

# 热空气处理对冷藏鲜枣衰老软化及相关酶活性的影响

李君兰<sup>1</sup>, 马勇<sup>2</sup>, 康慧仁<sup>3</sup>, 冯久海<sup>1</sup>, 刘志芳<sup>1</sup>

(1. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000) (2. 甘肃省张掖市甘州区西城驿林场, 甘肃张掖 734000)  
(3. 甘肃省张掖市农业科学研究院, 甘肃张掖 734000)

**摘要:** 鲜枣贮藏易发生霉变、软化、失水萎蔫, 鲜食期极短。为探究热空气处理对鲜枣衰老软化及相关酶活性的影响, 以临泽小枣为实验材料, 采用 45 °C 热空气处理 2 h, 用 0.01 mm 厚的聚乙烯袋折叠包装, 于(0±0.5) °C 下贮藏, 每隔 10 d 测定鲜枣呼吸强度、相对电导率, 丙二醛(MDA)、维生素 C、可滴定酸(TA)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、脂氧合酶(LOX)和超氧化物歧化酶(SOD)等指标。结果表明, 临泽小枣属于呼吸跃变型果实, 与 CK 相比, 45 °C、2 h 热空气处理能有效地抑制鲜枣呼吸强度( $p < 0.05$ ), 诱导 LOX 和 APX 活性降低, 保持较高的维生素 C 和 TA 含量, 果肉组织的相对电导率和 MDA 的含量减少, 且差异显著( $p < 0.05$ ); 同时诱导鲜枣 CAT 活性下降速度的延缓, 推迟 SOD 活性高峰的出现, 保持了酶的活性。综上所述, 45 °C、2 h 热空气处理可有效地延缓采后鲜枣果实衰老软化, 保持鲜枣的贮藏品质。

**关键词:** 鲜枣; 热空气处理; 低温贮藏; 衰老软化

文章编号: 1673-9078(2017)3-237-243

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.036

## Effects of Hot-air Treatment on the Senescence and Softening of Fresh Jujube Fruits during Cold Storage

LI Jun-lan<sup>1</sup>, MA Yong<sup>2</sup>, KANG Hui-ren<sup>3</sup>, FENG Jiu-hai<sup>1</sup>, LIU Zhi-fang<sup>1</sup>

(1. College of Agricultural and Biological Technology, Hexi University, Zhangye 734000, China)

(2. Forest farm of Xi Chengyi, Zhangye 734000, China) (3. Institute of Agricultural Sciences, Zhangye 734000, China)

**Abstract:** Decay, softening, water loss, and wilting can easily occur during the storage of fresh jujube fruits, resulting in an extremely short storage duration for fresh fruits. In order to investigate the influence of hot-air treatment on the postharvest senescence and softening of fresh jujube and related enzyme activities, 'Linze Xiaozao' jujube fruit was used as a test material. It was pre-treated with hot air at 45 °C for two hours and then packed into folded polyethylene bags (thickness: 0.01 mm) and stored at (0 °C±0.5). The respiration intensity, relative conductivity, contents of malondialdehyde (MDA), vitamin C, titratable acid (TA), activities of catalase (CAT), ascorbic acid peroxidase (APX), lipoxygenase (LOX), and superoxide dismutase (SOD), among other indicators of fresh jujube fruits were determined every ten days. The results showed that Linze Xiaozao was a climacteric fruit in a respiration pattern. Compared with CK, the hot-air treatment at 45 °C for 2 h could effectively inhibit respiration intensity ( $p < 0.05$ ), decrease the activities of LOX and APX, and maintain relatively high contents of vitamin C and TA. The relative conductivity and the MDA content of the pulp tissues significantly decreased ( $p < 0.05$ ). However, the rate of the decline of CAT activity of fresh jujube slowed down and the appearance of SOD activity peak was delayed. Besides, the activity of the enzyme was maintained. In conclusion, hot-air treatment at 45 °C for two hours could significantly delay the senescence and softening of postharvest jujube fruits and maintain the storage quality.

**Key words:** fresh jujube; hot-air treatment; low temperature storage; senescence and softening

枣(*Ziziphus jujube*. Mill)是中国的传统果品之一, 是天然的药食同源食物。鲜枣果实中含 80.86~85.63%

收稿日期: 2016-04-27

基金项目: 甘肃省农业生物技术研究开发项目(GNSW-2014-02); 博士科研启动金; 国家自然科学基金项目(31560029)

作者简介: 李君兰, 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

的碳水化合物, 57.61~77.93%的还原糖, 0.57~2.79%的可溶性纤维, 蛋白质和脂肪含量分别在 4.75~6.86%和 0.37%~1.02%, 灰分含量在 2.26~3.01%, 且主要为 K、P、Ca、Mn、Fe 和 Zn 含量较高, 同时含有较高的生物活性成分如卢丁(Vp)、维生素 C 和环腺苷酸等<sup>[1,2]</sup>, 尤其维生素 C 的含量极高, 达到 4~6 mg/g, 比柑

