1-MCP 处理延缓采后机械伤青圆椒的衰老进程

王云香[1]，刘瑶[1]，李雪松[1,2]，张慧君[2]，左进华[1]，高丽朴[1]，史君彦[1]，王清[1]
（1.北京市农林科学院 蔬菜研究中心，农业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，农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室，农业部都市农业（北方）重点实验室，北京 100097）
（2.淮北师范大学生命科学学院，安徽淮北 235000）

摘要：为了探究 1-MCP 处理对采后机械损伤青圆椒果实生理生化的影响，本实验采用 10 μL/L 1-MCP 处理机械损伤的青圆椒果实。在贮藏期间分析了 1-MCP 处理对机械损伤青圆椒果实的品质、细胞膜损伤以及丙二醛（MDA）含量、叶绿素含量和活性氧清除酶如超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化氢酶（CAT）、过氧化物酶（POD）、抗坏血酸过氧化物酶（APX）活性和基因表达水平的影响。实验结果显示：在 20 ℃的贮藏条件下，用 1-MCP 处理机械损伤青圆椒果实，可以有效保持其贮藏期品质。与对照组相比，10 μL/L 1-MCP 处理有效减缓了青圆椒果实中叶绿素的降解和维生素 C 含量的降低，抑制了青圆椒果实 MDA 含量的积累，维持了细胞膜的完整性。同时，用 1-MCP 处理的机械损伤青圆椒的抗氧化酶类 POD、CAT、APX 的活性和基因相对表达量均显著高于对照组。以上结果表明，1-MCP 处理可以有效延缓采后机械伤的青圆椒的衰老进程，保持果实的贮藏品质，延长青圆椒果实的货架期。

关键词：青圆椒；1-MCP；机械损伤；采后生理；基因表达
文章篇号：1673-9078(2018)12-111-116 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.12.017

Postharvest Mechanical Injury-induced Senescence of Green Bell Pepper Delayed by 1-MCP Treatment

WANG Yun-xiang[1], LIU Yao[1], LI Xue-song[1,2], ZHANG Hui-jun[2], ZUO Jin-hua[1], GAO Li-pu[1], SHI Jun-yan[1], WANG Qing[1]
(1.Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Key Laboratory of the Vegetable Postharvest Treatment of Ministry of Agriculture, Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture: Key Laboratory of Urban Agriculture (North) Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)
(2.College of Life Science Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China)

Abstract: To study the effect of 1-MCP treatment on postharvest physiology and biochemical characteristics of green bell pepper with mechanical damage, this research used 10 μL/L 1-MCP to treat the pepper fruits. The quality of bell pepper fruit, cell membrane damage, the malondialehyde (MDA) content, chlorophyll content, activated oxygen scavenging enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and ascorbate peroxidase (or APX), as well as gene expression level were examined periodically during storage. The results showed that 1-MCP treatment could effectively maintain the quality of mechanically damaged pepper fruits over the storage at 20 ℃. Compared with the control group, 1-MCP treatment at 10 μL/L delayed the degradation of chlorophyll and reduction of Vitamin C, inhibited the accumulation of MDA content, and maintained the integrity of the cell membrane of the bell pepper fruits, while increasing the activities of POD, CAT and APX and gene expression. These results incdicate that 1-MCP treatment could effectively delay the senescence of the postharvest mechanically injured green bell pepper, and maintained their storage quality and prolonged their shelf life.

Key words: pepper; mechanical damage; 1-methylcyclopropane; post-harvest physiology; gene expression

收稿日期：2017-12-08
基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFD0400901）；国家大宗蔬菜产业体系建设项目（CARS-23-E02）；北京市农林科学院青年基金项目（201709）；北京市农林科学院果蔬保鲜与加工创新团队项目（JNKST201602）；北京市农林科学院创新能力建设专项（20180705）
作者简介：王云香(1986-)，女，博士，研究方向：果蔬采后生理与分子生物学；共同第一作者：刘瑶（1994-），女，硕士，研究方向：农产品贮藏保鲜
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

