

‘白玉’枇杷花不同花期挥发性物质分析

黄佳瑜, 薛岩伟, 王菲, 赵喆, 周春华*

(扬州大学园艺与植物保护学院, 扬州 225009)

摘要: **目的** 探究枇杷花发育过程中挥发性物质的组成及变化规律。**方法** 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法对幼蕾期、显露期、始展期、盛花期和谢花期枇杷花的挥发性成分进行定性定量分析, 并利用主成分分析法(principal component analysis, PCA)和香气活性值(odor activity value, OAV)分析枇杷花的主要香气成分。**结果** 5个时期共检测出96种挥发性物质, 分为醛类、烃类、酯类、醇类、酮类、酚类以及其他共7大类, 其中苯甲醛在各个时期含量均最高。对枇杷花发育过程中的16种主要挥发性物质进行主成分分析, 可简化成3个主成分, 累计贡献率达到95.400%。分析发现, 第1主成分与己醛、苯甲醛、二十一烷、二十四烷、苯甲醇成高度正相关, 与4-甲氧基苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯和苯乙醇成高度负相关。第2主成分贡献较大的组分是十五烷、二十六烷和十九烷, 属于烷烃类化合物。5个时期共检测出8种关键香气物质(OAV>1), 共有的香气是己醛, 具青草香, 其在花发育过程香气的调控中扮演着至关重要的作用, 对‘白玉’枇杷花香的形成有着极大的贡献。除了己醛以外, 还有癸醛、4-甲氧基苯甲醛对枇杷花香贡献较大, 也是枇杷花的关键香气成分。**结论** 枇杷花在发育过程中, 其挥发物质会有所变化, 但主要香气成分是以醛类物质为主。在对枇杷花香开发利用上, 可以选用幼蕾期和盛花期作为制作食品香料、香精等的原材料。

关键词: 枇杷花; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法; 挥发性物质; 主成分分析

Analysis of volatile components in different flowering stages of ‘Baiyu’ *Eriobotrya japonica* flowers

HUANG Jia-Yu, XUE Yan-Wei, WANG Fei, ZHAO Zhe, ZHOU Chun-Hua*

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the composition and change rules of volatile components during the development of *Eriobotrya japonica* flowers. **Methods** The qualitative and quantitative analysis of volatile components in *Eriobotrya japonica* flowers at the young bud, emergence, initiation, bloom and meiosis stages was carried out by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, and the main aroma components of *Eriobotrya japonica* flowers were identified using principal component analysis (PCA) and odor activity values (OAV). **Results** A total of 96 volatile components were detected in the 5 periods, which were classified into seven categories: Aldehydes, hydrocarbons, esters, alcohols, ketones, phenols and others, among which benzaldehyde had the highest content in all periods. Principal component analysis of the 16 kinds of main volatile components during the development of *Eriobotrya japonica* flowers could be simplified into 3 principal components

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171934)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31171934)

*通信作者: 周春华, 博士, 教授, 主要研究方向为园艺产品生物活性物质。E-mail: chzhou@yzu.edu.cn

*Corresponding author: ZHOU Chun-Hua, Ph.D, Professor, College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, No.88, South University Road, Hanjiang District, Yangzhou 225009, China. E-mail: chzhou@yzu.edu.cn

with a cumulative contribution of 95.400%. The analysis revealed that the first principal component was highly positively correlated with hexanal, benzaldehyde, heneicosane, tetracosane and benzyl alcohol, and highly negatively correlated with anisic aldehyde, 4-methoxybenzaldehyde, methyl 4-methoxy benzoate, ethyl 4-methoxybenzoate and phenethyl alcohol. The components with large contribution from the second principal component were pentadecane, hexacosane and nonadecane, which belong to alkanes. A total of 8 key aroma components (OAV>1) were detected in the 5 periods, and the common aroma was hexanal, with a grassy aroma, which played a crucial role in the regulation of aroma during flower development and contributed greatly to the formation of floral aroma in 'Baiyu' *Eriobotrya japonica*. In addition to hexanal, decanal and 4-methoxybenzaldehyde contributed to the aroma of *Eriobotrya japonica* flowers and were also the key aromas of *Eriobotrya japonica* flowers. **Conclusion** The volatile components of *Eriobotrya japonica* flowers may vary during the development of the flowers, but the main aroma components are dominated by aldehydes. In the development and utilization of the aroma of *Eriobotrya japonica* flowers, the flowers of the young bud stage and the full blooming stage will be used as raw materials for making food fragrances and flavors, etc..

KEY WORDS: *Eriobotrya japonica* flowers; headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; volatile components; principal component analysis

0 引言

枇杷(*Eriobotrya japonica*)是蔷薇科枇杷属的一种常绿果树,原产于中国^[1],目前国内外已明确枇杷属 26 种(或变种、变型)^[2]。我国有丰富的枇杷资源,原产记录有 21 种,主要分布在长江流域以南,如四川、福建、浙江、云南等^[3]。枇杷花花量大、花期长,在我国具有较长的药食两用历史^[4],在 2019 年,已被国家卫生健康委员会批准为新食品原料^[5]。但在实际生产过程中,果农们为调节花果比例,保证枇杷果实优质、高产,必须进行疏花,而疏花量占总花量的 90%~95%,目前市面上对枇杷花的利用最多就停留在自然晒干后进行销售,造成大量枇杷花资源的浪费^[6]。若能将多余的枇杷花开发利用,可最大限度地利用枇杷花资源,使其变废为宝,提高枇杷的附加价值。在以往研究中,发现枇杷花含有三萜类、黄酮类、酚类、挥发油、类胡萝卜素、蛋白质等化学成分,具有抗氧化、止咳、抗炎、抑菌、保肝护肝、抗肿瘤等作用^[7-11],现已开发出枇杷花茶^[12-13]、枇杷花精油^[14]、枇杷花凝胶软糖^[15]等产品,但这些产品只限于实验室研究,还未应用到实际生产中。

国内枇杷花挥发性物质的相关研究认为苯甲醛和 4-甲氧基苯甲醛或苯甲醛是主要香气成分^[16-17],如芦艳等^[18]研究枇杷花从露白到初放期有较丰富的香气组成,主要是 4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯、二-(2-苯乙基)-草酸酯、苯甲醛、甲氧基苯甲醛等。日本学者研究发现,枇杷花的主要挥发性物质是 B-硝基苯乙烷,同时还有 4-甲氧基苯甲醛和 4-甲氧基苯甲酸甲酯^[19]。现有研究集中于对枇杷花挥发性成分的种类和含量进行研究,了解到某一段时期下挥发性香气的种类和含量的差异,仅通过测定峰面积分析其含量,然而对于全部花期中不同时期香气组分的贡献大小以及关键香气成分尚不明确^[18]。不同作物品种所释

