

# ‘奥林达’夏橙主要香气成分在贮藏保鲜过程中的变化

张沛宇<sup>1</sup>, 刘珞忆<sup>1</sup>, 陈婷婷<sup>1</sup>, 周志钦<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>西南大学园艺园林学院,重庆 400716; <sup>2</sup>南方山地园艺学教育部重点实验室,重庆 400715)

**摘要:**【目的】研究‘奥林达’夏橙主要香气成分及其在贮藏保鲜过程中的变化,旨在为提升果品贮藏品质提供一定理论依据。【方法】以‘奥林达’夏橙为试材,采用3种保鲜剂(百可得、咪鲜胺和2,4-滴钠盐)混合处理后装入纳米保鲜袋中,并于低温下(7℃)贮藏,以未处理低温贮藏果实为对照,探究贮藏过程中果实基本品质和主要香气成分的变化。【结果】共检测出73种香气物质,分属于单萜烯类(16种)、倍半萜烯类(22种)、醛类(11种)、醇类(6种)、酯类(4种)及其他类物质(14种)。相对含量较高的是d-柠檬烯、β-月桂烯、瓦伦烯、癸醛、辛醛、β-芳樟醇。其中,醛类、醇类、单萜烯类等各类物质相对含量在贮藏7 d出现一次显著下降,并且单萜烯类物质在贮藏63 d时再次出现明显的“下降拐点”,而倍半萜烯类物质含量呈上升趋势。贮藏3个月后,d-柠檬烯、β-月桂烯、癸醛、辛醛相对含量明显减少,瓦伦烯相对含量有所增加,而β-芳樟醇含量相对稳定。保鲜剂结合保鲜袋混合处理条件下果实主要香气成分(瓦伦烯除外)在贮藏21 d内呈现出与低温贮藏下明显相反的变化趋势,但在贮藏28 d后变化趋势趋于一致。【结论】3种保鲜剂(百可得、咪鲜胺和2,4-滴钠盐)结合纳米保鲜袋的保鲜措施不仅能维持夏橙在贮藏过程中的基本品质,在贮藏的第1个月内也能显著抑制其主要香气成分的变化。

**关键词:**‘奥林达’夏橙;贮藏保鲜;香气成分;变化规律

中图分类号: S666.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)07-0859-11

## The variations in major aroma compounds in ‘Olinda’ Valencia orange (*Citrus sinensis*) during storage

ZHANG Peiyu<sup>1</sup>, LIU Luoyi<sup>1</sup>, CHEN Tingting<sup>1</sup>, ZHOU Zhiqin<sup>1,2\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

**Abstract:**【Objective】Valencia orange is one of the major types of sweet orange (*Citrus sinensis*), but its aroma character is not well-studied. It is essential to study the variation in volatile compounds in fresh fruits during storage. For this purpose, we investigated the variation pattern of the major aroma compounds in ‘Olinda’ Valencia orange during three months of storage. 【Methods】Fruit materials were harvested from a local commercial orchard. The fruit were immersed in mixed preservatives (5 g bellkute, 5 mL prochloraz and 1 g 2, 4-D dissolved in 20 L tap-water) for 1 minute and dried in air, and then packed in nano-plastic bags and stored under 7 °C for three months. Non-treated fruit stored at the same temperature served as the control. Sampling was conducted every 7 days. Decay rate and fruit weight were recorded during storage. Peel color was analyzed on six points in the equatorial region of each fruit with a Minolta ChromaMeter (CR-400, Konika Minolta, JPN) and expressed in the international CIE 1976  $L^* a^* b^*$  color space, where  $L^*$  indicates lightness,  $a^*$  indicates green to red, and  $b^*$  indicates blue to yellow. Citrus color index [CCl=1 000× $a^*/(L^*\times b^*)$ ], which was widely used in the citrus industry, was calculated to express the results. Total soluble solids (TSS) and total acids (TA) content were determined using a digital refractometer (PAL-BXIACID1, Atago, JPN). Aroma compounds were

收稿日期: 2017-12-20 接受日期: 2018-04-03

基金项目: 重庆市现代山地特色高效农业技术体系(2018-01-4)

作者简介: 张沛宇,女,在读硕士研究生,研究方向为果品营养与质量安全。Tel: 18883234253, E-mail: 594844575@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13983038248, E-mail: fruitnutri@swu.edu.cn

extracted and detected by head space-solid phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS (2010 Qplus, Shimadzu, JPN), and the relative content of individual compound was quantified by internal standard method. 【Results】Fruits treated with a mixture of three preservatives combined with nano-plastic bagging showed a significantly lower decay rate and fresh loss than the other treatments. In addition, a lower CCI value of treated fruit was observed, which suggested that fresh-keeping treatment might delay the senescence of fruit. At the end of storage, TSS content of treated fruit was significantly lower than that of the control fruit, while TA content showed little difference. In this study, a total of 73 aroma compounds were detected, which mainly consisted of monoterpenes (16), sesquiterpenes (22), aldehydes (11), alcohols (6), esters (4) and other compounds (14). Among these volatile components, d-limonene,  $\beta$ -myrcene, valencene, decanal, octanal and  $\beta$ -linalool were the predominant compounds. During the whole storage period, the total content of aroma compounds decreased continuously, and the peak value ( $104.741.91 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) appeared at the 7th day of storage. The total content decreased by 68.99% at the end of storage time. We found that the contents of different types of volatile compounds and their numbers changed during the three months of storage. (*E*)-Citral, citronellol, terpinolene, etc. were detected only occasionally, while  $\beta$ -citronellal,  $\alpha$ -terpineol, *cis*- $\beta$ -ocimene, etc. existed throughout the whole storage period. The relative contents of aldehydes, alcohols and monoterpenes decreased significantly on the 7th day of storage, and a degradation “turning-point” of monoterpenes was observed again at day 63 during the storage, whereas sesquiterpenes slightly increased after three months of storage. The variation patterns of the relative contents of the predominant compounds were also different. After three months of storage, the relative contents of d-limonene,  $\beta$ -myrcene, decanal, and octanal decreased obviously, but valencene increased basically and  $\beta$ -linalool was relatively constant during the whole storage time. The major aroma compounds (except valencene) of ‘Olinda’ Valencia orange treated by the mixture of the three preservatives combined with nano-plastic bagging showed an opposite variation trend compared with the cold stored fruit within the first 28 day, but tended to be consistent after 28 day of storage. After 63 day of storage, the fresh-keeping treatment had no significant effect on the variation pattern of the major compounds. Besides, d-limonene and  $\beta$ -myrcene in treated fruit decreased sharply at 63 day of storage, which was consistent with the control. The variation pattern of valencene under the mixed treatment was more or less the same with the control, but the peak value of treated fruit was observed at 42 day of storage, while that of the control fruit occurred on day 28. 【Conclusion】The variation patterns of different types of aroma compounds of ‘Olinda’ Valencia orange under storage conditions were investigated systematically in details. A degradation “turning-point” of monoterpenes such as d-limonene and  $\beta$ -myrcene was observed at 63 days of storage in fruit treated by preservatives or under cold storage. It is worth further study. Apart from this, we found that a mixed treatment with different preservatives combined with nano-plastic bagging maintained the basic sensory quality of ‘Olinda’ Valencia orange during storage, and significantly inhibited the variations in the major aroma compounds during the first month of storage.

