

# 低温预贮对青尖椒采后冷害的影响

刘婧<sup>1,2</sup>, 郑秋丽<sup>1</sup>, 左进华<sup>1</sup>, 高丽朴<sup>1</sup>, 李淼<sup>2</sup>, 王清<sup>1</sup>

(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. 安徽农业大学植物保护学院, 安徽合肥 230000)

**摘要:** 为研究低温预贮(Low temperature conditioning, LTC)对青尖椒果实冷害的影响, 本实验将青尖椒分为两组处理, 分别为对照组(4℃贮藏25 d)和LTC组(10℃贮藏2 d再放入4℃贮藏23 d), 测定贮藏期间青尖椒果实的冷害指数、相对导电率、丙二醛、叶绿素、POD、APX和CAT等生理指标, 探究LTC处理对青尖椒果实冷害发生的影响。研究表明, 相对于直接将青尖椒放入冷库贮藏, LTC处理可更好抑制青尖椒冷害的发展, 有效减缓青尖椒冷害指数的增加, 抑制相对导电率的升高和丙二醛(MDA)含量的积累, 延缓Vc和叶绿素含量的下降, 提高青尖椒果实细胞内过氧化氢酶(CAT), 过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性, 提高青尖椒果实抗冷性, 保存青尖椒的贮藏品质, 延长青尖椒果实贮藏时间。

**关键词:** 青尖椒; 低温预贮; 冷害

文章编号: 1673-9078(2018)02-205-211

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.2.032

## Effects of Low Temperature Prestorage on the Postharvest Chilling Injury of Green Pepper

LIU Jing<sup>1,2</sup>, ZHENG Qiu-li<sup>1</sup>, ZUO Jin-hua<sup>1</sup>, GAO Li-pu<sup>1</sup>, LI Miao<sup>2</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Vegetable Post-harvest Processing, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Preservation and Processing of Fruits and Vegetables for Agriculture, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Preservation and Processing of Fruits and Vegetables in Beijing, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Creation, North China, Ministry of Agriculture, Ministry of Agriculture (North China Key Laboratory, Beijing 100097, China)(2. College of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230000, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of low temperature conditioning (LTC) on the chilling injury of green pepper, the green pepper was divided into two groups: control group (stored at 4℃ for 25 days) and LTC group (stored at 10℃ for 2 days, and then stored at 4℃ for 23 days). The chilling injury index, relative conductivity, malondialdehyde, chlorophyll, peroxidase (POD), ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) were measured during storage to investigate the effects of LTC treatment on the chilling injury of green pepper. The results showed that, compared with control group, LTC treatment could inhibit the development of chilling injury, which could effectively reduce the chilling injury index and inhibit the increase of relative conductivity and MDA content, delay the decrease of vitamin C (VC) and chlorophyll content, improve the activity of antioxidant enzymes (including CAT, POD and APX) in the cells of green pepper, improve the cold resistance of green pepper, preserve the quality of green pepper and extend the storage time of green pepper.

**Key words:** green pepper; low temperature prestorage; chilling injury

青尖椒是一年或多年生作物<sup>[1]</sup>, 原产于中南美洲, 后被欧洲人传遍世界, 被各大洲广泛栽培<sup>[2]</sup>。青尖椒是我国广泛栽培生产的蔬菜之一, 常年种植面积在

收稿日期: 2017-09-30

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-25); 北京市农林科学院青年基金项目(QNJJ201709)

作者简介: 刘婧(1993-), 女, 硕士, 研究方向: 农产品贮藏保鲜; 郑秋丽(1989-), 女, 硕士, 研究方向: 农产品贮藏保鲜

通讯作者: 王清, 女, 博士, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜

300多万公顷以上<sup>[3]</sup>, 仅次于大白菜, 在蔬菜作物中居第二位<sup>[4]</sup>, 不仅品种类型多, 而且营养价值高, 富含各种营养物质, 如糖类、维生素、蛋白质和微量元素等。青尖椒在常温下保存容易腐烂、失水、萎蔫、品质下降, 造成极大的经济损失<sup>[5]</sup>。与此同时, 虽然低温贮存可以延缓青尖椒的衰老, 抑制病原微生物的增长, 但青尖椒是冷敏性作物, 对低温尤为敏感, 也容易产生冷害, 所以一般贮藏温度设定在7~9℃<sup>[6]</sup>, 随着季节和气候等因素, 需要适当调整温度。

低温预贮 (low temperature conditioning, LTC) 是指将果蔬等产品放入略高于冷害温度下预贮一段时间, 从而减轻后续冷藏期间冷害发生的一种温度调控方法<sup>[7]</sup>。研究证明低温预贮能有效地减轻冷敏性果蔬的冷害的发生, 延缓冷害发生时间。