果蔬从采后包装、运输、贮藏最后到消费的整个过程中，会受到跌落、挤压、震动、碰撞等各种机械损伤[1,2]，机械损伤能导致果蔬生理代谢紊乱，引发一系列不利于贮藏的生理生化反应。同时，机械损伤降低了果蔬外观质量和食用品质，破坏果蔬组织细胞膜系统和细胞结构的完整性，导致有关代谢物质改变，发生酶促褐变等一系列异常生理生化变化，加速果蔬采后衰老进程。损伤部位给微生物侵染提供了机会，使腐烂速率加快，造成品质下降，贮藏期变短，造成一系列的经济损失，严重的影响了经济效益[3,4]。采后果蔬受机械伤害的生理生化反应主要包括乙烯生成、呼吸速率变化、膜脂过氧化、愈伤组织和次生物质生成五个方面[5]。目前，人们对果实机械伤的研究主要集中于明确某一种机械伤给果实所造成的影响，并从2 个方面探索解决方法：一是通过研究果实力学特性和规律，寻求减少果实受力的技术措施，以预防和减轻果实机械损伤；二是通过研究采后技术，调节果实生理特性，降低果实对机械伤的敏感性，以减轻机械伤给果实带来的影响[6]。

1-MCP（1-methylcyclopropane，甲基环丙烯）是一种有效的乙烯受体抑制剂，有无生理毒性、无异味、稳定性好、易于合成、使用浓度低、残留气味较小等优点[7]。1-MCP 与果蔬组织中的乙烯受体结合，阻断乙烯与受体的结合，阻止或延缓乙烯的生理作用。在国内，关于 1-MCP 对青圆椒采后机械伤的生理生化影响十分少见。本实验主要研究 1-MCP 处理对采后青圆椒机械损伤后贮藏过程中一些生理生化指标的影响，为 1-MCP 在青圆椒贮藏运销保鲜的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用品种为京甜 3 号，采收当天运回实验室，挑选大小均一，无病虫害、无机械损伤、成熟度均匀的新鲜的青圆椒为试材。

1-MCP 购自上海鲜达生物科技有限公司，气体纯度 92%。

保鲜膜：0.03 mm PE 膜，由北京华盾雪花有限公司提供。

1.2 试验处理

1.2.1 青圆椒预处理

挑选好的青圆椒采用高处坠落法模拟机械损伤，从距地面 1 m 的高处坠落，然后以不同浓度 1-MCP（8 μL/L、10 μL/L）熏蒸 24 h。预实验发现 10 μL/L 1-MCP 处理效果最佳。根据此条件，正式实验的青圆椒随机均分为 2 组，A 组和 B 组。A 组和 B 组均从距地面 1 m 的高处坠落，在室温下（T=20 ℃，H=80%~85%）对 A 组青圆椒用 10 μL/L 1-MCP 熏蒸 24 h。将处理后的 A 组和未处理的 B 组青圆椒装入 0.03 mm 厚度的 PE 保鲜袋中，每袋装 5 个青圆椒，折口包装后于 20 ℃下贮藏，每隔 3 d 测定相关生理生化相关指标。实验重复三次，所测数据取平均值。

1.2.2 主要仪器设备

UV-1800 分光光度计，岛津；D-3752 冷冻离心机(Thermo Fisher Scientific)；XMTD-6000 型数显恒温水浴锅，余姚金电仪表有限公司；DYY-6D 型电泳仪，北京市六一仪器厂；德国 IKA A11 basic 分析研磨机，上海川翔生物科技有限公司；PCR 仪，德国耶拿分析仪器股份公司；Nano Drop 2000 微量分光光度计，北京科誉兴业科技发展有限公司；凝胶成像仪，上海创萌生物科技有限公司；Light Cycler 480 Ⅱ实时荧光定量 PCR 系统。

1.2.3 测定指标和方法

MDA 含量的测定采用 Jin[8]等的方法。样品组织用 10 mL 100 g/L 三氯乙酸(TCA)溶液匀浆，4 ℃ 13000 r/min 下离心 30 min，在 10 mL 试管中一次加入 2 mL 上清液、2 mL 0.67% TBA 混匀，于沸水裕中 20 min，冷却，然后测定 450 nm、560 nm 和 600 nm 处吸光值。

叶绿素含量测定采用 Deng[9]等的方法稍作修改。青圆椒组织用 4 ℃的丙酮:乙醇(2:1)溶液匀浆，在通风橱内避光过滤至 50 mL 棕色容量瓶中，至青圆椒匀浆组织变白，然后定容至刻度，测定 66 nm 和 645 nm 处吸光值。

