

氯化钙对机械伤番茄果实生理特性的影响

刘 瑶,左进华,郑秋丽,高丽朴,史君彦,王 清*

(北京市农林科学院蔬菜研究中心,农业农村部蔬菜产后处理重点实验室,
果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室,农业农村部华北地区园艺作物生物学
与种质创制重点实验室,农业农村部都市农业(北方)重点实验室,北京 100097)

摘 要:为研究氯化钙处理对具有机械伤的番茄果实生理特性的影响,本实验用 1 mmol/L 氯化钙(CaCl_2)处理机械伤的番茄果实,将处理后的番茄于 20 ℃贮藏,测定贮藏期间番茄生理品质和抗氧化酶活性的变化。结果表明:经过 CaCl_2 处理含有机机械损伤的番茄果实,可以维持番茄在贮藏期间的感官品质,降低腐烂率;与对照组相比, CaCl_2 处理可维持番茄果实的硬度和色度,延缓贮藏期间维生素 C(V_c)含量的下降;同时,抑制丙二醛(MDA)的积累,提高过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、多酚氧化酶(PPO)的活性。因此,1 mmol/L CaCl_2 处理具有机械损伤的番茄可以有效维持其在贮藏期间的品质,延长货架期。

关键词:番茄,氯化钙,机械损伤,品质,保鲜和贮藏

Effect of CaCl_2 Treatment on Physiology Characteristics of Tomatoes with Mechanical Damage

LIU Yao, ZUO Jin-hua, ZHENG Qiu-li, GAO Li-pu, SHI Jun-yan, WANG Qing*

(Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Urban Agriculture(North) of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: To study the effect of calcium chloride (CaCl_2) treatment on postharvest physiology characteristics of tomato with mechanical damage, 1 mmol/L CaCl_2 was used to treat the tomato fruits, then the treated tomatoes were stored at 20 ℃, the changes of physiological quality and antioxidant enzyme activity were determined. The results showed that CaCl_2 treatment could effectively maintain the sensory quality of mechanically damaged tomato fruits and reduce the decay rates during storage at 20 ℃. Compared with the control group, CaCl_2 treatment at 1 mmol/L delayed the degradation of V_c content, inhibited the accumulation of MDA, and enhanced the activity of POD, APX and PPO. These results suggested that 1 mmol/L CaCl_2 treatment could effectively maintain storage quality and prolong the shelf life of mechanically damaged tomato fruit stored at 20 ℃.

Key words: tomato; CaCl_2 ; mechanical damage; quality; preservation and storage

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)03-0264-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.044

引文格式: 刘瑶,左进华,郑秋丽,等.氯化钙对机械伤番茄果实生理特性的影响[J].食品工业科技,2020,41(3): 264-269.

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill),属茄科番茄亚属草本植物,又名西红柿^[1],因其色泽艳丽、酸甜可口^[2],同时含有大量的营养物质,因此受到消费者的广泛青睐。但由于番茄果实较软,在运输期间容易受到损伤,影响其贮藏时间和贮藏品质,同时番茄在贮藏期间也极易受到病害的侵染^[3],导致其腐烂、变质,因此如何有效延长具有机械损伤的番茄贮藏期,

保持其在贮藏期间的感官品质和营养价值对番茄产业的发展具有重要意义。

果蔬在运输期间造成的机械损伤主要分为外部损伤和内部损伤。外部损伤主要指果蔬在运输过程中出现的挤压、冲击和冲击磨损;内部损伤主要包括果蔬表层的划痕和各种其他形式的内部损伤,如挤压和裂纹^[4]。番茄的机械损伤大多数是由于在运输

收稿日期:2019-02-18

作者简介:刘瑶(1994-),女,硕士,研究方向:农产品贮藏保鲜,E-mail:435996327@qq.com。

* 通讯作者:王清(1979-),女,博士,副研究员,研究方向:农产品贮藏与保鲜,E-mail:wangqing@nercv.org。

基金项目:国家大宗蔬菜产业体系建设项目(CARS-23);国家自然科学基金项目(31772022);北京市自然科学基金(6182016);北京市农林科学院创新能力建设专项资助项目(20180404,20180705)。

