

# 热处理技术在甜瓜采后保鲜中的应用

殷贝贝<sup>1</sup>, 梁佳睿<sup>1</sup>, 路帆<sup>1</sup>, 田全明<sup>2</sup>, 刘雪艳<sup>1</sup>, 魏佳<sup>2</sup>, 吴斌<sup>2\*</sup>, 王英<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆农产品加工与保鲜重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 为探究热处理 (Heat Treatment, HT) 技术对新疆甜瓜采后贮藏品质的影响, 该试验以早熟品种“西州密 25 号”、中熟品种“金密 3 号”和晚熟品种“伽师瓜”为试材, 采用不同热处理 (温度、漂烫时间) 技术工艺处理甜瓜果实, 分析甜瓜在常温 (23±2) °C 贮藏条件下果实生理指标的变化, 筛选甜瓜最佳热处理工艺条件, 研究不同品种甜瓜热处理工艺的差异性。结果表明: “西州密 25 号”和“伽师瓜”的热处理条件为 62 °C、15 s, “金密 3 号”的 HT 处理条件为 58 °C、15 s。果皮对温度的耐热性不同导致了热处理条件不同, 深色瓜皮的耐热性高于浅色瓜皮的耐热性。贮藏至 18 d 时, “西州密 25 号”、“金密 3 号”和“伽师瓜”各处理最优处理组电导率分别为 61.24%、65.94%、74.18% 与对照组相比分别降低了 12.54%、17.72%、10.93%。表明 HT 技术可以有效延缓了甜瓜果实硬度的下降, 抑制果实可溶性固形物 (Total Soluble Solids, TSS) 的上升, 较好地保持了甜瓜的品质。可为 HT 技术在甜瓜贮藏产业化应用中提供理论和技术支撑。

**关键词:** 热处理; 甜瓜; 工艺; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2022)11-148-157

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.11.0054

## Application of Heat Treatment Technology in Melon Preservation

YIN Beibei<sup>1</sup>, LIANG Jiarui<sup>1</sup>, LU Fan<sup>1</sup>, TIAN Quanming<sup>2</sup>, LIU Xueyan<sup>1</sup>, WEI Jia<sup>2</sup>, WU Bin<sup>2\*</sup>, WANG Ying<sup>1\*</sup>

(1. School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences Agricultural Products Storage and Processing Research Institute, Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Products Processing and Preservation, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** The effect of heat treatment (HT) technology on the storage quality of three different varieties of muskmelons cultivated in Xinjiang - an early-ripening variety (Xizhoumi No.25), middle-ripening variety (Jinmi No.3), and late-ripening variety (Jiashi melon) - was investigated. The melons were treated under different HT conditions (temperature and time) to analyze the physiological changes when stored at room temperature (23±2) °C. The optimized HT conditions of different melon varieties were selected and the effects of heating processing on the postharvest quality of the melons were studied. The optimum HT conditions for Xizhoumi No.25 and Jiashi melons were 62 °C and 15 s, whereas those for Jinmi No.3 melons were 58 °C and 15 s. The heat tolerance of the peels influenced the optimum HT conditions; the melon varieties with darker peels were more tolerant than those with lighter peels. After 18 days of storage, the conductivities of Xizhoumi No.25, Jinmi No.3, and Jiashi melons were 61.24%, 65.94%, and 74.18%, respectively, representing decreases of 12.54%, 17.72%, and 10.93% compared with those of the control group. HT technology effectively delayed fruit hardening and remarkably inhibited the increase in total soluble solids content. Thus, the quality of different varieties of melons was better maintained during storage. This study has provided theoretical and technical support for the industrial application of HT technology for muskmelon storage.

**Key words:** heat treatment; muskmelon; processing; storage quality

引文格式:

殷贝贝, 梁佳睿, 路帆, 等. 热处理技术在甜瓜采后保鲜中的应用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(11): 148-157

YIN Beibei, LIANG Jiarui, LU Fan, et al. Application of heat treatment technology in melon preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(11): 148-157

收稿日期: 2022-01-16

基金项目: 新疆自治区创新环境 (人才、基地) 建设专项 (自然科学基金计划) (2020D01A65)

作者简介: 殷贝贝 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 2572105077@qq.com

通讯作者: 吴斌 (1973-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 42042615@qq.com; 共同通讯作者: 王英 (1984-), 女, 博士, 副教授,

研究方向: 食品营养与安全, E-mail: wangying0926@xjau.edu.cn

甜瓜 (*Cucumis melo* var. *Saccharinus*), 因其果实甘甜如蜜、香气怡人, 备受消费者青睐<sup>[1]</sup>, 是新疆地区主要栽培的经济作物之一, 在带动当地经济发展方面具有重要的支撑作用。甜瓜属于典型的呼吸跃变型果实, 其含糖量高, 水分含量大, 采后生理代谢旺盛, 易出现失水、皱缩、腐烂等问题, 严重影响果实商品价值<sup>[2]</sup>。化学保鲜方法(如噬菌酯、草酸、咪鲜胺、二氧化氯等)能有效杀灭病原微生物, 但存在化学残留问题。微生物保鲜手段具有绿色安全的特点, 但保鲜效果易受环境因素影响。气调库贮藏对设备要求高, 经济投入高, 气调包装保鲜、辐照保鲜、涂膜保鲜对剂量或浓度要求严格, 过高、过低都不利于果蔬贮藏, 甚至加速果蔬腐败变质<sup>[3]</sup>, 在单果比较大的果品中不易于规模化应用。热处理是一种可行的非化学和环境友好型技术, 具有操作简单、无污染、保鲜效果明显等优点, 在生产过程中被广泛应用。

热处理技术能有效减少病原菌对果实采后的侵染, 提高果实耐冷性, 维持其贮藏品质。近年来, 国内外学者将热处理应用到果蔬贮藏保鲜的研究越来越多<sup>[4]</sup>。“玉金香”甜瓜经 53 °C 热水浸泡 3 min 后, 增强了甜瓜果实抗病相关酶活性, 显著降低自然发病率和病斑直径<sup>[5]</sup>。贮藏前经 55 °C 热水中浸泡 3 min 降低了“西州密 25 号”哈密瓜果实膜损伤程度, 增强了果实的抗冷性<sup>[6]</sup>。“金皇后”甜瓜采用 50 °C 水浸渍 3 min 可有效减缓甜瓜果实细胞壁的降解, 延长其货架期<sup>[7]</sup>。以上研究表明甜瓜经热处理后可以显著提高果实的贮藏品质, 但由于不同的品种及不同采收期所需的热处理工艺条件不同, 温度过高、处理时间过长均会对果蔬造成热损伤, 如何将热处理技术运用到甜瓜贮藏保鲜中是当前亟需解决的问题。

目前, 在甜瓜贮藏保鲜中, 热处理的研究主要集中在果实耐冷性和抗病等方面, 多集中于某单一品种, 缺乏关于热处理对不同品种甜瓜的工艺参数比较的研究。因此, 本文选取早熟“西州密 25 号”、中熟“金密 3 号”和晚熟“伽师瓜”为研究试材, 探究常温贮藏条件下不同热处理工艺对甜瓜贮藏品质的影响, 通过不同品种甜瓜耐热性的比较, 筛选出适合不同品种甜瓜果实的热处理条件, 以期对甜瓜采后贮藏及热处理商业化提供理论支持和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试“西州密 25 号”于 6 月 10 日采自新疆吐鲁番市鄯善县甜瓜生产基地(经度: 90.214 0°; 纬度:

42.863 5°), “金密 3 号”于 7 月 19 日采自新疆吐鲁番市淖毛湖甜瓜生产基地(经度: 94.974 9°; 纬度: 43.762 0°), “伽师瓜”于 8 月 23 日采自新疆阿勒泰北屯市 188 团 9 连(经度: 88.141 2°; 纬度: 47.844 9°)。选择成熟度基本一致、大小均一、网纹细密, 带 T 型蔓果柄、无损伤、无病害的果实, 用发泡网包装, 放入标准瓜箱中, 防止在运输过程中甜瓜受到碰撞损伤, 于当天运回新疆农业科学院农产品贮藏与加工研究所实验室, 放置常温条件下(23±2) °C, RH 65%~75%; 24 h 后随机分组进行后续试验。