放的香气成分有所差异^[20-23],不同品种不同花期的挥发性物质也会有区别,如栀子花^[24]、茶树花^[25]等。在植物的发育过程中,物质代谢会发生变化,会导致同一品种在不同时期的香气成分发生变化^[26-27]。

本研究选用同一生长地、同一品种的全花期中不同时期的枇杷花,采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对其挥发性物质成分进行定性定量检测,并结合主成分分析(principal component analysis, PCA)和香气活性值(odor activity value, OAV),研究枇杷花不同时期香气组分及含量变化,进一步挖掘关键香气成分,为枇杷花进一步的开发利用提供科学依据,增加枇杷产业经济价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

'白玉'枇杷花于 2021 年 12 月采自江苏省镇江市世业洲金花农场枇杷园,根据不同发育时期,分为幼蕾期、显露期、始展期、盛花期以及谢花期,具体见图 1。材料采摘后用液氮速冻,置于-80℃保存备用。



图 1 不同时期的枇杷花

Fig.1 *Eriobotrya japonica* flowers at different stages

氯化钠、正己烷(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 3-壬酮(色谱纯, 美国默克公司)。

1.2 仪器与设备

Trace ISQ 气相色谱质谱联用仪(美国赛默飞世尔); PX223ZH 电子分析天平(精度 0.001 g, 常州奥豪斯仪器有限公司); BHS-2 电热恒温水浴锅(宁波群安实验仪器有限公司); 57330-U 固相微萃取手柄(美国 Supelco 公司); 57328-U 萃取纤维头 50/30 μm DVB/CAR/PDMS(美国 Supelco 公司); DB-WAX 极性色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm , 美国 Waters 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 顶空固相微萃取条件

称量经室温解冻后的被粗略剪碎的枇杷花样品 1 g(精确至 0.001 g)于 20 mL 样品瓶, 分别加入 1.08 g NaCl、5 μL 内标 3-壬酮(0.051 g/mL 正己烷稀释), 混匀密封后在 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴平衡 15 min, 用老化好的 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插在样品瓶上方, 顶空吸附 30 min, 插入气相色谱-质谱联用仪进样口解析 3 min。

1.3.2 GC-MS 条件

(1) GC 条件

色谱柱: DB-WAX 极性色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 载气为氦气(纯度为 99.9%), 流速为 1.0 mL/min; 手动进样; 进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$; 不分流进样。升温程序: 起始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min。

(2) MS 条件

电子轰击(electron ionization, EI)离子源; 电子能量 70 eV; 传输线 230 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 质量扫描范围为 35~400 m/z 。

1.4 数据统计与分析

1.4.1 定性定量分析

枇杷花总离子流色谱图用 TurboMass 软件处理导出原始数据, 对 GC-MS 分析得到的质谱数据基于 NIST 2017 数据库进行定性分析(要求正反匹配度均大于 800), 进行初步判定, 后结合人工谱图解析和相关文献中的数据进行最终定性。鉴定出的挥发性物质以 3-壬酮为内标物来计算绝对含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)及相对含量。挥发性组分的绝对含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)=内标质量 \times 样品各组分峰面积/内标峰面积/样品质量; 相对含量=样品中某组分的绝对含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)/样品中所有组分的绝对含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)。

1.4.2 香气活性值计算

通过化学香气阈值汇编检索香气成分的香气阈值^[28], 计算 OAV。OAV=各挥发性物质的含量与其香气阈值的比值。OAV>1, 即为对样品香气具有贡献的香气组分, 一般 OAV 越大, 对样品香气的贡献就越大^[29]。

1.4.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 分析挥发性物质的种类和含

量, IBM SPSS Statistics 25 分析数据, GraphPad Prism 8 作图, 每个样品重复 3 次, 结果用平均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 枇杷花不同花期挥发物质成分及含量

从表 1 可以看出, 枇杷花中共检测出 96 种挥发性物质, 其中包括醛类 16 种、烃类 33 种、酯类 17 种、醇类 22 种、酮类 2 种、酚类 2 种和其他化合物 4 种。从图 2、3 中可以看到, 始展期挥发性物质含量最高, 而谢花期最低; 不同发育阶段, 花的挥发性物质及含量有所不同。

枇杷花幼蕾期共检测出 35 种挥发性物质, 含量最高的是醛类化合物, 达 1024.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其中以苯甲醛的含量最高, 达到 882.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其次是(*E,E*)-2,4-己二烯醛(48.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$); 有烃类化合物 10 种, 含量 349.44 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 主要有二十一烷、二十四烷; 酯类化合物 6 种, 含量 117.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 主要是 4-甲氧基苯甲酸甲酯; 醇类化合物有 8 种, 含量 167.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 主要是苯甲醇, 其他化合物的含量较低, 在 2.10~46.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。

枇杷花显露期共检测出挥发性物质 51 种, 其中醛类、烃类和酯类是主要的香气化合物, 含量分别为 980.31、397.48 和 297.17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。含量较高的香气成分有苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲醛、二十一烷、苯甲醇; 其他化合物的含量较低, 在 0.78~54.84 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。

枇杷花始展期共检测出 47 种挥发性物质, 含量最高的是醛类化合物, 其中以苯甲醛的含量最高, 达到 672.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其次是 4-甲氧基苯甲醛; 酯类化合物 8 种, 主要是 4-甲氧基苯甲酸甲酯; 烃类化合物 20 种, 主要有二十一烷; 其他化合物的含量较低, 在 1.02~50.29 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。

枇杷花盛花期共检测出挥发性物质 47 种, 其中醛类和酯类是主要的香气化合物, 含量分别为 1023.35 和 511.67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。含量较高的香气成分有苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲醛和 4-甲氧基苯甲酸乙酯; 其他化合物的含量较低, 在 1.11~50.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。

谢花期共检测出挥发性物质 55 种, 其中醛类、烃类和酯类是主要的香气化合物, 含量分别为 932.62、315.23 和 296.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。含量较高的香气成分有苯甲醛、4-甲氧基苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯、十五烷和 2-己烯醛; 其他化合物的含量较低, 在 1.19~52.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。

2.2 枇杷花挥发性物质主成分分析

主成分分析亦称为主分量分析, 是一种多变量统计分析方法, 它使用多个变量进行线性转换, 以选择少数重要变量, 通过降低数据的维度, 提取主要成分进行线性分析, 主要信息被保留在几个不相关的主成分中^[30]。从表 1 中可以看出, 共检测出 96 种挥发性物质, 其中己醛、2-己烯醛、(*E,E*)-2,4-己二烯醛、苯甲醛、4-甲氧基苯甲醛、

