

己醛处理对脐橙果实贮藏品质的影响

曹琦¹, 王建军¹, 邓丽莉¹, 曾凯芳^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘要: 研究不同剂量己醛熏蒸处理对采后脐橙果实贮藏品质的影响。脐橙果实用0 (对照)、50、100、150 $\mu\text{L/L}$ 的己醛熏蒸处理24 h后, 于5 $^{\circ}\text{C}$ 、85%~90%相对湿度条件下贮藏60 d, 并定期进行指标测定和感观分析。结果显示, 50、100 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理对脐橙果实的贮藏品质无显著影响; 150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理会对果实造成毒害, 表现为果皮褐变和果肉汁囊枯水、粒化; 同时, 150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理果实的还原型VC含量也显著低于其他处理。说明适宜剂量的己醛熏蒸处理能够控制脐橙果实侵染性病害的同时不影响果实的贮藏品质, 过高剂量的己醛处理会造成果实的生理性病害。

关键词: 己醛; 脐橙; 品质; 贮藏

Effect of Hexanal Treatment on Storage Quality of Navel Orange

CAO Qi¹, WANG Jianjun¹, DENG Lili¹, ZENG Kaifang^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract: Previous studies have shown that treatment with 100 $\mu\text{L/L}$ hexanal could significantly inhibit infectious diseases of citrus fruit. This study was designed to investigate the effects of different concentrations of hexanal on the postharvest quality of navel orange. After being exposed to 0, 50, 100 or 150 $\mu\text{L/L}$ hexanal vapor for 24 h, the fruit were stored at 5 $^{\circ}\text{C}$ and 85%–90% relative humidity for 60 days. Sensory attributes and other indicators were evaluated during storage period. Results showed that 50 and 100 $\mu\text{L/L}$ hexanal treatments did not have obvious effects on storage quality of navel orange fruit. However, 150 $\mu\text{L/L}$ hexanal treatment caused poisoning in fruit with symptoms of reddish-brown peel as well as dryness and granulation of pulp. Besides, the ascorbate content of the fruit treated with 150 $\mu\text{L/L}$ hexanal was significantly lower than that of other treatments. To conclude, appropriate concentration of hexanal could maintain the quality while high concentration of hexanal could cause physiological disorder of navel orange fruit.

Key words: hexanal; navel orange; quality; storage

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 20-0252-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201520049

柑橘类果实 (*Citrus sinensis* L. Osbeck) 是当今全球水果栽培中最重要的果实, 每年全球产量超过一亿吨, 居世界第一位^[1]。我国也是柑橘的生产及消费大国, 种植面积和产量均居于世界首位^[2]。在我国, 柑橘产量的90%以上用于鲜食, 随着经济发展和人们生活水平的逐步提高, 消费者对柑橘果实品质的要求越来越高。目前品质已成为实现柑橘生产效益和提高竞争力的核心内容。

植物挥发性物质己醛是一种被美国食品和药物管理局^[3]和GB 2760—2014《食品添加剂使用标准》^[4]批准使用的食品添加剂, 一般作为食品用香料。已有研究发现, 采用己醛熏蒸处理可以较好地抑制果蔬贮藏期间侵

染性病害的发生, 对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌都有较强的抑制作用^[5], 对真菌病原体也具有一定抑制效果^[6-8], 本实验室的前期研究表明, 100 $\mu\text{L/L}$ 的己醛熏蒸能够显著抑制柑橘果实的侵染性病害发生。但是己醛处理对不同种类果蔬贮藏品质的影响有较大差异, 较大用量的己醛处理会造成果实的植物毒性症状, 引起果蔬贮藏品质的劣变。目前, 关于己醛对番茄、苹果、梨等果实的品质影响已有相关报道^[9-13], 但关于己醛对脐橙贮藏品质的影响鲜见研究。

果实的风味、外观、质地等感官品质是决定果实产品质量的一个重要因素, 感官分析技术具有实用性强、

收稿日期: 2015-04-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31471631); “十二五”国家科技支撑计划项目 (2015BAD16B07);

重庆市科技攻关 (应用技术研发类/重点) 项目 (cstc2012gg-yyjsB80003)

作者简介: 曹琦 (1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品生物技术。E-mail: caoqiswu@163.com

*通信作者: 曾凯芳 (1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏工程。E-mail: zengkaifang@163.com

