

不同成熟度对红果参果实品质及香气成分的影响

孔方南, 黎新荣, 赵 静, 周之珞, 周彩霞, 颜桢灵, 罗培四, 卓福昌, 黄丽君, 韦 优

Effect of Different Maturity on Quality and Aroma Composition of *C. lancifolius* Fruit

KONG Fangnan, LI Xinrong, ZHAO Jing, ZHOU Zhiluo, ZHOU Caixia, YAN Zhenling, LUO Peisi, ZHUO Fuchang, HUANG Lijun, and WEI You

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020064>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

成熟度对柿子片干燥特性及品质影响

Effect of Maturity on Drying Characteristics and Quality of Dried Persimmon Slices

食品工业科技. 2021, 42(20): 69-75 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010118>

1-MCP处理对不同成熟度富士苹果贮后货架品质和挥发性物质的影响

Effect of 1-MCP Treatment on Quality and Volatile Substance of Apples with Different Maturity during Shelf after Cold Storage

食品工业科技. 2018, 39(21): 263-269 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.047>

PCA综合分析采收成熟度对金沙柚贮藏品质的影响

Comprehensively Analyzing the Effect of Harvest Maturity on Storage Quality of Jinsha Pomelo Based on PCA

食品工业科技. 2019, 40(18): 255-262,272 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.18.042>

1-MCP处理期不同成熟度‘霞晖8号’桃果实贮藏中品质和生理生化特性的影响

Effect of 1-MCP on Peach Fruit Quality and Physio-Biochemical Characteristics of 'Xiahui 8' with Different Maturity during Storage

食品工业科技. 2021, 42(17): 326-334 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110201>

采收成熟度对青皮核桃鲜贮效果的影响

Effect of Harvest Maturity on Preservation of Green Walnut Fruits

食品工业科技. 2020, 41(20): 273-278 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.20.045>

水果成熟度近红外光谱及高光谱成像无损检测研究进展

Research Progress on Nondestructive Detection of Fruit Maturity by Near Infrared Spectroscopy and Hyperspectral Imaging

食品工业科技. 2021, 42(20): 377-383 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070074>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

孔方南, 黎新荣, 赵静, 等. 不同成熟度对红果参果实品质及香气成分的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 63–71. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020064

KONG Fangnan, LI Xinrong, ZHAO Jing, et al. Effect of Different Maturity on Quality and Aroma Composition of *C. lancifolius* Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(1): 63–71. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020064

· 研究与探讨 ·

不同成熟度对红果参果实品质及香气成分的影响

孔方南¹, 黎新荣², 赵静¹, 周之珞¹, 周彩霞¹, 颜桢灵¹, 罗培四¹, 卓福昌¹, 黄丽君¹, 韦优^{1,*}

(1. 广西农业科学院广西南亚热带农业科学研究所, 广西龙州 532415;

2. 广西农业科学院广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001)

摘要: 本研究在不同成熟阶段检测了红果参果实的品质和香气成分, 以确定最佳采收成熟度。结果表明红果参果实不同成熟度下的外观及营养品质差异明显, 随成熟度增加, 果皮颜色由绿色转红棕色至紫黑色, 果实纵径和果形指数均呈先下降后上升趋势, 成熟度 I 的果形指数最大; 单果质量、果实硬度和可滴定酸含量均呈先上升后下降趋势, 成熟度 IV 的单果质量和硬度最大; 果实横径、可溶性固形物含量和维生素 C 含量呈上升趋势, 成熟度 V 的可溶性固形物含量和维生素 C 含量最高。GC-MS 分析表明红果参果实不同成熟度下的香气组分及含量差异较大。醇类、萜类和烷烃类是红果参果实主要香气物质类型。其中, 反式-2-己烯醇和香叶醇是所有成熟度下共有的主要香气物质, 且对不同成熟阶段的果实风味贡献不同, 青香、花香和果香则是红果参果实典型香气特征。主成分分析表明成熟度 IV 的红果参果实品质综合得分最高。综上所述, 红果参果实采收标准为成熟度 III~V (花后 140~150 d), 采收成熟度 IV (花后 145 d) 的果实鲜食品质及风味最佳。

关键词: 红果参, 成熟度, 果实品质, 香气成分

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)01-0063-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020064

本文网刊:



Effect of Different Maturity on Quality and Aroma Composition of *C. lancifolius* Fruit

KONG Fangnan¹, LI Xinrong², ZHAO Jing¹, ZHOU Zhiluo¹, ZHOU Caixia¹, YAN Zhenling¹, LUO Peisi¹, ZHUO Fuchang¹, HUANG Lijun¹, WEI You^{1,*}

(1. Guangxi South Subtropical Agricultural Science Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Longzhou 532415, China;

2. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530001, China)

Abstract: In this study, the quality and aroma components of *Cyclocodon lancifolius* fruit were examined at various stages of maturity to identify the optimal harvest maturity. The result showed that the appearance and nutritional quality of *C. lancifolius* fruit varied significantly at different maturities. With the increase of maturity level, the color of fruit skin changed from green to red-brown to purple-black, and the longitudinal diameter and fruit shape index showed a decreasing and then increasing trend, with maximum fruit shape index at maturity I. The weight, hardness, titratable acid content all trended upwards and then downwards, with maximum weight and hardness at maturity IV. The transverse diameter, soluble solids content and vitamin C content showed an increasing trend, with maturity V having the highest soluble solids content and vitamin C content. GC-MS analysis showed that the aroma components and contents of *C. lancifolius* fruit varied greatly with different maturities. Alcohols, terpenoids and alkanes were the main types of aromatic substances in *C.*

收稿日期: 2023-02-08

基金项目: 中央引导地方科技发展专项 (桂科 ZY19183010); 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目 (桂农科 2021YT163)。

作者简介: 孔方南 (1988-), 女, 本科, 农艺师, 研究方向: 果树栽培与选育, E-mail: 471493169@qq.com。

* 通信作者: 韦优 (1980-), 男, 本科, 高级农艺师, 研究方向: 果树种质资源研究及开发利用, E-mail: 329959823@qq.com。

lancifolius fruit. Among them, (E)-2-Hexenol and geraniol were the main aroma substances common to all maturities and contributed differently to the flavor of the fruits at different maturity stages, while herbal, floral and fruity aromas were the typical aroma characteristics of *C. lancifolius* fruit. Principal component analysis showed that the highest overall score for fruit quality was obtained for *C. lancifolius* fruit with maturity IV. In summary, the harvesting standard of *C. lancifolius* fruit was maturity III~V (140~150 days after flowering), and the best quality and flavor of fresh fruits were harvested at maturity IV (145 days after flowering).

