

施硒对樱桃番茄贮藏品质 及 3 种活性氧代谢酶的影响

刘 慧¹, 张静林¹, 刘杰超¹, 张光弟², 方海田², 叶 林², 焦中高^{1,*}

(1. 中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009;

2. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

摘 要:为探寻施硒对樱桃番茄采后贮藏品质的影响并确定其适宜的处理浓度,在樱桃番茄发育过程中分次冲施不同浓度硒肥,分析番茄果实采收时及在贮藏过程中果实硬度、色泽、乙烯释放量、糖、酸、 V_c 含量及活性氧代谢相关酶活性的变化情况。结果表明,采收时 2 mg/L 硒处理的樱桃番茄果实硬度、可溶性糖含量、 V_c 含量与对照组相比分别增加了 7.98%、5.29% 和 11.32%,并在贮藏过程中始终维持较高含量;同时 2 mg/L 硒处理提高了采后果实过氧化物酶活性(40.01~64.24 U/g)和超氧化物歧化酶活性(36.94~186.39 U/g);并在乙烯释放高峰时期(21 d)抑制乙烯释放量至 8.01 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$,延缓了樱桃番茄果实的采后衰老。而 3 mg/L 硒处理在贮藏 42 d 时对果实的活性氧代谢酶表现出负面影响,过氧化氢酶、过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性分别低于对照组 11.93%、23.09% 和 31.01%,不利于维持番茄果实的贮藏品质。2 mg/L 为适宜的采前硒处理浓度,可以提升樱桃番茄果实品质及贮藏特性。

关键词: 硒, 樱桃番茄, 贮藏, 品质, 活性氧代谢酶

Effects of Selenium on Cherry Tomato Storage Qualities and Involved Three Active Oxygen Metabolism Related Enzymes

LIU Hui¹, ZHANG Jing-lin¹, LIU Jie-chao¹, ZHANG Guang-di², FANG Hai-tian², YE Lin², JIAO Zhong-gao^{1,*}

(1. Zhengzhou Fruit Research Institute, CAAS, Zhengzhou 450009, China;

2. Agricultural College of Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to explore the effect of selenium on the qualities of postharvest cherry tomatoes and find the proper concentration, selenium with various concentrations were applied to the soil at several stage during cherry tomato development. Then the fruit qualities including fruit firmness, color, soluble sugar, acid, V_c and active oxygen metabolism related enzymes at harvest and during storage were analyzed. The results showed that, the contents of fruit firmness, soluble sugar and V_c of 2 mg/L selenium applied tomato fruits increased by 7.98%, 5.29% and 11.32% compared with that of control group at harvest, respectively. During postharvest storage, 2 mg/L selenium treatment could maintain better fruit qualities, promote the activities of peroxidase (40.01 ~ 64.24 U/g) and superoxide dismutase (36.94 ~ 186.39 U/g), decreased ethylene evolution rate to 8.01 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ at 21 d, and then postpone the fruit senescence. However, higher concentration of selenium treatment (3 mg/L) had negative effects on the active oxygen metabolism related enzymes at later storage stage and was not satisfactory for maintaining cherry tomato qualities. The activities of catalase, peroxidase and superoxide dismutase decreased by 11.93%, 23.09% and 31.01% than control at day 42, respectively. 2 mg/L concentration of selenium could be applied to promote the qualities of cherry tomato fruits at harvest and during postharvest storage.

Key words: selenium; cherry tomato; storage; quality; active oxygen metabolism related enzymes

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)24-0256-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.042

引文格式: 刘慧, 张静林, 刘杰超, 等. 施硒对樱桃番茄贮藏品质及 3 种活性氧代谢酶的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 256-261.

樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 又称圣女果、小番茄, 属茄科番茄属, 是番茄的一个品种。樱桃番茄果实营养价值高, 富含番茄红素、 V_c 等活性

物质。但其皮薄多汁的特性使其在贮藏、运输过程中容易受到机械损伤, 继而发生霉烂变质, 失去商品价值, 因此亟需寻求合适的途径, 提高樱桃番茄贮藏

收稿日期: 2019-03-08

作者简介: 刘慧(1984-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果品贮藏与加工, E-mail: liuhui@caas.cn。

* 通讯作者: 焦中高(1972-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果品营养与保鲜加工, E-mail: jiaozhonggao@caas.cn。

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2017BY071); 中央级科研院所基本科研业务费专项(1610192018303)。

品质。樱桃番茄采后保鲜方法主要有低温贮藏、保鲜剂处理、气调保鲜、涂膜保鲜等^[1],但影响果实采后贮藏性最关键的因素是果实采收时的品质。因此,除了开发适宜的采后贮藏技术外,更需注重采前栽培技术对樱桃番茄果实品质及采后贮藏特性的影响。

