

基于 HS-SPME-GC-MS 分析墨兰不同花器官香气成分

丁丽琼, 罗清*, 覃茜, 唐毓玮, 吕丽兰, 池昭锦**

广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001

摘要: 墨兰 (*Cymbidium sinense*) 为典型的香花国兰, 具有很高的经济价值和观赏价值。采用 HS-SPME-GC-MS 技术对墨兰不同花器官的挥发性成分进行分析, 共检测出 7 类、54 种挥发性成分, 主要由 21 种醛类、12 种醇类、10 种酮类、5 种苯类、2 种呋喃类、2 种酸类及 2 种萜类化合物组成。花瓣、萼片、唇瓣、蕊柱等 4 种不同花器官均含有的化合物共 48 种, 包括 19 种醛类、10 种醇类、9 种酮类、5 种苯类、2 种萜类、2 种呋喃类和 1 种酸类。花瓣、萼片及蕊柱共有成分有 3 种, 只在萼片中检测到的成分仅有 2 种, 丙烯醛只在蕊柱中检测出。结果表明: 花朵不同花器官所含的挥发物种类及含量差异明显, 萼片共检测出 49 种挥发物, 物质含量最高达 99 106.15 $\mu\text{g/L}$, 占总挥发性有机成分的 35.88%, 其中含量最高的挥发物为环戊基甲醛, 具有薄荷的樟脑味。花瓣共检测出 51 种挥发物, 物质含量为 56 571.48 $\mu\text{g/L}$, 占总挥发性有机成分的 20.48%, 含量最高的挥发物为 1-戊烯-3-醇, 具有水果香味。唇瓣共检测出 48 种挥发物, 物质含量最低的为 41 645.32 $\mu\text{g/L}$, 占总挥发性有机成分的 15.08%, 其中含量最高的挥发物为环戊基甲醛。蕊柱共检测出具有香气成分的挥发物 51 种, 物质含量为 78 868.68 $\mu\text{g/L}$, 占总挥发性有机成分的 28.56%, 其中含量最高的挥发物为己醛, 具有生的油脂、青草气及苹果香味。通过主成分分析发现 4 种花器官中唇瓣和花瓣差异性小, 蕊柱和萼片与其他器官差异性大。戊醛、己醛、E-2-戊烯醛、E-2-己烯醛、环戊基甲醛、E-2-庚烯醛、1-戊烯-3-醇、E-2-戊烯-1-醇是 4 个花器官香气释放的主要挥发性成分。盛花期墨兰花朵的萼片是挥发性成分释放的主要花器官, 不同花器官花香成分的物质含量存在明显差异。

关键词: 墨兰; 花器官; 香气; HS-SPME-GC-MS

中图分类号: S682.31 文献标识码: A

Analysis on the Aroma Components of Different Floral Organs of *Cymbidium sinense* Based on HS-SPME-GC-MS

DING Liqiong, LUO Qing*, QIN Qian, TANG Yuwei, LYU Lilan, CHI Zhaojin**

Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning, Guangxi 530001, China

Abstract: *Cymbidium sinensis* is a typical fragrant orchid variety with high economic and ornamental value. HS-SPME/GC-MS was used to analyze the volatile components of different flower organs in *C. sinensis*. Seven categories and 54 volatile components were detected, mainly composed of 21 aldehydes, 12 alcohols, 10 ketones, 5 benzenes, 2 furans, 2 acids and 2 terpenoids. There were 48 compounds presented in four different flower organs, including petals, sepals, labellums, and pistil columns, including 19 aldehydes, 10 alcohols, 9 ketones, 5 benzenes, 2 terpenoids, 2 furans and caproic acid. There were three components in petals, sepals and pistil columns, only two components were detected in sepals, and Acrolein was only detected in pistil columns. The results showed that there were significant differences in the volatile matter and content in different floral organs of flowers. A total of 49 volatile substances were detected in sepals, with the highest content reaching 99 106.15 $\mu\text{g/L}$, accounting for 35.88% of the total volatile organic compounds. Among which the highest content was cyclopentyl formaldehyde, which had the camphor flavor of mint. 51 volatile compounds were de-

收稿日期 2023-06-13; 修回日期 2023-07-22

基金项目 广西科技计划重点研发项目 (桂科 AB16380060); 广西农业科学院基本科研业务费专项 (桂农科 2021YT152)。

作者简介 丁丽琼 (1973—), 女, 学士, 高级农艺师, 研究方向: 花卉栽培育种; *同等贡献作者: 罗清 (1986—), 女, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 园林花卉栽培育种。**通信作者 (Corresponding author): 池昭锦 (CHI Zhaojin), E-mail: 973919489@qq.com。

tected in the petals, with a substance content of 56 571.48 $\mu\text{g/L}$, accounting for 20.48% of the total volatile organic compounds, with the highest content being 1-penten-3-ol, which had a fruity aroma. A total of 48 volatile substances were detected in the labellum flap, with the lowest substance content of 41 645.32 $\mu\text{g/L}$, the proportion of total volatile organic compounds was 15.08%, among which the highest content of volatile substance was cyclopentyl formaldehyde. A total of 51 volatile compounds were detected in the pistil column, with a content of 78 868.68 $\mu\text{g/L}$, accounting for 28.56% of the total volatile organic compounds, with the highest content being hexanal, which presented a fresh oil, green grass, and apple aroma. Through principal component analysis, it was found that among the four flower organs, there was little difference between the lip and petal, while the pistil column had a greater difference from other organs, and the sepals also had a greater difference from other organs. Glutaraldehyde, hexanal, E-2-pentenal, E-2-hexenal, cyclopentyl formaldehyde, E-2-heptanal, 1-penten-3-ol, E-2-penten-1-ol were the main volatile components released by floral organs. During the peak flowering period, the sepals of the flowers were the main floral organs that released volatile components, and there were significant differences in the content of floral aroma components among different floral organs.