灵敏度高、结果可靠等优点,而且能够解决一般理化分析所不能解决的复杂的生理感受问题^[14]。有些仪器所不能测定的指标,可以利用感官检验来进行测量以控制产品质量,同时提供消费者对产品的态度信息。模糊数学由美国控制论专家Zadeh在20世纪60年代首先提出,之后在各行各业都得到了广泛的应用^[15-16]。

本实验对采后脐橙果实进行己醛熏蒸处理,研究其对脐橙果实贮藏品质的影响,并且利用对脐橙感官性质的定量描述分析和模糊综合评价,确定己醛处理对脐橙感官品质的影响,从而评估己醛在脐橙果实贮藏保鲜中的商业化价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

所用脐橙果实材料购于2012年11月,产地为重庆璧山县,果实为成熟果实,色泽为黄色,剔除病、伤果,挑选大小均匀,成熟度相对一致,无病虫害、机械伤以及无病斑的果实,果实采收后立即运回实验室。

己醛(98%纯度) 成都格雷西亚化学技术有限公司。

1.2 仪器与设备

CT3质构仪 美国Brookfield公司; WYT0-80%手持折光仪 成都兴晨光光学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 己醛处理方法

脐橙果实于2%次氯酸钠溶液中浸泡2 min进行表面消毒,随后用清水洗净,自然晾干后进行熏蒸处理。实验共设4组处理:A:蒸馏水;B:50 μL/L己醛;C:100 μL/L己醛;D:150 μL/L己醛,熏蒸24 h;熏蒸处理后,将果实用厚度0.015 mm的聚乙烯袋单果包装,于5℃、85%~90%相对湿度环境下贮藏60 d,每隔10 d进行观察和取样测定。每组处理30个果实,重复3次。

1.3.2 脐橙果实品质测定

1.3.2.1 脐橙果实硬度的测定

参照曹建康等^[17]的方法,采用质构仪测定硬度。

1.3.2.2 脐橙果实质量损失率的测定

质量损失率按式(1)^[18]进行:

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{\text{贮藏样品的原始质量} - \text{贮藏后样品质量}}{\text{贮藏样品的原始质量}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2.3 脐橙果实可溶性固形物含量的测定

采用阿贝折光仪测定可溶性固形物含量。

1.3.2.4 脐橙果实可滴定酸含量的测定

参照龙淑珍等^[19]的方法,采用酸碱滴定法测定可滴定酸含量。

1.3.2.5 脐橙果实VC含量测定

采用2,6-二氯酚酚滴定法^[20]测定VC含量。

1.3.3 己醛处理对低温贮藏脐橙果实感官品质指标的影响

1.3.3.1 感官分析的要素及其要求

评员的选择:参照马永强等^[21]的方法进行品评人员的筛选和培训。参加评比的人员由10位研究生组成,其所用工具及样品每人一份,以便仔细鉴定。

样品的制备:每次评定样品的数量控制为2~4个;评定的样品随机呈给评定员,并采用随机数字对样品进行编号。

审评条件:室内条件要安静舒适、无异味、通风良好、光线充足,审评时的温度控制在21℃左右,相对湿度在65%左右^[22]。

1.3.3.2 定量描述分析法的要素及其要求

感官鉴评指标分析参照温州蜜柑的有关鉴评标准^[23]。对过去的鉴评方法进行部分修改,重点对橘皮颜色(橙红-橙黄)、光亮度(亮-暗)、橘皮厚薄、果肉酸味、甜味和多汁性(汁囊枯水、粒化情况)、异味、黏性8项指标进行评分^[24],每个指标为8分制。

1.3.3.3 模糊综合评价的要素及其要求

通过多层次综合评判法对贮藏末期脐橙果实的感官质量进行分析^[25]。以色泽、风味、口感为测定指标。评定后,按照标准,分别逐项记入评分表。评分标准参考表1。

表1 脐橙果实的感官质量鉴评标准
Table 1 Evaluation criteria for sensory quality of navel orange fruit

项目及权重因子	鉴评等级及分值 优(8~9分)	鉴评等级及分值 中(4~7分)	鉴评等级及分值 劣(1~3分)
色泽(0.3)	很新鲜,光亮,无缺陷	较新鲜,色微暗,有缺陷	色暗,褐变,果皮塌陷
风味(0.3)	特有的水果味	水果味较淡	有强烈异味
口感(0.4)	新鲜柑橘味道,质脆	新鲜味不足,质软	有腐烂,不可食用

