

秋海棠花香挥发性成分分析

梁晓莉¹, 高雁茹¹, 王龙远¹, 郭微¹, 谈静^{1*}, 吴伟^{1*}, 李凌飞², 薛彬娥¹

(1. 仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广州 510220; 2. 深圳市中国科学院仙湖植物园, 广东 深圳 518004)

摘要: 为了解不同秋海棠属植物间挥发性成分的差异, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对丽纹秋海棠(*Begonia kui*)、乌叶秋海棠(*B. ornithophylla*)和巴萨罗斯秋海棠(*B. barsalouxiae*)的雄花进行挥发性成分测定和分析。结果表明, 从3种秋海棠花中共鉴定出97种挥发性成分, 其中, 丽纹秋海棠鉴定出30种, 以杂环类为主; 乌叶秋海棠和巴萨罗斯秋海棠分别鉴定出56和44种, 均以醇类化合物为主。主成分分析(PCA)表明, 3种秋海棠主要香气成分存在明显差异, 通过偏最小二乘判别分析(PLS-DA)筛选出15种关键差异花香成分, 推断丽纹秋海棠的香气为蜡香和膏香型, 乌叶秋海棠的香气为柑橘香型, 巴萨罗斯秋海棠的香气为花香型。不同秋海棠主要挥发性成分的种类、含量及其主要香气物质上存在较大差异; 花香依靠各种挥发物相互作用而形成, 香型由拥有较高气味值的挥发物决定。

关键词: 秋海棠; 花香; 挥发性成分; PCA分析; PLS-DA分析

doi: 10.11926/jtsb.4849

CSTR:32235.14.jtsb.4849

Volatile Components Analysis of *Begonia* Floral Aroma

LIANG Xiaoli¹, GAO Yanru¹, WANG Longyuan¹, GUO Wei¹, TAN jing^{1*}, WU Wei^{1*}, LI Lingfei², XUE Bin'e¹

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510220, China; 2. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen & Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518004, Guangdong, China)

Abstract: In order to understand the differences of volatile components among different *Begonia* species, the volatile components from male flowers of *Begonia kui*, *B. ornithophylla* and *B. barsalouxiae* were determined and analyzed by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that 97 volatile components were identified from three kinds of *Begonia* flowers, among which 30 were from *B. kui*, mainly heterocyclic compounds, did 56 and 44 from *B. ornithophylla* and *B. barsalouxiae*, respectively, most of them were alcohols. Principal component analysis (PCA) showed that there are obvious differences in the main aroma components of three *Begonias*. There were 15 key floral components screened out by partial least square discriminant analysis (PLS-DA), it was inferred that the aromas of *B. kui* were wax and balm type, that of *B. ornithophylla* were citrus type, and that of *B. barsalouxiae* were floral type. Therefore, the types and contents of main volatile components and main aroma substances of different *Begonias* species had great differences. Floral fragrances were formed by the interaction of various volatiles, and the aroma type is determined by the volatiles with a higher odor value.

Key words: *Begonia*; Floral aroma; Volatile components; PCA; PLS-DA

秋海棠为秋海棠科(Begoniaceae)秋海棠属(*Begonia*)植物的统称, 为世界第四大盆花。因其种类

繁多、叶形叶斑丰富多样、可花叶兼赏等优点, 部分品种在室内盆栽和园林绿化中大量应用, 园艺产值巨

收稿日期: 2023-09-25

接受日期: 2023-10-13

基金项目: 广东省林政服务中心项目(2022D5); 深圳市城管局科研项目(202205)资助

This work was supported by the Project for Forestry Administration Service Center in Guangdong (Grant No. 2022D5), and the Project for Scientific Research of Urban Management Bureau in Shenzhen (Grant No. 202205).

作者简介: 梁晓莉(1997年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为观赏园艺。E-mail: 1024675884@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 670108097@qq.com

大, 被视作 21 世纪最具开发价值的类群之一^[1]。花香挥发性成分作为植物与外界交流的一类信号, 不仅对害虫的生物防治和植物育种具有重要意义^[2], 而且对人体健康有一定的作用^[3], 还可应用到食品、制药、化妆品等领域中^[4]。然而, 花香这一重要的品质指标常被育种者忽视^[5], 因此, 明确秋海棠花释放的香气成分, 阐明香气成分与花香类型的关系, 并探明秋海棠属植物特征香气的来源, 对于秋海棠花香育种及其开发利用具有重要指导意义。