Keywords: *Cymbidium sinense*; floral organ; fragrance; HS-SPME-GC-MS

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.09.016

墨兰 (*Cymbidium sinense*) 为兰科 (Orchidaceae) 兰属 (*Cymbidium* Sw.) 的地生植物, 因其叶形优美、品种丰富、花期恰逢春节而深受消费者欢迎^[1]。墨兰为国兰代表性种类之一, 其花香馥郁、沁人心脾^[2], 为优质香料物质, 具有很高的经济价值和观赏价值^[3]。香气是构成和影响花卉观赏价值的重要因素, 但由于花香的成分、结构及其生物合成过程比较复杂, 研究水平滞后于花形、花色等其他观赏性状的研究^[4]。近年来由于分析技术的进步, 对兰科植物香气研究逐渐增多。BAEK 等^[5]采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术 (HS-SPME-GC-MS) 对大花蕙兰新杂交种阳光之钟盛花期花器官挥发物进行了测定, 鉴定出 23 种成分, 其中柱中鉴定出 12 种化合物, 唇瓣中鉴定出 16 种化合物, 萼片中鉴定出 11 种化合物, 花瓣中鉴定出 9 种化合物。王元成等^[6]采用 HS-SPME 结合 GC-MS 技术, 对 5 种石斛花朵的挥发性成分进行分析, 共鉴定出 110 个挥发性成分, 主要成分为烷类、烯类、醇类、酮类等, 且不同石斛花朵的芳香成分不尽相同。晋宇轩等^[7]采用 SPMG 结合 GC-MS 技术对贵州春兰的花苞和花朵进行检测, 结果检测出挥发性成分分别为 43 种和 47 种, 花苞中烃类含量最高, 花朵中萜烯类的含量最高, 橙花叔醇为主要花香成分。杨慧君等^[8]采用 SPME-GC-MS 联用技术分析小桃红花香成分, 共鉴定出挥发性成分 35 种, 酯类物质含量最多, 主要花香成分为茉莉酸甲酯、茉莉酮酸甲酯和金合欢醇。许红娟等^[9]采用顶空固相萃取法结合气相色谱和质谱对蕙兰守良梅花朵各部位 (蕊柱、唇瓣、棒瓣、主瓣和副瓣) 进

行香气成分检测, 结果发现蕙兰守良梅花朵蕊柱的主要香气成分有 7 类 23 种, 花朵 5 个部位的醇类芳香物质相对含量较高。魏丹等^[10]采用 HS-SPME-GC-MS 联用分析 3 种兰花鲜花的香气成分, 结果发现蕙兰鲜花的主要花香成分为桉油精、(E)-4-己基葵烯-6-炔等, 墨兰鲜花的主要花香成分为甲基-异丁子香酚、6-氧代庚酸甲酯等, 春兰鲜花的主要花香成分为 α -芹子烯、十二烷等。目前未见墨兰不同花器官的挥发性物质成分的相关研究报道。鉴于此, 本研究以墨兰为材料, 基于 HS-SPME-GC-MS 技术探索墨兰不同花器官的花香成分的差异, 以期为培育香型兰花新品种奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用的材料为广西亚热带作物研究所兰花种质资源圃培育多年生的墨兰植株。在 1 月份晴天 10:00—11:00 选取开放第 4 天盛花期的墨兰花朵 (图 1), 取萼片、花瓣、唇瓣、蕊柱 4 个部分各 1 g (重复 3 次), 用于香气成分测定, 使用顶空固相微萃取方法萃取样品中的香气成分。

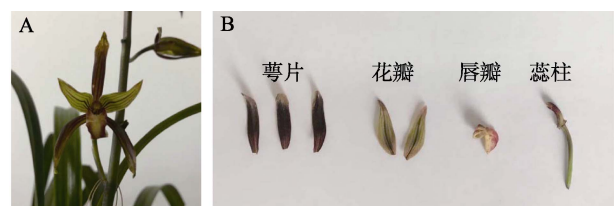


图 1 盛花期的墨兰 (A) 和盛花期花朵分解图 (B)
Fig. 1 *Cymbidium sinense* during blooming period (A) and flower breakdown during blooming period (B)

1.2 方法

1.2.1 样品前处理 将新鲜花朵的不同器官样品加一级水混匀至 50 mL 离心管中, 分别取 5 mL 待测样品、1.00 g 氯化钠和 10 μ L 内标(4-甲基-2-戊醇, 1.0018 g/L)置于 20 mL 样品瓶中, 迅速用带有聚四氟乙烯隔垫的盖子拧紧, 移至加热和搅拌装置中, 在 40 $^{\circ}$ C 下加热搅拌 30 min, 搅拌速度为 500 r/min。

1.2.2 顶空固相微萃取(HS-SPME) 使用 SPME 萃取头(50/30 μ m DVB/Carboxen/PDMS, Supelco, Bellefonte, PA., USA)与 CTC CombiPAL 自动进样器(CTC Analytics, Zwingen, Switzerland)相连进行自动化的顶空固相微萃取。经过前处理的萼片、花瓣、唇瓣、蕊柱分别取 1 g 放入萃取瓶中, 萼片、花瓣及唇瓣分别置于 1 L 的萃取瓶中, 蕊柱分别置于 60 mL 萃取瓶中, 50 $^{\circ}$ C 平衡 10 min 后, 将已活化 SPME 萃取头插入萃取瓶的顶空部分, 萃取 30 min。之后取出 SPME 萃取头, 立即插入 GC 进样口在 250 $^{\circ}$ C 条件下解析 8 min。

1.2.3 气相色谱质谱联用仪(GC-MS)条件 采用 Agilent 6890 气相色谱仪与 Agilent 5975 质谱仪相连, 色谱柱采用 HP-Innowax 毛细管柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m, J&W Scientific, Folsom, CA)分离鉴定芳香挥发物。

气相色谱条件: 载气(He)流速为 1 mL/min; 采用不分流模式自动进样, 升温程序为 50 $^{\circ}$ C 保持 1 min, 然后以 3 $^{\circ}$ C/min 升温至 220 $^{\circ}$ C, 保持 5 min。

质谱条件: 质谱接口温度为 280 $^{\circ}$ C, 离子源温度为 230 $^{\circ}$ C, 电离方式为 EI, 电离能为 70 eV, 质谱扫描范围为 m/z 29-350。