**Key words:** ‘Olinda’ Valencia orange; Postharvest storage; Aroma compounds; Variation pattern

甜橙是最重要的栽培柑橘类型之一，也是世界橙汁加工的主导品种，香气成分是评价甜橙果实风味品质的重要指标。夏橙(*Citrus sinensis*)作为甜橙的一个重要类型，其果实初夏成熟，可鲜食和加工，是夏季鲜食柑橘最重要的类型之一。无论是鲜食还

是加工夏橙，在夏季维持其果实特有香气是保持其品质的重要内容之一。

新鲜水果的香气品质主要由其挥发性成分的组成与含量决定，香气是影响消费者选择产品的重要因素之一<sup>[1]</sup>。目前，国内外有关甜橙香气成分的研

究大多涉及脐橙、夏橙、血橙等不同品种<sup>[2-3]</sup>,以及果皮、果肉等果实不同部位香气物质组成与含量差异<sup>[4-5]</sup>,此外,部分研究涉及果汁、果酒、精油等产品中的香气成分<sup>[6-8]</sup>。例如Zhang等<sup>[9]</sup>利用GC-MS同时检测了7个不同种类柑橘果皮和果肉中的挥发性成分,发现甜橙中单萜烯类物质含量最高,且瓦伦烯和石竹烯氧化物含量相对较高。Qiao等<sup>[10]</sup>分别检测了甜橙果汁和果皮精油中的香气成分,分别检测到49和32种挥发性物质,其中主要包括丁酸乙酯、β-月桂烯、辛醛、芳樟醇、α-蒎烯以及癸醛等香气成分。尽管现有研究表明,瓦伦烯是甜橙果实的特征香气成分<sup>[11-13]</sup>,但目前对甜橙果实采后贮藏过程中香气物质的变化报道很少。

柑橘果实在采后贮藏过程中会不可避免的发生香气逸散等,通过降低温度、采用保鲜剂和保鲜袋等措施则可以最大限度地在柑橘贮藏过程中维持其品质。影响柑橘果实采后贮藏过程中品质变化的因素很多,主要有贮藏环境条件(温度、湿度、气体成分、有无套袋处理)、涂膜处理,以及微生物感染等<sup>[14]</sup>。周先艳等<sup>[15]</sup>分析了青柠檬采前喷洒咪鲜胺对果品品质的影响。李鸿筠等<sup>[16]</sup>研究了百可得对柑橘贮藏病害的防控效果。吴黎明等<sup>[17]</sup>报道了喷涂纳米铜和纳米二氧化钛等复合材料的包装袋在不同处理下对夏橙贮藏保鲜效果的影响。但是,对于百可得、咪鲜胺等柑橘常用保鲜剂及纳米保鲜袋组合处理对柑橘贮藏过程中主要香气成分变化的影响仍未见报道。

笔者以产自重庆江津的‘奥林达’夏橙果实为材料,用百可得、咪鲜胺和2,4-滴钠盐做保鲜剂,结合纳米保鲜袋,系统分析了在7℃条件下、果实在为期3个月的贮藏过程中香气成分的变化,探索夏橙果实贮藏过程中香气成分的变化规律,寻找维持其香气品质的合理措施。

## 1 材料和方法

### 1.1 植物材料与试剂

‘奥林达’夏橙(*Citrus sinensis* ‘Olinda’),2016年5月14日采摘于锦程实业有限公司(重庆,江津)果园,并于当天运回实验室,选取大小均匀、无病虫害和机械损伤的果实作为试材,经洗净后晾干。

纳米保鲜袋(60 cm×20 cm×70 cm),北京崇高纳米科技有限公司;百可得(有效成分含量40%,ω,后

同),日本曹达朱式会社;马克西姆扑霉灵(咪鲜胺含量450 g·L<sup>-1</sup>,ρ),安道麦马克西姆有限公司;2,4-滴钠盐(有效成分含量85%),四川国光农化股份有限公司;氯化钠(分析纯)重庆川东化工(集团)有限公司;环己酮(内标,纯度≥99%)、d-柠檬烯(对照品,纯度≥99%),美国Sigma-Aldrich公司。

### 1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪(2010 Qplus),日本岛津公司;自动进样器(AOC-5000 Plus),日本岛津公司;数显折射仪(PAL-BXIACID1),日本爱拓公司;色彩色差计(CR-400),日本Konica Minolta公司;超纯水系统(Milli-Q Advantage A10),美国Millipore公司。

### 1.3 方法

1.3.1 果实处理 混合保鲜剂处理组(P):混合保鲜剂配制方法由重庆锦程实业有限公司在实践生产中证明有效后提供,即分别称量5.00 g百可得,5.00 mL马克西姆扑霉灵,1.00 g 2,4-滴钠盐,混合后溶于20 L自来水中,制得混合保鲜剂。夏橙果实在保鲜剂中浸泡1 min后,晾干装筐。

保鲜袋处理组(B):将果实在蒸馏水中浸泡1 min后,装入纳米保鲜袋中并装筐。

混合保鲜剂+纳米保鲜袋处理组(P+B):果实在混合保鲜剂中浸泡1 min,晾干后装入纳米保鲜袋中并装筐。

对照组(CK):果实在蒸馏水中浸泡1 min,晾干后直接装筐。

每50个果实作为一个重复,每个处理设6个重复,其中3个重复用于测定果实的质量变化、腐烂率、柑橘色差指数(citrus color index,CCI),另外3个重复用于定期取样测定可溶性固形物含量(total soluble solids,TSS,%)、总酸含量(total acid,TA,%)、香气物质含量。将以上处理装筐后的果实放置在7℃、RH为85%~90%条件下贮藏,于2016年5月15日开始至8月14日,每隔7 d取1次样。

1.3.2 腐烂率的计算 分别于贮藏后28、63、91 d统计烂果数,根据式(1)计算腐烂率:

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{烂果数}}{\text{总果数}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 果实质量变化 每隔7 d称量1次各处理组单个重复中50个果实总质量(kg),并记录。

1.3.4 CCI值的计算 在夏橙果实赤道部位均匀取

6个点,利用色彩色差仪测定并记录 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ,根据Sdiri等<sup>[18]</sup>的方法,按照式(2)计算CCI值:

$$CCI = \frac{1000 \times a^*}{L^* \times b^*} \quad (2)$$

1.3.5 TSS 和 TA 含量的测定 TSS 和 TA 的含量采用手持数显折光仪进行测定。

1.3.6 香气物质检测 夏橙果实皮肉分开后将果皮切成5 mm 小块,立即用液氮速冻后保存在-80 °C 冰箱中。使用冷冻磨样机将果皮磨成均匀粉末,称取1.000 g 粉末于20 mL 玻璃进样瓶中,加入5 mL 饱和氯化钠以及内标环己酮1 μL,密封后置于涡旋振荡仪上混匀,待GC-MS检测。

GC-MS 检测条件参照李利改<sup>[19]</sup>的方法进行。HS-SPME 条件:DVB/CAR/PDMS (50/30 μm) 萃取头,50 °C 条件下孵化20 min,顶空萃取50 min,解吸附时间为5 min,载气He。色谱条件:Rt×5MS 毛细管气相色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温度程序:35 °C 保持5 min,以3 °C·min⁻¹ 升至180 °C,保持2 min,再以5 °C·min⁻¹ 升至240 °C,保持2 min;不分流进样,进样口温度250 °C,载气(He)流速1 mL·min⁻¹,进样量1 μL。质谱条件:离子源温度230 °C;电离方式EI;电子能量70 eV;四级杆温度150 °C;传输线温度280 °C;质量扫描范围:35~400 m/z。