橘类水果高10~13倍,甚至比猕猴桃中维生素C的含量还要高<sup>[3]</sup>。对提高机体免疫力、促进细胞增生、延缓细胞衰老、调节神经稳定有显著疗效。枣树是一种生态效益和经济效益兼备的优良树种,临泽县枣树栽培历史已有1400年的历史。至2015年时,进入丰产期的红枣栽植面积约9.26×10<sup>3</sup> hm<sup>2</sup>,产量达2.6万t,占全省枣产量的70%以上。但是鲜枣采收期短,约有20~25 d左右。在室温下易劣变、腐烂、放置数天即失水皱缩,贮藏性极差。通过对采后鲜枣生理特性的研究,并改进相应的果实贮运技术,已经成为枣果鲜食产业亟待解决的问题。

采后热处理作为一种无公害的果蔬保鲜辅助手段,已有研究表明:果实采收后在较高温度下处理一定时间,能将果实表面附着的大部分腐败菌杀死,使果实腐烂率降低。如冬枣<sup>[4]</sup>、杨梅<sup>[5]</sup>、龙眼<sup>[6]</sup>、桃<sup>[7]</sup>、草莓<sup>[8]</sup>和枇杷<sup>[9,10]</sup>等;另外热处理能诱导果实某些生理代谢速率被抑制或延缓,从而降低冷害发生指数,保持果实贮藏品质,延长贮藏寿命。如枇杷<sup>[10]</sup>、菜豆<sup>[11]</sup>和橄榄<sup>[12]</sup>等。目前热处理对鲜枣采后贮藏品质的影响已有报道<sup>[13,14]</sup>,但中国枣的资源品种繁多,对其果实生理生化变化的机理仍缺乏深入研究。本文以甘肃张掖特有的临泽小枣为实验材料,探讨45℃热空气处理2 h对鲜枣在(0±0.5)℃贮藏时品质、寿命的影响,旨在阐明热空气处理对鲜枣衰老软化及相关酶活性变化的机理,为热处理技术在鲜枣果实保鲜中的应用积累数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料临泽小枣,于2015年9月采自甘肃省张掖市甘州区林业局西城驿林场果园(东经99°51′,北纬38°57′,平均海拔在1370米),采收成熟度均为全红果。采收当日运回至河西学院农业与生物技术实验室,剔除病果、伤果,挑选大小均匀的果实装袋。枣树的树龄均为3年以上盛果期树种,采用统一的施肥、灌溉和病虫害管理。

### 1.2 热空气处理

试验第一部分,热空气处理试验条件筛选。根据陆振中<sup>[15]</sup>的热空气处理方法并略做修改。鲜枣经1.0%次氯酸钠溶液浸泡1 min,放在吸水纸上晾干,装入搪瓷盘,厚度约为25 mm。温度控制箱中湿度保持在85%,进行以下6个处理,(35±0.5)℃分别处理4、8和12 h;(45±0.5)℃处理2 h;(50±0.5)℃处理2 h,对照

组CK在(20±0.5)℃下放置2 h。将CK和不同条件下处理后的鲜枣分别装入厚度0.01 mm聚乙烯保鲜袋中,每袋1 kg,同时放入乙烯吸收剂1包(每包质量5 g),然后将袋口折叠,置于温度为(20±0.5)℃条件下贮藏,上述每个处理设置3个重复。15 d后测定果实硬度、失重率和腐烂指数等品质变化。

试验第二部分,将鲜枣进行以下2个处理,处理组用45℃热空气处理2 h,对照组CK在常温(20±0.5)℃放置2 h。其余条件同试验第一部分,每个处理设置3个重复。然后置于(0±0.5)℃冷库中贮藏。每隔10 d取样并进行分析测定。

## 1.3 检测项目及方法

### 1.3.1 硬度、失重率和腐烂指数测定

**果实硬度:**用GY-1型果实硬度计(四平市兴科仪器仪表厂)测定。随机取若干个鲜枣,在每个果实最大横径处去皮,然后将硬度计垂直于被测表面,在均匀力的作用下将压头压入果肉内5 mm处,以此时指针的读数作为鲜枣的硬度。单果重复4次,测定10个果实的硬度,取平均值。单位N/m<sup>2</sup>。果实失重率计算公式:

$$\text{失重率}(\%) = (1 - \text{检测时果实重量} / \text{果实初始重量}) \times 100$$

**果实腐烂指数:**将果实按腐烂面积大小分为4级。0级,无腐烂;1级,皱缩、软化和腐烂面积小于果实面积的10%;2级,皱缩、软化和腐烂面积占果实面积的10%~30%;3级,皱缩、软化和腐烂面积大于果实面积的30%。按下式计算腐烂率:

$$\text{腐烂指数}(\%) = [\sum(\text{级别} \times \text{该级别果实个数}) / \text{测定总果数}] \times 100$$

### 1.3.2 呼吸强度、可滴定酸(TA)和维生素C含量测定

呼吸强度和TA测定采用酸碱滴定法<sup>[16]</sup>。测定结果分别用mg CO<sub>2</sub>/(kg·h)和(H<sup>+</sup>) mmol/(kg·FW)来表示;维生素C测定采用2,6-二氯酚钠盐法,测定结果用×10<sup>-2</sup> mg/kg FW来表示。