表1 枇杷花不同时期挥发性物质及含量
Table 1 Content and volatile components of *Eriobotrya japonica* flowers at different stages

类别	编号	保留时间/min	化合物	CAS	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
					幼蕾期	显露期	始展期	盛花期	谢花期
醛类	1	6.87	己醛	66-25-1	19.34±4.64	16.14±2.31	14.70±0.72	10.80±0.50	14.61±3.01
	2	10.47	2-己烯醛	505-57-7	43.06±4.67	28.40±0.90	22.52±2.17	32.34±5.71	61.38±5.03
	3	12.44	正辛醛	124-13-0	-	-	-	3.22±0.10	3.62±0.02
	4	15.27	壬醛	124-19-6	-	-	-	32.40±3.87	46.21±1.70
	5	15.30	十一醛	112-44-7	-	-	18.64±0.03	-	-
	6	15.43	(E,E)-2,4-己二烯醛	142-83-6	48.00±5.82	30.95±3.29	25.56±3.68	37.06±4.90	29.63±6.14
	7	18.09	癸醛	112-31-2	-	8.20±0.02	8.14±0.89	7.97±0.90	8.60±0.06
	8	18.62	苯甲醛	100-52-7	882.38±44.41	720.08±36.46	672.00±40.85	568.11±32.11	534.41±36.47
	9	22.99	十八烷醛	638-66-4	-	-	1.44±0.03	1.19±0.01	1.45±0.09
	10	22.99	正十五碳醛	2765-11-9	-	1.26±0.07	-	-	-
	11	22.99	十三醛	10486-19-8	-	-	1.32±0.01	-	-
	12	22.73	(Z)-7-十六碳烯醛	56797-40-1	8.61±0.10	-	-	-	-
	13	29.49	4-甲氧基苯甲醛	123-11-5	23.53±7.13	175.28±17.12	401.90±21.94	328.07±16.96	229.23±19.93
	14	29.81	肉桂醛	104-55-2	-	-	-	2.19±0.02	2.07±0.44
	15	36.23	藜芦醛	120-14-9	-	-	1.56±0.01	-	1.41±0.58
	16	38.84	4-甲氧基肉桂醛	24680-50-0	-	-	3.01±0.16	-	-
合计					6种	7种	11种	10种	11种
烃类	17	8.30	十六烷	544-76-3	-	17.27±0.11	5.97±0.79	1.50±0.02	7.88±0.10
	18	8.55	2-甲基十一烷	7045-71-8	-	3.84±0.27	-	-	-
	19	8.91	2,6,10-三甲基十二烷	3891-98-3	-	3.96±0.01	-	-	2.88±0.40
	20	9.02	3-甲基二十烷	6418-46-8	-	4.51±0.21	-	-	2.20±0.03
	21	9.58	十二烷	112-40-3	-	9.98±0.10	5.59±0.05	9.37±0.65	-
	22	10.06	三十六烷	630-06-8	-	1.26±0.01	13.89±0.46	-	9.30±0.23
	23	10.37	4-甲基十二烷	6117-97-1	-	7.10±0.02	3.53±0.10	-	12.69±0.15
	24	10.93	二十烷	112-95-8	35.76±0.24	-	2.28±0.02	-	18.37±0.47
	25	10.97	2,6,11-三甲基十二烷	31295-56-4	-	9.19±0.43	4.97±0.36	3.61±0.02	6.14±0.51
	26	11.26	十五烷	629-62-9	16.80±1.48	54.84±5.44	26.82±2.82	14.20±1.45	65.71±6.38
	27	11.51	十四烷	629-59-4	-	9.84±1.12	-	-	13.23±0.79
	28	12.06	4-乙基-5-甲基壬烷	1632-71-9	-	-	2.03±0.18	-	-
	29	12.78	十三烷	629-50-5	11.01±3.04	5.44±1.89	8.27±0.10	5.92±0.06	-
	30	13.10	十七烷	6765-39-5	-	-	-	1.11±0.02	-
	31	14.99	十七烷	629-78-7	13.45±0.11	14.10±0.68	-	-	7.37±0.05
	32	16.16	二十六烷	630-01-3	24.53±2.81	29.04±3.82	23.10±3.29	7.20±1.85	34.56±2.91
	33	16.51	二十一烷	629-94-7	101.23±12.09	118.99±15.67	58.92±9.61	23.00±1.35	48.12±5.96
	34	16.57	十八烷	593-45-3	-	0.88±0.07	29.94±1.21	-	-
	35	16.86	二十八烷	630-02-4	23.65±2.73	20.50±2.39	1.51±0.34	-	7.76±0.97
	36	19.37	氯代十八烷	3386-33-2	-	2.46±0.03	1.02±0.07	-	3.15±1.02
	37	19.62	二十四烷	646-31-1	73.26±12.66	15.19±2.49	3.89±0.27	5.54±0.33	11.47±2.09
	38	20.42	十九烷	629-92-5	40.76±4.61	51.89±4.23	50.29±6.51	18.67±0.88	52.66±4.98
	39	20.42	四十四烷	7098-22-8	-	2.32±0.18	-	4.40±0.24	3.09±0.21
	40	20.53	十八烷基环己烷	4445-06-1	8.99±0.10	-	-	-	-
	41	21.47	氯代十六烷	4860-03-1	-	-	-	-	3.62±0.25
	42	21.72	二十七烷	593-49-7	-	3.25±0.14	3.27±0.21	-	-
	43	22.37	N-二十九烷	630-03-5	-	2.46±0.10	-	-	-
	44	22.45	十八烷	629-89-0	-	-	1.53±0.02	3.01±0.26	-
	45	22.45	1,2-环氧十六烷	7320-37-8	-	1.43±0.16	-	-	-
	46	23.57	1,4-二甲氧基苯	150-78-7	-	-	-	2.83±0.11	-
	47	31.29	B-硝基苯乙烷	6125-24-2	-	4.56±0.01	43.89±3.67	50.82±1.45	-
	48	34.64	二十五烷	629-99-2	-	-	3.83±0.12	-	2.18±0.09
	49	34.66	三十一烷	630-04-6	-	3.18±0.07	-	-	2.85±0.86
	合计					10种	25种	20种	14种

表 1(续)

