

## 间歇升温处理对苹果贮藏品质的影响

刘震远<sup>1</sup>, 张洁<sup>2</sup>, 贾晓昱<sup>3</sup>, 杜美军<sup>1</sup>, 李喜宏<sup>1,3</sup>, 张鲜桃<sup>1</sup>

(1.天津科技大学 食品工程与生物技术学院, 天津 300457; 2.中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193; 3.天津捷盛东辉保鲜科技有限公司, 天津 300403)

**摘要:**目的 研究苹果在长期低温贮藏期内容易发生冷害和品质下降等问题。方法 以“红富士”苹果为实验材料, 该品种最适宜的贮藏温度为 $-1\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 设定此试验在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏环境下对苹果进行间歇升温处理, 探究此方法对苹果贮藏期间品质的影响。设置对照组CK( $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )恒温贮藏, 3组间歇升温处理T1( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、T2( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )、T3( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下每隔30 d重复升温24 h后再转回 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下继续贮藏, 通过指标测定研究其贮藏期间品质的变化规律。结果 苹果长期低温贮藏会产生冷害现象, 贮藏结束时T2处理组冷害指数仅为0.14, 明显低于CK组, 果实仍具有良好的货架品质。质量损失率、硬度、色差 $L^*$ 及饱和度 $C$ 值改变量均为最小, 有效抑制了多酚氧化酶(PPO)活性, 丙二醛(MDA)含量变化比CK组低 $0.191\text{ nmol/g}$ 。结论 综合比较间歇升温对苹果贮藏期间规避冷害、保持品质的效果大小依次为 $T2 > T1 > CK > T3$ , 表明间歇式升温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时效果最佳。间歇升温处理可以起到规避冷害的作用, 有利于“红富士”苹果的长期贮藏保鲜。

**关键词:** 苹果; 间歇升温; 贮藏; 品质

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)03-0007-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.002

## Storage Quality of Apple under Intermittent Warming Treatment

LIU Zhen-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>2</sup>, JIA Xiao-yu<sup>3</sup>, DU Mei-jun<sup>1</sup>, LI Xi-hong<sup>1,3</sup>, ZHANG Xian-tao<sup>1</sup>

(1.College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;  
2.Institute of Food Science and Technology CAAS, Beijing 100193, China;  
3.Tianjin Jiasheng Donghui Fresh-keeping Technology Co., Ltd., Tianjin 300403, China)

**ABSTRACT:** The work aims to solve the problems of chilling injury and quality decline of apple during long-term low temperature storage. With "Red Fuji" apples as the test material, the optimum storage temperature of the variety was  $-1\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The effect of this method on the quality of apple during storage was investigated by intermittent warming treatment at  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The control group CK ( $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and three groups of intermittent warming treatment (T1 ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), T2 ( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and T3 ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )) were set. Under the condition of storage at  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , repeated warming was done every 30 days for 24 hours and then the temperature returned to  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  for further storage. The law of change in apply quality during storage was studied by index measurement. Chilling injury would occur in apple storage at low temperature for a long time. At the end of storage, the chilling injury index of T2 treatment group was only 0.14, which was significantly lower than that of CK

收稿日期: 2019-05-29

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0401304-1); 天津市科技计划(18ZXRHNC00070)

作者简介: 刘震远(1995—), 男, 天津科技大学硕士生, 主攻农产品物流保鲜与加工。

通信作者: 李喜宏(1960—), 男, 博士, 天津科技大学教授, 主要研究方向为农产品保鲜生物学与技术、食品保鲜材料与食品安全等。

group, and the fruit still had good shelf quality. The changes in weight loss rate, hardness, chromaticity  $L^*$  and saturation C value were the smallest, which effectively inhibited the activity of polyphenoloxidase (PPO), and the change in malonaldehyde (MDA) content was 0.191 nmol/g lower than that of CK group. The effect of intermittent warming on avoiding chilling injury during apple storage is comprehensively compared, and the effect of maintaining quality is  $T_2 > T_1 > CK > T_3$ . The effect is best when the intermittent temperature is 10 °C. Therefore, the intermittent warming treatment can play a role of avoiding chilling injury, and is beneficial to long-term storage and fresh-keeping of the "Red Fuji" apple.