弓德强等人的研究表明: 采前低温预贮处理在提高“台农一号”芒果抗病性和保持果实品质与激活芒果的防御系统及降低膜脂过氧化程度有重要作用<sup>[8]</sup>。研究表明, 12 °C 预贮 6 d 处理可显著减轻“霞晖 5 号”水蜜桃在 0 °C 贮藏时冷害的发生<sup>[9]</sup>, 提高采后水蜜桃细胞内抗氧化酶类 (CAT、POD 和 APX 等) 的活性, 减缓水蜜桃过氧化产物 MDA 含量的积累, 延缓水蜜桃衰老, 最终达到延长货架期的目的。本次实验分为对照组 (CK) 即直接放入 4 °C 贮藏和低温预贮处理组 (LTC) 先放入 10 °C 贮藏 2 d 再放入 4 °C 贮藏 23 d, 观测青尖椒冷害及测 Vc 含量等。为青尖椒低温预贮提供了理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

从北京天安公司小汤山基地采收, 品种为“金英达”的青尖椒为材料, 采收当天运回实验室, 选取无病虫害、无损伤、成熟度基本相同的新鲜青尖椒为试验材料。将挑选好的样品随机分为两组: (1) 对照组: 放置 4 °C 下贮藏 25 d; (2) LTC 组: 置于 10 °C 下贮藏 2 d, 再转入 4 °C 的冷库中贮藏 23 d, 共贮藏 25 d; 每组实验均重复三次。

### 1.2 仪器与设备

瑞士 mettler toledo 电子秤; 日本岛津 UV-1800 紫外分光光度计; 中国长风 XMTD-6000 型数显恒温水浴锅; 德国 IKA A11 basic 分析研磨机; 日本 KOITO-PCLH 冷库; 中国海尔-80 °C 冰箱; 日本 NISSN 磁力搅拌器。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 青尖椒冷害指数的观察测定

取青尖椒果实, 肉眼观察, 将果实按照冷害程度分为五个等级: 0 级, 无冷害; 1 级, 冷害面积 1%~25%; 2 级, 26%~50%; 3 级, 51%~75%; 4 级, 76%~100%。冷害指数 =  $\sum(\text{冷害级数} \times \text{该级果实数}) / (\text{冷害最高级数} \times \text{果实总数}) \times 100\%$ <sup>[10]</sup>。

#### 1.3.2 相对电导率

用直径为 1 cm 的打孔器在 10 个青尖椒上打孔,

取圆片部位 20~25 个, 用蒸馏水冲洗 3 次, 然后放于滤纸上晾干 (即圆片上的蒸馏水吸干, 圆片表面没有水滴残留即可)。在试管中称取 2 g 左右的圆片, 倒入 20 mL 蒸馏水, 室温下放置 10 min, 混匀测定相对电导率 L<sub>0</sub>, 然后 100 °C 下煮沸 10 min, 冷却后定容至煮沸前体积, 混匀测定电导率 L<sub>1</sub>。相对电导率 =  $(L_0/L_1) \times 100\%$ <sup>[11]</sup>。

#### 1.3.3 维生素 (Vc)

Vc 含量的测定: 采用 2,6-二氯酚靛酚氧化滴定法, 以 mg/100 g 表示<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4 叶绿素

叶绿素含量测定采用 Deng 等<sup>[13]</sup>的方法稍作修改。青尖椒组织用 4 °C 的丙酮:乙醇(2:1)溶液匀浆, 在通风厨内避光过滤至 50 mL 棕色容量瓶中, 至青尖椒匀浆组织变白, 然后定容至刻度, 用紫外分光光度计分别在 663 nm 和 645 nm 波长下测定吸光值<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.5 丙二醛 (MDA)

取 1 g 研磨好的样品粉末加入 5 mL 交联聚乙烯吡咯烷酮, 振荡摇匀。在 4 °C 环境下在 13000 r/min 离心 20 min 收集上清液。取 2 mL 上清液加入 2 mL 硫代巴比妥酸(TBA), 煮沸 20 min, 冷却至室温, 用紫外分光光度计分别在 450 nm、532 nm、600 nm 波长下测溶液吸光光度值<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.6 过氧化氢酶 (CAT)

取 1 g 研磨好的样品, 加入 5 mL 交联聚乙烯吡咯烷酮, 振荡摇匀。在 4 °C 环境下在 13000 r/min 离心 30 min, 收集上清液取 0.1 mL 上清液加入 1.9 mL pH 为 7.8, 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液(PBS), 再加入 1 mL 0.3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。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 (U)<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.7 过氧化物酶 (POD)

