

黄林华, 蔡德萍, 郭莉, 等. 不同包装材料对NFC橙汁常温贮藏品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(4): 142-150.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.04.018

## 不同包装材料对NFC橙汁常温贮藏品质的影响

黄林华, 蔡德萍, 郭莉, 谈安群, 谭祥

国家柑桔工程技术研究中心/西南大学柑桔研究所, 重庆 400712

**摘要** 为降低非浓缩还原(not from concentrate, NFC)橙汁储运成本并提高其贮藏品质, 以长叶香橙为原料, 脱气杀菌后分别灌装至玻璃(glass, GL)、聚丙烯(polypropylene, PP)和聚乙烯(polyethylene, PE)(透氧率:  $GL < PP < PE$ )材质的包装中, 25 °C下避光贮藏并定期测定溶解氧(dissolved oxygen, DO)含量和相关品质指标。结果显示, DO值变化速度与包装材料的透氧率差异一致, GL、PP和PE中的还原糖含量均先降后升, 可接受感官品质的贮藏时间分别为60、15和7 d,  $V_C$ 含量和色泽指标( $\Delta E, A_{420}$ )均与包装的透氧率呈极显著相关( $P < 0.01$ ), 类黄酮和酚类化合物含量与包装透氧性不具有显著相关性。GL瓶中橙汁DO值在120 d内稳定在0.5 mg/L左右, 其橙汁贮藏效果最佳。结果表明, 在贮藏期间将DO值控制在0.5 mg/L及以下可更好地保持NFC橙汁的品质, 实现NFC橙汁的常温储运。

**关键词** NFC橙汁; 长叶香橙; 常温贮藏; 包装透氧性; 溶解氧(DO); 货架期; 感官品质

**中图分类号** TS275.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)04-0142-09

柑橘类水果中含有黄烷酮、酚酸、柠檬苦素、L-抗坏血酸、类胡萝卜素、挥发性萜烯等多种生物活性化合物, 具有抗氧化<sup>[1-2]</sup>、抗肿瘤<sup>[3]</sup>和抑菌<sup>[2]</sup>等作用。橙汁不仅富含 $V_C$ 、多酚等多种功能性营养成分, 更因其诱人的色泽和清爽的酸甜口味而受到消费者的青睐, 成为全球最受欢迎的果汁品类之一<sup>[4]</sup>。非浓缩还原(not from concentrate, NFC)橙汁是将新鲜甜橙榨汁、杀菌后直接灌装冷藏, 不经过浓缩及复原, 最大程度地保留甜橙原有的新鲜风味和营养成分。从微生物安全的角度来看, 橙汁属于高酸类食品( $pH < 4.6$ ), 经巴氏杀菌得到的橙汁在室温下稳定安全<sup>[5]</sup>。然而在避光贮藏期间, 橙汁的感官和营养品质仍会发生变化, 主要是由于顶部空间的氧气和透过包装材料的氧气不断溶解在橙汁中<sup>[6]</sup>, 与橙汁中的营养物质发生氧化反应, 如橙汁中 $V_C$ 的氧化降解<sup>[7]</sup>、酚类化合物发生氧化缩合形成褐色物质<sup>[8]</sup>以及类胡萝卜素的氧化异构化<sup>[9]</sup>等, 导致橙汁整体品质不断降低。

科研人员大多仅研究新型包装材料对橙汁品质的影响, 如纸铝塑复合包装<sup>[10]</sup>、具有吸氧功能的包装材料<sup>[11]</sup>; 或者通过气体交换去除包装容器内的氧气, 研究贮藏过程中橙汁品质的变化, 如充入 $N_2$ 和

$CO_2$ <sup>[12]</sup>。然而, 鲜有学者研究NFC橙汁贮藏过程中溶解氧含量的变化规律及其对橙汁贮藏营养品质的影响。而目前NFC果蔬汁的低温贮藏和货架期短是其储运成本较高的主要原因, 也是导致该类产品价格高、市场接受度低的重要因素。

本研究采用不同透氧性的包装材料灌装橙汁, 观察常温贮藏过程中溶解氧(dissolved oxygen, DO)含量的动态变化, 研究其变化与橙汁贮藏品质的关系, 从而明确NFC橙汁常温贮藏中DO值控制参数, 为实现NFC橙汁的常温贮藏、延长其货架期、降低储运成本提供新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

长叶香橙(*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), 2019年3月采摘于西南大学柑桔研究所果园。

Pertifilm TM 测试片(菌落总数、金黄色葡萄球菌、大肠菌群、霉菌/酵母菌)购于3M中国有限公司; NaOH、酚酞、邻苯二甲酸氢钾、草酸等试剂均为化学纯, 购于重庆川东化工有限公司; 冰乙酸、甲醇等为色谱纯, 购于美国Sigma-Aldrich公司。

收稿日期: 2021-12-29

基金项目: 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划(2022C02012); 国家重点研发计划项目(2017YFD0400701-3); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2020B018)

黄林华, E-mail: huanglh@cric.cn

玻璃(glass, GL)瓶,购于徐州聚霖玻璃制品有限公司;聚丙烯(polypropylene, PP)瓶,购于河北沧州东盛塑料有限公司;聚乙烯(polyethylene, PE)蒸

煮袋,购于河北保定龙兴包装有限公司。

GL、PP和PE均为无色透明材料,各包装材料的性能见表1。

表1 包装材料性能

Table 1 Packaging material performance

包装材料 Packing material	容积 /mL Volume	厚度 /mm Thickness	透氧率 /(cm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·24 h)) Oxygen transmission rate
GL瓶 Glass bottle	380	2.973±0.021	—
PP瓶 PP bottle	400	0.155±0.007	45.62±0.36*
PE蒸煮袋 PE retort pouch	380	0.086±0.003	77.84±0.58

注:“—”表示透氧率低于最低检测限,无法检测;“\*”该数据引自文献[13]。Note:“—” means the oxygen transmission rate was less than the lowest of detection (LOD) which cannot be detected. \* The data was from the reference [13].