定性定量分析:将检测出的化合物质谱图与计算机图谱库(NIST2008)进行匹配,筛选出相似度在80% 及其以上的物质,并结合有关文献,确认各香气成分。各成分相对含量采用内标法进行半定量,以环己酮为内标,d-柠檬烯作为对照品进行色谱分析,计算相对校正因子(f),再根据含内标物的待测组分色谱峰响应值计算各成分相对含量mi(μg·g⁻¹)。计算公式如下:

$$f = \frac{As/ms}{Ar/mr} \quad (3)$$

$$mi = f \times \frac{Ai \times ms}{As \times m} \quad (4)$$

(3)式中:As, 内标物峰面积;Ar, 对照品峰面积;ms, 内标物质量, μg;mr, 对照品质量, μg。

(4)式中:mi, 待测样品香气物质含量;Ai, 待测样品峰面积;As, 内标物峰面积;ms, 内标物质量, μg;m, 待测样品质量, μg。

#### 1.4 数据分析

采用GC-MS Postrun Analysis进行香气物质匹配,采用SPSS 19.0进行差异显著性分析,采用Orig-

inPro 8.5绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同保鲜处理对‘奥林达’夏橙果实基本生理指标的影响

2.1.1 不同处理对腐烂率的影响 腐烂率是检验贮藏保鲜效果的重要指标。由表1可见,贮藏63、91 d, CK组果实的腐烂率均显著高于其余3组,说明这3种贮藏保鲜措施均能抑制夏橙果实的腐烂。在整个贮藏过程中,B组腐烂率虽略高于P组,但两者之间差异不显著,说明纳米保鲜袋与混合保鲜剂对夏橙均有防腐作用,且效果差异不大。P+B组从贮藏28 d起腐烂率均显著低于对照组,说明P+B组保鲜贮藏保鲜效果为3组中最好。可见,纳米保鲜袋与混合保鲜剂均能延缓夏橙果实的腐烂,且二者结合使用时防腐效果显著更好。

表1 贮藏过程中不同处理对‘奥林达’夏橙腐烂率的影响

Table 1 The rotting rate of ‘Olinda’ Valencia orange with different treatments during storage

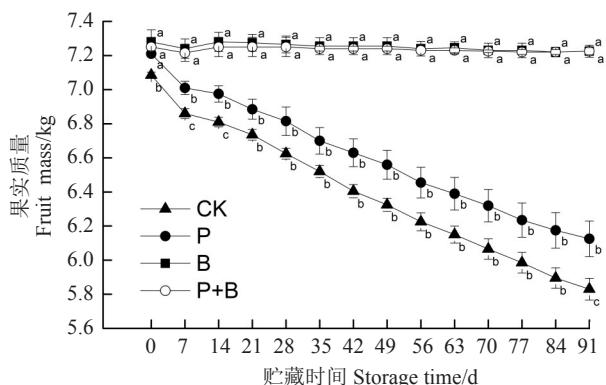
腐烂率 Rotting rate/%	28 d	63 d	91 d
CK	8.7±1.2 a	13.3±2.3 a	26.0±4.0 a
B	6.0±2.0 ab	8.7±2.3 b	15.3±5.0 b
P	4.7±1.2 bc	6.7±3.1 bc	14.7±3.1 b
P+B	2.0±2.0 c	2.7±1.2 c	3.3±1.2 c

注:同一列不同小写字母表示处理间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference at  $p < 0.05$ . The same below.

2.1.2 保鲜贮藏过程中质量与色泽变化 由图1可以看出,整个贮藏期间CK组果实质量不断减少,而其余3种贮藏保鲜措施均可以明显抑制夏橙果实在贮藏过程中失水萎缩。B组与P+B组在贮藏到91 d时失重率分别为0.75%和0.34%,二者之间差异不显著,但显著低于P处理果,说明纳米保鲜袋与混合保鲜剂均能防止夏橙果实在贮藏过程中失水萎缩,但纳米保鲜袋的作用效果比混合保鲜剂更显著。

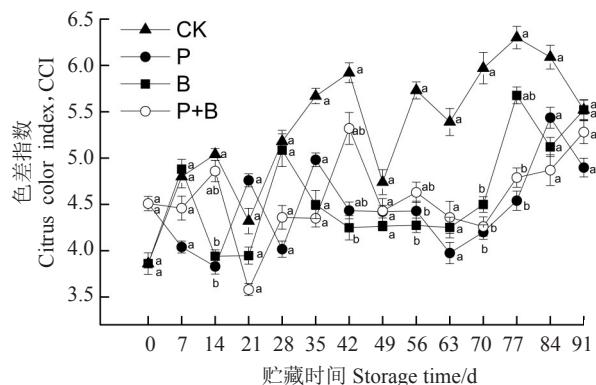
果实外表色泽是商品品质的重要组成部分。由图2可见,贮藏过程中4个处理组夏橙果实CCI值都呈波动上升状态。在贮藏28~63 d期间,采用了保鲜措施的B、P、P+B 处理果CCI值相对较为平稳,在贮藏63 d后,又开始呈上升趋势,但始终低于CK组,说明3种保鲜措施均能抑制夏橙果实贮藏过程中外观色泽的变化,且这种抑制作用在贮藏28 d以后开始较为明显,但在贮藏63 d后作用效果开始减弱。



不同小写字母代表贮藏同一时期处理之间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

Different letters indicate significant difference at  $p < 0.05$  between treatments at the same time of storage. The same below.

**图1 贮藏过程中不同处理组‘奥林达’夏橙质量的变化**  
**Fig. 1 Changes in fruit mass of ‘Olinda’ Valencia orange with different treatments during storage**



**图2 贮藏过程中不同处理组‘奥林达’夏橙 CCI 值的变化**

**Fig. 2 Changes in CCI of ‘Olinda’ Valencia orange with different treatments during storage**

**2.1.3 不同处理对果实 TSS 与 TA 含量的影响** TSS 和 TA 含量是影响果实风味的重要指标。由表 2 可知, 在贮藏的 91 d 时, CK 组果实 TSS 含量上升, 并显

**表2 贮藏过程中不同处理对‘奥林达’夏橙果实 TSS 和 TA 含量的影响**

**Table 2 The effect of different treatments on TSS and TA contents in ‘Olinda’ Valencia orange**

处理 Treatment	$\omega$ (可溶性固形物) Total soluble solids content/%				$\omega$ (可滴定酸) Titratable acid content/%			
	0 d	28 d	63 d	91 d	0 d	28 d	63 d	91 d
CK	10.4±0.07 a	11.6±0.07 a	12.0±0.07 a	11.8±0.07 a	1.17±0.03 b	1.27±0.04 a	1.37±0.04 a	1.28±0.01 a
P	10.5±0.07 a	10.4±0.00 c	10.3±0.07 b	10.5±0.21 b	1.10±0.03 c	1.04±0.08 c	1.31±0.13 a	1.10±0.01 c
B	10.4±0.07 a	10.6±0.00 b	10.3±0.07 b	10.5±0.00 b	1.09±0.03 c	1.17±0.11 ab	1.41±0.12 a	1.20±0.01 b
P+B	10.5±0.07 a	10.3±0.07 c	11.0±0.21 b	9.8±0.00 c	1.33±0.05 a	1.05±0.09 bc	1.39±0.00 a	1.27±0.10 a

著高于其余 3 组, P 组与 B 组两者之间差异不显著, 但显著高于 P+B 组。各处理组贮藏 91 d 时 TA 含量并未发生显著性变化。可见 3 种保鲜措施均可在一定程度上维持夏橙果实贮藏过程中的基本品质。