取 1 g 研磨好的样品, 加入 5 mL 交联聚乙烯吡咯烷酮, 振荡摇匀, 在 4 °C 环境下在 13000 r/min 离心 30 min, 收集上清液取 0.1 mL 上清液加入 1 mL pH 为 7.8, 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液, 再加入 1 mL 0.3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 0.9 mL 0.2% 愈创木酚。以每克果蔬样品 (鲜重) 每分钟吸光度变化值增加 1 为 1 个 POD 活性单位 (U)<sup>[17]</sup>。

#### 1.3.8 抗坏血酸过氧化物酶 (APX)

取 1 g 研磨好的样品, 加入 5 mL 交联聚乙烯吡咯烷酮, 振荡摇匀, 在 4 °C 环境下在 13000 r/min 离心 20 min, 收集上清液取 0.1 mL 上清液加入 2.6 mL 反应缓冲液, 再加入 0.3 mol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。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 APX 活性单位 (U)<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2003 统计分析软件进行基础数据整理, 利用 Origin 8.5 分析与作图, 利用 IBM SPSS Statistics 19 软件对数据进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 LTC 处理对青尖椒冷害指数的影响

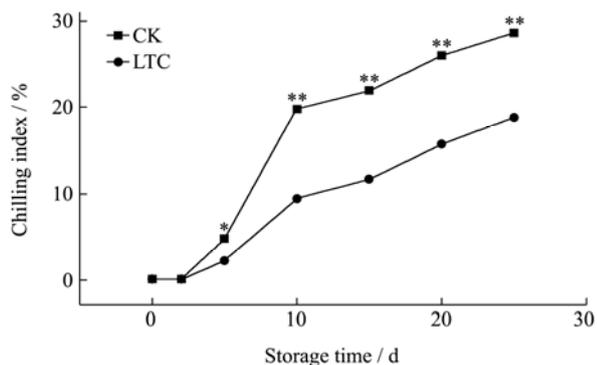


图 1 LTC 处理对青尖椒冷害指数影响

Fig.1 Effects of LTC treatment on the chilling injury index of green pepper

注: \*\*表示差异非常显著 ( $p < 0.01$ ), \*表示差异明显 ( $p < 0.05$ )。

如图 1 所示, 青尖椒在冷藏期第 2 d 后才出现冷害, 此后, 冷害指数一直增加, 两处理组之间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 表现为果皮出现水渍状凹陷, 颜色发暗, 没有光泽。贮藏第 10 d 时, CK 组冷害指数达到 19.79%, 而 LTC 处理的冷害指数才达到了 9.37%, 差异较大。到了贮藏末期, 第 25 d 时 CK 组冷害指数高达 28.64%, 而 LTC 处理果实冷害指数为 18.75%。表明 LTC 处理可有效减轻果实冷害。

### 2.2 LTC 处理对青尖椒相对电导率的影响

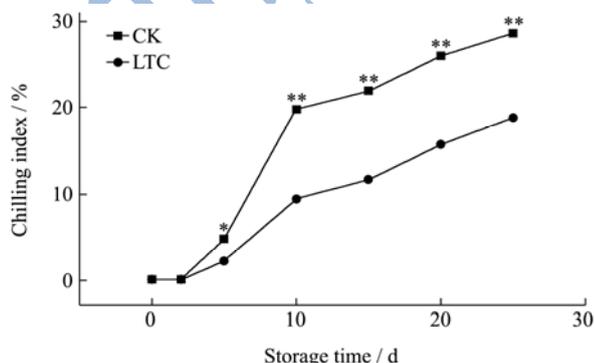


图 2 LTC 处理对青尖椒相对电导率的影响

Fig.2 Effects of LTC treatment on the relative conductivity of green pepper

注: \*\*表示差异非常显著 ( $p < 0.01$ ), \*表示差异明显 ( $p < 0.05$ )。

相对电导率是逆境条件下评定细胞损伤的重要指标之一<sup>[19]</sup>。由图 2 可知, 青尖椒在 4 °C 低温下贮藏, 两组青尖椒相对电导率皆升高, 第 5 d 时, LTC 组相对电导率是 9.31%, CK 组是 9.85%, 两个处理组之间无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 到了最后一周, 两个处理组之间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 第 25 d 时, LTC 组相对电导率达到 13.09%, CK 组达到了 15.60%。说明在低温预贮下, 相对电导率随着处理时间的延长而增大, 对照组相对电导率升高较快, 说明 CK 组的细胞膜受损, 而 LTC 处理有效的保护了细胞膜的完整, 减少细胞膜的损伤, 所以 LTC 处理有效抑制了低温贮藏下相对电导率的升高。