**KEY WORDS:** apple; intermittent warming; storage; quality

“红富士”苹果是于20世纪80年代初由日本引进的优良苹果品种,其产量约占全国苹果总产量的一半<sup>[1]</sup>,具有外型饱满、色泽红润、风味香甜、贮藏性强等诸多优点,从而深受消费者喜爱。苹果在贮藏期间品质的改变受到温度、湿度及气体成分等多方面因素的影响,而温度处理是延长水果货架期最有效的方法之一<sup>[2]</sup>。

目前国内外大多数研究都集中在贮藏过程中低温对苹果品质的影响,但长时间低温贮藏容易产生冷害,冷害的发生会加速果实失水皱缩,降低脆度、硬度及风味,还会影响 PPO, POD 等多种酶活性,发生膜脂过氧化作用,影响 MDA 含量,造成一系列不利影响<sup>[3]</sup>。热处理<sup>[4]</sup>、DPA 处理<sup>[4]</sup>、间歇升温<sup>[4]</sup>均为延缓冷害的方法,其中间歇升温趋避冷害方法在多种果蔬中得到证实,而贮藏期间内对苹果进行间歇升温处理,使其达到趋避冷害目的的研究则鲜有报道。由此可见,研究间歇升温对苹果贮藏期间品质的影响,对延长苹果贮藏货架期,改良苹果贮藏品质,以及繁荣市场具有重大意义<sup>[5]</sup>。

文中在此基础上对苹果贮藏期间进行不同温度梯度的间歇升温处理,旨在研究变温处理对果实品质的影响,从而寻求延长苹果贮藏货架期、规避冷害、改良果实贮藏品质的方法,更好地满足消费者的需求,并对间歇升温在苹果采后贮藏保鲜中的应用前景进行评价。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

选用典型的“红富士”苹果,在2018年11月中旬采摘于天津本地,当日运输至金元宝滨海农产品交易市场,在 $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下货架贮藏。隔天常温1h运送至天津科技大学试验冷库,人工挑选成熟度一致、大小适中、无病虫害的果实。采用5  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理24h后,用PE打孔保鲜袋包裹,然后装入瓦楞纸箱内,于 $-1^\circ\text{C}$ 条件下恒温贮藏60d,冷库的相对湿度为85%~90%。从2019年1月中旬开始进行试验,PE打孔保鲜袋的规格为20cm $\times$ 20cm,厚度为25  $\mu\text{m}$ ,4 $\times$ 4

均匀圆孔,孔径为1cm,由国家农产品保鲜工程技术研究中心提供<sup>[6]</sup>。

化学试剂:三水合乙酸钠(分析纯),天津百奥泰科技发展有限公司;三氯乙酸(分析级),天津市康科德科技有限公司;硫代巴比妥酸(分析级),天津百奥泰科技发展有限公司;聚乙二醇-6000(Polyethylene glycol-6000, PEG 6000),天津市天泰精细化学品有限公司;聚乙烯吡咯烷酮(polyvinylpyrrolidone, PVPP),天津市福晨化学试剂厂;聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100),天津市光复精细化工研究所;邻苯二酚(分析级),天津市光复精细化工研究所。其他试剂均为AR级。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器和设备:GY-3果实硬度计,浙江托普仪器有限公司;JJ-1000精密型电子天平,常熟双杰测试仪器;HP-200精密色差仪,上海汉谱光电技术有限公司;T6新世纪紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;TGL-16高速冷冻离心机,四川蜀科仪器有限公司;试验用微型相温保鲜库,天津捷盛东辉保鲜科技有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 方案