### 1.2 仪器与设备

GY-4 型硬度计, 艾德堡仪器有限公司; pAL-1 手持数显折糖仪, 上海精密科学仪器有限公司; DDS-11A 台式电导率仪, 上海佑科仪器仪表有限公司。

### 1.3 实验方法

热水处理方式: 将甜瓜随机分为 10 组, 处理组 T1~T9 (表 1), 同时设置对照组(三种瓜的对照组均无任何处理 CK)。在处理过程中, 果实完全浸泡水中。浸渍后自然风干表面水分, 分装在大小为 0.6 m×0.4 m×0.24 m 的塑料筐中。将其贮藏于常温(23±2) °C, RH 65%~75%条件下, 入库当天及此后每隔 3 天测定每组的相关指标, 每 3 个瓜为一个平行, 每组有 3 个平行。

表 1 甜瓜热处理技术方案

Table 1 Technical scheme for heat treatment of melon

处理组	A 热处理温度/°C	B 浸泡时间/s
T1	1(54)	1(10)
T2	1(54)	2(15)
T3	1(54)	3(20)
T4	2(58)	1(10)
T5	2(58)	2(15)
T6	2(58)	3(20)
T7	3(62)	1(10)
T8	3(62)	2(15)
T9	3(62)	3(20)
CK	/	/

### 1.4 测定指标及方法

#### 1.4.1 硬度

每组随机取 9 个甜瓜, 沿甜瓜果实横径最大部位切开, 采用 GY-4 型数显式果实硬度计在切面上选取轴对称 6 个点, 距果皮 5 mm 处用硬度计测定, 取平均值为果实硬度, 单位用 N 表示。

### 1.4.2 可溶性固形物 (Total Soluble Solids, TSS)

使用手持数显折糖仪 pAL-1 测定。

### 1.4.3 细胞膜透性

细胞膜透性<sup>[8]</sup>用电导率仪法测定,用直径 10 mm 打孔器打取柱形果肉,切成厚度为 2 mm 圆片,每个烧杯 20 个圆片,加入去离子水至 50 mL,测定电导率  $C_0$ 。静置 30 min 后,测定电导率  $C_1$ 。煮沸 15 min,冷却后定容至 50 mL,测定电导率  $C_2$ 。按式 (1) 计算相对电导率 ( $A$ , %)。

$$A = \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0} \times 100\% \quad (1)$$

### 1.5 数据处理与分析

使用 Excel 2010 进行数据处理,SPSS 20.0 (SAS Institute Inc. USA) 进行数据方差分析和数据标准化,

使用 Heml 1.0 软件绘制热图 (几乎所有与数值有关的领域都能用上的一个数据可视化实现。使用热图可以直观通过颜色的深浅和差异判断样本或组别之间的差异,直观的展示研究对象的数据差异变化情况)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 热处理工艺对甜瓜果实表型的影响

“西州密 25 号”在贮藏 18 d 内没有出现腐烂的现象。因此,将表型观察期延长至 30 d。CK 组贮藏至 24 d 时果实表面出现明显的病斑。热处理温度 54 °C (T1~T3 组)、56 °C (T4~T6 组) 分别在第 30 天出现病斑。而 62 °C (T7~T9) 处理组在整个贮藏期并未出现腐烂变质现象。结果表明,“西州密 25 号”热处理温度在 62 °C 时,贮藏效果最好。

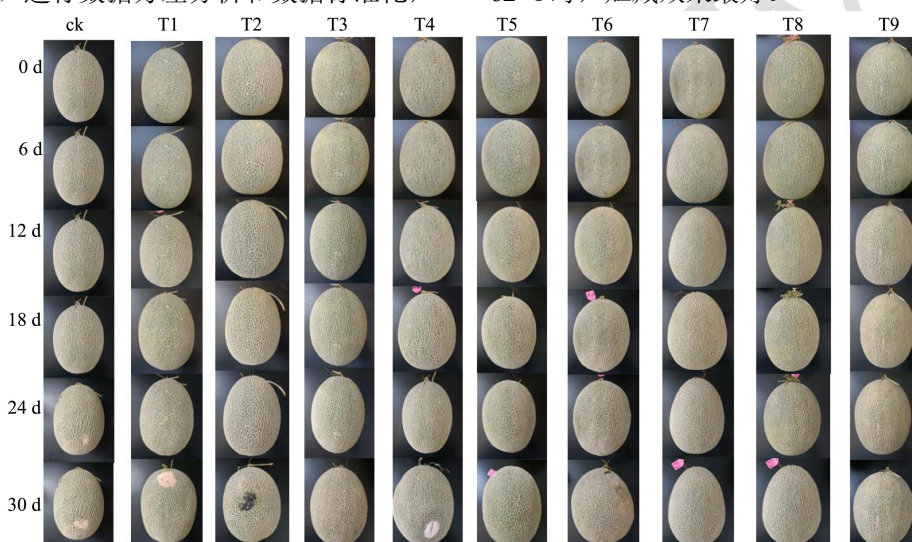


图 1 热处理对“西州密 25 号”甜瓜果实表型的影响

Fig.1 Effect of heat treatment on the melon fruit phenotype of ‘Xizhoumi No.25’ melon

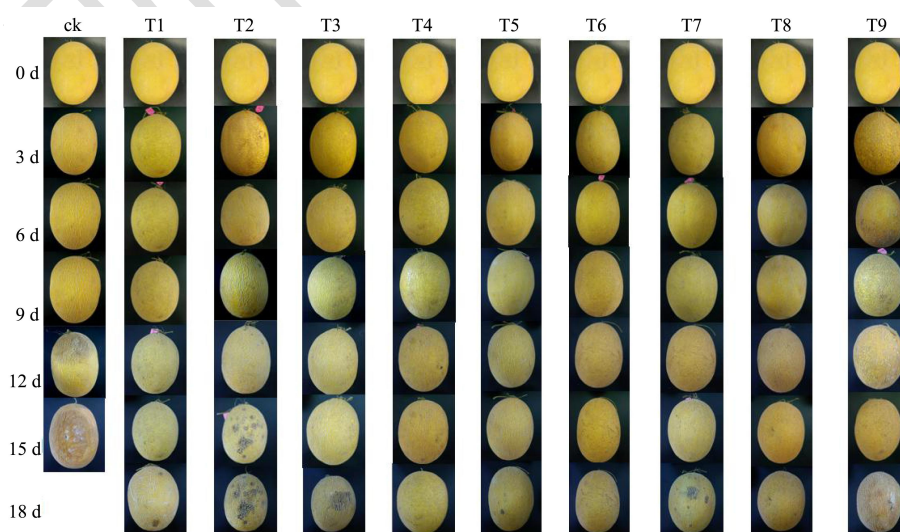


图 2 热处理对“金密 3 号”甜瓜果实表型的影响

Fig.2 Effect of heat treatment on fruit phenotype of ‘Jinmi No.3’ melon

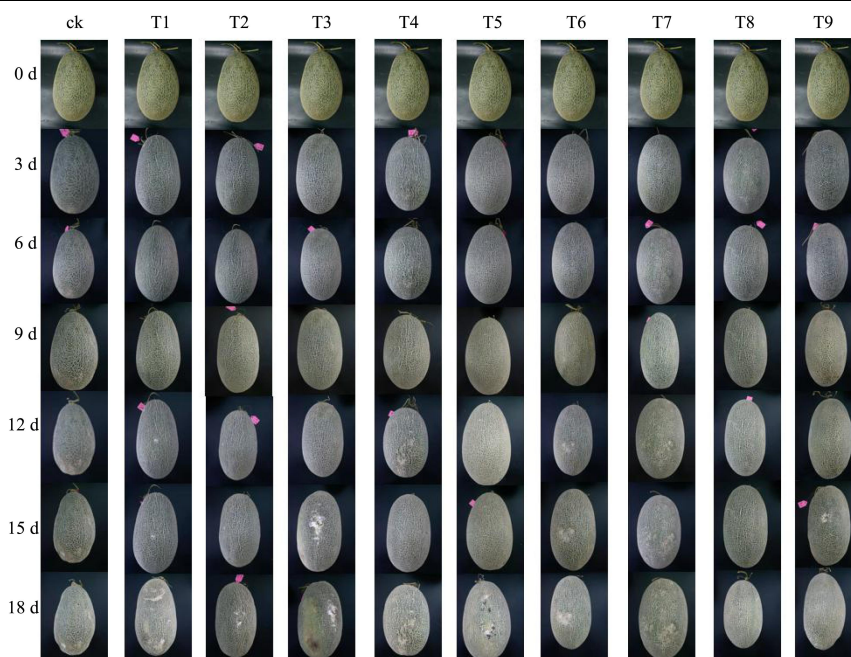


图3 热处理对“伽师瓜”甜瓜果实表型的影响

Fig.3 Effect of heat treatment on fruit phenotype of ‘Jiashi’ melon

表2 热处理对“西州密25号”甜瓜果实硬度的影响 (N)

