

## 贮藏温度和采收期对 W.默科特贮藏品质的影响<sup>1</sup>

刘萍, 刘晓凤, 林子楨, 付慧敏, 武晓晓, 邓崇岭\*

广西桂北特色经济作物种质创新与利用重点实验室/广西柑桔育种与栽培技术创新中心/广西特色作物研究院, 广西桂林, 541004

**摘要:**【目的】明确 W.默科特的适宜采收期及贮藏温度, 为广西地区 W.默科特果实的采收和贮藏提供参考依据。【方法】以 4 个采收期和 3 个贮藏温度下的 W.默科特果实为试验材料, 分析测定其在贮藏过程中及模拟货架期期间果实品质变化。【结果】不同温度相比, 6~8 °C 贮藏 L\*、A\*、B\* 最高, 常温次之, 2~4 °C 最低; 低温贮藏可以显著降低果实失重率, 延缓果实可滴定酸和维生素 C 含量的下降速率, 且贮藏温度越低效果越显著; 乙醇和乙醛含量波动上升, 2~4 °C 最高, 6~8 °C 次之, 常温最低; 2~4 °C 货架期果实乙醇和乙醛含量整体高于 6~8 °C 贮藏, 6~8 °C 是更为适宜的贮藏温度。在 6~8 °C 贮藏环境中, 不同采收期相比, L\*、A\* 和 B\* 值三期、四期 > 二期 > 一期; 失重率四期最快, 三期最慢; 可溶性固形物含量三期、四期显著高于一期; 可滴定酸和维生素 C 含量一期最高, 四期最低; 还原糖含量二期和三期显著高于一期和四期; 乙醇和乙醛含量随着采收期的延迟不断上升, 一期果实乙醇和乙醛含量上升速率最慢, 二期、三期次之, 四期上升速率最快。在贮藏第 60 d, 一期、二期、三期和四期果实的乙醇含量分别为 285.61、894.79、654.68 和 1311.58 mg·L<sup>-1</sup>; 货架期乙醇、乙醛和甲醇含量显著高于贮藏期, 且采收越晚贮藏时间越长上升越显著。【结论】当果实绿色基本褪去, 可溶性固形物达到 11%, 可滴定酸大于 0.8% 时 (花后 270 d 至 300 d, 桂林地区约 12 月下旬至翌年 1 月下旬) 为贮藏 W.默科特的适宜采收期; 6~8 °C 是适宜的低温贮藏温度, 贮藏时间不宜超过 90 d, 低温贮藏 60 d 后不宜常温出库。

**关键词:** W.默科特; 采收期; 贮藏温度; 货架期; 品质; 异味

中图分类号: S666 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2024)09-0001-08

## Effects of storage temperature and harvest period on storage quality of W. Murcott

LIU Ping, LIU Xiaofeng, LIN Zizhen, FU Huimin, WU Xiaoxiao, DENG Chongling\*

Guangxi Key Laboratory of Germplasm Innovation and Utilization of Specialty Commercial Crops in North Guangxi/Guangxi Citrus Breeding and Cultivation Technology Innovation Center/Guangxi Academy of Specialty Crops, Guilin, 541004

**Abstract:**【Objective】In this study, the suitable harvest time and storage temperature of W. Murcott was cleared, so as to extend the market supply time and relieve the pressure of sales, and provide reference for the collection and storage period of W. Murcott fruits in Guangxi.【Method】Testing W. Murcott fruits were picked at 4 harvest dates (November 29th, December 22nd, January 19th and March 1st) and stored at 3 temperatures (2~4 °C, 6~8 °C and room temperature). The changes of weight loss, color, soluble solid, titratable acid, Vc, reducing sugar, citric acid, methanol, ethanol and acetaldehyde of the fruits during storage and simulated shelf life were analyzed.【Results】During storage, L\*, A\*, B\* of W. Murcott fruits tended to level off after rapid rise. L\*, A\*, B\* of fruits stored at 6~8 °C were the highest, followed by those stored at room temperature, and those stored at 2~4 °C were the lowest. On the 60th day of storage, the A\* values of the fruits stored at 2~4 °C, 6~8 °C and room temperature were 12.94, 26.51 and 21.46, respectively, low temperature

收稿日期: 2024-04-22 接受日期: 2024-06-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFD2300605)、南宁市科技局重大科技专项 (20222062)、国家现代农业产业技术体系广西创新团队柑橘首席专家岗位项目 (nycytxgxcxtd-05-01)、财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目 (cars-26)

作者简介: 刘萍 (1983-), 女, 硕士, 高级农艺师, 主要从事柑橘等水果采后保鲜及商品化处理技术推广与研究, E-mail: liupingsmile@126.com。

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: cldeng88168@126.com

storage can significantly reduce the rate of weight loss and delay the decrease rate of titratable acid and Vc content, and the longer the storage time, the lower the temperature, the more significant the effect was. On the 90th day of storage, the weight loss rate of fruits stored at 2~4℃, 6~8℃ and room temperature were 1.73%, 2.12% and 3.37%, respectively. The content of titratable acid was 0.95%, 0.78% and 0.63%, respectively, the contents of Vc were 16.00, 15.13 and 12.64 mg·100mL<sup>-1</sup>, respectively. The contents of reducing sugar increased first and then decreased, and the contents of reducing sugar in fruits stored at low temperature were higher than those stored at room temperature. The contents of ethanol and acetaldehyde rose in fluctuation, with the highest at 2~4℃, the second at 6~8℃, and the lowest at room temperature. The contents of ethanol and acetaldehyde were lower at the first 60 days stored at 2~4℃ and 6~8℃ and significantly higher at 2~4℃ than at 6~8℃ after 75 days at storage. L\*, A\* and B\* of W. Murcott fruits gradually increased and reached the peak in phase III with the delay of harvest date. During 6~8℃ storage, L\* and a\* increased continuously and then tended to level off, Phase III, Phase IV > Phase II > Phase I, and the difference was significant. The value of B\* increased first and then decreased, and the later the harvest, the earlier the peak value of B\* appeared. The rate of weight loss was the fastest in phase IV and the slowest in phase III. The content of soluble solid increased with the delay of harvest, and was significantly higher in phase III and phase IV than that in phase I. The content of titratable acid and Vc decreased with the delay of harvest, with the highest in phase I and the lowest in phase IV. The content of reducing sugar first increased and then decreased with the delay of harvest, and was significantly higher in phase II and phase III than that in phase I and phase IV during storage. The content of citric acid decreased with the delay of harvest and fluctuated during storage, and the lowest content was in phase IV of 6~8℃ storage. The contents of ethanol and acetaldehyde increased with the delay of harvest time. During the storage of 6~8℃, the rising rate of ethanol and acetaldehyde contents in four phases was as follows: phase I < phase II, phase III < phase IV. At the 60th day of storage, the ethanol contents of fruits in phase I, phase II, phase III, phase IV were 285.61, 894.79, 654.68 and 1311.58 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. The contents of ethanol, acetaldehyde and methanol were significantly higher in the shelf-life than those in storage period. The ethanol content exceeded the threshold of 1500 mg·L<sup>-1</sup> after stored 120 days in phase I and turned to room temperature store, and exceeded the threshold in phase II, phase III and phase IV after 60 or 75 days of storage. 【Conclusion】 Compared with room temperature storage, low temperature storage could reduce the weight loss rate significantly and delay the decreasing rate of titratable acid and Vc content, increase the soluble sugar content of W. Murcott fruits. Compared with 6~8℃ and 2~4℃ storage, 6~8℃ storage is more suitable for low temperature storage because of better color change, lower rate of ethanol and acetaldehyde production and no freeze injury of stored fruits. When the green color of the fruit basically fades, the soluble solids reach 11%, and the titratable acid is greater than 0.8% (about late December to late January of the following year in Guilin area), it is the suitable harvest period for storing W. Murcott. 6~8℃ is a suitable low temperature for storage. The fruits of W. Murcott should not be stored for more than 90 d at 6~8℃ and should not be out of storage at room temperature after 60 days stored at low temperature.