### 2.3 LTC 处理对青尖椒 Vc 含量的影响

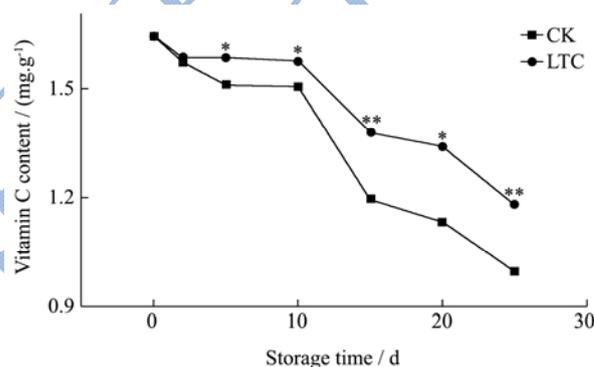


图 3 LTC 处理对青尖椒中 VC 含量的影响

Fig.3 Effects of LTC treatment on the VC content of green pepper

注: \*\*表示差异非常显著 ( $p < 0.01$ ), \*表示差异明显 ( $p < 0.05$ )。

维生素 C (Vc) 可作为衡量青尖椒营养价值的重要指标, 在青尖椒贮藏过程中易被氧化破坏。由图 3 可知, 青尖椒果实在 4 °C 低温下贮藏, Vc 的含量随贮藏时间延长不断下降。其中对照组 Vc 含量下降迅速, 第 5 d 时, LTC 组 Vc 含量为大约下降了 4.95%, 而 CK 组下降了 9.19%。到贮藏末期, CK 组的 Vc 下降约 37.58%, 而 LTC 组 Vc 下降 26.39%, 差异显著 ( $p < 0.05$ )。表明 LTC 处理有效抑制了青尖椒 Vc 含量的降低, 可减缓青尖椒营养物质的消耗, 对其具有较好的保鲜效果。

### 2.4 LTC 处理对青尖椒叶绿素含量的影响

叶绿素含量反映青尖椒贮藏期品质的变化, 是评价青尖椒保鲜品质的重要指标之一, 果蔬的颜色变化就是与叶绿素的含量有关<sup>[20]</sup>。从图 4 可知青尖椒果实

在成熟衰老过程中逐渐褪绿，青尖椒在整个贮藏过程中，叶绿素含量总体呈现下降趋势。在贮藏前 10 d，叶绿素含量下降相对慢，2 d 时，LTC 组含量为 5.89 mg/g，CK 组为 5.75 mg/g，两个组差异不明显( $p>0.05$ )，到了中后期叶绿素下降速度较快；LTC 处理果实后叶绿素含量高于对照，贮藏末期，LTC 处理的青尖椒叶绿素含量高于对照 0.5 mg/g 两个组差异明显( $p<0.05$ )，表明 LTC 处理可延缓青尖椒叶绿素的降解，从而保持了青尖椒的颜色，提高商品性。