硒是人体必需的微量元素之一,具有增强免疫力、抗氧化、抗衰老等作用^[2]。食用富硒的水果和蔬菜是人体获取硒的最安全有效的途径^[3]。施加外源硒对园艺作物生长发育的影响作用成为近年来国内外的研究热点。大量研究证实,硒在一定浓度范围内能够促进植物的生长发育,提高水果和蔬菜的产量和品质,包括提高果蔬可溶性糖、叶绿素、V_C和可溶性固形物含量等^[4-7]。施硒影响园艺作物的品质主要是通过一定程度上影响体内这些有机化合物水平来实现的。也有研究证实富硒栽培可以有效提升番茄生理品质^[2,8-9]。此外,由于硒是若干抗氧化酶的必需组分,可通过消除机体代谢产生的自由基,降低机体细胞损害所引起的衰老。因此,硒处理果实采后阶段的贮藏品质也要优于对照果实。Malorgio等^[10]发现硒处理可以减少菊苣和生菜采后阶段的乙烯生成量,降低苯丙氨酸解氨酶活性,提高绿叶蔬菜的货架期;郭艳等^[11]证实叶面喷施硒可以延缓油桃采后活性氧引起的果实衰老,减缓果实硬度下降。Pezzarossa等^[12]在桃和梨果实中发现了同样的规律。然而,关于施硒处理对樱桃番茄采后贮藏特性及其对活性氧代谢相关酶活性的研究未见报道。

因此,本研究通过对樱桃番茄进行不同浓度硒处理,通过分析采后贮藏过程中品质及活性氧代谢相关酶活性的变化情况,分析硒处理对提高樱桃番茄贮藏特性的作用效果,为采取适宜的樱桃番茄富硒栽培技术提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

樱桃番茄 品种“瑞德香”,幼苗由河南省农业科学院提供,施硒试验于2018年5月至2018年7月在中国农业科学院郑州果树研究所新乡实验基地进行;乙烯标准品(1.03%) 国家标准物质研究中心;SOD酶活性检测试剂盒 北京索莱宝科技有限公司;其余试剂 均为分析纯。

PAL-1 迷你数显糖度计 日本 ATAGO 公司;L-550离心机 湘仪离心机仪器有限公司;Jena 50紫外可见分光光度计 德国耶拿分析仪器股份公司;SHA-22 水浴恒温振荡器 金坛精达仪器制造有限公司;GC2010 气相色谱 日本岛津公司;TA-XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司;SP62-162 色差计 美国爱色丽公司。

1.2 实验方法

1.2.1 施硒处理及采后贮藏 试验采用土壤施硒的方法,以 Na₂SeO₃ 为硒源,将其配成溶液施入土中。参考番茄施硒的相关研究报道^[2,9],共设4个浓度梯度:0 mg/L(CK组)、1 mg/L(1MG组)、2 mg/L(2MG组)、3 mg/L(3MG组)。每个处理3个重复,每个重复20株苗,随机排列。番茄露天种植在塑料盆中

(直径30 cm,高20 cm),每盆装土6 kg,移栽生长一致的番茄幼苗1株/盆。基肥施入水平相同,分别于幼苗期(5月10日)、开花期(6月3日)、初果期(6月15日)和盛果期(7月10日)共4次冲施硒肥,每次每株冲施500 mL相应浓度(0、1、2、3 mg/L)的硒肥溶液。其他时间均按照正常番茄生长所需进行田间管理,自然光照条件,气候温度范围16~36℃。

番茄果实于7月23日进行采收,选取大小、成熟度(八成熟,依据果实色泽判定)一致、无病虫害的果实。采摘后及时运回实验室,散去田间热。每个重复随机选300个果实,每30个果实用0.03 mm PE保鲜袋(打孔)包装成1袋,放入4℃冷库预冷,24 h后将保鲜袋扎口,进行贮藏。每隔7 d随机取样进行指标测定。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 商品性状指标的测定 腐烂率:采用观察法,计算腐烂果占总果数的比例,腐烂果包括局部发生霉、腐烂或汁液外漏的果实。

果皮色泽:用色差仪测定果实顶部 L*, a*, b* 值,并计算果皮的饱和度 $C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ 和色调角 $h = \arctan(b^*/a^*)$ 。

果实硬度:测定部位为果实赤道部位,对称测2个点,用质构仪测定果实带皮硬度,探头为 P/2(直径2 mm),测试速度1 mm/s,下压深度5 mm。每个重复20个果实。

1.2.2.2 糖酸含量的测定 总酸含量参考国标 GB/T 12456-2008 进行测定,结果以柠檬酸计;可溶性糖含量参考国标 GB/T 5009.7-2016 进行测定;可溶性固形物含量(SSC)采用手持糖度计进行测定。