**Key words:** W. Murcott; Harvest period; storage temperature; Shelf life; quality; off-flavor

W.默科特 (*Citrus reticulata* Blanco) 果皮色泽鲜艳, 丰产性好, 风味浓郁, 成熟期为 2 月上旬, 在全国种植面积约 20 万亩, 已成为助推乡村振兴和巩固脱贫攻坚的特色柑橘品种之一。2022 年广西柑橘种植面积 63.10 万 hm<sup>2</sup>、产量 1808.04 万 t, 产业规模居全国第一, 其中 12 月至翌年 4 月采收上市的柑橘占比超过全区柑橘总产量的 2/3, 采收期集中, 销售压力突出。因此, 本研究采收了不同成熟期的 W.默科特, 研究其在不同贮藏环境下的品质变化, 以期明确 W.默科特的适宜采收期及贮藏环境, 构建采后贮藏技术体系, 从而延长市场供应期, 提高抵御市场风险的能力。

柑橘为非呼吸跃变型果实, 果实品质在采前形成, 采收时期和贮藏温度直接影响了果实的采后品质和贮藏特性<sup>[1]</sup>。如: 黄色期采收的尤力克柠檬在 10℃ 环境下贮藏, 最佳贮藏时

间为 30 d，而绿熟期为 90 d<sup>[2]</sup>。常规采收期的温州蜜柑果实色泽指数和可溶性固形物较低，延后 60 d 采收的果实可溶性固形物含量增加，但采后腐烂率及乙醇和乙醛异味物质含量增加。0 ℃与 10 ℃贮藏的温州蜜柑果实乙醇和乙醛积累较高，5 ℃贮藏可维持采后果实良好品质<sup>[3]</sup>。纽荷尔脐橙在 14-16 ℃贮藏可显著促进果皮着色<sup>[4]</sup>，椪柑 4 ℃贮藏会发生冷害<sup>[5]</sup>。由此可见，不同的柑橘品种，其适宜的采收期和贮藏温度各不相同。

荆佳伊等<sup>[6]</sup>系统研究了西南地区不同采收期的 W.默科特在 8-10 ℃贮藏环境下的色泽、糖、酸等品质变化规律，然而广西柑橘熟期特性有别于重庆等柑橘产区，无法完全照搬其他产区的经验或做法，需要建立自己的采后生产技术体系。另外，风味改变不仅体现在酸甜味寡淡，还表现为异味产生，异味物质的生成直接影响了消费者的体验。因此，根据广西桂北地区 1 月至 3 月温度较低的气候条件，本文设置了 2~4 ℃、6~8 ℃和室温三个温度梯度，系统测定了不同采收期的 W.默科特在贮藏过程及室温模拟货架期期间，果实的外观品质、内在品质及异味物质含量，构建了广西 W.默科特产、贮、运、销为一体的数据库。综合考虑 W.默科特果实的外观品质和内在品质，以异味物质含量为突破口，明确 W.默科特的适宜采收期、贮藏温度和贮藏时间，构建适合广西的 W.默科特采后贮藏保鲜技术体系，延长市场供应期，为广西 W.默科特的规范化采收和提高其采后贮藏品质提供参考依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

分别于 2021 年 11 月 29 日（花后 251 d）、2021 年 12 月 22 日（花后 274 d）、2022 年 1 月 19 日（花后 302 d）和 2022 年 3 月 1 日（花后 343 d），在广西桂林鹏宇兄弟柑桔产业开发有限责任公司种植基地采收大小、着色基本一致，无病虫害的 W.默科特果实，采收当天运回广西特色作物研究院，进行常规化学药剂保鲜处理（0.04%百可得+0.03%咪鲜胺+0.02%2,4-D，浸泡 2 min）。果实经处理后，在阴凉通风处放置 2-3 d，待果面干燥后进行单果套袋。果实随机分 3 组，分别进行 2~4 ℃、6~8 ℃和室温贮藏，每个处理 600 个果。在贮藏第 0, 30, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 d 随机选 15 个果实取果汁，放-40 ℃冰箱保存待测。冷库贮藏的果实，每次取样时随机选 15 个果实放常温模拟货架期 7 d 后取果汁测定相关指标。待果实出现明显异味没有商品价值时停止取样。该实验重复两年，2020-2021 年采样时间分别为 2020 年 11 月 30 日、2020 年 12 月 22 日和 2021 年 1 月 20 日。

### 1.2 常规生理指标测定

1.2.1 果实失重率：用 0.01 g 电子天平称量。每个处理随机选 10 个果分别进行跟踪称重，贮藏结束后选没有腐烂的果实进行失重率计算。失重率=（初始重量-测定时重量）/原始重

量\*100。

1.2.2 果皮色差值测定：采用色差仪（CR-400，日本 Konica Minolta）测定  $L^*$ 、 $a^*$ 和  $b^*$ 。 $L$  表示颜色亮度，数值越大表明亮度越高； $a^*$ 表示红绿色差，正值为红色，负值为绿色； $b^*$ 表示黄蓝色差，正值为黄色，负值为蓝色。每个处理随机选 10 个果进行跟踪测定，每个果实不同方位固定选 6 个点测定，取平均值。

1.2.3 品质测定 每隔 15 或 30 d，随机选取 15 个果实，纱布过滤取汁，用 RA-250WE 手持式测糖仪（日本 KEM）测定可溶性固形物含量；指示剂法测定可滴定酸含量（GB/T 8210-2011 柑桔鲜果检验方法）；2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量（GB/T 5009.86-2016 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定），3 次重复。

### 1.3 还原糖和柠檬酸测定

参照周铁等<sup>[7]</sup>的方法略有改动，各处理随机选 15 个果实，每 5 个果为一个生物学重复，榨汁。取 5 mL 果汁至 25 mL 离心管，加入 15 mL 超纯水 75 °C 水浴 50 min，12000 r·min<sup>-1</sup> 离心 15 min，取上清 10 mL 至 25 mL 容量瓶定容，待测，3 次重复。使用岛津 LC20A 进行测定，还原糖检测条件：示差检测器、氨基柱（岛津 Inertsil NH2，4.6 mm×250 mm，5 μm）、柱温 40°C、流动相  $V_{\text{乙醇}}: V_{\text{超纯水}}=0.75:0.25$ 、总流速 1 mL·min<sup>-1</sup>、进样量 10 μL。柠檬酸检测条件：紫外检测器、C18 柱（岛津 Inertsil ODS-3，4.6mm×250mm，5μm）、柱温 17°C、检测波长 210nm、流动相  $V_{\text{乙醇}}: V_{0.02\% \text{磷酸}}=0.04: 0.96$ 、总流速 1 mL·min<sup>-1</sup>、进样量 10 μL，3 次重复。

### 1.4 乙醇、乙醛和甲醇测定

参照邹运乾等<sup>[8]</sup>的方法。各处理随机选 15 个果实，每 5 个果为一个生物学重复，榨汁。取 5 mL 果汁置于 20 mL 顶空玻璃瓶中，放入 HSS65.5 顶空进样器中，加热 15 min 至 80 °C。自动进样器吸取 1 mL 注入 GC（岛津，2010plus）进行测定，3 次重复。

GC 测定条件为：DB-624 色谱柱，柱温 40 °C，检测器（FID）温度 250 °C，进样口温度 250 °C，载气为 H<sub>2</sub>，恒压，载气流速 30 mL·min<sup>-1</sup>，分流比 1:10。

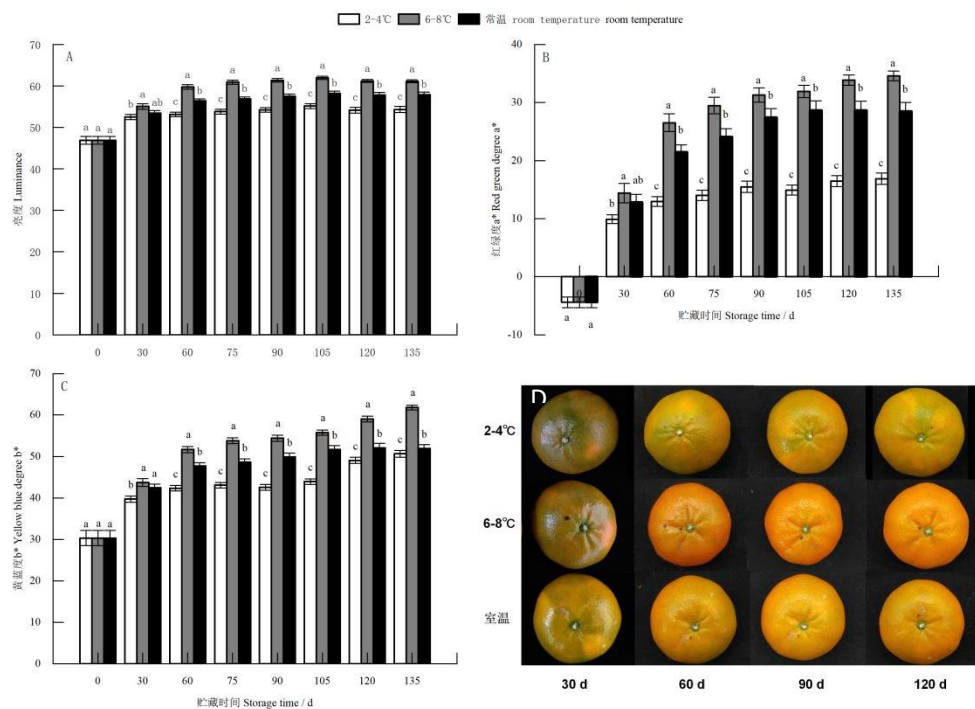
### 1.5 数据处理

用 Origin2018 软件进行数据分析和制图，用 spss 进行主成分综合评价分析，SAS 进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同贮藏温度对 W.默科特果实采后品质的影响

#### 2.1.1 不同温度贮藏过程中 W.默科特果实色泽变化



不同小写字母表示不同处理组在  $P < 0.05$  水平差异显著。下同

Different lowercase letters indicate significant differences at  $P < 0.05$  level. The same as below

图 1 不同温度贮藏条件下 W. 默科特果实亮度 (A)、红绿度值 (B)、黄蓝度值 (C) 和着色 (D) 变化  
Fig.1 Changes of *Citrus reticulata* Blanco L\* (A), a\* (B), b\* (C), coloring (D) under different temperature storage conditions