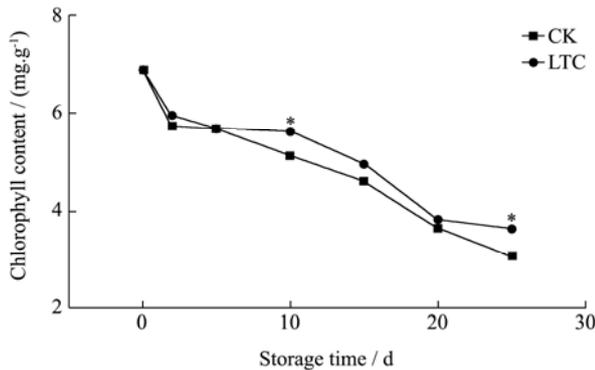


图 4 LTC 处理对青尖椒中叶绿素含量的影响

Fig.4 Effects of LTC treatment on the chlorophyll content of green peppe

注：\*\*表示差异非常明显 ( $p<0.01$ )，\*表示差异明显 ( $p<0.05$ )。

### 2.5 LTC 处理对青尖椒 MDA 含量的影响

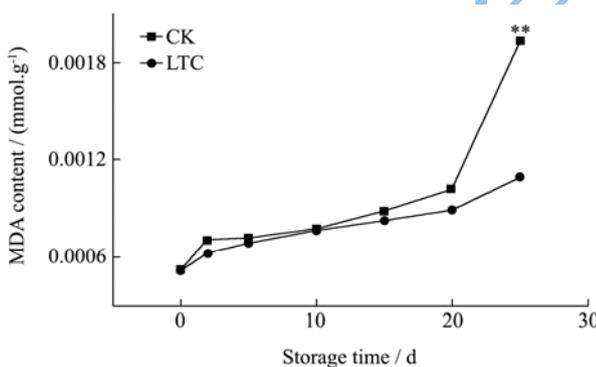


图 5 LTC 处理对青尖椒 MDA 含量的影响

Fig.5 Effects of LTC treatment on the MDA content of green pepper

注：\*\*表示差异非常明显 ( $p<0.01$ )，\*表示差异明显 ( $p<0.05$ )。

丙二醛(MDA)是细胞膜脂质过氧化的产物，与细胞膜的完整性相关<sup>[21]</sup>。MDA 可造成生物膜和大分子的损伤，用作评价衰老的标志，因此组织中 MDA 含量的变化是反应植物遭受低温胁迫时细胞膜脂质过氧化的一个指标<sup>[22]</sup>。由图 5 可知两组青尖椒的 MDA 含量在贮藏期间是不断增加。其中对照组 MDA 升高迅速，

第 10 d 时，CK 组的 MDA 含量是 0.00077 mmol/g，而 LTC 组的 MDA 含量是 0.00075 mmol/g，差异并不显著( $p>0.05$ )，第 25 d 时，CK 组含量为 0.001935 mmol/g，LTC 组含量为 0.001088 mmol/g。处理组的抑制效果很明显，差异显著( $p<0.05$ )，说明 LTC 的脂质过氧化作用较小，有利于减少对细胞毒害的作用，最终减轻果实的冷害症状。

### 2.6 LTC 处理对青尖椒 CAT 活性的影响

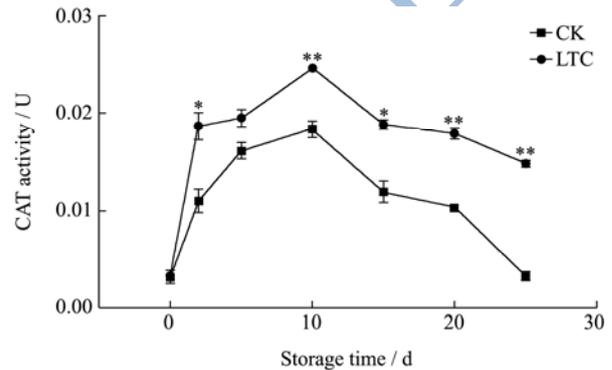


图 6 LTC 处理对青尖椒 CAT 活性的影响

Fig.6 Effects of LTC treatment on the CAT activity of green pepper

注：\*\*表示差异非常明显 ( $p<0.01$ )，\*表示差异明显 ( $p<0.05$ )。

过氧化氢酶 (CAT) 主要存在于过氧化物酶体，线粒体等中，专一性的清除  $H_2O_2$ ，并降解为  $H_2O$  和  $O_2$ <sup>[23]</sup>。

如图 6 所示，常温条件下，随着贮藏时间的延长，LTC 处理的青尖椒果实中 CAT 活性呈先升高后下降的变化趋势。第 5 d 时，CK 组 CAT 含量为 0.0156 U，而 LTC 组的含量为 0.0197 U，对照组果实 CAT 活性在采后第 10 d 达到峰值，两个组差异非常显著 ( $p<0.05$ )，CK 组含量为 0.0178 U，而 LTC 组含量为 0.02408 U。随后两组 CAT 逐渐降低，这说明在处理后期果实细胞清除活性氧自由基的能力在减弱，从而有利于活性氧自由基的积累，LTC 处理果实的 CAT 活性下降幅度显著低于对照。说明 LTC 处理有利于果实保持较高的 CAT 活性。

### 2.7 LTC 处理对青尖椒 POD 活性的影响

冷害对植物造成的一部分源于低温引起的氧化胁迫，尤其是  $H_2O_2$  和  $O_2$  的氧化胁迫作用<sup>[24]</sup>。POD 是一种适应性酶，其有很高的活性，可以反应植物生长状况、代谢状况和环境适应性，并且可以清除植物细胞内的  $H_2O_2$ <sup>[25]</sup>。由图 7 可知，LTC 处理组和对照组的青尖椒果实中 POD 含量均是先升高再降低，在贮藏

第5 d达到峰值, CK组 POD 含量为4.9 U, LTC组 POD 含量为8.8 U。两个组差异明显( $p < 0.01$ ), 此后两组含量均呈现下降趋势, LTC在此期间一直保持明显的处理效果, 贮藏期结束仍能保持1.8 U的酶活。表明LTC处理利于果实保持较高的POD活性。