## 1.2 仪器与设备

S9溶氧仪,梅特勒托利多(上海)有限公司;Color i5色差仪,瑞士Gretag Macbeth公司;TU-1901紫外-分光光度计,普析通用仪器有限责任公司;WAY-2S阿贝折光仪,上海精密科学仪器有限公司;1260 infinity高效液相色谱仪(HPLC-DAD),安捷伦科技(中国)有限公司。

## 1.3 橙汁样品处理

长叶香橙鲜果于西南大学柑桔研究所中试车间内经清洗、分级、压榨、精滤、真空脱气后,在杀菌管道内进行巴氏杀菌(95℃,30 s),然后在灌装室内取样至无菌操作台,立即分别热灌装至灭菌的GL瓶、PP瓶、PE蒸煮袋(透氧性:GL<PP<PE)中,灌装至顶空空隙小于0.1 cm,密封,冷水浴中冷却至室温,最后放置在恒温培养箱中,于25℃(模拟室温)下用多层黑色塑料膜包裹避光贮藏。所有样品准备2个平行,每个样品重复测定3次,分别在第0、3、7、15、30、60和120天时取样测定,当感官评定总分低于50分的样品不再进行理化指标测定。以第0天的橙汁样品作为空白对照样品。

## 1.4 测定指标

1)感官评定。参照GB/T 16291.2—2010《感官分析:选拔、培训和管理评价员一般导则:第二部分:专家评价员》的要求对小组成员进行培训,要求评定人员对标准橙汁的感官属性非常熟悉。感官评价指标为色泽、气味、滋味和状态与杂质,评定时均采用10分制,8~10分为标准,5~7分为合格,0~4分则为不合格<sup>[14]</sup>。总体评价结果以100分计,各指标的加权系数为色泽(20%)、气味(30%)、滋味(30%)和状态与杂质(20%),低于60分视为该橙汁样品不被接受。

2)溶解氧(DO)测定。使用S9溶氧仪进行侵入型测定,测定前对溶氧仪进行两点校准,校准结束后在氮气环境中测定样品,测定时轻微晃动溶氧仪,每个样品测定5次。

3)色泽的测定。Color i5色差仪开机后选择光源C-02,设定测试参数 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值,用黑板进行校正,校正结束后每个样品平行测定5次,并计算 $\Delta E$ 值。

4)褐变度( $A_{420}$ )的测定。国内外通常用 $A_{420}$ 作为果汁非酶褐变的指标,主要是因为非酶褐变反应所产生的色素在420 nm处有非常强的吸光值,吸光值越大,褐变就越严重<sup>[15]</sup>。参考韩智等<sup>[16]</sup>的测定方法加以修改。取6 mL样品于10 000 r/min条件下离心20 min,转移3 mL上清液,加入等体积95%乙醇,充分振荡混合,再在10 000 r/min条件下离心20 min,于420 nm处测定吸光值,平行测定3次。

5)还原糖含量的测定。根据行业标准NY/T 2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》进行测定。以葡萄糖为标准品,根据标准中的方法制作标准曲线,所得回归方程: $y=0.0491x+0.0074$ ,式中 $y$ 为质量浓度, $x$ 为吸光度, $R^2=0.9959$ 。

6)抗坏血酸( $V_C$ )的测定。根据GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》第三法——2,6-二氯靛酚法进行测定,结果以每100 g橙汁所含L-抗坏血酸质量表示(mg/100 g)。

7)类黄酮化合物(芦丁、橙皮苷和香蜂草苷)的测定。称取2份平行试样6 g于50 mL离心管中,加入8 mL乙酸乙酯,涡旋混匀5 min,于8 000 r/min条件下离心10 min,收集上清液,重复上述操作1次,合并上清液,氮吹浓缩至干,50%甲醇溶液定容

至2 mL,经0.22 μm微孔有机滤膜过滤后,高效液相色谱仪进样20 μL进行检测。将芦丁、橙皮苷和香蜂草苷标准品配制成不同浓度梯度的混合溶液上机检测,制得3种黄酮化合物的标准曲线回归方程,见表2。检测条件:色谱柱为Acclaim™120 C18分析柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),流动相为1%冰乙酸(A)和甲醇(B)。梯度洗脱程序:0 min 75% A,25% B;30 min 55% A,45% B;50 min 0% A,100% B;60 min 75% A,25% B;75 min 75% A,25% B。流速1 mL/min,柱温30 ℃,检测波长283 nm。

8) 酚酸类化合物(阿魏酸、对香豆酸和咖啡酸)的测定。称取2份平行试样6 g于50 mL离心管中,加入5 mL 8 mol/L的NaOH溶液,涡旋混匀反应

1 h;8 mol/L的HCl调节pH至2.0,加入8 mL乙酸乙酯和甲基叔丁基醚(体积比1:1)混合液,于10 000 r/min条件下离心10 min,收集上清液,重复上述操作1次,合并上清液,氮吹浓缩至干,50%甲醇溶液定容至2 mL,经0.22 μm微孔有机滤膜过滤后,高效液相色谱仪进样20 μL进行检测。将阿魏酸、对香豆酸和咖啡酸标准品配制成不同浓度梯度的混合溶液上机检测,制得3种酚酸化合物的标准曲线回归方程,见表2。检测条件:色谱柱为Acclaim™120 C18分析柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),流动相为1%冰乙酸(A)和甲醇(B)。梯度洗脱程序:0 min 80% A,20% B;22 min 70% A,30% B;52 min 0% A,100% B;60 min 80% A,20% B;66 min 80% A,20% B。流速1 mL/min,柱温30 ℃,检测波长为260 nm和320 nm。