过程中的振动从而引起的碰撞和挤压。为了减少番茄在运输过程中产生机械损伤所造成的经济损失,亟需一种高效、简便的处理方法延长具有机械损伤番茄的贮藏时间。有研究表明,适当处理可以延长机械损伤果蔬的保鲜时间,如王云香等^[5]运用腐胺处理具有机械损伤的青椒,将青椒的贮藏时间延长至18 d;胡云峰等^[6]将切分的青椒置于臭氧中处理,可保持第6 d 青椒的色、味、品质。也有研究表明,氯化钙处理可延长果蔬的贮藏时间,同时保持贮藏品质,如杨巍等^[7]用氯化钙和抗坏血酸结合处理鲜切苹果,有效抑制了苹果的褐变;陈娟娟等^[8]运用氯化钙和水杨酸结合处理辣椒可维持在贮藏期间辣椒营养成分;王颖等^[9]将杨桃表面用氯化钙和壳聚糖进行涂膜处理,有效提高了杨桃的保鲜效果。但用氯化钙处理机械损伤番茄的研究却鲜有报道。

因此,本实验为研究氯化钙处理对具有机械伤的番茄果实生理特性的影响,采用1 mmol/L 氯化钙处理具有机械损伤的番茄,将处理后的番茄于20 ℃贮藏,研究其在贮藏期间生理品质和抗氧化酶活性的变化,以期氯化钙在番茄贮藏保鲜上的应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试番茄 采收于北京顺义小汤山基地,选取粉红期的番茄进行采摘,采收后立即运回实验室,所选取的番茄均为无病虫害、无损伤、成熟度基本相同;0.03 mm PE 膜 北京华盾雪花有限公司;氯化钙、高锰酸钾 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;30% 过氧化氢 分析纯,西陇化工有限公司;三氯乙酸、石英砂、丙酮、聚乙二醇(6000)、氢氧化钠 分析纯,北京化工厂;聚乙烯吡咯烷酮、邻苯二酚、浓盐酸、甲醇、愈创木酚、苯丙氨酸 天津市科密欧化学试剂有限公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠 分析纯,天津市永晟精细化工有限公司。

CR-300 色差计 日本 Konica Minolta 公司;UV-1800 紫外分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;TGL-16G-A 高速冷冻离心机 广州晟龙实验仪器有限公司;HH-6 型数显恒温水浴锅 国华电器

有限公司;GY-4-J 型数显水果硬度计 浙江托普仪器有限公司;IKA A11 basic 分析研磨机 德国艾卡。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理及贮藏 将挑选好的番茄果实采用高处坠落法模拟机械损伤,从距离地面50 cm 的高处进行坠落处理^[5]。将未破裂的番茄果实随机分为两组,每组50 个,预实验发现,经过1 mmol/L CaCl₂ 处理效果最佳,因此,一组番茄在1 mmol/L CaCl₂ 中浸泡10 min 作为CaCl₂ 处理组,另一组在蒸馏水中浸泡10 min 作为CK 组,将晾干后的番茄装入0.03 mm 厚度的PE 保鲜袋中折口包装,每袋装入5 个番茄果实,置于20 ℃ 黑暗贮藏12 d,每3 d 进行观察并测定相关的生理生化指标。实验重复3 次,所测得的数据取平均值。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 感官评价 由经过标准培训的10 名人员组成品评小组,对不同实验的番茄果实进行评判,根据果型、色泽、气味、滋味和手感进行逐一评分,感官评分越高,说明该番茄的质量越好。评分1~3 分为不可接受,4~7 分为品质一般,8~10 分为商品价值较高,其中感官5 分时,为番茄最低商品价值^[10]。

1.2.2.2 腐烂率 采用称重法来测评番茄果实的腐烂率,该标准以番茄局长霉、腐烂、流水等全部计入腐烂果实质量^[11],如式(1)所示:

腐烂率(%) = $\frac{\text{腐烂果数(个)}}{\text{总果数(个)}} \times 100$ 式(1)

1.2.2.3 硬度 使用GY-40J 型数显水果硬度计进行测定,选取6 个果实,测定赤道位置硬度,探头直径为0.7 cm^[12],取其平均值。

1.2.2.4 色度 采用CR-300 色差计测定,每组选取5 个番茄果实,在番茄果实的赤道位置用记号笔划3 个标记圈,作为测定色差的专用测点,每3 d 对固定的点进行测定,得到L*、a*、b* 值,a* 值越大,表明样品为红色,a* 值为负,表明样品为绿色;b* 值越大,表明样品为黄色^[13]。

1.2.2.5 维生素C 含量 维生素C(V_C) 含量采用钼酸铵比色法^[15]。向1 g 番茄样品中,加入5 mL 草酸-EDTA 于4 ℃、13000 × g 离心20 min,取2 mL 清液