实验共有4个处理组,每组苹果均为60个,均用PE打孔保鲜袋包装。对照组(CK)在 $-1^\circ\text{C}$ 贮藏条件下继续恒温贮藏,果实温度始终为 $-1^\circ\text{C}$ 。处理1( $T_1$ ):将苹果从 $-1^\circ\text{C}$ 贮藏条件下转到 $5^\circ\text{C}$ 保鲜库中,待果实温度缓慢升至设定温度,贮藏24h,再转回 $-1^\circ\text{C}$ 保鲜库继续贮藏。处理2( $T_2$ ):将苹果从 $-1^\circ\text{C}$ 贮藏条件下转到 $10^\circ\text{C}$ 保鲜库中,待果实温度缓慢升至设定温度,贮藏24h,然后再转回 $-1^\circ\text{C}$ 保鲜库中继续贮藏。处理3( $T_3$ ):将苹果从 $-1^\circ\text{C}$ 贮藏条件下转到 $20^\circ\text{C}$ 保鲜库中,待果实温度缓慢升至设定温度,贮藏24h,然后再转回 $-1^\circ\text{C}$ 保鲜库中继续贮藏。各保鲜库的相对湿度均为85%~90%。如上每隔30d重复升温1次,共贮藏120d,实验重

复 3 次。

### 1.3.2 指标测定

#### 1.3.2.1 冷害指数

参照王艳颖等<sup>[7]</sup>的计算方法,根据式(1)计算。

$$\text{冷害指数} = \frac{\sum(\text{冷害果实数} \times \text{冷害级数})}{\text{总果实数} \times \text{最高冷害数}} \quad (1)$$

冷害级数 0 级为无冷害,1 级为果实冷害斑面积 < 果实面积的 1/10,2 级为冷害斑面积占果实面积的 1/10~1/3,3 级为冷害斑面积占果实面积的 1/3~2/3,4 级为冷害斑面积 > 果实面积的 2/3。

#### 1.3.2.2 质量损失率

质量损失率的计算公式:质量损失率=(贮藏前质量-贮藏后质量)/贮藏前质量×100%。

#### 1.3.2.3 硬度

在苹果赤道附近削取平面,使用果实硬度计直接测定,取平均值<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.2.4 色值

在苹果赤道附近去皮后测定  $L^*$  值、 $a^*$  值和  $b^*$  值,然后按照式(2)计算  $C$  值。 $L$  值为亮度, $C$  值为饱和度<sup>[9]</sup>。

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

#### 1.3.2.5 多酚氧化酶(PPO)

PPO 的测定步骤均参照曹建康等<sup>[10]</sup>的方法。

#### 1.3.2.6 丙二醛(MDA)

MDA 采用硫代巴比妥酸法<sup>[10]</sup>测定,结果以  $\mu\text{mol/g}$  表示。

### 1.3.3 数据分析

采用 Microsoft Excel (2010) 软件处理数据,计算平均值和标准偏差,采用 Origin 9.0 作图分析。采用 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 间歇升温对冷害指数的影响规律

冷害指数最直观地表明了果蔬贮藏期间品质的改变<sup>[11]</sup>。冷害指数的升高会影响 PPO 活性和 MDA 含量等多项指标的变化<sup>[12]</sup>。由图 1 可知,苹果具有较好的抗冷害能力,贮藏 30 d 时各组均无冷害情况发生,冷害指数随着贮藏时间的增加而升高,各处理组的差异显著 ( $P < 0.05$ )。T3 组在贮藏 30 d 后趋势明显,高于其他组,冷害指数高达 0.34,成倍高于对照组。贮藏期结束时,T2 组的冷害指数仅为 0.14,处于最低水平。这可能是由于  $-1 \sim 10^\circ\text{C}$  的间歇升温处理能够较好地增加膜的流动性,分解排除冷害条件下积累的有害物质,补充冷害中消耗的物质,以调控冷害对膜、细胞器及代谢途径的伤害。