1.3.3.4 模糊数学模型的建立

以色泽、风味、口感为因素集,以优、中、劣为评语集,并根据感官评定结果,建立3个单因素评价矩阵,用模糊数学评价方法对其进行分析。

1.3.3.5 脐橙果实的因素集和评语集

因素集 $U = \{\text{色泽}u_1, \text{风味}u_2, \text{口感}u_3\}$;评语集 $V = \{\text{优}v_1, \text{中}v_2, \text{劣}v_3\}$;其中,优为8~9分,中为4~7分,劣为1~3分。但为了将最终评判结果量化为分数,研究规定一个分值区域与评价集对应,依据清晰质量等级边界模糊化法将分值区域清晰化,因此取区域的中心值,可以得到对应的分值集 $C = \{c_1 \text{优}8.5, c_2 \text{中}5.5, c_3 \text{劣}2\}$ 。

1.3.3.6 权重的确定

其中权重集 $X = \{x_1 \text{色泽}0.3, x_2 \text{风味}0.3, x_3 \text{口感}0.4\}$,即色泽30分、风味30分、口感40分、共100分。

1.3.3.7 模糊关系综合评价集

运用模糊关系综合评价模型见式(2):

$$Y=X \cdot R \tag{2}$$

式中: Y 为综合评判结果集; X 为权重集; R 为评判矩阵; $\cdot$ 为模糊合成算子。

1.4 统计方法

应用SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析(ANOVA), 利用邓肯氏多重比较对差异显著性进行分析, $P<0.05$ 表示差异显著, 每个指标测定重复3次。

2 结果与分析

2.1 己醛处理对脐橙果实贮藏品质的影响

表2 己醛处理对脐橙果实贮藏品质的影响

Table 2 Effect of hexanal treatment on storage quality of navel orange fruit

检测指标	实验组	贮藏时间/d						
		0	10	20	30	40	50	60
硬度/g	对照	3 076.76±111.79 ^a	2 649.92±75.13 ^a	2 533.44±80.29 ^a	2 457.71±93.85 ^a	2 269.45±63.24 ^a	2 271.74±74.10 ^a	1 849.47±70.53 ^a
	50 μL/L己醛	3 076.76±111.79 ^a	2 689.72±150.24 ^a	2 540.75±40.58 ^a	2 506.65±53.98 ^a	2 317.06±53.76 ^a	2 315.40±32.80 ^a	1 866.41±166.65 ^a
	100 μL/L己醛	3 076.76±111.79 ^a	2 549.68±79.84 ^a	2 501.08±57.42 ^a	2 384.84±53.63 ^a	2 229.69±53.84 ^a	2 251.00±85.87 ^a	1 854.75±126.41 ^a
	150 μL/L己醛	3 076.76±111.79 ^a	2 488.56±114.73 ^a	2 261.81±95.32 ^a	2 239.25±69.67 ^a	2 285.73±84.86 ^a	2 172.07±127.20 ^a	1 814.13±123.26 ^a
	对照	0.00±0.00 ^a	0.19±0.03 ^a	0.47±0.05 ^a	1.75±0.06 ^a	2.36±0.39 ^a	2.69±0.35 ^a	2.91±0.36 ^a
质量损失率/%	50 μL/L己醛	0.00±0.00 ^a	0.19±0.02 ^a	0.45±0.01 ^a	1.90±0.32 ^a	2.39±0.41 ^a	2.60±0.50 ^a	2.87±0.46 ^a
	100 μL/L己醛	0.00±0.00 ^a	0.20±0.02 ^a	0.43±0.03 ^a	1.56±0.05 ^a	1.88±0.10 ^a	2.16±0.06 ^a	2.47±0.04 ^a
	150 μL/L己醛	0.00±0.00 ^a	0.21±0.03 ^a	0.53±0.03 ^a	1.75±0.23 ^a	2.01±0.25 ^a	2.46±0.06 ^a	2.75±0.16 ^a
	对照	10.20±0.20 ^a	12.00±0.20 ^a	12.47±0.15 ^a	13.50±0.20 ^a	12.37±0.15 ^a	10.90±0.10 ^a	12.40±0.10 ^a
	50 μL/L己醛	10.20±0.20 ^a	11.03±0.25 ^a	11.97±0.21 ^a	12.60±0.10 ^a	11.63±0.12 ^a	11.33±0.06 ^a	11.57±0.15 ^a
可溶性固形物含量/%	100 μL/L己醛	10.20±0.20 ^a	11.37±0.42 ^a	12.63±0.21 ^a	13.23±0.15 ^a	11.87±0.06 ^a	10.93±0.23 ^a	12.10±0.20 ^a
	150 μL/L己醛	10.20±0.20 ^a	11.07±0.15 ^a	11.57±0.06 ^a	12.53±0.15 ^a	11.13±0.12 ^a	11.73±0.15 ^a	12.17±0.06 ^a
	对照	0.95±0.05 ^a	0.89±0.05 ^a	0.83±0.02 ^a	0.90±0.01 ^a	0.82±0.01 ^a	0.75±0.02 ^a	0.79±0.01 ^a
	50 μL/L己醛	0.95±0.05 ^a	0.88±0.05 ^a	0.85±0.02 ^a	0.89±0.04 ^a	0.81±0.02 ^a	0.80±0.01 ^a	0.82±0.01 ^a
	100 μL/L己醛	0.95±0.05 ^a	0.88±0.01 ^a	0.86±0.02 ^a	0.89±0.04 ^a	0.84±0.01 ^a	0.78±0.03 ^a	0.83±0.02 ^a
可滴定酸含量/%	150 μL/L己醛	0.95±0.05 ^a	0.92±0.01 ^a	0.86±0.02 ^a	0.93±0.02 ^a	0.89±0.02 ^a	0.82±0.01 ^a	0.87±0.02 ^a
	对照	22.29±0.10 ^a	20.29±0.08 ^a	19.81±0.20 ^a	20.42±0.30 ^a	21.00±0.30 ^a	19.48±0.18 ^a	20.78±0.19 ^a
	50 μL/L己醛	22.29±0.10 ^a	20.88±0.43 ^a	19.63±0.21 ^a	20.30±0.21 ^a	20.22±0.11 ^a	19.24±0.16 ^a	20.24±0.19 ^a
	100 μL/L己醛	22.29±0.10 ^a	20.81±0.36 ^a	19.48±0.28 ^a	20.04±0.17 ^a	20.48±0.16 ^a	19.15±0.02 ^a	20.08±0.11 ^a
	150 μL/L己醛	22.29±0.10 ^a	20.36±0.29 ^a	18.86±0.14 ^a	19.57±0.30 ^a	19.72±0.16 ^a	18.42±0.14 ^a	19.22±0.17 ^a