表1 感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

评分 (分)	果型	色泽	气味	滋味	手感
8~10	果型端正,大小均匀,无畸形果、无虫咬	色泽新鲜洁净,有本品应有的成熟色泽	气味清新,芳香无异味	果肉厚,汁液饱满,酸甜爽口	软硬适度,手感光滑,不下陷
5~7	果型较端正,大小不太均匀,无畸形果	着色不良,色泽发黑,不具备果实成熟的颜色	无固有的清新风味和番茄香气,有轻微异味	果肉质地略显差,汁液尚算饱满,口感尚可	软硬较适度,手感光滑,但有下陷
2~4	果型不正或有畸形,果个偏小,不均匀,有轻微虫咬	着色较差,无成熟果实应有的色泽,果色灰暗	无固有的清新风味和番茄香气	果肉松软、汁少,味淡,有异味等	果皮软陷,软硬度不均匀,光滑度较差
0~1	果型严重畸形,个大小不均匀,有严重虫咬	着色差,无光泽,皮色黑暗,有皱纹	有较浓的酸味或异味,无番茄的清新风味	果肉干缩,汁液少,口感差,有异味	果皮干缩,果质或肉稀软下陷

中依次加入 3 mL 草酸-EDTA、0.5 mL 偏磷酸乙酸、1 mL 5% 硫酸、2 mL 5% 钼酸铵,将混合液于 80 ℃ 加热 10 min,冷却后定容至 10 mL,测定 760 nm 处的吸光值,如式(2)所示:

$$V_c \text{ 含量}(\text{mg}/100 \text{ g}) = \frac{c_{V_c \text{ 浓度}} \times V_{\text{比色体积}} \times V_{\text{总体积}}}{m \times V_{\text{加样量}}} \quad \text{式(2)}$$

式中, $c_{V_c \text{ 浓度}} = 80.131 \times OD_{760} + 1.5749$,做出标准曲线, mg/L ; $V_{\text{比色体积}}$ 、 $V_{\text{总体积}}$ 、 $V_{\text{加样量}}$, mL; m 为样品重量, g。

1.2.2.6 丙二醛(MDA)含量 采用硫代巴比妥酸法^[14]。取磨样后的番茄组织 1 g,准确量取 5 mL 100 g/L 三氯乙酸(TCA)与番茄样品混合并置于 4 ℃、13000 × g 离心 20 min,将 2 mL 上层清液与 2 mL 6.7 g/L 的硫代巴比妥酸(TBA)混合煮沸 20 min,冷却后测定混合液 450、532 和 600 nm 处的吸光值,计算公式如式(3)所示:

$$\text{MDA 含量}(\text{mmol}/\text{g}) = \left\{ \left[6.45 \times (OD_{532} - OD_{600}) - 0.56 \times OD_{450} \right] \times V_{\text{提取液}} \right\} / (V_{\text{样品}} \times m \times 1000 \times 1000) \quad \text{式(3)}$$

式中, $V_{\text{提取液}}$ 为样品提取液总体积, mL; $V_{\text{样品}}$ 为测定时所取样品提取液体积, mL; m 为样品质量, g。

1.2.2.7 多酚氧化酶、过氧化物酶、抗坏血酸过氧化物酶活性 番茄果实的 PPO、POD、APX 活性测定均参照曹建康等^[16]的方法测定,测定番茄果实 420、470 和 290 nm 处的吸光值。

1.3 数据处理

基础数据整理采用 Excel 2010 统计分析软件,所有数据为 3 次重复实验的平均值和标准误差,利用 Origin 9.0 分析与作图,利用 IBM SPSS Statistics 22 软件对数据进行差异显著性检验 ($P < 0.05$ 为差异显著)。

2 结果与分析

2.1 氯化钙处理对机械伤番茄感官的影响

感官评价是消费者购买蔬菜最直观的评价,新鲜的番茄果型端正、色泽新鲜洁净、软硬适度、手感光滑^[10]。如图 1 所示,番茄在贮藏期间感官评分呈下降趋势, CaCl_2 处理的番茄感官评分始终高于 CK,在贮藏第 6 d 后,差异显著 ($P < 0.05$)。贮藏第 9 d, CK 组的番茄感官评分低于 3 分,此时已完全失去商品价值,而 CaCl_2 处理组的番茄在贮藏第 12 d,感官评分仍处于较高水平,仍具有商品价值。结果表明,经过 CaCl_2 处理的具有机械损伤番茄,可保持在贮藏期间较高的感官品质,延长货架期。