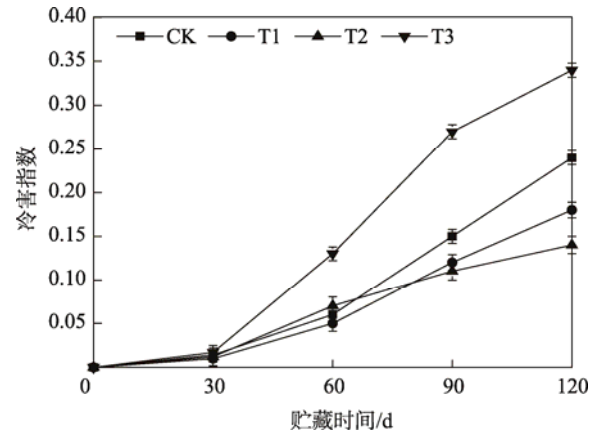


图 1 间歇升温对苹果冷害指数的影响

Fig.1 Effect of intermittent warming on chilling injury index of apple

### 2.2 间歇升温对质量损失率的影响规律

质量损失率是反映果蔬贮藏过程中品质变化的重要指标<sup>[13]</sup>。由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,苹果的 3 个处理及 CK 组的质量损失率均不断增加,与贮藏时间呈线性正相关,线性规律明显,各处理组之间达到差异显著水平 ( $P < 0.05$ )。在贮藏前 90 d,CK 组、T1 组、T2 组的质量损失率相近,T3 组的质量损失率始终最高。在贮藏结束时,CK 组的质量损失率为 1.67%,T1 组、T2 组的质量损失率均低于 CK 组,T2 组的质量损失率最低,仅为 0.92%,比 T3 组低 0.75%,可以看出  $-1 \sim 10^\circ\text{C}$  的间歇升温方式有效降低了果蔬的质量损失率。

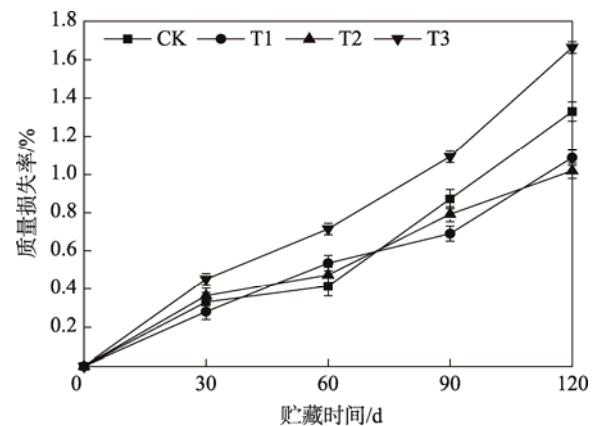


图 2 间歇升温对苹果质量损失率的影响

Fig.2 Effect of intermittent warming on the weight loss rate of apple

### 2.3 间歇升温对硬度的影响规律

硬度是贮藏期间衡量果实品质的重要指标之一。Zhou<sup>[14]</sup>发现,果实脆度和硬度的降低主要由细胞膨压较小和细胞壁内物质水解所致。果实硬度与冷害指数呈正相关,发生冷害会加速果蔬失水皱缩的速率,从而导致硬度下降。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,苹果的 3 个处理组及 CK 组均呈现下降趋势,与

贮藏时间呈线性负相关,并且线性规律较明显,各处理组之间达到差异显著水平 ( $P < 0.05$ )。T3 处理组的硬度 ( $2.55 \text{ kg/cm}^2$ ) 下降得最为严重,在贮藏结束时 CK 组的硬度下降值为  $1.77 \text{ kg/cm}^2$ , T1 组的硬度下降值为  $0.92 \text{ kg/cm}^2$ , T2 组的硬度变化最小,仅为  $0.81 \text{ kg/cm}^2$ 。间歇式升温处理降低了苹果硬度的下降程度,其中 T2 处理组的硬度降低得最少。