综上, 采用保鲜剂+保鲜袋组合的保鲜效果优于各自单独使用时的保鲜效果, 考虑到实际生产效益, 在后续分析贮藏保鲜对‘奥林达’夏橙果实主要香气物质变化规律的影响时, 重点分析保鲜效果最好的处理即保鲜剂+保鲜袋(P+B)组合的保鲜措施对主要香气物质的影响。

## 2.2 ‘奥林达’夏橙主要香气成分分析

通过检测贮藏过程中 CK 组‘奥林达’夏橙果皮中的香气成分, 共检测到 73 种香气物质, 其中包括醛类 11 种、醇类 6 种、酯类 4 种、单萜烯类 16 种、倍半萜烯类 22 种和其他物质 14 种(表 3)。在这几大类物质中, 含量最丰富的是萜烯类化合物, 其中单萜类含量最多。d-柠檬烯是单萜类化合物的代表物质, 也是夏橙香气成分中最主要的物质,  $\beta$ -月桂烯含量

次之, 此外香桧烯和  $\alpha$ -蒎烯也是单萜类物质中的主要成分。瓦伦烯是夏橙中含量最丰富的倍半萜烯类物质。醛类物质中癸醛含量最为丰富, 辛醛次之。 $\beta$ -芳樟醇是醇类化合物的代表性物质, 醋酸辛酯是酯类物质中最主要的成分。

## 2.3 ‘奥林达’夏橙各类主要香气物质在低温贮藏过程中的变化

测定‘奥林达’夏橙在 3 个月的低温贮藏过程中香气物质的种类及其相对含量, 结果表明, 在整个贮藏过程中夏橙挥发性成分总含量持续波动下降, 最高值出现在贮藏后 7 d( $104741.91 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 贮藏 91 d 后香气物质总含量较贮藏前减少了 68.99%。

由图 3 可以看出, 含量最为丰富的单萜烯类物质在贮藏过程中发生了 2 次相对含量的显著减少。贮藏 7~21 d 期间相对含量持续降低, 贮藏 63 d 时, 再次出现明显的变化拐点, 且这 2 次变化幅度相近。 $d$ -柠檬烯是单萜中最主要的物质, 其含量超过 98%, 这样的变化可能是由于  $d$ -柠檬烯在贮藏过程中衍变

表3 ‘奥林达’夏橙果实香气物质组成及其相对含量

Table 3 Aroma compounds in ‘Olinda’ Valencia orange and their relative contents

类别 Type	编号 Code	Cas号 Cas number	保留时间 Retention time/min	化合物 Compounds	首次检测到时间 First detected time/d	相对含量变化范围 Variation range/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
醛类 Aldehydes	1	66-25-1	6.345	己醛 Hexanal	0	2.20~25.45
	2	124-13-0	16.615	辛醛 Octanal*	0	69.20~733.99
	3	124-19-6	21.880	壬醛 Nonanal	0	10.60~108.53
	4	5949-05-3	24.298	$\beta$ -香茅醛 $\beta$ -Citronellal	0	54.90~197.47
	5	112-31-2	26.866	癸醛 Decanal*	0	295.78~669.90
	6	106-26-3	28.540	(Z)-柠檬醛 (Z)-Citral	0	17.07~60.39
	7	6544-40-7	30.052	5-甲基-2-异丙烯基-4-己烯醛 5-Methyl-2-isopropenyl-4-hexenal	0	22.71
	8	141-27-5	30.072	(E)-柠檬醛 (E)-Citral	35	14.37~47.63
	9	112-54-9	36.085	十二(烷)醛 Dodecanal	42	13.24
	10	112-44-7	31.593	十一(烷)醛 Undecanal	70	5.51~15.86
	11	124-25-4	36.076	十四(烷)醛 Tetradecanal	70	14.89~34.93
醇类 Alcohols	12	126-91-0	21.649	$\beta$ -芳樟醇 $\beta$ -Linalool*	0	298.71~739.11
	13	10482-56-1	26.068	$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	0	14.96~37.11
	14	20126-76-5	25.388	(-)4-萜品醇 (-)-4-Terpineol	7	2.38~11.14
	15	17699-16-0	19.874	顺式-4-侧柏醇 Trans-4-Thujanol	42	8.33
	16	106-22-9	28.060	香茅醇 Citronellol	42	7.85
	17	106-24-1	29.981	(E)-香叶醇 (E)-Geraniol	70	14.37
酯类 Esters	18	112-14-1	27.266	醋酸辛酯 Acetic acid, octyl ester	14	4.89~33.97
	19	-	17.016	3-丙酸庚酯 3-Chloropropionic acid, heptyl ester	49	8.87
	20	150-84-5	33.665	醋酸香茅酯 Citronellyl acetate	70	5.62
	21	97-42-7	22.604	香芹醇乙酸酯 Carveol acetate	84	1.98
单萜烯类 Monoterpenes	22	2867-5-2	12.452	$\alpha$ -侧柏烯 $\alpha$ -Thujene	0	1.95~17.25
	23	80-56-8	12.714	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	0	121.00~474.40
	24	3387-41-5	14.882	香桧烯 Sabinene	0	166.69~797.10
	25	123-35-3	16.009	$\beta$ -月桂烯 $\beta$ -Myrcene*	0	753.49~2 779.62
	26	99-83-2	16.528	$\alpha$ -水芹烯 $\alpha$ -Phellandrene	0	10.90~31.12
	27	13466-78-9	16.821	3-蒈烯 3-Carene	0	23.65~117.93
	28	99-86-5	17.228	$\alpha$ -松油烯 $\alpha$ -Terpinen	0	11.28
	29	5989-27-5	18.068	d-柠檬烯 d-Limonene*	0	25 887.21~97 376.61
	30	3338-55-4	19.041	顺式- $\beta$ -罗勒烯 Cis- $\beta$ -Ocimene	0	17.86~166.69
	31	99-85-4	19.465	$\gamma$ -萜品烯 $\gamma$ -Terpinene	0	10.47~77.31
	32	4497-92-1	20.947	2-蒈烯 2-Carene	0	2.54~23.93
	33	29050-33-7	17.217	4-蒈烯 4-Carene	7	3.24~9.59
	34	1461-27-4	18.539	异香芹萜烯 Isocarvestrene	7	22.69
	35	586-62-9	20.966	萜品油烯 Terpinolene	7	8.53~29.60
	36	99-86-5	17.210	$\alpha$ -萜品烯 $\alpha$ -Terpinen	14	6.43~15.46
	37	29548-02-5	18.535	黏蒿三烯 Artemisiatriene	42	314.78
倍半萜烯类 Sesquiterpenes	38	17699-14-8	33.391	$\alpha$ -荜澄茄油烯 $\alpha$ -Cubebene	0	9.37~33.71
	39	22469-52-9	33.991	(+)-环苜蓿烯 (+)-Cyclosativene	0	3.84~9.66
	40	3856-25-5	34.502	可巴烯 Copaene	0	40.11~73.73
	41	13744-15-5	35.151	$\beta$ -荜澄茄油烯 $\beta$ -Cubebene	0	76.71~150.56
	42	33880-83-0	35.229	$\beta$ -榄香烯 $\beta$ -Elemene	0	17.21~30.72
	43	3650-28-0	35.353	(+)-苜蓿烯 (+)-Sativen	0	4.62~11.25
	44	158848-19-2	35.878	姜烯 Zingiberene	0	4.75~9.35
	45	87-44-5	36.330	石竹烯 Caryophyllene	0	47.82~111.18

表3(续) Table 3(continued)