类别	编号	保留时间 /min	化合物	CAS	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
					幼蕾期	显露期	始展期	盛花期	谢花期
酯类	50	12.06	乙酸己酯	142-92-7	2.91±0.07	-	-	2.44±0.10	5.96±1.02
	51	13.40	氰乙酸异辛酯	13361-34-7	-	-	-	2.29±0.04	-
	52	20.72	己酸己酯	6378-65-0	-	1.68±0.12	-	-	1.19±0.08
	53	20.88	苯甲酸甲酯	93-58-3	-	-	5.11±0.10	13.67±5.43	-
	54	21.95	苯甲酸乙酯	93-89-0	15.59±0.89	14.68±3.11	7.58±0.18	-	-
	55	23.37	乙酸苜酯	140-11-4	-	-	-	1.76±0.31	-
	56	24.46	烟酸甲酯	93-60-7	-	6.43±1.99	25.56±2.20	24.48±3.18	4.11±1.56
	57	25.32	烟酸乙酯	614-18-6	-	-	-	3.56±0.04	-
	58	26.77	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇 二异丁酸酯	6846-50-0	-	2.33±0.09	-	-	1.92±0.10
	59	30.53	苯甲酸己酯	6789-88-4	13.70±2.35	-	-	-	-
	60	30.54	肉桂酸甲酯	103-26-4	-	7.38±0.77	19.57±2.24	22.00±5.61	8.70±2.69
	61	30.89	4-甲氧基苯甲酸甲酯	121-98-2	76.11±23.44	247.78±40.49	441.30±27.39	336.98±33.35	205.17±18.51
	62	31.49	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	25152-85-6	2.86±0.37	-	-	-	-
	63	31.64	4-甲氧基苯甲酸乙酯	94-30-4	5.93±1.09	14.13±2.20	49.06±9.31	104.49±10.08	67.25±15.77
	64	33.20	棕榈酸甲酯	112-39-0	-	0.78±0.08	-	-	-
	65	37.13	3,4-二甲氧基苯甲酸甲酯	2150-38-1	-	-	1.83±0.06	-	-
66	38.72	邻苯二甲酸二异丁酯	84-69-5	-	1.98±0.12	3.34±1.31	-	1.80±0.92	
合计					6 种	9 种	8 种	9 种	8 种
醇类	67	10.03	2-丁基-1-辛醇	3913-02-8	7.76±0.59	5.42±0.73	-	6.14±0.10	9.73±0.94
	68	12.15	四氢薰衣草醇	2051-33-4	2.10±0.19	-	-	-	-
	69	12.96	己基癸醇	2425-77-6	8.29±0.52	-	-	1.35±0.08	-
	70	13.43	1-二十醇	629-96-9	-	-	-	-	2.57±0.57
	71	15.11	叶醇	928-96-1	-	-	-	31.07±2.02	-
	72	15.12	3-己烯-1-醇	544-12-7	19.21±3.07	18.94±2.01	39.92±3.13	22.77±2.03	33.54±7.17
	73	15.70	顺式-2-甲基环戊醇	25144-05-2	46.01±1.14	-	-	-	-
	74	16.06	2-辛基-1-十二烷醇	5333-42-6	13.13±1.05	-	-	-	-
	75	17.97	山嵛醇	661-19-8	-	-	-	5.13±1.04	-
	76	17.97	3-十四醇	1653-32-3	-	-	-	3.73±0.97	-
	77	19.23	芳樟醇	78-70-6	-	-	-	3.94±0.79	4.48±1.02
	78	19.50	1-辛醇	111-87-5	-	-	-	7.97±0.51	6.48±0.84
	79	20.56	十九醇	1454-84-8	-	-	-	-	2.90±0.34
	80	21.53	烯丙基正戊基甲醇	35192-73-5	-	-	4.33±0.32	-	-
	81	21.95	1-壬醇	143-08-8	-	-	-	-	8.47±1.56
	82	22.49	1,10-癸二醇	112-47-0	-	-	-	-	3.01±0.32
	83	22.49	顺-3-壬烯-1-醇	10340-23-5	-	-	-	-	3.63±0.83
	84	22.87	(-)-反式-1-松香芹醇	547-61-5	-	-	-	1.39±0.23	-
	85	22.98	1-二十六烷醇	506-52-5	-	1.80±0.34	-	-	-
	86	26.60	苯甲醇	100-51-6	65.20±2.92	54.89±2.20	19.46±6.15	18.53±0.69	18.13±3.95
87	27.31	苯乙醇	60-12-8	6.14±0.28	10.15±1.21	19.65±1.68	22.67±0.40	17.59±3.91	
88	34.31	4-甲氧基苯甲醇	105-13-5	-	6.91±3.69	23.69±4.18	25.17±3.60	8.73±2.46	
合计					8 种	6 种	5 种	12 种	12 种
酮类	89	26.14	香叶基丙酮	689-67-8	2.70±0.07	2.64±0.05	2.46±0.04	2.41±0.26	1.73±0.47
	90	27.87	β -紫罗兰酮	79-77-6	2.31±0.10	1.66±0.02	-	-	-
合计					2 种	2 种	1 种	1 种	1 种
酚类	91	27.30	2,6-二叔丁基对甲酚	128-37-0	17.76±0.59	-	-	-	-
	92	34.91	2,4-二叔丁基苯酚	96-76-4	2.48±0.21	1.98±0.15	-	-	1.57±0.22
合计					2 种	1 种	0 种	0 种	1 种
其他	93	8.07	正己基正辛醚	17071-54-4	-	-	-	-	1.31±0.06
	94	20.57	十八烷基乙烯基醚	930-02-9	-	-	2.24±0.10	-	-
	95	20.68	二叔十二烷基二硫化物	27458-90-	3.88±0.16	-	-	-	-
	96	27.53	苯乙腈	140-29-4	-	4.25±1.18	16.62±0.86	19.35±0.41	5.76±0.94
合计					1 种	1 种	2 种	1 种	2 种