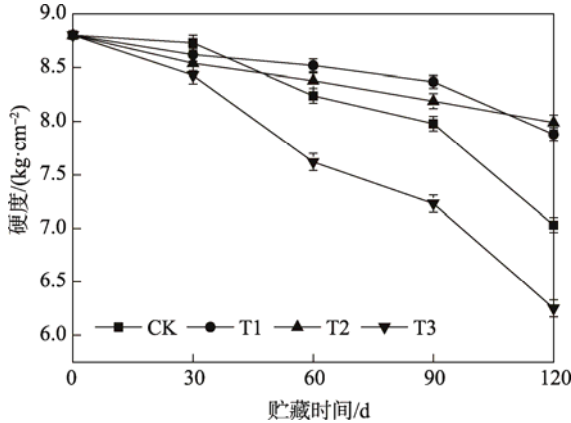


图3 间歇升温对苹果硬度的影响

Fig.3 Effect of intermittent warming on hardness of apple

### 2.4 间歇升温对色值 $L^*$ 与饱和度 $C$ 值的影响规律

色值  $L^*$  直接反映了果蔬贮藏过程中果肉的亮度<sup>[15]</sup>。在冷害条件下,色值  $L^*$  的改变受到 PPO、MDA 等因素的共同影响,颜色变暗,甚至失去正常色泽。由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,苹果的 3 组处理组及 CK 组的色值  $L^*$  均呈现下降趋势,与贮藏时间呈线性负相关,并且线性规律较明显 ( $P < 0.05$ )。在贮藏 90 d 左右时, T1 组、T2 组的改变量均低于 CK 组; T3 组每次的测定值均为最低,亮度下降得最明显。在贮藏 120 d 时, T2 组的色差  $L^*$  变化最小,可知间歇升温可以减缓果实亮度降低的速度,其中 T2 组的护色效果最佳。

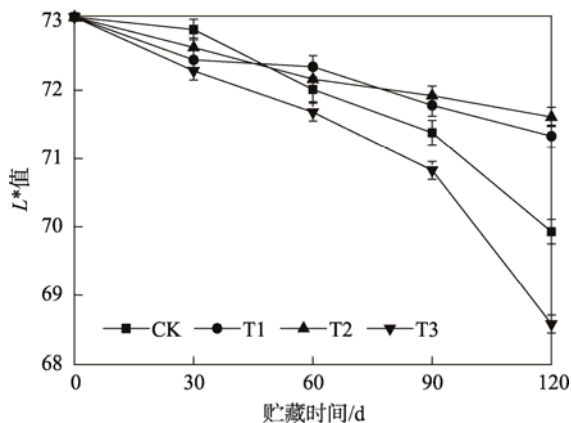


图4 间歇升温对苹果色值  $L^*$  的影响

Fig.4 Effect of intermittent warming on color value  $L^*$  of apple

饱和度  $C$  值能更加直观地反映果蔬贮藏过程中颜色的鲜艳度<sup>[16]</sup>。由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,苹果的 CK 组及各处理组的饱和度  $C$  值均呈现明显上升趋势,与贮藏时间呈线性正相关,并且线性规律明显 ( $P < 0.05$ )。T3 组的饱和度  $C$  值改变量最为明显,达到 9.63。在贮藏前 90 d 时, T1 组饱和度  $C$  值的控制效果最优,而在贮藏 120 d 时, T2 组饱和度  $C$  值降低到低于 T1 组的水平,均低于 CK 组。说明间歇升温处理对维持苹果贮藏期间色泽的稳定具有积极作用。