表2 酚酸及类黄酮特征化合物的标准曲线回归方程

Table 2 Standard curve regression equation for the characteristic monomer of phenolic acids and flavonoids

名称 Name	回归方程 Regression equation	相关系数 $R^2$	
芦丁 Rutin	$y=3.2026x+0.2645$	0.999 4	
黄酮 Flavone	橙皮苷 Hesperidin	$y=1.6255x-0.2128$	0.999 4
	香蜂草苷 Didymin	$y=1.8187x-0.1025$	0.999 8
	咖啡酸 Caffeic acid	$y=2.2298x-0.0252$	0.999 9
酚酸 Phenolic acid	对香豆酸 <i>p</i> -Coumaric acid	$y=2.5906x+0.4411$	0.999 5
	阿魏酸 Ferulic acid	$y=2.807x+0.4977$	0.999 5

9) 微生物检测方法。菌落总数的检测参照《3M Pertrifilm™ 菌落总数测试片法》进行检测。大肠菌群的检测参照《3M Pertrifilm™ 大肠菌群测试片法》进行检测。霉菌及酵母菌的检测参照《3M Pertrifilm™ 霉菌及酵母菌测试片法》进行检测。金黄色葡萄球菌的检测参照《3M Pertrifilm™ 金黄色葡萄球菌测试片法》进行检测。以上微生物检测在NFC橙汁冷藏结束(180 d)时进行。目前国标对于NFC果汁的微生物指标没有明确规定,所以根据GB 7101—2015《食品安全国家标准 饮料》和GB 29921—2013《食品安全国家标准 食品中致病菌限量》等标准,将对NFC橙汁中的微生物进行严格控制。

### 1.5 数据处理

本试验所有样品重复测定3次,测试结果以“平均值±标准差”表示。使用Origin 8.5软件进行相关图的绘制,利用SPSS 11.5统计软件对数据进行两因素交互方差分析,采用Duncan's法比较平均值之间的差异性, $P<0.01$ 表示差异极显著, $P<0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 贮藏过程中不同包装内DO值的变化

由图1可知,在贮藏过程中,PE包装中的DO值升高幅度最大,其次是PP包装,GL包装中最低,这与3种包装材料的透氧性(PE>PP>GL)大小一致。GL包装的橙汁中DO值整体趋势平稳,基本维持在0.5 mg/L左右。而PP和PE包装的橙汁中DO值变

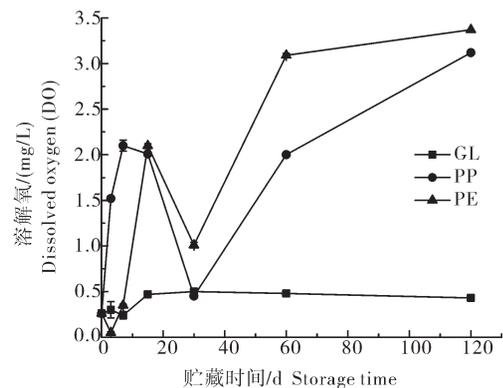


图1 不同包装材料中DO值的变化

Fig.1 Changes of dissolved oxygen content in different packaging materials

化趋势一致,均呈现先升高、而后迅速降低、最后逐渐升高至平稳的趋势,出现这一变化的可能原因是在贮藏初期,初始DO值低,限制了橙汁中的氧化反应速度,所消耗的溶解氧小于溶解在橙汁中的透过氧,DO值升高;当DO值达到一定量后,橙汁中的氧化反应加速,消耗的溶解氧大于溶解在橙汁中的透过氧,DO值下降;而后橙汁中的氧化反应底物大量减少,氧化反应又逐渐减缓,消耗的溶解氧小于溶解在橙汁中的透过氧,贮藏后期PP和PE中的DO值逐渐升高,直至保持稳定。

### 2.2 感官评价

图2、3分别是评价人员对GL、PP、PE包装橙汁样品各感官指标的评分和总体评分结果。由图2可见,对照组橙汁(贮藏0d)的滋味为酸甜适中,略带苦味,气味新鲜怡人,具有橙子本身的鲜甜味。随着贮

藏时间延长,PP和PE包装中橙汁逐渐褐变,出现絮状漂浮固形物,能闻到不同程度的焦糖味,缺少了橙汁的新鲜风味;玻璃瓶中橙汁滋味和气味大体上都没有明显变化。当橙汁开始发生劣变时,3种包装的橙汁样品的气味和滋味2个感官指标变化最为明显,其次是色泽,橙汁的状态相对稳定。PE包装的橙汁样品的感官总分在贮藏15d后低于60分,但气味和滋味2个感官指标评分在贮藏7d时已经低于6分。由图3可见,PP中的橙汁在30d时总分也已经低于60分;但GL中的橙汁在贮藏60d时感官评价总分仍高于60分,说明该橙汁仍能被消费者接受。通过方差分析发现,3种不同透氧性的包装对橙汁感官评价总分的影响差异显著( $P<0.01$ ),说明降低橙汁的DO值对保持橙汁的良好感官品质至关重要。