1.2.2.3 乙烯释放量 取20个果实放置于1 L密封盒中,25℃放置2 h,用GC方法测定乙烯,气相色谱条件为:Al₂O₃/S 色谱柱(30 m×0.53 mm,0.25 μm),FID 检测器,柱温50℃,进样口温度120℃,检测器温度200℃,进样量0.5 mL,分流比20:1。外标法定量,结果表示为 μL/kg·h。

1.2.2.4 V_C 含量 参考国标 GB/T 5009.86-2016,采用2,6-二氯酚酚滴定法测定。

1.2.2.5 硒含量 参考国标 GB 5009.93-2017,采用原子荧光分光光度计法测定。

1.2.2.6 酶活性的测定 过氧化氢酶(Catalase, CAT)酶活的测定采用过氧化氢法,参考 Yu 等^[13]的方法进行。称取3 g 樱桃番茄果肉(液氮粉碎样品),加入15 mL 50 mmol/L pH7.0 的磷酸缓冲溶液,冰浴研磨,9000 r/min 离心15 min(4℃),上清液为粗酶液。取0.6 mL 酶液加入1 mL pH7.0 磷酸缓冲液,再加入1 mL 0.03% H₂O₂ 作为反应底物,充分混合,测定240 nm 吸光值的变化,每30 s 记录一次吸光值,以每分钟吸光值变化0.1 为一个活力单位 U。

过氧化物酶(Peroxidase, POD)酶活的测定采用愈创木酚法,参考曹森等^[14]的方法略作修改。取1.5 mL 酶液加入2 mL pH7.0 磷酸缓冲液、0.6 mL 4 mmol/L 愈创木酚溶液,再加入1 mL 15% 的 H₂O₂ 溶液迅速混合,每隔30 s 测定其在460 nm 处吸光值的变

化,每分钟吸光值每变化0.01 为一个活力单位U。
超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD) 酶活的测定依据试剂盒操作方法进行。

1.3 数据处理

每个处理设置3 个重复,每个实验测定3 个平行,结果以平均值±标准差来表示。采用SAS 9.2 统计分析软件的Duncan’s 新复极差法进行差异显著性分析($P < 0.05$ 为差异显著),Microsoft Office Excel 2003 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 硒处理对樱桃番茄采后色泽、腐烂率和硬度的影响

从表1 结果可以看出,采收时(0 d)3 个硒处理组(1MG、2MG、3MG) 樱桃番茄果实的亮度 L^* 、色彩饱和度 C 及色调角 h 与对照组(CK)之间均不存在显著性差异,在贮藏末期3 个硒处理组的 L^* 、 C 和 h 值略高于对照组,但是差异性不显著($P > 0.05$)。贮藏末期时(49 d),2MG 组的果实腐烂率显著低于对照组($P < 0.05$),但是其他2 个浓度硒处理组与对照组之间不存在显著性差异。3 个硒处理组的 L^* 、 C 和 h 值略高于对照组,但差异不显著($P > 0.05$)。结果表明2 mg/L 硒处理可以有效降低采后贮藏过程中樱桃番茄的腐烂率,对维持樱桃番茄的果实色泽具有一定的效果。

硬度是反映果实软化程度的重要指标,也是影响果实耐贮性的关键。从图1 可以看出,采后樱桃番茄果实硬度在贮藏过程中总体呈下降趋势。因所测硬度为探头受到果实给予的压力,在贮藏末期由于果皮失水、韧性增大,穿刺所需力度增加,导致测定的果皮硬度有所增加,与孟成民等^[15]发现的结果一致。图1 结果表明2~3 mg/L 硒处理可提高番茄果实采收时(0 d)的果实硬度(分别为72.65 和70.88 N)。在贮藏过程中,2 mg/L 硒处理果实硬度显著高于对照组($P < 0.05$)。郭艳等^[11]发现叶面喷施硒可提高油桃果实硬度,并延缓贮藏过程中的果肉软化。Pezzarossa 等^[12]在桃和梨中同样证实,喷施硒肥可以减缓果实软化速率,延长货架期。但在贮藏14 d 后,3 mg/L 硒浓度处理的樱桃番茄果实硬度快速下降(52.18~62.79 N),显著($P < 0.05$)低于2 mg/L 硒处理组(54.98~67.92 N)。

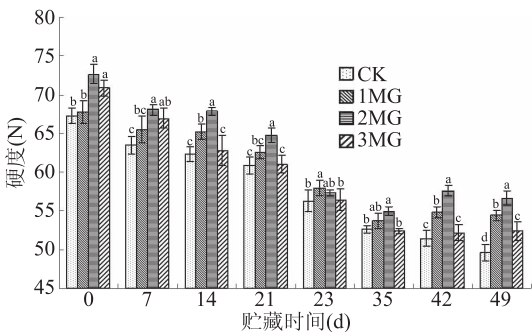


图1 硒处理樱桃番茄贮藏过程中硬度的变化

Fig.1 Effects of selenium on fruit firmness of cherry tomato during storage
注:图中小写字母表示同一贮藏时间不同组之间差异显著($P < 0.05$);图2~图5 同。