### 1.3.3 细胞膜透性和丙二醛(MDA)含量的测定

用相对电导率表示果实细胞膜透性大小,用DDJ-308A型电导率仪(上海精科仪器有限公司)测定。测定方法参照林河通等<sup>[17]</sup>的方法,其计算公式为:

$$\text{相对电导率}(\%) = (\text{果肉杀死前外渗液电导值} / \text{果肉杀死后外渗液电导值}) \times 100$$

丙二醛(MDA)含量测定用硫代巴比妥酸法<sup>[18]</sup>。

### 1.3.4 酶活性测定

过氧化氢酶活性(catalase, EC1.11.1.6, CAT)参照Wang和Tian等<sup>[19]</sup>的方法测定;抗坏血酸过氧化物酶活

性(scorbic acid peroxidase, EC1.11.1.11, APX)测定参照 NaKano 和 Asada<sup>[20]</sup> 的方法; 脂氧合酶活性(lipoxygenase, EC1.13.11.12, LOX)参照Daglia和Aceti等<sup>[21]</sup>的方法测定; 超氧化物歧化酶活性(superoxide dismutase, EC1.15.1.1, SOD)采用氮蓝四唑法<sup>[18]</sup>测定。酶活力单位为U/(g FW·min)。

### 1.4 统计分析

各组试验数据平均数的比较采用 Duncan's 法, 5%

表 1 不同热空气处理对鲜枣的硬度、腐烂指数和失重率的影响

**Table 1 Effects of different hot air treatments on the hardness, decay index and weight loss rate of fresh jujube fruits**

检测指标 Test index	热空气处理						
	CK	35 °C、4 h	35 °C、8 h	35 °C、12 h	40 °C、2 h	45 °C、2 h	50 °C、2 h
Firmness/( $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup> )	1.67 $\pm$ 0.035 <sup>d</sup>	5.21 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup>	5.34 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	5.36 $\pm$ 0.19 <sup>c</sup>	5.26 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	6.86 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	6.14 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>
Weight loss/%	3.07 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.36 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	2.29 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	2.27 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.77 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	0.90 $\pm$ 0.03 <sup>d</sup>	0.91 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>
Decay index/%	84.93 $\pm$ 4.28 <sup>a</sup>	62.72 $\pm$ 3.11 <sup>bc</sup>	65.69 $\pm$ 2.96 <sup>b</sup>	67.84 $\pm$ 2.91 <sup>b</sup>	52.46 $\pm$ 3.30 <sup>e</sup>	18.47 $\pm$ 6.30 <sup>e</sup>	29.30 $\pm$ 2.81 <sup>d</sup>

注: 同一行带有相同字母的数值表示经 Duncan's 检验差异不显著( $p>0.05$ )。

不同热空气处理的鲜枣在 20 °C 贮藏 15 d 后其硬度、腐烂指数和失重率的变化结果如表 1 所示。5 种热处理方式与 CK 比较研究发现 45 °C、2 h 热空气处理能抑制果实硬度下降以及腐烂指数和失重率的升高, 且差异显著( $p<0.05$ ), 对减轻鲜枣果的腐烂和软化效果明显; 50 °C、2 h 与 45 °C、2 h 热空气处理比较鲜枣果实硬度略有下降、但腐烂软化指数上升, 且差异显著( $p<0.05$ )。二者失重率的差异不显著( $p>0.05$ )。因此选用 45 °C、2 h 做为热空气处理条件, 进一步研究延缓鲜枣果实衰老软化及相关酶活性的变化机理。

### 2.2 热空气处理对鲜枣果呼吸强度的影响

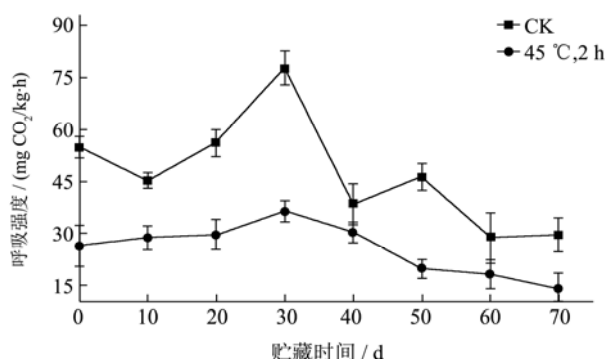


图 1 热空气处理对鲜枣呼吸强度的影响

Fig.1 Effect of hot air treatment on respiratory intensity of fresh jujube fruits

呼吸作用直接或间接地关系着果实组织内的各种生理生化过程, 与成熟衰老密切相关。常用呼吸强度来衡量果实的生理状态。由图 1 可以看出, 45 °C、2 h 热空气处理和对照 CK 在 0~30 d 内, 鲜枣果的呼吸强

为显著水平。每个样品进行 3 次重复测定。运用 Origin 8.5(Origin Lab Inc, 美国)作图并对测定结果进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度热空气处理对鲜枣果实贮藏品质的影响