2.2 氯化钙处理对机械伤番茄腐烂率的影响

随着贮藏时间的延长,番茄的腐烂率升高,腐烂率可以较为直观地展现番茄的商品价值。由图 2 可知,贮藏第 3 d 后,CK 组番茄的腐烂率大幅度上升,在贮藏第 6 d,CK 组番茄腐烂率达到 43.12%,贮藏末期达到 90.18%,番茄的腐烂率高于 40% 时失去商品价值^[27]。因此,CK 组贮藏 6 d 后,番茄完全失去商品价值。经过 CaCl_2 处理的番茄在贮藏末期腐烂率为 5.28%,此时仍具有较高的商品价值,且在贮藏 3 d

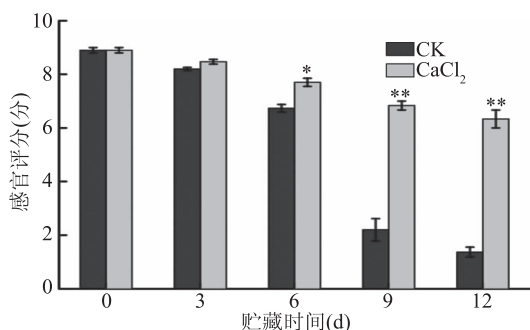


图1 CaCl_2 处理对番茄感官品质的影响

Fig.1 Effect of CaCl_2 treatment on sensory quality of tomato

注:与 CK 相比,*表示差异显著 ($P < 0.05$),**表示差异极显著 ($P < 0.01$),图 2~图 9 同。

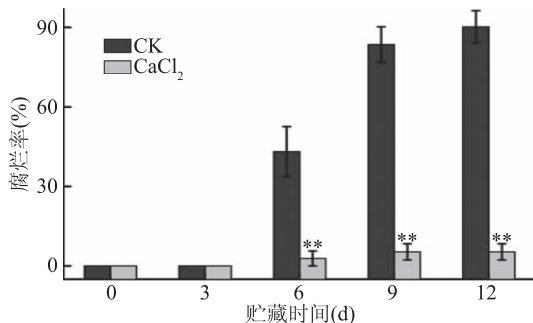


图2 CaCl_2 处理对番茄腐烂率的影响

Fig.2 Effect of CaCl_2 treatment on decay rate of tomato

后,CK 组和 CaCl_2 处理组的番茄差异极显著 ($P < 0.01$)。因此,经过 CaCl_2 处理的番茄在贮藏期间保持了较高的商品价值,有效维持番茄的外观品质。

2.3 氯化钙处理对机械伤番茄硬度的影响

硬度是评价果蔬成熟与衰老程度的重要指标,可较为直观地反映出番茄商品价值^[17]。如图 3 所示,在贮藏期间 CaCl_2 处理组和 CK 组的番茄硬度均呈下降趋势,在贮藏末期,CK 组番茄硬度与初值相比下降了 29.96%,而 CaCl_2 处理组番茄的硬度下降了 25.79%。由此表明,经过 CaCl_2 处理可以延缓机械损伤番茄硬度的改变,保持番茄在贮藏期间的品质特性,延缓其采后衰老。

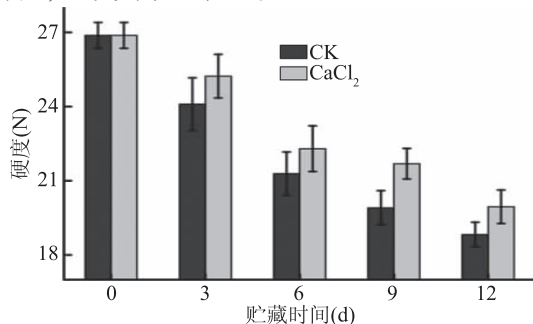


图3 CaCl_2 处理对番茄硬度的影响

Fig.3 Effect of CaCl_2 treatment on firmness of tomato

2.4 氯化钙处理对机械伤番茄色泽的影响

色泽是果实重要的感官品质之一^[18],新鲜的番茄色泽新鲜洁净,而失去商品价值的番茄色泽较差、无光泽、表皮黑暗且具有皱纹^[10]。如图 4 所示,在贮

藏期间 CK 组和 CaCl_2 处理组的 L^* 值均呈下降趋势,表明番茄在受到机械损伤后,表皮亮度下降,但经过 1 mmol/L CaCl_2 处理番茄下降相对缓慢,在贮藏 12 d 时,差异显著 ($P < 0.05$),此时处理组 L^* 值比对照组高 4.62%。 a^* 值为正,表明样品为红色, b^* 值越大,表明样品为黄色。在贮藏期间,番茄果实的 a^* 值呈上升趋势,且贮藏第 3 d 后,CK 组的 a^* 值始终高于处理组,且在贮藏第 6 d 差异显著 ($P < 0.05$)。在贮藏期间,处理组番茄的 b^* 值始终高于 CK 组。由此说明, CaCl_2 处理具有机械损伤的番茄可延缓其转红。