V_C 含量测定采用钼酸铵比色法[10]。样品组织用 10 mL 0.05 mol/L 草酸-EDTA 溶液匀浆，于 4 ℃ 13000 r/min 下离心 30 min，在 10 mL 试管中一次加入 2 mL 上清液、3 mL 草酸-EDTA、0.5 mL 偏磷酸-乙酸、1 mL 5% H_2SO_2 和 2 mL 5%钼酸铵混合，于 80 ℃水浴锅中水浴 10 min，取出冷却至室温，用蒸馏水定容至 1 mL，然后测 760 nm 处的吸光值。

POD（过氧化物酶活性）测定采用愈创木酚法[11]反应体系为 0.3% H_2O_2 1 mL、0.2%愈创木酚 0.9 mL、pH 7.8 PBS 1 mL 和酶液 0.1 mL，测定 470 nm 处吸光值。

CAT 活性测定采用 Azevedo[12]等的方法稍作修改，称取 1 g 样品于研钵中，加入 8 mL 提取缓冲液，在冰浴条件下研磨成匀浆，然后转入离心管中于

4 ℃、13000 r/min 离心 30 min，收集上清液即为酶提取液，低温保存备用。反应体系包括 0.3% H_2O_2 1 mL、pH 7.8 PBS 1.9 mL 和酶液 0.1 mL，用紫外分光光度计测定 240 nm 处吸光值。以每克果蔬样品（鲜重）每分钟吸光度变化值增加 0.01 为 1 个 CAT 活性单位。

APX（抗坏血酸过氧化物酶活性)测定采用 Wang[13]等方法，样品组织用 8 mL 0.1 mol/L pH 7.5 的 PBS 缓冲液提取，4 ℃ 13000 r/min 下离心 30 min，上清液为粗酶提取液，反应体系包含反应缓冲液 2.6 mL、酶液 0.1 mL 和 2 mmol/L H_2O_2 0.3 mL，测定 290 nm 处的吸光值。

Real-time Q-PCR 分析抗氧化酶基因表达：RNA 的提取方法参照 Invitrogen 生物公司提供的说明书，将冷冻样品至于液氮中，取 0.1 g 的粉末与 1 mL Trizol 试剂混合，提取总 RNA。用 Super Script TM Ⅲ 反转录试剂盒将 RNA 反转录成 cDNA。以 cDNA 为模板进行 RT-PCR 的检测，采用 96 孔板点样，使用 Light Cycler 480 Ⅱ仪器测定，用 2-△△Ct 法相对定量。利用 Primer 5.0 软件设计引物，以 UBI-3 作为内参基因，POD、CAT、APX 为目的基因，由上海生物工程有限公司完成引物的合成。引物设计序列见表 1。

表 1 内参和目的基因表达的引物序列

Table 1 The sheet of primer sequence of endoginseng and target gene expression

基因	NCBI 登录号	引物序列（5’-3’）	产物大小/bp
UBI-3	AY486137	F-TGTCCATCTGCTCTCTGTTG R-CACCCCAAGCACAATAAGAC	204
POD	FJ596178	F-TTCCTCCTCCTACTTCTAACCT R-AACAGACCTCTTTTGCTCACTA	304
CAT	AF227952	F-AGGAAGGCGTGAAAAGTGTGT R-ATCGGATAAAGACTCAACCCA	127
APX	AY129560	F-CCTTCTCCTGCTGCTCAT R-TCCTGGTCCATCTTTCGT	159

1.2.4 数据统计分析

本实验利用 EXCEL 2010 统计分析软件进行数据整理，利用 Origin 9.0 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；p<0.01 为差异极显著）。