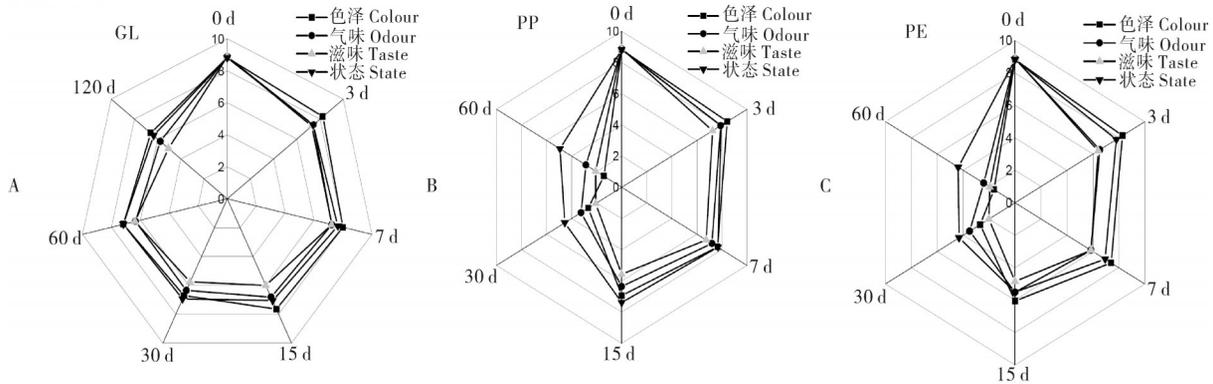


图2 GL(A)、PP(B)、PE(C)包装橙汁感官指标评分雷达图

Fig.2 Orange juice sensory index score radar chart of GL(A), PP(B) and PE(C)

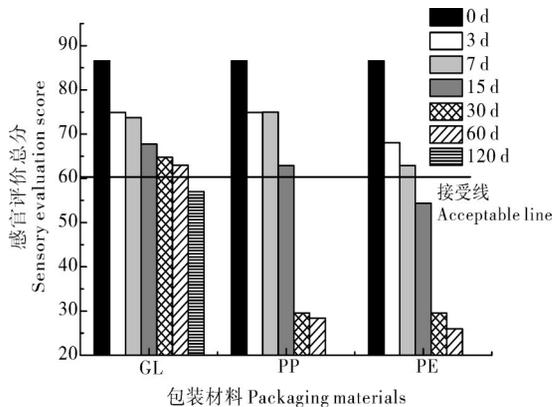


图3 不同包装的橙汁的感官评价总分

Fig.3 Orange juice sensory evaluation score of GL, PP and PE

### 2.3 贮藏过程中不同包装橙汁色泽的变化

由表3可知,随着贮藏时间延长,所有橙汁样品的 $L^*$ 值均下降,但在120d时GL包装中橙汁的 $L^*$ 值仅降低2%,肉眼无法直接辨别出差异,而PP和PE

包装中橙汁的 $L^*$ 值分别降低了13%和23%;这说明随着包装的透氧量增加,橙汁的DO值越高,氧化反应越快,加速了橙汁的色泽褐变。 $a^*$ 表示红绿值,所有橙汁样品的 $a^*$ 值均为正值,且随着贮藏时间延长而增加,说明橙汁的色泽逐渐变红;在贮藏120d时,PP和PE中橙汁的 $a^*$ 值分别上升了38%和74%,GL中 $a^*$ 值仅上升了12%。GL、PP和PE中橙汁的 $b^*$ 值在贮藏120d时分别下降了9%、37%和45%,即橙汁的黄色值在逐渐下降,贮藏过程 $b^*$ 值的增加可能是 $V_C$ 氧化降解、美拉德反应和酚类氧化聚合共同作用的结果。除此之外,橙汁中的类胡萝卜素氧化异构化,导致黄色色素减少, $b^*$ 值下降。 $\Delta E$ 代表橙汁整体色泽变化的理论参考值,一般认为 $2 \leq \Delta E < 4$ 时,颜色变化肉眼可见,但在特定情况下可接受; $\Delta E \geq 4$ 视为色差严重至无法接受<sup>[17]</sup>。GL包装中橙汁的 $\Delta E$ 值在120d时仅为3.72,在感官指标评分(图2)中,该橙汁

表3 贮藏过程中橙汁色泽的变化  
Table 3 Changes of color of orange juice during storage

包装材料 Packaging materials	贮藏时间/d Storage time	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
GL	0	52.10±0.008d	3.70±0.009d	39.19±0.008a	0.000g
	3	52.61±0.036a	3.82±0.008c	39.32±0.008a	0.54±0.047f
	7	52.42±0.012b	3.43±0.008f	38.49±0.009b	0.82±0.009e
	15	52.42±0.066b	3.57±0.019e	37.76±0.116c	1.47±0.139d
	30	52.23±0.021c	3.69±0.009d	37.28±0.022d	1.91±0.021c
	60	51.55±0.000e	3.88±0.008b	36.23±0.074e	3.02±0.087b
	120	51.33±0.010f	4.14±0.010a	35.58±0.010f	3.72±0.008a
PP	0	52.10±0.008a	3.70±0.009d	39.19±0.008a	0.000g
	3	51.66±0.031b	3.00±0.000g	36.76±0.012b	2.57±0.016f
	7	51.70±0.014b	3.14±0.012f	36.12±0.021c	3.15±0.033e
	15	50.88±0.110c	3.29±0.009e	34.57±0.248d	4.80±0.323d
	30	45.01±0.012e	5.34±0.008b	26.93±0.019e	14.26±0.008c
	60	43.69±0.008f	5.69±0.005a	24.13±0.024f	17.36±0.027a
	120	45.50±0.120d	5.10±0.020c	24.58±0.300f	16.10±0.392b
PE	0	52.10±0.008a	3.70±0.009g	39.19±0.008a	0.000g
	3	52.05±0.021a	3.92±0.005f	38.25±0.012b	0.97±0.003f
	7	51.67±0.017b	4.03±0.090e	37.17±0.016c	2.09±0.026e
	15	51.51±0.115c	4.25±0.012d	37.04±0.090c	2.30±0.131d
	30	45.48±0.014d	5.87±0.012c	27.98±0.009d	13.20±0.011c
	60	44.29±0.008e	6.53±0.029a	25.86±0.031e	15.71±0.042b
	120	40.40±0.000f	6.44±0.040b	21.45±0.050f	21.43±0.063a

注:不同小写字母表示同一指标在两组样品间存在显著差异。Note: Different lower letters indicate the significant difference between the two groups of samples.