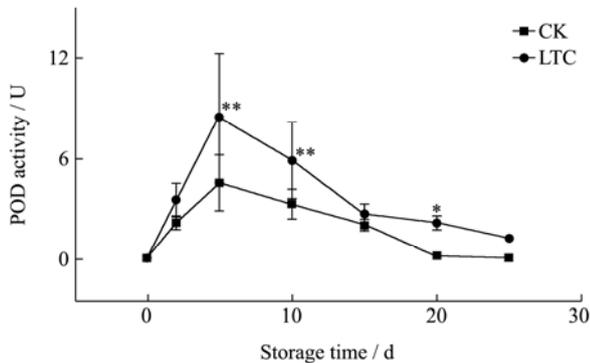


图7 LTC处理对青尖椒POD活性的影响

Fig.7 Effects of LTC treatment on the POD activity of green pepper

注: \*\*表示差异非常明显 ( $p < 0.01$ ), \*表示差异明显 ( $p < 0.05$ )。

## 2.8 LTC处理对青尖椒APX活性的影响

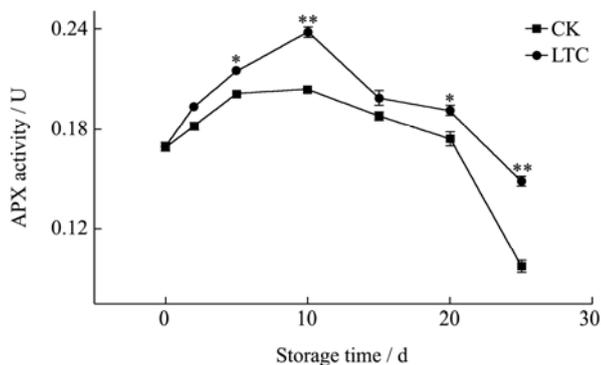


图8 LTC处理对青尖椒中APX活性的影响

Fig.8 Effects of LTC treatment on the APX activity of green pepper

注: \*\*表示差异非常明显 ( $p < 0.01$ ), \*表示差异明显 ( $p < 0.05$ )。

APX是抗坏血酸-谷胱甘肽(AsA-GSH)循环的关键酶。从图8可以看出, LTC处理和对照组的青尖椒果实中APX含量先升高后下降, 贮藏前期APX酶活性升高可能是果实本身对低温胁迫的防卫反应, 贮藏后期APX酶活性的下降, 可能是冷害破坏了酶分子结构所致。总体而言, LTC处理果实与对照相比维持了较高的APX活性。于贮藏10 d达到最大值, LTC组含量为0.236 U, CK组含量为0.204 U。两个组的差异非常显著( $p < 0.05$ ), 到了贮藏末期, LTC处理组依然保持较高水平, 含量为0.154 U, 而CK组含量仅

仅为0.101 U。

## 3 讨论

冷藏是保持果蔬新鲜的方法之一, 而青尖椒这类冷敏性蔬菜在低温下极易出现冷害, 一般表现为水渍状凹陷, 不仅降低青尖椒外观品质, 而且使得青尖椒营养成分流失, 丧失商品属性。LTC处理抑制青尖椒冷害的发展, 叶绿素、Vc含量的降低, 生长发育中的青尖椒, 其叶绿素的合成作用大于分解作用, 而采后的果蔬只有分解作用, 叶绿素在酶的作用下逐渐分解, 含量下降。而低温预贮处理可有效地抑制青椒叶绿素含量的下降, 抑制叶绿素过氧化物酶活性的上升, 这与王静的结论类似<sup>[30]</sup>。Vc作为一种抗氧化物质, 普遍存在于植物体内, 可以将 $O_2$ 还原成 $H_2O_2$ , 在青椒贮藏的过程中, Vc含量逐渐下降, 由于低温使酶活性的降低, Vc的合成能力不足, 以及Vc参与了植物体内的抗氧化活动, 使得含量下降, 此次实验中LTC组的Vc含量要高于对照组, 这一结果和姜北云<sup>[26]</sup>研究结果相似。MDA含量高低反映了植物细胞膜脂过氧化的程度, 青尖椒在贮藏过程中, 其MDA含量会逐渐积累, 加速果实的衰老<sup>[8]</sup>, 而LTC处理, 则抑制MDA产生, 说明LTC处理使得青椒的抗氧化能力增强, 这与李淑艳<sup>[27]</sup>的结论类似。实验证明低温环境会导致细胞膜受损, 且处理温度越低细胞膜受损越严重, 相对电导率越大<sup>[28]</sup>。而LTC处理可以维持细胞完整, 减缓了电导率的升高, 研究表明冷激处理可以提高黄桃<sup>[31]</sup>这种冷敏性水果的抗氧化酶的活性, 抑制膜脂过氧化,  $H_2O_2$ 是一种在逆境中反应的信号分子, 可调控下游信号流, 激活和调控植物体内各种胁迫相关基因的表达。本实验中, 青尖椒果实经过LTC处理后, 发生了 $H_2O_2$ 含量的短暂升高, 这与欧阳丽品等冷激处理番茄果实后,  $H_2O_2$ 含量先上升后下降的实验结果一致。LTC处理诱导的这种抗坏血酸过氧化物酶(APX), 其活性升高时, 使得超氧阴离子自由基( $O_2^-$ )速率下降; POD、CAT酶活性呈先升高后下降的趋势, 清除 $H_2O_2$ ; 本实验表明LTC处理可保持较高的POD、CAT和APX酶活性, 减轻了膜脂过氧化作用, 减缓青尖椒的冷害。