注: -表示该成分香气未检测到。

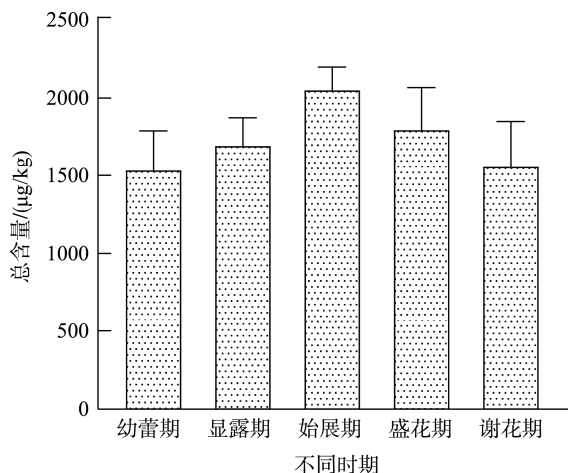


图2 枇杷花不同时期挥发性物质总含量

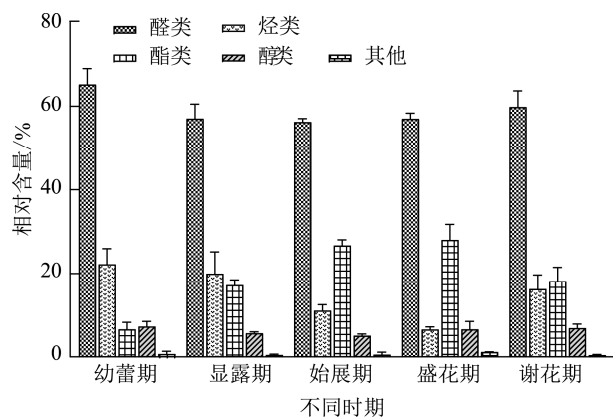
Fig.2 Total content of volatile components of *Eriobotrya japonica* flowers at different stages

图3 枇杷花不同时期主要挥发性物质相对含量

Fig.3 Relative content of main volatile components of *Eriobotrya japonica* flowers at different stages

十五烷、二十六烷、二十一烷、二十四烷、十九烷、4-甲氧基苯甲酸甲酯、苯甲醇、4-甲氧基苯甲酸乙酯、苯乙醇、3-己烯-1-醇、香叶基丙酮这16种物质在枇杷花开花过程的各个时期均出现,其他物质变异大,故不进行主成分分析。因此,将5个时期枇杷花样品中均检测到的16种挥发性物质组建成 5×16 的矩阵,利用IBM SPSS Statistics 25软件进行分析,得到主成分的特征值和贡献率见表2。

从表2中可以看出,特征值大于1的主成分有3个,PC1贡献率为57.250%,PC2贡献率为25.673%,PC3贡献率为12.477%,前3个主成分的累计贡献率已经达到95.400%。主成分个数提取原则主要包括两个标准,第1个是主成分对应的特征值大于1,第2个是主成分累计贡献率大于85%。可见前3个主成分基本代表了样品主要挥发性物质的组成,基本反应了原始数据的总体情况。因此,用前3个主成分进行枇杷花香气质量评价是可行的。

表2 枇杷花主成分的特征值及方差贡献率

Table 2 Eigenvalues and variance contribution of principal components of *Eriobotrya japonica* flowers

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	9.160	57.250	57.250
2	4.108	25.673	82.923
3	1.996	12.477	95.400

各变量与主成分之间的相关系数在载荷值上得以体现,数值前的+/-表示其与主成分的正/负相关性,数值的绝对值越大,表明该指标与某一主成分的联系紧密程度越大,反映了该指标在该主成分上的载荷程度^[29]。

从表3可以看出,第1主成分贡献较大的组分是己醛、苯甲醛、4-甲氧基苯甲醛、二十一烷、二十四烷、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯、苯甲醇和苯乙醇,其载荷值分别为0.924、0.945、-0.931、0.982、0.895、-0.816、-0.888、0.964和-0.989,第1主成分与己醛、苯甲醛、二十一烷、二十四烷、苯甲醇成高度正相关,与4-甲氧基苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯和苯乙醇成高度负相关。第2主成分贡献较大的组分是十五烷、二十六烷和十九烷,载荷值分别为0.899、0.917和0.846,都属于烷烃类化合物。

表3 主成分载荷矩阵

Table 3 Principal component loading matrix

化合物	主成分		
	1	2	3
己醛	0.924	0.246	0.183
2-己烯醛	-0.127	0.765	-0.621
(E,E)-2,4-己二烯醛	0.676	-0.513	-0.494
苯甲醛	0.945	-0.099	0.192
4-甲氧基苯甲醛	-0.931	-0.055	0.354
十五烷	0.266	0.899	-0.131
二十六烷	0.382	0.917	0.113
二十一烷	0.982	-0.009	0.187
二十四烷	0.895	-0.176	-0.230
十九烷	0.274	0.846	0.457
4-甲氧基苯甲酸甲酯	-0.816	-0.153	0.557
4-甲氧基苯甲酸乙酯	-0.888	-0.200	-0.413
3-己烯-1-醇	-0.618	0.468	0.328
苯甲醇	0.964	-0.153	0.098
苯乙醇	-0.989	-0.098	-0.063
香叶基丙酮	0.520	-0.689	0.492

2.3 枇杷花关键香气成分分析

香气成分的贡献取决于该物质的浓度与香气阈值之间的比率^[31]。挥发性物质含量的高低并不能说明其对香气品质的贡献程度,只有含量超过其香气阈值的少数物质才对枇杷花的香气起关键作用。以5个时期枇杷花的主要香气物质含量为基础,通过查阅香气物质的香气阈值,计算

了主要香气成分的 OAV, 将 OAV 大于 1 的物质确定为关键香气成分。

从表 4 可以看出, 共鉴定出 8 种 OAV>1 的关键香气成分, 包括醛类、酯类、醇类。幼蕾期 OAV>1 的物质有 2 种, 为己醛、苯甲醛, OAV 值分别是 2.58 和 1.18。这两种香气物质共同成为枇杷花幼蕾期的关键香气成分; 显露期 OAV>1 的物质有 3 种, 分别是己醛(2.15)、癸醛(2.73)和 4-甲氧基苯甲醛(1.15); 始展期 OAV>1 的物质有 4 种, 分别是己醛(1.96)、十一醛(1.49)、癸醛(2.71)和 4-甲氧基苯甲醛(2.64); 盛花期有 5 种关键香气成分, 按 OAV 大小排列: 壬醛(29.45)>叶醇(7.97)>癸醛(2.66)>4-甲氧基苯甲醛(2.15)>己醛(1.44); 谢花期共有 5 种关键香气成分, 按 OAV 大小排列: 壬醛(42.01)>癸醛(2.87)>己醛(1.95)>4-甲氧基苯甲醛(1.50)>正辛醛(1.07)。