度缓慢升高, 之后逐渐下降; 且第 30 d 时, 二者呼吸强度分别达到最高。在整个冷藏期, 45 °C、2 h 热空气处理鲜枣果的呼吸强度始终低于对照 CK, 且二者差异显著( $p<0.05$ )。CK 在冷藏期间出现了 2 次呼吸速率升高的现象, 第 30 d 与 50 d 鲜枣的呼吸强度分别为 77.81 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h)和 46.28 mg CO<sub>2</sub>/(kg·h), 二者之比为 1.68, 存在显著差异( $p<0.05$ ), 呼吸跃变现象明显; 而 45 °C、2 h 热空气处理鲜枣未出现显著的呼吸跃变现象( $p>0.05$ )。由此表明, 临泽小枣属于呼吸跃变型果实, 45 °C、2 h 热空气处理可抑制鲜枣呼吸速率, 且效果显著( $p<0.05$ )。

### 2.3 热空气处理对鲜枣果相对电导率和 MDA 的影响

细胞膜结构的完整性和果实衰老的程度常用细胞膜相对渗透率即相对电导率来表示, 而细胞膜结构的损伤与膜脂过氧化产物的积累有关, 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的主要产物之一, 通常被作为衡量膜脂过氧化程度的指标。如图 2a 和 2b 所示, 45 °C、2 h 热空气处理鲜枣与 CK 的果肉细胞膜相对渗透率和 MDA 二者曲线变化及其相似, 且随贮藏时间延长而不断上升; 相对电导率和 MDA 分别在贮藏初期 20 d 和 10 d 内对照 CK 与热空气处理之间基本相同, 无显著差异( $p>0.05$ ); 之后 45 °C、2 h 热空气处理鲜枣的相对电导率及 MDA 始终低于 CK, 且差异显著( $p<0.05$ )。结果表明, 45 °C、2 h 热空气处理能抑制鲜枣果肉细胞膜相对渗透率和 MDA 上升, 维持细胞膜结构完整

作用显著,使鲜枣膜脂氧化程度显著降低。

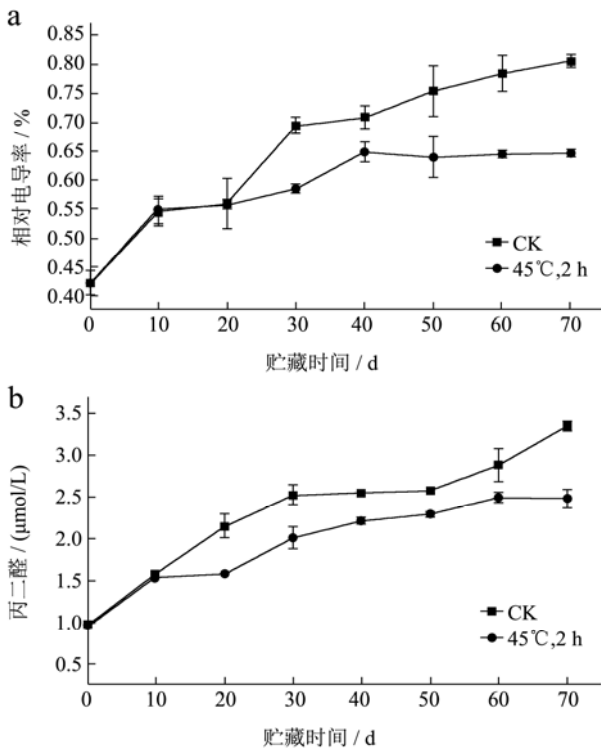


图2 热处理对鲜枣果相对电导率(a)和丙二醛(b)的影响  
Fig.2 Effects of hot air treatment on the relative electric conductivity (a) and malondialdehyde content (b) of fresh jujube fruits

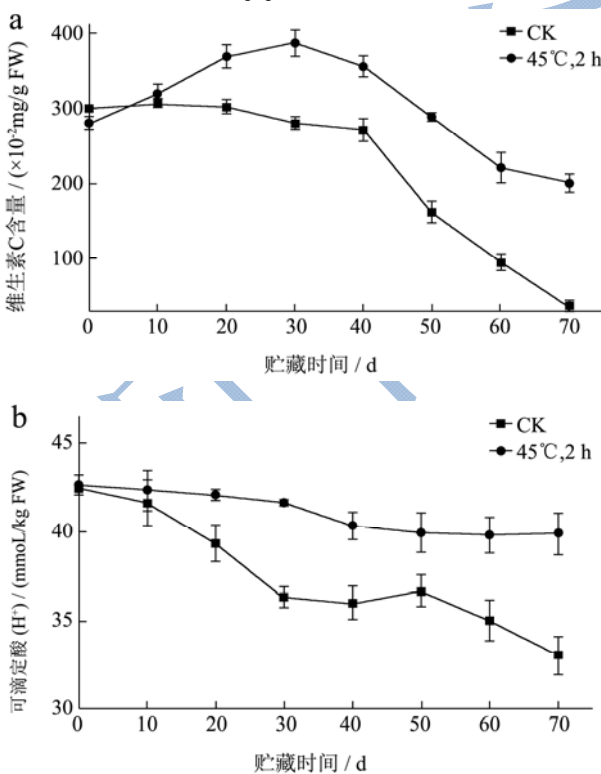


图3 热空气处理对鲜枣果维生素C(a)和可滴定酸(b)的影响  
Fig.3 Effects of hot air treatment on the vitamin C (a) and titratable acid (b) contents of fresh jujube fruits

