

贮藏温度对砂糖橘果皮表面结构及蜡质的影响

徐呈祥*, 吴秀兰, 马艳萍, 郑福庆, 叶思敏, 陈小婷

(肇庆学院生命科学院, 广东肇庆 526061)

摘 要: 为揭示柑橘果实冷藏保鲜效应与果皮表面结构、蜡质质量及其化学组成的关系, 以成熟‘砂糖橘’果实为试材, 采后装入塑料薄膜微孔保鲜袋, 分别在 $(14.2 \pm 2.8)^\circ\text{C}$ 自然室温(对照)和 $(6.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 冷库中贮藏 90 d, 定期检测分析果皮表面结构、蜡质及果实风味品质、失水率、腐烂率等的变化。结果表明, 室温下贮藏‘砂糖橘’果皮蜡质降解迅速、表面结构变化显著, 而冷藏果实果皮的蜡质和表面结构保持较好。冷藏处理显著抑制‘砂糖橘’果皮蜡质质量的降低, 尤其是长链脂肪伯醇和支链烷烃、烯烃及烯醛; 果实可溶性糖和有机酸含量及糖酸比保持相对稳定。冷藏也降低了‘砂糖橘’异味物质乙醇和乙醛的水平, 抑制膜脂过氧化作用和细胞膜透性升高, 有效减轻了果实失重和腐烂。

关键词: 砂糖橘; 冷藏保鲜; 果皮; 微形态结构; 蜡质

中图分类号: S 666.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2019) 06-1057-11

Effect of Storage Temperature on the Peel Surface Structure and Wax Content of ‘Shatangju’ Mandarin (*Citrus reticulata*) Fruit

XU Chengxiang*, WU Xiulan, MA Yanping, ZHENG Fuqing, YE Simin, and CHEN Xiaoting

(College of Life Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526061, China)

Abstract: To reveal the relationship between cold storage effect of citrus fruit and peel surface structure, wax content and chemical composition, this study took the mature fruits of ‘Shatangju’ mandarin (*Citrus reticulata*) as study materials, collected into plastic film microporous fresh-keeping bags, and stored under $(14.2 \pm 2.8)^\circ\text{C}$ natural room temperature (the control) and $(6.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ refrigerated warehouse temperature (cold storage) for 90 d, respectively. During storage, peel surface structure, wax content and composition, flavor quality, water loss and decay indexes of the fruits were analyzed periodically. The results showed that the peel wax of ‘Shatangju’ mandarin fruits stored under room temperature was degraded rapidly, and peel surface structure changed significantly, whereas the peel wax and surface structure of fruits stored under cold temperature was well protected. Cold storage significantly inhibited the reduction of peel wax of ‘Shatangju’ mandarin, especially the reduction of long-chain aliphatic alcohol, branched paraffin, olefin, and olefin aldehyde; the soluble sugar and organic acid contents and sugar-acid ratio were kept relatively stable. Cold storage reduced the odorous substances ethanol and acetaldehyde contents of ‘Shatangju’ mandarin, inhibited membrane lipid peroxidation and increase of cell

收稿日期: 2019-03-15; 修回日期: 2019-05-14

基金项目: 广东省科技计划项目 (2014A020208143); 广东省自然科学基金项目 (S2013010015195)

* E-mail: xucx2013@163.com

membrane permeability, and effectively reduced the fruit weight loss and decay.

Keywords: mandarin; cold storage preservation; peel; micro-morphological structure; wax

研究植物表皮微形态结构及蜡质化学组成,在揭示植物类群系统发育(王虹等,2013)、对环境胁迫的适应性(Heredia-Guerrero et al., 2012; 王立山等,2018)及抗逆机制(余德亿等,2013)等方面已发挥作用。近年来,果实贮藏保鲜中果皮表面微形态结构及蜡质化学组成的变化与作用受到关注,特别是对苹果(董晓庆等,2013; 杨艳青等,2014)和梨(李永才等,2012; 唐英等,2016)的研究。关于柑橘果实, Cajuste等(2010)报道,用乙烯处理后果皮裂缝或无蜡区域产生新蜡质是绿霉病发病率下降的重要原因; Ladaniya(2011)报道,没有除去蜡质的果实较除去蜡质的冷害程度轻,外源乙烯提高了果皮蜡质的量、降低果皮褐斑病发病率; 曾琼等(2013)发现,纽荷尔脐橙果皮光泽型突变体的果实耐贮藏性显著优于其普通型及打蜡果实,刘德春等(2015)进一步研究发现该脐橙突变体及其高接后代果皮蜡质成分变化是相关基因突变引起的芽变。尚未见冷藏保鲜与柑橘果皮表面结构、蜡质质量及其化学组成关系的报道。

‘砂糖橘’(*Citrus reticulata* ‘Shatangju’)是广东西江流域著名特产,但不耐贮藏,采后容易失水、腐烂(黄永敬等,2013; 马艳萍,2015)。庞学群等(2008)发现,砂糖橘果实在 $1\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏易发生冷害,较适宜的贮藏温度为 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。作者研究发现,砂糖橘贮藏30 d内 $2.5\sim 8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保鲜效果均较好,但30 d后, $2.5\sim 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有冷害发生, $(6.5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下无冷害且腐烂率最低, $(8.5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下腐烂率明显升高。

本研究中测试分析‘砂糖橘’在 $(14.2\pm 2.8)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 自然室温和 $(6.5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏中果皮表面结构、蜡质质量及其化学组成、果实风味品质、丙二醛含量和细胞膜相对透性的变化,以及果皮蜡质质量及其化学组成与果实失重、腐烂等指标的相关性,进一步认识砂糖橘冷藏保鲜的调控机制。

1 材料与方法

1.1 材料处理

2015年12月18日(西江流域砂糖橘大量成熟期)在广东省德庆县马圩镇的果园(平地, $23^{\circ}24'\text{N}$, $111^{\circ}26'\text{E}$),选择受光良好、无病虫害、树体大小及长势相当的10年生‘砂糖橘’树,剪取树冠中部的果实(果形端正、大小均匀、表面完全转为黄色),放入塑料周转箱带回实验室,在自然室温($13.5\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)下释放田间热量,适当降低含水量(周转箱上方覆盖硬质纸板)。