1.2.4 香气物质定性定量分析方法 (1)定性分析。利用自动化质谱图卷积和鉴定软件(AMDIS)计算保留指数(retention index, RI)和质谱图信息。其中, 有标准品的目标组分, 与标准品的出峰时间和质谱谱图比较定性; 没有标准品的目标组分, 通过保留指数与 NIST11 标准谱库的 RI 和质谱谱图比对进行定性分析。化合物的保留指数是通过分析相同色谱条件下 C6-C24 正烷烃保留指数计算得到。具体公式如下:

$$I = 100n + 100 \frac{t_{R(X)} - t_{R(n)}}{t_{R(n+1)} - t_{R(n)}}$$

式中, I 为保留指数, $t_{R(X)}$, $t_{R(n)}$, $t_{R(n+1)}$ 分别代表组分及碳数为 n , $n+1$ 正构烷烃的保留时间。

(2)定量分析。配置 1 L 含 7 g/L 酒石酸和

200 g/L 模拟水溶液, 并用 NaOH 调 pH 至 3.4。将溶解在乙醇(色谱级)的所有标准品溶液混合, 并将混合液用模拟水溶液稀释成连续的 15 个浓度水平。在与样品相同的条件下, 提取并分析每个浓度水平的香气标准曲线。通过建立香气物质标准曲线(横坐标: 香气化合物标准品与内标 4-甲基-2-戊醇的峰面积比, 纵坐标: 该香气化合物标样的浓度), 对相关香气化合物进行定量分析。除此之外, 其他没有标准曲线的化合物通过相似结构的化合物或者碳原子数相似的化合物的标准曲线进行定量分析^[11]。相对含量为组分峰面积占总峰面积的百分比^[12]。

1.3 数据处理

各组分质谱经计算机谱库检索及资料分析并结合人工谱图解析, 确认各个化学成分。使用 Origin 8.0 软件对数据进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 墨兰不同花器官挥发化合物组成

经过 GC-MS 分析, 从墨兰盛花期的花朵中检测出 7 类共 54 种挥发性成分, 主要由 21 种醛类、12 种醇类、10 种酮类、5 种苯类、2 种呋喃类、2 种酸类和 2 种萜类化合物组成, 其中醛类含量最高(图 2)。在不同器官中各种主要成分的含量不同, 在萼片中醇类较其他 3 个器官少, 而酸类则较其他器官多 1 种, 花瓣及唇瓣中醛类较其他器官少 1 种, 萼片及唇瓣中酮类较其他器官少。

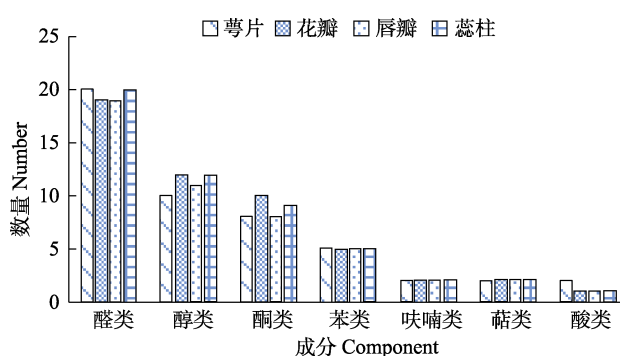


图 2 墨兰不同花器官香气主要组成成分的类型
Fig. 2 Main component types from different floral organs of *C. sinense*

在不同花器官中, 墨兰花的萼片、花瓣、唇瓣、蕊柱检测出的香气成分分别有 49、51、48 和 51 种。蕊柱及花瓣香气的组成成分最多, 其次是萼片, 唇瓣较少。不同花器官挥发成分见表 1。

表 1 墨兰不同花器官花香化合物含量
Tab. 1 Content of aroma compounds from different flower organs of *C. sinense*

类型 Type	编号 No.	化合物 Compound	CAS	保留时间 Retention time/min	含量 Content/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			
					萼片 Sepal	花瓣 Petal	唇瓣 Labellum	蕊柱 Gynostemium
醛类 Alde- hydes	1	丙醛 Propanal	123386	5.23	127.10	142.60	146.48	81.72
	2	丙烯醛 2-propenal	107028	5.79	nd	nd	nd	tr
	3	异戊醛 3-methyl-butanal	590863	6.69	127.67	49.68	37.49	216.19
	4	戊醛 Pentanal	110623	7.97	86.84	66.87	192.62	465.92
	5	巴豆醛(E)-2-butenal	123739	9.64	75.28	109.58	91.01	48.45
	6	己醛 Hexanal	66251	10.79	10941.28	8959.53	18226.57	53506.64
	7	E-2-戊烯醛(E)-2-pentenal	1576870	12.45	368.64	559.00	1082.56	745.24
	8	2-甲基-4-戊醛 2-methyl-4-pentenal	5187713	12.61	tr	nd	nd	nd
	9	庚醛 Heptanal	111717	14.37	102.50	78.06	170.36	244.24
	10	E-2-己烯醛(E)-2-hexenal	6728263	15.87	36873.00	17624.72	5487.47	7240.36
	11	环戊基甲醛 Cyclopentanecarboxaldehyde	872537	15.87	41248.26	17659.45	6194.97	7306.46
	12	(Z)-4-庚烯醛(Z)-4-heptenal	6728310	16.68	196.15	51.12	193.05	26.12
	13	E-2-庚烯醛(Z)-2-heptenal	57266861	20.19	191.59	160.43	552.74	1174.91
	14	壬醛 Nonanal	124196	23.00	tr	tr	tr	tr
	15	(E,E)-2,4-己二烯醛(E,E)-2,4-hexadienal	142836	23.64	23.65	10.56	3.01	3.35
	16	E-2-辛烯醛(E)-2-octenal	2548870	24.63	11.42	12.68	85.01	223.45
	17	(E,E)-2,4-庚二烯醛(E,E)-2,4-heptadienal	4313035	26.16	15.52	12.58	13.66	5.95
	18	(2E,4E)-2,4-辛二烯醛(E,E)-2,4-octadienal	30361285	30.08	tr	tr	tr	6.30
	19	苯甲醛 Benzaldehyde	100527	28.73	2.53	1.57	1.58	3.60
	20	2,4-二甲基苯甲醛 2,4-dimethyl-benzaldehyde	15764166	39.88	60.92	166.05	152.30	260.41
	21	2-壬烯醛(鸢尾醛) 2-nonenal	2463538	29.00	9.97	7.22	12.67	79.11
醇类 Alco- hol	22	甲醇 Methyl alcohol	67561	6.31	14.39	9.51	10.91	29.03
	23	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	616251	13.27	4092.84	4170.67	3962.91	2472.79
	24	桉叶油醇 Eucalyptol	470826	15.24	nd	0.42	0.35	0.59
	25	E-2-戊烯-1-醇(E)-2-penten-1-ol	1576961	19.70	3600.35	3763.65	4061.43	2610.75
	26	丙炔醇 Propargyl alcohol	107197	20.64	nd	2594.12	756.81	1666.22
	27	1-己醇 1-hexanol	111273	21.04	1.55	1.11	1.22	11.56
	28	Z-3-己烯醇(Z)-3-hexen-1-ol	928961	22.44	617.82	148.28	58.24	200.59
	29	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	3391864	25.14	tr	tr	1.76	4.18
	30	2-丙基-1-戊醇 2-Propyl-1-pentanol	58175578	26.78	tr	tr	tr	tr
	31	2-乙基己醇 2-ethyl-1-hexanol	104767	26.79	tr	tr	tr	tr
	32	苯甲醇 Benzyl alcohol	100516	41.82	157.21	77.87	0	2.85
	33	E-2-辛烯醇(E)-2-octen-1-ol	18409171	31.90	tr	tr	tr	tr
酮类 Ketone	34	甲基异丁酮 Methyl Isobutyl ketone	3208160	7.39	0.01	0.01	0.01	0.01
	35	1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	1629589	8.99	5.65	6.95	11.84	6.60
	36	2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	600146	9.95	nd	tr	tr	tr
	37	2-庚酮 2-heptanone	110430	14.29	tr	tr	tr	4.83
	38	环己酮 Cyclohexanone	3208160	7.39	0	0.01	0	0.01
	39	2,2,6-三甲环己酮 2,2,6-trimethyl-cyclohexanone	2408379	19.90	1.49	1.37	1.34	1.28
	40	甲基庚烯酮(6-甲基-5-庚烯-2-酮) 6-methyl-5-hepten-2-one	110930	20.66	37.72	18.47	0	0
	41	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	38284274	28.36	tr	tr	tr	tr
	42	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮(E,E)-3,5-octadien-2-one	30086023	28.36	tr	tr	0.85	tr
	43	异佛尔酮 Isophorone	78591	31.48	2.49	5.70	3.59	6.38