## 2.4 热空气处理对鲜枣维生素 C 和可滴定酸

TA 的影响

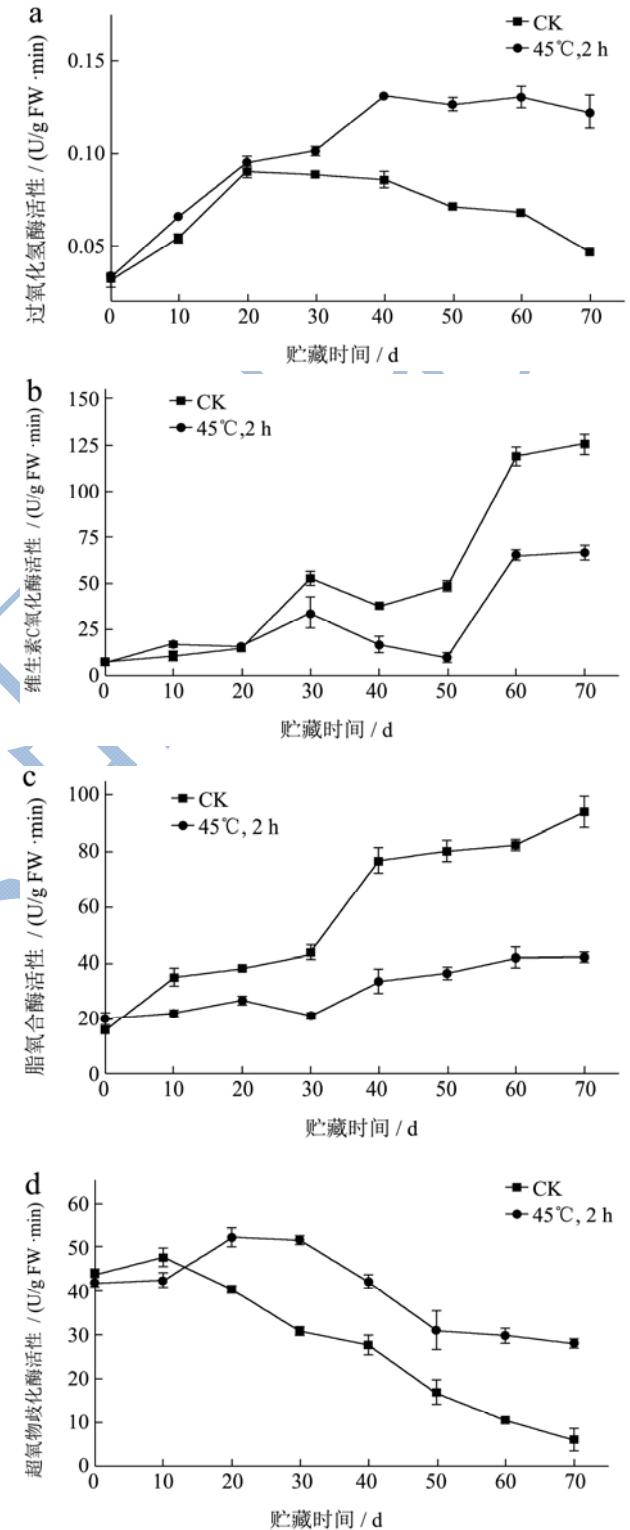


图4 热空气处理对鲜枣果 CAT (a)、APX (b)、LOX (c) 和 SOD (d) 的影响

Fig.4 Effects of hot air treatment on the activities of CAT(a), APX(b), LOX(c) and SOD(d) in fresh jujube fruits

维生素C是一种存在于果实组织中的氧化还原化合物,既是重要的膜脂保护物质,也是果实体内清除活性氧的重要抗氧化物质,是衡量果蔬衰老程度重要指标之一。如图3a,45℃、2h热空气处理鲜枣维生素C含量变化呈先上升后下降,贮藏30d时维生素C含量最大达到3.8654 mg/g FW;热空气处理鲜枣果在冷藏初期0d时维生素C含量低于对照CK,但冷藏10d后,热处理鲜枣的维生素C含量一直高于对照CK,且达到显著水平( $p<0.05$ );可滴定酸TA含量与果实的口感密切相关,是衡量果实风味品质的重要指标之一。如图3b,CK与热空气处理TA曲线变化随冷藏时间延长而逐渐下降,但热空气处理鲜枣TA的含量始终高于CK,且差异显著( $p<0.05$ );结果表明45℃、2h热空气处理能保持鲜枣维生素C和TA的含量。

## 2.5 热空气处理对鲜枣CAT、APX、LOX和SOD酶活力的影响

过氧化氢酶(CAT)是植物果实中重要的保护酶之一,具有清除代谢产生 $H_2O_2$ 的作用,其活性的高低与植物的抗逆性有关。如图4a所示,鲜枣果实CAT的活性在通过45℃、2h热空气处理后,与CK比较,在冷藏初期20d内随时间的延长,其活性逐渐增加,但两组处理之间无显著差异( $p>0.05$ );之后热空气处理鲜枣的CAT活性仍随冷藏时间的延长而上升,40d后曲线变化略呈下降趋势,而对照CK的CAT活性则迅速下降,且两组处理差异显著( $p<0.05$ )。