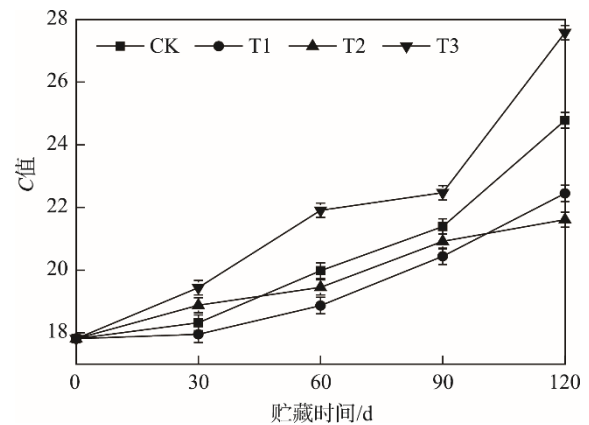


图5 间歇升温对苹果饱和度  $C$  值的影响

Fig.5 Effect of intermittent warming on the  $C$  value of apple saturation

### 2.5 间歇升温对多酚氧化酶 (PPO) 的影响规律

冷害发生会破坏细胞膜的完整性,从而加速果蔬氧化褐变的速率,PPO 含量改变明显,褐变的产生还会严重影响果实的色泽,降低果实品质。陈刚等<sup>[17]</sup>的研究结果表明,在果蔬后熟衰老过程或在采收贮藏加工过程中组织出现的褐变与多酚氧化酶 (PPO) 活性密切相关。由图 6 可知,苹果在贮藏时间内多酚氧化酶含量先升高后降低,然后趋于平稳;在贮藏 30 d

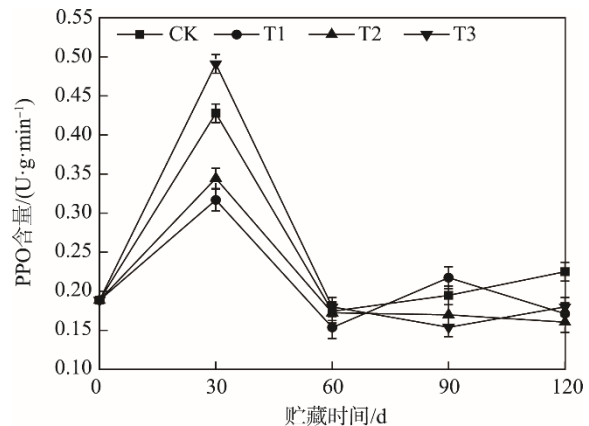


图6 间歇升温对苹果多酚氧化酶 (PPO) 含量的影响

Fig.6 Effect of intermittent warming on polyphenol oxidase (PPO) content in apple

左右时, 各组 PPO 活性均达到峰值, 其与苹果遭受冷害自由基代谢平衡破坏, 机体的活性氧自由基防御系统的酶系活性增强有关。T3 组的 PPO 活性最高达到 0.48 U/(g·min), T3 > CK > T2 > T1, 表明在贮藏时间内间歇升温可以影响 PPO 活性, T1 组 PPO 活性变化最小, 贮藏 60 d 后 PPO 活性在低于初值范围内波动, 差异不显著。

## 2.6 间歇升温对丙二醛 (MDA) 的影响规律

王静等<sup>[18]</sup>研究表明, 果蔬器官在衰老过程或逆境下受到伤害, 会发生膜脂过氧化作用。王延秀等<sup>[19]</sup>研究发现, 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的最终分解产物, 其含量可以反映果蔬遭受逆境伤害的程度, 因此 MDA 含量与冷害指数呈正比。由图 7 可知, 苹果的 MDA 含量在不同升温条件下随着贮藏时间的增加整体呈现上升趋势, 与贮藏时间呈线性正相关, 并且线性规律明显, 各处理组之间达到差异显著 ( $P < 0.05$ )。在进行处理前, MDA 的含量均为 1.414  $\mu\text{mol/g}$ ; T3 组的 MDA 含量增加最为明显, 变化值为 0.764  $\mu\text{mol/g}$ ; MDA 含量在贮藏 120 d 时, T3 > CK > T1 > T2, T2 组的 MDA 含量改变量最低, 仅为 0.290  $\mu\text{mol/g}$ 。由此可见,  $-1\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  间歇升温能在一定程度上较好地缓解低温对果实细胞膜的伤害。

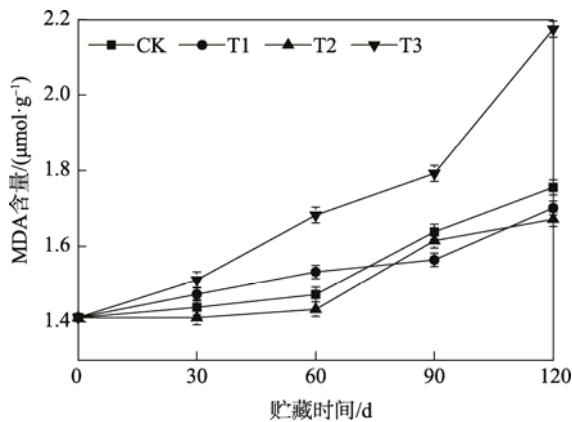


图 7 间歇升温对苹果丙二醛 (MDA) 含量的影响  
Fig.7 Effect of intermittent warming on malondialdehyde (MDA) content in apple