类别 Type	编号 Code	Cas号 Cas number	保留时间 Retention time/min	化合物 Compounds	首次检测到时间 First detected time/d	相对含量变化范围 Variation range/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
	46	6753-98-6	37.759	$\alpha$ -石竹烯 $\alpha$ -Caryophyllene	0	5.86~10.52
	47	18794-84-8	38.055	$\beta$ -法尼烯 $\beta$ -Farnesene	0	24.14~57.04
	48	3691-12-1	38.740	$\alpha$ -愈创木烯 $\alpha$ -Guaiene	0	5.73~11.07
	49	4630-07-3	39.414	瓦伦烯 Valencene*	0	85.69~663.12
	50	10208-80-7	39.754	$\alpha$ -衣兰油烯 $\alpha$ -Murolene	0	4.64~22.16
	51	523-47-7	40.669	$\beta$ -杜松烯 $\beta$ -Cadinene	0	18.07~97.78
	52	1460-97-5	38.755	(-) $\gamma$ -杜松烯 (-)- $\gamma$ -Cadinene	7	8.75~18.03
	53	502-61-4	40.208	$\alpha$ -法尼烯 $\alpha$ -Farnesene	7	8.16~35.71
	54	56633-28-4	40.384	$\alpha$ -人参烯 (-)- $\alpha$ -Panasinsen	7	15.36~38.48
	55	28387-44-2	39.878	(-)大根香叶烯 A (-)-Germacrene A	14	19.28
	56	54324-03-7	35.154	表双环倍半水芹烯 (+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	28	24.47~29.96
	57	6813-21-4	38.659	桉烷-3,7(11)-二烯 Eudesma-3,7(11)-diene	28	5.66~11.23
	58	55123-21-2	35.885	Trans- $\beta$ -佛手柑油烯 Trans- $\beta$ -Bergamotene	49	5.29~6.96
	59	116-04-1	37.653	$\beta$ -蛇麻烯 $\beta$ -Humulene	56	13.79
其他 Others	60	1195-92-2	23.449	柠檬烯氧化物 Limonene 1,2-epoxide	0	8.30~26.92
	61	-	37.769	(Z,Z,Z)-1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一三烯 1,4,7,-Cycloundecatriene, 1,5,9,9-tetramethyl-, Z,Z,Z-	7	6.13~11.26
	62	17627-30-4	39.021	2-异丙烯基-4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘 2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydro-naphthalene	7	14.52~47.84
	63	-	39.887	8-异丙烯基-1,5-二甲基-1,5-二烯-环癸烷 8-Isopropenyl-1,5-dimethyl-cyclodeca-1,5-diene	7	14.29~28.88
	64	15402-94-5	18.512	5-乙基-1-甲基环庚烯 5-ethylidene-1-methyl-cycloheptene	21	34.32
	65	55123-21-2	35.866	反式-6-甲基-2-亚甲基-6-(4-甲基戊-3-烯基)-二环 [3.1.1]庚烷 (1R,5R,6R)-6-Methyl-2-methylene-6-(4-methyl-3-pentenyl) bicyclo[3.1.1]heptane	21	4.77
	66	-	40.180	4,8,11,11-四甲基-三环[7.2.0.0(3,8)]十一碳四烯 Tricyclo[7.2.0.0(3,8)]undec-4-ene,4,8,11,11-tetramethyl-	21	6.72
	67	-	38.074	(E,E)-7,11,15-三甲基-3-亚甲基-1,6,10,14-十六碳四烯 (E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10, 14-tetraene	28	38.76
	68	16728-99-7	41.009	1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-(1,2,3,4,4a,7)六氢萘 1,6-Dimethyl-4-(1-methylethyl)-(1,2,3,4,4a,7)hexahydroneaphthalene	28	4.81
	69	1743-61-9	18.330	1,4-二甲基-4-乙烯基环己烯 1,4-Dimethyl-4-vinylcyclohexene	35	8.49
	70	3760-14-3	18.565	1,5-二甲基-1,5-环辛二烯 1,5-Cyclooctadiene, 1,5-dimethyl-	56	11.78
	71	2153-66-4	18.531	2,5-二甲基-3-乙烯基-1,4-己二烯 2,5-Dimethyl-3-ethenyl-1,4-hexadiene	56	6.12
	72	7320-37-8	36.134	1,2-环氧十六烷 1,2-Hexadecylene oxide	84	22.73
	73	1120-72-5	43.497	2-甲基环戊酮 Cyclopentanone, 2-methyl-	84	4.32

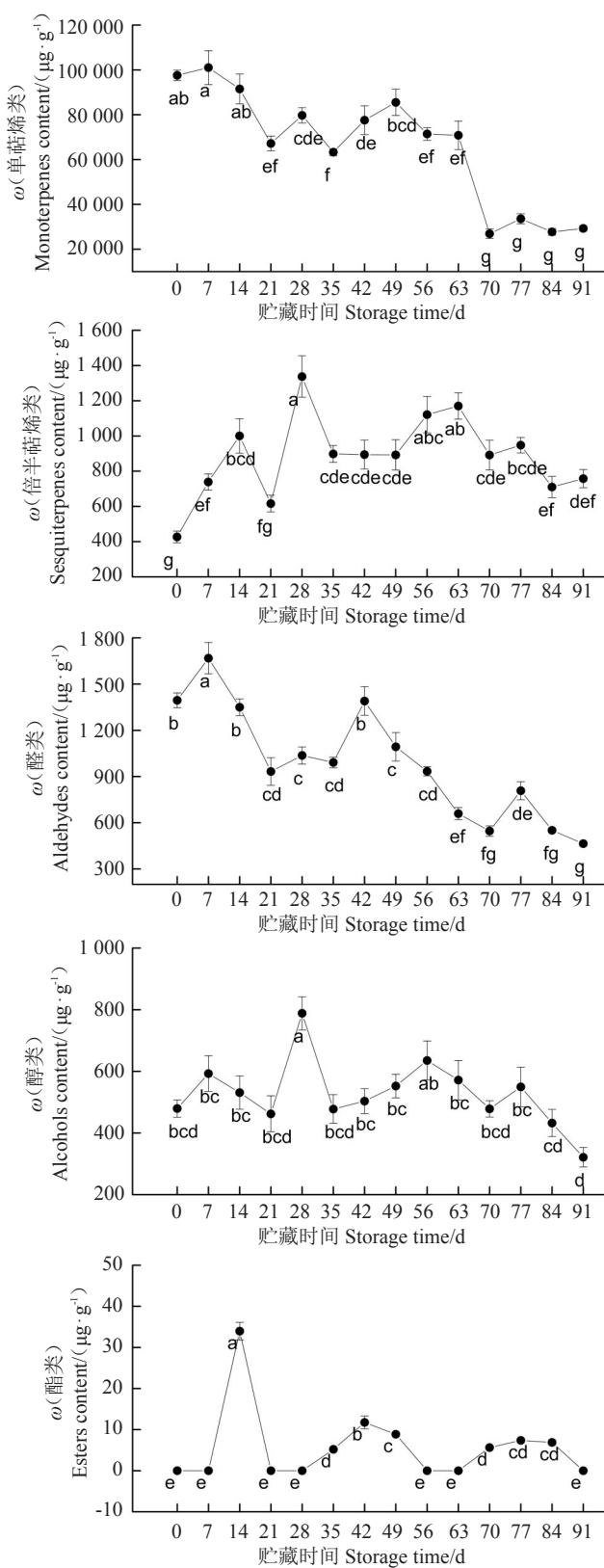
注:“\*”表示奥林达夏橙果实主要香气成分;“-”表示未找到相关数值。

Note: “\*” represent the major aroma compounds of Olinda Valencia orange; “-” means not available.