Table 2 Effects of heat treatment on fruit hardness of ‘Xizhoumi No.25’ melon (N)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	13.95±0.16	9.56±0.17 <sup>f</sup>	8.45±0.27 <sup>e</sup>	8.26±0.26 <sup>f</sup>	7.61±0.22 <sup>e</sup>	6.91±0.21 <sup>f</sup>	5.74±0.21 <sup>f</sup>
T1	13.95±0.16	11.00±0.17 <sup>c</sup>	10.74±0.13 <sup>b</sup>	9.33±0.19 <sup>cd</sup>	7.75±0.19 <sup>de</sup>	7.15±0.18 <sup>ef</sup>	6.62±0.15 <sup>e</sup>
T2	13.95±0.16	10.76±0.15 <sup>cd</sup>	9.25±0.16 <sup>d</sup>	8.76±0.15 <sup>e</sup>	8.06±0.19 <sup>cd</sup>	7.75±0.17 <sup>cd</sup>	6.66±0.23 <sup>e</sup>
T3	13.95±0.16	10.69±0.14 <sup>d</sup>	10.96±0.18 <sup>b</sup>	9.76±0.14 <sup>b</sup>	7.88±0.25 <sup>de</sup>	6.95±0.18 <sup>f</sup>	6.48±0.25 <sup>e</sup>
T4	13.95±0.16	10.15±0.15 <sup>c</sup>	9.82±0.21 <sup>c</sup>	9.66±0.19 <sup>bc</sup>	9.17±0.17 <sup>a</sup>	8.84±0.10 <sup>a</sup>	7.36±0.18 <sup>c</sup>
T5	13.95±0.16	10.36±0.17 <sup>c</sup>	10.01±0.14 <sup>c</sup>	8.73±0.24 <sup>e</sup>	8.23±0.14 <sup>c</sup>	7.81±0.15 <sup>c</sup>	7.04±0.18 <sup>cd</sup>
T6	13.95±0.16	11.53±0.20 <sup>b</sup>	10.76±0.17 <sup>b</sup>	10.22±0.20 <sup>a</sup>	9.25±0.16 <sup>a</sup>	8.14±0.17 <sup>b</sup>	7.37±0.18 <sup>c</sup>
T7	13.95±0.16	10.19±0.20 <sup>c</sup>	10.04±0.15 <sup>c</sup>	9.49±0.27 <sup>bcd</sup>	8.78±0.13 <sup>b</sup>	8.20±0.21 <sup>b</sup>	7.75±0.18 <sup>b</sup>
T8	13.95±0.16	12.34±0.10 <sup>a</sup>	11.54±0.10 <sup>a</sup>	10.53±0.22 <sup>a</sup>	9.45±0.21 <sup>a</sup>	9.02±0.22 <sup>a</sup>	8.53±0.15 <sup>a</sup>
T9	13.95±0.16	11.36±0.20 <sup>b</sup>	10.05±0.10 <sup>c</sup>	9.26±0.18 <sup>d</sup>	8.66±0.19 <sup>b</sup>	7.44±0.19 <sup>de</sup>	6.74±0.15 <sup>de</sup>

注：不同小写字母表示同一贮藏时间两组间差异显著  $p < 0.05$ ，下同。

表3 热处理对“金密3号”甜瓜果实硬度的影响 (N)

Table 3 Effects of heat treatment on fruit hardness of ‘Jinmi No.3’ melon (N)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	12.82±0.18	10.85±0.20 <sup>c</sup>	10.12±0.22 <sup>c</sup>	8.88±0.18 <sup>d</sup>	8.44±0.21 <sup>de</sup>	7.90±0.27 <sup>ef</sup>	6.96±0.23 <sup>e</sup>
T1	12.82±0.18	11.25±0.19 <sup>b</sup>	9.75±0.22 <sup>d</sup>	9.04±0.18 <sup>d</sup>	8.29±0.18 <sup>ef</sup>	7.62±0.21 <sup>efg</sup>	7.43±0.20 <sup>cd</sup>
T2	12.82±0.18	11.42±0.22 <sup>b</sup>	9.34±0.19 <sup>ef</sup>	8.84±0.19 <sup>d</sup>	8.03±0.19 <sup>fg</sup>	7.35±0.17 <sup>g</sup>	7.33±0.18 <sup>d</sup>
T3	12.82±0.18	11.43±0.21 <sup>b</sup>	9.13±0.23 <sup>f</sup>	8.97±0.24 <sup>d</sup>	8.74±0.22 <sup>cd</sup>	8.35±0.18 <sup>d</sup>	7.45±0.19 <sup>cd</sup>
T4	12.82±0.18	11.34±0.17 <sup>b</sup>	10.45±0.17 <sup>bc</sup>	10.23±0.22 <sup>b</sup>	9.35±0.16 <sup>b</sup>	9.18±0.20 <sup>b</sup>	8.44±0.21 <sup>ab</sup>
T5	12.82±0.18	11.45±0.18 <sup>b</sup>	10.97±0.23 <sup>a</sup>	10.74±0.19 <sup>a</sup>	9.85±0.19 <sup>a</sup>	9.60±0.18 <sup>a</sup>	9.00±0.28 <sup>a</sup>
T6	12.82±0.18	11.83±0.18 <sup>b</sup>	10.53±0.17 <sup>b</sup>	10.11±0.28 <sup>b</sup>	9.25±0.22 <sup>b</sup>	8.80±0.15 <sup>c</sup>	8.53±0.20 <sup>ab</sup>
T7	12.82±0.18	11.45±0.19 <sup>b</sup>	9.74±0.18 <sup>d</sup>	9.64±0.21 <sup>c</sup>	8.66±0.18 <sup>cd</sup>	7.95±0.22 <sup>c</sup>	7.73±0.18 <sup>bc</sup>
T8	12.82±0.18	10.53±0.18 <sup>cd</sup>	9.56±0.20 <sup>de</sup>	9.15±0.22 <sup>d</sup>	8.81±0.16 <sup>c</sup>	7.55±0.19 <sup>fg</sup>	7.37±0.21 <sup>cd</sup>
T9	12.82±0.18	10.43±0.22 <sup>d</sup>	8.75±0.21 <sup>g</sup>	9.15±0.22 <sup>d</sup>	7.74±0.19 <sup>g</sup>	7.65±0.24 <sup>efg</sup>	6.61±0.22 <sup>e</sup>

表4 热处理对“伽师瓜”甜瓜果实硬度的影响(N)

Table 4 Effects of heat treatment on the fruit hardness of 'Jiashi' melon (N)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	14.50±0.22	11.25±0.25 <sup>bc</sup>	10.43±0.21 <sup>bc</sup>	8.26±0.10 <sup>c</sup>	7.62±0.20 <sup>c</sup>	7.41±0.24 <sup>c</sup>	7.05±0.17 <sup>c</sup>
T1	14.50±0.22	11.34±0.18 <sup>bc</sup>	10.20±0.19 <sup>cd</sup>	9.07±0.31 <sup>c</sup>	8.05±0.13 <sup>cd</sup>	7.89±0.09 <sup>cd</sup>	7.56±0.18 <sup>cd</sup>
T2	14.50±0.22	10.96±0.23 <sup>cd</sup>	9.98±0.25 <sup>d</sup>	8.62±0.20 <sup>de</sup>	7.72±0.12 <sup>de</sup>	7.53±0.19 <sup>e</sup>	7.50±0.17 <sup>cd</sup>
T3	14.50±0.22	11.15±0.24 <sup>bc</sup>	10.14±0.21 <sup>cd</sup>	8.96±0.23 <sup>cd</sup>	8.23±0.22 <sup>c</sup>	7.39±0.26 <sup>e</sup>	7.35±0.19 <sup>de</sup>
T4	14.50±0.22	10.61±0.21 <sup>d</sup>	9.84±0.18 <sup>d</sup>	8.56±0.17 <sup>de</sup>	7.75±0.20 <sup>de</sup>	7.67±0.20 <sup>de</sup>	7.47±0.17 <sup>cd</sup>
T5	14.50±0.22	11.05±0.25 <sup>bc</sup>	10.37±0.17 <sup>c</sup>	8.57±0.17 <sup>de</sup>	8.05±0.23 <sup>cd</sup>	7.62±0.12 <sup>de</sup>	7.50±0.19 <sup>cd</sup>
T6	14.50±0.22	11.04±0.22 <sup>bc</sup>	9.87±0.20 <sup>d</sup>	9.11±0.42 <sup>c</sup>	8.65±0.21 <sup>b</sup>	8.11±0.19 <sup>c</sup>	7.71±0.15 <sup>c</sup>
T7	14.50±0.22	11.23±0.21 <sup>bc</sup>	10.74±0.21 <sup>ab</sup>	9.86±0.17 <sup>b</sup>	8.75±0.22 <sup>b</sup>	8.65±0.23 <sup>b</sup>	8.25±0.07 <sup>b</sup>
T8	14.5±0.22	12.20±0.20 <sup>a</sup>	0.95±0.24 <sup>a</sup>	11.0±0.15 <sup>a</sup>	9.50±0.21 <sup>a</sup>	9.07±0.19 <sup>a</sup>	8.94±0.24 <sup>a</sup>
T9	14.5±0.22	11.40±0.19 <sup>b</sup>	10.30±0.17 <sup>c</sup>	9.82±0.19 <sup>b</sup>	8.90±0.22 <sup>b</sup>	8.80±0.81 <sup>ab</sup>	8.76±0.23 <sup>a</sup>