2.2 硒处理对樱桃番茄采后贮藏过程中总酸、可溶性糖与SSC 含量的影响

糖酸是决定果实口感的重要品质指标,可溶性固形物是所有溶于水的化合物总称,其含量变化是多种物质的综合表现,是评价番茄品质的重要指标^[2]。从图2a 可以看出,樱桃番茄贮藏过程中总酸含量呈下降趋势。硒处理番茄的总酸含量(2.99~3.11 g/kg),在采摘时(0 d)与对照组没有显著差异(2.98 g/kg) ($P > 0.05$),研究结果与Pezzarossa 等^[16]、张庆社等^[5]的一致。图2b、图2c 结果显示,樱桃番茄可溶性糖含量和SSC 在贮藏过程中先增加后降低,与Ali 等^[17]、李雯霞等^[18]、李文学等^[19]的研究结果相同。贮藏前期番茄果实内部淀粉转化为可溶性糖,导致可溶性糖和SSC 的增加,在贮藏后期淀粉转化的糖元不足以补充呼吸的消耗,因而呈现下降的趋势^[18]。

图2b、图2c 结果表明,施硒处理提高了樱桃番茄采收时(0 d)的可溶性糖含量(30.24~30.67 g/kg)及SSC(5.4~5.6 °Brix)。硒可能是以胁迫的机制促进可溶性糖的累积^[9],还可能通过影响植株对矿质营养元素的吸收、累积和分布,进而提高果实品质。张明中^[8]发现施硒提高了番茄中还原糖的含量,推测与硒可以促进植株对Fe 元素的吸收有关。Fe 是植物光合作用电子传递链上铁硫蛋白复合体的组成元素,促进铁元素的吸收,更有利于铁硫蛋白复合体的合成,从而提高光合作用初级产物还原糖的积累^[20]。施加亚硒酸钠已经被证实可显著提高樱桃番茄、蒜

表1 樱桃番茄采收时及贮藏末期果实色泽和腐烂率的变化

Table 1 Color characteristics and decay rates of cherry tomato at harvest and end of storage

时间	指标	CK	1MG	2MG	3MG
采收时0 d	腐烂率(%)	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
	L^*	42.50 ± 2.39 ^a	41.49 ± 1.96 ^a	41.45 ± 3.07 ^a	43.72 ± 2.28 ^a
	C	41.93 ± 3.96 ^a	39.80 ± 2.33 ^a	42.74 ± 2.72 ^a	41.72 ± 3.76 ^a
	h	50.83 ± 3.10 ^a	50.43 ± 2.17 ^a	49.04 ± 3.68 ^a	54.92 ± 3.05 ^a
	腐烂率(%)	32.62 ± 0.49 ^a	30.17 ± 2.12 ^{ab}	28.96 ± 1.39 ^b	31.42 ± 1.30 ^{ab}
贮藏末期49 d	L^*	42.11 ± 3.29 ^a	43.82 ± 1.70 ^a	43.94 ± 2.52 ^a	44.69 ± 2.07 ^a
	C	35.20 ± 1.21 ^a	38.07 ± 2.68 ^a	37.88 ± 1.53 ^a	38.77 ± 0.95 ^a
	h	55.65 ± 3.14 ^a	56.48 ± 3.06 ^a	58.84 ± 3.16 ^a	57.76 ± 2.09 ^a

注:标注同行不同字母表示处理之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

薯等^[7,9,21]多种果蔬的可溶性糖含量。在贮藏过程中,除第21和49 d外,2 mg/L 硒处理组樱桃番茄果实的可溶性糖含量(30.16~36.87 g/kg)及 SSC(5.4~5.8 °Brix)均高于对照组(29.42~34.27 g/kg、5.2~5.5 °Brix),表明2 mg/L 硒处理的樱桃番茄具有较好的贮藏品质。然而,3 mg/L 硒浓度的樱桃番茄果实可溶性糖含量(28.45~31.27 g/kg)和 SSC(5.0~5.4 °Brix)在贮藏21 d之后低于对照组,表明该浓度硒肥处理的果实在贮藏后期品质下降相对严重。许多研究报道过量硒对植株有毒害作用,造成品质下降^[20,22]。邵旭日等^[21]也发现,当施硒量大于7 g时,番茄果实 SSC 随施硒量增加而下降。施入高浓度硒肥对番茄可溶性糖的促进作用减弱,甚至达到抑制作用^[2]。