2 结果与分析

2.1 1-MCP 处理对机械损伤青圆椒叶绿素含量的影响

颜色是青椒果实外观品质的重要指标，随着青椒的衰老果实开始转红。叶绿素是构成青椒绿色的主要成分[14]，青圆椒在包装、包装、贮藏过程中极易受到机械损伤，影响食用价值和商业价值。由图 1 可知，青圆椒果实的叶绿素含量随贮藏时间的增加呈明显下降的趋势。第 12 d 时，对照组和 1-MCP 处理组果实的叶绿素含量分别为 0.49 mg/g 和 0.52 mg/g，1-MCP 处理组的叶绿素含量显著高于对照组的叶绿素含量（p<0.05）。对照组和 1-MCP 处理组的叶绿素含量在贮藏期间持续下降，0~3 d 快速下降，但 1-MCP 处理组比对照组下降缓慢。1-MCP 处理组的叶绿素含量始终高于对照组的叶绿素含量，说明 1-MCP 处理对于青圆椒机械损伤后叶绿素的降解有一定的抑制作用，可以延缓叶绿素的降解。

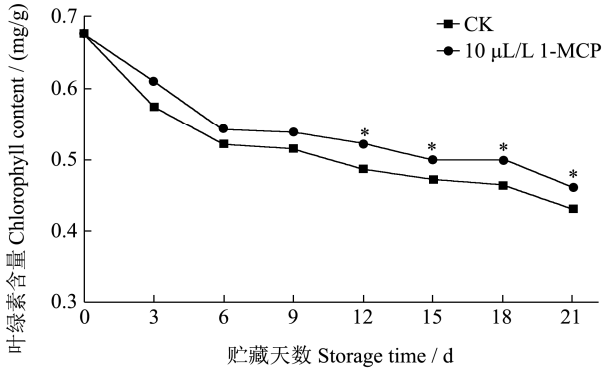


图 1 1-MCP 处理对青圆椒机械伤后叶绿素含量的影响

Fig.1 Effect of 1-MCP treatment on chlorophyll content of green bell pepper

2.2 1-MCP 处理对机械损伤青圆椒维生素 C 含量的影响

维生素 C 是广泛存在于水果蔬菜中的重要维生素之一，维生素 C 的含量可作为果蔬抗衰老的重要指标[15]。青圆椒含有较高的维生素 C，机械损伤会使青圆椒中的维生素 C 快速降解。由图 2 可知，在贮藏初期，青圆椒的维生素 C 含量下降速率较缓慢，从第 9 d 开

始，青圆椒维生素 C 含量快速下降。贮藏期间，对照组和 1-MCP 处理组的维生素 C 含量呈现均呈现下降趋势，但 1-MCP 处理组维生素 C 含量始终高于对照组，贮藏的第 12 d 和 15 d，对照组和 1-MCP 处理组的维生素 C 含量分别为 1.58 mg/g、1.74 mg/g 和 1.47 mg/g、1.62 mg/g，差异显著（$p<0.05$）。在贮藏的 18 d 和 21 d，对照组和 1-MCP 处理组维生素 C 含量分别降低至 1.34 mg/g、1.56 mg/g 和 1.47 mg/g，差异极显著（$p<0.01$）。结果表明，在整个贮藏过程中，1-MCP 对抑制机械损伤青圆椒维生素 C 的降低有十分明显的效果，对受到机械损伤的青圆椒进行 1-MCP 处理有助于减少维生素 C 含量的降低。