续表 1 墨兰不同花器官花香化合物含量
Tab. 1 Content of aroma compounds from different flower organs of *C. sinense* (continued)

类型 Type	编号 No.	化合物 Compound	CAS	保留时间 Retention time/min	含量 Content/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			
					萼片 Sepal	花瓣 Petal	唇瓣 Labellum	蕊柱 Gynostemium
苯类 Benzene	44	甲苯 Toluene	108883	9.55	12.91	12.87	12.87	13.01
	45	对乙基甲苯 1-ethyl-4-methyl-benzene	622968	18.41	tr	tr	tr	tr
	46	1-乙基-2,4-二乙基苯 1-ethyl-2,4-dimethyl-benzene	3208160	7.39	0.01	0.02	0.02	0.02
	47	M-异丙基甲苯 1-methyl-3-(1-methylethyl)-benzene	535773	21.70	tr	tr	tr	tr
	48	1-溴萘 Naphthalene	91203	37.26	0.43	0.46	0.48	0.52
酸类 Acid	49	戊酸 Pentanoic acid	109524	40.46	tr	nd	nd	nd
	5	己酸 Hexanoic acid	142621	40.46	85.18	80.65	99.86	190.85
萜类 Terpene	51	茶螺烷 2,6,10,10-tetramethyl-1-oxaspiro[4.5]dec- 6-ene	36431728	29.20	1.11	1.07	0.61	1.28
	52	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-Phenol	96764	55.49	12.69	6.61	16.70	6.95
呋喃类 Furan	53	2-乙基呋喃 2-ethyl-Furan	3208160	7.39	0.02	0.01	0.01	0.01
	54	2-戊基呋喃 2-pentyl-Furan	3208160	7.39	0.01	0.01	0.01	0.07

注：nd 表示未检出，tr 表示痕量。
Note: nd represents undetected, tr represents trace.

由图 3 可知，4 种组织均含有的化合物有 48 种，包括 19 种醛类（苯甲醛、2,4-二甲基苯甲醛、丙醛、异戊醛、戊醛、巴豆醛、己醛、E-2-戊烯醛、庚醛、青叶醛、环戊基甲醛、(Z)-4-庚烯醛、E-2-庚烯醛、壬醛、(E,E)-2,4-己二烯醛、E-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、鸢尾醛、2,4-辛二烯醛）；10 种醇类（甲醇、1-戊烯-3-醇、E-2-戊烯-1-醇、1-己醇、Z-3-己烯醇、蘑菇醇、2-丙基-1-戊醇、2-乙基己醇、E-2-辛烯醇、苯甲醇）；9 种酮类（甲基异丁酮、1-戊烯-3-酮、2-庚酮、环己酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮、2,2,6-三甲基环己酮、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮、异佛尔酮）；5 种苯类（甲苯、对乙基甲苯、1-乙基-2,4-二乙基苯、M-异丙基甲苯、1-溴萘）；2 种萜类（茶螺烷、2,4-二叔丁基苯酚）；2 种呋喃类（2-乙基呋喃、2-戊基呋喃）；1 种酸类为己酸。花瓣、萼片及蕊柱共有成分 3 种（2,3-戊二酮、桉叶油醇、丙炔醇）。只在萼片中检测到有 2 种（2-甲基-4-戊醛和戊酸），丙烯醛只在蕊柱检测出。

萼片中检测出的香气成分数量中等但物质含量最高，达 99 106.15 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，占总挥发性有机成分的 35.88%。花瓣及蕊柱检测出的香气成分数量比萼片多 2 种，物质含量分别为 56 571.48、78 868.68 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，分别占总挥发性有机成分的 20.48%和 28.56%。唇瓣中检测出的香气成分数量最少，物质含量也最少，为 41 645.32 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，占总挥发性有机成分的 15.08%。因此，墨兰不同花器官香气成