甜瓜果实表皮层结构与耐热性密切相关,“金密3号”对照组在第12天出现大面积腐烂,且各热处理组之间差异显著。处理温度为58℃时能较好的保持甜瓜的表观特征和采后品质。甜瓜在62℃(T7~T9)时因超过其耐热阈值,热处理后第3天时表皮出现褐色斑点,且漂烫时间与斑点数成正比(如图2)。这可能是由于“金密3号”甜瓜果实结构层比较薄,热损伤致使蛋白质变性和膜完整性丧失,温度升高过程中会导致蛋白质合成中断且酶会催化酚类物质氧化为醌类物质进而聚合产生黑褐色斑点,从而导致果实褐变<sup>[9]</sup>,严重影响甜瓜的商品价值和食用价值。

“伽师瓜”CK组在12d时开始出现腐烂,随贮藏时间的增长不断向其他部位扩展。54℃(T1~T3)和56℃(T4~T6)处理组在贮藏至18d时已出现腐烂现象,而T8处理组在整个贮藏期间未出现腐烂现象,说明“伽师瓜”的最适处理温度为62℃,且热处理浸泡时间为15s。

由表型特征观察可知,“金密3号”甜瓜对照组最先出现腐烂,“伽师瓜”次之,“西州密25号”于24d出现腐烂。与其它两个品种相比,“西州密25号”更耐贮藏。热处理能直接清除果实表面或杀死表皮下两到三层细胞层内的病原体,也可以通过间接诱导果蔬抗病相关物质和热激蛋白的合成,从而提高果实抗病能力<sup>[10]</sup>,延缓热处理组甜瓜果实发病时间(图1~图3)。而“西州密25号”T8组、“金密3号”T5组、“伽师瓜”T8组在整个贮藏期无腐烂变质现象,这说明果实腐烂发病与热处理温度效应密切相关,采用合适的热处理方式能有效的延缓甜瓜的腐烂,较好的保持果实的品质,延长其货架期。

## 2.2 热处理对甜瓜果实硬度的影响

热处理对果实硬度的影响与果皮中所含的果胶含

量及细胞壁水解酶活性密切相关<sup>[12]</sup>。热处理在不同程度上延缓了甜瓜果实硬度下降速度,贮藏至18d时,与对照组相比果实的硬度下降率分别降低了20.01%、10.45%、8.28%,表明适宜的热处理温度与时间可以钝化果实细胞壁水解酶活性,抑制细胞壁物质的降解,同时可产生热激蛋白,提高果蔬的耐热性,维持细胞壁结构的完整性达到延缓果实质地的软化<sup>[13]</sup>,从而维持了甜瓜的硬度。然而,在热处理过程中,温度过高或处理时间过长均会对果蔬造成过激的热损伤,如变色、皱缩失水、产生异味等<sup>[14,15]</sup>。本试验发现当热处理温度为62℃时,“金密3号”甜瓜表皮出现热损伤,降低了表皮自身的防御能力,易受到病原菌的侵染,促进果实的腐烂。这与Maxin等<sup>[16]</sup>在苹果热处理方面的研究结果一致,而“西州密25号”与“伽师瓜”则未出现热损伤现象,可见“金密3号”的耐热性低于“伽师瓜”和“西州密25号”的耐热性。

果实的硬度与其商品性密切相关。由图4可知,在整个贮藏期甜瓜果实硬度总体呈下降的趋势,且处理组的硬度明显高于对照组。与范林林等<sup>[17]</sup>热激处理青椒保鲜的研究结果一致。在图5a中,“西州密25号”对照组的硬度在整个贮藏期间与各热处理组硬度差异性显著( $p < 0.05$ ),而同温度处理组内差异性不显著( $p > 0.05$ ),贮藏至18d时,62℃(T7~T9)处理组的硬度分别高于对照组35.04%、48.62%、31.93%。与54℃(T1~T3)和58℃(T4~T6)果实硬度相比较,62℃(T7~T9)能较好的保持甜瓜的硬度。

T5处理组能较好的维持“金密3号”果实硬度。当温度超过58℃,热激反应严重破坏了质膜的结构和功能,“金密3号”甜瓜表皮中不仅出现褐色斑点,而且在贮藏第9d时,各处理组(T7~T9)的硬度下降速率均高于CK组。贮藏至18d时,与对照组相比T9处理组硬度下降了5.17%。不同种类果实都有一定的热

耐受阈值，当热处理条件超过其阈值时，细胞质膜会遭到破坏，不可逆热损伤现象的出现促进甜瓜腐烂加速导致果实质地的软化<sup>[18,19]</sup>。因此，“金密3号”甜瓜果实的热耐受阈值为58℃，温度超过58℃时果实腐烂加剧，严重影响其贮藏品质。

师瓜”果实的硬度均高于54℃（T1~T3）和56℃（T4~T6）处理组（ $p < 0.05$ ）（图4c），且各温度组之间的硬度差异性不显著（ $p > 0.05$ ）。贮藏至18d时，T8处理组分别比CK、T7、T9处理组的硬度提高13.40%、17.03%和19.02%。热处理在一定程度上能延缓果实硬度的下降，且T8处理组效果较好。