采后3 d(72 h)时,选择无明显伤害的果实,分装进聚乙烯塑料薄膜微孔($\Phi 3\text{ mm}$, 18孔每袋)保鲜袋($100\text{ cm}\times 60\text{ cm}$)中贮藏。每袋装400个果实(单果质量 $42.5\text{ g}\pm 5.3\text{ g}$),总计10袋。随机分为2组,分别在自然室温和冷库温度下贮藏。室温贮藏(对照)期间日均温度为 $(14.2\pm 2.8)\text{ }^{\circ}\text{C}$,早(7:30—8:30)、晚(19:30—20:30)各打开窗户通风1 h;冷藏温度为 $(6.5\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$,设备自动调控。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 果皮表面结构观察

于砂糖橘贮藏当天(采后3 d,贮藏0 d)和贮藏30、60、90 d时,分别选择健康的果实,在赤道部中央部位横向切取宽 $2\sim 2.5\text{ mm}$ 、长 $3\sim 3.5\text{ mm}$ 的果皮样品,pH 7.2磷酸缓冲液清洗,放入2.5%

戊二醛和 4.0%多聚甲醛混合液中固定 24 h (4 °C), 系列浓度乙醇脱水, 临界点干燥仪 (EMITECH K850) 干燥, 环氧树脂 Epon812 渗透、包埋, LKB-V 型超薄切片机切片 (切片厚度 200 μm), 离子溅射仪 (Hitachi E-1010) 喷金, FEI Quanta 200 扫描电子显微镜 10 kV 电压下观察、拍照。

1.2.2 果皮表面蜡质提取、蜡质质量及组成分析

用游标卡尺测量果实纵、横径, 以纵、横径平均值的 1/2 为半径, 按圆球体计算果实表面积, 用于计算蜡质质量。每次每袋抽取 2 个健康的果实, 用蒸馏水清洗 3 次, 自然晾干。用三氯甲烷/甲醇 (3/1, 体积比) 溶液脱蜡, 提取 2 次, 每次 15 s (500 kHz, 60 °C, 500 W), 混合提取液 (150 mL) 转移至聚四氟乙烯试剂瓶中, 用 MD200-2 型氮吹仪在稳定的氮气流中蒸发至 10 mL 左右, 加入内标液——正二十四烷 ($\text{C}_{24}\text{H}_{50}$, $1 \mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$) 及过量 (250 μL) 衍生化试剂 *N,O*-双 (三甲基硅烷基) 三氟乙酰胺 [*N,O*-Bis- (trimethyl silyl) -trifluoroacetamide, BSTFA], 用氮吹仪吹干, 加入 2.5 mL 三氯甲烷复溶, 微孔膜过滤至进样瓶中用于气相色谱—质谱 (Gas Chromatography - Mass Spectrometer, GC - MS) 分析。

使用 Agilent 6890 N-5973N GC/MS 气质联用仪分析蜡质成分: 脂肪醛 (包括饱和脂肪醛, 不饱和脂肪醛和芳香醛)、脂肪烃 (包括正构饱和脂肪烃, 支链饱和脂肪烃和不饱和脂肪烃)、脂肪醇和脂肪酸 (王光辉和熊少祥, 2005)。进样量 1 μL 。气相色谱 6 890 N: 气化室温度 250 °C, HP-5 型弹性石英毛细管柱, 程序升温。载气为氦气, 流量 $1.2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。质谱 5973N: 四极杆质谱仪, EI 源离子源 (70 eV), 四极杆温度 150 °C, 离子源温度 230 °C。

1.2.3 果实品质及失重率、腐烂率检测

定期统计果实腐烂个数, 计算腐烂率。检测果实失重率、可溶性糖含量 (蒽酮比色法)、有机酸含量 (NaOH 滴定法), 计算糖酸比。参照 Sugiura 和 Tomana (1983) 的方法测定乙醇和乙醛含量, 用外标标准曲线法定量。丙二醛含量参照林植芳等 (1984) 的方法测定, 细胞膜相对透性用电导仪法测定。

1.2.4 数据统计与分析

用 Microsoft Office Excel 2013 软件计算平均数、标准差及作图, 用邓肯氏新复极差法进行差异显著性分析 ($P < 0.05$)。对果皮蜡质总量及 4 类长链组分与果实失重和腐烂等指标的相关性进行分析。

2 结果与分析

2.1 冷藏对果皮表面结构的影响

与贮藏 0 d (图 1, A、B) 相比, ‘砂糖橘’果实室温贮藏 30 d 时果皮表面结构已发生显著变化: 被精油浸渗的面积大 (图 1, C), 暗示油胞囊结构普遍受到损伤, 同时, 蜡质凝聚, 明显粗糙化 (图 1, D), 同期冷藏 (6.5 °C) 的果实果皮表面结构变化很小 (图 1, E、F)。室温贮藏 60 d 的果实, 多数果皮表面蜡质大面积剥落, 真菌菌丝显著发育, 气孔器明显矮化, 孔口直径及单个气孔的面积较开始贮藏时明显减小 (图 1, G、H), 此时冷藏的果实果皮表面结构基本完好 (图 1, I、J)。室温贮藏 90 d 的果实, 果皮表面凹凸不平, 显著粗糙化, 蜡质晶体非常稀少 (图 1, K、L), 而冷藏的果实, 果皮表面结构仍然基本完好, 仅轻微凝聚, 蜡质晶体密实 (图 1, M、N)。