注: 同指标同一列肩标不同小写字母代表差异显著 ($P<0.05$)。

脐橙果实在采收之后, 自身呼吸作用和蒸腾代谢仍然进行, 组织中的水分和水溶性营养成分会随贮藏时间的延长逐渐降低而导致果实质量损失增加。而随着柑橘果实后熟衰老过程的进行, 果皮细胞壁中填充在胞间的原果胶类等结构物质, 在一系列相关酶的作用下发生降解, 导致果实软化, 硬度下降^[26]。由表2可以看出, 在整个贮藏过程中, 采用己醛熏蒸处理的果实, 其质量损失率和果实硬度的变化与对照组相比没有显著差异, 3种己醛处理的果实之间也没有显著差异 ($P<0.05$)。

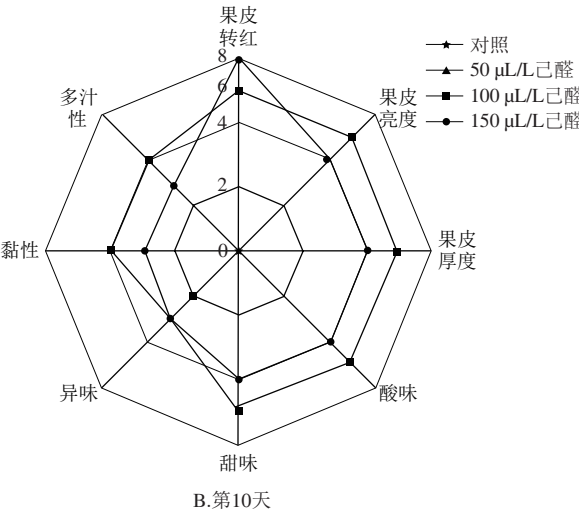
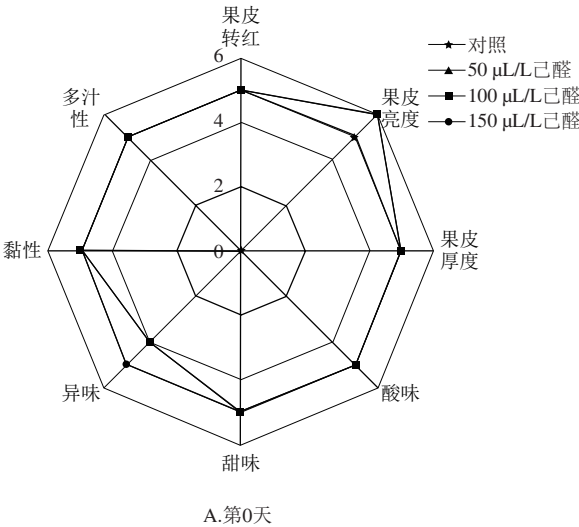
果肉组织中可溶性固形物和可滴定酸含量的变化可以反映果实的成熟度^[27]。由表2可知, 贮藏过程中, 处理组和对照组柑橘果实组织中可溶性固形物和可滴定酸含量呈现先升高后降低的趋势, 且均在贮藏的第30天达到