在整个贮藏过程中，62℃（T7~T9）处理组“伽

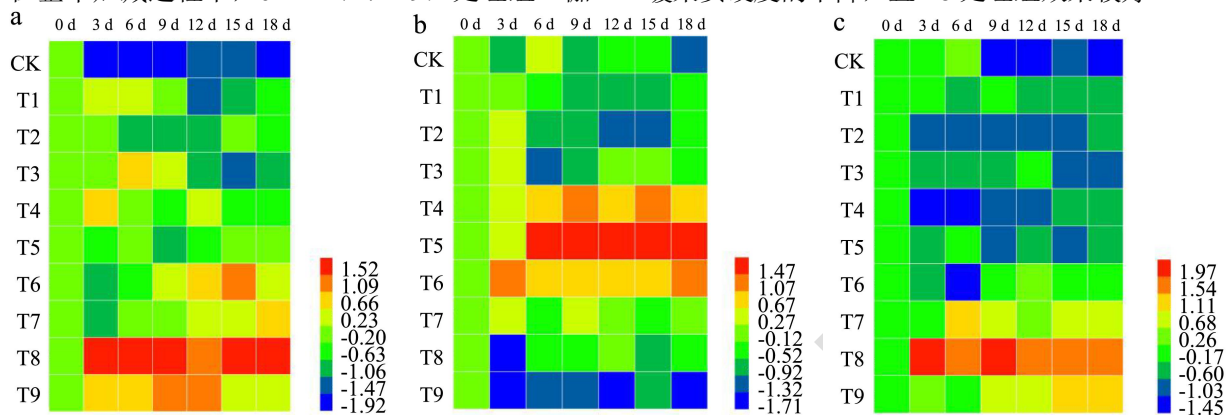


图4 热处理对甜瓜果实硬度的影响

Fig.4 Effects of heat treatment on fruit hardness of melon

注：a为西州密25号；b为金密3号；c为伽师瓜；数据进行标准化，红色和蓝色的方框分别表示高含量水平和低含量水平。下同。

表5 热处理对“西州密25号”甜瓜果实TSS的影响（%）

Table 5 Effects of heat treatment on TSS of ‘Xizhoumi No.25’ melon (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	12.36±0.02	13.48±0.08 <sup>dc</sup>	14.56±0.04 <sup>cd</sup>	15.73±0.01 <sup>bc</sup>	16.43±0.05 <sup>a</sup>	13.02±0.07 <sup>e</sup>	11.13±0.14 <sup>e</sup>
T1	12.36±0.02	13.08±0.13 <sup>e</sup>	13.97±0.08 <sup>e</sup>	15.27±0.02 <sup>dc</sup>	14.97±0.05 <sup>c</sup>	12.55±0.04 <sup>f</sup>	11.46±0.02 <sup>e</sup>
T2	12.36±0.02	13.99±0.07 <sup>b</sup>	15.34±0.11 <sup>a</sup>	13.64±0.05 <sup>g</sup>	13.45±0.03 <sup>e</sup>	11.65±0.03 <sup>g</sup>	12.04±0.16 <sup>d</sup>
T3	12.36±0.02	13.98±0.02 <sup>b</sup>	14.89±0.11 <sup>bc</sup>	15.97±0.06 <sup>ab</sup>	13.36±0.02 <sup>e</sup>	12.63±0.02 <sup>f</sup>	12.00±0.01 <sup>e</sup>
T4	12.36±0.02	13.54±0.02 <sup>cd</sup>	14.32±0.02 <sup>de</sup>	16.10±0.11 <sup>a</sup>	14.03±0.06 <sup>d</sup>	13.42±0.11 <sup>e</sup>	12.53±0.02 <sup>c</sup>
T5	12.36±0.02	14.63±0.02 <sup>a</sup>	14.99±0.11 <sup>b</sup>	15.36±0.09 <sup>cd</sup>	16.02±0.07 <sup>b</sup>	13.45±0.03 <sup>d</sup>	12.56±0.02 <sup>c</sup>
T6	12.36±0.02	13.98±0.03 <sup>b</sup>	14.24±0.03 <sup>de</sup>	15.10±0.07 <sup>def</sup>	16.36±0.03 <sup>b</sup>	14.73±0.04 <sup>c</sup>	13.27±0.02 <sup>b</sup>
T7	12.36±0.02	13.48±0.10 <sup>cd</sup>	14.01±0.10 <sup>e</sup>	14.90±0.10 <sup>f</sup>	15.22±0.01 <sup>c</sup>	16.10±0.11 <sup>b</sup>	13.54±0.03 <sup>b</sup>
T8	12.36±0.02	13.87±0.10 <sup>bc</sup>	14.72±0.01 <sup>bc</sup>	14.97±0.08 <sup>ef</sup>	15.21±0.04 <sup>c</sup>	16.91±0.09 <sup>a</sup>	14.64±0.05 <sup>a</sup>
T9	12.36±0.02	12.44±0.03 <sup>f</sup>	13.98±0.09 <sup>e</sup>	15.36±0.01 <sup>d</sup>	13.34±0.04 <sup>e</sup>	13.65±0.04 <sup>d</sup>	12.16±0.02 <sup>d</sup>

表6 热处理对“金密3号”甜瓜果实TSS的影响（%）

Table 6 Effects of heat treatment on the TSS of the ‘Jinmi No.3’ melon (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	12.00±0.09	12.10±0.18 <sup>de</sup>	13.06±0.12 <sup>bc</sup>	11.13±0.03 <sup>bc</sup>	10.04±0.09 <sup>c</sup>	9.75±0.02 <sup>bc</sup>	9.43±0.02 <sup>c</sup>
T1	12.00±0.09	12.00±0.07 <sup>cde</sup>	14.52±0.02 <sup>abc</sup>	11.35±0.02 <sup>ab</sup>	10.44±0.02 <sup>bc</sup>	10.34±0.03 <sup>bc</sup>	9.34±0.02 <sup>b</sup>
T2	12.00±0.09	12.63±0.02 <sup>bcd</sup>	13.44±0.02 <sup>ab</sup>	13.01±0.07 <sup>b</sup>	12.73±0.02 <sup>ab</sup>	10.56±0.02 <sup>a</sup>	10.01±0.02 <sup>a</sup>
T3	12.00±0.09	12.85±0.06 <sup>a</sup>	14.37±0.03 <sup>bc</sup>	11.96±0.07 <sup>d</sup>	10.84±0.03 <sup>a</sup>	10.68±0.01 <sup>a</sup>	9.98±0.02 <sup>a</sup>
T4	12.00±0.09	12.02±0.06 <sup>cde</sup>	12.52±0.01 <sup>bc</sup>	13.99±0.10 <sup>b</sup>	11.98±0.04 <sup>c</sup>	11.75±0.03 <sup>b</sup>	10.55±0.04 <sup>ab</sup>
T5	12.00±0.09	12.09±0.09 <sup>e</sup>	12.35±0.04 <sup>c</sup>	14.00±0.05 <sup>a</sup>	12.00±0.08 <sup>b</sup>	11.09±0.11 <sup>a</sup>	10.02±0.03 <sup>a</sup>
T6	12.00±0.09	12.37±0.03 <sup>bc</sup>	12.98±0.04 <sup>bc</sup>	11.28±0.09 <sup>bc</sup>	10.99±0.07 <sup>cd</sup>	10.34±0.04 <sup>d</sup>	9.89±0.09 <sup>c</sup>
T7	12.00±0.09	12.00±0.07 <sup>abcd</sup>	12.34±0.04 <sup>bc</sup>	14.64±0.02 <sup>c</sup>	10.26±0.02 <sup>g</sup>	10.30±0.02 <sup>d</sup>	9.64±0.03 <sup>d</sup>
T8	12.00±0.09	12.63±0.01 <sup>bcd</sup>	12.36±0.02 <sup>d</sup>	11.55±0.03 <sup>d</sup>	11.05±0.10 <sup>c</sup>	9.97±0.07 <sup>cd</sup>	8.36±0.02 <sup>d</sup>
T9	12.00±0.09	14.03±0.07 <sup>ab</sup>	10.83±0.05 <sup>a</sup>	10.74±0.02 <sup>ad</sup>	10.76±0.03 <sup>c</sup>	10.01±0.1 <sup>d</sup>	8.06±0.13 <sup>c</sup>

### 2.3 热处理对甜瓜果实中 TSS 含量的影响

可溶性固形物含量是决定果蔬风味的重要指标之一，当受到外界高温作用时，果蔬的营养成分和风味物质随着处理条件不同呈现出显著性差异<sup>[20]</sup>。果实中 TSS 含量在贮藏期呈现先上升后下降的趋势（如图 5）。这可能是在贮藏初期，甜瓜中可溶性淀粉转化成可溶性糖而增加了 TSS 的含量，贮藏后期，呼吸作用及自身的生命活动对糖物质的消耗，导致了可溶性糖含量降低<sup>[21]</sup>。贮藏前期 3 种甜瓜的 TSS 含量基本相同，在贮藏后期热处理方式能有效的延缓“金密 3 号”和“伽师瓜”果实中 TSS 下降，可能是在贮期对照组呼吸强度增大，导致甜瓜的生命活动加强，加速了糖类物质的消耗<sup>[22]</sup>。而热处理方式对延缓“西州密 25 号”的 TSS 含量影响不大，热处理对果实的影响因果实种类的不同而有所差别。

由图 5a 可知，“西州密 25 号”各处理组之间果实中 TSS 含量无显著差异 ( $p>0.05$ )，但 T8 处理组在贮藏至 15 d 时可 TSS 含量最高，比对照组高 1.25 倍。热

处理对“西州密 25 号”果实风味的影响总体不大，但能较好的保持果实原有的口感和品质。Juan 等<sup>[23]</sup>采用不同热处理条件对柑橘、橙子及芒果的研究结果也表明了热处理对 TSS 含量的影响差异性不显著，这与本研究结果相一致。由图 5b 可知，“金密 3 号” T3、T5 处理组在贮藏 12 d 后与其它热处理组差异显著 ( $p<0.05$ )，CK 组在贮藏第 6 天时 TSS 含量达到最大值 (13.06%)，而热处理组第 9 天达到高峰，说明热处理可以延缓“金密 3 号”甜瓜果实 TSS 含量高峰的出现，较好的维持甜瓜的风味。