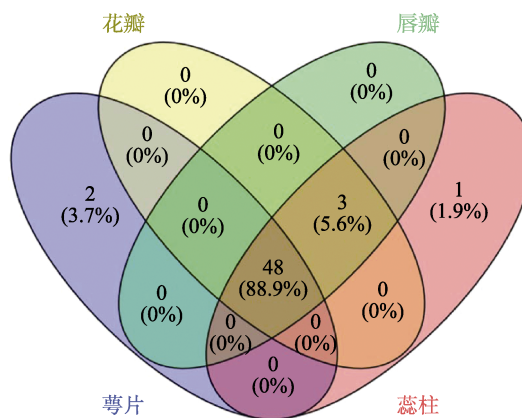


图 3 墨兰 4 个不同花器官挥发性成分韦恩图
Fig. 3 Venn plot of volatile components in four different floral organs of *C. sinense*

分及其含量存在差异，萼片挥发性物质含量最高与感官上的初步判断一致。

在准确定量的化合物中，醛类化合物含量最高，为 239 760.71 $\mu\text{g}/\text{L}$ ；其次是醇类化合物为 34 864.05 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，苯类化合物为 940.50 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，酸类化合物为 456.53 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，酮类化合物为 122.91 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，萜类化合物为 47.01 $\mu\text{g}/\text{L}$ ，最少的呋喃类为 0.15 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。检测到醛类化合物中含量最高的是环戊基甲醛；醇类化合物中含量最高的是 1-戊烯-3-醇；苯类化合物中含量最高的是 2,4-二甲基苯甲醛；酸类化合物中含量最高的是己酸；酮类化合物中含量较高的是甲基庚烯酮；萜类化合物中含量最高的是 2,4-二叔丁基苯酚；呋喃类化合物中含量较高的是 2-戊基呋喃。

2.2 墨兰不同花器间香气成分挥发量的差异

各化合物挥发量在不同器官中存在着明显差异,且每个器官化合物含量不同(表2)。萼片中有11种化合物含量均较其他3个器官含量高,其中环戊基甲醛在萼片中含量最高,为41 248.26 $\mu\text{g/L}$,其次是花瓣为17 659.45 $\mu\text{g/L}$,唇瓣及蕊柱含量远低于萼片,分别比萼片少35 053.29、33 941.80 $\mu\text{g/L}$,

表 2 不同器官中含量最高的化合物种类

Tab. 2 Types of compounds with the highest content in different organs

花器官 Floral organ	化合物 Compound	气味特征 Odor characteristics	
萼片	2-乙基呋喃	焦香、甜香 ^[13]	
	甲基异丁酮	芳香酮气 ^[14]	
	E-2-己烯醛	新鲜的绿叶香味 ^[15]	
	环戊基甲醛	薄荷的樟脑味	
	(Z)-4-庚烯醛	青草和油脂香气 ^[16]	
	2,2,6-三甲基环己酮	蜂蜜香、柠檬香 ^[17]	
	甲基庚烯酮	水果香气及柠檬草香气 ^[18]	
	Z-3-己烯醇	强烈新鲜的青叶香气 ^[19]	
	(E,E)-2,4-己二烯醛	脂肪香气 ^[20]	
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	脂肪香、青叶香 ^[17]	
	苯甲醇	玫瑰香气 ^[17]	
花瓣	1-戊烯-3-醇	水果香味 ^[13]	
	唇瓣	丙醛	咖啡香、可可香 ^[21]
		1-戊烯-3-酮	柑橘香气 ^[22]
		E-2-戊烯醛	鱼腥味、青叶香 ^[16]
		E-2-戊烯-1-醇	鱼腥味 ^[23]
(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	草药味 ^[24]		
蕊柱	异戊醛	苹果香气 ^[25]	
	戊醛	杏仁香气 ^[26]	
	甲苯	轻薄花香、甜香 ^[27]	
	己醛	新鲜青草味 ^[28]	
	2-庚酮	黄油香、奶香 ^[26]	
	庚醛	水果香、油脂香 ^[22]	
	桉叶油醇	桉树气 ^[29]	
	2-戊基呋喃	果香、泥土香 ^[25]	
	E-2-庚烯醛	青草香、油脂香 ^[28]	
	1-己醇	果香、鲜草汁香 ^[22]	
	E-2-辛烯醛	甜青柠檬香、脂肪香 ^[17]	
	1-辛烯-3-醇	蘑菇、玫瑰和干草香气 ^[28]	
	苯甲醛	苦杏仁、樱桃及坚果香 ^[30]	
	2-壬烯醛	脂肪气息、青香、果香 ^[31]	
	茶螺烷	茶香、药草香、木香 ^[32]	
	异佛尔酮	薄荷香、樟脑香气 ^[33]	
	2,4-二甲苯基甲醛	苦杏仁香气 ^[34]	
	己酸	奶酪味、乳酸味 ^[35]	

具有薄荷的樟脑味。1-戊烯-3-醇在花瓣中含量最高(4170.67 $\mu\text{g/L}$),具有水果香味。唇瓣中丙醛、1-戊烯-3-酮、E-2-戊烯醛、E-2-戊烯-1-醇、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮等5种化合物含量均较其他3个器官含量高,具有水果清香味。蕊柱中有18种化合物含量均较其他3个器官含量高,其中E-2-庚烯醛在蕊柱中含量高达1 174.91 $\mu\text{g/L}$,其次是唇瓣552.74 $\mu\text{g/L}$,在萼片及花瓣中的含量为191.59、160.43 $\mu\text{g/L}$,具有青草香和油脂香。

2.3 不同花器官挥发物主成分分析

为了进一步反应墨兰不同花器官香气物质构成的差异,对4个不同花器官的54个挥发性物质进行主成分分析。对于不同花器官与挥发性成分之间(图4),第一主成分(PC1)的贡献率为61.8%,第二主成分(PC2)的贡献率为25.8%,前2个主成分占总方差的87.6%,能够很好的保留样本原来的信息。4种花器官中唇瓣和花瓣位于同一象限,表明差异性小。蕊柱单独在PC1、PC2负方向上,说明与其他器官差异性大。萼片单独在PC1正方向、PC2负方向上,也与其他器官差异性大。戊醛(4)、己醛(6)、E-2-戊烯醛(7)、E-2-己烯醛(10)、环戊基甲醛(11)、E-2-庚烯醛(13)、1-戊烯-3-醇(23)、E-2-戊烯-1-醇(25)在PC1和PC2上的贡献较高,说明这些成分是花器官香气释放的主要挥发性成分。1-戊烯-3-醇(23)在PC1的正方向上贡献最大,与花瓣呈正相关关系,且在花瓣中含量最高。己醛(6)在PC2的负方向上贡献最大,与蕊柱呈正相关关系,且在蕊柱中含量最高。