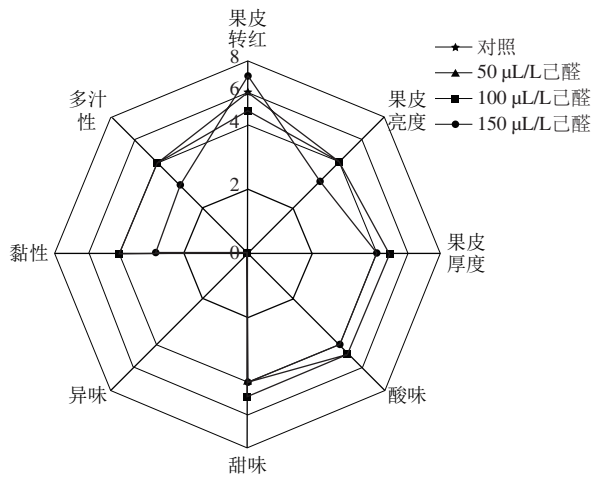
最大值。在贮藏前30 d, 4组之间的可溶性固形物和可滴定酸含量无显著差异 ($P<0.05$); 在贮藏的后30 d, 4组果实的可溶性固形物含量变化的差异并不规律, 在第60天, 3组己醛处理果实的可溶性固形物含量分别比对照组低6.69%、2.42%、1.85%; 处理果可滴定酸含量在贮藏后期显著高于对照组, 其含量与处理所用的己醛的体积剂量呈现一定的正相关性 ($P<0.05$)。

VC是衡量果实品质的一个化学指标, 反映果实的营养价值。它是果实组织内天然的抗氧化剂, 可有效地防止超氧阴离子自由基对果实组织的伤害, VC含量的高低在一定程度上体现果实营养价值, 反映了它在植物细胞内发挥氧化保护能力的大小^[28]。由表2可知, 在贮藏过程中, 各组果实还原性VC含量整体呈下降趋势, 50、100 μL/L己醛处理果实中还原性VC含量变化与对照组无显著差异, 从贮藏第30天开始, 经150 μL/L己醛处理的果实中VC含量显著低于对照组 ($P<0.05$)。

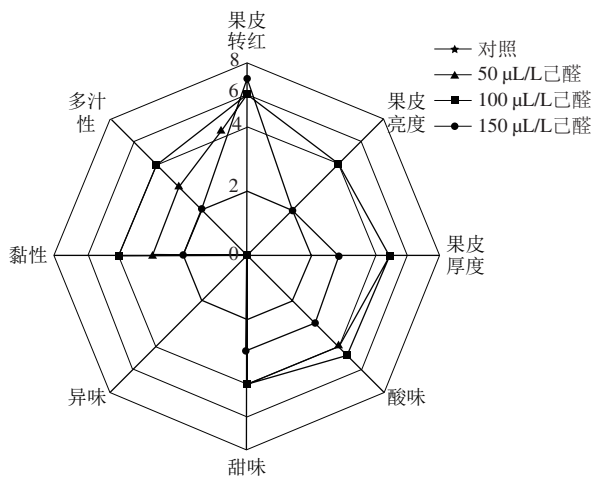
2.2 己醛处理对脐橙果实感官品质的影响

2.2.1 脐橙果实感官性质质量描述分析





C.第30天



D.第60天

图1 己醛处理脐橙果实定量描述分析剖面图

Fig.1 Quantitative descriptive analysis (QDA) of navel orange fruit

如图1A所示,贮藏第0天(即果实刚用己醛熏蒸处理后),己醛处理对脐橙果实感官品质的影响主要集中在对果皮亮度和异味的影响,对果实的其他感官品质无影响。刚经己醛处理的果实亮度有所增加,但有较大异味。