“伽师瓜”CK 组与各处理组差异性显著 ( $p<0.05$ )，且各处理温度之间无显著差异。T8 处理组在第 9 天时达到最大值，TSS 含量是对照组的 1.10 倍。贮藏结束时，CK 组 TSS 含量最低，可能是果实在贮藏后期衰老、腐烂，减少了代谢物的合成与利用，导致 TSS 含量降低，62 °C (T7~T9) 分别比 CK 组高 12.60%、13.80%、11.80%，T8 组的 TSS 含量最高，这可能是由于淀粉和其他多糖不断转化为小的可溶性碳水化合物或一些不溶性果胶转化为可溶性果胶的原因<sup>[24]</sup>。

表 7 热处理对“伽师瓜”甜瓜果实 TSS 的影响 (%)

Table 7 Effects of heat treatment on TSS of ‘Jiashi’ melon (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	11.54±0.03	12.03±0.07 <sup>c</sup>	12.85±0.03 <sup>b</sup>	12.33±0.04 <sup>f</sup>	10.66±0.03 <sup>d</sup>	9.36±0.03 <sup>f</sup>	9.27±0.02 <sup>f</sup>
T1	11.54±0.03	12.23±0.02 <sup>de</sup>	13.34±0.04 <sup>a</sup>	13.99±0.05 <sup>a</sup>	12.09±0.12 <sup>b</sup>	11.06±0.12 <sup>cd</sup>	9.66±0.02 <sup>e</sup>
T2	11.54±0.03	12.53±0.03 <sup>cd</sup>	13.03±0.02 <sup>a</sup>	13.56±0.03 <sup>b</sup>	12.02±0.03 <sup>b</sup>	10.21±0.02 <sup>ab</sup>	9.65±0.03 <sup>e</sup>
T3	11.54±0.03	11.89±0.09 <sup>bcd</sup>	12.64±0.01 <sup>d</sup>	13.08±0.08 <sup>cd</sup>	12.10±0.10 <sup>b</sup>	11.02±0.06 <sup>d</sup>	10.02±0.04 <sup>e</sup>
T4	11.54±0.03	12.08±0.11 <sup>ab</sup>	12.62±0.02 <sup>d</sup>	13.56±0.03 <sup>b</sup>	11.74±0.02 <sup>c</sup>	11.44±0.05 <sup>c</sup>	10.92±0.07 <sup>cd</sup>
T5	11.54±0.03	12.33±0.04 <sup>abc</sup>	12.57±0.02 <sup>e</sup>	13.16±0.12 <sup>c</sup>	11.91±0.11 <sup>b</sup>	11.42±0.01 <sup>bc</sup>	10.41±0.02 <sup>de</sup>
T6	11.54±0.03	11.63±0.02 <sup>ab</sup>	12.27±0.02 <sup>g</sup>	12.90±0.11 <sup>e</sup>	11.09±0.06 <sup>b</sup>	10.36±0.02 <sup>cd</sup>	9.55±0.03 <sup>c</sup>
T7	11.54±0.03	12.09±0.14 <sup>a</sup>	12.45±0.03 <sup>f</sup>	13.09±0.10 <sup>cd</sup>	11.95±0.06 <sup>a</sup>	10.24±0.01 <sup>a</sup>	9.64±0.01 <sup>b</sup>
T8	11.54±0.03	11.96±0.07 <sup>a</sup>	12.24±0.03 <sup>g</sup>	13.53±0.01 <sup>b</sup>	12.55±0.03 <sup>a</sup>	11.27±0.09 <sup>a</sup>	10.08±0.13 <sup>a</sup>
T9	11.54±0.03	12.35±0.02 <sup>ab</sup>	12.72±0.02 <sup>c</sup>	12.99±0.10 <sup>de</sup>	12.49±0.09 <sup>a</sup>	10.30±0.09 <sup>a</sup>	9.81±0.17 <sup>d</sup>

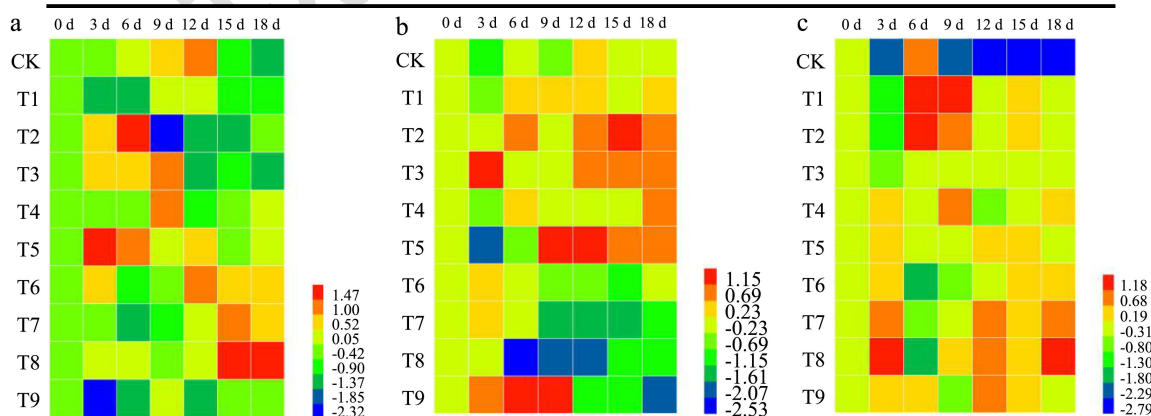


图 5 热处理甜瓜 TSS 含量的影响

Fig.5 Effects of different heat treatments on TSS of different varieties of Hami melon

## 2.4 热处理对甜瓜果实电导率的影响

细胞膜透性在一定程度上反映了细胞受伤害和果实的衰老程度<sup>[25]</sup>。随着贮藏时间的延长,各处理组果实的细胞膜透性呈逐渐上升的趋势(图6),果实在采摘后期的成熟进程中,分子量较大的物质逐步分解成分子量较小的物质,使得分子间的空隙加大,使完好的细胞壁受到损伤<sup>[26]</sup>。不同温度条件可诱导与激素合成、转录因子等相关的基因表达从而提高果蔬对环境的耐受性<sup>[27]</sup>,热处理技术可快速去除甜瓜表面污染源并在贮藏过程前期保持相对较低的湿度,诱导了甜瓜的抗性,从而减少细胞膜氧化损伤,延缓果实细胞膜透性的升高。“金密3号”甜瓜在整个贮藏期间的细胞膜透性上升率显著大于“西州密25号”和“伽师瓜”的细胞膜透性上升率,这可能与果实自身细胞内结构有关。

热处理对“西州密25号”甜瓜电导率的影响如图6a所示,热处理能有效的维持细胞膜的完整性,T8处理组效果最好。在0~18 d,处理组与对照组差异性显著

( $p < 0.05$ ),对照组果实电导率含量从32.84%增加到73.78%,而T8处理组仅增加到61.24%。贮藏结束时,电导率T8组比CK组低16.99%。热处理能有效的保护果实细胞的膜成分,维持果实细胞膜结构的完整性。

“金密3号”甜瓜在整个贮藏期间,电导率不断上升,T7-T9组在贮藏中后期(9 d)上升最快且与CK组无显著差异( $p > 0.05$ ),这可能是高温产生强烈的热应激反应使得果实的生理代谢受到严重干扰。在贮藏过程中质膜被认为是损伤的主要部位,严重的热激反应破坏了质膜的结构和功能,导致质膜内电解质渗漏从而加速了果实的衰老和腐烂<sup>[28,29]</sup>。贮藏至18 d时T5组电导率含量比T1、T2、T3、T4、T6组的含量低。

由图6c可知,“伽师瓜”CK组电导率与T1组不显著( $p > 0.05$ ),与其它处理组差异显著( $p < 0.05$ ),T8处理在延缓电导率上升的效果要优于其它处理组。ROS的积累是导致膜完整性丧失的机制之一,抗氧化酶可以降低膜完整性的丧失<sup>[30]</sup>。而适宜的热处理温度和时间能有效的控制果实的氧化应激,维持氧化和抗氧化之间的平衡<sup>[31]</sup>。

表8 热处理对“西州密25号”甜瓜果实电导率的影响(%)

