

食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



《食品工业科技》网络首发论文

题目: 不同采收成熟度沃柑制汁品质评价与分析
作者: 任二芳, 李建强, 黄燕婷, 罗朝丹, 苏艳兰, 罗小杰, 程三红
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060263
网络首发日期: 2022-09-29
引用格式: 任二芳, 李建强, 黄燕婷, 罗朝丹, 苏艳兰, 罗小杰, 程三红. 不同采收成熟度沃柑制汁品质评价与分析[J/OL]. 食品工业科技.
<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060263>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

第一作者: 任二芳(1986-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: 2110093871@qq.com

通讯作者: 李建强(1972-), 男, 学士, 教授级工程师, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: 974108174@qq.com

基金项目: 南宁市科学研究与技术开发计划项目(编号: 20212146); 广西农业科学院基本科研业务专项项目(编号: 桂农科 2021YT144)

不同采收成熟度沃柑制汁品质评价与分析

任二芳, 李建强*, 黄燕婷, 罗朝丹, 苏艳兰, 罗小杰, 程三红

(广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西亚热带水果加工工程技术研究中心, 广西 南宁 530001)

摘 要: 以不同采收成熟度的沃柑为原料, 研究沃柑汁的理化品质、营养成分和挥发性物质变化。结果表明: 随着采收期的延长, 沃柑汁 L^* 值呈下降趋势, a^* 值、 b^* 值变化范围分别为-0.22-1.87、13.57-15.30, 采收期V、VI的沃柑果汁色泽最佳; 沃柑汁可滴定酸含量变化不稳定, 可溶性固形物、固酸比呈先上升后下降的趋势, V、VI采收期的沃柑固酸比适宜; 沃柑汁氨基酸含量均呈先上升后下降的趋势, 维生素 C、类胡萝卜素含量均呈逐渐升高趋势, 总酚、柠檬苦素含量均呈下降趋势, 根据聚类分析, IV、V采收期的沃柑营养成分含量均较高; 电子鼻可以准确识别出不同成熟度沃柑汁的特征气味, 传感器 W1W 的主成分贡献率最大, 其次是传感器 W2W, 不同采收成熟度的沃柑汁主要香气物质共分离出 38 种, 烯烃是最主要的香气物质, 其中 D-柠檬烯相对含量最高, 不同采收成熟度沃柑汁的 D-柠檬烯相对含量分别为 83.71%、60.31%、75.87%、83.25%、81.85%、80.1%、91.52%, 醇类、酯类、醛类和酮类在果实不同采收期均呈现先升高后降低再升高后又降低的动态变化规律, 烃类整体变化与其相反, 这五类物质在IV、V、VI采收期的沃柑汁中相对含量均较高。综合考量, 采收期V的沃柑制汁品质较优。

关键词: 沃柑; 采收期; 理化品质; 营养成分; 色泽; 挥发性物质

Evaluation and Analysis of Juice Quality of Orah Mandarin with Different Harvest Maturity

REN Erfang, LI Jianqiang*, HUANG Yanting, LUO Chaodan, SU Yanlan, LUO Xiaojie, CHENG Sanhong
(Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Guangxi Subtropical Fruits Processing Research Center of Engineering Technology, Nanning 530001, China)

Abstract: Changes in physicochemical quality, nutrient composition and volatile substances of juice from Orah mandarin harvested at different maturity levels were investigated. The results showed that with the extension of the harvest period, the L^* value of Orah mandarin juice decreased, and the range of a^* value and b^* value was -0.22-1.87 and 13.57-15.30, respectively. The color of Orah mandarin juice at harvest period V and VI was the best. The content of soluble solids, solid-acid ratio of Orah mandarin juice increased first and then decreased, while the change of titratable acid content was unstable, and the solid-acid ratio of Orah mandarin in V and VI harvest periods was suitable. The amino acid content of Orah mandarin juice increased first and then decreased, and the content of vitamin C and carotenoid increased gradually, while the content of total phenols and limonin showed a downward trend. According to the cluster analysis, the content of nutritious components of Orah mandarin in the harvest period of IV and V were higher. In addition, it was found that the electronic nose could accurately identify the characteristic odors of Orah mandarin juice with different maturity levels. The results showed that sensor W1W had the largest contribution rate of principal components, followed by sensor W2W. A total of 38 main aroma compounds were identified in Orah mandarin juice with different harvest maturity. Olefins were the most important aroma substances, among which D-limonene has the highest relative content, and its relative contents in Orah mandarin juice with different harvest maturity were 83.71%, 60.31%, 75.87%, 83.25%, 81.85%, 80.1%, 91.52%, respectively. Alcohols, esters, aldehydes, and ketones showed a dynamic change rule of first increasing and then decreasing at different fruit harvesting periods, while the overall changes of hydrocarbons

were the opposite. The relative contents of these five substances in Orah mandarin juice at harvest periods IV, V and VI were all higher. Based on the above, the juice quality of Orah mandarin at harvest period V was considered to be relatively best.

Keywords: Orah mandarin; harvest period; physicochemical properties; nutrient components; color; volatile substance

中图分类号: TS201.2 文献标志码: A DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060263

沃柑是“坦普尔”橘橙与“丹西”红橘的杂交品种,属晚熟杂交柑桔品种,具有外观漂亮、晚熟高糖多汁、早结丰产、树势强旺、后期基本不落果、耐贮运等特点^[1-2]。目前,国内沃柑的主产区在广西,全区种植面积已超过 10 万 hm²^[3],沃柑已成为柑橘中的“明星”品种。成熟的沃柑糖度达到 16 度以上,比目前市场上广受消费者欢迎的砂糖橘甜度(12-14 度)高,同时富含维生素、胡萝卜素、氨基酸等多种营养成分,并含柑橘黄酮、香豆素、柠檬苦素等特殊物质,沃柑可食率高达 75%左右,出汁率高达 60%-70%,由沃柑的加工特性可见,其非常适合开发为果汁产品。

沃柑的成熟期集中在 1 至 3 月份左右,但有个别果园有可能会留到 4 月初抢后市。不同采收期的沃柑果实品质不同,果实品质是一种由多因素构成的复合体,它包括外观品质、风味品质、营养品质、加工品质和贮藏品质等^[4],它是评价合适采摘期的重要依据。莫健生等^[5]研究了广西桂林沃柑成熟前后的果实品质变化规律,综合比较不同采摘期的单果重量、果实纵径、横径、果皮厚度与颜色、口感风味等指标,认为桂林沃柑在 2 月下旬至 4 月上旬采收较适宜。一般来说,鲜食用柑桔果实达到该品种固有的色泽、风味、香气和口感,果实内含物达到一定指标,肉质变软时即为采收适期^[6],然而除鲜食外,果汁生产是沃柑加工的主要方向之一,采摘时间是影响果实和果汁品质的一个重要因素,适宜采收不仅能够保证果实的食用品质最佳,贮藏期较长,同时制汁出汁率高^[7-8]。沃柑作为近年来大力发展的热门杂柑品种,国内外目前尚缺少关于不同采收成熟度对沃柑制汁品质的研究和报道。因此,本文以不同采收成熟度的沃柑为原料,对沃柑汁的可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、维生素 C、总酚、氨基酸、类胡萝卜素、柠檬苦素、挥发性物质进行测定分析,以期对沃柑制汁加工的适时采摘提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