样品的色泽评分也高于6分,仍在合格范围内,而PP和PE中橙汁在贮藏30 d时, $\Delta E > 4$ 。通过方差分析发现,贮藏时间和不同透氧性包装材料对橙汁的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值和色差 $\Delta E$ 的影响均呈极显著差异( $P < 0.01$ ),GL包装效果最好。

#### 2.4 贮藏过程中不同包装橙汁褐变度( $A_{420}$ )的变化

由图4可知, $A_{420}$ 随贮藏时间的延长逐渐增加,表明橙汁的褐变度逐渐变得严重。在贮藏60 d时,PP和PE包装中橙汁的 $A_{420}$ 均是第0天的3倍,而GL包装中的 $A_{420}$ 在贮藏过程中没有显著性变化。通过方差分析发现,不同透氧性包装对 $A_{420}$ 的影响具有显著性差异( $P < 0.01$ ),表明不同包装材料对橙汁的褐变度影响差异较大。

#### 2.5 贮藏过程中不同包装橙汁还原糖的变化

图5显示,3种橙汁样品中的还原糖含量在贮藏前期均有小幅下降,而在贮藏后期不断上升。PP和PE包装中橙汁的还原糖含量在贮藏7 d后开始逐渐增加,而GL中的还原糖含量在贮藏15 d后开始增

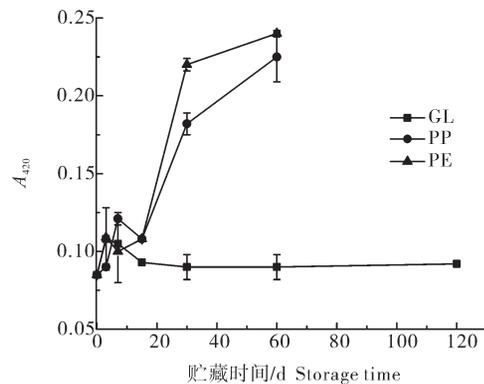


图4 贮藏过程中褐变度( $A_{420}$ )的变化

Fig. 4 Changes of browning index ( $A_{420}$ ) during storage

加。并且通过方差分析发现,贮藏时间和不同透氧性包装材料对橙汁还原糖含量的影响差异极显著( $P < 0.01$ )。

#### 2.6 贮藏过程中不同包装橙汁 $V_C$ 的变化

在有氧条件下, $V_C$ 发生有氧降解形成脱氢抗坏血酸,经一系列反应后最终生成还原酮,还原酮再参与美拉德反应生成黑褐色物质;在无氧条件下 $V_C$ 也会发生降解,但速度比有氧降解慢。图6显示, $V_C$ 含

量整体呈下降趋势,在贮藏30 d时,PP和PE包装中的V<sub>C</sub>含量均下降了92%,而GL包装中的V<sub>C</sub>含量仅减少了13%,说明透氧性低的GL包装中DO值低,对橙汁的V<sub>C</sub>具有很好的保护作用。该结果与本试验中溶解氧和褐变指数在30 d发生急剧变化一致,或可进一步佐证橙汁褐变主要由美拉德反应、V<sub>C</sub>降解及酚类物质氧化聚合引起。虽然PP和PE 2种包装的透氧性不同,包装内的DO值也不同,但通过方差分析发现,PP和PE 2种包装对V<sub>C</sub>含量的影响没有显著性差异。

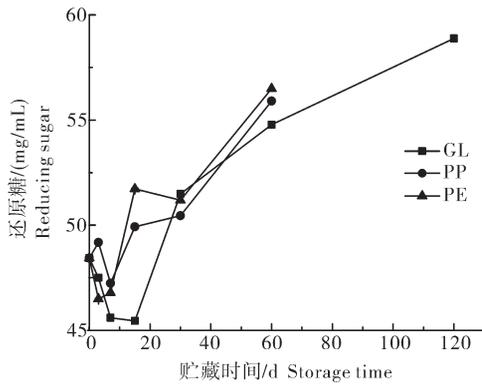


图5 贮藏过程中还原糖含量的变化

Fig.5 Changes of reducing sugar content during storage

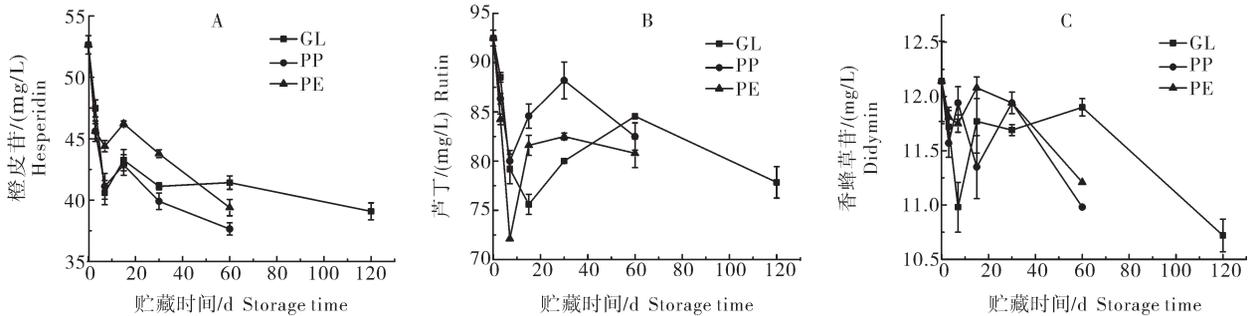


图7 贮藏过程中橙皮苷(A)、芦丁(B)和香蜂草苷(C)含量的变化

Fig.7 Changes of the contents of hesperidin (A), rutin (B) and didymin (C) during storage