5 个时期共有的关键香气成分是己醛, 具青草香, 其在花发育过程香气的调控中扮演着至关重要的作用, 对

‘白玉’枇杷花香的形成有着极大的贡献。除了己醛以外, 还有癸醛、4-甲氧基苯甲醛对枇杷花香贡献较大, 也是枇杷花的关键香气成分。

3 讨论

3.1 醛类物质

结合表 1 和图 3 发现醛类物质在幼蕾期含量最多, 随着枇杷花发育, 含量不断减少, 但醛类物质始终是挥发性物质中占比最多的一类。从表 3 可以看出, 己醛、苯甲醛、4-甲氧基苯甲醛是枇杷花的第 1 主成分, 苯甲醛和 4-甲氧基苯甲醛含量较高, 这与吴彩霞等^[6]的研究一致。本研究发现己醛是枇杷花的关键香气成分。醛类物质香气阈值一般较低, 但也有例外, 苯甲醛作为枇杷花发育阶段含量最高的物质, 但其香气阈值过高, 导致其 OAV 只有在幼蕾期大于 1, 其余 4 个时期均小于 1, 所以苯甲醛只能算是枇杷

表 4 ‘白玉’枇杷花不同时期香气成分的气味描述、香气阈值及 OAV

Table 4 Odor description, aroma threshold and aroma value of aroma components of ‘Baiyu’ *Eriobotrya japonica* flowers at different periods

化合物	香气阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	香气特征	香气值				
			幼蕾期	显露期	始展期	盛花期	谢花期
己醛	7.50	青草香	2.58	2.15	1.96	1.44	1.95
2-己烯醛	88.70	蔬菜味	0.49	0.32	0.25	0.36	0.69
正辛醛	3.40	脂香、柑橘香、蜂蜜	-	-	-	0.95	1.07
壬醛	1.10	脂香、柑橘香	-	-	-	29.45	42.01
十一醛	12.50	脂香	-	-	1.49	-	-
癸醛	3.00	脂香、柑橘香	-	2.73	2.71	2.66	2.87
苯甲醛	750.89	樱桃、苦杏仁味	1.18	0.96	0.89	0.76	0.71
十三醛	10.00	柚皮香	-	-	0.13	-	-
4-甲氧基苯甲醛	152.50	花香、茴香	0.15	1.15	2.64	2.15	1.50
肉桂醛	750.00	肉桂味	-	-	-	0.00	0.00
乙酸己酯	115.00	花香、果香	0.03	-	-	0.02	0.05
己酸己酯	6400.00	草本味	-	0.00	-	-	0.00
苯甲酸甲酯	73.00	果香	-	-	0.07	0.19	-
苯甲酸乙酯	55.56	果香	0.28	0.26	0.14	-	-
乙酸苜酯	364.00	茉莉花香	-	-	-	0.00	-
叶醇	3.90	青草香	-	-	-	7.97	-
3-己烯-1-醇	1630.00	绿叶香	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
芳樟醇	0.22	花香	-	-	-	0.66	0.75
1-辛醇	125.80	橙子-玫瑰香	-	-	-	0.06	0.05
1-壬醇	45.50	玫瑰-橙香、脂香	-	-	-	-	0.19
苯甲醇	2546.21	水果味	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
苯乙醇	564.23	玫瑰香	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03
β -紫罗兰酮	70.00	果香、木香、浆果香、花香、种子香	0.03	0.02	-	-	-
2,6-二叔丁基对甲酚	1000.00	-	0.02	-	-	-	-
2,4-二叔丁基苯酚	500.00	轻度酚类樟脑味	0.00	0.00	-	-	0.00
苯乙腈	1200.00	-	-	0.00	0.01	0.02	0.00

注: -表示该成分香气特征未被查询到或该物质香气阈值。香气特征通过风味信息系统以及《Fenaroli 的风味成分手册》^[32]查询。

花发育过程的主要香气物质,而不是关键香气成分。苯甲醛常以苷的形式广泛存在于植物中,是重要的化工原料,因其有樱桃、苦杏仁味,亦可作为芳香醛类食用香料^[33]。

3.2 酯类物质

从图 3 中可以看出,脂类物质在枇杷花发育过程中呈现出先上升后下降的趋势,在盛花期含量最高。结合表 1 和表 3,发现 4-甲氧基苯甲酸甲酯和 4-甲氧基苯甲酸乙酯是枇杷花发育过程中的主要香气成分。酯类物质具有浓郁的芳香气味^[34],可以用于香料、香精等产品生产。

3.3 醇类物质

在枇杷花发育过程中,发现醇类物质含量变化不是很大。从表 1 可以看出,醇类物质各组分大都出现在始展期之后,而苯甲醇、苯乙醇、3-己烯-1-醇这 3 个物质存在于各个时期,从表 3 中可以看到,苯甲醇、苯乙醇是枇杷花香的主要香气成分。苯甲醇有水果味,可做食用香料,亦为定香剂、油脂溶剂;苯乙醇具玫瑰香,可作为食品香料生产,主要用以配制蜂蜜、面包、桃子和浆果类等香精,亦可以调配各种食用香精,如草莓、桃、李、甜瓜、焦糖、蜜香、奶油等型食用香精^[35-36]。从表 4 可以看到,只有叶醇的 OAV 大于 1,其具有青草香,但是只存在于盛花期。

3.4 酮类和其他物质

烷烃类物质含量和种类在整个花期有升有降,其中十五烷、二十六烷和十九烷这 3 种物质是第 2 主成分中贡献较大的组分;酮类物质占比较少,不是主要成分。酮类物质阈值较高,一般呈现水果香、花香等特殊香气^[37]。虽然 β -紫罗兰酮只存在于幼蕾期和显露期且含量相较于其他成分少,但由于 β -紫罗兰酮具有较强的生物活性,有抑癌、抗致畸毒性及胚胎毒性、抗微生物作用以及降血脂作用,因此可以多加利用,可用于保健食品的开发^[38]。李绍佳^[39]研究发现:不同品种枇杷花主要组分是以脂类和烷烃类为主,但各种具体组分差异很大。这可能是由于品种以及产地的原因导致的。

4 结 论

本研究采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法对‘白玉’枇杷花发育的 5 个时期进行检测,发现随着枇杷花的发育,挥发性物质的种类和含量都有一个变化的过程,其在幼蕾期最少,在始展期和盛花期较为接近,这符合鲜花盛开过程中香味变得浓郁这一现象。通过分析可知,5 个时期的枇杷花的香气成分存在一定差异,包括其香气特征和关键香气成分。其中,醛类物质在各个时期含量均为最高,酯类物质在盛花期含量最高。通过主成分分析发现主要香气物质是以芳香族化合物为主,包括苯甲醛、4-甲氧基苯甲醛、4-甲氧基苯甲酸甲酯、4-甲氧基苯甲酸乙酯、苯甲