Key words: *Cyclocodon lancifolius* (Roxburgh) Kurz; maturity; fruit quality; aroma components

红果参 *Cyclocodon lancifolius* (Roxburgh) Kurz 又名蜘蛛果、山葶苈, 为桔梗科轮钟花属植物^[1-2]。红果参为小型浆果, 风味独特, 鲜食具有滋补、保健等功效^[3], 是一种新兴的优稀经济水果。目前关于红果参果实研究主要有营养成分、化学成分和矿质元素^[4]等分析, 尚未见系统判断其果实成熟度的标准。因此, 开展不同成熟度红果参果实品质鉴定具有重要意义。

果实品质主要包括果形、色泽、单果质量等因素构成的外观品质, 以及糖、酸、维生素等因素构成的内在品质。此外, 香气物质在果实风味形成中起着重要的作用^[5], 果实香气能够客观地反映果实的风味特点及成熟度, 不同成熟度的果实营养成分和香气物质变化具有明显差异^[6-7], 影响消费者的喜好程度。研究表明, 果实成熟度不足, 外观色泽差, 糖分积累不足^[8], 香气物质含量低, 风味不足; 成熟度高, 果肉绵软过分成熟^[9], 香气物质含量下降, 风味变淡, 产生品质劣变现象^[10]。因此, 选择适宜成熟度对果实进行采收至关重要。国内外关于果实采收成熟度的标准多样, 包括果实的生育期^[11]、采收时间^[12]、果皮颜色^[13]、可溶性固形物^[14]等指标的标准。然而, 通过单一指标判断果实采收成熟度存在误差大的缺点。本文以红果参果实为试验材料, 通过对比不同成熟度红果参果实外观品质、营养品质及香气物质的差异, 以期红果参果实品质评价及适时采收提供科学的判断指标和依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红果参果实 采自优稀野生果树种质资源圃。根据果实发育天数和果皮颜色分别于 2022 年 2 月 10 日(成熟度 I, 花后 130 d)、2 月 15 日(成熟度 II, 花后 135 d)、2 月 20 日(成熟度 III, 花后 140 d)、2 月 25 日(成熟度 IV, 花后 145 d)和 3 月 2 日(成熟度 V, 花后 150 d)进行采摘。5 个成熟度果皮颜色分别为少半红棕色、过半红棕色、过半紫红色、紫红色、紫黑色。图 1 为不同成熟度红果参果实, 采样后装入保鲜盒运回实验室。

6890N-5975B 气质联用仪 美国安捷伦公司; Blue Ttar B 紫外可见分光光度计 北京莱伯泰科仪器股份有限公司; GY-4 数显果实硬度计 乐清市艾德堡仪器有限公司。

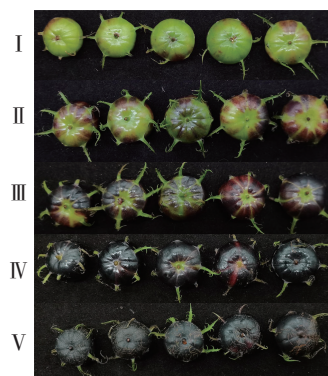


图 1 不同成熟度红果参果实

Fig.1 Different maturity of *C. lancifolius* fruit

1.2 实验方法

1.2.1 果实外观品质

1.2.1.1 果实大小 采用游标卡尺测量果实的横径(mm)和纵径(mm)并计算果形指数(以果实纵径与横径比值表示)。

1.2.1.2 单果质量 采用电子天平称量各个成熟度果实质量, 计算果实平均单果质量(g)。

1.2.1.3 果实硬度 随机选取每个成熟度果实, 在每个果实取 3 个点, 使用果实硬度计测定(探头直径 3.53 mm, 测定深度 4.00 mm), 取平均值, 结果以 kg/cm² 表示。

1.2.2 果实营养品质 可溶性固形物含量(%)采用手持式折光仪测定, 维生素 C 含量(mg/100 g)、可滴定酸含量(%)参考高俊凤^[15]的方法测定。

1.2.3 果实香气成分

1.2.3.1 样品前处理 顶空固相微萃取将不同成熟度的红果参果实洗净沥干水分, 放入捣碎机捣碎, 准确称取 2 g 果浆置于顶空瓶中, 加 3 mL 饱和 NaCl 溶液密封, 于 80 ℃ 磁力搅拌器上加热平衡 30 min, 使用 100 μL PDMS 萃取纤维头萃取 30 min, 待萃取结束后, 240 ℃ 解析附 5 min。

1.2.3.2 色谱条件 色谱柱为 HP-5 MS 石英弹性毛细管柱(30 m×250 μm×0.25 μm), 载气为 99.99% 氮气, 载气流速为 1.0 mL/min, 进样口温度 240 ℃, 不分流进样; 升温程序: 起始色谱柱温度为 45 ℃ 保持 4 min, 以 6 ℃/min 的速率升至 130 ℃, 再以 10 ℃/min 的速率升至 240 ℃ 保持 8 min。

1.2.3.3 质谱条件 采用 EI 离子源, 离子源温度 230 ℃, 传输线温度 280 ℃, 四级杆温度 180 ℃, 电

子能量 70 eV, 质量扫描范围为 40~600 amu。

1.2.3.4 定性定量 检测出的化合物质谱图经计算机检索与 NIST 14 标准谱库相匹配, 选出相似度大于 80% 的化合物, 并结合相关质谱资料进行人工图谱解析定性。采用仲辛醇(5000 $\mu\text{g}/\text{kg}$)作为内标物质定量香气物质含量, 公式如下:

$$\text{香气物质含量}(\mu\text{g}/\text{kg}) = \frac{\text{香气物质峰面积}}{\text{内标物质峰面积}} \times \text{内标物质浓度}$$

1.3 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 对数据进行初步分析, 利用 SPSS 20.0 对数据进行单因素 ANOVA 分析(显著性分析)及主成分分析, 采用 Microsoft Excel 2010、Origin 2018 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度对红果参果实外观品质影响

