 399-407.
- [15] BESADA C, LLORCA E, NOVILLO P, et al. Short-term high CO₂ treatment alleviates chilling injury of persimmon cv. Fuyu by preserving the parenchyma structure[J]. Food control, 2015, 51: 163-170.
- [16] 杜佳铭,谷诗雨,杨永佳,等. 1-MCP 复合 MAP 包装对无花果贮藏品质的影响[J]. 包装工程,2022,43(7):11-17.
- [17] 苏云婷,范琳,潘世会. 威海市不同成熟度青皮无花果

(下转第 80 页)

- scheme[J]. *Mathematical biosciences and engineering*, 2022, 19(4): 4196–4216.
- [16] LIU D, YAN Z, DING W X, et al. A survey on secure data analytics in edge computing[J]. *IEEE Internet of things journal*, 2019, 6(3): 4946–4967.
- [17] 埃文·吉尔曼, 道格·巴斯. 零信任网络: 在不可信网络中构建安全系统[M]. 奇安信身份安全实验室, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [18] GAO S, YU T Y, ZHU J M, et al. T-PBFT: an EigenTrust-based practical Byzantine fault tolerance consensus algorithm[J]. *China communications*, 2019, 16(12): 111–123.
- [19] KAMVAR S D, SCHLOSSER M T, GARCIA-MOLINA H. The EigenTrust algorithm for reputation management in p2p networks[C]//ACM. *Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web*. New York: ACM, 2003: 640–651.

责任编辑: 周建军

(上接第36页)

- 春果的形态和质构分析[J]. *乡村科技*, 2022, 13(20): 75–79.
- [18] VILLALOBOS M D, SERRADILLA M J, MARTÍN A, et al. Use of equilibrium modified atmosphere packaging for preservation of ‘San Antonio’ and ‘Banane’ breba crops[J]. *Postharvest biology and technology*, 2014, 98: 14–22.
- [19] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.
- [20] 刘耀娜, 王毅, 毕阳, 等. 采前乙酰水杨酸处理对厚皮甜瓜果实后熟及软化的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(10): 1865–1875.
- [21] HAGERMAN A E, AUSTIN P J. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase[J]. *Journal of agricultural & food chemistry*, 1986, 34: 440–444.
- [22] 高聪聪, 刘云飞, 董成虎, 等. 新型保鲜剂处理对阳光玫瑰葡萄贮藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(10): 147–151.
- [23] 张广燕, 王莉, 杨建民, 等. 影响李果实贮藏保鲜的因素及贮藏技术[J]. *保鲜与加工*, 2004(6): 11–13.
- [24] 李春丽, 沈元月. 无花果果实发育过程中 ABA 和乙烯含量与果实成熟的关系[J]. *中国农业大学学报*, 2016, 21(11): 51–56.
- [25] OZKAYA O, ÇÖMLEKÇIOĞLU S, DEMIRCIOĞLU H. Assessment of the potential of 1-methylcyclopropene treatments to maintain fruit quality of the common fig (*Ficus carica* L.cv. ‘Bursa Siyahi’) during refrigerated storage[J]. *Notulae botanicae horti agrobotanici cluj-napoca*, 2014, 42(2): 516–522.
- [26] SUN X K, YANG Q, GUO W D, et al. Modification of cell wall polysaccharide during ripening of Chinese bayberry fruit[J]. *SCI Horticulture-amsterdam*, 2013, 160: 155–162.
- [27] CUI Y Y, ZHAI Y L, HE J J, et al. AP2/ERF genes associated with superfast fig (*Ficus carica* L.) fruit ripening[J]. *Frontiers in plant science*, 2022, 13: 1040796.
- [28] SENECHAL F, WATTIER C, RUSTERUCCI C, et al. Homogalacturonan-modifying enzymes: structure, expression, and roles in plants[J]. *Journal of experimental botany*, 2014, 65(18): 5125–5160.
- [29] EUM H L, HAN S H, LEE E J. High-CO₂ treatment prolongs the postharvest shelf life of strawberry fruits by reducing decay and cell wall degradation[J]. *Foods*, 2021, 10(7): 1649.
- [30] DENG Y, WU Y, LI Y F. Effects of high CO₂ and low O₂ atmospheres on the berry drop of ‘Kyoho’ grapes[J]. *Food chemistry*, 2007, 100(2): 768–773.

责任编辑: 郎婧