Table 8 Effects of heat treatment on the fruit conductivity of 'Xizhoumi No.25' melon (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	32.84±0.09	53.82±0.10 <sup>a</sup>	56.74±0.14 <sup>a</sup>	59.45±0.16 <sup>a</sup>	66.47±0.20 <sup>a</sup>	69.93±0.21 <sup>a</sup>	73.78±0.58 <sup>a</sup>
T1	32.84±0.09	40.73±0.21 <sup>e</sup>	49.65±0.19 <sup>e</sup>	50.74±0.20 <sup>e</sup>	56.74±0.23 <sup>e</sup>	58.92±0.20 <sup>fb</sup>	68.14±0.19 <sup>c</sup>
T2	32.84±0.09	42.86±0.23 <sup>b</sup>	53.54±0.19 <sup>b</sup>	56.73±0.20 <sup>b</sup>	59.52±0.20 <sup>c</sup>	63.53±0.27 <sup>c</sup>	68.24±0.20 <sup>c</sup>
T3	32.84±0.09	53.46±0.23 <sup>a</sup>	56.74±0.22 <sup>a</sup>	59.24±0.22 <sup>a</sup>	62.35±0.17 <sup>b</sup>	66.22±0.19 <sup>b</sup>	70.23±0.23 <sup>b</sup>
T4	32.84±0.09	42.30±0.16 <sup>cd</sup>	49.34±0.22 <sup>e</sup>	55.90±0.15 <sup>c</sup>	56.74±0.21 <sup>e</sup>	59.75±0.21 <sup>e</sup>	62.67±0.23 <sup>c</sup>
T5	32.84±0.09	41.93±0.25 <sup>d</sup>	48.37±0.14 <sup>d</sup>	52.33±0.23 <sup>d</sup>	54.23±0.23 <sup>f</sup>	56.74±0.19 <sup>b</sup>	64.05±0.17 <sup>d</sup>
T6	32.84±0.09	42.58±0.12 <sup>bc</sup>	49.64±1.21 <sup>e</sup>	50.76±0.19 <sup>e</sup>	56.77±0.19 <sup>e</sup>	61.76±0.21 <sup>d</sup>	63.92±0.21 <sup>d</sup>
T7	32.84±0.09	42.45±0.20 <sup>bc</sup>	53.32±0.79 <sup>b</sup>	56.02±0.21 <sup>c</sup>	57.75±0.20 <sup>d</sup>	59.67±1.27 <sup>ef</sup>	62.25±0.18 <sup>c</sup>
T8	32.84±0.09	36.46±0.21 <sup>f</sup>	41.15±0.21 <sup>e</sup>	44.43±0.20 <sup>f</sup>	54.36±0.16 <sup>f</sup>	56.77±0.22 <sup>h</sup>	61.24±0.20 <sup>f</sup>
T9	32.84±0.09	40.81±0.13 <sup>e</sup>	49.97±0.29 <sup>e</sup>	51.03±0.19 <sup>e</sup>	53.82±0.20 <sup>f</sup>	58.75±0.18 <sup>g</sup>	64.06±0.20 <sup>d</sup>

注:不同小写字母表示同一贮藏时间两组间差异显著 $p < 0.05$ 。下同。

表9 热处理对“金密3号”甜瓜果实电导率的影响(%)

Table 9 Effects of heat treatment on the fruit conductivity of 'Jinmi 3' melon (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	34.84±1.11	40.50±0.59 <sup>ab</sup>	45.29±0.79 <sup>a</sup>	52.82±1.60 <sup>b</sup>	64.33±0.60 <sup>a</sup>	72.39±0.91 <sup>b</sup>	83.66±0.58 <sup>b</sup>
T1	34.84±1.11	40.34±0.96 <sup>ab</sup>	44.53±0.65 <sup>ab</sup>	49.47±0.64 <sup>c</sup>	60.32±0.78 <sup>bc</sup>	68.12±0.52 <sup>c</sup>	78.41±0.40 <sup>c</sup>
T2	34.84±1.11	40.28±1.62 <sup>ab</sup>	43.57±1.62 <sup>b</sup>	49.14±0.94 <sup>c</sup>	58.88±2.46 <sup>cd</sup>	67.91±0.42 <sup>c</sup>	82.30±1.73 <sup>b</sup>
T3	34.84±1.11	40.25±0.73 <sup>ab</sup>	43.19±0.65 <sup>ac</sup>	48.93±0.94 <sup>cd</sup>	58.62±0.59 <sup>d</sup>	67.96±1.32 <sup>c</sup>	74.08±1.83 <sup>d</sup>
T4	34.84±1.11	40.01±0.69 <sup>ab</sup>	42.78±0.95 <sup>de</sup>	47.25±0.70 <sup>de</sup>	56.75±1.73 <sup>e</sup>	66.79±0.60 <sup>c</sup>	68.75±1.22 <sup>e</sup>
T5	34.84±1.11	38.39±0.14 <sup>c</sup>	41.34±0.74 <sup>ce</sup>	44.94±0.80 <sup>f</sup>	54.92±1.23 <sup>f</sup>	64.99±0.11 <sup>d</sup>	65.94±1.95 <sup>f</sup>
T6	34.84±1.11	39.14±1.04 <sup>bc</sup>	41.62±0.59 <sup>de</sup>	46.08±0.71 <sup>ef</sup>	55.18±0.59 <sup>f</sup>	67.46±0.69 <sup>c</sup>	74.17±1.05 <sup>d</sup>
T7	34.84±1.11	41.47±1.27 <sup>a</sup>	43.93±0.68 <sup>ab</sup>	57.03±1.56 <sup>a</sup>	61.04±0.66 <sup>b</sup>	72.37±0.96 <sup>b</sup>	78.54±1.15 <sup>c</sup>
T8	34.84±1.11	40.96±1.12 <sup>a</sup>	43.93±0.85 <sup>bc</sup>	56.07±0.67 <sup>a</sup>	63.83±0.42 <sup>a</sup>	74.64±1.63 <sup>a</sup>	81.65±1.38 <sup>b</sup>
T9	0.35±0.34	40.95±1.03 <sup>a</sup>	44.59±0.91 <sup>ab</sup>	57.30±0.63 <sup>a</sup>	61.32±1.14 <sup>b</sup>	75.04±1.09 <sup>a</sup>	86.55±1.88 <sup>a</sup>



表 10 热处理对“伽师瓜”甜瓜果实电导率的影响 (%)

Table 10 Effects of heat treatment on the fruit conductivity of ‘Jiashimelon’ (%)

	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
CK	49.09±1.29	57.50±0.77 <sup>a</sup>	61.49±0.28 <sup>a</sup>	71.26±1.81 <sup>a</sup>	76.82±0.85 <sup>a</sup>	81.74±1.95 <sup>a</sup>	85.11±0.80 <sup>a</sup>
T1	49.09±1.29	56.62±1.43 <sup>a</sup>	60.63±1.28 <sup>a</sup>	68.30±1.35 <sup>b</sup>	74.58±2.07 <sup>b</sup>	80.15±1.50 <sup>a</sup>	84.36±1.12 <sup>a</sup>
T2	49.09±1.29	53.18±0.38 <sup>b</sup>	55.74±2.83 <sup>d</sup>	61.58±0.48 <sup>cde</sup>	63.99±0.50 <sup>d</sup>	76.37±1.99 <sup>b</sup>	80.67±1.53 <sup>b</sup>
T3	49.09±1.29	56.89±0.79 <sup>a</sup>	60.39±0.15 <sup>a</sup>	63.38±0.51 <sup>c</sup>	68.23±0.95 <sup>c</sup>	72.93±1.68 <sup>c</sup>	79.92±1.53 <sup>b</sup>
T4	49.09±1.29	52.30±1.06 <sup>b</sup>	56.71±1.32 <sup>cd</sup>	59.40±1.67 <sup>c</sup>	64.06±1.76 <sup>d</sup>	70.22±1.22 <sup>d</sup>	79.34±0.11 <sup>b</sup>
T5	49.09±1.29	56.11±0.87 <sup>a</sup>	58.44±0.25 <sup>b</sup>	62.11±1.68 <sup>cd</sup>	69.19±1.64 <sup>c</sup>	73.37±0.48 <sup>c</sup>	79.38±0.54 <sup>b</sup>
T6	49.09±1.29	52.14±1.29 <sup>b</sup>	57.88±1.64 <sup>bc</sup>	63.40±1.48 <sup>c</sup>	67.70±0.96 <sup>c</sup>	70.09±0.77 <sup>d</sup>	76.5±1.42 <sup>c</sup>
T7	49.09±1.29	55.89±2.21 <sup>a</sup>	57.63±0.45 <sup>bc</sup>	61.67±1.21 <sup>cde</sup>	64.28±0.52 <sup>d</sup>	74.48±0.45 <sup>bc</sup>	79.04±1.12 <sup>b</sup>
T8	49.09±1.29	51.70±1.18 <sup>b</sup>	55.45±0.35 <sup>d</sup>	60.69±1.65 <sup>de</sup>	64.85±1.30 <sup>d</sup>	67.69±1.12 <sup>c</sup>	74.18±1.00 <sup>d</sup>
T9	49.09±1.29	52.80±1.12 <sup>b</sup>	57.91±1.17 <sup>bc</sup>	62.76±0.29 <sup>cd</sup>	67.38±1.28 <sup>c</sup>	73.13±0.86 <sup>c</sup>	75.69±0.24 <sup>cd</sup>