2.1.1 不同成熟度对果形指数和单果质量的影响

由图 2A~2C 可知, 随红果参果实成熟度的增加, 果实纵径及果形指数表现为先下降后上升的趋势, 果实横径表现为整体上升的趋势。成熟度 I 的红果参果实纵径最大(15.36 mm), 与成熟度 III 的果实纵径差异显著($P < 0.05$), 其它成熟度之间均差异不显著($P > 0.05$); 成熟度 I 的果实横径最小(20.36 mm)、果形指数最大(0.76), 与其它成熟度的果实横径及果形指数均差异显著($P < 0.05$), 成熟度 II~V 的果实横径及果形指数之间均差异不显著($P > 0.05$)。随红果参果实成熟度的增加, 果实外形逐渐扁圆, 可能是受中果皮细胞膨大的影响, 赤道中部细胞膨大快于两端^[16]。

由图 2D 可知, 随红果参果实成熟度的增加, 单果质量表现为先上升后下降的趋势, 成熟度 IV 的单果质量最大(3.79 g), 且与成熟度 V 的单果质量显著大于其它成熟度($P < 0.05$), 成熟度 I~III 的单果质量差异不显著($P > 0.05$), 成熟度 IV 与成熟度 V 的单果质量差异不显著($P > 0.05$)。

2.1.2 不同成熟度对硬度的影响 硬度作为果实成熟的重要指标, 直接影响果实的品质和贮藏性^[17]。由图 3 可知, 成熟度 IV 的红果参果实硬度最大(达到 $6.88 \text{ kg}/\text{cm}^2$), 显著大于其它成熟度($P < 0.05$), 其它成熟度之间均差异不显著($P > 0.05$)。红果参果实成熟过程中, 果实硬度呈先上升后下降的趋势, 是由于果实未成熟时果胶与纤维素结合形成非水溶性的原果胶使果实硬度增强, 随着果实成熟度提高, 果胶与纤维素分离形成水溶性果胶, 导致果实软化、硬度降低^[18]。

2.2 不同成熟度对红果参果实营养品质影响

可溶性固形物是衡量果实成熟的重要指标, 其含量高低影响着果实的风味^[19]。由图 4A 可知, 成熟度越高的果实可溶性固形物含量越高。成熟度 I 的果实可溶性固形物含量最低(只有 9.50%), 成熟度 V 的果实可溶性固形物含量最高(达到 13.75%), 显著高于其它成熟度($P < 0.05$)。红果参果实的可溶性

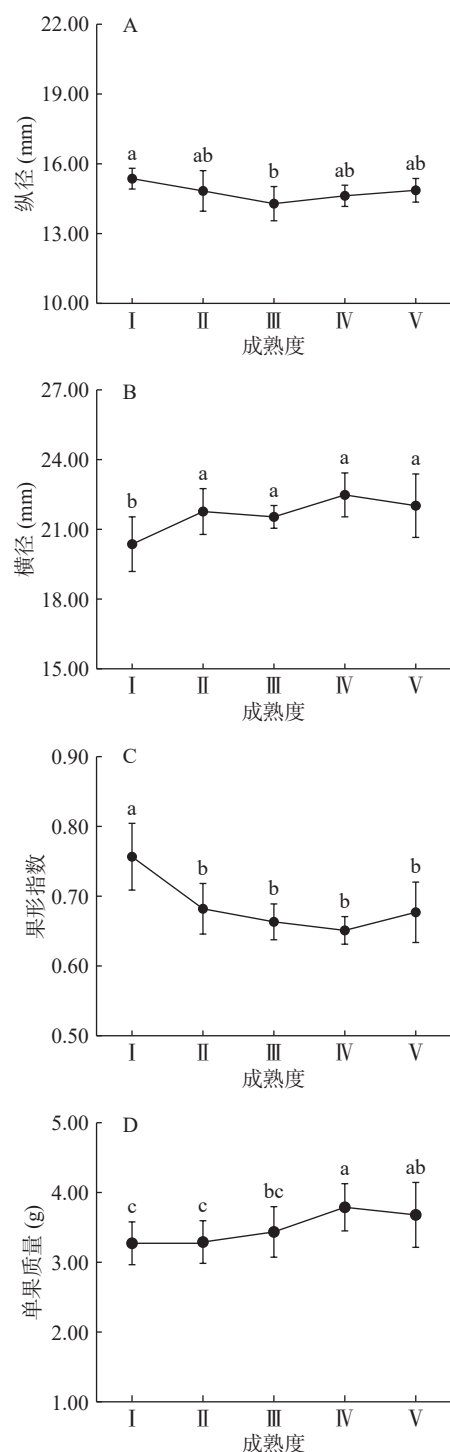


图 2 不同成熟度对果形指数和单果质量的影响

Fig.2 Effect of different maturity on fruit shape index and weight

注: 不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 图 3~图 4 同。

固形物含量随着成熟度增加而上升的原因在于果实成熟过程中淀粉转化, 导致可溶性固形物不断积累^[20]。

可滴定酸含量是评价果实口感及营养的常规指标。由图 4B 可知, 红果参果实发育期间, 可滴定酸含量为 0.22%~0.31%, 不同成熟度之间的差异不显著($P > 0.05$)。

维生素 C 含量是果实重要的营养品质指标^[21]。由图 4C 可知, 随红果参果实成熟度的增加, 维生素 C 含量表现为上升的趋势。成熟度 I 的果实维生素

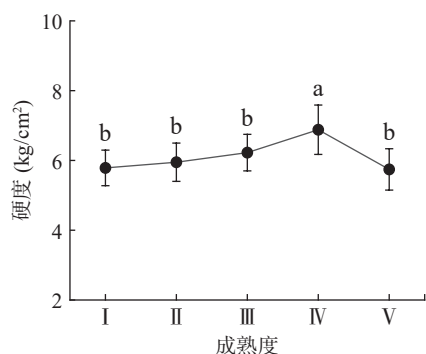


图3 不同成熟度对硬度的影响

Fig.3 Effect of different maturity on hardness

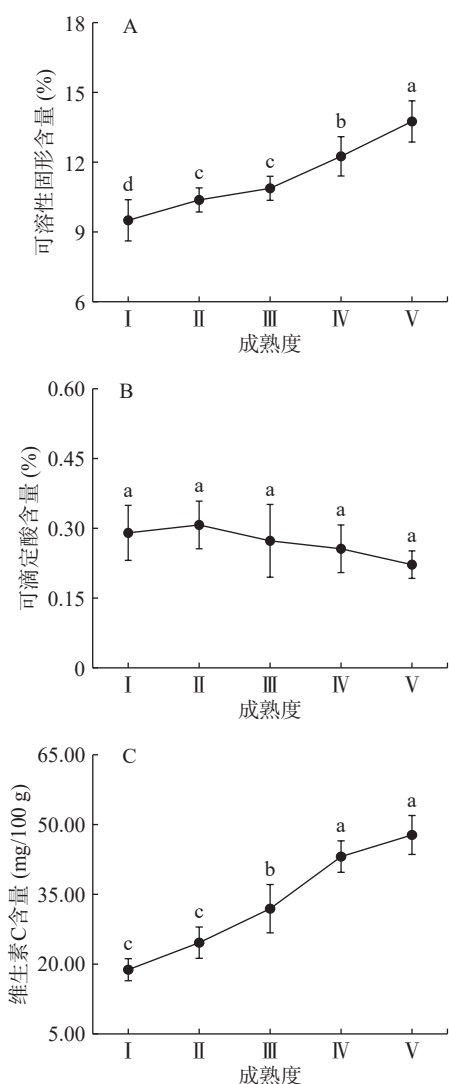


图4 不同成熟度对红果参果实营养品质的影响

Fig.4 Effect of different maturity on nutritional quality of *C. lancifolius* fruit