维生素C氧化物酶(APX)是植物体内维生素C(AsA)-谷胱甘肽(GSH)循环脱毒系统的一种重要的酶类,能催化AsA与 $H_2O_2$ 发生氧化还原反应,达到清除果实叶绿体内 $H_2O_2$ 的目的<sup>[22]</sup>。如图4b所示,随冷藏时间的延长两组处理APX活性逐渐增加;在冷藏初期20d内,CK和热空气处理鲜枣的APX活性变化差异不显著( $p>0.05$ ),之后热空气处理果实APX活性迅速升高,但始终低于CK组,且差异显著( $p<0.05$ )。

脂氧合酶(LOX)被认为是与植物组织衰老密切相关的一种酶,它通过氧化多聚不饱和脂肪酸来破坏细胞膜的完整性及改变膜的通透性,导致果实的软化衰老。如图4c所示,45℃、2h热空气处理和CK两组处理鲜枣LOX活性随冷藏的时间延长而上升;且热空气处理鲜枣的LOX活性变化始终低于CK,且差异显著( $p<0.05$ )。

超氧化歧化酶(SOD)与果实的衰老及抗逆性密切相关。如图4d所示SOD活性随冷藏时间的延长其活

性先升后降。对照CK与45℃、2h热空气处理鲜枣分别在冷藏初期第10d和20d时SOD活性达到最高峰,之后两组处理的SOD活性逐渐降低。但热处理鲜枣果的SOD活性下降速率比CK缓慢且二者差异显著( $p<0.05$ )。综上所述,45℃、2h热空气处理具有显著增强CAT和SOD活性的作用,延缓CAT下降的速度,推迟SOD活性高峰的出现,保持该酶的活性。但对APX和LOX活性有显著抑制的作用。

## 3 讨论

### 3.1 鲜枣的呼吸类型

果实呼吸类型是确定贮藏技术的基本依据。中国枣的品种达700多种,枣果采后呼吸变化比较复杂,不同枣果的品种其呼吸类型差异很大<sup>[23]</sup>。有些品种具有呼吸跃变,有些则不具有呼吸跃变现象<sup>[3]</sup>。本试验研究结果表明临泽小枣属于呼吸跃变型果实。

### 3.2 热空气处理对鲜枣呼吸及贮藏品质的作用

热处理方式分为热水浸泡、热空气和热蒸汽处理三种方式,每种方式使用的温度与时间因果蔬种类和处理方法而异。适宜的热处理对果实的呼吸强度和乙烯释放有抑制作用,这与热处理抑制呼吸代谢活动某些相关酶的活性有关联。本试验研究用45℃、2h热空气对鲜枣处理后冷藏发现其呼吸强度与CK相比有明显的抑制作用(图1),与Zisheng Luo<sup>[24]</sup>在杨梅和Tassadit<sup>[25]</sup>在芒果上的研究结果类似。另外热处理能抑制果实腐烂的发生,延缓果实的软化,保持果实的硬度和维生素C的含量。根据本试验数据统计分析发现,与CK及其它热处理相比,45℃、2h热空气对鲜枣处理后20℃贮藏至15d时其腐烂指数和失重率最低(表1),其差异显著( $p<0.05$ )。此外,45℃、2h热空气处理有抑制鲜枣可滴定酸TA和维生素C含量降低的作用(图3a和3b),这可能由于热空气处理抑制果实呼吸强度的同时,导致贮藏期间TA作为呼吸底物和许多生化过程所需代谢物前体物质的消耗减少有关。而对维生素C来讲其本身不耐热,热空气处理后在贮藏0d时其含量低于CK,造成维生素C少量的损失。但在冷藏10d以后其含量始终高于CK,且差异显著( $p<0.05$ ),原因可能是热空气处理保持了枣果中较高的糖分,它是维生素C合成的前体物质,如己糖;其次维生素C本身就是自由基清除剂,所以恰当的热处理能诱导枣果产生维生素C。