沃柑,均采自广西武鸣双桥镇沃柑种植基地,每间隔 20 d 采摘一次,采收期与采收时间见表 1;氢氧化钠、邻苯二甲酸氢钾、酚酞、碳酸钠、甲醇、福林酚等,均为国产分析纯;柠檬苦素标准品、没食子酸标准品、半胱氨酸标准品等,北京索莱宝科技有限公司,均为色谱纯。

表 1 沃柑采收时间表
Table.1 Harvesting schedule of Orah mandarin

采收次数	采收期	采收时间
1	I	2021-12-06
2	II	2021-12-26
3	III	2022-01-15
4	IV	2022-02-04
5	V	2022-02-24
6	VI	2022-03-16
7	VII	2022-04-05

色彩色差计 CR-400,日本 KONICA MINOLTA, INC; LC-2040C 超高效液相色谱仪,日本岛津公司; L550 台式低速大容量离心机,湘仪离心机仪器有限公司; DW/BD-55W152EU1 低温冷冻转换柜,青岛海尔特种电冰柜有限公司; XM-1000UVF 智能静音超声波清洗器,小美超声仪器(昆山)有

限公司；Pegasus BT 气相色谱高通量飞行时间质谱联用仪，美国 LECO 公司；PEN3 型电子鼻，德国 AIRSENSE 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 沃柑汁制备

沃柑经清洗、风干后，切分成两半，采用锥式手动压榨机对切半沃柑进行带皮压榨，压榨程度为重压杆压至最低处且压榨一次，榨汁后存于-80℃超低温冰箱保存备用。

1.2.2 色泽的检测

使用色差计分别测定沃柑汁不同位置的 L^* 、 a^* 、 b^* 值，每组样品平行测定 5 次。 L^* 值表示样品的亮度， $L^*=0$ 为黑色， $L^*=100$ 为白色； a^* 值表示样品的红绿度， $-a^*$ =绿色， $+a^*$ =红色； b^* 值表示样品的黄蓝度， $-b^*$ =蓝色， $+b^*$ =黄色。

1.2.3 可溶性固形物、可滴定酸、固酸比的测定

可溶性固形物按照 GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检验方法》中阿贝折射仪法进行测定；可滴定酸按照 GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检验方法》中的指示剂法进行测定；固酸比按照 GB/T 12947—2008《鲜柑橘鲜果检验方法》中的方法计算。

1.2.4 维生素 C 的测定

按照 GB 5009.8-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中荧光法进行测定。抗坏血酸标准曲线为： $y=0.0479x+0.0957$ ($R^2=0.9923$)。

1.2.5 类胡萝卜素的测定

参照迟淼^[9]的石油醚-丙酮萃取法测定。取 5mL 果汁加入 10mL 石油醚-丙酮 (1:1 V/V) 混合液于 25mL 具塞试管中，震荡、过滤，反复提取至无色，滤液合并至梨形分液漏斗中，用水洗涤有机层，加饱和 NaCl 5mL，震荡、分层弃水层，将石油醚层转移至 50 mL 容量瓶中，用无水硫酸钠过滤，石油醚定容，摇匀，以石油醚做空白，测 451nm 波长处吸光度。按下式公式计算：

$$X = \frac{E \times V_1}{E_1 \times V_2} \times 1000$$

式中：E 和 E_1 分别为样品和 1%β-胡萝卜素石油醚溶液在 451nm 吸光值； V_1 为样品总类胡萝卜素提取液体积，mL； V_2 为取用样液总体积，mL。

1.2.6 柠檬苦素的测定

样品前处理：取液体样品 2mL 置于 5mL 离心管中，加甲醇 2mL，密封，15℃恒温水浴 1000W 功率超声提取 30min，5000r/min，4℃低温离心 10min，0.45μm 滤膜过滤，得到待测样品。

色谱分析条件：色谱柱：C18 柱 (50 mm×4.6 mm, 5 μm)；检测器：PDA 二极管阵列检测器；流速：1.0 mL/min；柱温：30℃；自动进样，进样量 10 μL；检测波长：210nm；流动相：乙腈 (A)，水 (B)，梯度洗脱条件：梯度时间分别为 0min、30min、35min、55min、65min 和 80min，相应流动相 A 占比分别为 40%、40%、90%、90%、40%、40%。

1.2.7 氨基酸含量的测定

参照 Lee^[10]的比色法测定。在酸性条件下，氨基酸与印三酮共热产生蓝紫色化合物二酮印胺，经光谱扫描 570nm 有特征吸收峰，通过测定 570nm 处吸光度，以半胱氨酸为当量表示氨基酸含量。半胱氨酸标准曲线为： $y=0.0539x-0.0171$ ($R^2=0.9938$)。

1.2.8 总酚含量的测定

采用福林酚法测总酚，参考马倩^[11]的方法。取样品 1mL 沃柑汁于试管中，分别加入 5mL 蒸馏水、1mL 福林酚试剂进行旋涡震荡，置于暗处反应 5min，加入 2mL 20%的 NaCO_3 溶液，加蒸馏水至 10mL，混匀后静置 2h，以蒸馏水做空白，测 755nm 波长处吸光度，以没食子酸为当量表示总酚含量。没食子酸标准曲线为： $y=3.6681x-0.0092$ ($R^2=0.9942$)。

1.2.9 采用电子鼻的挥发性物质检测

1.2.9.1 样品前处理

分别称量 10.00 g 沃柑汁于 20 mL 富集瓶中，密封置于室温环境中富集时间为 20 min，进行检测。

1.2.9.2 电子鼻检测条件

检测条件：进样间隔时间 1 s，清洗时间 60.0 s，零点配平时间 1.0 s，预进样时间 5.0 s，测试时间 60 s，进样流速 400 mL/min。电子鼻各个传感器的名称及性能描述见表 2。

表 2 电子鼻传感器性能描述

Table.2 Performance description of electronic nose sensors

阵列信号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分苯类
2	W5S	灵敏度大，对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	氨类，对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分，对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.2.10 采用气相色谱质谱联用仪的挥发性风味物质检测

1.2.10.1 顶空固相微萃取

分别称取 5.00 g 沃柑汁置于 20.00 mL 顶空瓶中，将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分，于 60.00 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 30.00 min，吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口，250.00 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3.00 min，同时启动仪器采集数据。

1.2.10.2 气相色谱质谱联用仪（GC-MS）检测条件

色谱条件：色谱柱（30.00 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm ）；升温程序：温度 40.00 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3.00 min，以 10.00 deg/min 升温至 230.00 $^{\circ}\text{C}$ ，保持 5.00 min；进样口温度为 250.00 $^{\circ}\text{C}$ ；载气：氦气，流速为 1.00 mL/min。质谱条件：电离方式为 EI 源，发射电流 1.00 mA，电子能量 70.00 eV，界面温度 250.00 $^{\circ}\text{C}$ ，离子源温度 200.00 $^{\circ}\text{C}$ ，探测器电压 2000.00 V。