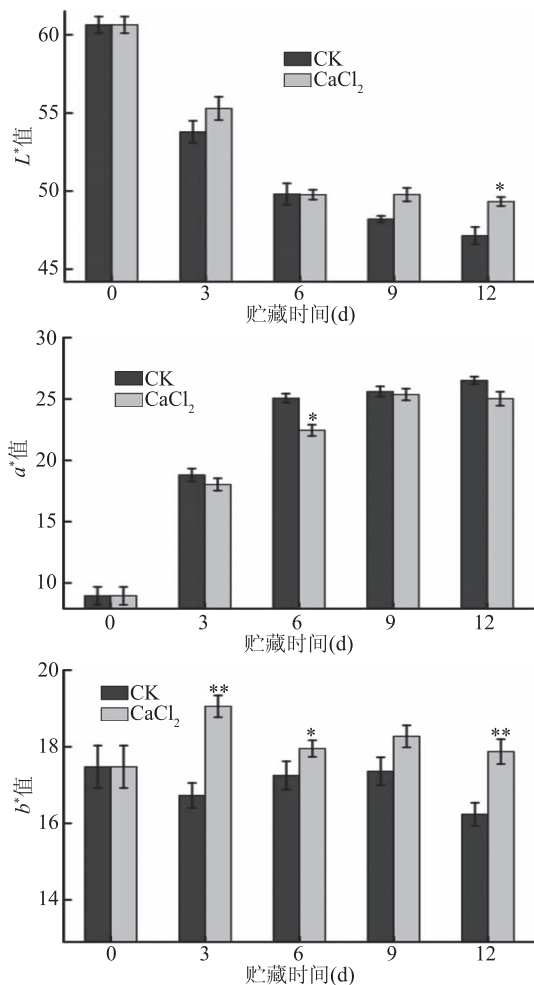


图4 CaCl_2 处理对番茄色度的影响

Fig.4 Effect of CaCl_2 treatment on color of tomato

2.5 氯化钙处理对机械伤番茄维生素 C (V_c) 含量的影响

维生素 C 是番茄重要的抗氧化物质^[8],还是其重要的营养指标。如图 5 所示,贮藏前 3 d, V_c 含量快速下降,可能是由于采后植株失去了营养来源。随着贮藏时间的延长, CaCl_2 处理组和 CK 组番茄的 V_c 含量均下降,但处理组始终高于 CK 组,在贮藏末期,CK 组 V_c 含量下降至初值的 67.45%,而 CaCl_2 处理组番茄的 V_c 含量下降至初值的 70.59%。研究表明,钙可以调控果蔬的呼吸速率和一些基础的生命活动,从而延缓衰老^[19],本实验结果显示,适量的 CaCl_2 处理番茄可以延缓其 V_c 含量的下降,从而延

缓衰老,延长贮藏时间,与郝浩永等^[18]的结果相似。

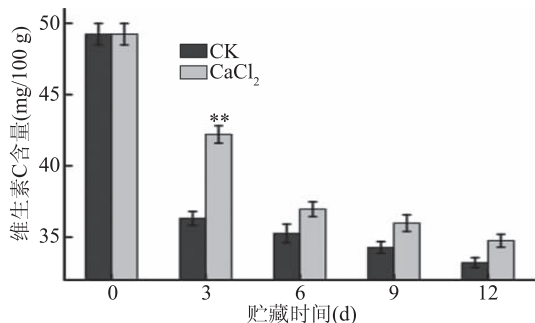


图5 CaCl_2 处理对番茄 V_c 含量的影响

Fig.5 Effect of CaCl_2 treatment on vitamin C content of tomato

2.6 氯化钙处理对机械伤番茄丙二醛 (MDA) 含量的影响

丙二醛是植物组织膜脂质过氧化的主要产物,其含量的多少反映膜损伤的程度^[20]。由图 6 可知,番茄在贮藏期间丙二醛含量逐渐升高,但 CK 组始终高于 CaCl_2 处理组,且贮藏 3 d 后,差异极显著 ($P < 0.01$)。贮藏末期 CK 组番茄的 MDA 含量比 CaCl_2 处理组高 32.8%,表明具有机械损伤的番茄经过 1 mmol/L CaCl_2 处理后,可以抑制其在贮藏期间 MDA 含量的积累,抑制番茄组织过氧化反应,延长贮藏期。