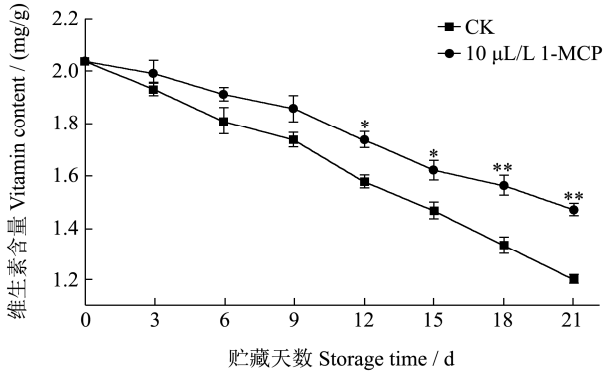


图 2 1-MCP 处理对青圆椒机械伤后维生素 C 含量的影响

Fig.2 Effect of 1-MCP treatment on V_C content of green bell pepper

2.3 1-MCP 处理对机械损伤青圆椒 MDA 含量的影响

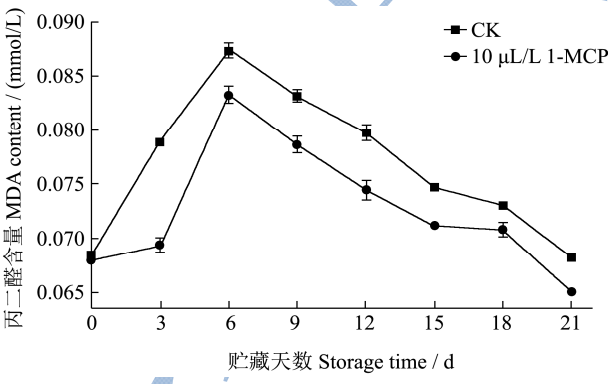


图 3 1-MCP 处理对青圆椒机械伤后 MDA 含量的影响

Fig.3 Effect of 1-MCP treatment on MDA content of green bell pepper

MDA 是细胞膜脂过氧化最重要的产物之一，其含量是评判细胞膜损伤程度的重要标志之一[16]。由图 3 可知，在贮藏期间，对照组和 1-MCP 处理组的 MDA 含量先逐渐升高，并在第 6 d 达到峰值，分别为 0.087 nmol/L 和 0.083 nmol/L。在第 6 d 后，对照组和 1-MCP 处理组的 MDA 含量又缓慢下降，1-MCP 处理组的 MDA 含量达到最低 0.065 nmol/L。在整个贮藏期间，1-MCP 处理组的机械伤青圆椒 MDA 含量一直低于对照组，说明，对含有机械损伤的青圆椒进行 1-MCP 处理，可以有效的延缓 MDA 的积累。

2.4 1-MCP 处理对机械损伤青圆椒 APX 酶活性和 APX 基因表达量的影响

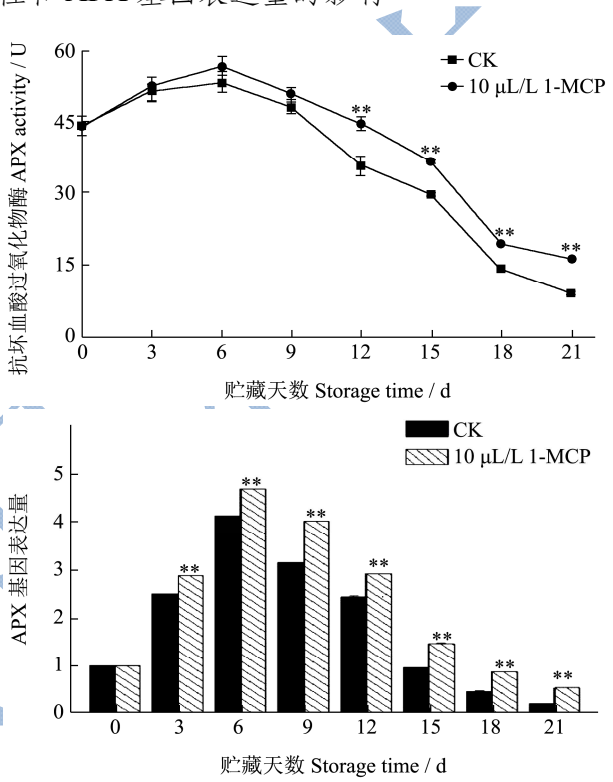


图 4 1-MCP 处理青圆椒机械伤后对抗坏血酸过氧化物酶（APX）活性和 APX 基因表达量的影响

Fig.4 Effect of 1-MCP treatment on APX activity and gene expression of green bell pepper

APX 是以抗坏血酸为电子供体的专一性强的过氧化物酶，催化抗坏血酸与 H_2O_2 发生氧化还原反应，以使抗坏血酸氧化形成单脱氢抗坏血酸，同时 H_2O_2 被分解消除，提高细胞抗氧化系统还原势，对外界的氧化胁迫、不良环境、病虫害侵染等作出反应[17]。由图 4 可知，在贮藏期间，APX 的活性先缓慢上升后快速下降。对照组和 1-MCP 处理组的 APX 活性在 0~6 d 内上升，并于第 6 d 达到峰值，分别为 53.35 U/(g·min)、56.65 U/(g·min)，在第 6 d 之后迅速下降。1-MCP 处理组的 APX 活性显著高于对照组，在第 12 d 以后，处理组与对照组两者差异极其显著（$p<0.01$）。由图 4 可知，1-MCP 处理组的 APX 的基因表达量始终高于对照组，两者差异极其显著。APX 基因表达量具有与 APX 酶的活性相似的变化趋势，均为先升高再持续下