1.2.10.3 定性定量分析

对采集到的挥发性成分总离子流色谱图结合 NIST 谱库搜索，结合保留时间、分子量和化学式进一步分析确定其挥发性成分的化学组成，挥发性成分定量采用峰面积归一法定量，得到各组分的相对含量（组分峰面积占有所有已知定性色谱峰总峰面积的百分比）。

1.3 数据处理

数据使用 OriginPro 2016 绘图及 SPSS 22.0 进行单因素方差分析（Duncan Test， $P<0.05$ ）。电子鼻数据分析利用其自带的 Winmuster 软件进行 PCA 分析和载荷分析（Loading analysis，LOA）。

2 结果与分析

2.1 不同采收成熟度沃柑汁理化品质变化

2.1.1 不同采收成熟度沃柑色泽变化分析

色泽是评价果蔬及其制品品质的一个重要指标，果汁中含有的天然色素类物质如类胡萝卜素、花青素和叶绿素等，为其提供了优良的色泽^[12]。图 7 为不同采收期沃柑果皮、果肉的色泽外观，不同采收期沃柑果皮及果汁的色泽变化见表 3。随着果实不断成熟，沃柑果皮的 L^* （亮度值）和 b^* 值（黄蓝值）逐渐降低， a^* 值（红绿值）不断升高，分析原因可能与类胡萝卜素随着沃柑成熟度增加而逐渐增加有关，且果皮中类胡萝卜素的含量是果肉中的 5-70 倍^[13-15]。采收期 VII 的沃柑果皮 L^* 和 b^* 值最低，分别为 58.00、58.33， a^* 值最高为 40.15，该结果与图 7 的沃柑果皮色泽外观图一致。沃柑果汁 L^* 变化

为 34.27-36.71，整体呈下降趋势， a^* 值变化为-0.22-1.87，采收期VI的沃柑 a^* 值最高为 1.87，其次为 IV、V、VII采收期的 a^* 值，分别为 1.16、1.34、1.26，它们之间无显著差异 ($P>0.05$)； b^* 值变化范围为 13.57-15.30，采收期I、II、III沃柑果汁 b^* 值较大，三者之间无显著差异 ($P>0.05$)，分别为 15.12、15.30、14.84，其次为V、VI采收期的沃柑汁 b^* 值 14.44、14.45，两者之间也无显著性差异。可见，采收期V、VI的沃柑果汁颜色 a^* 值和 b^* 值均较高，不偏红也不偏黄，色泽柔和，具有较大的产品视觉吸引力，商品价值较高。

表 3 不同采收成熟度沃柑果皮及果汁的色泽变化

Table.3 Color changes of Orah mandarin peel and juice at different harvest maturity

样品	采收期	I	II	III	IV	V	VI	VII
果皮	L^*	66.83±0.75 ^a	64.92±0.16 ^b	62.53±0.71 ^c	61.92±0.26 ^c	61.33±0.79 ^c	59.53±0.55 ^d	58.00±0.60 ^e
	a^*	20.43±1.17 ^f	27.99±1.15 ^e	32.77±1.25 ^d	34.58±0.64 ^c	36.06±0.64 ^c	38.32±0.87 ^b	40.15±0.37 ^a
	b^*	72.25±0.71 ^a	73.27±0.79 ^a	67.53±0.79 ^b	67.15±0.61 ^b	67.00±0.65 ^b	63.18±0.78 ^c	58.33±0.85 ^d
果汁	L^*	36.71±0.09 ^a	36.43±0.07 ^a	35.34±0.09 ^b	35.16±0.29 ^c	35.83±0.24 ^c	34.84±0.03 ^d	34.27±0.11 ^e
	a^*	-0.22±0.09 ^e	0.90±0.02 ^d	1.14±0.07 ^c	1.16±0.22 ^{bc}	1.34±0.07 ^b	1.87±0.09 ^a	1.24±0.02 ^{bc}
	b^*	15.12±0.14 ^a	15.30±0.22 ^a	14.84±0.11 ^{ab}	13.57±0.74 ^c	14.44±0.15 ^b	14.45±0.22 ^b	13.64±0.39 ^c

注：表中每一行带有不同字母的数据之间差异显著 ($P<0.05$)，带有相同字母的数据之间差异不显著 ($P>0.05$)；下同。



图 1 不同采收成熟度沃柑整果、果肉外观

Fig. 1 Whole fruit and pulp appearance of Orah mandarin with different harvest maturity

2.1.2 不同采收成熟度沃柑汁理化特性分析

不同采收成熟度沃柑汁的理化特性分析如表 4 所示。随着采收期的延长，可溶性固形物呈现先上升后下降的趋势，在采收期IV达到最高值为 13.53%，显著高于其他采收期 ($P<0.05$)；可滴定酸含

量变化不稳定,变化范围为 0.39%~0.60%,在采收期VI可滴定酸含量最低为 0.39,显著低于其他采收期 ($P<0.05$);固酸比整体呈现先上升后下降的趋势,在采收期VI达到最高值为 34.15,采收期VII沃柑固酸比又显著降低 ($P<0.05$)。沃柑在 12 月上旬到翌年 4 月上旬采收,果实可溶性固形物呈现先升高后降低,这与荆佳伊^[16]的研究结果一致,可溶性固形物是糖、酸、果胶等可溶解于水的物质的总称,12 月上旬至 2 月上旬果实可溶性固形物升高,是由于随着成熟度的提高淀粉逐渐转化为可溶性糖,而后逐渐减低与果实呼吸作用消耗体内有机物有关^[17],可滴定酸的变化不稳定可能是由于酸积累不稳定以及气候变化的影响,可滴定酸上升的采收期,采摘地常处于阴雨天气^[11]。固酸比是评价果实成熟进而合理采摘的重要指标,V、VI采收期的固酸比适宜,果实汁多味美、酸甜可口。

表 4 不同采收成熟度沃柑汁理化特性分析

Table.4 Analysis of physical and chemical properties of Orah mandarin juice with different harvesting maturity							
采收期	I	II	III	IV	V	VI	VII
可溶性固形物 (%)	11.10±0.00 ^f	12.47±0.06 ^e	13.33±0.06 ^b	13.53±0.06 ^a	13.17±0.12 ^c	13.00±0.00 ^d	13.00±0.00 ^d
可滴定酸 (g/100mL)	0.59±0.01 ^a	0.57±0.00 ^b	0.54±0.01 ^c	0.60±0.01 ^a	0.46±0.01 ^d	0.39±0.00 ^e	0.60±0.00 ^a
固酸比	18.70±0.31 ^f	21.82±0.10 ^{de}	24.55±0.33 ^c	22.59±0.33 ^d	28.34±0.85 ^b	34.15±0.88 ^a	21.49±0.00 ^e

注:表中每一行带有不同字母的数据之间差异显著 ($P<0.05$),带有相同字母的数据之间差异不显著 ($P>0.05$);下同。

2.2 不同采收成熟度沃柑汁营养成分分析

图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 分别为不同采收成熟度沃柑汁的维生素 C、总酚、氨基酸、类胡萝卜素、柠檬苦素含量变化情况。