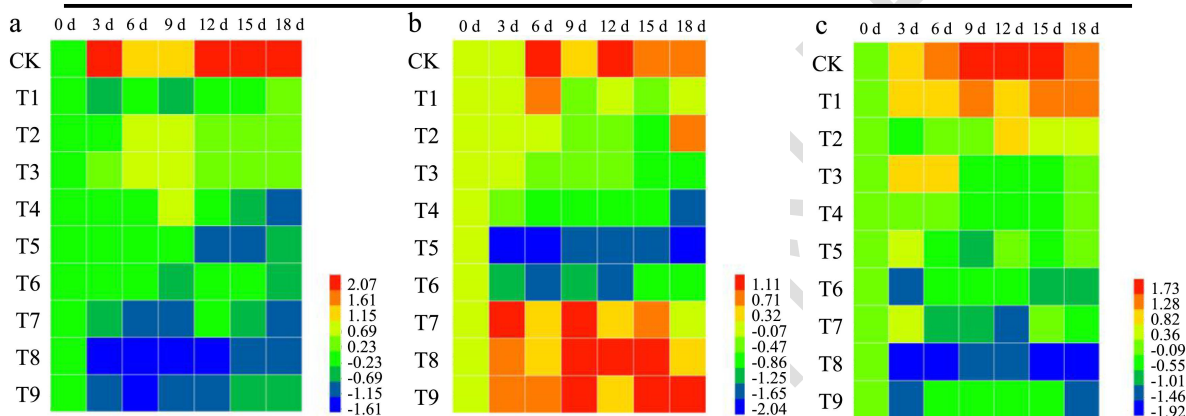


图 6 热处理对甜瓜果实电导率的影响

Fig.6 Effects of different heat treatments on electrical conductivity of different varieties of Hami melon

### 3 结论

不同品种甜瓜果实采后热处理工艺条件有所差异，“西州密 25 号”与“伽师瓜”适宜的热处理条件为 62 ℃、15 s，“金密 3 号”适宜的热处理条件为 58 ℃、15 s，即“金密 3 号”甜瓜果实耐热性小于其它品种果实的耐热性，58 ℃为“金密 3 号”哈密瓜果实的耐受热阈值。通过比较分析热处理温度和时间对不同品种甜瓜果实贮期品质的变化，适宜的热处理条件能延缓甜瓜果实硬度和可溶性固形物的下降，减缓细胞膜结构的损伤。为热处理技术在甜瓜采后商业化应用的研究提供理论支持和技术指导。

#### 参考文献

[1] 王小平,何纲,许建.采前杀菌剂处理对哈密瓜贮藏品质及生理指标的影响[J].农学报,2020,10(9):43-47

[2] Zhang Y, Jin P, Huang Y, et al. Effect of hot water combined with glycine betaine alleviates chilling injury in cold-stored loquat fruit [J]. Postharvest Biology Technology, 2016, 118(45): 141-147

[3] 赵云峰,林河通,林艺芬,等.热处理延缓采后龙眼果实果皮褐变及其与酚类物质代谢的关系[J].现代食品科技,2014,30(5): 218-224

[4] Usall J, Torres R, Teixidó N. Biological control of postharvest diseases on fruit: a suitable alternative [J]. Current Opinion in Food Science, 2016, 11: 51-55

[5] 袁莉,毕阳,葛永红,等.采后热处理对厚皮甜瓜贮藏品质的影响[J].食品科学,2010,31(20):421-424

[6] 王静,茅林春,李学文,等.热处理降低哈密瓜果实活性氧代谢减轻冷害[J].农业工程学报,2016,278(2):280-286

[7] 张辉,耿守东,李瑾瑜.热处理对采后甜瓜多酚氧化酶和果胶酶活性的影响[J].新疆农业科学,2008,45(6):1095-1101

[8] 许耀辉,王曼,孟玉昆,等.BioSuec 膜对库尔勒香梨货架期果实品质的影响[J].包装工程,2021,42(7):35-44

[9] 白鸽,王甄妮,朱丹实,等.采后果实的果皮褐变机理及防褐变研究进展[J].包装工程,2021,42(5):80-87

[10] Fallik E, Alkalai-Tuvia S, Chalupowicz D. Hot water rinsing and brushing of fresh produce as an alternative to chemical treatment after harvest-the story behind the technology [J]. Agronomy, 2021, 11(8): 1-9

- [11] 王斌. 采前 NO 处理在诱导厚皮甜瓜果实采后抗病性和愈伤中的作用[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018
- [12] Lin Y, Lin Y, Lin H, et al. Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in yunnaiplum fruit during storage [J]. *Food Chemistry*, 2018, 264(30): 1-8
- [13] 朱芹. 外源褪黑素和热处理对冷藏水蜜桃冷害发生的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2020
- [14] 袁明芬, 刘程惠, 胡文忠, 等. 热处理对抑制鲜切香蕉褐变的效果的研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(7): 332-335
- [15] 胡坤, 邢锐伟, 黎景恒, 等. 热处理对红肉火龙果色素稳定性及其清除羟基自由基能力的影响[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(8): 945-948
- [16] Maxin P, Weber R, Pedersen H, et al. Control of a wide range of storage rots in naturally infected apples by hot-water dipping and rinsing [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 70: 25-31
- [17] 范林林, 毛宇豪, 夏春丽, 等. 热激处理对青椒的保鲜效果研究[J]. *安徽农业科学*, 2016, 24(19): 76-79
- [18] Zhang L, Li S, Wang A, et al. Mild heat treatment inhibits the browning of fresh-cut *Agaricus bisporus* during cold storage [J]. *LWT - Food Science Technology*, 2017, 82(2): 104-112
- [19] 程玉娇, 李云云, 张敏. 热处理对‘塔罗科’血橙物流变温环境下的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 254-260
- [20] 邹永洲, 张陆阳, 牛文静, 等. 不同草莓品种果实品质的比较研究[J]. *落叶果树*, 2021, 53(5): 21-24
- [21] 支欢欢, 董宇, 张丽华, 等. CaCl<sub>2</sub> 对采后不同成熟度冬枣抗氧化及细胞壁代谢的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(4): 75-80
- [22] Kahramanoğlu I, Chen C, Chen Y, et al. Improving storability of ‘Nanfeng’ mandarins by treating with postharvest hot water dipping [J]. *Journal of Food Quality*, 2020, 85(62): 1-12
- [23] García J F, Olmo M, García J M. Decay incidence and quality of different citrus varieties after postharvest heat treatment at laboratory and industrial scale [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118(8): 96-102
- [24] Yang L, Wang X, He S, et al. Heat shock treatment maintains the quality attributes of postharvest jujube fruits and delays their senescence process during cold storage [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2021, 45(10): 1-16
- [25] Chen M, Jiang Q, Yin X, et al. Effect of hot air treatment on organic acid and sugar metabolism in ponkan (*Citrus reticulata*) fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 147(23): 118-125
- [26] Busatto N, Farneti B, Comisso M, et al. Apple fruit superficial scald resistance mediated by ethylene inhibition is associated with diverse metabolic processes [J]. *The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology*, 2018, 93(2): 270-285
- [27] 温昕晔. 一氧化氮对小白杏冷藏特性及有机酸代谢相关基因表达的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015
- [28] He Y, Fan G, Wu C, et al. Influence of packaging materials on postharvest physiology and texture of garlic cloves during refrigeration storage [J]. *Food Chemistry*, 2019, 298(15): 12-19
- [29] Freilich S, Lev S, Gonda I, et al. Systems approach for exploring the intricate associations between sweetness, color and aroma in melon fruits [J]. *BMC Plant Biology*, 2015, 15(71): 1-16
- [30] Shadmani N, Ahmad S H, Saari N, et al. Chilling injury incidence and antioxidant enzyme activities of *Carica papaya* L. ‘Frangi’ as influenced by postharvest hot water treatment and storage temperature [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 99(25): 114-119
- [31] 李晓霞. 电生功能水热处理对柑橘冷害及贮藏效果的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2016