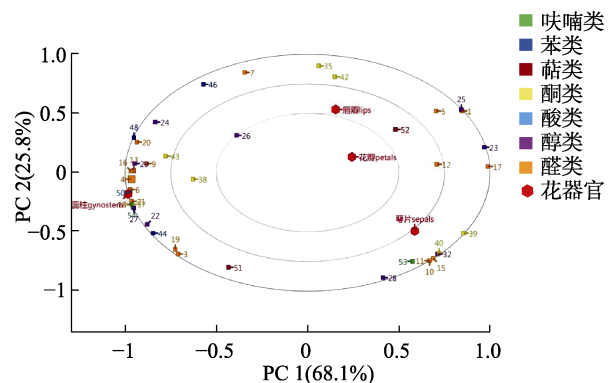


图 4 墨兰不同花器官挥发性成分 PCA 分析

Fig. 4 PCA Analysis of volatile components in different flower organs of *C. sinense*

3 讨论

花香是植物的重要特征^[36],挥发性化合物的

数量和类型是影响花香品质的重要指标,也决定了兰花的商业价值。我国传统的观赏兰花包括春兰、蕙兰、建兰、墨兰、寒兰和莲瓣兰等系列,不同系列不同品种的兰花香气成分种类存在差异。不同品种蕙兰^[37]香气成分主要为萜烯类、醇类、醛类、酯类、酮类、烷烃类和芳香烃,另有少量的酚类、酸类和醚类物质,建兰品种小桃红主要香气成分为酯类^[8],贵州春兰挥发性成分和花香成分的主要物质是萜烯类^[7],不同花色寒兰香气成分主要有醇类、醛类、酸类、萜烯类、酮类、烷类和酯类^[38]。本研究中墨兰盛花期的花朵中检测出7类共54种挥发性成分,主要由醛类、苯类、醇类、呋喃类、酸类、萜类和酮类等化合物组成,其中醛类含量最高。

花朵不同花器官所含的挥发物及含量差异明显,不同品种花朵挥发性成分释放的主要花器官也不同。徐慧等^[39]研究表明牡丹不同部位之间的挥发性化合物种类和相对含量存在较大差异,周晨晨等^[40]研究表明白兰地海棠不同花器官的花香成分存在明显差异,挥发性成分释放的主要花器官是雌蕊。宋朝伟等^[41]研究表明2个芍药品种花香成分在不同花器官之间香气物质的释放量均呈现出明显差异,释放量最高的为瓣化雄蕊,与感官上香气的初步判断相吻合。本研究中,墨兰萼片共检测出49种挥发物,物质含量最高,其中含量最高的挥发物为环戊基甲醛,具有薄荷的樟脑味;蕊柱检测出的挥发物物质含量次之,其含量最高的挥发物为己醛,呈青草香气;花瓣检测出挥发物的物质含量第三,其含量最高的挥发物为1-戊烯-3-醇,具有水果香味;唇瓣检测出挥发物的物质含量最低,其含量最高的挥发物为环戊基甲醛;萼片挥发性物质含量最高与感官上的初步判断一致,萼片是挥发性成分释放的主要花器官。通过主成分分析发现,4种花器官中唇瓣和花瓣差异性小,蕊柱与其他器官差异性大,萼片也与其他器官差异性大。戊醛、己醛、E-2-戊烯醛、E-2-己烯醛、环戊基甲醛、E-2-庚烯醛、1-戊烯-3-醇、E-2-戊烯-1-醇是4个花器官香气释放的主要挥发性成分,主要呈青草、水果香味。

本研究表明,不同花器官中挥发性香气成分种类组成相似,由醛类、苯类、醇类、呋喃类、酸类、萜类和酮类等化合物组成。但不同花器官挥发物物质含量不同,48种共有物质在不同花器官中物质含量存在显著差异。萼片物质含量最高,

因此盛花期墨兰花朵萼片是挥发性成分释放的主要花器官。不同花器官的花香成分物质含量存在明显差异,这为研究香型兰花新品种选育及香气形成机制提供参考依据。

参考文献

- [1] 黄洁街,李腾基,黄紫钦,逯有法,张建霞. 墨兰花芽形态分化及生理特性研究[J]. 北方园艺, 2023, 522(3): 56-63. HUANG J X, LI T J, HUANG Z Q, LU Y F, ZHANG J X. Morphology and physiological characteristics during flower bud differentiation in *Cymbidium sinense*[J]. Northern Horticulture, 2023, 522(3): 56-63. (in Chinese)
- [2] FENG X Y, JIE G, YONG L W, RUI R, GUO Q Z, CHU Q L, JIAN P J, YE A, YA Q W, LI J C, SAGHEER A, DI Y Z, WEI H S, WEN C T, ZHONG J L, GEN F Z. The genome of *Cymbidium sinense* revealed the evolution of orchid traits[J]. Plant Biotechnology Journal, 2021, 19: 2501-2516.
- [3] ZENG D Q, QUE C X, TEIXEIRA DA SILVA J A, XU S T, LI D M. Comparative transcriptomic and metabolic analyses reveal the molecular mechanism of ovule development in the Orchid, *Cymbidium sinense*[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 12: 814275.
- [4] 张辉秀,胡增辉,冷平生,王文和,徐芳,赵静. 不同品种百合花挥发性成分定性定量分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 790-799. ZHANG H X, HU Z H, LENG P S, WANG W H, XU F, ZHAO J. Qualitative and quantitative analysis of floral volatile components from different varieties of *Lilium* spp.[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(4): 790-799. (in Chinese)
- [5] BAEK Y S, RAMYA M, AN H R, PARK P M, LEE S Y, BAEK N I, PARK P H. Volatile profile of the floral organs of a new hybrid *Cymbidium*, 'Sunny Bell' using headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry analysis[J]. Plants, 2019, 8(8): 251.
- [6] 王元成,张萌,周晓星,单玉莹,孙振元,李振坚. 基于GC-MS的五种石斛花朵挥发性成分鉴定与差异性分析[J]. 林业科学研究, 2022, 35(1): 132-140. WANG Y C, ZHANG M, ZHOU X X, SHAN Y Y, SUN Z Y, LI Z J. Floral volatile components from five dendrobium species based on SPME-GC-MS[J]. Forest Research, 2022, 35(1): 132-140. (in Chinese)
- [7] 晋宇轩,杜致辉,杨澜,许红娟,陈之林. 贵州春兰花朵与花苞的挥发性成分及含量[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(11): 84-90. JIN Y X, DU Z H, YANG L, XU H J, CHEN Z L. Components and content of volatile in flowers and buds of