C含量是最低点(仅有 18.80 mg/100 g),成熟度 IV~V 的果实维生素 C 含量处于高水平,均显著高于其它成熟度($P<0.05$),成熟度 V 的果实维生素 C 含量最高(达到 47.76 mg/100 g)。

2.3 不同成熟度对红果参果实香气影响

2.3.1 不同成熟度红果参果实的香气组分及含量分析 通过 GC-MS 分析,所有供试样品共检测到挥发

性物质 39 种,分别包含醇类 5 种、醛类 6 种、萜类 13 种、烷烃类 7 种、酯类 4 种、酮类 1 种、酸类 1 种以及其他物质 2 种。由表 1 可知,5 个成熟度红果参果实中分别检测出挥发性物质 13、24、22、19 和 18 种,其中乙醇、反式-2-己烯醇、反式-2-己烯醛、异松油烯、 α -松油醇和香叶醇是所有成熟度下共有挥发性物质。成熟度 I 的红果参果实中特有挥发性物质有 3 种,分别为壬醛、正十五烷和正十七烷,相对含量占比为 4.86%;成熟度 II 的果实中特有挥发性物质有 4 种,分别为 α -布藜烯、正二十七烷、(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)和 1,2,4a,5,6,8a-六氢-1-异丙基-4,7-二甲基萘,相对含量占比 2.18%;成熟度 III 的果实中特有挥发性物质有 4 种,分别为 2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇、2-(4-甲基-3-环己烯-1-基)丙醛、十六醛、月桂烯,相对含量占比为 1.25%;成熟度 IV 的果实中特有挥发性物质有 1 种,为 γ -松油烯,占比仅为 0.11%;成熟度 V 时红果参果实中特有挥发性物质有 3 种,分别为反式-2-己烯甲酯、十五酸乙酯和乙酸,相对含量占比为 1.52%。由此表明,5 个成熟度的红果参果实中检测出的特有挥发性物质相对含量较少,对果实风味影响不大。

由表 2 可知,红果参果实发育期间,醇类、萜类和烷烃类是主要香气物质类型,三类香气物质含量占比分别为 96.76%、96.86%、98.66%、98.30% 和 96.47%。红果参果实成熟过程中,成熟度 I 的果实中含量最多的是醇类物质,占总挥发性成分含量的 42.52%,其中乙醇和反式-2-己烯醇分别占总含量的 35.19% 和 7.33%;成熟度 II 和 V 的果实中含量最高的香气物质均是烷烃类物质,占比分别为 52.88% 和 37.55%,其中成熟度 II 的果实中正二十一烷和正十九烷分别占总含量较高,分别为 33.72% 和 15.56%,而成熟度 V 的果实中正十九烷和正十六烷占比较高,分别为 20.09% 和 15.76%;成熟度 III 和 IV 的果实中含量最高的香气物质均为萜类物质,分别占有香气的总含量的 47.94% 和 66.67%,其中芳樟醇含量最高,占有香气的总含量高达 26.52% 和 39.27%。由此表明,不同成熟度红果参果实的香气物质组成及含量差异较大,呈现出不同的风味,可以通过控制采收成熟度对果实进行品质分级,或是根据不同成熟度果实的风味特性进行深加工。

2.3.2 香气活性值和香气类型 香气活性值(odor activity value, OAV)由香气物质的浓度及其阈值比值得到,是判断香气物质对果实风味的贡献大小的有效评价尺度^[22-23]。OAV>1 为果实的关键香气物质, OAV>10 为果实的重要香气物质, OAV 越高则对果实风味贡献越大。由表 3 可知,5 个采收成熟度红果参果实鉴定出关键香气物质 18 种,包括醇类 2 种、醛类 4 种、萜类 10 种和酯类 2 种。其中,芳樟醇和橙花醚的 OAV 值超过 1000,因此,它们对红果参果实香气影响显著;苯甲酸苄酯、反式-2-己烯醇、苯乙

表 1 不同成熟度红果参果实挥发性物质组成及含量
Table 1 Composition and content of volatile substances of *C. lancifolius* fruit with different maturity