由图 2 可知,不同采收期沃柑汁维生素 C 含量呈现逐渐升高趋势,与杨阳^[17]研究的 5 个品种的晚熟柑橘果实成熟过程中维生素 C 含量变化趋势一致,维生素 C 含量变化范围为 34.52-40.56mg/100mL,采收期I、II、III沃柑汁维生素 C 含量明显增加,之后采收期IV-VII沃柑汁维生素 C 含量变化缓慢。图 3 可以看出,不同采收期沃柑汁总酚含量变化整体呈下降趋势,与朱晓艳^[18]研究不同发育时期瓯柑果实中的总酚含量变化情况较一致,总酚含量变化范围为 38.47-83.94 mg/100mL,采收期VII的沃柑汁总酚含量最低为 38.47 mg/100mL,分析原因可能是随着水果成熟度提高,果实中缺乏酚类化合物生物合成所必需的底物,进而导致成熟水果初级代谢减少^[19]。氨基酸是评价果实综合品质和营养价值的重要指标,同时也具有一定的呈味特性,对果实口感和风味有一定影响^[20-21]。图 4 显示氨基酸含量呈现先上升后下降的变化趋势,氨基酸含量变化范围为 292.21-572.73 $\mu\text{mol/mL}$,采收期III氨基酸含量达到最大值,采收期IV与V、VI与VII之间氨基酸含量变化差异较小。柑橘中含有丰富的类胡萝卜素,果皮中类胡萝卜素的含量是果肉中的 5-70 倍^[13-15]。不同组分和含量的类胡萝卜素不仅可以使柑橘呈现黄色、橙色和红色等不同色泽^[22-24],同时也赋予柑橘具有一定的保健功能。图 5 可以看出,随着果实的成熟,类胡萝卜素逐渐增加,采收期II果汁的类胡萝卜显著增加为 8.68 $\mu\text{g/mL}$,相比于采收期I,类胡萝卜素含量增加了 31.91%,之后II-VII果实的类胡萝卜素含量变化不大,为 8.68-9.69 $\mu\text{g/mL}$,研究结果与汤雨晴^[25]研究朱红橘果实成熟过程中类胡萝卜素含量变化情况相似。由图 6 看出,柠檬苦素随着果实成熟度增加呈逐渐降低的变化趋势,含量为 0.57-2.28 $\mu\text{g/mL}$,II-V采收期的沃柑汁柠檬苦素含量变化不大,从采收期VI沃柑汁柠檬苦素开始骤降,采收期VII降至最低为 0.57 $\mu\text{g/mL}$,资料表明柠檬苦素在水溶液中苦味阈值为 1.0 mg/L,果汁中苦味阈值 3.4 mg/L^[26],人感受的柠檬苦素阈值为 6mg/L^[27],7 个采收期内沃柑果汁柠檬苦素含量均低于果汁及人感受的柠檬苦素阈值,可以有效减少沃柑果汁加工过程的“后苦味”现象产生,同时不同采收成熟度沃柑柠檬苦素的变化趋势与李一兵^[27]研究 2015、2016 年不同成熟期柑橘鲜汁中柠檬苦素含量变化情况一致。

采用系统聚类分析方法对不同采收成熟度沃柑汁的营养成分进行 R 型聚类,聚类方法为组间联接法,聚类区间为平方欧式距离,由图 7 结果可知,采收期I、II沃柑汁归为一类,采收期III的沃柑汁归为一类,采收期IV、V沃柑汁归为一类,采收期VI、VII沃柑汁归为一类。综合维生素 C、总酚、氨基酸、类胡萝卜素、柠檬苦素含量变化考虑,IV、V采收期的沃柑营养成分含量均较高。

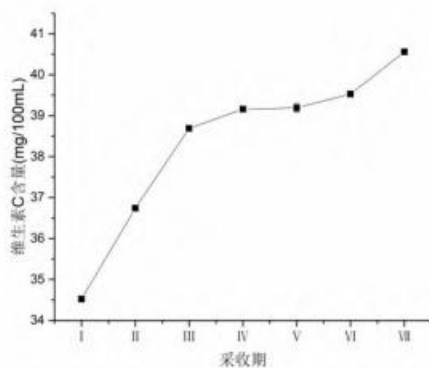


图 2 不同采收成熟度沃柑汁维生素 C 含量变化
Fig. 2 Change of vitamin C content in Orah mandarin juice with different harvest maturity

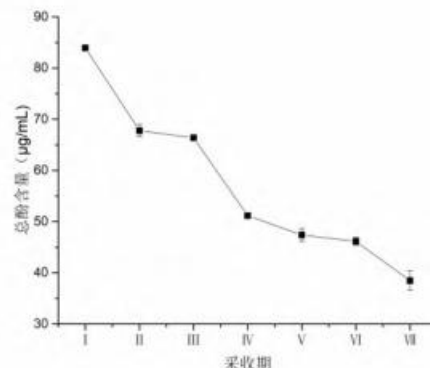


图 3 不同采收成熟度沃柑汁总酚含量变化
Fig. 3 Change of total phenol content in Orah mandarin juice with different harvest maturity

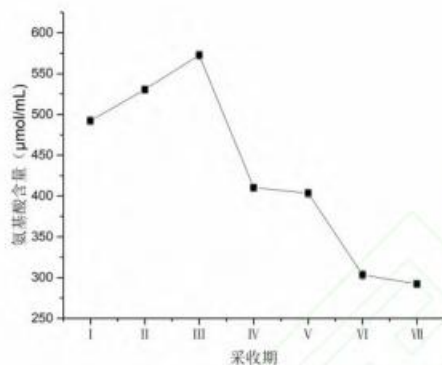


图 4 不同采收成熟度沃柑汁氨基酸含量变化
Fig. 4 Change of amino acid content in Orah mandarin juice with different harvest maturity

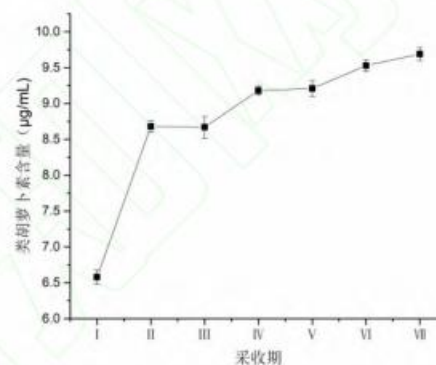


图 5 不同采收成熟度沃柑汁类胡萝卜素含量变化
Fig. 5 Change of carotenoids content in Orah mandarin juice with different harvest maturity

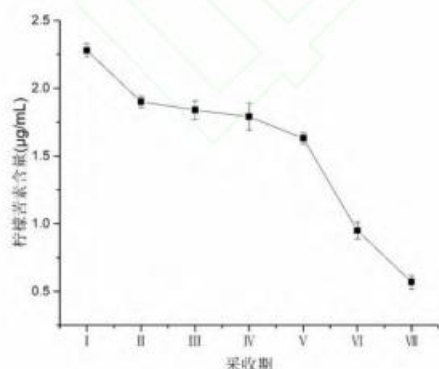


图 6 不同采收成熟度沃柑汁柠檬苦素含量变化
Fig. 6 Change of limonin content in Orah mandarin juice with different harvest maturity