### 3.3 热空气处理诱导冷藏鲜枣延缓衰老软化的可能机制

鲜枣采后成熟衰老最明显的变化是果肉组织迅速软化和质地改变。LOX 是启动细胞膜过氧化作用的重要因子<sup>[26,27]</sup>。细胞膜是控制细胞内外物质交换的门户,膜脂组分发生改变是膜透性增加的主要原因<sup>[28-30]</sup>; LOX 及其催化的过氧化产物是导致细胞膜衰败、膜渗透增加,植物组织出现各种生理失调和代谢紊乱,最终导致细胞死亡<sup>[31]</sup>。前人研究认为,热处理能抑制果蔬 LOX 活性,增加膜的流动性,降低细胞膜透性,维持细胞膜结构的完整性<sup>[11,32]</sup>,诱导果蔬 CAT、SOD 保护酶类活性及维生素 C 等抗氧化物质含量的升高,从而延缓果蔬的衰老软化与褐变<sup>[5]</sup>。本试验研究发现 45 °C、2 h 热空气处理鲜枣与 CK 相比,不仅呼吸强度降低(图 1),而且 LOX 和 APX 活性也受到抑制(图 4b 和 4c),呼吸强度与 LOX、APX 分别存在负相关性;鲜枣细胞膜相对电导率和 MDA 含量的积累被减弱(图 3a 和 3b),从而削弱了膜脂的过氧化作用,与 LOX 之间存在着正相关性;同时诱导延缓 CAT 下降的速度,推迟 SOD 活性高峰的出现,保持该酶的活性(图 5a 和 5d)。对鲜枣过氧化物酶代谢过程中产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 清除作用增强,延缓 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 自由基对细胞的氧化破坏作用。从而促进了保护酶清除自由基活性氧的过程,减缓了果实组织的过氧化进程。消除或减弱了活性氧对生物膜的伤害。另外 45 °C、2 h 热空气处理抑制鲜枣维生素 C 含量的降低可能与抗坏血酸氧化酶 APX 的活性被抑制有关,这一结论与寇晓红<sup>[3]</sup>的研究结果相似。

## 4 结论

临泽小枣属于呼吸跃变型果实。45 °C、2 h 热空气处理能抑制鲜枣的呼吸强度;诱导鲜枣果实延缓过氧化氢酶 CAT 活性下降的速度,推迟超氧化物歧化酶 SOD 活性高峰的出现,保持了酶的活性,使果实清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 自由基的能力增强;同时脂氧合酶 LOX 和抗坏血酸过氧化物酶 APX 活性被抑制,保持了较高的维生素 C 和可滴定酸 TA;鲜枣细胞膜相对电导率和丙二醛 MDA 的含量减少,从而减弱了膜脂过氧化作用。为延缓鲜枣果实贮藏品质劣变的进程提供科学的理论依据。

## 参考文献

[1] LI Jin-wei, FAN Liu-ping, DING Shao-dong, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube [J]. Food

Chemistry, 2007, 103: 454-460

- [2] GAO Qing-hua, WU Pu-tu, LIU Jia-ren, et al. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1): 67-72
- [3] 寇晓虹,王文生,吴彩娥,等.鲜枣冷藏过程中生理生化变化研究[J].中国农业科学,2000,33(6):44-49
- KOU Xiao-hong, WANG Wen-sheng, WU Cai-e, et al. Study on the changes of physiological-biochemical changes of fresh jujube during cooling storage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(6): 44-49
- [4] 庄青,王庆国,牟文良,等.热水处理对冬枣贮藏效果的影响[J].食品与发酵工业,2006,32(6):110-114
- ZHUANG Qing, WANG Qing-guo, MOU Wen-liang, et al. Study on hot-water treatment in storage of Dongzao jujube fruit [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(6): 110-114
- [5] WANG Kai-tuo, CAO Shi-feng, JIN Peng. Effect of hot air treatment on postharvest mould decay in chinese bayberry fruit and the possible mechanism [J]. International Journal Food Microbiology, 2010, 141(1-2): 11-16
- [6] 赵云峰,林河通,王静,等.热处理对龙眼果实采后生理和贮藏品质的影响[J].中国食品学报,2014,14(5):124-134
- ZHAO Yun-feng, LIN He-tong, WANG Jing, et al. Effects of heat treatment on postharvest physiology and storage quality of longan fruits [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(5): 124-134
- [7] MAO Lin-chun, ZHANG Shang-long. Effect of heat conditioning and intermittent warming on chilling injury and pectolytic enzymes in peaches [J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2001, 27(1): 83-87
- [8] Pedro M C, Gustavo A M, Alicia R C, et al. Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit [J]. J. Agric. Food Chem., 1997, 45(12): 4589-4594
- [9] 芮怀瑾,汪开拓,尚海涛,等.热处理对冷藏枇杷木质化及相关酶活性的影响[J].农业工程学报,2009,25(7):294-299
- RUI Huai-Jin, WANG Kai-tuo, SHANG Hai-tao, et al. Effects of heat treatment on flesh leatheriness and related enzyme activities of loquat fruits during cold storage [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 294-299
- [10] 吴光斌,陈发河,张其标,等.热激处理对冷藏枇杷果实冷害的生理作用[J].植物资源与环境学报,2004,13(2):1-5
- WU Guang-bin, CHEN Fa-he, ZHANG Qi-biao, et al. Effects of heat shock treatment on chilling injury and physiological responses of *Eriobotrya japonica* fruit during