降。由以上结果可表明，对有机械损伤的青圆椒进行1-MCP处理，可以有效的延缓APX活性的降低。

2.5 1-MCP处理对机械损伤青圆椒POD酶活性和POD基因表达量的影响

POD是活性较高的适应性酶，能够反映植物生长发育的特点、体内代谢状况及对环境的适应性，POD有清除H_2O_2的作用[18]。由图5可知，对照组和1-MCP处理组的POD活性均呈先上升后下降的趋势，1-MCP处理组的POD活性一直高于对照组。对照组和1-MCP处理组的POD活性均于第9 d达到峰值。在第15 d和18 d，1-MCP处理组的POD活性显著高于对照组，差异极其显著（$p<0.01$）。由POD基因表达量可以得出，POD基因表达量与POD酶的活性变化趋势相似，呈先上升后下降趋势，且1-MCP处理组的POD的基因表达量均高于对照组的POD基因表达量。第9 d后，对照组和1-MCP处理组差异极其显著（$p<0.01$）。由此可以得出，用1-MCP处理机械损伤青圆椒，可以延缓有效POD活性的下降，削弱膜脂过氧化作用，起到保护细胞膜的作用。

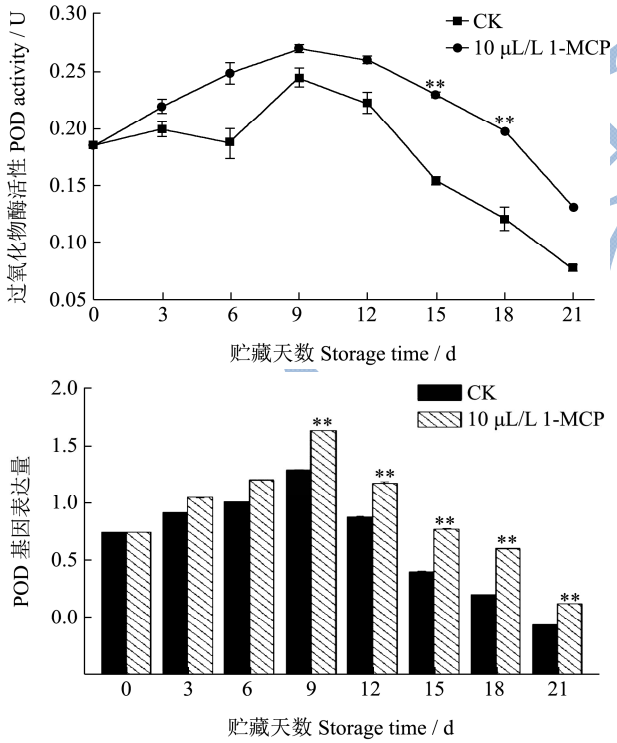


图5 1-MCP处理青圆椒机械伤后过氧化物酶（POD）活性和POD基因表达量的影响

Fig.5 Effect of 1-MCP treatment on POD activity and gene expression of green bell pepper

2.6 1-MCP处理对机械损伤青圆椒CAT酶活性和CAT基因表达量的影响

CAT是植株体内广泛存在的可以清除活性氧的膜保护酶类，它能把活性氧转变成低活性物质，进而保护细胞膜系统[19]。由图6可知，在青圆椒果实的贮藏过程中，CAT的活性先升高后下降，并于第9 d达到峰值，1-MCP处理组的活性一直高于对照组，且差异极显著（$p<0.01$）。在贮藏期间内，1-MCP处理组的CAT的基因表达量均高于对照组，并于第9 d达到峰值，第9 d后，两者之间差异显著（$p<0.05$）。对照组和1-MCP处理组的CAT基因表达量具有与CAT酶活性相似的变化趋势，于第9 d达到峰值活性。由此可得出，用1-MCP处理机械损伤青圆椒可以显著延缓CAT活性的下降，并减弱膜脂过氧化作用，保护细胞膜。