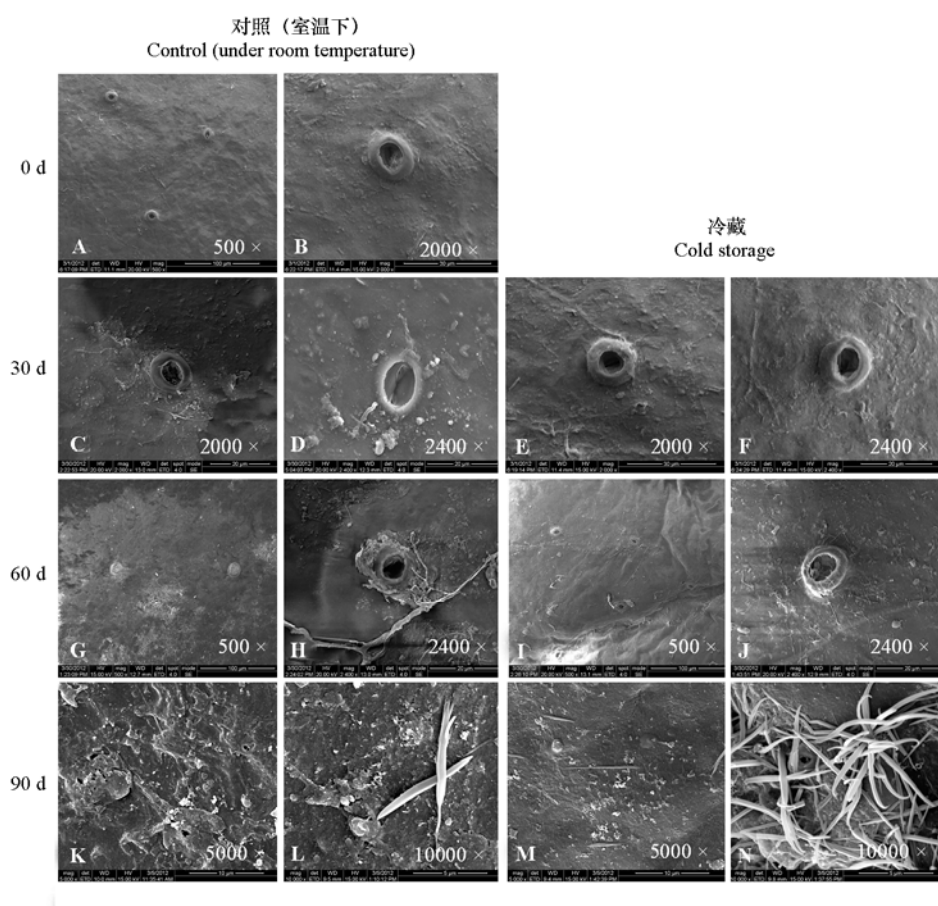


图1 ‘砂糖橘’果皮表面结构在室温贮藏(对照)和冷藏下的变化
Fig.1 Changes of peel surface structure of 'Shatangju' mandarin fruits stored under room temperature (control) and cold temperature

2.2 冷藏对果皮蜡质质量及其组成的影响

随贮藏时间延长,‘砂糖橘’果皮的蜡质总量及不同种类组分均持续降低,室温贮藏(对照)和冷藏下差异显著。贮藏30 d时,对照果实果皮蜡质总量即显著降低,但冷藏果实与0 d时相比无显著差异;贮藏60 d时,对照果实果皮蜡质总量进一步降低,至贮藏90 d时仅为贮藏0 d时的31.5%,而冷藏处理的降幅较小,为贮藏0 d时的70.9%(图2)。

‘砂糖橘’果皮蜡质的碳链长度 $\geq C_{16}$,最长碳链 $\leq C_{34}$ 。无论室温贮藏或冷藏,果皮蜡质降低幅度最大的长链组分是长链脂肪伯醇,其次为长链脂肪烃和长链脂肪酸,以长链脂肪醛降低幅度相对最小;冷藏处理的这些组分的降低幅度显著小于同期对照。对照果实贮藏30 d时,果皮蜡质中的支链烷烃、烯烃和烯醛已完全检测不到,而冷藏果实在贮藏90 d时这些组分还有一定的量(图2)。