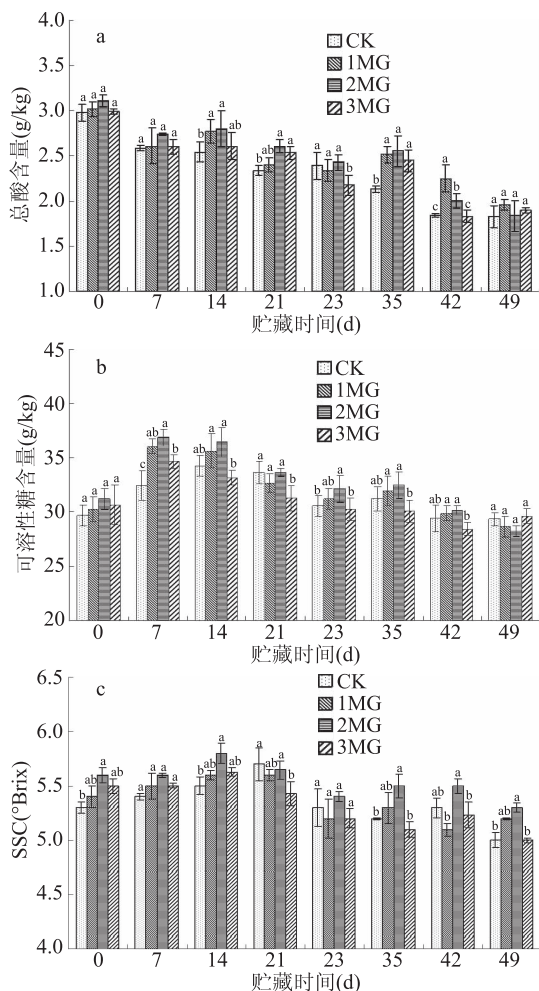


图2 硒处理樱桃番茄贮藏过程中总酸(a)、可溶性糖(b)和 SSC(c)含量的变化

Fig.2 Effects of selenium on contents of total acid(a), soluble sugar(b) and SSC(c) of cherry tomato during storage

2.3 硒处理对樱桃番茄采后贮藏过程中乙烯释放量的影响

从图3 乙烯释放量的结果中发现,在贮藏14和21 d,3 mg/L 硒处理组的乙烯释放量(8.07、10.09 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$)显著($P < 0.05$)高于2 mg/L 硒处理的樱桃番茄(4.52、8.01 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$)。樱桃番茄属于呼吸跃变型果实,采后生命力旺盛,有典型的呼吸高峰

及乙烯释放高峰^[14]。从图3中可以看出,乙烯释放量在贮藏过程中先升高后降低,在21 d时出现一个高峰。1~2 mg/L 硒处理樱桃番茄果实在贮藏7~21 d的乙烯释放量(4.52~10.22 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$)显著低于对照组(6.46~12.63 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$)($P < 0.05$)。在硒处理的番茄^[16,23]、生菜^[10]中也得到相同的结果,乙烯释放量显著($P < 0.05$)低于对照组。由于贮藏21 d之后的对照组果实衰老进程加快,因此乙烯释放量低于硒处理组果实。适量浓度的硒可以促进植株生长,提高品质,但过量硒对植株有毒害作用^[24-26]。较低浓度硒具有抗氧化和抗衰老活性,直接或间接干扰乙烯生物合成^[16]。而高浓度的硒肥在对果实品质造成负面影响的同时,会上调一些乙烯合成基因的表达(如ACC合成酶)^[27]。高浓度硒肥引起了抗逆反应,促使乙烯或其他激素和信号分子生成^[4]。

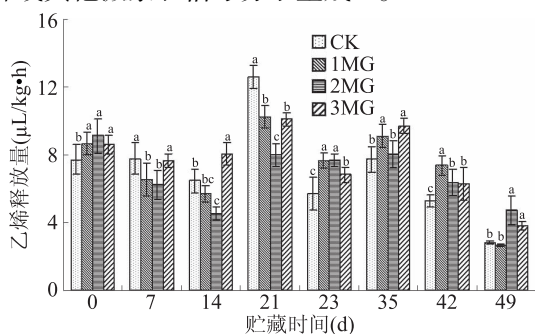
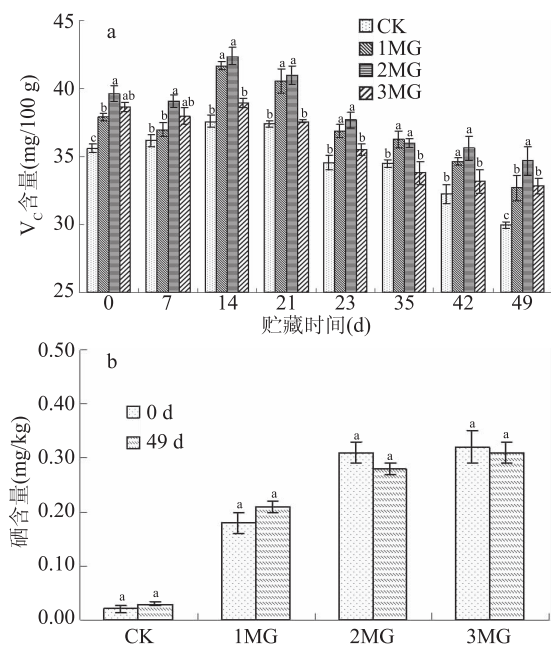