果皮色泽作为最重要的外观品质指标之一，直接影响着消费者的购买欲。以 2021 年 11 月 29 日采收的 W.默科特为例，分析比较了不同贮藏温度对果皮  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  的影响。果皮亮度  $L^*$  在贮藏过程中先上升然后趋于平缓，各处理相比，6~8 °C 贮藏的果实  $L^*$  值最高，2~4 °C 最低，贮藏 30 d 后各处理间差异显著（图 1，A）。果实  $a^*$  值在采收时为 -4.41，果实呈绿色，随着贮藏时间的延长  $a^*$  值不断上升，各处理相比，2~4 °C 贮藏的果实  $a^*$  值上升速度显著低于 6~8 °C 和室温贮藏的果实，6~8 °C 最高。贮藏第 60 d，2~4 °C、6~8 °C 和室温贮藏果实的  $a^*$  值分别为 12.94、26.51 和 21.46（图 1，B）。同样， $b^*$  值在贮藏过程中逐渐上升，30 d 后各处理间差异显著，6~8 °C 贮藏果实的  $b^*$  值最高，2~4 °C 最低（图 1，C）。这说明，6~8 °C 贮藏条件有利于果实转色，而 2~4 °C 贮藏抑制果实转色（图 1，D）。

### 2.1.2 不同温度贮藏过程中 W.默科特果实失重、可溶性固形物、可滴定酸及维生素 C 含量变化

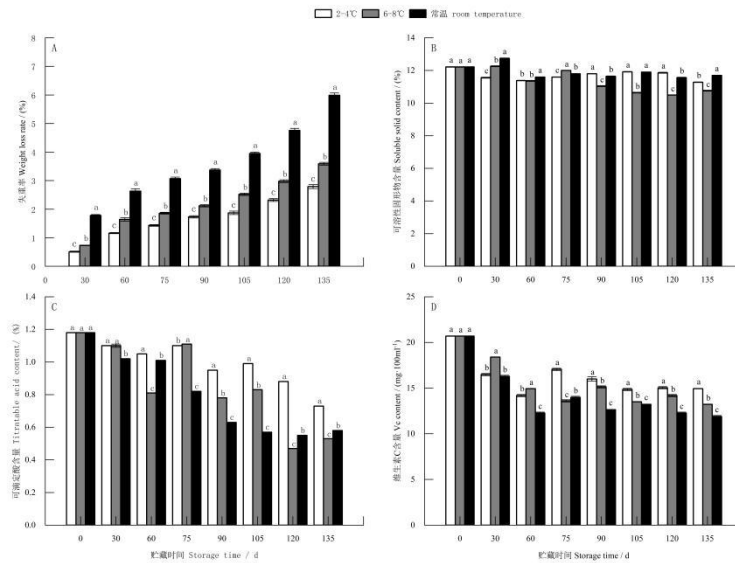


图 2 不同温度贮藏条件下 W.默科特果实失重 (A)、可溶性固形物 (B)、可滴定酸 (C) 和维生素 C (D) 含量变化

Fig.2 Changes in weight loss (A), soluble solids (B), titratable acid (C) and Vc (D) content of *Citrus reticulata* Blanco L fruit under different temperature storage conditions

由图 2 可知, W.默科特随着贮藏时间的延长失重率不断增加, 贮藏温度越低失重越慢, 各处理间差异显著, 在贮藏第 90 d, 2~4 °C、6~8 °C 和室温贮藏果实的失重率分别为 1.73%、2.12% 和 3.37%。低温贮藏的果实在整个贮藏过程中失重率小于 4%, 室温贮藏的果实在贮藏第 120 d 失重率为 4.76% (图 2, A)。可溶性固形物含量在 10.5%~12.5% 之间起伏波动。可滴定酸含量在贮藏过程中波动下降, 整体上 2~4 °C 贮藏的果实可滴定酸含量最高, 室温贮藏的果实最低 (图 2, C)。维生素 C 含量在贮藏过程中呈现先快速下降然后趋于稳定的变化趋势, 低温贮藏的果实维生素 C 含量显著高于常温。2~4 °C 与 6~8 °C 相比, 在贮藏前 60 d, 2~4 °C 贮藏果实的维生素 C 含量显著低于 6~8 °C, 60 d 后高于 6~8 °C。在贮藏第 90 d, 2~4 °C、6~8 °C 和室温贮藏果实的维生素 C 含量分别为 16.00、15.13 和 12.64 mg·100mL<sup>-1</sup>。这说明, 低温贮藏可延缓果实的失重, 延缓可滴定酸和维生素 C 的下降速度 (图 2, D)。

### 2.1.3 不同温度贮藏过程中 W.默科特果实还原糖和柠檬酸含量变化

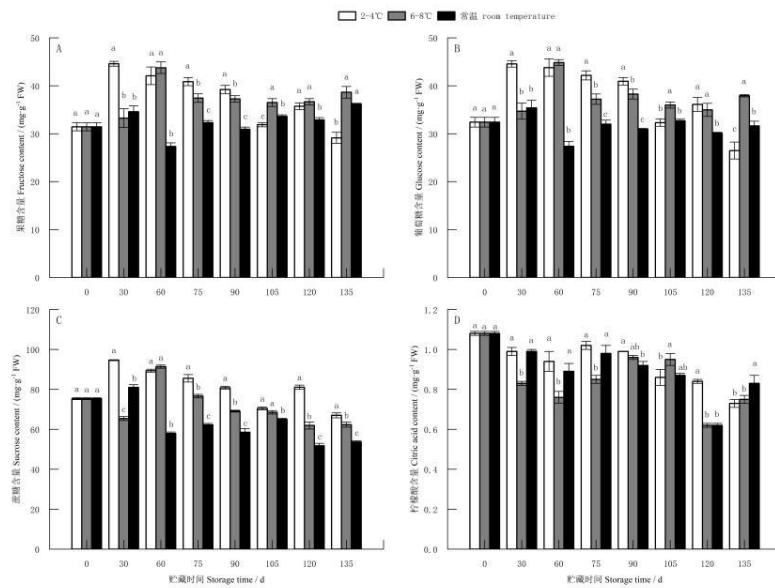


图3 不同温度贮藏条件下W.默科特果实葡萄糖(A)、果糖(B)、蔗糖(C)和柠檬酸(D)含量变化

Fig.3 Changes in glucose(A), fructose(B), sucrose(C) and citric acid(D) contents of *Citrus reticulata* Blanco L fruit under different temperature storage conditions

由图3可知, W.默科特果实中可溶性糖以蔗糖含量最高, 采收期时蔗糖含量为  $75.35 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 葡萄糖为  $32.40 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 果糖为  $31.44 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。贮藏过程中各处理果实果糖、葡萄糖和蔗糖含量呈先上升再下降的变化趋势, 整体上低温贮藏果实的可溶性糖含量高于室温贮藏的果实。在贮藏第90 d,  $2\sim 4^\circ\text{C}$ 、 $6\sim 8^\circ\text{C}$ 和室温贮藏果实的果糖含量分别为  $39.21$ 、 $37.25$ 和  $30.95 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 葡萄糖含量分别为  $40.94$ 、 $38.27$ 和  $30.92 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 蔗糖含量分别为  $80.78$ 、 $69.07$ 和  $58.54 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。柠檬酸含量在贮藏过程中呈先下降再上升然后再下降的波动变化, 各处理间无明显变化规律。以上结果表明, 低温贮藏可提高果实还原糖含量。

#### 2.1.4 不同温度贮藏过程中W.默科特果实甲醇、乙醇和乙醛含量变化

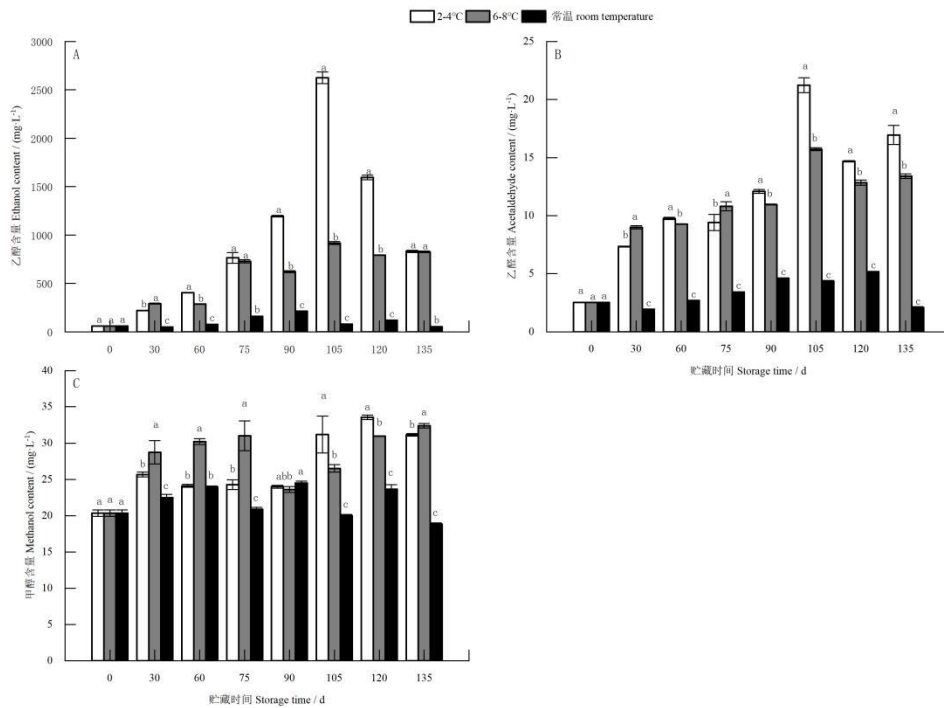


图 4 不同温度贮藏条件下 W.默科特果实甲醇 (A)、乙醇 (B) 和乙醛 (C) 含量变化

Fig.4 Changes in methanol (A), ethanol (B) and acetaldehyde (C) contents of *Citrus reticulata* Blanco L fruit under different temperature storage conditions