为其他物质造成的。

倍半萜烯类物质在低温贮藏过程中呈现出上升趋势,在贮藏28 d时含量最高( $1337.26 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )。贮

藏91 d后相对含量上升为 $757.64 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,相比最初增加了77.62%。瓦伦烯是倍半萜烯类化合物中含量最丰富的物质,在贮藏过程中呈现出明显的上升



不同小写字母代表不同贮藏时间之间差异显著( $p < 0.05$ )。  
Different letters indicate significant differences at  $p < 0.05$  between different storage time.

图3 不同种类香气物质在低温贮藏过程中的变化

Fig. 3 Changes in different types of aroma compounds during cold storage

趋势,贮藏91 d后相对含量上升至最初的4.5倍左右。

醛类物质在贮藏过程中总含量不断下降,贮藏91 d后醛类物质总含量减少了66.73%,在贮藏7 d时含量最高(1 668.12  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )。主要醛类物质癸醛和辛醛在贮藏91 d后分别减少了47.78%、87.38%。

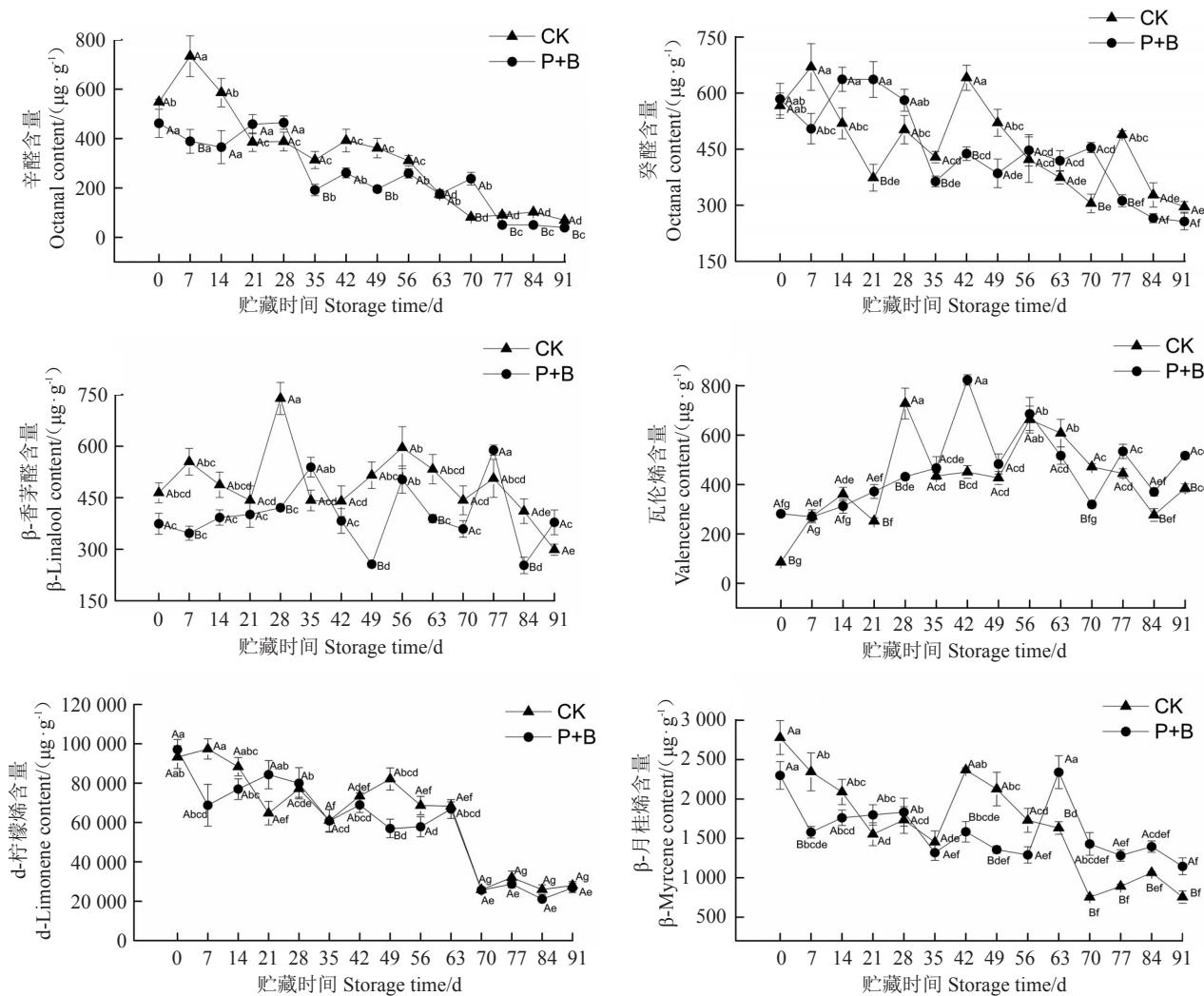
醇类物质在整个贮藏过程中呈下降趋势,最高值出现在贮藏28 d( $788.23 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),贮藏91 d后相对含量总共下降了32.95%。 $\beta$ -芳樟醇是最重要也是含量最高的醇类物质,贮藏28 d时其含量最丰富( $739.11 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),之后不断波动下降,但贮藏91 d后相对变化不大。

酯类物质种类与含量在夏橙挥发性成分中占的比例均相对较少。醋酸辛酯是夏橙香气中最主要的酯类物质,在贮藏的14 d时首次检测到且含量最高( $33.97 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ),然后在贮藏过程中不断减少,贮藏84 d后其相对含量仅为 $4.89 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,减少了85.60%。

可见,‘奥林达’夏橙在低温贮藏时,香气成分中的醛类、醇类、单萜烯类物质含量逐渐减少,在贮藏7~14 d时含量会发生明显下降,而单萜烯类物质在贮藏63 d时再次出现明显变化拐点,且变化幅度与第一次接近。另外,不同于减少的趋势,倍半萜烯类物质在低温贮藏过程中出现了明显的增加趋势。

#### 2.4 混合保鲜剂和保鲜袋对主要香气物质变化的影响

混合保鲜剂结合纳米保鲜袋对‘奥林达’夏橙果实主要香气物质变化趋势的影响如图4所示。由图4可见,贮藏0~7 d,CK组果实香气中辛醛、癸醛、 $\beta$ -芳樟醇、d-柠檬烯、 $\beta$ -月桂烯含量均明显上升,而P+B组则相反,在贮藏7~14 d,CK组果实中上述5种香气物质的含量持续下降,而在P+B组果实中却呈上升趋势。在贮藏14~28 d,P+B组果实中主要香气成分变化趋势相较于CK组呈现出相对平缓的变化趋势,说明此时保鲜处理可能抑制了它们的变化。在贮藏28~56 d,P+B组与CK组中辛醛、癸醛、 $\beta$ -芳樟醇、d-柠檬烯、 $\beta$ -月桂烯相对含量变化趋势较为一致,但CK组含量始终高于P+B组。贮藏63 d(2个月)后,CK组与P+B组中这5种物质相对含量较为接近,且变化趋势也一致,说明此时保鲜措施对主要香气物质变化已无明显作用。其中值得注意的是,d-柠檬烯与 $\beta$ -月桂烯在贮藏63 d时,CK组与P+B组



不同小写字母代表同一处理不同贮藏时间之间差异显著( $p < 0.05$ )；不同大写字母代表贮藏同一天处理之间差异显著( $p < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant differences at  $p < 0.05$  between different storage time for the same treatment; different capital letters represented significant differences at  $p < 0.05$  between treatments at the same day of storage.