图3 硒处理樱桃番茄贮藏过程中乙烯释放量的变化

Fig.3 Effects of selenium on ethylene evolution of cherry tomato during storage

2.4 硒处理对樱桃番茄采后贮藏过程中 V_c 和硒含量的影响

V_c 含量是衡量果实衰老程度和营养价值的重要指标。图4a 结果表明,采收时(0 d)硒处理组的樱桃番茄果实 V_c 含量(37.89~39.64 mg/100 g)均显著高于对照组(35.61 mg/100 g) ($P < 0.05$)。在贮藏过程中,樱桃番茄果实中 V_c 含量先缓慢升高,在贮藏后期逐渐减少,这与李雯霞等^[18]、曹森等^[14]的研究相一致。原因在于随着果实的成熟, V_c 被氧化分解,失去生理活性,后期果实衰老进程加快,增加了 V_c 含量的损失。2 mg/L 硒处理的番茄果实 V_c 含量(34.68~42.36 mg/100 g)在整个贮藏过程中均显著高于对照组(29.96~37.59 mg/100 g) ($P < 0.05$)。适当浓度硒处理可提高植物组织中 V_c 的含量^[7]。施硒也可以提高不同品种番茄果实中的 V_c 含量^[2,8]。这可能是由于硒可以促进番茄对铁离子的吸收,从而影响电子传递链,促进 V_c 的代谢,增加了 V_c 的含量^[28]。3 mg/L 硒处理番茄果实 V_c 含量在采收时(38.66 mg/100 g)及贮藏过程中(32.83~38.95 mg/100 g)始终低于2 mg/L 处理组,结果与韩亚文等^[2]发现的类似,硒浓度过高,降低了果实中 V_c 含量的增加量。本研究中硒处理的樱桃番茄果实中硒含量在0.18~0.32 mg/kg(图4b),低于张明中^[8]、刘华山^[9]报道的数值,原因可能在于所用品种及硒处理方式有一定的差异。同时发现在贮藏前后,果实中硒含量没有发生显著的变化($P > 0.05$)。

图4 硒处理樱桃番茄贮藏过程中 V_c 含量(a)

及贮藏前后硒含量(b)的变化

Fig.4 Effects of selenium on V_c (a) and selenium (b) contents of cherry tomato during storage

2.5 硒处理对樱桃番茄采后贮藏过程中活性氧代谢相关酶活性的影响

果实的采后软化进程与活性氧代谢关系密切,相关酶活性影响着果实的贮藏特性。SOD 是目前已知的唯一清除 O_2^- 的酶类,其主要作用是将 O_2^- 歧化生成无毒的 O_2 和毒性较低的 H_2O_2 ;CAT 和 POD 是植物体内负责担负清除 H_2O_2 的主要酶类,将 H_2O_2 变为 H_2O 。樱桃番茄贮藏过程中 POD (图 5a)、CAT (图 5b) 和 SOD (图 5c) 酶活性呈现先升高后降低的变化趋势,与潘磊庆等^[29]、曹森等^[14]的研究结果一致。可能是因为果实采后贮藏初期机体受到胁迫时增强了这些代谢酶的活性,对机体起到保护作用,但随着贮藏时间的延长,胁迫达到一定程度时,酶活性逐渐减弱,机体濒临死亡^[29]。

本研究结果发现2 mg/L硒处理的番茄果实,在采收时(0 d,40.01 U/g)及贮藏过程中(42.20~64.24 U/g),均具有较高的 POD 酶活活性,而硒处理对 CAT 酶活没有明显作用。对于 SOD 酶活,采收时(0 d)不同处理之间不存在显著性差异,但在贮藏 14~42 d,2 mg/L 硒处理番茄果实 SOD 酶活(85.51~186.39 U/g)显著高于对照组(50.33~123.90 U/g) ($P < 0.05$)。刘华山^[9]发现硒处理对生菜生长后期的 SOD 酶活性有不同程度的促进作用,推测是对不利环境的一种抗性反应。张明中^[8]研究发现施硒增加了番茄叶片中 SOD 和 POD 活性。尚庆茂等^[6]研究发现硒处理提高植株 POD 活性,但对 SOD 和 CAT 表现为负效应。结果之间的不一致可能是不同植物机体对硒的代谢有所差异所引起的。此外,本研究结果发现在贮藏 42 和 49 d 时,3 mg/L 硒浓度番茄果实的酶活性(CAT 3.10、3.01 U/g; POD 27.12、20.96 U/g; SOD 85.48、