乙醇和乙醛是柑橘果实产生异味的重要影响物质之一，而异味物质的有无与含量高低是影响消费者购买商品的另外一个主要因素。由图 4 可知，在整个贮藏过程中，常温贮藏的果实乙醇含量维持在一个较低的水平，最高为 212.80 mg·L<sup>-1</sup>。低温贮藏果实的乙醇含量显著高于室温贮藏的果实，贮藏 30 d 后，2~4 °C 贮藏果实的乙醇含量显著高于 6~8 °C。在贮藏第 60 d，2~4 °C、6~8 °C 和常温贮藏果实的乙醇含量分别为 403.30、285.61 和 77.10 mg·L<sup>-1</sup>。贮藏第 105 d，2~4 °C 贮藏果实的乙醇含量为 2623.83 mg·L<sup>-1</sup>，可以明显感觉到酒精味（图 4，A）。同样，低温贮藏果实的乙醛含量显著高于室温贮藏的果实，贮藏 90 d 后，2~4 °C 贮藏果实的乙醛含量显著高于 6~8 °C。在贮藏第 90 d，2~4 °C、6~8 °C 和常温贮藏果实的乙醛含量分别为 12.09、10.96 和 4.61 mg·L<sup>-1</sup>（图 4，B）。甲醇含量在贮藏过程中波动变化，贮藏 105 d 后，低温贮藏果实的甲醇含量显著高于室温贮藏的果实（图 4，C）。以上结果表明，低温贮藏的果实甲醇、乙醇和乙醛含量更高，且 2~4 °C 显著高于 6~8 °C 贮藏。



### 2.1.5 2~4 °C和 6~8 °C低温贮藏转室温 7 d W.默科特果实甲醇、乙醇和乙醛含量变化

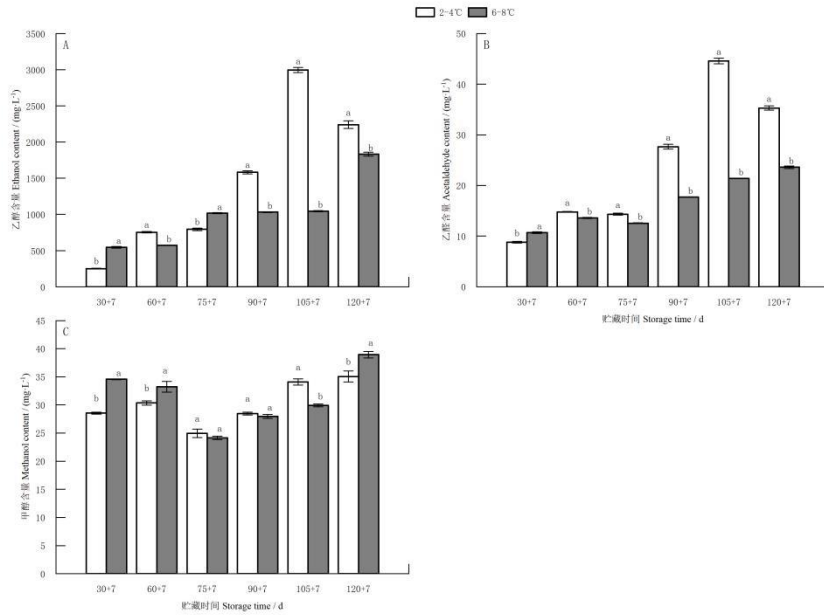


图 5 不同低温贮藏转室温货架期 W.默科特果实乙醇 (A)、乙醛 (B) 和甲醇 (C) 含量变化

Fig. 5 Changes of ethanol (A), acetaldehyde (B) and methanol (C) contents of *Citrus reticulata* Blanco L fruit during different low-temperature storage to room temperature shelf life

低温贮藏的果实转室温销售过程中，最突出的变化是异味物质含量的迅速增高。因此，本试验分析比较了经 2~4 °C 和 6~8 °C 不同低温贮藏的果实转室温 7 d 后乙醇、乙醛和甲醇含量。由图 5 可知，贮藏前 75 d，2~4 °C 和 6~8 °C 贮藏转室温乙醇和乙醛含量相对较低，75 d 后 2~4 °C 显著高于 6~8 °C。2~4 °C 环境条件下的果实，在贮藏 90 d 后转室温 7 d 乙醇含量急剧上升为 1581.37 mg·L<sup>-1</sup>。6~8 °C 环境条件下的果实，在贮藏 120 d 后转室温 7 d 乙醇含量为 1832.43 mg·L<sup>-1</sup> (图 5, A 和 B)。贮藏过程中甲醇含量呈先下降后上升的变化趋势，含量在 24.15~38.93 mg·L<sup>-1</sup> 期间波动 (图 5, C)。这说明，经 2~4 °C 低温贮藏的果实转常温货架期后果实异味物质含量更高。综上认为，2~4 °C 和 6~8 °C 相比，6~8 °C 是更为适宜的贮藏温度。

### 2.1.6 W.默科特品质主成分分析及最佳处理温度筛选

表 1 W.默科特品质主成分分析

Table 1 Principal component analysis of *Citrus reticulata* Blanco L quality

品质指标 Quality indexes	主成分 Principal component		
	PC1	PC2	PC3
失重率 Weight loss rate	0.593	-0.589	-0.349
亮度 Luminance	0.894	0.007	0.027
红绿度 Red/Green degree	0.946	-0.14	-0.109

黄蓝度 Yellow/Blue degree	0.944	-0.154	0.14
可溶性固形物 Soluble solid content	-0.755	-0.229	-0.269
可滴定酸 Titratable acid content	-0.793	0.361	0.114
维生素 C vitamin C	-0.631	0.443	0.283
果糖 Fructose	0.069	0.95	-0.024
葡萄糖 Glucose	-0.094	0.977	0.03
蔗糖 Sucrose	-0.464	0.809	0.171
柠檬酸 Citric acid	-0.573	0.351	-0.319
甲醇 Methanol	0.135	0.101	0.888
乙醇 Ethanol	-0.121	-0.033	0.863
乙醛 Acetaldehyde	0.078	0.123	0.947
特征值 Eigenvalue	5.13	3.429	2.883
贡献率 Contribution rate(%)	36.646	24.491	20.591
累积贡献率 Cumulative contribution rate(%)	36.646	61.137	81.728
贡献率权重 contribution rate weight	0.448	0.300	0.252

对不同温度以及不同贮藏期 W.默科特果实的 14 个主要品质进行主成分分析, 以特征值大于 1 为标准, 共确定了 3 个主成分, 累积贡献率为 81.728% (表 1)。第 1 主成分特征值为 5.13, 贡献率为 36.646%, 主要涉及失重率、亮度、红绿度值、黄蓝度值、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 和柠檬酸。第 2 主成分特征值为 3.429, 贡献率为 24.491%, 主要涉及果糖、葡萄糖、蔗糖。第 3 主成分特征值为 2.883, 贡献率为 20.591%, 主要涉及甲醇、乙醇和乙醛。根据因子得分系数及贡献率权重 (0.448、0.300、0.252), 计算出各个处理各个时期综合得分, 可知 6~8 °C 贮藏的果实得分更高, 三个温度相比, 6~8 °C 是更为适宜的贮藏温度 (表 2)。

表 2 不同处理不同采收期 W.默科特得分表

Table 2 *Citrus reticulata* Blanco L score table for different treatments and different harvest periods

	PC1 得分 Principal component 1 score	PC2 得分 Principal component 2 score	PC3 得分 Principal component 3 score	综合得分 Comprehensive score	排名 Rank
6~8 °C 135d	0.83	0.11	0.19	1.13	1
6~8 °C 120d	0.80	0.02	0.23	1.05	2
6~8 °C 60d	0.36	0.53	0.02	0.91	3
6~8 °C 105d	0.51	0.15	0.13	0.78	4
6~8 °C 90d	0.38	0.22	-0.04	0.55	5
6~8 °C 75d	0.15	0.12	0.11	0.38	6
2~4 °C 120d	-0.25	-0.06	0.36	0.05	7
2~4 °C 60d	-0.29	0.40	-0.09	0.02	8
2~4 °C 30d	-0.48	0.54	-0.12	-0.06	9
2~4 °C 75d	-0.43	0.35	-0.03	-0.12	10

2~4 °C 90d	-0.39	0.19	0.04	-0.15	11
室温 120d	0.37	-0.37	-0.16	-0.17	12
2~4 °C 105d	-0.47	-0.32	0.58	-0.21	13
2~4 °C 135d	-0.14	-0.43	0.35	-0.22	14
室温 105d	0.19	-0.17	-0.31	-0.29	15
室温 135d	0.34	-0.25	-0.42	-0.32	16
室温 90d	0.11	-0.28	-0.19	-0.36	17
室温 75d	-0.10	-0.18	-0.28	-0.57	18
6~8 °C 30d	-0.58	-0.11	0.09	-0.60	19
室温 60d	-0.20	-0.42	-0.19	-0.81	20
室温 30d	-0.69	-0.04	-0.27	-1.00	21