序号	类别	挥发性物质	CAS号	含量(μg/kg)				
				I	II	III	IV	V
1	醇类	乙醇	64-17-5	17240.00	28850.00	26070.00	29190.00	28860.00
2		反式-2-己烯醇	928-95-0	3590.00	4470.00	4860.00	4570.00	4870.00
3		正己醇	111-27-3	—	3360.00	—	3950.00	5570.00
4		顺- α,α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	5989-33-3	—	550.00	690.00	590.00	—
5		2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	13741-21-4	—	—	380.00	—	—
6	醛类	反式-2-己烯醛	6728-26-3	770.00	800.00	990.00	1060.00	1590.00
7		苯乙醛	122-78-1	420.00	—	—	—	1130.00
8		壬醛	124-19-6	400.00	—	—	—	—
9		己醛	66-25-1	—	440.00	—	390.00	—
10		2-(4-甲基-3-环己烯-1-基)丙醛	29548-14-9	—	—	540.00	—	—
11	萜类	十六醛	629-80-1	—	—	710.00	—	—
12		异松油烯	586-62-9	210.00	2330.00	2460.00	2840.00	580.00
13		芳樟醇	78-70-6	13250.00	—	52090.00	54910.00	29300.00
14		橙花醚	1786-08-9	—	620.00	680.00	640.00	390.00
15		α -松油醇	98-55-5	3480.00	13880.00	16130.00	14240.00	7670.00
16		橙花醇	106-25-2	630.00	3620.00	3900.00	3510.00	—
17		香叶醇	106-24-1	2060.00	11370.00	12600.00	11210.00	5230.00
18		D-柠檬烯	5989-27-5	—	1390.00	1590.00	1670.00	370.00
19		(E)- β -罗勒烯	3779-61-1	—	950.00	900.00	990.00	—
20		顺式- β -罗勒烯	3338-55-4	—	2430.00	2640.00	3040.00	—
21		(3E,5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	460-01-5	—	380.00	300.00	—	—
22		α -布黎烯	3691-11-0	—	380.00	—	—	—
23		月桂烯	123-35-3	—	—	820.00	—	—
24		γ -松油烯	99-85-4	—	—	—	160.00	—
25		正十五烷	629-62-9	1630.00	—	—	—	—
26	烷烃类	正十七烷	629-78-7	350.00	—	—	—	—
27		正二十一烷	629-94-7	4960.00	57230.00	43720.00	—	—
28		正十九烷	629-92-5	—	26580.00	—	—	28250.00
29		正二十烷	112-95-8	—	3830.00	3130.00	—	2390.00
30		正二十七烷	593-49-7	—	2.11	—	—	—
31	酯类	正十六烷	544-76-3	—	—	20800.00	5930.00	22160.00
32		苯甲酸苄酯	120-51-4	—	2440.00	—	650.00	—
33		苯甲酸甲酯	93-58-3	—	—	—	270.00	110.00
34		反式-2-己烯甲酯	13894-63-8	—	—	—	—	1480.00
35		十五酸乙酯	41114-00-5	—	—	—	—	490.00
36	酮类	大马酮	23696-85-7	—	500.00	400.00	—	—
37	酸类	乙酸	64-19-7	—	—	—	—	170.00
38	其他	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	5932-68-3	—	930.00	—	—	—
39		1,2,4a,5,6,8a-六氢-1-异丙基-4,7-二甲基萘	483-75-0	—	280.00	—	—	—

注: —表示未检出, 表3同。

表 2 不同采收成熟度红果参果实香气物质种类及含量
Table 2 Types and contents of aroma substances of *C. lancifolius* fruit with different maturity

香气物质分类	相对含量(%)及种类				
	I	II	III	IV	V
醇类	42.52(2)	21.94(4)	16.29(4)	27.39(4)	27.95(3)
醛类	3.25(3)	0.73(2)	1.14(3)	1.04(2)	1.93(2)
萜类	40.07(5)	22.01(10)	47.94(11)	66.67(10)	30.97(6)
烷烃类	14.17(3)	52.88(4)	34.45(3)	4.24(1)	37.55(3)
酯类	0	1.44(1)	0	0.66(2)	1.48(3)
酮类	0	0.29(1)	0.20(1)	0	0
酸类	0	0	0	0	0.12(1)
其他	0	0.71(2)	0	0	0
合计	100(13)	100(24)	100(22)	100(19)	100(18)

注: “()”内数字表示对应香气物质种类数。

表 3 不同成熟度红果参果实香气活性值与香气类型

Table 3 Odor activity value and aroma types of *C. lancifolius* fruit with different maturity

序号	香型	香气物质	CAS号	香气描述	香气阈值 ($\mu\text{g/kg}$)	香气活性值				
						I	II	III	IV	V
1	果香型	α -松油醇 ^M	98-55-5	紫丁香、柑橘香气	330	10.55	42.06	48.88	43.15	23.24
2		D-柠檬烯 ^M	5989-27-5	柠檬、柑橘、浆果香气	34	—	40.88	46.76	49.12	10.88
3		γ -松油烯 ^M	99-85-4	柑橘、柠檬香气	1000	—	—	—	0.16	—
4		反式-2-己烯甲酯 ^M	13894-63-8	菠萝、绿香蕉、蜂蜜	N	—	—	—	—	—
5		苯甲酸苄酯 ^L	120-51-4	杏仁、樱桃味	10	—	244.00	—	65.00	—
6	青香型	反式-2-己烯醇 ^H	928-95-0	蔬菜香、草香	17	211.18	262.94	285.88	268.82	286.47
7		正己醇 ^M	111-27-3	嫩叶、脂肪气息	500	—	6.72	—	7.90	11.14
8		反式-2-己烯醛 ^H	6728-26-3	蔬菜香	17	45.29	47.06	58.24	62.35	93.53
9		己醛 ^H	66-25-1	油脂、青草香气	5	—	88.00	—	78.00	—
10		顺- α,α -5-三甲基-5-乙烷基四氢化呋喃-2-甲醇	5989-33-3	泥土、花香、甜木香	N	—	—	—	—	—
11	花香型	苯乙醛 ^H	122-78-1	玫瑰花、风信子、蜂蜜香气	4	105.00	—	—	—	282.50
12		十六醛	629-80-1	花和蜡的弱香气	N	—	—	—	—	—
13		芳樟醇 ^M	78-70-6	柑橘花香、佛手柑香、甜玫瑰木香	6	2208.33	—	8681.67	9151.67	4883.33
14		橙花醛 ^M	1786-08-9	花香	0.1	—	6200.00	6800.00	6400.00	3900.00
15		橙花醇 ^M	106-25-2	橙花、柑橘、木兰香气	300	2.10	12.07	13.00	11.70	—
16		香叶醇 ^M	106-24-1	玫瑰、柑橘香气	40	51.50	284.25	315.00	280.25	130.75
17		顺式- β -罗勒烯 ^M	3338-55-4	花香、草香	34	—	71.47	77.65	89.41	—
18		苯甲酸甲酯 ^H	93-58-3	花香、蜂蜜气味	73	—	—	—	3.70	1.51
19		十五酸乙酯	41114-00-5	蜂蜜甜味	N	—	—	—	—	—
20		大马酮 ^H	23696-85-7	玫瑰花香	N	—	—	—	—	—
21	辛香型	乙醇 ^M	64-17-5	烈性酒精	100000	0.17	0.29	0.26	0.29	0.29
22		2-(4-甲基-3-环己烯-1-基)丙醛	29548-14-9	辛辣草药	N	—	—	—	—	—
23		月桂烯 ^H	123-35-3	胡椒香、甜香脂气味	15	—	—	54.67	—	—
24		乙酸 ^H	64-19-7	辛辣的酸醋	200	—	—	—	—	0.85
25		(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	5932-68-3	香石竹、丁香花香气	N	—	—	—	—	—
26	醛香型	壬醛 ^H	124-19-6	玫瑰、柑橘、青叶香、脂肪气息	1	400.00	—	—	—	—
27	木香型	异松油烯 ^M	586-62-9	松木、柑橘、柠檬皮香气	200	1.05	11.65	12.30	14.20	2.90
28	草香型	(E)- β -罗勒烯 ^M	3779-61-1	甜草本	34	—	27.94	26.47	29.12	—