图4 保鲜剂对主要香气物质在贮藏过程中变化的影响  
Fig. 4 Effect of preservatives on major aroma components during postharvest storage

中均再次出现明显的含量变化拐点,且下降幅度与CK组第1次下降(7~14 d)幅度接近。

瓦伦烯是甜橙的特征性香气物质,也是贮藏结束后含量唯一上升的成分。CK组与P+B组在贮藏过程中瓦伦烯变化趋势较为一致。CK组在贮藏28 d时,出现含量高峰,而P+B组中峰值推迟到贮藏42 d,且二者升高幅度接近。

可见,P+B保鲜处理在‘奥林达’夏橙贮藏的第1个月内(28 d左右)可以显著抑制辛醛、辛醛、癸醛、 $\beta$ -芳樟醇、d-柠檬烯、 $\beta$ -月桂烯等主要香气物质发生变化,在第2个月内(28~63 d)这种抑制作用明显减弱,但仍优于CK组。但在贮藏2个月(63 d)后,P+B保鲜处理对夏橙果实主要香气物质变化影响不大,

已无明显作用。此外,保鲜处理也抑制了瓦伦烯的变化,推迟了其含量高峰的出现。

### 3 讨论

通过检测‘奥林达’夏橙果实在3个月低温贮藏过程中的香气成分,共检测到73种物质,其中相对含量较高的成分是d-柠檬烯、 $\beta$ -月桂烯、瓦伦烯、癸醛、辛醛、 $\beta$ -芳樟醇,这些物质赋予了夏橙典型的果香型香味。这与刘克海等<sup>[20]</sup>和Ren等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

随着市场对柑橘加工产品的需求越来越大,对柑橘采后贮藏保鲜技术也提出了更高的要求,而柑橘果实在贮藏过程中芳香物质逸散导致品质下降是

目前急需解决的问题之一,因此探索柑橘香气物质在贮藏过程中的变化规律具有重要意义。据周海燕<sup>[22]</sup>报道,锦橙在贮藏过程中醇类、醛类、酯类物质含量均有减少,而含量最高的d-柠檬烯在贮藏过程中变化不大。彭思<sup>[23]</sup>研究了不同贮藏温度下柠檬果皮中挥发性成分的变化,结果表明不管在室温还是在低温下,贮藏后果皮中单萜烯百分含量及种类相比于贮藏前减少,但含氧单萜化合物和倍半萜烯的百分含量相比于贮藏前有所增加,醇、醛、酯的百分含量在整个过程中变化不大。本试验结果表明,在低温贮藏过程中,香气成分中的醛类、醇类、单萜烯类物质在贮藏7~14 d时含量均会发生一次明显下降,此外,单萜烯类物质在贮藏63 d时再次出现明显变化拐点,且下降幅度与第一次接近,这在之前的研究中还未见报道,值得进一步研究。相反,倍半萜烯类物质在低温贮藏过程中含量增加,这主要是由于甜橙的特征性香气物质瓦伦烯含量的增加造成的。

百可得、咪鲜胺和2,4-滴钠盐是目前生产实践中常用的柑橘保鲜剂。刘丽丹等<sup>[24]</sup>的研究结果表明,同时使用咪鲜胺和百可得对砂糖橘和蜜橘采后病害的防治率超过72%。孟祥春等<sup>[25]</sup>的研究显示,2,4-滴处理可在贮藏30 d内维持砂糖橘果实糖酸度,防止维生素C损失。在夏橙保鲜贮藏过程中,可溶性固形物含量在贮藏前期先呈上升趋势,而在贮藏后期(60 d后)下降,贮藏90 d后,对照组可溶性固形物含量相较于贮藏前反而略微增加,这可能与无保鲜处理的果实贮藏后期汁胞含水量大大降低有关<sup>[26]</sup>。结果表明,混合使用3种保鲜剂结合纳米保鲜袋的保鲜措施不仅可以维持‘奥林达’夏橙在贮藏过程中的色泽、糖酸等基本品质,也可以抑制主要香气成分的变化。混合保鲜剂结合保鲜袋处理后的果实中,d-柠檬烯等主要香气成分在贮藏28 d内呈现出相反或相对更加平缓的变化模式,并且这种抑制作用在贮藏的第1个月(28 d左右)较为显著,进入第2个月后抑制作用减弱,而在贮藏63 d即2个月后保鲜处理对‘奥林达’香气成分的变化基本无明显作用。果实风味由糖、酸、香气物质共同决定,而糖类、类胡萝卜素等又参与了果实香气物质的合成<sup>[27-28]</sup>。刁俊明等<sup>[29]</sup>的研究发现,采后60 d是脐橙贮藏品质的一个临界点。本研究中,在贮藏保鲜后期(63 d后)随着基本品质的劣变,夏橙中萜烯类等主要香气物质也出现明显下降拐点,这可能与果实中各物质之间合

成、代谢与转化有关,但目前其具体变化机制尚不清楚。可见,保鲜处理在一定时间范围内对果实香气变化会有一定影响,但这种影响是否利于维持果实香气品质还有待进一步研究。

## 4 结 论

系统探究了‘奥林达’夏橙贮藏保鲜过程中主要香气成分的变化模式。辛醛、癸醛、β-芳樟醇、d-柠檬烯、β-月桂烯等主要香气成分在贮藏7~14 d时含量第一次明显下降,在63 d时d-柠檬烯、β-月桂烯等单萜烯类物质再次出现明显下降拐点。在实际生产中采用百可得、咪鲜胺和2,4-滴钠盐并结合纳米保鲜袋的保鲜措施可以在一定程度内维持夏橙果实的贮藏品质,也可以在贮藏的第1个月内(前28 d左右)抑制其主要香气成分的变化。

## 参考文献 References:

- [1] CALEB O J, FAWOLE O A, MPHABHLELE R R, OPARA U L. Impact of preharvest and postharvest factors on changes in volatile compounds of pomegranate fruit and minimally processed arils -Review[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 188: 106-114.
- [2] MANUELA C C, JOSE M S, ENRIQUE S. Gas chromatography coupled to mass spectrometry analysis of volatiles, sugars, organic acids and aminoacids in Valencia Late orange juice and reliability of the automated mass spectral deconvolution and identification system for their automatic identification and quantification[J]. *Journal of Chromatography A*, 2012, 1241(11): 84-95.
- [3] SELLI S, KELEBEK H. Aromatic profile and odour-activity value of blood orange juices obtained from Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* L. Osbeck) [J]. *Industrial Crops & Products*, 2011, 33(3): 727-733.
- [4] 唐会周, 明建. 5种市售脐橙果实香气成分的主成分分析[J]. 食品科学, 2011, 30(20): 175-180.
- [5] TANG Huizhou, MING Jian. Principal components analysis of aroma components of marketed navel oranges from five varieties [J]. *Food Science*, 2011, 30(20): 175-180.
- [6] 张涵, 鲁周民, 王锦涛, 郭旭. 4种主要柑橘类香气成分比较 [J]. 食品科学, 2017, 38(4): 192-196.
- [7] ZHANG Han, LU Zhoumin, WANG Jintao, GUO Xu. Comparative on the aroma components of 4 main citrus fruits[J]. *Food Science*, 2017, 38(4): 192-196.
- [8] CUEVAS F J, MORENOROJAS J M, RUIZMORENO M J. Assessing a traceability technique in fresh oranges (*Citrus sinensis* L. Osbeck) with an HS-SPME-GC-MS method. Towards a volatile characterisation of organic oranges[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1930-1938.
- [9] 李晓英. 脐橙果汁与果酒香气成分的GC-MS分析[J]. 中国酿造, 2013, 32(3): 154-157.
- [10] LI Xiaoying. Analysis of aroma components of navel orange juice and wine by gas chromatography - mass spectrometry[J]. *China Brewing*, 2013, 32(3): 154-157.
- [11] LIN C M, SHEU S R, HSU S C, TSAI Y H. Determination of bactericidal efficacy of essential oil extracted from orange peel on the food contact surfaces[J]. *Food Control*, 2010, 21 (12):