- Cymbidium goeringii* in Guizhou[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2021, 49(11): 84-90. (in Chinese)
- [8] 杨慧君, 姚娜, 李璐滨, 杨柳, 闫伟. 建兰花香成分的 GC-MS 分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(16): 104-109.
YANG H J, YAO N, LI L B, YANG L, YAN W. GC-MS analysis of *Cymbidium ensifolium* volatile components[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(16): 104-109. (in Chinese)
- [9] 许红娟, 陈之林, 杜致辉, 杨澜, 吴青青, 石乐娟. 蕙兰守良梅花朵不同部位的花香成分[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(10): 87-91.
XU H J, CHEN Z L, DU Z H, YANG L, WU Q Q, SHI L J. Aromatic constituents of different parts of flowers of *Cymbidium Hybrid* 'Shouliangmei'[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(10): 87-91. (in Chinese)
- [10] 魏丹, 李祖光, 徐心怡, 聂晶, 邓丰涛, 向林, 孙崇波. HS-SPME-GC-MS 联用分析 3 种兰花鲜花的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 234-237.
WEI D, LI Z G, XU X Y, NIE J, DENG F T, XIANG L, SUN C B. HS-SPME-GC-MS analysis of volatile aromatic compounds in flesh flower from different species of *Cymbidium*[J]. Food Science, 2013, 34(16): 234-237. (in Chinese)
- [11] 谷佩珊, 陈亦新, 王春光, 朱雨莹, 常晓敏, 王思思, 朱保庆, 汪厚银. 发酵型和配制型山楂酒中主要呈香物质组成分析 [J/OL]. 食品科学, 2023: 1-17[2023-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221207.1438.004.html>.
GU P S, CHEN Y X, WANG C G, ZHU Y X, CHANG X M, WANG S S, ZHU B Q, WANG H Y. Analysis of main aroma compounds in fermented and prepared Hawthorn Wines[J/OL]. Food Science, 2023: 1-17[2023-07-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221207.1438.004.html>. (in Chinese)
- [12] 杨文靖, 陈梅春, 朱育菁, 王艳娜, 严锦华, 刘波, 陈秀娟. 环境因素对盛花期茉莉鲜花香气的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1359-1366.
YANG W J, CHEN M C, ZHU Y J, WANG Y N, YAN J H, LIU B, CHEN X J. Effect of environmental factors on the aroma compounds of *Jasminum sambac* (L.) Aiton[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1359-1366. (in Chinese)
- [13] 翁晶晶. 优质漳平水仙茶品质鉴别及工艺优化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2022.
WENG J J. Study on quality identification and process optimization of high quality Zhangping Shuixian Tea[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2022. (in Chinese)
- [14] 王福成, 米思, 李劲松, 王雨行, 王向红. 基于气相色谱-离子迁移谱技术分析不同包装条件对黄瓜风味的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 296-304.
WANG F C, MI S, LI J S, WANG Y X, WANG X H. Analysis of the effect of different packaging conditions on cucumber flavor based on gas chromatography-Ion mobility spectrometry technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 296-304. (in Chinese)
- [15] PAN X, WU J, ZHANG W, LIU J Y, LAO F. Effects of sugar matrices on the release of key aroma compounds in fresh and high hydrostatic pressure processed Tainong mango juices[J]. Food Chemistry, 2020, 338: 128117.
- [16] 阮秋风. 鱼糜及鱼糜制品的特征风味成分与指纹图谱[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
RUAN Q F. Characteristic flavor components and fingerprints of Surimi and Surimi products[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [17] KANG S Y, 朱荫, 郑新强, 梁月荣, 林智. 不同季节绿茶香气成分的判别与聚类分析[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 268-275.
KANG S Y, ZHU Y, ZHENG X Q, LIANG Y R, LIN Z. Multivariate statistical analysis of volatiles compounds in green teas from different harvesting seasons[J]. Food Science, 2018, 39(14): 268-275. (in Chinese)
- [18] 郭军. 大豆分离蛋白与水果风味化合物相互作用影响因素研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
GUO J. Study on the factors affecting interaction between soy protein isolate and fruit flavor compounds[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021. (in Chinese)
- [19] 李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 李钦扬, 娄康宁. 刺梨汁中挥发性成分测定及其呈香贡献分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 237-246.
LI T T, HUANG M Z, TANG W Y, LI Q Y, LOU K N. Determination of volatile components in *Rosa roxburghii* Tratt juice and the analysis of its contribution for aroma[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(4): 237-246. (in Chinese)
- [20] 朱建才. 花果类香气成分协同作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
ZHU J C. Study on the synergism of aroma compounds in flowers and fruits[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019. (in Chinese)
- [21] 杨晓璇, 李阳, 马宁, 管蕊, 王骏, 胡梅, 宿书芳, 耿越. 酱油中挥发性风味物质的气相色谱-离子迁移谱分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(3): 149-154.
YANG X X, LI Y, MA N, GUAN R, WANG J, HU M, SU S F, GENG Y. Determination of volatile flavor substances in soy sauce based on gas chromatography-ion mobility spec-