## 3 结语

“红富士”苹果具有较好的抗冷害能力, 但长时间的低温贮藏仍会发生冷害。文中试验以“红富士”苹果为实验材料, 研究了在低温贮藏条件下趋避冷害的方法, 分析比较了在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温贮藏条件下间歇升温对果实贮藏品质的影响。综合得出, 在贮藏期结束时, T2 组 ( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 的冷害指数最低, 仅为 0.14, 成倍低于 T3 处理组, 其质量损失率、硬度、色差  $L^*$  及饱和度  $C$  值的改变量均最小, 有效抑制了 PPO 活性, MDA 含量变化比 CK 组低 0.191  $\mu\text{mol/g}$ 。经综合比较发现,

在贮藏期间果实品质的优劣顺序为 T2 > T1 > CK > T3。采用  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  间歇升温的方式, 其贮藏效果均优于 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  恒温贮藏的方式, 而采用  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  升温的效果更明显,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  升温的效果则不及 CK 组。综合各项指标可知, 间歇升温可以有效避免苹果贮藏期间冷害的发生, 延长了苹果的贮藏时间, 能够较好地维持贮藏期间果实的品质。

该实验对苹果进行间歇式升温处理, 为苹果贮藏规律提供了理论依据, 但其他方式的变温处理是否可以延长苹果货架期, 仍需进一步研究探讨。

## 参考文献:

- [1] 戚玉静, 王庆国, 石晶盈, 等. 温度对冷藏富士苹果货架品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015(2): 192—198.  
QI Yu-jing, WANG Qing-guo, SHI Jing-ying, et al. Effect of Temperature on Shelf Quality Change of Refrigerated Fuji Apple[J]. Food and Fermentation Industry, 2015(2): 192.
- [2] 张文英. 不同采收期和贮藏方式对金红苹果贮藏品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007: 27—28.  
ZHANG Wen-ying. Effects of Different Harvest Time and Storage Methods on Storage Quality of Golden Red Apple[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007: 27—28.
- [3] LI F J, MIN D D, SONG B C, et al. Ethylene Effects on Apple Fruit Cuticular Wax Composition and Content During Cold Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017(8): 98—105.
- [4] 王丹, 张子德. 热处理和间歇升温低温贮藏对辣椒冷害的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(3): 1449—1451.  
WANG Dan, ZHANG Zi-de. Effects of Heat Treatment and Intermittent Heating and Low Temperature Storage on Chilling Injury of Pepper[J]. Anhui Agricultural Science, 2012, 40(3): 1449—1451.
- [5] 李莹, 任亚梅, 马学敏, 等. 1-MCP 处理结合不同贮藏条件对苹果常温货架品质的影响[J]. 北方园艺, 2014(11): 137—143.  
LI Ying, REN Yan-mei, MA Xue-min, et al. 1-MCP Treatment Combined with Different Storage Conditions on Shelf Quality of Apple at Room Temperature[J]. Northern Horticulture, 2014 (11): 137—143.
- [6] 付艳武, 高丽朴, 王清, 等. 蔬菜预冷技术的研究现状[J]. 保鲜与加工, 2015(1): 58—63.  
FU Yan-wu, GAO Li-pu, WANG Qing, et al. Research Status of Vegetable Precooling Technology[J]. Fresh Keeping and Processing, 2015(1): 58—63.
- [7] 王艳颖, 胡文忠, 刘程惠, 等. 间歇升温对采后香蕉李贮藏中酶促褐变的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 134—138.  
WANG Yan-ying, HU Wen-zhong, LIU Cheng-hui, et al. Effect of Intermittent Heating on Enzymatic