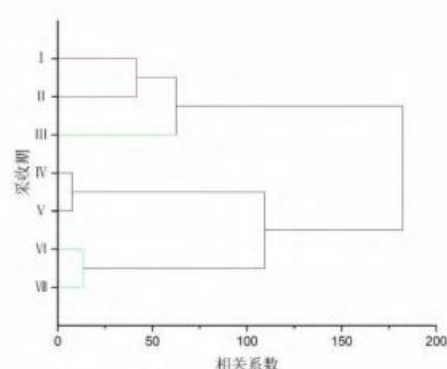


图 7 不同采收成熟度沃柑汁营养成分的聚类分析
Fig. 7 Cluster analysis of nutrient components of Orah mandarin juice at different harvesting maturity

2.3 不同采收成熟度沃柑汁挥发性物质比较

2.3.1 基于电子鼻技术分析不同采收成熟度沃柑汁的挥发性物质变化

水果成熟过程会发生许多复杂的生理生化反应，包括生理指标的变化、香气成分的形成等。随着果实成熟度的变化，不同采收期沃柑汁的电子鼻 PCA 分析结果如图 8 所示。由图可以看出，PCA 分析图横坐标代表第一主成分（PC1），其贡献率为 87.56%，纵坐标代表第二主成分（PC2），其贡献率为 11.07%，前两主成分的贡献率累计为 98.63%，贡献率大于 85%能够反映样品的主要特征信息^[28]，同时 PC1 对区分不同采收期的沃柑汁起主要作用，基于电子鼻的分析结果发现：不同采收期的沃柑汁可以很好区分，完全没有重叠，说明随着成熟度的变化，沃柑风味不同，另外采收期I与II、采收期III与IV的距离较近，说明I与II、III与IV采收期的沃柑果汁风味较接近。由此可见，不同采收成熟度的沃柑汁挥发性物质不同，电子鼻可以准确识别出不同成熟度沃柑汁的特征气味，并进行准确区分。

Loading 分析法即载荷分析，是电子鼻传感器对于主成分分析贡献率大小的分析^[29]。利用 Loading 分析可以区分当前模式下传感器的相对重要性，若传感器的响应值越偏离零，则该传感器在识别中作用较强，即为识别传感器，反之，如果响应值接近零，则该传感器识别力可以忽略^[30]。由图 9 电子鼻的 Loading 分析可以看出，PC1 和 PC2 传感器的贡献率分别为 87.56%、11.07%，总贡献率为 98.63%，在主成分 1（PC1）贡献率方面，传感器 W1S 的贡献率最大，其次是传感器 W1W；而在主成分 2（PC2）贡献率方面，传感器 W1W 的贡献率最大，其次是传感器 W2W。说明第一主成分主要反映的是对甲基类，其次是无机硫化物，第二主成分主要反映的是无机硫化物，其次是芳香成分、有机硫化物。