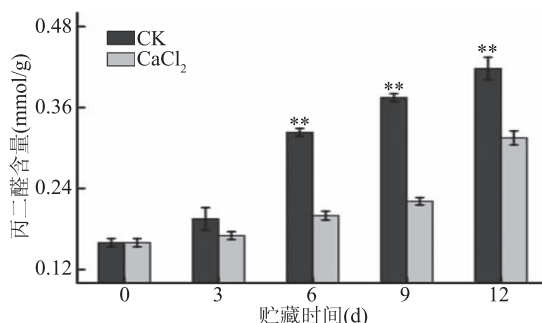


图6 CaCl_2 处理对番茄 MDA 含量的影响

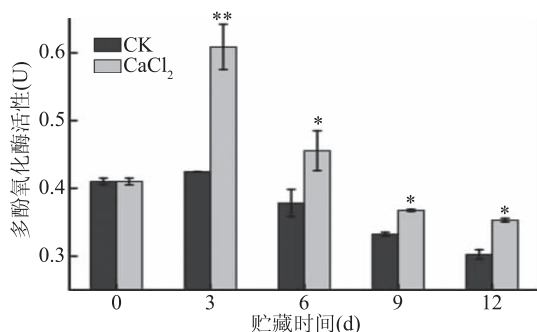
Fig.6 Effect of CaCl_2 treatment on MDA content of tomato

2.7 氯化钙处理对机械伤番茄多酚氧化酶 (PPO) 活性的影响

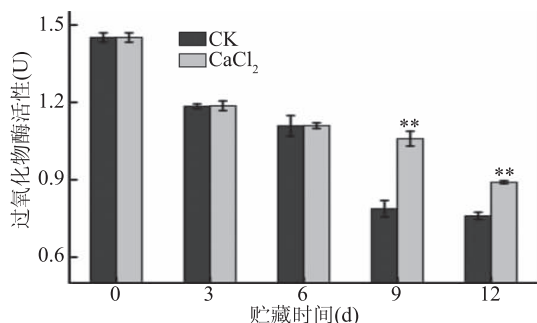
PPO 是影响酶促反应的关键酶,其在氧存在的条件下可将酚类底物催化成醌,并进一步聚合成黑色素^[21],使果蔬发生褐变。由图 7 所示,随着贮藏时间的延长, CaCl_2 处理组和 CK 组番茄的 PPO 活性呈先上升后下降趋势,在贮藏第 3 d 达到最高值,此时 CaCl_2 处理组的 PPO 活性是 CK 组的 1.43 倍,且在贮藏期间 CaCl_2 处理组的活性始终高于 CK 组,差异显著 ($P < 0.05$)。由此说明,经过 CaCl_2 处理具有机械损伤的番茄可以促进伤口的愈合,增加植物对病原体的抗性^[22],延长货架期。

2.8 氯化钙处理对机械伤番茄过氧化物酶 (POD) 活性的影响

POD 作为一种重要的氧化还原酶类,其活性的变化作为果实后熟衰老的一种重要指标^[23]。如图 8 所示,在贮藏期间, CaCl_2 处理组和 CK 组番茄呈下降

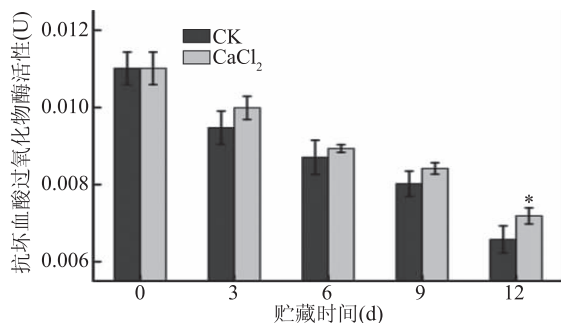
图7 CaCl₂处理对番茄多酚氧化酶活性的影响Fig.7 Effect of CaCl₂ treatment on PPO activity of tomato

趋势,与孙娅等^[28]的处理双孢菇结果相似。经过CaCl₂处理的番茄 POD 活性始终高于 CK 组,且在第9和第12 d 差异极显著($P < 0.01$)。在贮藏第12 d,处理组和 CK 组的 POD 活性达到最低值,与初值相比,此时的 POD 活性分别下降了 38.66% 和 47.69%。由此说明,经过 CaCl₂ 处理的具有机械损伤的番茄,可以延缓 POD 活性的下降,缓解衰老与腐烂的发生。