- 1710-1715.
- [9] ZHANG H P, XIE Y X, LIU C H, CHEN S L, HUA S S, XIE Z Z, DENG X X, XU J. Comprehensive comparative analysis of volatile compounds in citrus fruits of different species[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 316-326.
- [10] QIAO Y, XIE B J, ZHANG Y, ZHANG Y, FAN G, YAO X L, PAN S Y. Characterization of aroma active compounds in fruit juice and peel oil of Jinchen sweet orange fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O[J]. Molecules, 2008, 13(6): 1333-1344.
- [11] MACCARONE E, CAMPISI S, FALLICO B, RAPISARDA P, SGARLATA R. Flavor components of Italian Orange juices[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(6): 2293-2298.
- [12] SHARONASA L, SHALIT M, FRYDMAN A, BAR E, HOLLAND D, OR E, LAVI U, LEWINSOHN E, EYALL Y. Citrus fruit flavor and aroma biosynthesis: isolation, functional characterization, and developmental regulation of Cstps1, a key gene in the production of the sesquiterpene aroma compound valencene[J]. The Plant Journal, 2003, 36(5): 664-674.
- [13] 江倩.不同种类柑橘果实香气物质组成差异及其特征性组分鉴别[D].杭州:浙江大学,2013.
- JIANG Qian. Comparison of volatile compounds of citrus fruit from different species and identification of characteristic compounds [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [14] 唐会周.品种、成熟度和病害对柑橘果实香气成分的影响[D].重庆:西南大学,2011.
- TANG Huizhou. Effect of cultivar, maturity and infection on aroma component of citrus fruit [D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [15] 周先艳,龚琪,沈正松,李进学,李恩造,朱春华,高俊燕,岳建强.青柠檬采前喷雾咪鲜胺对果品生理和品质指标的影响[J].江西农业学报,2016,28(6): 42-45.
- ZHOU Xianyan, GONG Qi, SHEN Zhengsong, LI Jinxue, LI Enzao, ZHU Chunhua, GAO Junyan, YUE Jianqiang. Effects of preharvest spraying with prochloraz on postharvest physiology and quality of 'Femminello' green lemon fruits[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016, 28(6): 42-45.
- [16] 李鸿筠,姚廷山,王联英,胡军华,冉春,刘浩强.5种药剂对柑橘贮藏病害的防控效果评价[J].食品工业科技,2014,35(11): 319-323.
- LI Hongjun, YAO Tingshan, WANG Lianying, HU Junhua, RAN Chun, LIU Haoqiang. Evaluation on the control effect of 5 fungicides against citrus storage diseases[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(11): 319-323.
- [17] 吴黎明,蒋迎春,何利刚,王志静,仝铸,孙中海,宋蒙,谭子善,陈卫国,吴述勇,廖胜才.纳米材料对夏橙贮藏保鲜效果的影响[J].湖北农业科学,2013,52(23): 5776-5779.
- WU Liming, JIANG Yingchun, HE Ligang, WANG Zhijing, TONG Zhu, SUN Zhonghai, SONG Meng, TAN Zishan, CHEN Weiguo, WU Shuyong, LIAO Shengcai. Effects of nanomaterial on preservation quality of Valencia orange[J]. Hubei Agriculture Sciences, 2013, 52(23): 5776-5779.
- [18] SDIRI S, NAVARRO P, MONTERDE A, BENABDA J, SALVADOR A. New degreening treatments to improve the quality of citrus fruit combining different periods with and without ethylene exposure[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 63(1): 25-32.
- [19] 李利改.柑橘属植物基本类型中国特有种类不同组织器官挥发成分比较研究[D].重庆:西南大学,2014.
- LI Ligai. A comparative study of the volatiles in different organs of the basic *Citrus* types native to China[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [20] 刘克海,陈秋林,谢晶,王锡昌.分子蒸馏法富集甜橙油特征香气成分[J].食品科学,2012,33(10): 200-203.
- LIU Kehai, CHEN Qiulin, XIE Jing, WANG Xichang. Enrichment of characteristic aroma compounds in sweet orange oil by molecular distillation[J]. Food Science, 2012, 33(10): 200-203.
- [21] REN J N, TAI Y N, DONG M, SHAO J H, YANG S Z, PAN S Y, FAN G. Characterisation of free and bound volatile compounds from six different varieties of citrus fruits[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 25-32.
- [22] 周海燕.柑橘果汁特征香气组成及其在贮藏中的变化[D].武汉:华中农业大学,2006.
- ZHOU Haiyan. Characteristic aroma component of orange juice and its variation during Storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [23] 彭思.品种、发育时期和贮藏方式对柠檬挥发性成分的影响[D].武汉:华中农业大学,2016.
- PENG Si. Effects of cultivar, ripening stages and storage methods on volatile components of lemon[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [24] 刘丽丹,吴日章.不同保鲜剂对柑橘采后病害防治效果的研究[J].农产品加工(学刊),2014(17): 27-30.
- LIU Lidan, WU Rizhang. Effect of different preservatives on the prevention and control of postharvest diseases of *Citrus*[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(17): 27-30.
- [25] 孟祥春,蒋依辉,窦同心,张昭其.砂糖橘果实中2,4-D的残留及保鲜效果研究[J].亚热带农业研究,2009,5(2): 128-131.
- MENG Xiangchun, JIANG Nonghui, DOU Tongxin, ZHANG Zhaoqi. Research on residue of 2,4-D and its effects on preservation of Shatangju[J]. Subtropical Agriculture Research, 2009, 5(2): 128-131.
- [26] 胡位荣,孔维娜,庞学群,刘顺枝,张昭其.2种贮藏温度对沙田柚果实保鲜效果的影响[J].食品科技,2015,40(8): 334-339.
- HU Weirong, KONG Wein, PANG Xuequn, LIU Shunzhi, ZHANG Zhaoqi. Effects of two storage temperatures on storage quality of Shatianyu pomelo[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(8): 334-339.
- [27] 席万鹏,郁松林,周志钦.桃果实香气物质生物合成研究进展[J].园艺学报,2013,40(9): 1679-1690.
- XI Wanpeng, YU Songlin, ZHOU Zhiqin. Advances in aroma compounds biosynthesis of peach fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(9): 1679-1690.
- [28] 马玉华,马小卫,武红霞,周毅刚,许文天,王松标.不同类型芒果果肉类胡萝卜素、香气和糖酸品质分析[J].热带作物学报,2015,36(12): 2283-2290.
- MA Yuhua, MA Xiaowei, WU Hongxia, ZHOU Yigang, XU Wentian, WANG Songbiao. Analysis of carotenoid, volatile, sugar and organic acid in different types of mango flesh[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(12): 2283-2290.
- [29] 刁俊明,曾宪录,朱远平,钟福生.脐橙果实大小对果实感官品质和可溶性固形物含量的影响[J].广东农业科学,2015,42(23): 82-85.
- DIAO Junming, ZENG Xianlu, ZHU Yuanping, ZHONG Fusheng. Effects of fruit size on sensory quality and soluble solid content of *Citrus sinensis*[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(23): 82-85.