醇和苯乙醇。经 OAV 计算,发现关键香气物质是以醛类为主,主要是己醛、癸醛和 4-甲氧基苯甲醛,具有樱桃、苦杏仁味的苯甲醛是唯一含量很高但其气味活度值只在幼蕾期超过 1 的物质。将不同时期的枇杷花运用于食品生产过程中,根据不同时期的香气或营养功能满足不同人群需要,为枇杷花的再利用提供科学依据。

参考文献

- [1] 章恢志,彭抒昂,蔡礼鸿. 中国枇杷属种质资源及普通枇杷起源研究[J]. 园艺学报, 1990, (1): 5-12.
ZHANG HZ, PENG SANG, CAI LH. The germplasm resources of the genus *Eriobotrya* with special reference on the origin of *E. Japonica* lindl [J]. Acta Hort Sin, 1990, (1): 5-12.
- [2] 林顺权,刘月学. 枇杷属植物图谱[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
LIN SQ, LIU YX. Collection of illustration for *Eriobotrya* plants [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [3] 郭文场,刘佳贺,李悦. 中国枇杷属种质资源、品种和栽培管理(1)[J]. 特种经济动植物, 2017, 20(9): 49-52.
GUO WC, LIU JH, LI Y. Germplasm resources, varieties and cultivation management of the genus loquat in China (1) [J]. Spec Econ Anim Plant, 2017, 20(9): 49-52.
- [4] 许佳玉,黄佳瑜,薛岩伟,等. 枇杷核抗性淀粉制备工艺优化及其性质测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 4043-4050.
XU JY, HUANG JY, XUE YW, et al. Optimization of preparation technology and determination of properties of loquat kernel resistant starch [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(12): 4043-4050.
- [5] 解读《关于弯曲杆菌等 24 种“三新食品”的公告》[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(4): 312, 319, 344, 384.
Interpret the announcement on 24 “three new foods” such as *Lactobacillus curvatus* [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 31(4): 312, 319, 344, 384.
- [6] 姜帆,高慧颖,陈秀萍. 基于 Citespace 分析枇杷花功能研究热点与趋势[J]. 东南园艺, 2022, 10(2): 91-98.
JIANG F, GAO HY, CHEN XP. Research hotspots and trends on loquat flower functions based on Citespace [J]. Southeast Hort, 2022, 10(2): 91-98.
- [7] 李臣,周超. 枇杷花的生物活性及食品开发利用研究进展[J]. 现代食品, 2021, (24): 45-48.
LI C, ZHOU C. Research progress on the biological activity and food development and utilization of loquat flower [J]. Mod Food, 2021, (24): 45-48.
- [8] 黄桂丽,王毓宁,马佳佳,等. 枇杷花多酚对脂肪酶的抑制作用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(1): 192-196.
HUANG GL, WANG YN, MA JJ, et al. Inhibitory effect of loquat flowers polyphenolics on lipase activity [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2021, 37(1): 192-196.
- [9] 王翰华,阮洪生,陈云. 枇杷花化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中成药, 2019, 41(12): 2977-2981.
WANG HH, RUAN HS, CHEN Y. Research progress on chemical composition and pharmacological effects of loquat flower [J]. Chin Tradit

- Pat Med, 2019, 41(12): 2977–2981.
- [10] 徐伟, 马智宇, 李佳美, 等. 响应面法优化微波提取枇杷花鞣皮素工艺及其对酒精分解关键酶活性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 127–132.
- XU W, MA ZY, LI JM, *et al.* Optimization of microwave-assisted extraction of quercetin from loquat flowers by response surface methodology and the effects on activity of alcoholic intoxication enzyme [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(3): 127–132.
- [11] 王翰华, 杨晓春, 崔明超, 等. 浙贝母花与宁海白枇杷花配伍的抗炎及抗菌作用[J]. 中成药, 2018, 40(1): 46–50.
- WANG HH, YANG XC, CUI MC, *et al.* Anti-inflammatory and antibacterial effects of combination of *Fritillaria thunbergii* flowers and Ninghai white *Eriobotrya japonica* flowers [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2018, 40(1): 46–50.
- [12] 杨小芳, 王文建, 刘建福, 等. 枇杷花茶氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(2): 225–228.
- YANG XF, WANG WJ, LIU JF, *et al.* Analysis of amino acid composition and evaluation of the nutritional value in *Loquat* flower tea [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2018, 45(2): 225–228.
- [13] 林雨馨, 宋建颖, 李杭飞, 等. 不同杀青工艺对枇杷花茶主要成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 79–85.
- LIN YX, SONG JY, LI HF, *et al.* Effects of different de-enzyme techniques on main functional components and antioxidant properties of loquat flower tea [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(10): 79–85.
- [14] 李文英, 孙晓明, 汪志平, 等. 响应面法优化超声辅助提取枇杷花精油的工艺研究[J]. 农产品加工, 2022, (6): 30–32.
- LI WY, LI XM, WANG ZP, *et al.* Optimization of technology for ultrasonic extraction of loquat flower essential oil using response surface methodology [J]. *Farm Prod Process*, 2022, (6): 30–32.
- [15] 高慧颖, 王琦, 赖呈纯, 等. 基于响应面法优化探讨枇杷花凝胶软糖的制作工艺[J]. 福建农业学报, 2021, 36(8): 964–971.
- GAO HY, WANG Q, LAI CC, *et al.* Optimized formulation of a chewable candy containing loquat flower tea [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2021, 36(8): 964–971.
- [16] 吴彩霞, 王金梅, 康文艺. 枇杷花挥发性成分顶空固相微萃取-GC-MS 联用法分析[J]. 中国药房, 2009, 20(21): 1638–1640.
- WU CX, WANG JM, KANG WY. Analysis of volatile components of *Eriobotrya japonica* by headspace SPME-GC-MS [J]. *China Pharm*, 2009, 20(21): 1638–1640.
- [17] 宋艳丽, 于慧斌, 姬志强, 等. 枇杷花挥发性成分分析[J]. 河南大学学报(医学版), 2009, 28(2): 104–106.
- SONG YL, YU HB, JI ZQ, *et al.* Analysis of volatile components from *Eriobotrya japonica* [J]. *J Henan Univ (Med Sci Ed)*, 2009, 28(2): 104–106.
- [18] 芦艳, 鲁周民, 樊美丽, 等. 枇杷花开放过程挥发性物质变化研究[J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2245–2254.
- LU Y, LU ZM, FAN ML, *et al.* Changes of volatile components during different stages of loquat flowers [J]. *Acta Horti Sin*, 2013, 40(11): 2245–2254.
- [19] KUWAHARA Y, ICHIKI Y, MORITA M, *et al.* (2-Nitroethyl) benzene: A major flower scent from the Japanese loquat *Eriobotrya japonica* [Rosales: Rosaceae] [J]. *Biosci Biotechnol Bioch*, 2014, 78(8): 1320–1323.
- [20] 任凯丽, 苏永全, 张化生, 等. 甘肃靖远旱砂西瓜挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2022. <https://kns.cnki.net/kcms/det>
- REN KL, SU YQ, ZHANG HS, *et al.* Analysis of volatile aroma components of dry sandy watermelon from Jingyuan, Gansu Province [J]. *Food Sci*, 2022. <https://kns.cnki.net/kcms/det>
- [21] 杜文文, 段青, 贾文杰, 等. 4 种秋海棠花香挥发性物质测定与特征香气成分分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode>
- DU WW, DUAN Q, JIA WJ, *et al.* Determination of volatile compounds and analysis of characteristic aroma components of 4 *Begonia* species flowers [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci Ed)*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode>
- [22] PLANETA D, FARINA V, BAMBINA P, *et al.* Analysis of aroma compounds of nine autochthonous and non-autochthonous loquat cultivars grown in Sicily [J]. *Ital J Food Sci*, 2021, 33(4): 33–42.
- [23] MAVI K, HACBEKIR H, UZUNOGLU F, *et al.* The use of volatile compounds as an alternative method in pepper breeding (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) [Z]. 2021.
- [24] 卢路路, 樊怡灵, 邓珂, 等. 不同品种和花期栀子花挥发性物质的主成分和聚类分析[J]. 核农学报, 2021, 35(7): 1601–1608.
- LU LL, FAN YL, DENG K, *et al.* Principal component and cluster analysis of volatile components in cape jasmine flower from different cultivars at different stages of bloom [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2021, 35(7): 1601–1608.
- [25] 曾亮, 傅丽亚, 罗理勇, 等. 不同品种和花期茶树花挥发性物质的主成分和聚类分析[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 88–93.
- ZENG L, FU LY, LUO LY, *et al.* Principal component and cluster analyses of volatile components in tea flowers from different cultivars at different stages of bloom [J]. *Food Sci*, 2015, 36(16): 88–93.
- [26] 秦军, 张蒙, 潘腾飞, 等. 欧洲水仙 4 个花期香气成分的 GC-MS 分析[J]. 亚热带农业研究, 2017, 13(1): 41–45.
- QIN J, ZHANG M, PAN TF, *et al.* Analysis of aromatic compounds during four flowering stages in *Narcissus* spp. by GC-MS [J]. *Subtrop Agric Res*, 2017, 13(1): 41–45.
- [27] 蒲俊杰, 刘谦, 李佳, 等. 金银花不同发育时期挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 中草药, 2022, 53(9): 2818–2824.
- PU JJ, LIU Q, LI J, *et al.* Analyses of volatile components in *Lonicerae japonicae* flos at different growth stages by HS-SPME-GC-MS [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2022, 53(9): 2818–2824.
- [28] GEMERT LJ. Odour thresholds-Compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. The Netherlands: Oliemans Punter & Partner BV, 2011.
- [29] 章辰飞, 谢晓鸿, 汪庆昊, 等. 云锦杜鹃不同花期挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 检测与主成分分析[J]. 广西植物, 2020, 40(7): 1033–1045.
- ZHANG CF, XIE XH, WANG QH, *et al.* Analysis of volatile components