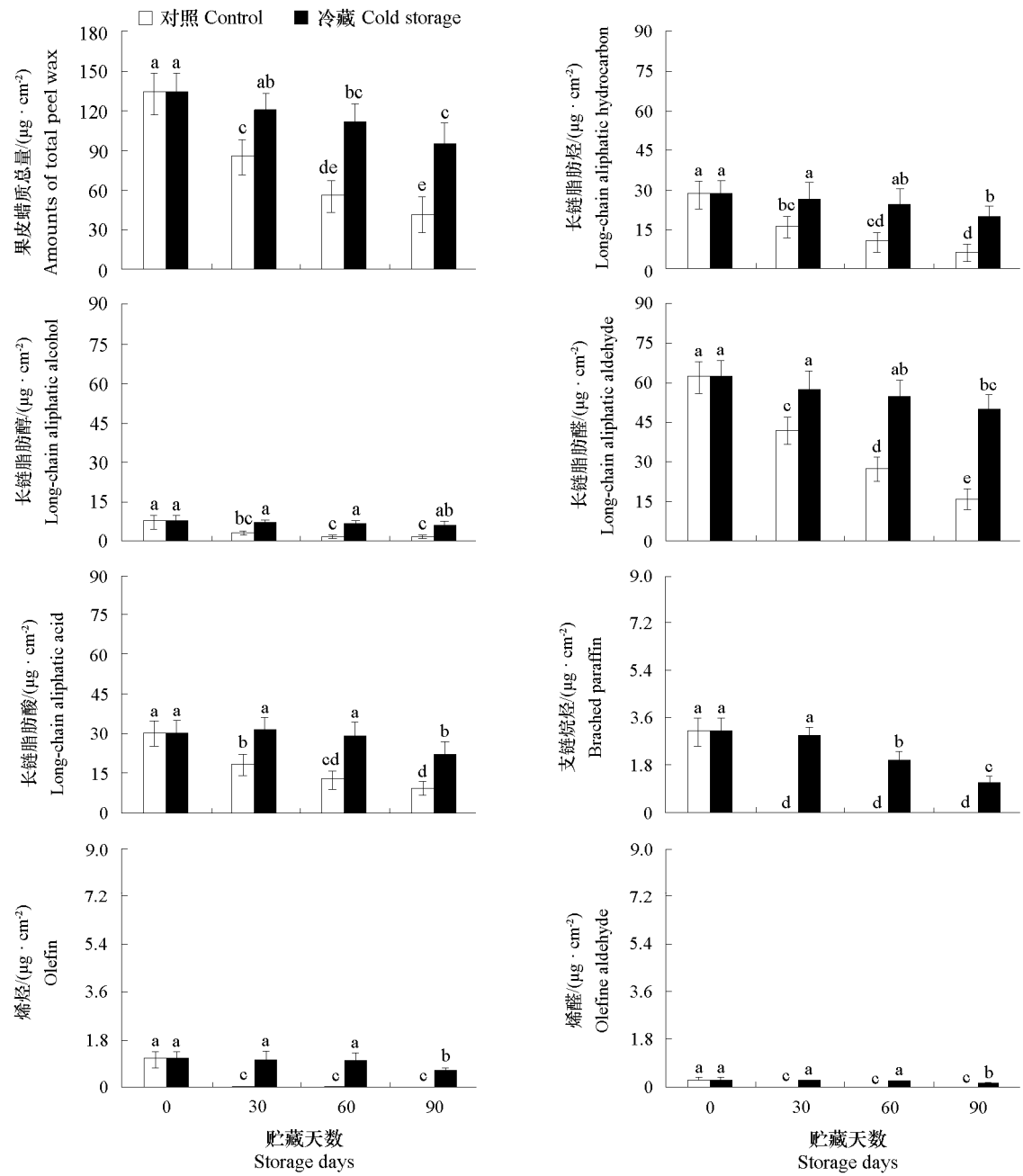


图2 室温贮藏(对照)和冷藏下‘砂糖橘’果实表面蜡质总量及7类主要组分的差异

以正十四烷为内标。相同小写字母表示数据间差异不显著 ($P > 0.05$)。下同。

Fig. 2 Differences of the amounts of total wax and seven major components of the peel of ‘Shangtangju’ mandarin fruits stored under room temperature (control) and cold temperature

N-tetradecane was taken as the internal standard. Data marked with the same lowercase letter of the same wax component mean that they are not significantly different ($P > 0.05$).

The same below.

2.3 冷藏对果实品质、失重和腐烂的影响

2.3.1 可溶性糖和有机酸含量及糖酸比

如表 1 所示，对照果实可溶性糖含量在贮藏前 60 d 比较平稳，此后显著降低，冷藏果实无显著变化，贮藏 90 d 时，较室温贮藏果实高 39.0%；果实有机酸含量随贮藏天数增多持续下降，但冷藏果实的降低幅度显著小于对照，贮藏 30、60 和 90 d 时分别较对照高 34.2%、104.3%和 111.1%；果实糖酸比持续增大，室温贮藏 30、60 和 90 d 时分别比贮藏 0 d 时增大 56.9%、114.9%和 107.5%，但冷藏果实增大幅度较小，较好地保持了甜酸适口的风味。

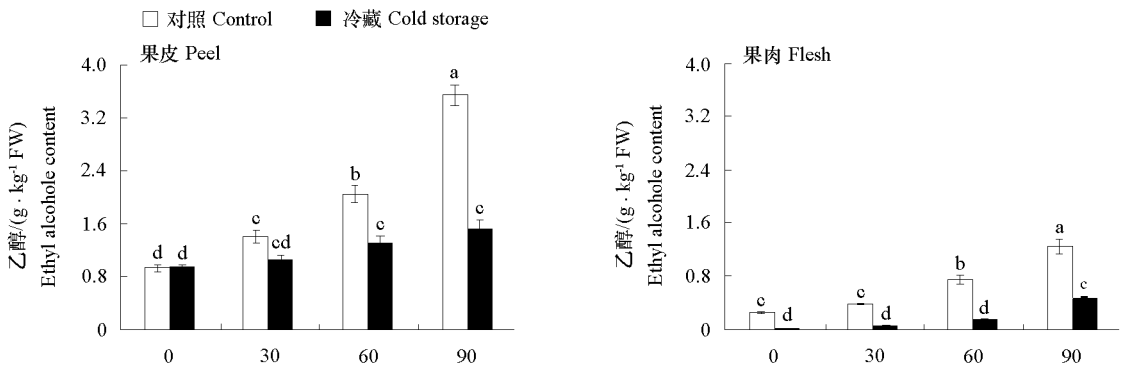
表 1 室温（对照）和冷藏下‘砂糖橘’果实可溶性糖含量、有机酸含量及糖酸比的差异
Table 1 Differences of soluble sugar and organic acid contents and sugar-acid ratio of ‘Shatangju’ mandarin fruits stored under room temperature (control) and cold temperature

贮藏天数/d Storage days	处理 Treatment	品质指标 Quality index		
		可溶性糖含量/% Content of soluble sugar	有机酸含量/% Content of organic acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
0	对照 Control	12.39 ± 1.39 a	0.53 ± 0.04 a	22.38 ± 1.45 d
	冷藏 Cold storage	12.39 ± 1.39 a	0.52 ± 0.05 a	23.83 ± 1.48 d
30	对照 Control	13.34 ± 2.09 a	0.38 ± 0.06 b	35.11 ± 1.86 b
	冷藏 Cold storage	12.89 ± 1.27 a	0.51 ± 0.07 a	24.79 ± 1.72 cd
60	对照 Control	11.06 ± 0.94 b	0.23 ± 0.06 c	48.09 ± 2.15 a
	冷藏 Cold storage	13.29 ± 1.05 a	0.47 ± 0.06 ab	28.28 ± 1.86 c
90	对照 Control	8.36 ± 0.80 c	0.18 ± 0.04 c	46.44 ± 2.34 a
	冷藏 Cold storage	11.62 ± 1.36 ab	0.38 ± 0.07 b	30.58 ± 2.18 c

注：同一指标数据后标记的小写字母相同，表示它们之间差异不显著（ $P > 0.05$ ）。
Note: The data marked with the same lowercase letter of the same index mean that they are not significantly different ($P > 0.05$).