## 2.2 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 低温贮藏过程中品质变化规律

### 2.2.1 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 贮藏过程中果皮色泽变化

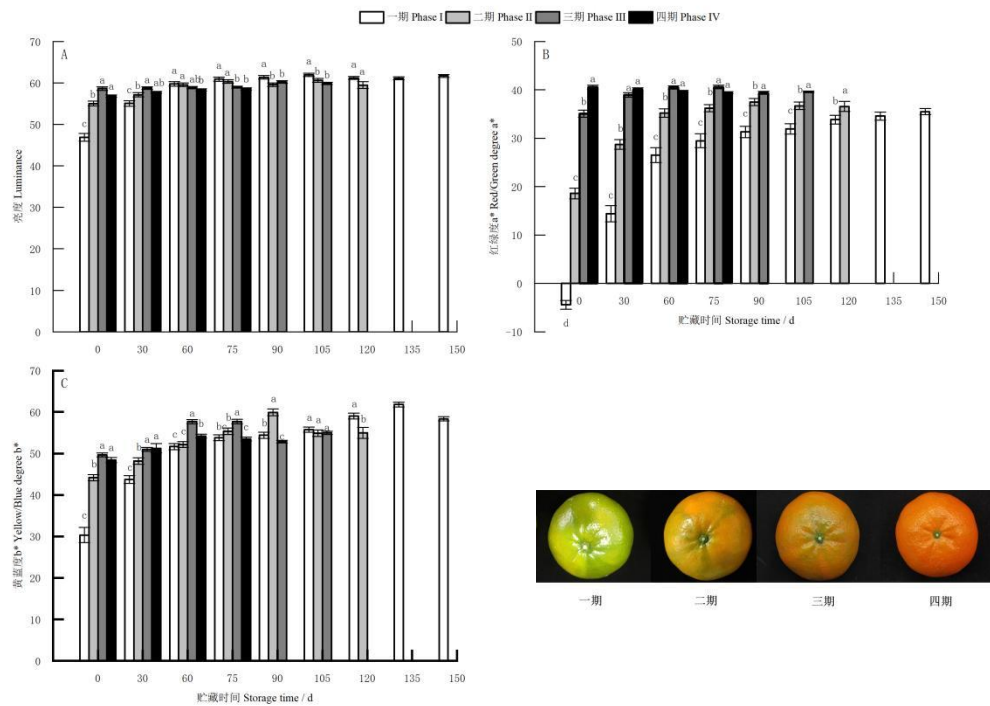


图 6 不同采收期 W.默科特果实 6~8 °C 贮藏过程中果实亮度 (A)、红绿度值 (B)、黄蓝度值 (C) 和着色 (D) 变化

Fig. 6 Changes of L\* (A), a\* (B), b\* (C), coloring (D) during storage of *Citrus reticulata* Blanco L fruit at 6~8 °C at different harvest periods

果皮色泽是判断果实成熟度的重要指标之一，如图 6 所示，随着采收期的延迟，果皮亮度不断上升至三期后略有下降，各处理果实果皮亮度 L\* 在贮藏过程中先上升然后趋于平缓，贮藏前 30 d, L\* 值三期 > 四期 > 二期 > 一期，三期和四期差异不显著，与其他各处理差

异显著；贮藏 60 d 后，L\*值一期>二期>三期>四期（图 6，A）。a\*值随着采收期的延迟，由负值变为正值，不断上升；随着贮藏期的延长，一期、二期和三期果实的 a\*值不断上升，四期保持稳定；贮藏过程中三期和四期的 a\*值最高，二人次之，一期最低；在贮藏第 75 d，一期、二期、三期和四期果实的 a\*值分别为 29.47、36.21、40.57 和 39.39（图 6，B）。b\*值随着采收期的延迟不断上升至三期后略有下降，各采收期果实 b\*值在贮藏过程中先上升再下降，且采收期越晚 b\*峰值出现的时间越早（图 6，C）。这说明，随着采收期的延迟，果皮颜色由绿色转黄色到橙色再到砖红色，展现了果实外观品质特点。

### 2.2.2 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 贮藏过程中失重率、可溶性固形物、可滴定酸及维生素 C 含量变化

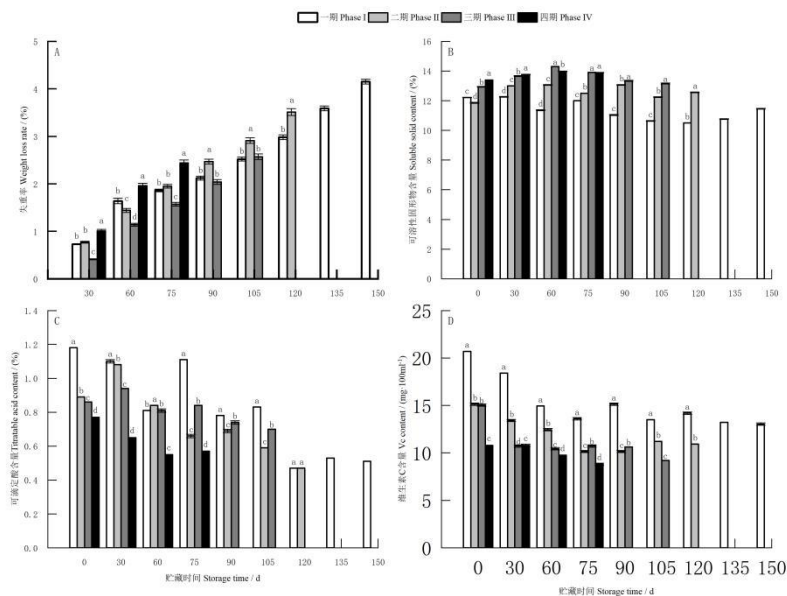


图 7 不同采收期 W.默科特果实 6~8 °C 贮藏过程中失重 (A)、可溶性固形物 (B)、可滴定酸 (C) 和维生素 C (D) 含量变化

Fig. 7 Changes of weight loss (A), soluble solids (B), titratable acid (C) and Vc (D) content of *Citrus reticulata* Blanco L fruit at 6~8 °C at different harvest periods

如图 7 所示，在贮藏过程中各采收期 W.默科特果实失重率不断上升，贮藏结束时失重率均小于 5%。各处理相比，四期失重最快，一期、二人次之，三期失重最慢，在贮藏第 75 d，一期、二期、三期和四期果实的失重率分别为 1.86%、1.95%、1.57%和 2.44%（图 7，A）。可溶性固形物含量随着采收期的延迟不断上升，且各处理间差异显著，贮藏过程中各处理可溶性固形物含量起伏波动，一期和二期可溶性固形物含量显著低于三期和四期（图 7，B）。可滴定酸含量随着采收期的延迟逐渐下降，各处理果实可滴定酸含量在贮藏过程中波动下降，一期果实的可滴定酸含量最高，四期含量最低（图 7，C）。维生素 C 含量随着采收

期的延迟逐渐下降，各处理果实维生素 C 含量在贮藏过程中呈先快速下降然后趋于平缓的变化趋势。四期果实维生素 C 含量最低，但下降速率最慢。在贮藏第 60 d，一期、二期、三期和四期果实的维生素 C 含量分别为 14.94、12.45、10.44 和 9.75 mg·100mL<sup>-1</sup>（图 7，D）。以上结果表明，在贮藏过程中三期果实失重速率最慢，三期和四期果实的可溶性固形物含量显著高于一期和二期，四期的可滴定酸和维生素 C 含量最低。

### 2.2.3 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 贮藏过程还原糖和柠檬酸含量变化

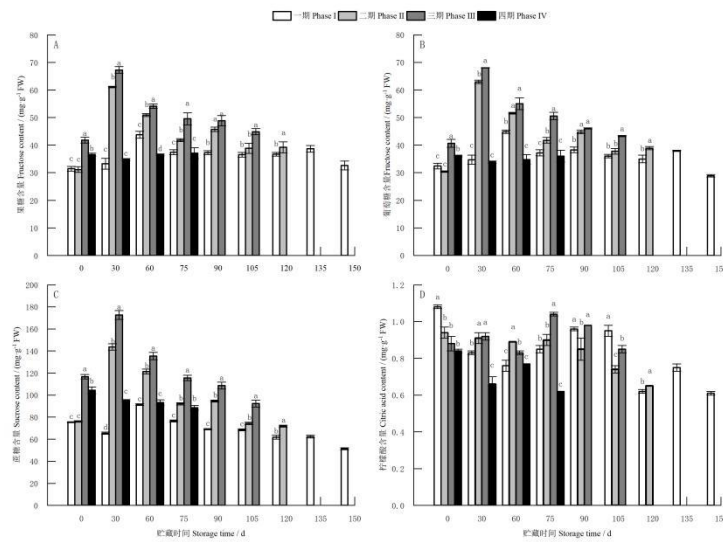


图 8 不同采收期 W.默科特果实 6~8 °C 贮藏过程中还原糖和柠檬酸含量变化

Fig. 8 Changes of reducing sugar and citric acid content of *Citrus reticulata* Blanco L fruits during storage at 6~8 °C at different harvest stages