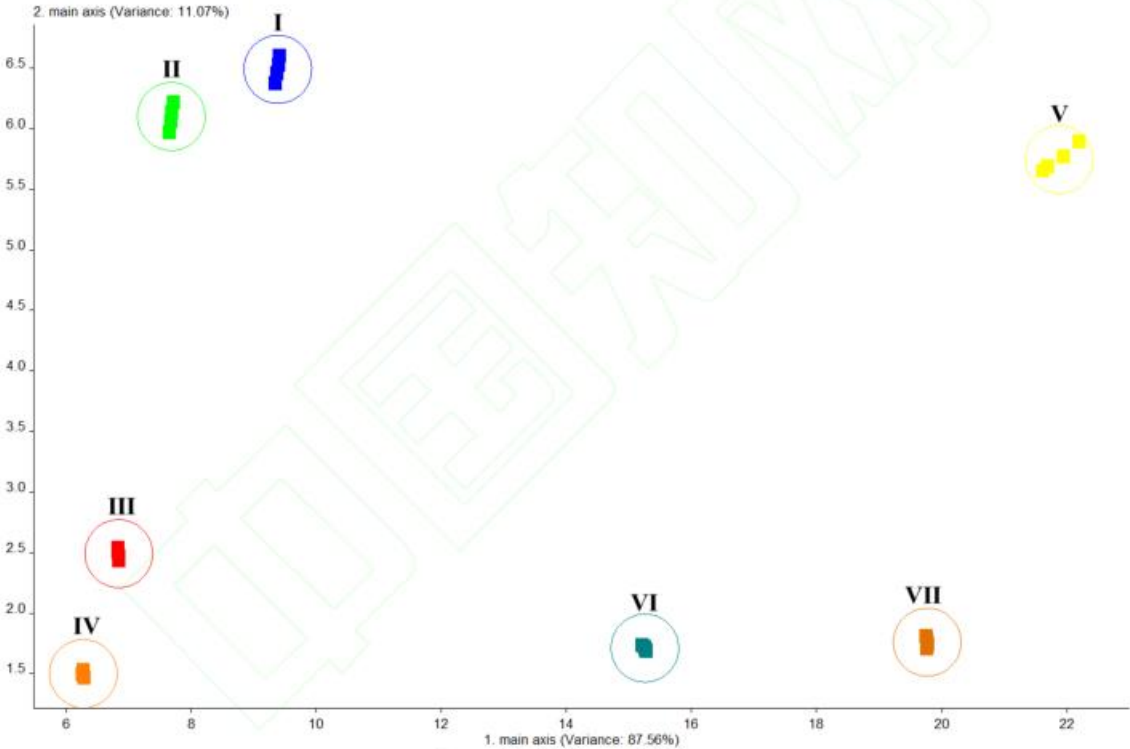


图 8 电子鼻的 PCA 分析

Fig. 8 PCA analysis of electronic nose

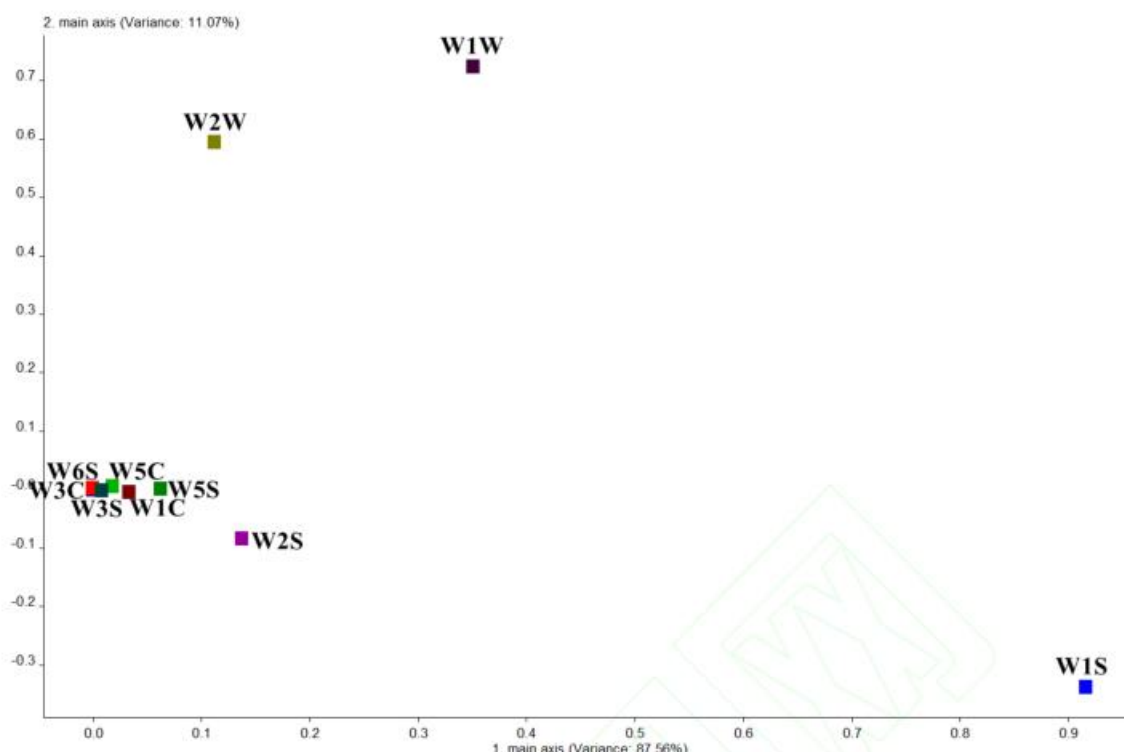


图9 电子鼻的 Loading 分析

Fig. 9 Loading analysis of electronic nose

2.3.2 基于 GC-MS 分析不同采收成熟度沃柑汁的挥发性香气成分变化

水果香气物质是由脂肪酸、氨基酸、碳水化合物等作为前体物质在果实生长发育过程中经过一系列酶促反应而形成，香气物质属于果实的次级代谢产物，由各种芳香成分共同作用形成，各种芳香物质占果实鲜重的 0.001%-0.01%^[31]，可以反映果实的成熟程度和风味特点^[32]，是评价果实风味品质的重要指标^[33]。电子鼻验证了不同成熟度沃柑可以准确区分，GC-MS 进一步研究了不同成熟度沃柑挥发性香气成分的区别及变化，结果见表 5，可以看出不同采收成熟度的沃柑汁主要香气物质共分离出 38 种，其中烃类 13 种、醇类 12 种、酯类 5 种、醛类 6 种、酮类 2 种。不同采收成熟度沃柑汁的香气成分相对含量最高为烃类，烃类又分为烯烃、烷烃及芳香烃类化合物，其中烯烃是最主要的香气物质，7 种采收期沃柑汁烯烃的相对含量分别为 95.10%、67.81%、84.50%、86.06%、83.77%、92.13%、96.04%，这是由于未成熟和成熟的柑橘果实以萜烯类为主，萜烯类是柑橘最为主要的香气成分^[34]，烯烃主要包含 D-柠檬烯、 β -蒎烯、罗勒烯、 α -蒎烯、蒎品油烯、 γ -蒎品烯等 11 种烯烃，D-柠檬烯、 β -蒎烯、罗勒烯为不同采收成熟度沃柑汁共有的挥发性香气成分，柠檬烯具有令人愉快的新鲜薄荷和柑橘香味，是柑橘果实最主要的特征香气^[35]。其中 D-柠檬烯相对含量最高，分别为 83.71%、60.31%、75.87%、83.25%、81.85%、80.1%、91.52%，与孙莹^[35]研究 3 个不同成熟度赣南“纽荷尔”脐橙香气成分结果一致，D-柠檬烯相对含量最高，且其相对含量最高可达 91.66。

表 5 不同采收成熟度沃柑汁的主要挥发性香气成分

Table.5 Main volatile aroma compounds of Orah mandarin juice at different harvest maturity

序号	化合物	保留时间	相对含量(%)						
		t/(min)	I	II	III	IV	V	VI	VII
烃类化合物									
1	α -蒎烯	8.06	0.53	0.14	0.20	—	—	0.62	0.25
2	β -蒎烯	10.00	7.88	5.11	6.52	2.29	1.71	9.87	3.95
3	蒎品油烯	13.47	1.20	0.41	0.65	—	—	0.25	—
4	罗勒烯	12.14	1.28	1.09	0.96	0.26	0.21	0.95	0.20
5	γ -蒎品烯	12.51	0.26	0.13	0.21	—	—	—	—

6	D-柠檬烯	11.45	83.71	60.31	75.87	83.25	81.85	80.1	91.52
7	(-)- α -蒎烯	23.51	0.17	—	0.09	0.07	—	—	0.12
8	(E)- β -金合欢烯	25.96	0.07	0.10	—	—	—	0.12	—
9	(3E, 5E)-2, 6-二甲 基-1, 3, 5, 7-辛四烯	10.56	—	0.52	—	—	—	—	—
10	1, 5, 5-三甲基-6-亚 甲基-环己烯	13.49	—	—	—	0.19	—	—	—
11	桉烯	9.41	—	—	—	—	—	0.22	—
12	戊基环丙烷	12.98	0.26	3.61	3.57	—	—	0.46	0.15
13	1-异丙基-4, 7-二甲 基-1, 2, 3, 5, 6, 8a- 六氢萘	27.97	0.37	0.64	0.24	0.18	0.08	0.52	0.16
	总相对含量		95.73	72.06	88.31	86.24	83.85	93.11	96.35
	醇类化合物								
14	芳樟醇	14.01	0.89	4.78	3.40	—	0.22	0.29	0.12
15	(-)- δ -品-4-醇	16.89	0.39	—	—	0.08	0.27	—	—
16	α -松油醇	17.42	0.23	—	0.40	—	—	—	—
17	(+)- β -香茅醇	18.54	0.35	—	—	—	—	0.51	—
18	1-壬醇	16.61	—	0.09	—	—	—	—	—
19	4-萜烯醇	16.91	—	3.20	1.34	—	—	0.15	—
20	(E)-异香芹醇	17.17	—	0.05	—	—	—	—	—
21	(+)- α -松油醇	17.43	—	1.42	—	8.26	6.05	—	—
22	5-甲基-2-(1-甲乙烯 基)-4-己烯-1-醇	18.19	—	0.26	—	—	—	—	—
23	香茅醇	18.59	—	3.26	1.18	—	—	—	—
24	正癸醇	20.15	—	1.64	0.48	—	—	0.41	—
25	3, 7-二甲基-6-辛烯 -1-醇	18.57	—	—	—	—	0.10	—	0.13
	总相对含量		1.86	14.70	6.80	8.34	6.64	1.36	0.25
	酯类化合物								
26	硅烷二醇二甲酯	3.70	1.15	1.08	0.70	1.06	2.29	0.72	1.11
27	乙酸香茅酯	22.66	0.18	0.52	0.19	—	—	0.88	0.16
28	乙酸辛酯	17.94	—	0.12	0.05	—	—	0.08	—
29	乙酸香叶酯	23.60	—	0.49	0.10	—	—	0.52	—
30	仲丁基亚硝酸酯	2.59	—	—	—	0.19	—	—	—
	总相对含量		1.33	2.21	1.04	1.25	2.29	2.20	1.27
	醛类化合物								
31	紫苏醛	20.23	0.30	2.45	0.87	—	—	0.35	—
32	癸醛	17.81	—	0.86	0.54	—	—	0.12	—
33	β -甜橙醛	33.00	—	0.18	—	—	—	—	—
34	甜橙醛	34.50	—	0.13	—	—	—	0.12	—
35	5-羟甲基糠醛	18.83	—	—	—	2.54	3.84	0.26	—
36	L-(-)-甘油醛	2.41	—	—	—	—	0.54	—	—
	总相对含量		0.30	3.62	1.41	2.54	4.38	0.85	0.00