2.3.2 乙醇、乙醛和丙二醛含量

乙醇和乙醛积累是柑橘贮藏中果实产生异味的重要原因（Porat et al., 2005；周先艳 等, 2016），丙二醛（MDA）含量是膜脂过氧化作用的重要指标。如图 3 所示，‘砂糖橘’果皮的乙醇、乙醛含量均显著高于果肉；贮藏中果皮和果肉的乙醇含量均持续升高，但冷藏果实的升高幅度远低于对照，贮藏 90 d 时果皮和果肉中的乙醇含量分别为对照的 42.7%和 34.8%；乙醛含量先降低而后升高，但在冷藏果实中的积累受到显著抑制，贮藏 90 d 时在果皮和果肉中的含量分别为对照的 64.0%和 56.4%。果皮 MDA 含量升高幅度显著大于果肉，但无论果皮或果肉，冷藏果实升高幅度较小，贮藏 90 d 时分别为同期对照的 48.6%和 53.3%。



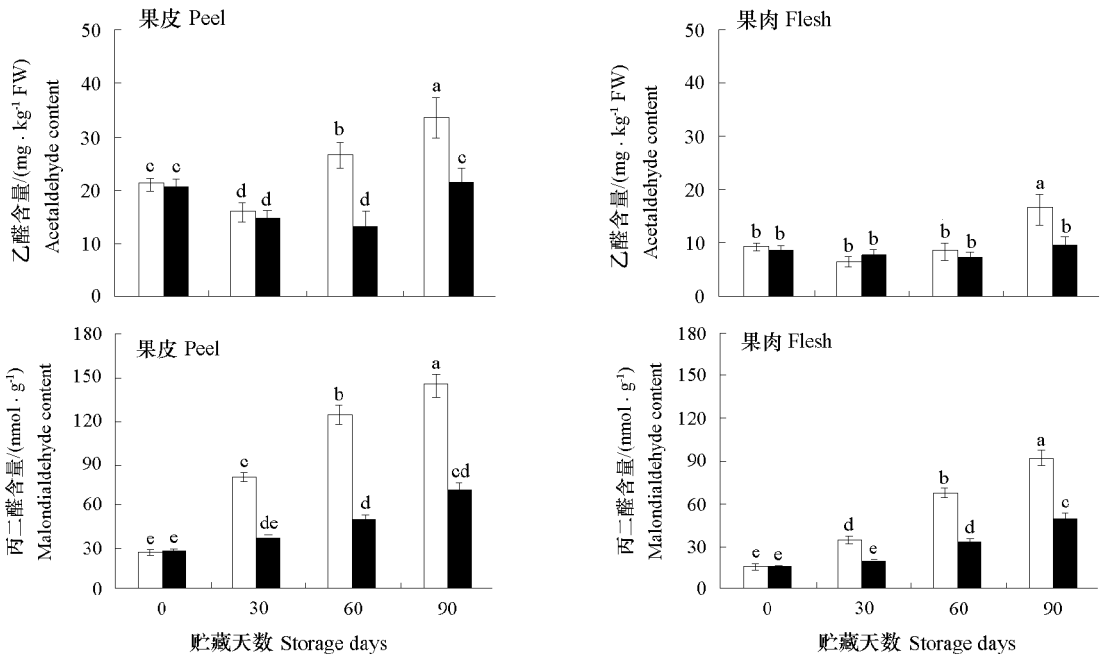


图3 室温贮藏(对照)和冷藏下‘砂糖橘’果实乙醇、乙醛和丙二醛含量的差异

Fig. 3 Differences of ethyl alcohol, acetaldehyde and malondialdehyde contents of ‘Shatangju’ mandarin fruits stored under room temperature (control) and cold temperature

2.3.3 细胞膜相对透性、失重率和腐烂率

贮藏中, ‘砂糖橘’果实细胞膜相对透性增大, 果皮增大幅度大于果肉, 冷藏至 90 d 时, 果皮和果肉细胞膜相对透性分别为对照的 46.6%和 63.3%; 贮藏前 30 d, 果实失重迅速, 冷藏显著小于对照, 90 d 时仅为同期对照的 29.4%; 果实腐烂率的差异同样显著: 冷藏 30、60 和 90 d 果实腐烂率分别为 3.8%、11.5%和 33.6%, 分别较室温贮藏低 77.0%、74.9%和 63.8% (图 4)。

2.4 果皮蜡质与果实失重和腐烂等指标的相关性

‘砂糖橘’贮藏过程中, 果皮蜡质总量及 4 类长链组分均与其果实膜脂过氧化水平标志物 MDA 的含量、细胞膜相对透性、果实失重率和腐烂率呈极显著负相关关系 (表 2)。

表 2 ‘砂糖橘’贮藏过程中果皮蜡质与果实失重和腐烂等指标的相关性

Table 2 The correlation between peel wax and fruit weight loss, decay incidence and other two indexes of ‘Shangtangju’ mandarin during storage

指标 Index	丙二醛 Malond-ialdehyde	细胞膜相对透性 Relative permeability of cell membrane	果实失重率 Fruit weight-loss rate	果实腐烂率 Fruit decay incidence
总蜡质 Total wax	- 0.989**	- 0.941**	- 0.985**	- 0.922**
长链脂肪烃 Long-chain aliphatic hydrocarbon	- 0.979**	- 0.921**	- 0.973**	- 0.903**
长链脂肪伯醇 Long-chain aliphatic alcohol	- 0.978**	- 0.917**	- 0.985**	- 0.908**
长链脂肪醛 Long-chain aliphatic aldehyde	- 0.989**	- 0.941**	- 0.985**	- 0.939**
长链脂肪酸 Long-chain aliphatic acid	- 0.975**	- 0.923**	- 0.963**	- 0.911**