注: 香气描述、香气强度参考<http://www.thegoodscentscompany.com/search3.php>及文献[24]; 香气阈值参考文献[25-26]; L、M、H分别表示香气强度为低、中、高; “N”表示未查到。

醛、香叶醇和壬醛的 OAV 值超过 100, 是红果参果实的主要香气物质; α -松油醇、D-柠檬烯、正己醇、反式-2-己烯醛、己醛、橙花醇、顺式- β -罗勒烯、月桂烯、异松油烯和(E)- β -罗勒烯的 OAV 值超过 10, 是红果参的重要香气物质。反式-2-己烯醇和香叶醇是红果参果实所有成熟度下共有的主要香气物质, 且对不同成熟阶段的果实风味贡献大小不同。

由表 3 可知, 红果参果实主要香气类型为果香型(5 种)、青香型(4 种)、花香型(11 种)、辛香型(5 种)、木香型(1 种)、草香型(1 种)和醛香型(1 种)。具有高、中、低等香气强度的挥发物分别为 9 种、13 种和 1 种。醇类物质以青香型为主, 反式-2-己烯醇和正己醇具有蔬菜、嫩叶的青香特征, 是成熟度 V 的红果参果实重要香气物质, OAV 值均高于其它成熟度; 顺- α,α -5-三甲基-5-乙烷基四氢化呋喃-2-甲醇具有花香特征; 乙醇具有酒精的辛香特征。醛类物质以青香型为主, 反式-2-己烯醛和己醛具有蔬菜香、油脂、青草的青香特征; 苯乙醛具有玫瑰花、风信子、蜂蜜香气的花香特征, 是成熟度 V 的红果参果

实主要香气物质, OAV 值高于成熟度 I 的果实; 壬醛具有玫瑰、柑橘、青叶香、脂肪气息的醛香特征, 是成熟度 I 的红果参果实独有主要香气物质(OAV 达 400.00), 呈现出未成熟果味。萜类物质以花香型为主, 芳樟醇、橙花醛、橙花醇、香叶醇、顺式- β -罗勒烯具有佛手柑、橙花、木兰、玫瑰等花香特征; α -松油醇、D-柠檬烯、 γ -松油烯具有柑橘、柠檬等果香特征; 异松油烯具有松木的木香特征; (E)- β -罗勒烯具有甜草本的草香特征, 存在于成熟度 II~IV 的果实, 且成熟度 IV 的果实 OAV 值高于其它成熟度; 月桂烯具有胡椒的辛香特征, 是成熟度 III 的红果参果实独有重要香气物质(OAV 达 54.67), 可以作为鉴别果实成熟的重要参考; 芳樟醇、D-柠檬烯、顺式- β -罗勒烯和异松油烯是成熟度 IV 的红果参果实重要香气物质, OAV 值高于其它成熟度。酯类物质中苯甲酸苄酯具有杏仁、樱桃味的果香特征, 是成熟度 II 的红果参果实主要香气物质, OAV 值高于其它成熟度; 苯甲酸甲酯具有花香、蜂蜜气味等花香特征, 存在于成熟度 IV~V 的果实, 丰富红果参果实的风味。

为直观展示红果参果实发育的香气特征,以香气物质 OAV 加和值设定阈值绘制香气轮廓图。由图 5 可以看出,红果参果实发育过程中花香型占比重均高于其它香型,贡献率为 77.98%~96.75%,呈先增加后减少趋势,成熟度 III 时贡献率最高;成熟度 I 具有独特的醛香特征,贡献率高达 13.18%,仅次于花香型香气物质的贡献率;成熟度 III 辛香特征明显,贡献率为 0.33%,其它成熟度的不明显,贡献率仅为 0.01%;成熟度 IV 中青香型、花香型、木香型及草香型的香气物质 OAV 加和值均高于其它成熟度,香气最浓郁,是果实特征香型形成的关键时期;成熟度 V 仍具有明显的果香特征、青香特征、花香特征,其他香气特征减少或消失。由此可知,青香、花香和果香是红果参果实典型香气特征。

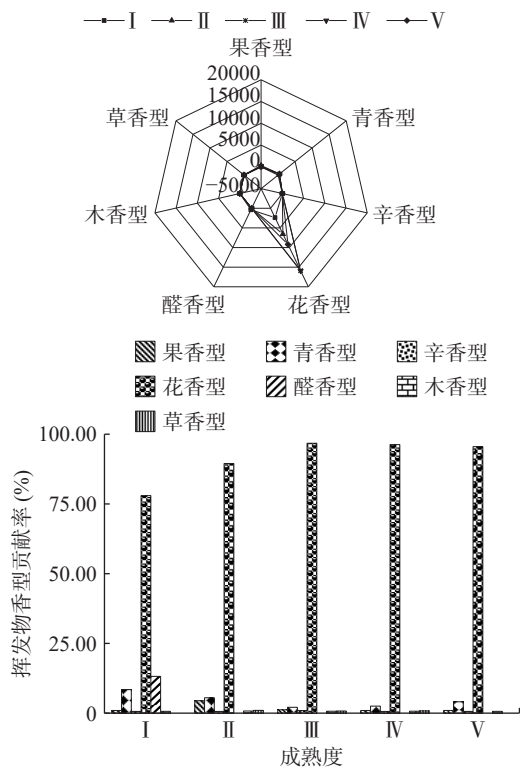


图 5 不同成熟度红果参果实挥发物香型分布及贡献率
Fig.5 Distribution and contribution of volatile compounds
aroma of *C. lancifolius* fruit with different maturity

2.4 不同成熟度红果参果实品质及香气成分综合评价
红果参果实的 8 个品质指标相关数据和 18 个关键香气物质 OAV 使用 SPSS 软件将数据标准化后进行主成分分析 (principal component analysis, PCA)。主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据^[27]。由表 4 所示,主成分特征值大于 1 有 4 个,方差贡献率分别为 50.673%、29.711%、11.857%、7.759%,累计贡献率达到 100.00%,基本解释 26 个变量中的大部分信息,因此本研究选择前 4 个为主成分。