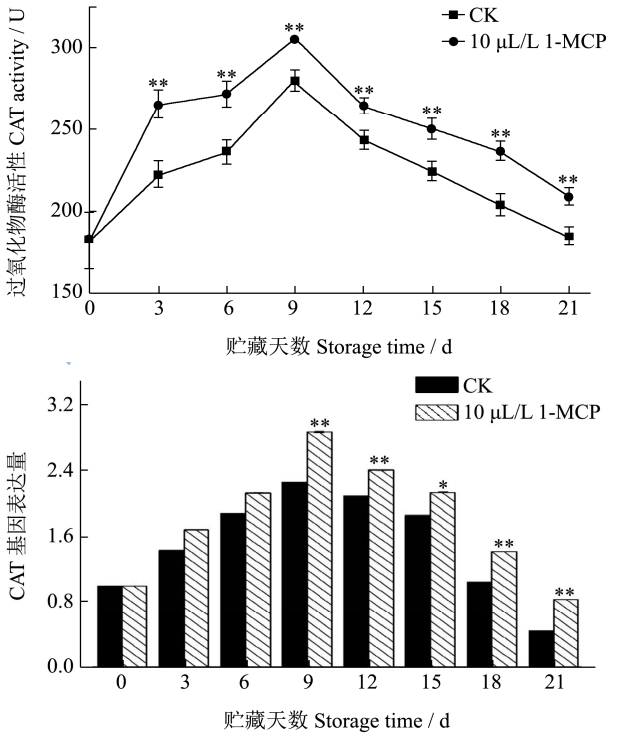


图6 1-MCP处理青圆椒机械伤后过氧化氢酶（CAT）活性和CAT基因表达量的影响

Fig.6 Effect of 1-MCP treatment on CAT activity and gene expression of green bell pepper

3 结论

水果和蔬菜在采前和采后都会受到不同程度的机械损伤。采前机械损伤少有规律可寻，较为严重的机械损伤一般发生在采收以后[20]，当蔬菜类果实受到机械伤等外界损伤胁迫时，降解反应、膜脂过氧化等一系列生理生化反应会造成果实体内积累大量的自由基，并伤害果实细胞。目前，1-MCP在果蔬贮藏保鲜

方面的应用越来越广泛[21]。本试验结果表明，在 20 ℃的贮藏温度下采用 1-MCP 处理京甜 3 号，并可以有效减缓果实中叶绿素的降解和维生素 C 含量的下降，提高一些抗机械伤胁迫物质的活性或含量。用 1-MCP 处理含有机械损伤的青圆椒，有效抑制了 MDA 含量的增加，以上结果说明，1-MCP 处理可以有效提高植物的抗胁迫性，并保护细胞膜脂，从而维持了细胞结构和功能的相对稳定性。与对照组相比，青圆椒果实在受到人工模拟机械伤后，10 μL/L 1-MCP 处理能显著提高抗氧化系统保护酶类 POD、CAT、APX 的活性，以及抗氧化酶基因的相对表达量，且抗氧化酶基因的相对表达趋势与酶活性变化趋势相似，说明 1-MCP 处理可能直接或间接地清除植物体内的自由基，进而减轻外界机械损伤胁迫对植物果实细胞造成的伤害，保持青圆椒贮藏期的品质，延长其贮藏保鲜期。

参考文献

[1] 魏巍,王芳,赵满全,等.果蔬运输振动损伤与其品质评价指标的研究现状[J].农机化研究,2015,5:260-263
WEI Wei, WANG Fang, ZHAO Man-quan, et al. Current status of research on vibration damage and quality evaluation index of fruit and vegetable transportation [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 5: 260-263

[2] 李萍,王若伊,林顿,等.果蔬运输振动损伤及其减振包装设计[J].食品工业科技,2013,34(5):353-357
LI Ping, WANG Ruo-yi, LIN Dun, et al. Vibration damage and anti-vibration packaging of fruits and vegetables during transportation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 353-357

[3] 陈绍军,陈明木,康彬彬,等.机械伤害对枇杷果实采后生理的影响[J].福建农林大学学报:自然科学版,2004,33(2):250-253
CHEN Shao-jun, CHEN Ming-mu, KANG Bin-bin, et al. Effect of mechanical injury on postharvest physiology of loquat fruit [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2004, 33(2): 250-253