**P < 0.01.

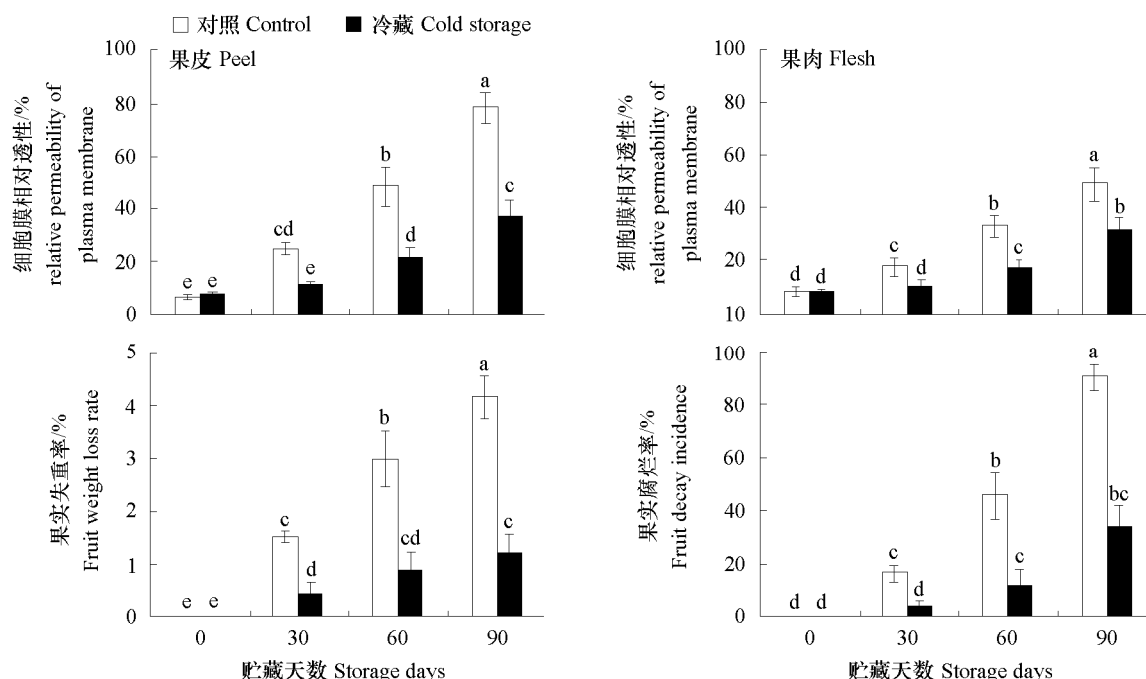


图4 室温(对照)和冷藏下‘砂糖橘’果实细胞膜相对透性、失重率和腐烂率的差异
Fig. 4 Differences of the relative permeability of plasma membrane, the weight loss rate and decay incidence of 'Shatangju' mandarin fruits stored under room temperature (control) and cold temperature

3 讨论

本研究中分析的成熟‘砂糖橘’果皮蜡质总量，从数值上看为模式植物拟南芥叶片的3倍（倪郁等，2014），但远低于温州蜜柑（Sala, 2000; Moon et al., 2003）、梨（Yin et al., 2011）及苹果（董晓庆等，2013; 王晓飞等，2014）和枸杞（杨爱梅等，2011）果实，而且自然室温下果皮蜡质迅速降解，表面结构很快改变，揭示了果实采后不耐贮藏的内在原因，明确了果皮蜡质与果实失重和腐烂等的相关关系，说明冷藏保鲜的重要机制之一是有效保护果皮蜡质及其微形态结构。

‘砂糖橘’果皮蜡质总量中逾45%的组分是长链脂肪醛，次为长链脂肪酸和长链脂肪烃（占比接近，合计近45%），长链脂肪伯醇等其他组分合计不足10%，这与同为宽皮柑橘的‘南丰蜜橘’和‘温州蜜柑’有明显差别，后两者蜡质化学成分居支配地位的是长链脂肪酸，占比分别为69.5%和60.6%，长链脂肪烃占比分别为3.0%和10.2%，长链脂肪伯醇占比分别为11.0%或未检测到，醛类未检测到或含量低于1.0%（王敏力等，2014）。Sala等（1992）的研究表明，生长在西班牙巴伦西亚的Navelina脐橙和温州蜜柑的果皮蜡质成分中，醛类、烷烃和脂肪酸量较高，初级醇和萜类物质质量较低，并且温州蜜柑果皮蜡质量显著低于Navelina脐橙，而同样来自瓦伦西亚的Fortune橘果皮蜡质主要成分的量由高到低依次为烷烃、脂类、酮类、醛类、脂肪酸、初级醇、萜类（Sala, 2000）。说明不同种类柑橘果皮的蜡质量及其化学组成差异是果皮结构的生物学特性，但同时，果皮蜡质无疑还受果实生长发育中环境因素的深刻影响，如园地营养、水分状况、空气湿度、光照条件、树体部位、果实负载量以及病虫害情况等（El-Otmani et al., 1986; Sala, 2000; Vogg et al., 2004）。

鉴于此, 提高砂糖橘耐贮性也应重视栽培管理中促进其果皮蜡质良好发育。

生物体内蜡质合成从脂肪酸开始, 脂肪酸脱羧生成烷烃, 烷烃被氧化后进一步生成醛、酮和伯醇等蜡质成分 (Samuels et al., 2008; Cordeiro et al., 2011)。^{‘砂糖橘’}在不同贮藏时期及温度环境下, 果皮蜡质中均含有 C16 和 C18 脂肪酸以及其他多种蜡质成分, 且最长碳链 \leq C34, 与前人的相关报道吻合。目前蜡质成分与其生物学功能之间的具体关系尚不明确。^{‘砂糖橘’}采后贮藏中不同蜡质成分降低幅度差异大, 暗示它们的生物学功能不同, 作者将进一步研究。