酮类化合物									
37	左旋香芹酮	19.14	0.30	2.31	1.01	—	0.17	0.24	0.07
38	2,3-二氢-3,5-二羟 基-6-甲基-4H-吡喃 -4-酮	15.71	—	—	—	0.68	0.83	0.47	0.44
总相对含量			0.30	2.31	1.01	0.68	1.00	0.71	0.51

注：“—”表示未检出。

不同采收成熟度沃柑汁挥发性香气成分的动态变化见图 10，结果显示，醇类、酯类、醛类和酮类在果实生长发育过程均呈现先升高后降低再升高而后又降低的动态变化规律，但醇类和酮类均在采收期II达到最高值，相对含量分别为 14.70%、2.31%，酯类和醛类在采收期V达到最大值，相对含量分别为 2.29%、4.38%。烃类整体变化趋势与醇类、酯类、醛类和酮类相反，在采收前期，烃类相对含量下降，采收期II相对含量最低为 72.06%，随着成熟度的不断提高，后期烃类相对含量上升，采收期VI达到最大值，为 96.35%。这与周娟^[36]研究赣南早脐橙果实发育过程中挥发性成分比较结果一致。综合比较，认为醇类、酯类、醛类、酮类和烃类在IV、V、VI采收期沃柑汁中的相对含量均较高，果实香气浓郁，风味怡人，可为沃柑果汁加工最佳采摘期做参考。

3 结论

本文对不同采收成熟度沃柑汁的基本品质、光学特性和挥发性物质分别进行了评价与分析，研究表明：a.基本品质方面，色泽变化角度，随着沃柑采收成熟度的提高，沃柑果皮的 L^* 、 b^* 值逐渐降低， a^* 值不断升高，与沃柑果皮色泽外观图一致，沃柑果汁的 L^* 值呈下降趋势， a^* 值最高为采收期VI的沃柑，其次为采收期IV、V、VII，采收期I、II、III沃柑果汁 b^* 值较大，其次为V、VI采收期的沃柑汁，认为采收期V、VI的沃柑果汁颜色最佳，不偏红也不偏黄，色泽柔和；理化特性角度，随着采收期的延长，沃柑汁可滴定酸含量变化不稳定，采收期VI可滴定酸含量最低为 0.39，可溶性固形物、固酸比均呈先上升后下降的趋势，V、VI采收期的固酸比适宜，果实汁多味美、酸甜可口。b.营养成分方面，随着沃柑的不断成熟，氨基酸含量呈先上升后下降的趋势，维生素 C、类胡萝卜素含量均呈逐渐升高趋势，总酚、柠檬苦素含量均呈下降趋势，根据聚类分析及综合考虑，认为IV、V采收期的沃柑营养成分含量均较高。c.挥发性物质角度，基于电子鼻的 PCA 及 Loading 分析结果发现，电子鼻可以准确识别出不同成熟度沃柑汁的特征气味，传感器 W1W 的主成分贡献率最大，其次是传感器 W2W。基于 GC-MS 分析结果发现，不同采收成熟度的沃柑汁主要香气物质共分离出 38 种，烯烃是最主要的香气物质，其中 D-柠檬烯相对含量最高，分别为 83.71%、60.31%、75.87%、83.25%、81.85%、80.1%、91.52%，醇类、酯类、醛类和酮类在果实生长发育过程均呈现先升高后降低再升高而后又降低的动态变化规律，烃类整体变化与其相反，醇类和酮类均在采收期II达到最高值，酯类和醛类在采收期V达到最大值，烃类采收期VI达到最大值，综合比较，认为醇类、酯类、醛类、酮类和烃类在IV、V、VI采收期的沃柑汁中的相对含量均较高，风味怡人，能够吸引消费者和增强市场竞争力。

通过上述分析，综合考量沃柑汁的基本品质、光学特性和挥发性物质，发现采收期V（2022-02-24 采摘）的沃柑汁品质最佳，因此，认为 2 月下旬采摘的沃柑最适合制汁，为沃柑果汁加工提供理论参考。

参考文献：

- [1] 江东, 曹立. 晚熟高糖杂柑品种“沃柑”在重庆的引种表现[J]. 中国南方果树, 2011, 40(5): 33-34.
- JIANG D, CAO L. Introduction of late-maturing and high-sugar citrus variety "Orah mandarin" in Chongqing [J]. South China Fruits, 2011, 40(5): 33-34.
- [2] 黄其椿, 刘吉敏, 何新华, 等. 晚熟杂柑“沃柑”在广西武鸣的栽培表现初报[J]. 中国南方果树, 2014, 43(3): 86-88.