- Browning of Postharvest Banana Plum during Storage[J]. Food Science, 2010, 31(2): 134—138.
- [8] 班清风. ‘乔纳金’苹果采后酚类物质变化规律研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 15—18.  
BAN Qing-feng. Study on the Changes of Phenols in 'Jonagin' Apple after Harvest[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016: 15—18.
- [9] 宋春波. 外源 GABA 和褪黑素减轻桃果实采后冷害的机理研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 20—21.  
SONG Chun-bo. Study on the Mechanism of Exogenous GABA and Melatonin in Reducing Postharvest Chilling Injury of Peach Fruit[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 20—21.
- [10] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 30—32.  
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo. Guidance of Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 30—32.
- [11] 潘艳芳, 张继明, 李喜宏, 等. 间歇升温对树上干杏冷藏品质的影响[J]. 食品科技, 2017(1): 42.  
PAN Yan-fang, ZHANG Ji-ming, LI Xi-hong, et al. Effect of Intermittent Heating on Cold Storage Quality of Dried Apricot on Trees[J]. Food Science and Technology, 2017(1): 42.
- [12] 徐艳艳. 苹果冰点温度贮藏品质及质构变化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016: 22—23.  
XU Yan-yan. Study on Storage Quality and Texture of Apple at Freezing Point[D]. Fuzhou: Fujian University of Agriculture and Forestry, 2016: 22—23.
- [13] 余文慧, 许奕, 张富仙, 等. 保鲜膜及不同温度对圆茄 1 号的贮藏效果[J]. 蔬菜, 2016(9): 63—65.  
YU Wen-hui, XU Yi, ZHANG Fu-xian, et al. Storage Effect of Fresh-keeping Film and Different Temperature on Yuanhu No.1[J]. Vegetables, 2016(9): 63—65.
- [14] ZHOU R, LI Y, YAN L, et al. Effect of Edible Coatings on Enzymes, Cellmembrane Integrity, and Cell-wall Constituents in Relation to Brittleness and Firmness of Huanghuapears ( *Pyrus Pyrifolia* Nakai, cv Huanghua ) during Storage[J]. Food Chem, 2011(124): 569—575.
- [15] MA Y, BAN Q F, SHI J Y, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP), Storage time, and Shelf Life and Temperature Affect Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of 'Jonagold' Apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019(12): 71—79.
- [16] 郑锦锦, 陈岩, 刘帅, 等. 荔枝品质评价的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2019(2): 10—14.  
ZHENG Jin-jin, CHEN Yan, LIU Shuai, et al. Research Progress in Quality Evaluation of Litchi[J]. Chinese Food and Nutrition, 2019(2): 10—14.
- [17] 陈刚, 马晓, 谢梦淑, 等. 富士苹果多酚氧化酶特性及褐变抑制研究[J]. 湖北农业科学, 2017(6): 1107—1110.  
CHEN Gang, MA Xiao, XIE Meng-shu, et al. Studies on the Characteristics and Browning Inhibition of Polyphenol Oxidase in Fuji Apple[J]. Hubei Agricultural Science, 2017(6): 1107—1110.
- [18] 王静, 孙光宇, 姬俏俏, 等. 活性氧在果蔬采后衰老过程中的作用及其控制[J]. 包装与食品机械, 2015(5): 51—54.  
WANG Jing, SUN Guang-yu, JI Qiao-qiao, et al. The Role of Active Oxygen in the Senescence of Fruits and Vegetables and its Control[J]. Packaging & Food Machinery, 2015(5): 51—54.
- [19] 王延秀, 朱燕芳, 陈伯鸿, 等. 一氧化氮对干旱胁迫下苹果砧木楸子耐旱性的影响[J]. 果树学报, 2018(11): 1344—1352.  
WANG Yan-xiu, ZHU Yan-fang, CHEN Bo-hong, et al. Effect of Nitric Oxide on Drought Tolerance of Apple Stock Liriodendron under Drought Stress[J]. Journal of Fruit trees, 2018(11): 1344—1352.