## 2.8 贮藏过程中不同包装橙汁酚酸类化合物的变化

为了探究橙汁贮藏过程中DO值对酚酸化合物的影响,选择以占比相对较多的阿魏酸、咖啡酸和对香豆酸为代表进行测定,其结果如图8所示。3种酚酸化合物在波动中呈现先下降、后上升最后再逐渐下降的趋势,这与3种类黄酮化合物的变化趋势一致,推测变化原因类似。通过分析发现,包装材料的透氧性与阿魏酸、对香豆酸和咖啡酸含量之间虽然不具有线性相关性,但降低DO值对各酚酸化合物具有良好的保护作用。在贮藏结束时,GL包装中各酚

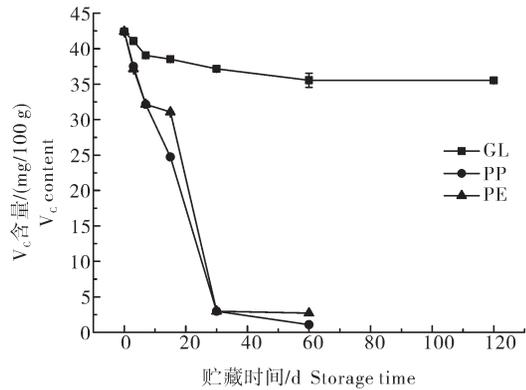


图6 贮藏过程中V<sub>C</sub>含量的变化

Fig.6 Changes of V<sub>C</sub> content during storage

## 2.7 贮藏过程中不同包装橙汁类黄酮化合物的变化

为探究不同DO值变化对橙汁中类黄酮化合物的影响,以含量较为丰富的橙皮苷、芦丁和香蜂草苷为代表进行分析,结果如图7所示。通过数据分析发现,橙皮苷、芦丁和香蜂草苷的质量浓度与DO值均不具有显著相关性。3种类黄酮化合物的质量浓度在贮藏前期均呈现下降趋势,而后均出现升高,在贮藏后期又逐渐下降。

酸化合物含量较初始值略低或相当。

## 2.9 不同包装NFC橙汁常温贮藏中微生物变化

随着橙汁样品的贮藏温度升高,橙汁中残存微生物的生长情况可能发生变化。对常温贮藏温度下NFC橙汁中微生物的变化进行监测。经试验检测发现,常温贮藏至180 d时,GL、PP和PE包装橙汁的菌落总数对数值分别为1.18、0.30和1.02。根据GB 7101-2015《食品安全国家标准 饮料》,其菌落总数均属于合格范围。除此之外,橙汁样品中的其他微生物,如大肠菌群、霉菌、酵母菌和金黄色葡萄球菌等均未检出。结果表明,所有的橙汁样品中的微生物指标均在合格范围内,推测在贮藏期间,橙汁样品

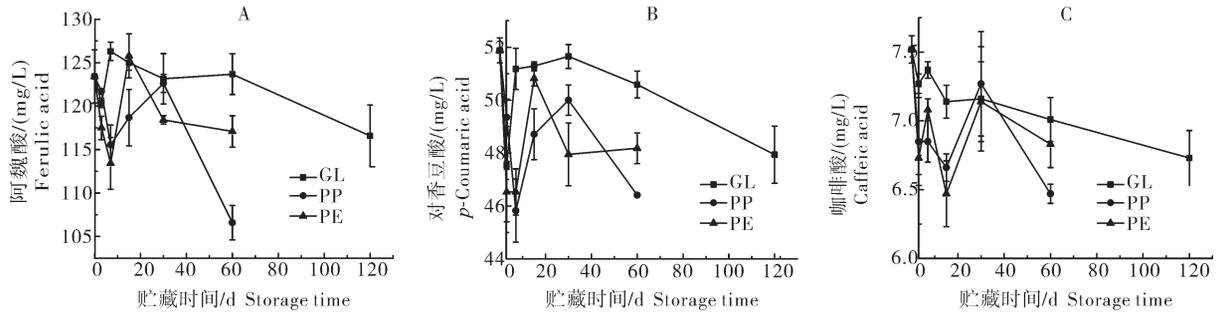


图8 贮藏过程中阿魏酸(A)、对香豆酸(B)和咖啡酸(C)含量的变化

Fig.8 Changes of ferulic acid (A), *p*-coumaric acid (B) and caffeic acid (C) during storage