由图 8 可知，W.默科特果实的果糖、蔗糖和葡萄糖含量在采收时一期、二期差异不显著，三期含量最高，四期下降但显著高于一期和二期。在贮藏过程中，一期、二期和三期果实的果糖、葡萄糖和蔗糖含量呈先上升后下降的变化趋势，四期变化幅度不大。整个贮藏过程中一期和四期还原糖含量处于一个较低的水平，三期含量显著高于其他时期。柠檬酸含量随着采收期的延迟逐渐下降，贮藏过程中各采收期果实柠檬酸含量波动变化，呈先下降再上升然后再次下降的变化过程，四期含量最低。

### 2.2.4 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 贮藏过程中乙醇、乙醛和甲醇含量变化

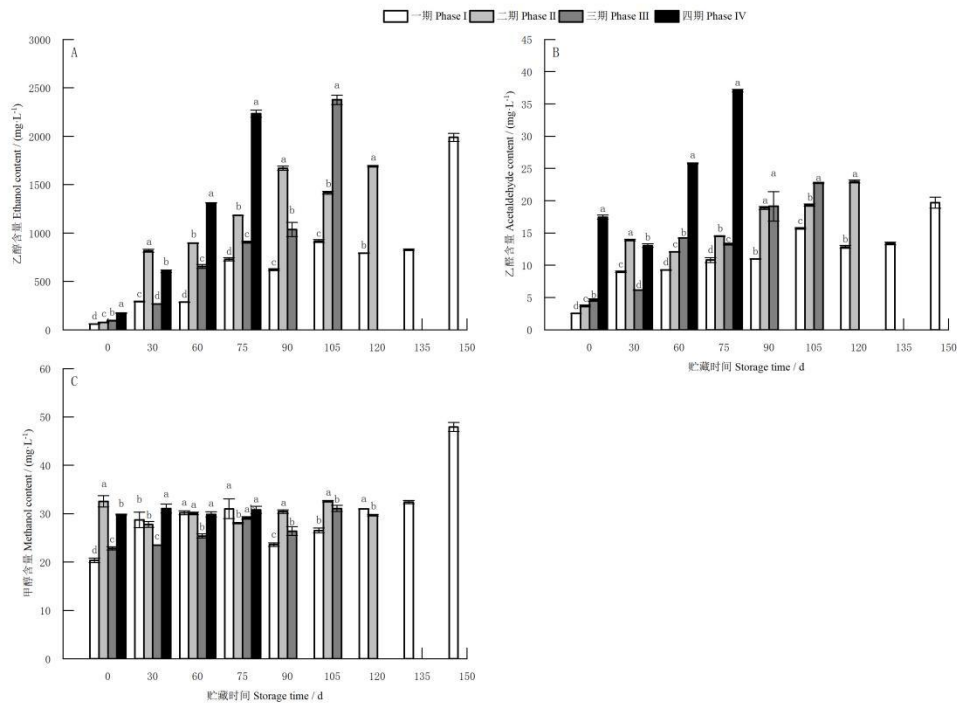


图 9 不同采收期 W.默科特果实在 6~8 °C 贮藏过程中乙醇 (A)、乙醛 (B) 和甲醇 (C) 含量变化  
 Fig. 9 Changes of ethanol (A), acetaldehyde (B) and methanol (C) content of *Citrus reticulata* Blanco L fruit during storage at 6~8 °C at different harvest stages

由图 9 可知,随着采收期的延迟 W.默科特果实的乙醇含量逐渐上升,四期最高为 172.59 mg·L<sup>-1</sup>,在贮藏过程中各处理果实乙醇含量呈波动上升的变化趋势。各处理相比,一期果实乙醇含量生成速度最慢,在贮藏第 135 d 为 826.84 mg·L<sup>-1</sup>。二期和三期果实乙醇含量上升速度次之,三期果实在贮藏第 90 d 乙醇含量为 1035.09 mg·L<sup>-1</sup>。四期果实乙醇含量上升速度最快,在贮藏第 60 d 为 1344.58 mg·L<sup>-1</sup> (图 9, A)。乙醛和乙醇含量变化趋势基本一致,采收期越晚乙醛含量越高,在贮藏过程中一期乙醛上升速率最慢,二期、三期次之,四期上升速率最快 (图 9, B)。各采收期果实的甲醇含量在贮藏过程中波动变化,各采收期相比无明显变化规律 (图 9, C)。这表明,采收越晚,乙醇和乙醛生成速率越快,含量越高。

### 2.2.5 不同采收期 W.默科特在 6~8 °C 低温贮藏转室温 7 d 后甲醇、乙醇和乙醛含量变化

表 3 不同采收期 W.默科特果实在 6~8 °C 贮藏转室温后甲醇、乙醇和乙醛含量变化

Table. 3 Changes of methanol, ethanol and acetaldehyde contents of *Citrus reticulata* Blanco L fruits at 6~8 °C after storage at room temperature at different harvest stages

采收期	采样时期	甲醇	乙醇	乙醛
Harvest stage	Sampling period	Methanol content(mg·L <sup>-1</sup> )	Ethanol content(mg·L <sup>-1</sup> )	Acetaldehyde content(mg·L <sup>-1</sup> )
一期 Phase I	30 d	28.73±1.62b	291.71±5.76b	8.99±0.14b
	30+7 d	34.56±0.08a	545.61±12.46a	10.69±0.17a
	60 d	30.20±0.41b	285.61±0.68b	9.27±0.03b

	60+7 d	33.22±0.94a	570.97±3.89a	13.59±0.11a
	75 d	31.00±2.05a	728.46±16.47b	10.81±0.38b
	75+7 d	24.15±0.30b	1016.46±8.33a	12.55±0.10a
	90 d	23.60±0.38b	620.94±9.93b	10.96±0.04b
	90+7 d	27.95±0.36a	1031.62±7.25a	17.69±0.06a
	105 d	26.52±0.51b	916.36±15.82b	15.72±0.12b
	105+7 d	29.90±0.25a	1046.07±8.17a	21.38±0.05a
	120 d	30.97±0.01b	791.92±2.45b	12.84±0.22b
	120+7 d	38.93±0.57a	1832.43±28.48a	23.6±0.24a
二期 Phase II	30 d	27.78±0.63a	816.17±15.07a	13.92±0.12a
	30+7 d	28.40±0.37a	586.43±6.51b	12.46±0.03b
	60 d	30.03±0.26a	894.79±3.34b	12.09±0.06b
	60+7 d	27.51±0.58b	2074.19±18.25a	24.68±0.11a
	75 d	28.04±0.14b	1181.95±1.15b	14.51±0.07b
	75+7 d	43.02±0.09a	3760.17±11.63a	41.76±0.39a
	90 d	30.43±0.38b	1668.64±22.29b	18.88±0.21b
	90+7 d	38.76±0.39a	2322.56±18.95a	28.90±0.09a
	105 d	32.54±0.17b	1415.93±14.69b	19.34±0.17b
	105+7 d	46.72±0.7a	3380.13±50.98a	37.11±0.09a
	120 d	29.68±0.15b	1689.36±8.39b	22.97±0.23b
	120+7 d	48.00±1.13a	3117.51±45.49a	36.67±0.18a
三期 Phase III	30 d	23.52±0.00a	266.26±1.18b	6.18±0.05b
	30+7 d	20.79±0.27b	507.92±8.05a	12.28±0.21a
	60 d	25.39±0.42b	654.68±20.24b	14.23±0.07b
	60+7 d	29.53±0.23a	1899.99±29.60a	35.3±0.22a
	75 d	29.11±0.29b	904.77±10.15b	13.28±0.16b
	75+7 d	32.11±0.57a	1958.10±6.67a	35.77±0.34a
	90 d	26.39±0.92b	1035.09±74.25b	19.13±2.27b
	90+7 d	37.77±1.98a	2219.49±181.94a	35.98±2.56a
	105 d	31.07±0.64a	2376.34±48.79a	22.78±0.10b
	105+7 d	30.35±0.67a	2022.24±41.38b	25.38±0.18a
四期 Phase IV	30 d	31.04±0.93a	603.83±12.98b	13.04±0.27b
	30+7 d	23.25±0.37b	1053.60±5.28a	29.33±0.24a
	60 d	29.86±0.55a	1311.58±1.50a	25.80±0.07b
	60+7 d	27.3±0.34b	1284.73±14.7a	28.68±0.23a
	75 d	30.78±0.74b	2232.98±37.14a	37.05±0.20a
	75+7 d	34.03±0.39a	2190.30±20.87a	30.99±0.21b

不同小写字母表示贮藏期和货架期在 P<0.05 水平差异显著。

Different lowercase letters indicate significant differences between storage period and shelf life at P<0.05 level.