109.32 U/g)均低于对照组(CAT 3.52、3.23 U/g; POD 35.26、32.15 U/g; SOD 123.90、116.37 U/g)。高浓度硒处理抑制 SOD 酶活性,可能是由于促进了植株体内还原性物质的产生,导致抗氧化体系中 SOD 酶活性下降,或者是促进了含硒蛋白(如 GSH-Px)替代性的取代 SOD 酶而发挥抗氧化功能^[9]。

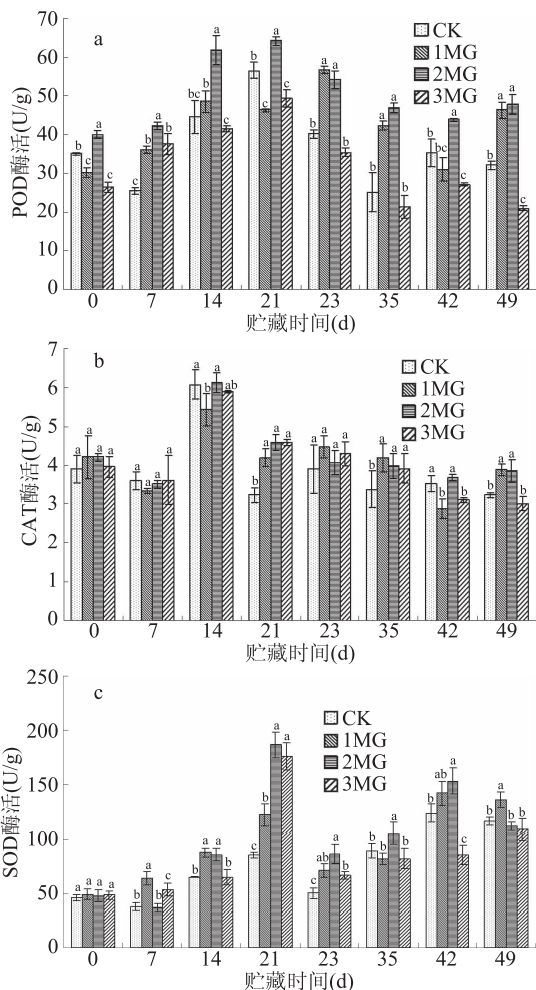


图5 硒处理樱桃番茄贮藏过程中 POD(a)、CAT(b)和 SOD(c)酶活的变化

Fig.5 Effects of selenium on activities of POD (a), CAT (b) and SOD (c) of cherry tomato during storage

3 结论

通过适宜的采前栽培方式可以提升果实品质,进而提高采后贮藏品质。采用适当浓度硒(2 mg/L)处理后,采收时樱桃番茄的果实硬度、SSC、 V_c 含量和 POD 酶活性明显优于对照果实。并且在果实采后的贮藏过程中,2 mg/L 硒处理樱桃番茄保持着较好的果实品质,维持活性氧代谢酶活性在较高水平,延缓了果实采后的衰老进程。而高浓度硒处理(3 mg/L)对番茄果实品质造成了一定的负效应。目前关于施硒对采后贮藏过程中果实细胞膜性能相关指标的影响情况尚不清楚,需要展开进一步的研究。

参考文献

- [1] 田华,韩慢慢,陈乐玲.圣女果保鲜技术研究进展[J].食品工业科技,2016,37(7):396-400.