References

- Cajuste J F, González-Candelas L, Veyrat A, Garcia-Breijo F J, Reig-Armiñana J, Lafuente M. 2010. Epicuticular wax content and morphology as related to ethylene and storage performance of ‘Navelate’ orange fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 55 (1): 29 – 35.
- Cordeiro S Z, Simas N K, Arruda R C O, Sato A. 2011. Composition of epicuticular wax layer of two species of *Mandevilla* (APocynoideae, APocynaceae) from Rio de Janeiro, Brazil. *Biochemistry and Systematic Ecology*, 39: 198 – 20.
- Dong Xiao-qing, Rao Jing-ping, Zhu Shou-liang, Yang Qing-zhen. 2013. Combination of modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene treatment suppress decreasing of wax composition of apples during cold storage. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29 (16): 269 – 277. (in Chinese)
- 董晓庆, 饶景萍, 朱守亮, 杨青珍. 2013. 气调包装与 1-MCP 结合抑制苹果蜡质成分降低. *农业工程学报*, 29 (16): 269 – 277.
- El-Otmani M, Coggins C W J, Eaks I L. 1986. Fruit age and gibberellic acid effect on epicuticular wax accumulation, respiration, and internal atmosphere of navel orange fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111: 228 – 232.
- Heredia-Guerrero J A, de Lara R, Domínguez E, Domínguez E. 2012. Chemical-physical characterization of isolated plant cuticles subjected to low-dose γ -irradiation. *Chemistry and Physics of Lipids*, 165: 803 – 808.
- Huang Yun-jing, Ma Pei-qia, Wu Wen, Chen Jie-zhong, Li Juan, Tang Xiaolang, Liu Xiang-yu. 2013. Impact of summer shoot growth on the fruit glycometabolism and drop of ‘Shatangju’ mandarin. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (10): 1869 – 1876. (in Chinese)
- 黄永敬, 马培恰, 吴文, 陈杰忠, 李娟, 唐小浪, 刘翔宇. 2013. 砂糖橘夏梢生长对果实糖代谢及脱落的影响. *园艺学报*, 40 (10): 1869 – 1876.
- Ladaniya M S. 2011. Physico-chemical, respiratory and fungicide residue changes in wax coated mandarin fruit stored at chilling temperature with intermittent warming. *Journal of Food Science and Technology*, 48 (2): 150 – 158.
- Li Yong-cai, Yin Yan, Chen Song-jiang, Bi Yang, Ge Yong-hong. 2012. Effects of preharvest bagging treatment on the micro-structure and chemical composition of cuticular wax in Pingguoli pear fruit. *Scientia Agricultura Sinica*, 45 (17): 3661 – 3668. (in Chinese)
- 李永才, 尹燕, 陈松江, 毕阳, 葛永红. 2012. 采前套袋对苹果梨表皮蜡质结构和化学组分的影响. *中国农业科学*, 45 (17): 3661 – 3668.
- Lin Zhi-fang, Li Shuang-shun, Lin Gui-zhu, Sun Gu-chou, Guo Jun-yan. 1984. Aging of rice leaves and its relationship with SOD activity and lipid peroxidation. *Journal of Integrative Plant Biology*, 26 (6): 605 – 615. (in Chinese)
- 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 孙谷畴, 郭俊彦. 1984. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系. *植物学报*, 26 (6): 605 – 615.
- Liu De-chun, Wang Min-li, Yang Li, Zeng Qiong, Liu Shan-bei, Liu Yong. 2015. A study on the genetic stability of wax composition in the glossy mutant of ‘Newhall’ navel orange. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 37 (4): 597 – 603. (in Chinese)
- 刘德春, 王敏力, 杨莉, 曾琼, 刘山蓓, 刘勇. 2015. ‘纽荷尔’脐橙果皮光泽型突变体及其高接后代果皮蜡质成分比较研究. *江西农业大学学报*, 37 (4): 597 – 603.
- Ma Yan-ping. 2015. Progress of researches on ‘Shatangju’ mandarin based on literature metrology. *Sci-Tech Information Development &*