由表 3 可知, 各采收期的 W.默科特在 6~8 °C 贮藏一段时间后转室温 7 d 乙醇含量普遍增高, 一期果实转室温后乙醇形成速度最慢, 贮藏 120 d 后转室温乙醇含量超过 1500 mg·L<sup>-1</sup> 阈值, 二、三和四期在低温贮藏 75 d 后转室温 7 d 乙醇含量分别为 3760.17、1958.10 和 2190.30 mg·L<sup>-1</sup> 超过 1500 mg·L<sup>-1</sup> 的阈值。同样, 转室温后果实的乙醛含量显著高于贮藏期, 一期果实货架期乙醛形成速率低于其他时期。一期、二期、三期和四期果实贮藏 75 d 后转室温 7 d 乙醛含量分别为 12.55、41.76、35.77 和 30.99 mg·L<sup>-1</sup>。整体上, 货架期甲醇含量高于贮藏期。

### 3 讨论

#### 3.1 采收时间和贮藏温度对果实色泽的影响

柑橘为非呼吸跃变型果实, 果实品质在采前形成, 采摘过早, 果实成熟度低, 果实固有的品质和风味不能呈现; 采摘太晚, 果实异味物质形成, 采后耐贮性差。采收时果实成熟度直接影响着果实采后生理代谢<sup>[9]</sup>。因此, 适时采收既可以充分体现果实品质, 又可以延长果实上市期。其中, 果皮色泽是判断果实成熟度的重要指标之一, 且果皮色泽作为最重要的外观品质指标之一, 直接影响着消费者的购买欲。研究表明, 随着柑橘果实的成熟, 叶绿素分解, 类胡萝卜素积累, 果实绿色褪去, 逐渐表现出果实应有的色泽特点<sup>[10]</sup>。本试验中, 随着采收期的延迟, 果实 A\*值和 B\*值急剧上升, 三期和四期时达到最高值, 说明三期时果实成熟。同样, 环境温度也直接影响着植物类胡萝卜素的合成和降解。有研究表明, 7.5-10 °C 贮藏可促进奈维林娜脐橙果实中色素的积累<sup>[11]</sup>, 3 °C 贮藏可促进葡萄柚果实叶绿素的降解和番茄红色的积累<sup>[12]</sup>, 14-16 °C 是促进纽荷尔脐橙果皮着色的最佳温度, 可促进 β-柠乌素和总类胡萝卜素的积累, 5 °C、20 °C 和 25 °C 贮藏的果实果皮色泽无显著性变化<sup>[4]</sup>, 说明柑橘采后果皮的着色温度并不是越高越好, 适度低温可促进果实着色, 这与本文的研究一致。本试验中, 6~8 °C 贮藏的 W.默科特着色最好, 室温次之, 2~4 °C 最差, 说明 6~8 °C 贮藏可促进 W.默科特果实采后转色。

#### 3.2 采收时间和贮藏温度对果实内在品质的影响

果实的腐烂率是评判果实采后贮藏性能的关键参数。本研究中, 不用采收期经保鲜处理的 W.默科特果实不同温度贮藏过程中腐烂率为 0-1.33%(因腐烂率低, 本文未用图标表示), 这说明 W.默科特较耐储运, 采后保鲜应从品质维持入手。果实的新鲜度直接影响消费者的购买欲望, 柑橘果实采收之后仍然是一个活体器官, 在贮藏过程中, 果实呼吸作用及表皮蒸腾作用导致果实水分的散失和失重的增加, 低温贮藏会减缓果实的呼吸作用和蒸腾作用从而降低果实的失重率<sup>[5]</sup>, 这与本研究一致。另外, 过早或过晚采收也会导致失重的增加。有研究表明, 11 月上旬采收的碰柑比 11 月下旬采收的碰柑失重率高<sup>[13]</sup>, 11 月下旬和 2 月份采收



的 W. 默科特的失重率高于 12 月和 1 月份采收的果实<sup>[6]</sup>,早采的桃溪蜜柚失重率高于晚采<sup>[14]</sup>,延后采收的温州蜜柑比常规采摘的失重率高<sup>[3]</sup>,这与本试验中,四期失重最快,一期、二期次之,三期最慢的研究结果一致。这是因为早采的果实处于发育阶段呼吸作用强,晚采的果实成熟后衰老进程加快呼吸速率快。

果实甜味和酸味是消费者最关注的内在指标之一,可溶性糖含量主要影响果实甜味,有机酸主要影响酸度,柑橘中可溶性糖主要包括蔗糖、果糖和葡萄糖,有机酸主要以柠檬酸为主<sup>[15]</sup>。糖为多种代谢途径提供底物及能量等,糖含量会随着柑橘果实的生长发育逐渐积累,成熟衰老后会逐渐消耗降解<sup>[16,17]</sup>,但也有研究表明,柑橘果实贮藏初期,果汁中还原糖含量暂时有所提高,其后不断降低,这与本文中随着采收期的延迟糖含量逐渐上升,贮藏过程中蔗糖含量先上升后下降的结果一致。同样,柠檬酸随着果实的发育逐渐积累并运入液泡贮藏,随着果实的成熟被运出液泡进行分解降解,在贮藏过程中逐渐消耗<sup>[18]</sup>,这与本研究中随着采收期的延迟酸含量逐渐下降,贮藏过程中柠檬酸含量波动下降的研究结果基本一致。低温贮藏可以通过抑制代谢相关基因或酶活性,减少呼吸和能量代谢物的转运和消耗,维持果实贮藏期间的风味品质<sup>[19]</sup>,这与本文中低温贮藏延缓果实可滴定酸和维生素 C 含量的下降速率的研究一致。

### 3.3 采收时间和贮藏温度对果实异味物质含量的影响

随着贮藏时间的延长,风味劣变不仅体现在酸甜味寡淡,还表现为异味产生。异味物质的有无与含量高低是影响消费者购买商品的另外一个主要因素。乙醇、乙醛和甲醇是柑橘果实产生异味的重要影响物质之一,过多的积累会导致柑橘果实酒精味加重,直接影响消费者体验。研究发现,果实在成熟过程中乙醇、乙醛和甲醇少量生成,且对果实风味有益<sup>[20]</sup>,若贮藏条件不当,果实无氧呼吸产生,乙醇和乙醛等物质大量积累从而产生异味<sup>[21-22]</sup>。研究表明,锦橙在 7 °C 贮藏条件下,果实乙醇含量显著低于 13 °C 贮藏的果实<sup>[23]</sup>,胡柚在 12 °C 环境条件下,果实乙醇和乙醛含量低于 4 °C 贮藏的果实<sup>[5]</sup>,温州蜜柑在 5 °C 贮藏可有效缓解乙醇和乙醛的积累,0 和 10 °C 贮藏乙醇和乙醛积累较高<sup>[3]</sup>。本试验研究表明,在贮藏前期 2~4 °C 环境下果实乙醇和乙醛含量低于 6~8 °C,贮藏 60 d 后显著高于 6~8 °C,这与椪柑在 5 °C 环境条件下,贮藏前期果实中乙醛和乙醇含量显著低于 15 °C 的果实,贮藏 90 d 乙醇和乙醛含量增至接近或超过 15 °C 的研究基本一致<sup>[24]</sup>,这是因为 2~4 °C 贮藏果实呼吸效率低,但长时间低温贮藏导致果实发生冷害品质劣变从而异味生成。室温贮藏的果实乙醇和乙醛含量显著低于低温贮藏,这可能是因为室温贮藏温度呼吸速率和蒸腾作用强,乙醇和乙醛随水分一起蒸发,导致含量低。除外界环境的影响,柑橘果实衰老进程的加快也会使乙醇

和乙醛大量积累<sup>[25]</sup>，这与本研究随着贮藏时间的延长乙醇和乙醛含量逐渐上升，且采收越晚乙醇和乙醛积累的速度越快的研究结果一致。甲醇在整个贮藏过程变化幅度较低，同样，有研究发现樱桃在冷藏超低氧处理下甲醇含量较稳定<sup>[26]</sup>，这说明 W.默科特果实无氧呼吸的代谢产物主要是乙醇和乙醛。另外，本试验研究发现，常温货架期果实乙醇和乙醛含量显著高于贮藏期，这与在温州蜜柑<sup>[3]</sup>和脐橙<sup>[27]</sup>上的研究一致，货架期温度的升高会导致异味物质的快速积累。对于全程冷链尚不完善的广西，运输和销售期间异味物质的快速生成，是 W.默科特产业面临的突出问题，如何缓解货架期果实异味物质的生成，需要进一步研究。

#### 4 结论

综上所述，低温贮藏可以显著降低 W.默科特果实失重率，延缓果实可滴定酸和维生素 C 含量的下降速率，提高果实可溶性糖含量。6~8 °C 贮藏可促进果实着色，且乙醇和乙醛生成速率小于 2~4 °C，是适宜的低温贮藏温度，但贮藏时间不宜超过 90 d，低温贮藏 60 d 后转室温异味物质含量显著上升，不宜常温出库。当果实绿色褪去，可溶性固形物高于 11%，可滴定酸 0.8%~0.9%（花后 270 d 至 300 d，桂林地区 12 月下旬至翌年 1 月下旬）果实失重慢、着色好、可溶性固形物含量高、乙醇和乙醛生产速率慢为 W.默科特贮藏的最佳采收期。

#### 5 参考文献 References:

- [1]刘洋.采收期、贮藏方式和温度对“纽荷尔”脐橙贮藏果皮色泽影响的研究[D].南昌:江西农业大学,2015.  
LIU Yang. Effects of harvest date, storage methods and temperature on pell color of “Newhall” navel orange during storage[D].Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015.
- [2]SUN Y D, SINGH Z, TOKALA V Y, Heather B. Harvest maturity stage and cold storage period influence lemon fruit quality[J].Scientia Horticulturae, 2019, 249: 322-328.
- [3]勾邦睿.完熟栽培温州蜜柑果实适宜采收期与贮藏温度研究[D].浙江:浙江大学,2021.  
GOU Bangrui.Studies on proper harvest time and postharvest storage temperature for full-ripened satsuma mandarin fruit[D].Zhejiang: Zhejiang University, 2021.
- [4]符昂.贮藏温度影响柑橘果皮着色的机制研究[D].武汉:华中农业大学,2021.