的各种理化指标受微生物繁殖的干扰甚微。

### 3 讨论

橙汁中DO值过高,不仅会引起营养物质发生氧化降解,还有助于好氧菌的生长繁殖,加速橙汁风味和营养品质劣变<sup>[15]</sup>。本研究将橙汁灌装至不同透氧性的包装中贮藏,分析不同包装橙汁在常温贮藏过程中DO值变化,通过感官评价和理化指标分析发现,橙汁的品质与DO值和包装的透氧性密切相关。PE包装透氧性最大,DO值最高,品质劣变最快;其次是PP包装;GL包装最有利于橙汁品质的保持。GL包装中橙汁DO值一直维持在0.5 mg/L左右,可能原因是GL包装透氧率低,可利用的DO有限,使得整个贮藏过程中氧化反应极慢,消耗的DO与溶解在橙汁中的透过氧保持动态平衡<sup>[18-19]</sup>。橙汁的 $V_C$ 、酚酸类化合物等得到较好的保留, $A_{420}$ 没有显著性变化,说明褐变度不严重。

$V_C$ 降解速率可通过动力学模型进行定量描述,降解速率常数 $K$ 的绝对值越小,表明降解速率越慢。通过分析发现,3种不同包装中的 $V_C$ 降解均符合一级降解动力学模型,GL、PP和PE包装中 $V_C$ 的降解速率常数 $K$ 分别为 $-0.0574 \pm 0.002$ 、 $-1.2718 \pm 0.001$ 和 $-1.2247 \pm 0.006$ ,说明GL包装中 $V_C$ 的降解速率最慢,该结果与Wibowo等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。橙汁褐变主要由美拉德反应、 $V_C$ 降解及酚类物质氧化聚合引起,该结果与 $V_C$ 的结果相互印证,并且与Bacigalupi等<sup>[11]</sup>研究的结果一致。还原糖含量前期有所下降,可能是由于美拉德反应消耗还原糖的速率大于还原糖生成的速率,还可能和羟基自由基与葡萄糖反应有关<sup>[21]</sup>,后期不断上升,分析原因为随着蔗糖、果胶、纤维素等水解以及果肉悬浮物中的可溶性糖溶出,导致还原糖生成的速率大于美拉德反应

的速率,该变化与吴敏<sup>[19]</sup>研究荔枝汁的还原糖在贮藏期内的变化趋势类似。PP和PE包装橙汁比GL包装橙汁还原糖含量先上升,出现这种差异的可能与PP和PE包装橙汁中较高的DO加速了还原糖的生成反应有关<sup>[19]</sup>。

通过进一步分析发现,橙皮苷的减少量最大,其次是芦丁,香蜂草苷最少,出现该现象除与橙汁中黄酮化合物本身的含量有关外,由于黄酮类化合物结构中常含有酚羟基、甲基、甲氧基等取代基团,酚羟基的甲基化或糖基化会都降低柑桔酚类物质的自由基清除能力,而且自由羟基所含数目与抗氧化能力呈显著正相关<sup>[22-23]</sup>。由于类黄酮属于多酚类化合物,推测含量减少可能由类黄酮化合物消耗水中溶解氧发生氧化缩合反应所引起,而含量增加可能与果肉细胞中类黄酮化合物溶出有关<sup>[24]</sup>。GL包装的NFC橙汁在常温避光贮藏条件下,感官评价的可接受时间达到60 d,有效延长了橙汁的常温贮藏时间。本文研究结果发现橙汁贮藏过程中溶解氧的变化与橙汁颜色、风味和营养成分含量变化具有较大相关性,但溶解氧在橙汁贮藏过程品质劣变的作用机制和反应途径有待进一步的研究。

### 参考文献 References

- [1] SIR ELKHATIM K A, ELAGIB R A A, HASSAN A B. Content of phenolic compounds and vitamin C and antioxidant activity in wasted parts of Sudanese citrus fruits [J]. Food science & nutrition, 2018, 6(5): 1214-1219.
- [2] HU Y, LI Y, ZHANG W L, et al. Physical stability and antioxidant activity of citrus flavonoids in Arabic gum-stabilized microcapsules: modulation of whey protein concentrate [J]. Food hydrocolloids, 2018, 77: 588-597.
- [3] THIEME C, WESTPHAL A, MALARSKI A, et al. Polyphenols, vitamin C, *in vitro* antioxidant capacity,  $\alpha$ -amylase and