## 4 结论

此次实验通过对LTC处理的采后青尖椒贮藏期内多项指标的测定及分析发现, 与对照组相比, LTC处理组能较好的降低青尖椒的冷害指数, 降低其电导率及MDA含量, 同时可维持叶绿素及Vc含量, 提高青尖椒POD、CAT、APX的活性, 说明LTC处理可减少青尖椒营养物质的消耗, 提升青尖椒的抗氧化

酶活性。因此, LTC 处理对采后青尖椒具有很好的贮藏保鲜效果, 提高了其商品价值, 这与 LTC 处理芒果<sup>[8]</sup>、水蜜桃<sup>[9]</sup>等结论相一致。

## 参考文献

- [1] 刘兴华,陈维信.果品蔬菜贮藏运销学[M].北京:中国农业出版社,2002  
LIU Xing-hua, CHEN Wei-xing. Fruit and vegetable storage marketing [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2002
- [2] 浙江农业大学主编.蔬菜栽培学各论(南方本)[M].(第二版).北京:农业出版社,1985  
Journal of Zhejiang Agricultural University. Vegetable cultivation theory (Southern) [M]. (Second edition). Beijing: Agricultural Publishing House, 1985
- [3] 朱德蔚.中国青尖椒(杂志发刊词)[J].辣椒杂志,2001,1-3  
ZHU De-wei. Chinese green pepper (Chinese magazine) [J]. Journal of China Capsicum, 2001, 1-3
- [4] 薛党辰,陈忠明.青椒文化[M].上海:上海科学技术文献出版社,2003  
XUE Dang-chen, CHEN Zhong-ming. Green Pepper Culture [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Publishing House, 2003
- [5] 潘忻.苏北地区引起保护地青椒成株期死株的真菌病害种类和病原鉴定[D].扬州:扬州大学硕士论文,2003  
PAN Xin. Identification of fungal diseases and pathogen of green plantlets in greenbelt in protected areas in northern Jiangsu [D]. Yangzhou: Yangzhou University Master's Thesis, 2003
- [6] 张彦生.辣椒的贮藏保鲜技术[J].新疆农业科技,2007,6:21  
ZHANG Yan-sheng. Chrysanthemum storage and preservation technology [J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2007, 6: 21
- [7] 徐剑峰.甜椒耐热机理及热胁迫下生理生化变化的研究[D].福州:福建农林大学,2005  
XU Jian-feng. Sweet potato heat resistance mechanism and heat stress physiological and biochemical changes [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2005
- [8] 邹学校.中国青椒[M].北京:中国农业出版社,2002  
ZHOU Xue-xiao. Chinese green pepper [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2002
- [9] 宋均,于梁,周山涛.甜椒果实呼吸和乙烯释放规律的研究[J].园艺报,1989,3(16):211-216  
SONG Jun, YU Liang, ZHOU Shan-tao. Study on the breath and ethylene release law of sweet pepper [J]. Horticultural Sciences, 1989, 3(16): 211-216
- [10] 胡鸿,吴雄志,陈秀华,等.甜椒耐藏性与品种成熟度和某些生理生化特性关系的研究[J].农产品保鲜与加工,1990,1:2-5  
HU Hong, WU Xiong-zhi, CHEN Xiu-hua, et al. Study on the relationship between tolerance of sweet pepper and variety maturity and some physiological and biochemical characteristics [J]. Preservation and Processing of Agricultural Products, 1990, 1: 2-5
- [11] 莱谢姆 Y Y,等著.胡文玉等译.植物衰老过程和调控[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1983  
LAI Xie-mu Y Y. Plant senescence process and regulation [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1983
- [12] 大连轻工业学院等合编.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1994  
Dalian Institute of Light Industry, et al. Food Analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1994
- [13] 杜峰.青尖椒茸毛性状的初步研究[M].长沙:湖南农业大学硕士论文,2008  
DU Feng. A preliminary study on the traits of the green pepper (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2008
- [14] Grookes P R, Grierson D. Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of polygalacturonase isoenzymes in cell wall degradation [M]. Plant Physiol, 1983
- [15] Yan J, Song Y, Li J, et al. Forced-air precooling treatment enhanced antioxidant capacities of apricots [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 3: e13320
- [16] Platt Aloia K A, Thomson W W. Ultrastructure of the mesocarp of mature avocado fruit and changes associated with ripening [M]. Ann. Bot., 1981, 48(4): 451-465
- [17] 夏春森,王兰英.红星苹果在贮存中果肉发绵生理过程的研究[J].园艺学报,1981,8(2):29-36  
XIA Chun-sen, WANG Lan-ying. Research from apple pulp made of cotton in storage physiological processes [J]. Journal of Horticulture, 1981, 8(2): 29-36
- [18] 郑炳松.植物生理生化研究技术[M].北京:气象出版社,2006  
ZHENG Bing-song. Plant physiological and biochemical research technology [M]. Beijing: Meteorological Press, 2006
- [19] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000  
LI He-sheng. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000