图8 CaCl₂处理对番茄过氧化物酶活性的影响Fig.8 Effect of CaCl₂ treatment on POD activity of tomato

2.9 氯化钙处理对机械伤番茄抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的影响

APX 是以抗坏血酸为电子供体的专一性很强的过氧化物酶,其在植物细胞中可用来催化抗坏血酸和 H₂O₂ 发生氧化还原反应,用以提高植物细胞的抗氧化还原系统,保护细胞不被破坏^[24]。由图 9 可知,在贮藏期间,APX 随着贮藏时间的延长逐渐下降,且在第 12 d 差异显著($P < 0.05$)。由此说明,用 1 mmol/L CaCl₂ 处理具有机械损伤的番茄会降低其

图9 CaCl₂处理对番茄抗坏血酸过氧化物酶活性的影响Fig.9 Effect of CaCl₂ treatment on APX activity of tomato

氧化损伤,增强 APX 的活性,保护番茄组织细胞,延长保鲜时间。

3 结论与讨论

用 1 mmol/L CaCl₂ 处理具有机械损伤的番茄果实,可以有效缓解其在贮藏期间腐烂发生,使其保持较高的感官品质,延长货架期,维持较高的硬度和色度,郝浩永等^[18]、陈莉等^[25]均有相关报道。氯化钙处理可以有效延缓贮藏期间 V_c 含量的下降,延缓 MDA 含量的积累,同时,提高 POD、APX 和 PPO 的活性,延缓贮藏期间的衰老^[26],与本文研究结果一致。因此运用 1 mmol/L CaCl₂ 处理具有机械损伤的番茄果实,可以有效延缓其在贮藏期间的腐烂,延长贮藏期和保鲜期,为具有机械伤番茄的贮藏保鲜提供理论依据。

参考文献

- [1] 范林林,左进华,夏春丽,等. LED 白光处理对番茄贮藏品质的影响[J]. 北方园艺, 2016(17): 134-137.
- [2] 虞新新,吕恩利,陆华忠,等. 不同气调环境对番茄保鲜品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 135-139.
- [3] 余定浪,任柯霖,欧州,等. 1-MCP 结合 ClO₂ 固体缓释剂处理对番茄贮藏的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(6): 205-210.
- [4] Li Z, Wang Y. A multiscale finite element model for mechanical response of tomato fruits[J]. Postharvest Biol Tec, 2016, 121: 19.
- [5] 王云香,顾思彤,左进华,等. 腐胺对机械伤青椒果实生理品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 259-263.
- [6] 胡云峰,陈君然,肖娟,等. 臭氧处理对切分青椒贮藏品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 259-263.
- [7] 杨巍,刘晶,吕春晶,等. 氯化钙和抗坏血酸处理对鲜切苹果品质和褐变的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3402-3410.
- [8] 陈娟娟,陶乐仁,马国强,等. 氯化钙和水杨酸处理对辣椒冷藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 292-295.
- [9] 王颖,范春丽,范芳. 壳聚糖和氯化钙复合涂膜对杨桃的保鲜效果[J]. 河南农业科学, 2012, 41(3): 125-128.
- [10] 陈艳彬,靳志强. 不同樱桃番茄品种的品质[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(8): 83-86.
- [11] 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): 268-274.
- [12] 王云香,王清,高丽朴,等. 外源 NO 处理对黄瓜采后生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2018(18): 109-113.
- [13] 张娜,周瑞香,关文强,等. LED 单色红光对西兰花采后黄化抑制效果的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(4): 955-959.
- [14] 徐冬颖,史君彦,郑秋丽,等. 臭氧处理对菠菜采后保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2018(12): 125-130.
- [15] 张洪军,潘艳娟,王建清. 大蒜/肉桂精油复配 PE 膜对双孢菇的保鲜研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(4): 21-25.
- [16] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 44-45.

- [17]李立民.运输过程中机械振动对果蔬贮藏品质的影响[D].天津:天津商业大学,2016.
 - [18]郝浩永,张伟峰,陈莉.采后氯化钙和热处理对番茄保鲜效果的比较分析[J].湖北农业科学,2010,49(4):940-943.
 - [19]张兰.钙处理对果蔬衰老的作用[J].广西轻工业,2006(6):19.
 - [20]Zheng P, Bai X, Long J, et al.Nitric oxide enhances the nitrate stress tolerance of spinach by scavenging ROS and RNS[J].Scientia Horticulturae,2016,213:24-33.
 - [21]孙蕊,郭蓓,李慧,等.曲酸对鲜切山药色泽及相关生理变化的影响[J].中国食品学报,2014,14(1):184-191.
 - [22]N F İyidogan, A Bayındır. Effect of L-cysteine, kojic acid and 4-hexylresorcinol combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice[J].Journal of Food Engineering, 2004,62:299-304.