- HUANG Q C, LIU J M, HE X H, et al. A preliminary report on the cultivation performance of late ripening citrus " Orah mandarin " in Wuming, Guangxi [J]. South China Fruits, 2014, 43(3): 86-88.
- [3] 贾聚金, 陈香玲, 孙权, 等. 沃柑树冠不同结果部位光照条件对果实品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(6): 24-30.
JIA J J, CHEN X L, SUN Q, et al. Effects of light conditions on fruit quality in different fruiting positions of Orah mandarin canopy [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(6): 24-30.
- [4] 邓西民, 韩振海, 李绍华. 果树生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
DENG X M, HAN Z H, LI S H. Fruit Tree Biology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [5] 莫健生, 唐志评, 贺申魁, 等. 广西桂林沃柑不同采摘期果实品质比较[J]. 中国南方果树, 2022, 51(4): 11-13.
MO J S, TANG Z P, HE S K, et al. Comparison of fruit quality in different picking periods of Guangxi Guilin Orah mandarin[J]. South China Fruits, 2022, 51(4): 11-13.
- [6] 马家祺, 王代武, 邓祖耀, 等. 柑桔技术 500 问[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1987: 338.
MA J Q, WANG D W, DENG Z Y, et al. Citrus Technology 500 Questions [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1987: 338.
- [7] 张春岭, 刘慧, 刘杰超, 等. 不同品种和成熟度苹果汁品质及贮藏稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 198-201.
ZHANG C L, LIU H, LIU J C, et al. Study of storage stability and quality of apple juice of different varieties and maturity[J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 198-201.
- [8] 张兰, 王宏国. 不同成熟期瑞连娜苹果品质测定[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6753-6754.
ZHANG L, WANG H G. Quality determination of Ruilianna apple in different maturation stages[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(22): 6753-6754.
- [9] 迟森. 橙汁在加工贮藏过程中色泽稳定性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
CHI M. Study on the stability of color during processing and storage of orange juice[D]. Chongqing: Southwest University, 2010.
- [10] Lee S W, Lim J M, Bhoo S H, et al. Colorimetric determination of amino acids using genipin from *Gardenia jasminoides*[J]. Analytica chimica acta, 2003, 480(2): 267-274.
- [11] 马倩. 南丰蜜桔在成熟过程中营养及功能性成分的变化规律研究[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2019.
MA Q. Study on the change of nutrition and functional components in nanfeng tangerine during ripening [D]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Normal University, 2019.
- [12] Ceci L N, Lozano J E. Use of enzymes for non-citrus fruit juice production[M]. CRC Press, 2010: 189-210.
- [13] Alquézar B, Rodrigo M J, Zacarías L. Carotenoid biosynthesis and their regulation in citrus fruits[J]. Tree For. Sci. Biotechnol, 2008, 2(1): 23-35.
- [14] Fu X, Kong W, Peng G, et al. Plastid structure and carotenogenic gene expression in red-and white-fleshed loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(1): 341-354.
- [15] Fu X, Feng C, Wang C, et al. Involvement of multiple phytoene synthase genes in tissue-and cultivar-specific accumulation of carotenoids in loquat[J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 65(16): 4679-4689.
- [16] 荆佳伊, 刘晓佳, 邓丽莉, 等. 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(5): 303-309.
JING J Y, LIU X L, DENG L L, et al. 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(5): 303-309.
- [17] 杨阳, 唐宁, 李正国, 等. 5 个晚熟柑橘品种果实发育期品质变化研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(1): 263-267.
YANG Y, TANG N, LI Z G, et al. Quality Changes of Five Late-maturing Citrus Varieties during Fruit Development and Maturity [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(1): 263-267.
- [18] 朱晓艳. 瓯柑果实黄酮类化合物的分离鉴别及相关活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
ZHU X Y. Separation and identification of flavonoids from Citrus reticulata CV. Suavissima fruit and their bioactivity study[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [19] Gruz J, Ayaz F A, Torun H, et al. Phenolic acid content and radical scavenging activity of extracts from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit at different stages of ripening[J]. Food Chemistry, 2011, 124(1): 271- 277.

- [20] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.
LU M, AN H M, ZHAO X H. Analysis of Amino Acids in *Rosa sterilis* and *Rosa roxburghii* Fruits [J]. Food Science, 2015, 36(14): 118-121.
- [21] 苏俊, 黄兴龙, 陈霞, 等. 3个红色砂梨新品种的果实氨基酸组分与含量分析[J]. 果树学报, 2018, 35(S1): 114-117.
SU J, HUANG X L, CHEN X, et al. Analysis of amino acid composition and content in three new varieties of red sand pear [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(S1): 114-117.
- [22] Fanciullino A L, Dhuique-Mayer C, Luro F, et al. Carotenoid diversity in cultivated citrus is highly influenced by genetic factors[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(12): 4397-4406.
- [23] Matsumoto H, Ikoma Y, Kato M, et al. Quantification of carotenoids in citrus fruit by LC-MS and comparison of patterns of seasonal changes for carotenoids among citrus varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(6): 2356-2368.
- [24] Kato M, Ikoma Y, Matsumoto H, et al. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoid biosynthetic genes during maturation in citrus fruit[J]. Plant Physiology, 2004, 134(2): 824-837.
- [25] 汤雨晴, 万水林, 闫承璞, 等. 朱红橘果实成熟过程中类胡萝卜素的积累及相关基因的表达分析[J]. 核农学报, 2022, 36(3): 567-577.
TANG Y Q, WAN S L, YAN C P, et al. Carotenoids accumulation and relative genes expression during the maturation of zhuhong mandarin[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(3): 567-577.
- [26] 孙志高, 黄学根, 焦必宁, 等. 柑桔果实主要苦味成分的分布及橙汁脱苦技术研究[J]. 食品科学, 2005(6): 146-148.
SUN Z G, HUANG X G, JIAO B N, et al. Studied on the distributing of main bitter components in citrus fruit and the debittering technology of orange juice [J]. Food Science, 2005(6): 146-148.
- [27] 李一兵. 不同柑橘品种果汁类柠檬苦素的含量变化及相关基因表达分析[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
LI Y B. Content changes of the limonoid and related gene expression analysis in juice of different citrus cultivars [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [28] Liu Q, Zhao N, Zhou D, et al. Discrimination and growth tracking of fungi contamination in peaches using electronic nose[J]. Food Chemistry, 2018, 262: 226-234.
- [29] 蓬桂华, 李文馨, 殷勇, 等. 电子鼻和电子舌在分析桑果汁风味上的应用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 240-243+250.
PENG G H, LI W X, YIN Y, et al. Analysis of Flavor Difference of Mulberry Juice by E—Nose and E—Tongue [J]. Science and technology of Food Industry, 2020, 41(12): 240-243+250.
- [30] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 等. 利用电子鼻评价桃果实香气[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 274-282.
YAN J, CAI Z X, ZHANG M H, et al. Evaluation of Aroma in Peach Fruit by Electronic Nose [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 274-282.
- [31] 乜兰春, 孙建设, 黄瑞虹. 果实香气形成及其影响因素[J]. 植物学报, 2004, 21(5): 631-637.
NIE L C, SUN J S, HUANG R H. The Biosynthesis and Affecting Factors of Aroma in Some Fruits [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(5): 631-637.
- [32] 张秀梅, 杜丽清, 孙光明, 等. 3个菠萝品种果实香气成分分析[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 275-279.
ZHANG X M, DU L Q, SUN G M, et al. Analysis of Aromatic Components in Pineapple Varieties [J]. Food Science, 2009, 30(22): 275-279.
- [33] 闫忠心, 鲁周民, 刘坤, 等. 干制条件对红枣香气品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 389-392.
YAN Z X, LU Z M, LIU K, et al. Effects of drying conditions on Chinese jujube aroma components [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 389-392.
- [34] Obenland D, Collin S, Mackey B, et al. Determinants of flavor acceptability during the maturation of navel oranges[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2): 156-163.
- [35] 孙莹, 陈世珍, 朱丽琴, 等. 不同成熟度赣南“纽荷尔”脐橙香气成分和主要品质指标分析[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(3): 429-434.

SUN Y, CHEN S Z, ZHU L Q, et al.. Analysis of aroma components and main quality indexes of gannan newhall navel oranges of different maturities [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, 37(3): 429-434.

[36] 周娟. 赣南早脐橙果实发育过程中挥发性成分分析及外源脱落酸对其果实成熟的影响[D]. 赣州: 赣南师范大学, 2019.

ZHOU J. Analysis of volatile components in fruit development of gannanza navel orange and effects of exogenous abscisic acid on its fruit ripening [D]. Ganzhou: Ganan Normal University, 2019.

中国知网