FU Ang. Study on the mechanism of storage temperature affecting the coloring of citrus peel[D].Wuhan : Huangzhong Agricultural University, 2021.

[5]范潇博.浙江主要晚熟柑橘贮藏影响因子与技术研究[D].浙江：浙江大学，2021.

FAN Xiaobo. Factors and techniques for storage of main late maturing citrus in zhejiang[D].Zhejiang： ZheJiang University, 2021.

[6]荆佳伊, 刘晓佳, 邓丽莉, 姚世响, 曾凯芳.采收成熟度对晚熟 W.默科特柑橘贮藏期品质的影响[J].农业工程学报, 2021, 37(05): 303-309.

JING Jiayi, LIU Xiaojia, DENG Lili, YAO Shixiang, ZENG Kaifang. Effects of harvesting maturity on the quality changes during storage of late maturing W.Murcott[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(05): 303-309.

[7]周铁, 马小川, 唐超兰, 吕璧纹, 陈沙, 龙立长, 肖海卫, 刘永忠, 谢深喜, 卢晓鹏.果实膨大期干旱对冰糖橙果实品质的影响[J].南方农业学报, 2020, 51(10): 2507-2514.

ZHOU Tie, MA Xiaochuan, TANG Chaolan, LV Biwen, CHEN Sha, LONG Lichang, XIAO Haiwei, LIU Yongzhong, XIE Shenxie, LU Xiaopeng. Effects of drought stress at fruit enlargement stage on fruit quality of Bingtang orange[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(10): 2507-2514.

[8]邹运乾, 林子桢, 许让伟, 程运江.替代柑橘聚乙烯薄膜单果套袋的涂膜剂研发及保鲜效果评价[J].中国农业科学, 2022, 55(12): 2398-2412.

ZOU Yunqian, LIN Zizhen, XU Rangwei, CHENG Yunjiang. Development and evaluation of a coating substitute for individual polyethylene film packaging of citrus fruit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(12): 2398-2412.

[9]GUERRA M, SANZ M A, CASQUERO P A. Influence of harvest dates on quality, storage capacity and sensory attributes of *European plum cv. green gage*[J]. Food Science and Technology International, 2009, 15(6): 527-534.

[10]LU P J, WANG C Y, YIN T T, ZHONG S L, GRUERSON D, CHEN K S, XU C J. Cytological and molecular characterization of carotenoid accumulation in normal and high-lycopene mutant oranges[J].Scientific Reports, 2017, 7: 761.

[11]LAFUENTE M T, SALA J M. Abscisic acid levels and the influence of ethylene, humidity and storage temperature on the incidence of postharvest rindstaining of 'Navelina' orange (*Citrus sinensis L. Osbeck*) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 25: 49-57.

[12]AISPURO E, VERAe M A, VARGAS I, MARTINEZ M. Low-temperature storage regulates the expression of genes related to peel pigments of grapefruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 254: 208-214.

[13]吴文明.不同采摘期及果实大小对碰柑采后贮藏性的影响[D].浙江: 浙江农林大学, 2017.

WU Wenming. Effects of different harvest periods and sizes on postharvest storage and quality of ponkan fruit[D]. Zhejiang: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2017.

[14]李宏祥, 马巧利, 林雄, 廖小娜, 曾平章, 陈金印.采收成熟度对桃溪蜜柚贮藏品质及抗氧化性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(13): 191-198.

LI Hhongxiang, MA Qiaoli, LIN Xiong, LIAO Xiaona, ZENG Pingzhang, CHEN Jinyin. Effects of harvest maturity on storage quality and antioxidant activity of Taoxi pomelo[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(13): 191-198.

[15]张海朋, 彭昭欣, 石梅艳, 温欢, 张红艳, 徐娟. 柑橘果实风味组学研究进展[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(1): 32-39

ZHANG Haipeng, PENG Zhaoxin, SHI Meiyan, WEN Huan, ZHANG Hongyan, XU Juan. Advances on citrus flavoromics[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(1): 32-39.

[16]KATZ E, BOO K H, KIM H Y, EIGENHEER R A, PHINNEY B S, SHULAEV V, NEGRE Z F, SADKA A, BLUMWALD E. Label-free shotgun proteomics and metabolite analysis reveal a significant metabolic shift during citrus fruit development[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(15):5367-5384.

[17]DING Y D, CHANG J W, MA Q L, CHEN L L, LIU S Z, JIN S, HAN J W, XU R W, ZHU A D, GUO J, LUO Y, XU J, XU Q, ZENG Y L, DENG X X, CHENG Y J. Network analysis of postharvest senescence process in citrus fruits revealed by transcriptomic and metabolomic profiling[J]. *Plant physiology*, 2015, 168: 357-376.

[18]刘清鹤, 荆琳, 王成荣, 宋健坤, 杨英杰, 李鼎立, 王然. 鲁秀梨果实在生长发育中后期及贮藏过程中糖酸累积的变化[J]. *果树学报*, 2022, 39 (05): 743-751

LIU Qinghe, JING Lin, WANG Chengrong, SONG Jiankun, YANG Yingjie, LI Dingli, WANG Ran. Changes in accumulation of sugars and acids in the fruits of luxiu pear during the mid to late period of growth and development and postharvest storage[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39 (05): 743-751

- [19]YUN Z, JIN S, DING Y D, WANG Z, GAO H J, PAN Z Y, XU J, CHENG Y J, DENG X X. Comparative transcriptomics and proteomics analysis of citrus fruit to improve understanding of the effect of low temperature on maintaining fruit quality during lengthy post-harvest storage[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63(8): 2873-2893.
- [20]施要强, 张海朋, 田静, 王振华, 刘翠华, 余乔明, 程运江, 徐娟. ABA 处理对不同柑橘种质汁胞中挥发性物质的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39 (1) : 10-17.
- SHI Yaoqiang, ZHANG Haipeng, TIAN Jing, WANG Zhenhua, LIU Cuihua, YU Qiaoming, CHENG Yunjiang, XU Juan. Effects of ABA treatment on volatile profile changes in different citrus fruit juice sacs[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(1):10-17.
- [21]黄小榕, 薛蕾, 张泽煌, 朱长青, 林旗华, 徐昌杰. PDC 和 ADH 基因家族成员在杨梅果实成熟和包装处理期间的表达及其与乙醛和乙醇积累的关系[J]. *果树学报*, 2022, 39 (10) : 1784-1797.
- HHUANG Xiaorong, XUE Lei, ZHANG Zehuang, ZHU Changqing, LIN Qihua, XU Changjie. Expression analysis of PDC and ADH gene family members and their relationship with the accumulation of acetaldehyde and ethanol during fruit ripening and packaging treatments of Chinese bayberry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39 (10) : 1784-1797
- [22]PLOTTO A, MARGARIA C A, GOODNER K L, BALDWIN E A. Odour and flavour thresholds for key aroma components in an orange juice matrix:esters and miscellaneous compounds[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2008, 23: 398-406.
- [23]王晶. 锦橙贮藏期主要风味品质变化与调控研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- WANG Jing. Changes and regulation of main flavor quality in the fruit of *Citrus sinensis* Osbeck cv. Jincheng during postharvest storage time[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [24]王如倩. PDC 和 ADH 在采后柑橘果实乙醛乙醇积累中的作用[D]. 浙江: 浙江大学, 2019.
- WANG Ruqian. Role of PDC and ADH in Accumulation of aldehyde and ethanol in postharvest citrus fruits[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2019.
- [25]庞学群, 陈燕妮, 黄雪梅, 汪跃华, 胡位荣, 张昭其. 冷害导致砂糖橘果实品质劣变[J]. *园艺学报*, 2008(04): 509-514.
- PANG Xuequn, CHEN Yanni, HUANG Xuemei, WANG Yuehua, HU Weirong, ZHANG Zhaoqi. Chilling Temperature Enhances Quality Reduction in postharvest 'Sha tangju' (*Citrus reticulata* Blanco) Fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008(04): 509-514.

[26]田世平. 冷藏条件下超低氧处理对樱桃果实中乙醇、乙醛和甲醇含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36 (3) : 201-204

TIAN Shiping. Effects of ultra low-O<sub>2</sub> treatment on ethanol, acetaldehyde and methanol contents in sweet cherries in low temperature storage[J]. Plant Physiology Journal, 2008(04): 509-514

[27]何义仲, 陈兆星, 刘润生, 方贻文, 古祖亮, 严翔, 陈红, 张洪铭, 唐焕庆, 程运江. 不同贮藏方式对赣南纽荷尔脐橙果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(04): 736-748.

HE Yizhong, CHEN Zhaoxing, LIU Runsheng, FANG Yiwen, GU Zuliang, YAN Xiang, CHEN Hong, ZHANG Hongming, TANG Huanqing, CHENG Yunjiang. Effects of different storage methods on fruit quality of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck 'Newhall') in southern Jiangxi Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(4): 736-748.