- [2] 韩亚文, 韩莹琰. 土壤施硒对番茄品质影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(13): 220-224.
- [3] Finley J W, Davis C D. Selenium (Se) from high-selenium broccoli is utilized differently than selenite, selenate and selenomethionine, but is more effective in inhibiting colon carcinogenesis[J]. Biofactors, 2001, 14(1-4): 191-196.
- [4] Hasanuzzaman M, Hossain M A, Fujita M. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance[J]. Journal of Plant Sciences, 2010, 5: 354-375.
- [5] 张庆社, 闫闰超, 赵玉玲, 等. 叶面喷施外源硒对番茄果实品质的影响[J]. 现代农业科技, 2017(10): 66-67.
- [6] 尚庆茂, 陈淑芳, 张志刚. 硒对高温胁迫下辣椒叶片抗氧化酶活性的调节作用[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 35-38.
- [7] 夏永香, 刘世琦, 李贺, 等. 硒对大蒜生理特性、硒含量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 733-741.
- [8] 张明中. 番茄施硒的生理和品质效应及分子调控研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- [9] 刘华山. 番茄和生菜的施硒效应和积硒特性[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [10] Malorgio F, Diaz K, Ferrante A, et al. Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in floating system[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89: 2243-2251.
- [11] 郭艳, 刘和, 于继洲, 等. 叶面喷施硒和硼对冷藏油桃果实细胞膜性能的影响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(1): 170-173.
- [12] Pezzarossa B, Remorini D, Gentile M L, et al. Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92: 781-786.
- [13] Yu Y, Zhang S, Ren Y, et al. Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(3): 408-414.
- [14] 曹森, 吉宁, 马超, 等. 1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 262-268.
- [15] 孟成民, 徐步前. 自发气调包装及乙烯吸收剂对樱桃番茄贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(1): 31-33.
- [16] Pezzarossa B, Rosellini I, Borghesi E, et al. Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponic[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 165: 106-110.
- [17] Ali A, Maqbool M, Ramachandran S, et al. Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1): 42-47.
- [18] 李雯霞, 于司达, 诸葛斌, 等. 芍药花提取物对果蔬腐败菌的抑菌活性及其在樱桃番茄保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(2): 228-232.
- [19] 李文学, 尹明安, 聂路. 樱桃番茄保鲜条件优化及各指标在贮藏期的动态变化[J]. 西北农业学报, 2012, 21(4): 121-126.
- [20] 卢敏敏, 洪坚平. 不同浓度的硒对水培韭菜品质的影响[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(4): 340-342.
- [21] 邵旭日, 韩莹琰, 齐长红, 等. 叶面施用不同浓度的硒肥对番茄果实品质的影响[J]. 蔬菜, 2017(8): 25-28.
- [22] 王淑珍, 赵喜茹, 王喜枝, 等. 叶面喷施亚硒酸钠对大蒜光合作用及产量品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008(4): 294-297.
- [23] Pezzarossa B, Malorgio F, Tonutti P. Biology and biotechnology of the plant hormone ethylene II[M]. Dordrecht: Springer, 1999: 275-276.
- [24] Simona D G, Silvia L, Fernando M, et al. Brassica juncea can improve selenite and selenate abatement in selenium contaminated soils through the aid of its rhizospheric bacterial population[J]. Plant and Soil, 2006, 285: 233-244.
- [25] Pezzarossa B, Petruzzelli G, Petacco F, et al. Absorption of selenium by *Lactuca sativa* as effected by carboxymethylcellulose[J]. Chemosphere, 2007, 67(2): 322-329.
- [26] Yu X Z, Gu J D. Metabolic responses of weeping willows to selenate and selenite[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2007, 14(7): 510-517.
- [27] Van Hoewyck D, Takahashi H, Inoue E, et al. Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in Arabidopsis[J]. Physiology Plantarum, 2008, 132(2): 236-253.
- [28] 刘卫星, 谢英荷. 不同铁源对水培油菜产量品质影响的研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2003, 23(2): 32-34.
- [29] 潘磊庆, 朱娜, 邵兴峰, 等. 丁香精油对樱桃番茄保鲜作用的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 335-338.
- [30] 范文来, 徐岩. 白酒 79 个风味化合物嗅觉阈值测定[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 80-84.
- [24] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 20-28.
- [25] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. 食品科学, 2008(7): 370-374.
- [26] 徐丹萍, 蒲彪, 刘书亮, 等. 不同发酵方式的泡菜挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 94-100.
- [27] Sumby K M, Grbin P R, Jiranek V. Microbial modulation of aromatic esters in wine: Current knowledge and future prospects[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 1-16.
- [28] Howells, cozzolevod, bartowskyej, et al. Metabolic profiling as a tool for revealing *Saccharomyces* interactions during wine fermentation[J]. FEMS Yeast Research, 2006, 6(1): 91-101.
- [29] Pineau Bénédicte, Barbe J C, Leeuwen C V, et al. Examples of perceptive interactions involved in specific “Red-” and “Black-berry” aromas in red wines[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(9): 3702-3708.
- [30] 严锦, 李锐利, 李文, 等. 小曲中产酯酵母的分离鉴定及其在酿酒生产中的应用[J]. 酿酒科技, 2014(2): 48-52.
- [31] 赵修报, 唐育岐, 刘天明. β -苯乙醇的研究进展[J]. 中国酿造, 2011(8): 1-4.
- [32] 陈双, 罗涛, 徐岩, 等. 我国黄酒酵母和酿酒原料对黄酒中 β -苯乙醇含量的影响[J]. 中国酿造, 2009(4): 23-26.
- [33] 梁龙元, 王露, 薛栋升. 白酒酿造中酯酶及己酸乙酯的研究进展[J]. 酿酒, 2018, 45(1): 17-23.

(上接第 250 页)