如图1B所示,5℃条件下贮藏10 d,经己醛处理后的果实异味大大降低;但150 µL/L己醛处理的果实仍有较大异味,且该处理促进了果实果皮的红化及亮度的降低,并且导致果肉汁囊枯水、粒化;50、100 µL/L己醛处理果实感官品质与对照差异不显著。

如图1C所示,5℃条件下贮藏30 d,经己醛处理后的果实与对照相比已无异味,150 µL/L己醛处理促进了果实果皮的红化、亮度的降低和果肉汁囊枯水、粒化;50、100 µL/L己醛处理果实的感官指标与对照差异不显著。

如图1D所示,贮藏第60天,与对照相比,经150 µL/L己醛处理的果实感官品质进一步恶化,果皮褐

变严重,果肉失水明显;50 µL/L己醛处理果实的果肉黏性稍有下降,表明果肉的质地有一定的损失;100 µL/L己醛处理使果实的酸度略有增加。

2.2.2 贮藏末期脐橙果实感官性质的模糊综合评价

表3 脐橙果实的感官质量鉴评

Table 3 Sensory evaluation of navel orange fruit

处理	色泽优	色泽中	色泽劣	风味优	风味中	风味劣	口感优	口感中	口感劣
对照	7	2	1	5	3	2	7	2	1
50 µL/L 己醛	6	4	0	5	4	1	6	3	1
100 µL/L 己醛	8	2	0	7	2	1	8	1	1
150 µL/L 己醛	5	3	2	4	4	2	5	3	2

由表3可知,以处理对照的色泽为例,7人给8~9分,2人给4~7分,1人给1~3分。则: $r_{11} = 7 / (7+2+1) = 0.7$; $r_{12} = 2 / (7+2+1) = 0.2$; $r_{13} = 1 / (7+2+1) = 0.1$ 。同理, $r_{21} = 5 / (5+3+2) = 0.5$; $r_{22} = 3 / (5+3+2) = 0.3$; $r_{23} = 2 / (5+3+2) = 0.2$; $r_{31} = 7 / (7+2+1) = 0.7$; $r_{32} = 2 / (7+2+1) = 0.2$; $r_{33} = 1 / (7+2+1) = 0.1$ 。计算并统计各处理的感官评价结果,并将其折算成赞成比率,其模糊矩阵如下:

$$R_{\text{对照}} = \begin{Bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \end{Bmatrix} \quad R_{50} = \begin{Bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \end{Bmatrix}$$

$$R_{100} = \begin{Bmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{Bmatrix} \quad R_{150} = \begin{Bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 \end{Bmatrix}$$

由于各指标的权重系数集为: $X = (0.3 \ 0.3 \ 0.4)$, 依据模糊评价模型,需要进行模糊变换,有:

$$Y_{11} = (x_1 \times r_{11}) + (x_2 \times r_{12}) + (x_3 \times r_{13}) = (0.3 \times 0.7) + (0.3 \times 0.5) + (0.4 \times 0.7) = 0.64;$$

$$Y_{12} = (x_1 \times r_{21}) + (x_2 \times r_{22}) + (x_3 \times r_{23}) = (0.3 \times 0.2) + (0.3 \times 0.3) + (0.4 \times 0.2) = 0.23;$$

$$Y_{13} = (x_1 \times r_{31}) + (x_2 \times r_{32}) + (x_3 \times r_{33}) = (0.3 \times 0.1) + (0.3 \times 0.2) + (0.4 \times 0.1) = 0.13;$$

$$\text{可得: } Y_{\text{对照}} = X * R_{\text{对照}} = (0.64 \ 0.23 \ 0.13)。$$

同理,得各处理的综合评判结果如下:

$$Y_{50} = X * R_{50} = (0.57 \ 0.36 \ 0.07); Y_{100} = X * R_{100} = (0.77 \ 0.16 \ 0.07); Y_{150} = X * R_{150} = (0.47 \ 0.33 \ 0.2)。$$