- of *Rhododendron fortunei* at different flowering stages by HS-SPME-GC-MS and PCA [J]. *Guihaia*, 2020, 40(7): 1033–1045.
- [30] YANG L, LIU J, WANG X, *et al.* Characterization of volatile component changes in jujube fruits during cold storage by using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *Molecules*, 2019. DOI: 10.3390/molecules24213904
- [31] GUTH H. Identification of character impact odorants of different white wine varieties [J]. *J Agric Food Chem*, 1997, 45(8): 3022–3026.
- [32] BURDOCK GA. *Fenaroli's handbook of flavor ingredients* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [33] 孙洁雯, 高婷婷, 李燕敏, 等. 食用芳香醛类香料的防腐抑菌性能[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(9): 57–62.
SUN JW, GAO TT, LI YM, *et al.* Research on the antibacterial activity of aromatic aldehyde flavor compounds against four kinds of bacteria [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, 41(9): 57–62.
- [34] 汤晶晶, 缪婧, 崔月花. 不同培养模式下桑黄挥发性风味物质的检测和分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(14): 221–228.
TANG JJ, MIAO J, CUI YH. Analysis of volatile flavor compounds in *Phellinus linteus* at various cultivation modes [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(14): 221–228.
- [35] 张翼鹏, 张伟, 吴家灿, 等. 基于人工感官、电子舌和 σ - τ 法研究食品甜香成分对甜味的相互作用规律[J]. *中国调味品*, 2021, 46(10): 152–159.
ZHANG YP, ZHANG W, WU JC, *et al.* Study on the synergistic effect of sweet and aroma components in food on sweetness based on sensory analysis, electronic tongue and σ - τ method [J]. *China Cond*, 2021, 46(10): 152–159.
- [36] 王莹, 张静茹, 韦智江, 等. 金银花与 4 个来源山银花挥发性成分差异比较研究[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2020, 22(11): 33–37.
WANG Y, ZHANG JR, WEI ZJ, *et al.* Comparison of volatile constituents between *Lonicerae japonicae flos* and *Lonicerae flos* from four different sources [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2020, 22(11): 33–37.
- [37] 张文婷, 孙健, 朱红, 等. 基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定 7 种不同品种甘薯全粉挥发性风味物质[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(1): 10–18.
ZHANG WT, SUN J, ZHU H, *et al.* Determination of volatile flavor compounds in 7 different varieties of sweet potato powder by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(1): 10–18.
- [38] 孙向荣, 刘家仁, 陈炳卿. β -紫罗兰酮的生物活性研究进展[J]. *毒理学杂志*, 2008, 22(6): 477–480.
SUN XR, LIU JR, CHEN BQ. Advances in the biological activity of β -violoneone [J]. *J Toxicol*, 2008, 22(6): 477–480.
- [39] 李绍佳. 枇杷花香气成分及精油研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
LI SJ. Research on aromatic components and essential oil from flowers of *Eriobotrya japonica* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.

(责任编辑: 韩晓红 黄周梅)

作者简介



黄佳瑜, 硕士研究生, 主要研究方向为园艺产品生物活性物质。
E-mail: 977519349@qq.com

周春华, 博士, 教授, 主要研究方向为园艺产品生物活性物质。
E-mail: chzhou@yzu.edu.cn