- cold storage [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2004, 13(2): 1-5
- [11] 马俊莲,张子德,陈志周,等.热处理对菜豆冷害及生理生化指标的影响[J].河北农业大学学报,2000,23(1):57-59  
MA Jun-lian, ZHANG Zi-de, CHEN Zhi-zhou, et al. Effects of heat treatments on chilling injury and physiological responses of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2000, 23(1): 57-59
- [12] 孔祥佳,林河通,郑俊峰,等.热空气处理诱导冷藏橄榄果实抗冷性及其与膜脂代谢的关系[J].中国农业科学,2012, 45(4):752-760  
KONG Xiang-jia, LIN He-tong, ZHENG Jun-feng, et al. Hot-air treatment induced chilling tolerance of cold-stored chinese olive fruits and its relation to the metabolism of membrane lipids [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(4): 752-760
- [13] 陈加利,姜喜,穆塔力普·米热吾提.热处理对骏枣贮藏品质的影响[J].北方园艺,2014,8: 115-118  
CHEN Jia-li, JIANG Xi, MUTALIPU M. Effect of heated treatment on storage quality *Ziziphus jujube* cv. *Junzao* [J]. Northern Horticulture, 2014, 8: 115-118
- [14] 文颖强,冯嘉玥,任小林.热空气处理对采后梨枣软化及贮藏品质的影响[J].西北农业学报,2007,16(6):133-136  
WEN Ying-qiang, FENG Jia-yue, REN Xiao-lin. Effect of Hot air treatment on softening and quality of postharvest Li Jujube fruits during cold storage [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2007, 16(6): 133-136
- [15] 陆振中,徐莉,王庆国.热空气处理对中华寿桃贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):375-379  
LU Zhen-zhong, XU Li, WANG Qing-guo. Effect of hot air treatment on postharvest quality of Zhonghua shou peach [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 375-379
- [16] 李君兰,康慧仁.园艺产品贮藏加工学综合实验指导[M].兰州:甘肃文化出版社,2014  
LI Jun-lan, KANG Hui-ren. Comprehensive experimental guidance for horticultural products storage and processing [M]. Lanzhou: Gansu culture press, 2014
- [17] 林河通,席琦芳,陈绍军.龙眼果实采后失水果皮褐变与活性氧及酚类代谢的关系[J].植物生理与分子生物学学报,2005,31(3):287-297  
LIN He-tong, XI Yu-fang, CHEN Shao-jun. The relationship between the desiccation-induced browning and the metabolism of active oxygen and phenolics in pericarp of postharvest longan fruit [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005, 31(3): 287-297
- [18] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2000  
GAO Jun-feng. Experimental guidance for plant physiology [M]. Beijing: Higher education press, 2000
- [19] WANG Y S, TIAN S P, XU Y. Effects of high oxygen concentration on pro-and-anti-oxidant enzymes in peach fruit during postharvest periods [J]. Food Chem., 2005, 91: 99-104
- [20] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast [J]. Plant Cell Physical, 1981, 22(5): 867-880
- [21] Daglia M, Aceti C, Giorgetti S, et al. Purification and characterization of soluble *Cichorium intybus* Var. *Silvestre* lipoxygenase [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(16): 6448-6454
- [22] 李惠华,赖钟雄.植物抗坏血酸过氧化物酶研究进展[J].亚热带植物科学,2006,35(2):66-69  
LI Hui-hua, LAI Zhong-xiong. A review of progress in ascorbate peroxidase in plants [J]. Subtropical Plant Science, 2006, 35(2): 66-69
- [23] 薛梦林,王莉,张继澍,等.不同大枣品种呼吸类型初探[J].保鲜与加工,2002,2(6):10-12  
XUE Meng-lin, WANG Li, ZHANG Ji-shu, et al. Study on respiration type of different cultivars of chinese jujube fresh [J]. Storage & Process, 2002, 2(6): 10-12
- [24] LUO Zi-sheng, XU Ting-qiao, XIE Jing, et al. Effect of hot air treatment on quality and ripening of chinese bayberry fruit [J]. J. Sci. Food Agri., 2009, 89(3): 443-448
- [25] Tassadit D, Florence C, Felicie L L, et al. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2): 221-226
- [26] 寇晓虹,闫师杰,吴彩娥,等.脂氧合酶与枣果成熟软化的关系[J].农业工程学报,2002,18(2):127-131  
KOU Xiao-hong, YAN Shi-jie, WU Cai-e, et al. Effects of lipoxygenase on ripening and softening of jujube fruit [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 127-131
- [27] 张红梅,武红,王如富.低压条件下冬枣的膜脂过氧化变化[J].中国农业大学学报,2009,14(6):51-55  
ZHANG Hong-mei, WU Hong, WANG Ru-fu. Effect of hypobaric condition on physiological and biochemical changes of Dongzao jujube [J]. Journal of China Agricultural University, 2009, 14(6): 51-55
- [28] Ghasemnezhad M, Marsh K, Shilton R, et al. Effect of hot water treatments on chilling injury and heatdamage in satsuma mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar

- ATPase, and pyrophosphatase [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(3): 364-371
- [29] Promyou A S, Ketsa S, Van Doorn W G. Hot water treatments delay cold -induced banana peel blackening [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(1): 132-138
- [30] Zhang J, Huang W, Pan Q, et al. Improvement of chilling tolerance and accumulation of heat shock proteins in grape berries (*Vitis vinifera* cv. *Jingxiu*) by heat pretreatment [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 38(1): 80-90
- [31] Lurie S, Crisosto C H. Chilling injury in peach and nectarine [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 37(3): 195-208
- [32] Mirdehghan S H, Rahemi M, Martinez-Romero D, et al. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 44(1): 19-25

现代食品科技