表4 综合评判结果

Table 4 Comprehensive evaluation results

等级	处理方式	处理方式	处理方式
优	B	C	D
中			
劣	A		

表5 归一化后综合排序

Table 5 Normalized scheduling

序号	1	2	3	4
处理水平	C 100 µL/L 己醛	D 50 µL/L 己醛	B 对照	A 150 µL/L 己醛

注: A、B、C和D为对果实进行随机分配时的组别。

评判结果及归一化顺序如表4、表5所示。根据对应的分值集 $C=\{c_1\text{优}8.5, c_2\text{中}5.5, c_3\text{劣}2\}$, 可得对照处理的得分为: $C_{\text{对照}}=c_1\times y_1+c_2\times y_2+c_3\times y_3=8.5\times 0.64+5.5\times 0.23+2\times 0.13=6.965$; 同理, $C_{50}=6.965$, $C_{100}=7.565$, $C_{150}=6.21$ 。根据图2模糊关系曲线和分值 C 大小可知, 不同剂量的己醛处理对低温贮藏末期的脐橙果实感官品质影响是不同的, 经模糊综合评价, 对脐橙低温贮藏条件下感官品质效果从优到劣依次为: $C_{100}>C_{50}=C_{\text{对照}}>C_{150}$, 即100 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理效果最佳。

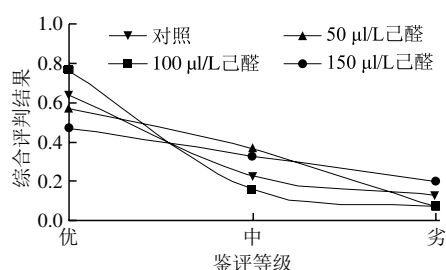


图2 模糊关系曲线
Fig.2 Fuzzy relation curves

3 讨论

本研究的结果表明, 己醛熏蒸处理对脐橙果实质量损失率和硬度变化几乎没有影响; 在贮藏前期, 己醛处理对果肉组织中的可溶性固形物、可滴定酸和还原型VC含量无显著影响, 但是在贮藏后期即贮藏30 d以后, 己醛处理会促进果肉组织中可溶性固形物和还原型VC含量的降低, 抑制果肉组织中可滴定酸含量的降低。而感官评价的结果显示, 脐橙果实在处理之后果实亮度会短暂提升, 同时伴随着一定的异味残留; 150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理在贮藏10 d之后仍然有一定的异味。在整个贮藏期, 150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理表现出对脐橙果实的植物毒性作用, 表现为果皮的红化、亮度的降低和果肉汁囊枯水、粒化, 对果实的品质和风味带来不利影响, 而50、100 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理对果实的感官品质没有显著影响。综上所述, 50、100 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理对脐橙果实的贮藏品质没有显著影响, 但是150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理会导致脐橙果实生理性病害的发生从而降低果实品质。

目前己醛果蔬贮藏品质的影响尚无统一的结论, 研究^[29]发现, 己醛处理可增强蓝莓、番茄、梨等果实的感官品质; 但也有研究发现己醛会诱导果实产生植物毒性症状并降低果实感官品质, 用己醛(900 $\mu\text{L/L}$)熏蒸龙眼2 h发现龙眼果实颜色变红、亮度降低, 苹果果实经40 $\mu\text{mol/L}$ (900 $\mu\text{L/L}$)的己醛熏蒸48 h后表现出果皮表面褐变等植物毒性特征^[30], 也有报道用己醛(900 $\mu\text{L/L}$)熏蒸24 h并没有造成树莓和桃果实的植物毒性伤害^[10]。本实

验中用150 $\mu\text{L/L}$ 己醛处理后的果实表现出果皮转红和亮度降低的症状, 说明较高体积剂量的己醛处理会造成脐橙果实果皮的褐变引发生理性病害, 与这些研究的结果相符合。

本实验室的前期研究表明, 适宜体积剂量的己醛熏蒸能够显著抑制柑橘果实的侵染性病害发生, 同时不造成果实的生理性病害。虽然本实验发现较高体积剂量的己醛处理会降低脐橙果实的品质, 但是较低体积剂量的己醛处理却对脐橙果实的贮藏品质没有显著影响, 结合前期研究, 说明适宜剂量的己醛处理能够在控制脐橙果实侵染性病害发生的同时较好地保持果实的贮藏品质, 从而为己醛在柑橘果实贮藏保鲜中的商业化应用提供了可能。

参考文献:

- [1] 陈仕俏, 赵文红, 白卫东. 我国柑橘的发展现状与展望[J]. 农产品加工, 2008, 32(3): 21-24.
- [2] 龚梦. 中国柑橘鲜果价格形成及影响因素研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [3] EAFUS: Center of food safety and applied nutrition[S]. U. S. Food and Drug Administration (FDA). A Food Additive Database, 2006.
- [4] 国家卫生和计划生育委员会. GB 2760—2014 食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [5] AVISSAR I, DROBY S, PESIS E. Characterization of acetaldehyde effects on rhizopus stolonifer and botrytis cinerea[J]. Annals of Applied Biology, 1990, 116: 213-220.
- [6] FALLIK E, ARCHBOLD D, HAMILTON-KEMPT R, et al. (E)-2-hexenal can stimulate botrytis cinerea growth *in vitro* and on strawberries *in vivo* during storage[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1998, 123: 875-881.
- [7] KASAI H, MAEKAWA M, KAWAI K, et al. 4-Oxo-2-hexenal, a mutagen formed by ω -3 fat peroxidation, causes DNA adduct formation in mouse organs[J]. Industrial Health, 2005, 43: 699-701.
- [8] ARCHBOLD D, HAMILTON K, FALLIK E. Aroma volatiles as modulators of postharvest mold development on fruit: *in vivo* role and fumigation tools[J]. Acta Horticulturae, 2000, 518: 87-92.
- [9] PAZ O, JAMES H W, PREVOST B A, et al. Enhancement of fruit sensory quality by post-harvest applications of acetaldehyde and ethanol: blueberries, tomatoes, pears[J]. Food Science, 1982, 47: 270-278.
- [10] SONG J, FAN L, HILDEBRAND P D, et al. Biological effects of corona discharge on onions in a commercial storage facility[J]. Hort Technology, 2000, 10: 608-612.
- [11] AMER C, PRIYA P, JAYASANKAR S, et al. Improving quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by pre- and postharvest applications of hexanal-containing formulations[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 95: 13-19.
- [12] MUSETTI A, FAVA P. Sensory effects of hexanal vapor on fresh-cut slices of golden delicious apples[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(Suppl 9): 314-318.
- [13] MOHINI S, JISSY K, JAYASANKAR S, et al. Hexanal and 1-MCP treatments for enhancing the shelf life and quality of sweet cherry (*Prunus avium* L.)[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 125(3): 239-247.
- [14] 朱丽霞, 甄文, 王丽玲, 等. 新疆慕萨莱思感官特性定量描述分析[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 38-44.

- [15] 夏玉红, 钟耕. 模糊综合评判法在食用植物油感官评价中的应用[J]. 中国油脂, 2009, 34(8): 72-74.
- [16] 朱薇, 傅学正, 管天球, 等. 腌雪菜感官质量的模糊综合评判分析[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 176-178.
- [17] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 68-70.
- [18] 王宏延, 曾凯芳, 贾凝, 等. 不同质量浓度臭氧化水对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 267-271.
- [19] 龙淑珍, 何永群. 荔枝可滴定酸与维生素C的测定及其相关性[J]. 广西农业科学, 2002(4): 188-189.
- [20] WEERAWATE U A, JOHN M, JOHN E. Bronlund hexanal reduces infection of tomatoes by botrytis cinerea whilst maintaining quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47: 434-437.
- [21] 马永强, 韩春然, 刘静波. 食品感官检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 79-89.
- [22] 张水华, 徐树来, 王永华. 食品感官分析与实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 66-67.
- [23] 卢军, 李婷, 黄琪悦, 等. 柑橘品质分级要素的分析与评价[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(20): 462-464.
- [24] MAYUONI L, TIETEL Z, STEM B, et al. Does ethylene degreening affect internal quality of citrus fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62: 50-58.
- [25] 赵翦, 方婷, 陈梅英, 等. 模糊数学在不同处理橙汁感官评定中的应用[J]. 河南工业大学学报, 2008(1): 72-75.
- [26] 邓丽莉, 黄艳, 周玉翔, 等. 采前壳寡糖处理对柑橘果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 428-432.
- [27] DAVARYNEJAD G, ZAREI M, NASRABADI M, et al. Effects of salicylic acid and putrescine on storability, quality attributes and antioxidant activity of plum cv. 'Santa Rosa'[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(4): 2053-2062.
- [28] 陈昆松, 张上隆. 采后果实成熟衰老的分子生理学机理及其调控[M]//吴平, 陈昆松. 植物分子生理学进展. 杭州: 浙江大学出版社, 2000: 78-99.
- [29] THAVONY P. Effect of hexanal on postharvest decay of longan fruit caused by *Lasiodiplodia* sp[D]. Chiang Mai: Chiang Mai University, 2009.
- [30] FAN L, SONG H, RANDOLPH M, et al. Effect of hexanal vapor on spore viability of *Penicillium expansum*, lesion development on whole apples and fruit volatile biosynthesis[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(3): M105-109.