[4] 潘永贵,施瑞城.采后果蔬受机械伤害的生理生化反应[J].植物生理学通讯,2000,6:568-572
PAN Yong-gui, SHI Rui-cheng. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables responsing to mechanical stress [J]. Plant Physiology Communications, 2000, 6: 568-572

[5] 吴主莲,周会玲,任小林,等.不同机械伤对苹果果实贮藏效果的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(1):190-196
WU Zhu-lian, ZHOU Hui-ling, REN Xiao-ling, et al. Effect of different mechanical damages on storage result of apple [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat.Sci.Ed), 2012, 40(1): 190-196

[6] 孙海燕,陈丽,刘兴华,等.1-MCP 处理对青椒贮藏生理的影响[J].食品科技,2006,3:122-125
SUN Hai-yan, Chen Li, LIU Xing-hua, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on the postharvest physiology of green pepper [J]. Food Science and Technology, 2006, 30: 122-125

[7] Jin P, Zhu H. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid content [J]. Food Chemistry, 2014, 161: 87-93

[8] Deng Y S, Kong F Y, et al. Heterology expression of the tomato LeLhcb2 gene confers elevated tolerance to chilling stress in transgenic tobacco [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2014, 80: 318-327

[9] 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
ZHANG Hong-jun, PAN Yan-juan, WANG Jian-qing. Study on agaricus bisporus fresh-keeping effect by garlic/cinnamon essential oil compound PE film [J]. Package and Food Machinery, 2015, 33(4): 21-25

[10] CAO J K, JIANG W B, et al. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011

[11] Azevedo M. M., Carvalho A., Pascoal C., et al. Responses of antioxidant defenses to Cu and Zn stress in two aquatic fungi [J]. Science of the Total Environment, 2007, 377: 233-243

[12] Wang Q, Ding T, et al. Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 144: 195-200

[13] 魏雯雯,冯建华,杨相政,等.1-MCP 和硅窗袋气调包装对青椒贮藏品质的影响[J].食品开发,2014,39(7):52-55
WEI Wen-wen, FENG Jian-hua, YANG Xiang-zheng, et al. Effect of 1-MCP and silicon gum film modified atmosphere packaging on quality retention during storage of green pepper [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(7): 52-55

[14] 陈豫,胡伟,王宇,等.模拟运输振动胁迫对宜宾茵红李生理生化变化的影响[J].食品工业科技,2017,11:309-313
CHEN Yu, HU Wei, WANG Yu, et al. Effect of simulating transportation vibration stress on changes of physiology and biochemistry of "Yinhong" plum [J]. Science and Technology of Food Industy, 2017, 11: 309-313

[15] 张会丽.青椒采后生理及贮藏技术研究[D].郑州:河南农业大学,2008

ZHANG Hui-li. Study on postharvest physiology and storage technology of green pepper [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2008

[16] 史君彦,高丽朴,左进华,等.外源神经酰胺处理对青椒果实抗冷性的影响[J].现代食品科技,2016,32(2):164-170
SHI Jun-yan, GAO Li-pu, ZUO Jin-hua, et al. Effect of exogenous ceramide treatment on chilling tolerance in green bell pepper fruit [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(2): 164-170

[17] Aghdam M S, Bodbodak S. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 156: 73-85

[18] 张武.马铃薯叶绿素含量,CAT 活性与品种抗旱性关系的研究[J].农业现代化研究,2007,5:622-624
ZHANG Wu. Relations between chlorophyll content, CAT activity of potato and drought resistance of variety [J]. Research of Agrecultural Modernization, 2007, 5: 622-624

[19] 虢露葭,李萍,侯晓荣,等.果蔬采后机械损伤特性研究进展[J].食品工业科技,2013,34(1):389-396
GUO Lu-jia, LI Ping, HOU Xiao-rong, et al. Research progress of mechanical damage in postharvest fruits and vegetables [J]. Science and Technology of Food Industy, 2013, 34(1): 389-396

[20] 张晓敏,李具鹏,傅茂润,等.1-MCP 结合二氧化氯处理对青椒货架期品质的影响[J].食品工业科技,2018,39(13):275-280
ZHANG Xiao-min, LI Ju-peng, FU Mao-run, et al. Effects of the combination of 1-MCP and ClO_2 on shelf life quality of green pepper [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(13): 275-280

现代食品科技