(上接第263页)

 - 268-273.
 - [4]曾茂茂,王俊辉,陈静,等.香辛料的抗氧化活性及对肉制品中杂环胺的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(1):1-6.
 - [5]王南,王桂瑛,赵莹莹,等.高温加工肉制品中PhIP的形成与控制[J].肉类研究,2014,28(10):33-37.
 - [6]陈炎,蔡克周,杨潇,等.外源成分对肉制品中杂环胺抑制效果的研究进展[J].食品科学,2015,36(23):329-333.
 - [7]付瑜锋,胡少东,段鹄,等.主要杂环胺类化合物研究进展[J].轻工学报,2018,33(1):13-25.
 - [8]Maria Buła, Wiesław Przybylski, Danuta Jaworska, et al.Formation of heterocyclic aromatic amines in relation to pork quality and heat treatment parameters[J].Food Chemistry,2019,276(3):511-519.
 - [9]Fei Lu, Gunter K Kuhnle, Qiaofen Cheng. The effect of common spices and meat type on the formation of heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons in deep-fried meatballs[J].Food Control,2018,92(5):399-411.
 - [10]Fateme Barzegar, Marzieh Kamankesh, Abdorreza Mohammadi. Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk - toxicology and their analytical techniques[J].Food Chemistry,2019,280(5):240-254.
 - [11]Maomao Zeng, Mengru Zhang, Jing Chen, et al.UPLC-MS/MS and multivariate analysis of inhibition of heterocyclic amine profiles by black pepper and piperine in roast beef patties[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems,2017,168(9):96-106.
 - [12]李可,韩雪,谢美娟,等.HPLC法检测市售传统肉制品中的杂环胺含量[J].现代食品科技,2017,33(10):294-301.
 - [13]聂文,屠泽慧,张静,等.香兰素和维生素C对卤煮牛肉中杂环胺含量的影响[J].食品安全质量检测学报,2017,8(6):1987-1992.
 - [14]姚瑶,彭增起,邵斌,等.20种市售常见香辛料的抗氧化性对酱牛肉中杂环胺含量的影响[J].中国农业科学,2012,45(20):4252-4259.
 - [15]曾茂茂,李洋,何志勇,等.液相色谱-质谱联用法结合主成分分析考察食品中前体物质对杂环胺生成的影响[J].分析化学,2014,42(1):71-76.
 - [16]王敏,郭德华,丁卓平,等.液相色谱-离子阱-飞行时间串联质谱同时检测葡萄酒中14种杂环胺[J].色谱,2012,30(7):738-742.
 - [17]Yanping Xian, Yulu Wu, Hao Dong, et al. Modified QuEChERS purification and Fe₃O₄ nanoparticle decoloration for robust analysis of 14 heterocyclic aromatic amines and acrylamide in coffee products using UHPLC-MS/MS[J].Food Chemistry, 2019,285(7):77-85.
 - [18]İftikhar Ali Khan, Dongmei Liu, Mingjun Yao, et al. Inhibitory effect of *Chrysanthemum morifolium* flower extract on the formation of heterocyclic amines in goat meat patties cooked by various cooking methods and temperatures[J].Meat Science, 2019,147(1):70-81.
 - [19]邵斌,彭增起,杨洪生,等.固相萃取-高效液相色谱法同时测定传统禽肉制品中的9种杂环胺类化合物[J].色谱,2011,29(8):755-761.
 - [20]戴明.液相色谱串联质谱法测定热加工食品中杂环胺[J].食品研究与开发,2016,37(22):123-127.
 - [21]徐琦,杨洪生,吴光红,等.超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法同时测定鱼类加工品中12种杂环胺类化合物[J].南方水产科学,2012,8(4):7-15.
 - [22]Commission decision 2002/657/EC[S].Official Journal of the European Communities,2002,221:8-36.
 - [23]万可慧,彭增起,邵斌,等.高效液相色谱法测定牛肉干制品中10种HAAs含量[J].色谱,2012,30(3):285-291.
 - [24]潘晗.酱肉中norharman和harman形成机理的研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
 - [25]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.243-2016食品安全国家标准 高温烹调食品中杂环胺类物质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.