主成分载荷矩阵反映各变量指标与各主成分之间的关系,载荷系数绝对值越大,表明该变量与对应主成分的关联程度越大^[28]。由表 5 可知,第一主成

表 4 主成分的方差解释

Table 4 Variance interpretation of principal components			
主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	13.175	50.673	50.673
2	7.725	29.711	80.384
3	3.083	11.857	92.241
4	2.017	7.759	100.000

分对应较大的特征向量有果形指数、 α -松油醇、D-柠檬烯、橙花醚、香叶醇、异松油烯,因橙花醚的载荷值最大,故为第一主成分因子。第二主成分对应较大的特征向量为可溶性固形物含量、可滴定酸含量、反式-2-己烯醛,因可滴定酸含量的载荷值最大,故为第二主成分因子。第三主成分对应较大的特征向量为苯甲酸苄酯、己醛、月桂烯,因月桂烯的载荷值最大,故为第三主成分因子。第四主成分对应较大的特征向量为硬度、苯甲酸甲酯,因硬度的载荷值最大,故为第四主成分因子。综上可知,橙花醚、可滴定酸含量、月桂烯、硬度具有较强的代表性,可以作为综合评价红果参果实品质的重要指标。

表 5 主成分载荷矩阵

Table 5 Principal component load matrix				
指标名称	主成分			
	成分1	成分2	成分3	成分4
纵径	-0.886	-0.054	0.430	0.164
横径	0.832	0.466	0.300	-0.030
果形指数	-0.958	-0.257	0.028	0.124
单果质量	0.507	0.776	0.066	0.370
硬度	0.756	-0.043	0.026	0.652
可溶性固形物含量	0.338	0.932	0.096	-0.089
可滴定酸含量	-0.075	-0.970	0.229	-0.034
维生素C含量	0.476	0.878	0.023	0.050
α -松油醇	0.952	-0.238	-0.119	-0.150
D-柠檬烯	0.958	-0.283	-0.026	0.021
苯甲酸苄酯	0.324	-0.498	0.717	-0.366
反式-2-己烯醇	0.746	0.473	-0.190	-0.428
正己醇	0.282	0.696	0.634	-0.186
反式-2-己烯醛	0.098	0.969	-0.061	-0.219
己醛	0.564	-0.326	0.751	0.106
月桂烯	0.359	-0.229	-0.881	-0.205
苯乙醛	-0.543	0.799	0.029	-0.255
芳樟醇	0.583	0.363	-0.554	0.470
橙花醚	0.972	-0.042	-0.018	-0.231
橙花醇	0.813	-0.578	-0.060	0.029
香叶醇	0.943	-0.287	-0.072	-0.153
顺式- β -罗勒烯	0.902	-0.411	0.012	0.131
苯甲酸甲酯	0.472	0.543	0.314	0.620
壬醛	-0.866	-0.306	-0.080	0.388
异松油烯	0.942	-0.321	0.037	0.086
(E)- β -罗勒烯	0.882	-0.465	0.065	0.040

以 4 个主成分和其对应的特征值占总特征值的比值为权重,得到主成分综合模型: $F_{\text{综合}}=(F_1\times 50.673+F_2\times 29.711+F_3\times 11.857+F_4\times 7.759)/100$, 计算

出不同成熟度红果参果实品质综合得分和排名。由表 6 可知,红果参果实综合得分随着成熟度增加呈先上升后下降趋势,其中成熟度 I~II 的综合得分为负值,成熟度 III~V 为正值,表明从成熟度 III 开始果实品质逐渐变优,成熟度 IV 的综合得分最高,果实品质最好,成熟度 V 的综合得分低于成熟度 IV,表明成熟度 V 的果实品质有下降趋势。同时,成熟度 V 独有的乙酸成分和果皮表面裂纹可作为果实品质降低的佐证。主成分综合模型评价品质方法在柚^[29]、梨^[30]的研究已被应用。综上所述,可利用 PCA 综合模型对红果参果实品质进行综合评价。

表 6 不同成熟度红果参果实品质综合得分
Table 6 Comprehensive quality score of *C. lancifolius* fruit with different maturity

成熟度	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F _{综合得分}	排名
I	-5.625	-1.520	-0.252	0.987	-3.256	5
II	1.087	-2.619	1.941	-1.421	-0.107	4
III	2.332	-1.137	-2.769	-0.520	0.475	3
IV	3.557	0.835	0.895	1.953	2.308	1
V	-1.352	4.441	0.185	-0.998	0.579	2

3 结论

以果实发育天数和果皮颜色作为标准,选择橙花醚、可滴定酸含量、月桂烯、硬度作为红果参果实品质检测的代表性指标,可判断红果参果实不同成熟度下的品质及香气物质的差异。综合外观、营养品质指标及香气成分可知,红果参果实成熟度 III~V (花后 140~150 d) 时具备青香、花香和果香香气特征,果实品质及风味佳,可作为采收标准。针对鲜食或短距离运输的情况,成熟度 IV (花后 145 d) 时果皮呈紫红色,单果质量在 3.79 g 左右,硬度在 6.88 kg/cm² 左右,可溶性固形物含量在 12.25% 左右,可滴定酸含量在 0.26% 左右,维生素 C 含量在 43.11 mg/100 g 左右,香气最浓郁,为最适采收成熟度。

参考文献

- [1] 中国科学院《中国植物志》编委会. 中国植物志[M]. 第 73(2)卷. 北京: 科学出版社, 1983.072. [Editorial Board of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Volume 73(2). Beijing: Science Press, 1983.072.]
- [2] Chinese Academy of Sciences. Flora of China[M]. Volume 19, Beijing: Science Press, 2013.
- [3] 黄春跃, 马梦洁, 牛莉鑫, 等. 红果参果化学成分及其 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 65-73. [HUANG C Y, MA M J, NIU L X, et al. Phytochemical composition and α -glucosidase inhibitory activity of *Campanumoea lancifolia* (Roxb.) Merr fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 65-73.]
- [4] 万晚霞, 孙庆文, 陈春伶, 等. 红果参矿质元素含量测定及膳食营养评价[J]. 现代食品, 2022, 28(23): 109-114. [WAN X X, SUN Q W, CHEN C L, et al. Determination of mineral elements in cyclocodon lancifolius and evaluation of dietary nutrition[J]. Modern Food, 2022, 28(23): 109-114.]
- [5] XIAO Z B, JIANG X Y, NIU Y W. Research progress on analysis of aroma compounds in fruits[J]. Journal of Food Science and

Technology, 2021, 39(2): 14-22.