- COX-2 inhibitory activities of citrus samples from Aceh, Indonesia [J]. International journal for vitamin and nutrition research, 2019, 89(5/6):337-347.
- [4] WIBOWO S, GRAUWET T, SANTIAGO J S, et al. Quality changes of pasteurised orange juice during storage: a kinetic study of specific parameters and their relation to colour instability [J]. Food chemistry, 2015, 187: 140-151.
- [5] SILVA F V M, GIBBS P. Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2004, 44(5): 353-360.
- [6] BACIGALUPI C, LEMAISTRE M H, BOUTROY N, et al. Changes in nutritional and sensory properties of orange juice packed in PET bottles: an experimental and modelling approach [J]. Food chemistry, 2013, 141(4): 3827-3836.
- [7] AL FATA N, GEORGÉ S, DLALAH N, et al. Influence of partial pressure of oxygen on ascorbic acid degradation at canning temperature [J]. Innovative food science & emerging technologies, 2018, 49: 215-221.
- [8] 敖森, 李福香, 赵吉春, 等. 柑橘在贮藏加工过程中酚类化合物的变化 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(9): 282-288. AO M, LI F X, ZHAO J C, et al. Variations in phenolic compounds in citrus during storage and processing [J]. Food and fermentation industries, 2019, 45(9): 282-288 (in Chinese with English abstract).
- [9] BAKER R, GÜNTHER C. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption [J]. Trends in food science & technology, 2004, 15(10): 484-488.
- [10] 刘春芝, 许洪高, 李绍振, 等. 纸铝塑复合包装100%橙汁贮藏期间化学品质的变化 [J]. 食品科学, 2013, 34(2): 262-266. LIU C Z, XU H G, LI S Z, et al. Change in chemical quality of 100% orange juice stored in laminated paperboard packages during storage [J]. Food science, 2013, 34(2): 262-266 (in Chinese with English abstract).
- [11] BACIGALUPI C, MAUREY A, BOUTROY N, et al. Changes in nutritional value of a multi-vitamins fortified juice packed in glass and standard PET bottles [J]. Food control, 2016, 60: 256-262.
- [12] 蒋和体, 赵艳. 充入N<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>对贮藏橙汁品质的影响研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(14): 288-291. JIANG H T, ZHAO Y. Effects of nitrogen and carbon dioxide on quality of "Olinda" Valencia orange juice stored at 15 °C [J]. Food science, 2009, 30(14): 288-291 (in Chinese with English abstract).
- [13] 徐文达. 食品软包装新技术: 气调包装、活性包装和智能包装 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009: 14. XU W D. New food soft packaging technology: air conditioning packaging, active packaging and intelligent packaging [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2009: 14 (in Chinese).
- [14] TRIBESS T B, RODAS M A D B, JUSSARA CARVALHO D M D J, et al. The effect of refrigerated storage on sensory profile and physical-chemical characteristics of minimally pasteurized orange juice [J]. Journal of food processing and preservation, 2009, 33: 264-280.
- [15] VALDRAMIDIS V P, CULLEN P J, TIWARI B K, et al. Quantitative modelling approaches for ascorbic acid degradation and non-enzymatic browning of orange juice during ultrasound processing [J]. Journal of food engineering, 2010, 96: 449-454.
- [16] 韩智, 李申, 马亚琴, 等. 橙汁模拟体系非酶褐变产物及评价标准 [J]. 食品科学, 2015, 36(22): 117-121. HAN Z, LI S, MA Y Q, et al. Reaction products and evaluation criteria of non-enzyme browning in model orange juice [J]. Food science, 2015, 36(22): 117-121 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘琪, 王冰, 欧雅文, 等. 高压均质对菠萝汁贮藏货架期及品质的影响 [J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 156-162. LIU Q, WANG B, OU Y W, et al. The effect of high pressure homogenization on the shelf life and quality of pineapple juice [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 156-162 (in Chinese with English abstract).
- [18] PÉNICAUD C, BROYART B, PEYRON S, et al. Mechanistic model to couple oxygen transfer with ascorbic acid oxidation kinetics in model solid food [J]. Journal of food engineering, 2011, 104(1): 96-104.
- [19] 吴敏. 包装和贮藏条件对荔枝果汁品质的影响研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016. WU M. Effect of packaging and storage condition on the quality of litchi juice [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [20] WIBOWO S, GRAUWET T, KEBEDE B T, et al. Study of chemical changes in pasteurised orange juice during shelf-life: a fingerprinting-kinetics evaluation of the volatile fraction [J]. Food research international, 2015, 75: 295-304.
- [21] MOTOHASHI N, SAITO Y. Competitive measurement of rate constants for hydroxyl radical reactions using radiolytic hydroxylation of benzoate [J]. Chemical and pharmaceutical bulletin, 1993, 41(10): 1842-1845.
- [22] KIM D O, LEE C Y. Comprehensive study on vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of various polyphenolics in scavenging a free radical and its structural relationship [J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2004, 44(4): 253-273.
- [23] 黄宁馨, 鲁群, 丁士勇, 等. 复合乳酸菌发酵过程中枸杞果汁品质及抗氧化活性变化 [J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(6): 186-194. HUANG N X, LU Q, DING S Y, et al. Changes in quality and antioxidant activity of Goji juice during fermentation of compound lactic acid bacteria [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(6): 186-194 (in Chinese with English abstract).
- [24] GARCÍA-ALONSO F J, BRAVO S, CASAS J, et al. Changes in antioxidant compounds during the shelf life of commercial tomato juices in different packaging materials [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2009, 57(15): 6815-6822.

## Effects of different packaging materials on storage quality of NFC orange juice at room temperature

HUANG Linhua, CAI Deping, GUO Li, TAN Anqun, TAN Xiang

National Citrus Engineering Research Center/Citrus Research Institute,  
Southwest University, Chongqing 400712, China

**Abstract** NFC (not from concentrated) orange juice is one of the most popular beverages due to its fresh flavor and high quality. The high price of NFC orange juice always discourages consumers from buying it. In order to reduce the cost of storage and transportation of NFC orange juice and improve its storage quality, Changye orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice was degassed, sterilized and filled into glass (GL), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) (oxygen permeability:  $GL < PP < PE$ ) packaging, respectively. Packed juice was stored in dark at 25 °C. The dissolved oxygen (DO) and storage quality indexes of the juice were determined at different storage time points. The results showed that the change in content of DO was consistent with the oxygen permeability of the package. The content of reducing sugar in GL, PP and PE all decreased first and then increased. The acceptable storage time for sensory evaluation were 60, 15 and 7 days.  $V_C$  content,  $\Delta E$  and  $A_{420}$  were significantly correlated with the oxygen permeability of packaging ( $P < 0.01$ ), and the content of flavonoids and phenolic acid compounds was not significantly correlated with the oxygen permeability of packaging. The content of DO in the orange juice from the GL bottle was stable at about 0.5 mg/L within 120 days, and its orange juice quality was the best. It is indicated that the quality of NFC orange juice can be well maintained by controlling the dissolved oxygen at no more than 0.5 mg/L. It will provide a new possible way of NFC orange juice storage and transportation at room temperature.

**Keywords** NFC orange juice; *Citrus sinensis* (L.) Osbeck; storage at room temperature; packaging oxygen permeability; dissolved oxygen (DO); shelf life; sensory quality

(责任编辑:赵琳琳)