- [20] Jiaqi Yan, Jian Li, Yancong Xu, et al. Effects of nitrogen shock treatment on postharvest changes of Yali pears [J]. The Journal of Science & Biotechnology Horticultural, 2016, 91(6): 619-624
- [21] 龚立三.青椒果实的发育与贮藏[J].东北农学报,1963,3: 59-63  
GONG Li-san. Development and storage of green pepper fruit [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1963, 3: 59-63
- [22] 陈发河,蔡慧农,吴光斌.热激处理对采后甜椒果实抗冷害的生理效应[J].食品科学(包装贮运),2002,6(23):139-142  
CHEN Fa-he, CAI Hui-nong, WU Guang-bin. Effect of heat shock treatment on cold resistance of postharvest sweet pepper fruit [J]. Food Science (Packaging and Storage), 2002, 6(23): 139-142
- [23] 狄云,蒋健篇,石正强,等.青椒果实成熟过程中青尖椒素的降减[J].食品科学,2000,21(6):19-22  
DI Yun, JIANG Jian-pian, SHI Zheng-qiang, et al. The ripening process of pepper fruit of Capsicum CY reduction [J]. Food Science, 2000, 21(6): 19-22
- [24] 高瑞嫂,王淑琴,林桂荣,等.青椒品种耐藏性与果皮组织结构 and 过氧化物酶活性的研究[J].沈阳农业大学学报,1993, 24(2):142-147  
GAO Rui-sao, WANG Shu-qin, LIN Gui-rong, et al. Green Pepper varieties storability and peel the organizational structure and peroxidase activity [J]. Shenyang Agricultural University, 1993, 24(2): 142-147
- [25] Anikeenko A P. Challengin chemical substnaces of csicum furitsu dring pening [J]. Genet. Sel., 1980, 66: 1088-1093
- [26] 姜云北,陶乐仁,梅娜.冷激处理对青椒生理及品质的影响[J].食品与发酵科技,2015,51(6):27-31  
JIANG Yun-bei, TAO Le-ren, MEI Na. Effects of cold shock treatment on physiology and quality of green pepper [J]. Food & Fermentation Science and Technology, 2015, 51(6): 27-31
- [27] 李淑艳.低温对黄瓜保护酶体系及相关生理指标的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2002  
LI Shu-yan. Effects of low temperature on protective enzyme system and related physiological indexes of cucumber [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2002
- [28] 王善广,张华云,郭郢,等.生物膜与果树抗寒性[J].天津农业科学,2000,6(1):37-40  
WANG Shan-guang, ZHANG Hua-yun, GUO Yin, et al. Biofilm and fruit cold resistance [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2000, 6(1): 37-40
- [29] 欧阳丽喆,申琳,陈海荣,等.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>参与冷激处理对番茄果实抗冷性及抗氧化酶活性的影响[J].食品科学,2007, 28(7):31-35  
OUYANG Li-ji, SHEN Lin, CHEN Hai-rong, et al. Effects of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on cold resistance and antioxidant enzyme activities in tomato fruit [J]. Food Science, 2007, 28(7): 31-35
- [30] 王静,张辉,李学文,等.热处理对采后青椒品质的影响[J].保鲜与加工,2008,8(6):50-53  
WANG Jing, ZHANG Hui, LI Xue-wen, et al. Effect of heat treatment on quality of postharvest green pepper [J]. Preservation and Processing, 2008, 8(6): 50-53
- [31] 陈留勇,孟宪军,宋义忠,等.冷激处理对黄桃保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2003,11:67-69  
CHEN Liu-yong, MENG Xian-jun, SONG Yi-zhong, et al. Effect of cold shock treatment on preservation of peach [J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 11: 67-69