- Economy, (12), 32 - 36. (in Chinese)
- 马艳萍. 2015. 基于文献计量的砂糖橘研究进展分析. 科技情报开发与经济, (12): 32 - 36.
- Moon D G, Cho Y S, Mizutani F, Rutto K L. 2003. Wax deposition on the fruit surface of Satsuma mandarin as effected by water stress. Asian Journal of Plant Science, 2: 1138 - 114.
- Ni Yu, Song Chao, Wang Xiao-qing. 2014. Investigation on response mechanism of epicuticular wax on *Arabidopsis thaliana* under cold stress. Scientia Agricultura Sinica, 47 (2): 252 - 261. (in Chinese)
- 倪 郁, 宋 超, 王小清. 2014. 低温胁迫下拟南芥表皮蜡质的响应机制. 中国农业科学, 47 (2): 252 - 261.
- Pang Xue-qun, Chen Yan-ni, Huang Xue-mei, Wang Yue-hua, Hu Wei-rong, Zhang Zhao-qi. 2008. Quality deterioration of 'Shatangju' mandarin fruits caused by cold damage. Acta Horticulturae Sinica, 35 (4): 509 - 514. (in Chinese)
- 庞学群, 陈燕妮, 黄雪梅, 汪跃华, 胡位荣, 张昭其. 2008. 冷害导致砂糖橘果实品质劣变. 园艺学报, 35 (4): 509 - 514.
- Porat R, Weiss B, Cohen L, Daus A, Biton A. 2005. Effects of polyethylene wax content and composition on taste, quality, and emission of off-flavor volatiles in 'Mor' mandarins. Postharvest Biology and Technology, 38 (3): 262 - 268.
- Sala J M. 2000. Content, chemical composition and morphology of epicuticular wax of Fortune mandarin fruits in relation to peel pitting. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80: 1887 - 1894.
- Sala J M, Lafuente T, Cuñat P. 1992. Content and chemical composition of epicuticular wax of 'Navelina' oranges and 'Satsuma' mandarins as related to rindstaining of fruit. Journal of the Science of Food and Agriculture, 59 (4): 489 - 495.
- Samuels L, Kunst L, Jetter R. 2008. Sealing plant surfaces: cuticular wax formation by epidermal cells. Plant Biology, 59: 683 - 707.
- Sugiura A, Tomana T. 1983. Relationships of ethanol production by seeds of different types of Japanese persimmons and their tannin content. HortScience, 18: 319 - 321.
- Tang Ying, Wang Wen-juan, Li Yong-cai, Bi Yang. 2016. Effect of postharvest ethephon and 1-MCP treatments on the chemical composition of cuticular wax in Pingguoli pear fruit. Food Science, 37 (18): 223 - 229. (in Chinese)
- 唐 瑛, 王文娟, 李永才, 毕 阳. 2016. 采后乙烯利、1-MCP 处理对苹果梨蜡质组分的影响. 食品科学, 37 (18): 223 - 229.
- Vogg G, Fiseher S, Leide J, Emmanuel E. 2004. Tomato fruit cuticular waxes and their effects on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very long chain fatty acid β -ketoacyl-CoA synthase. Journal of Experimental Botany, 55: 1401 - 1410.
- Wang Guang-hui, Xiong Shao-xiang. 2005. Analysis of organic mass spectrometry. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 王光辉, 熊少祥. 2005. 有机质谱解析. 北京: 化学工业出版社.
- Wang Hong, Zhang Wei-hong, Wei Xiao-li, Zou Xing-yue, Su Mai-yan, Wang Yong-xing. 2013. Study on surface micro-morphological structure of 12 *Scutellaria* plants in Xinjiang. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 33 (5): 952 - 962. (in Chinese)
- 王 虹, 张卫红, 魏晓丽, 邹星月, 苏迈艳, 王咏星. 2013. 新疆 12 种黄芩属植物叶表皮微形态结构的研究. 西北植物学报, 33 (5): 952 - 962.
- Wang Min-li, Liu De-chun, Yang Li, Zeng Qiong, Wang Yue-chen, Wu Qi, Liu Shan-bei, Liu Yong. 2014. Comparative analysis of different citrus wax morphological structure and composition. Acta Horticulturae Sinica, 41 (8): 1545 - 1553. (in Chinese)
- 王敏力, 刘德春, 杨 莉, 曾 琼, 王玥辰, 吴 启, 刘山蓓, 刘 勇. 2014. 不同种类柑橘的蜡质结构与成分比较. 园艺学报, 41 (8): 1545 - 1553.
- Wang Lishan, Ding Bing, Li Yuhua, Zhang Yang. 2018. Reaserch progress of plant cuticular wax biosynthesis, export and regulation related genes responded to drought. Acta Horticulturae Sinica, 45 (9): 1831 - 1843. (in Chinese)
- 王立山, 丁 兵, 李玉花, 张 阳. 2018. 植物表皮蜡质合成转运调控相关基因与干旱响应的研究进展. 园艺学报, 45 (9): 1831 - 1843.
- Wang Xiao-fei, Ren Xiao-lin, Yang Yan-qing, Wang Lei-cun, Yuan Jing-jun. 2014. Study on epicuticular wax greasiness of 'Pink Lady' apple fruits. Journal of Fruit Science, 31 (2): 201 - 205. (in Chinese)

- 王晓飞, 任小林, 杨艳青, 王雷存, 袁景军. 2014. ‘粉红女士’苹果果皮蜡质油膩化的研究. 果树学报, 31 (2): 201 - 205.
- Yang Ai-mei, Wu Gu-fei, Du Jing, Li Chun-lei, Yuan Hui-jun, Wang Li-li. 2011. Study on component and microscopic structure of wax of *Lycium barbarum* L. Science and Technology of Food Industry, 32 (12): 112 - 114. (in Chinese)
- 杨爱梅, 吴古飞, 杜 静, 李春雷, 袁惠君, 王丽丽. 2011. 枸杞表皮蜡质层成分及显微结构的研究. 食品工业科技, 32 (12): 112 - 114.
- Yang Yan-qing, Chen Bai, Wang Xiao-fei, Ren Xiao-lin. 2014. GC - MS Detection of epicuticular wax in apple fruits. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 23 (5): 104 - 112. (in Chinese)
- 杨艳青, 陈 柏, 王晓飞, 任小林. 2014. 苹果果皮蜡质组分的 GC - MS 分析. 西北农业学报, 23 (5): 104 - 112. (in Chinese)
- Yin Y, Bi Y, Chen S J, Li Y C, Wang Y, Ge Y H, BoDing, Li Y C, Zhang Z. 2011. Chemical composition and antifungal activity of cuticular wax isolated from Asian pear fruit (cv. Pingguoli) . Scientia Horticulturae, 129 (4): 577 - 582.
- Yu De-yi, Huang Peng, Yao Jin-ai, Chen Feng, Kang Wen-bin. 2013. A comparison on surface ultrastructure and waxy components & contents of leaves in three ficus varieties with different resistance to thrips. Chinese Journal of Tropical Crops, 34 (8): 1525 - 530. (in Chinese)
- 余德亿, 黄 鹏, 姚锦爱, 陈 峰, 康文斌. 2013. 3 种不同抗蓟马水平的榕树叶表面超微结构和蜡质成分及含量的比较. 热带作物学报, 34 (8): 1525 - 1530.
- Zeng Qiong, Wu Qi, Wang Yue-chen, Liu De-chun, Liu Shan-bei, Liu Chuan-fu, Liu Yong. 2013. A study on fruit storability of glossy mutant of ‘Newhall’ navel orange. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 35 (3): 525 - 529. (in Chinese)
- 曾 琼, 吴 启, 王玥辰, 刘德春, 刘山蓓, 刘传福, 刘 勇. 2013. 纽荷尔脐橙果皮光泽型突变体贮藏性研究. 江西农业大学学报, 35 (3): 525 - 529.
- Zhou Xian-yan, Gong Qi, Li Ju-xiang, Long Chun-rui, Shen Zheng-song, Yue Jian-qiang. 2016. Advances of research on postharvest physiology and diseases of citrus. Storage and Process, 16 (1): 91 - 96. (in Chinese)
- 周先艳, 龚 琪, 李菊湘, 龙春瑞, 沈正松, 岳建强. 2016. 柑橘采后生理及病害研究进展. 保鲜与加工, 16 (1): 91 - 96.