- [6] 陈成, 王依, 杨勇, 等. 采收成熟度对‘金艳’猕猴桃果实品质及香气成分的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(31): 28-36. [CHEN C, WANG Y, YANG Y, et al. Effects of maturity stage on fruit quality and aroma components of ‘Jinyan’ kiwifruit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(31): 28-36.]
- [7] 侯晓健, 张浩宇, 张光弟, 等. 不同成熟度红梅杏品质及挥发性物质研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(10): 177-182. [HOU X J, ZHANG H Y, ZHANG G D, et al. Study on the quality and volatile compounds of Hongmei apricot with different maturity[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(10): 177-182.]
- [8] 汤梅, 罗洁莹, 张浣悠, 等. 鹰嘴蜜桃品质评价及其适收期研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 190-196. [TANG M, LUO J Y, ZHANG H Y, et al. Effects of harvest maturity on fruit quality of chick peach[J]. Food Research and Development, 2018, 39(19): 190-196.]
- [9] 袁纪莹, 徐慧, 陈蕾蕾, 等. 快递包装下采收成熟度对樱桃品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 255-258, 264. [QIU J Y, XU H, CHEN L L, et al. Effects of harvest maturity on qualities of cherry under express packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 255-258, 264.]
- [10] 谢季云, 白友强, 杜林笑, 等. 不同采收期对阿克苏富士苹果贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(6): 40-44. [XIE J Y, BAI Y Q, DU L X, et al. Effect of different harvesting period on storage quality of Aksu Fuji apple[J]. Storage and Process, 2019, 19(6): 40-44.]
- [11] 薛晓敏, 韩雪平, 王贵平, 等. 不同成熟度对李果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 26-36. [XUE X M, HAN X P, WANG G P, et al. Effects of different maturities on characteristics of plum fruit quality[J]. Nonwood Forest Research, 2020, 38(3): 26-36.]
- [12] ZHANG J, ZHANG J Y, SHAN Y X, et al. Effect of harvest time on the chemical composition and antioxidant capacity of Gannan na vel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck ‘Newhall’ juice)[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(1): 261-272.
- [13] 王丹. 夏橙果实成熟过程中果皮色泽变化的规律研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016. [WANG D. Research on the rules of the peel color changes during ‘Cutter Valencia’ fruit ripening[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.]
- [14] BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al. Fruit maturation and the soluble solids harvest index for ‘Hayward’ kiwifruit[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 213: 193-198.
- [15] 高俊凤. 植物生理学指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. [GAO J F. Plant physiology instruction[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.]
- [16] HAMMAMI S B M, MANRIQUE T, RAPOPORT H F. Cultivar. based fruit size in olive depends on differebt tissue and cellular processes throughout growth[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(2): 455-451.
- [17] 宋梦圆, 宁国法, 田永强, 等. 不同成熟度番茄果实在贮藏期间的品质变化[J]. 中国蔬菜, 2023, 408(2): 45-50. [SONG M Y, NING G F, TIAN Y Q, et al. Quality changes of tomato fruits with different maturity during storage[J]. China Vegetables, 2023, 408(2): 45-50.]
- [18] 鄯炳森, 刘凌霄, 孙杰等. 不同采收成熟度黄金蜜桃果实的品质分析[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11. [2023-10-13]. doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.032975. [FENG B S, LIU L X, SUN J, et al. Quality analysis of golden peach fruits with different harvest maturity[J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1-11. [2023-10-13].

doi:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.032975.]

[19] 王宝刚, 李文生, 侯玉茹, 等. 甜樱桃果实成熟过程中糖累积与品质形成研究[J]. 果树学报, 2017, 34(5): 576–583. [WANG B G, LI W S, HOU Y R, et al. Sugars accumulation and quality in the fruits of sweet cherry during rip-ening[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(5): 576–583.]

[20] THAMMAWONG M, ARKAWA O. Starch to sugar conversion in "Tsugaru" apples under ethylene and 1-methylcyclopropene treatments[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010, 12(5): 617–626.

[21] 王志华, 王文辉, 姜云斌, 等. 不同采收期对苹果常温贮藏品质和衰老的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(7): 300–306. [WANG Z H, WANG W H, JIANG Y B, et al. Effects of different harvesting periods on the storage quality and senescence of apple at room temperature[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(7): 300–306.]

[22] 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 and Products, 2011, 33: 727–733.

[23] 程焕, 陈健乐, 周晓舟, 等. 水果香气物质分析及合成途径研究进展[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 211–218. [CHENG H, CHEN J L, ZHOU X Z, et al. Advances in analysis and synthesis pathways of fruit aroma substances[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(1): 211–218.]

[24] 李晓颖, 武军凯, 王海静, 等. 欧李果实发育期内挥发性成分变化特征[J]. 中国农业科学, 2021, 54(9): 1964–1980. [LI X Y, WU J K, WANG H J, et al. Characterization of volatiles changes in Chinese dwarf cherry fruit during its development[J]. Scientia Agri-

cultura Sinica, 2021, 54(9): 1964–1980.]

[25] 孙宝国, 陈海涛. 食用调香术[M]. 第 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2016. [SUN B G, CHEN H T. The technology of food flavor[M]. 3rd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.]

[26] HELMERT L V. Compilation of compound aroma thresholds The second edition of the original book[M]. Science Press, 2015.

[27] 赵娜, 郭小鸥, 王丽娟. 6 个草莓品种果实香气成分分析[J]. 河北农业大学学报, 2021, 44(1): 57–66. [ZHAO N, GUO X O, WANG L J. Analysis of fruit aroma components of 6 strawberry varieties[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2021, 44(1): 57–66.]

[28] 邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌. 5 个番石榴品种果实食用品质和香气特征分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(3): 408–416. [QIU S L, LIN B M, ZHENG K B. Analysis of edible quality and aroma characteristics of fruits in five cultivars of *Psidium guajava* [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2023, 31(3): 408–416.]

[29] 李宏祥, 马巧利, 林雄, 等. PCA 综合分析采收成熟度对金沙柚贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 255–262, 272. [LI H X, MA Q L, LIN X, et al. Comprehensively analyzing the effect of harvest maturity on storage quality of Jinsha pomelo based on PCA[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(18): 255–262, 272.]

[30] 刘婉君, 张莹, 张玉星, 等. 18 个品种授粉‘鸭梨’果实品质和香气成分分析与评价[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 294–302. [LIU W J, ZHANG Y, ZHANG Y X, et al. Analysis and evaluation of fruit quality and aroma components of ‘Yali’ pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) pollinated with eighteen pollinizers[J]. Food Science, 2022, 43(2): 294–302.]