- trometry[J]. *China Brewing*, 2021, 40(3): 149-154. (in Chinese)
- [22] 毛若冰. 橄榄多酚影响初榨橄榄油鼻后香气释放的机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
MAO R B. Study on the mechanism of olive polyphenols affecting the retronasal aroma eelease of *Virgin olive* oil[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022. (in Chinese)
- [23] 李文佳. 水酶法淡水鱼油提取及鱼油腥味成分分析研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
LI W J. Study on the aqueous enzymatic extraction of freshwater fish oil and analysis of its volatile compounds[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014. (in Chinese)
- [24] 葛晓杰, 苏祝成, 狄德荣, 文冬华, 林杰. 基于顶空固相微萃取/气质联用的红茶特征香型呈香活性成分研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(23): 304-310.
GE X J, SU Z C, DI D R, WEN D H, LIN J. Comparison of odor-active components of two different odor type 'Black Tea' based on HS-SPME/GC-O-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(23): 304-310. (in Chinese)
- [25] 董玉玮, 顾鑫玥, 庄聪林, 朱曹凯, 苗敬芝, 刘飞. HS-SPME-GC-MS法分析3种加工工艺牛蒡茶特征性风味物质[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(12): 164-176.
DONG Y W, GU X Y, ZHUANG C L, ZHU C K, MIAO J Z, LIU F. Identification of characteristic flavor compounds in burdock tea processed with three methods by HS-SPME-GC-MS[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(12): 164-176. (in Chinese)
- [26] 叶美霞. 基于电子鼻鉴别牛乳、乳粉及发酵乳的风味物质组成[D]. 天津: 天津商业大学, 2022.
YE M X. Identification of flavor components in milk, milk powder and fermented milk based on electronic nose[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2022. (in Chinese)
- [27] 金润楠, 李子函, 赵开丽, 犹共宇, 王晓, 潘思轶, 徐晓云, 刘凤霞. 基于气质联用的不同产地温州蜜柑香气成分比较分析[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 252-260.
JIN R N, LI Z H, ZHAO K L, YOU G Y, WANG X, PAN S Y, XU X Y, LIU F X. A comparative analysis of aroma components of satsuma mandarin form different producing areas based on HS-SPME-GC-MS[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(2): 252-260. (in Chinese)
- [28] QIN C C, YIN Z, HAN Y, MEI C, DONG C X, MENG Q W, DE J N, ZHI L. Identification of aroma composition and key odorants contributing to aroma characteristics of white teas[J]. *Molecules*, 2020, 25(24): 6050.
- [29] 蒲丹丹, 陕怡萌, 张玉玉. 木姜子香气成分与生物活性及其代谢途径的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(17): 435-448.
PU D D, SHAN Y M, ZHANG Y Y. Research progress on aroma compounds and biological activity and their metabolic pathways in *Litsea pungens* Hems[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(17): 435-448. (in Chinese)
- [30] 陈彦蓓, 罗惠格, 陆媚, 农慧兰, 白扬, 林玲, 白先进, 曹雄军, 陈爱军, 王博. 一年两收栽培夏黑葡萄香气成分分析[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(5): 1343-1352.
CHEN Y B, LUO H G, LU M, NONG H L, BAI Y, LIN L, BAI X J, CAO X J, CHEN A J, WANG B. Aroma components analysis of summer black grape under two-crops-a-year cultivation[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(5): 1343-1352. (in Chinese)
- [31] 武艺. 盐渍处理对苦水玫瑰精油/纯露的影响及精油微胶囊的制备[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
WU Y. Salt intervention for the effect on essential oil/hydrosol of Kushui rose (*R. setata*×*R. rugosa*) and preparation of essential oil microcapsule[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020. (in Chinese)
- [32] 邓健鸣. 桃子特征香气成分分析及香气相互作用研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2021.
DENG J M. Study on analysis of characteristic aroma compounds and aroma interaction of peach[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2021. (in Chinese)
- [33] 卢昌利, 欧阳春平, 王超军, 熊凯, 焦建, 曾祥斌, 王伟伟. 异佛尔酮合成技术研究进展[J]. *广东化工*, 2020, 47(13): 83-84, 92.
LU C L, OUYANG C P, WANG C J, XIONG K, JIAO J, ZENG X B, WANG W W. Research progress of synthesis technology of isophorone[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2020, 47(13): 83-84, 92. (in Chinese)
- [34] 吉生军, 韩鸿萍. 液-液萃取结合 GC-MS 法测定青稞酒中的香气成分[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(15): 187-194.
JI S J, HAN H P. Chemical constituents of highland barley wine based on liquid-liquid extraction and GC-MS analyses[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(15): 187-194. (in Chinese)
- [35] CARPENA M, FRAGA-CORRAL M, OTERO P, NOGUEIRA R A, GARCIA-OLIVEIRA P, PRIETO M A, SIMAL-GANDARA J. Secondary aroma: influence of wine microorganisms in their aroma profile[J]. *Foods*, 2021, 10(1): 51.
- [36] 王文静, 吕思佳, 汪庆昊, 何凡, 吴月燕. 植物花香物质代谢与调控研究进展[J]. *分子植物育种*, 2021, 19(22): 7612-7617.
WANG W J, LYU S J, WANG Q H, HE F, WU Y Y. Research advance on the metabolism and regulation of plant floral fragrance[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 19(22): 7612-7617. (in Chinese)
- [37] 袁媛, 孙叶, 李风童, 刘春贵, 马辉, 张甜, 陈秀兰, 包建

- 忠. 蕙兰不同品种花香成分分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(16): 186-189.
- YUAN Y, SHUN Y, LI F T, LIU C G, MA H, ZHANG T, CHEN X L, BAO J Z. Analysis of fragrance components in different varieties of *Cymbidium Hybrid*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(16): 186-189. (in Chinese)
- [38] 杨慧君. 中国兰花挥发性成分分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- YANG H J. Analysis on the volatile components of Chinese orchids[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [39] 徐慧, 姚霞珍, 佟珂珂, 邢震, 李垚. 3种牡丹花器官不同部位挥发性成分分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(3): 63-69, 1-5.
- XU H, YAO X Z, TONG K K, XING Z, LI Y. Analysis of volatile components in different parts of flower organs of three species of tree peony[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(3): 63-69, 1-5. (in Chinese)
- [40] 周晨晨, 范俊俊, 谭瑞楠, 杨峰, 张往祥. ‘白兰地’海棠不同花期与不同花器官的香气成分分析[J]. 福建农业学报, 2022, 37(8): 1038-1047.
- ZHOU C C, FAN J J, TAN R N, YANG F, ZHANG W X. Aromatics in floral organs of *Malus Brandywine* during different flowering stages[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37(8): 1038-1047. (in Chinese)
- [41] 宋朝伟, 于晓南. 2个芍药品种不同花器官香气成分分析[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(2): 92-95, 97-99.
- SONG C W, YU X N. Analysis of the aroma composition of different flower organs of two peony varieties[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(2): 92-95, 97-99. (in Chinese)