关于秋海棠属植物的系统发育学^[6]、组培快繁^[7]、杂交育种^[8]、药理活性^[9]等方面已有不少报道, 但关于秋海棠属植物香气成分的研究仅有少量报道。杜文文等^[10]对 4 种秋海棠的香气成分进行了分析和鉴定, 指出假厚叶秋海棠(*B. pseudodryadis*)花朵更加突出果香气味, 中华秋海棠(*B. grandis*)花朵则更加突出草香气味, 柳叶秋海棠(*B. fuchsioides*)花朵兼有果香、甜香气味, 里氏秋海棠(*B. listada*)花朵则具有花香、果香和甜香气味。丁友芳等^[11]对盛花期的香花秋海棠(*B. handelii*)雄花及其变种铺地秋海棠(*B. handelii* var. *prostrata*)雌花和红毛香花秋海棠(*B. handelii* var. *rubropilosa*)雄花的挥发性香气成分进行分析, 表明铺地秋海棠和红毛香花秋海棠香气成分较接近, 富含具有清香、甘甜气息的芳樟醇氧化物等物质; 香花秋海棠花中醛类物质含量最高, 具有淡焦甜香气。芳香植物挥发性成分的鉴定, 是植物资源多样性评价及开发利用、新品种培育的基础^[12]。挥发性化合物的组成和含量不仅在不同物种间存在较大差异, 在种间和品种间同样有着较大差异^[13], 目前仅有 7 种秋海棠花香成分的报道, 难以揭示秋海棠属植物的种间差异。秋海棠属植物中还有不少带有香味的种或品种可继续深入研究其挥发性成分, 以挖掘出优良的香花秋海棠种质资源。因此, 本研究拟利用顶空-固相微萃取(HS-SPME)方法结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析 3 种秋海棠鲜花的挥发性成分, 旨在阐明不同秋海棠属植物间挥发性成分的差异, 进一步揭示主要香气成分的差异, 以期秋海棠新品种选育和深度开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

丽纹秋海棠(*Begonia kui*)、鸟叶秋海棠(*B. orni-*

thophylla)和巴萨罗斯秋海棠(*B. barsalouxiae*) 3 种秋海棠均为雌雄异花同株植物, 经东莞植物园冯欣欣博士和仲恺农业工程学院郭微教授鉴定后, 引种栽植于广东省广州市仲恺农业工程学院白云校区。于 2023 年 4 月, 选取生长良好、无病虫害的 3 种秋海棠盛花期雄花鲜花进行试验, 采集后立即进行分析。

1.2 试验仪器与方法

主要试验仪器: Agilent 7980A-5975C 气相质谱联用仪、色谱柱 HP-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 萃取装置: SPME 手动进样手柄、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取针头、德国 IKA 艾卡 RCT Basic 加热型磁力搅拌器、金属浴装置。

SPME 条件: 称取丽纹秋海棠约 0.35 g、鸟叶秋海棠约 0.15 g, 剪碎后分别转移至 15 mL 顶空螺纹瓶中; 称取巴萨罗斯秋海棠约 0.20 g, 整朵放入 15 mL 顶空螺纹瓶中。随后把顶空瓶放置于磁力搅拌器上加热至 50 °C 的金属浴装置中 10 min, 然后使用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空螺纹瓶, 顶空萃取 30 min。萃取完成后, 将萃取头插入色谱仪进样口进行解吸, 解吸温度 250 °C, 解吸时间 3 min。每个样品重复 3 次。

GC-MS 条件: 参照梁晓莉等^[14]方法。GC 条件: 色谱柱 HP-5MS (30 m×0.25 mm ID×0.25 μm 膜厚), 载气为高纯氦气(99.999%), 进样口温度 250 °C, 不分流进样。程序升温: 起始温度 40 °C, 保持 0 min, 然后以 3 °C/min 升至 80 °C, 保持 0 min; 再以 10 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min。MS 条件: 电离方式 EI; 电子能量 70 eV; 传输线温度 250 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 扫描质量范围 35~500 amu。

1.3 数据分析

定性分析采用 NIST08.L 标准谱库分析秋海棠花的挥发性成分, 并结合相关文献以及人工解析等方法进一步鉴定及筛选。定量分析通过面积归一化法计算各成分的相对百分含量。使用 Excel 2019 软件对挥发性成分的数量和相对百分含量进行统计分析, 采用 Origin 2021 软件进行韦恩图、堆积柱状图和主成分分析(PCA), 用 Metabo Analyst 5.0 软件进行偏最小二乘判别分析(PLS-DA)。

2 结果和分析

2.1 不同秋海棠花挥发性成分定性分析

采用 HS-SPME-GC-MS 技术对 3 种秋海棠属植

物的雄花进行检测鉴定分析(表 1)。从 3 种植物共鉴定出 97 种挥发性成分, 可分为 8 大类, 其中包括 21 种萜烯类、22 种醇类、11 种酯类、7 种醛类、6 种酮类、8 种烃类、6 种杂环类及 16 种其他类化合物。鸟叶秋海棠鉴定出的挥发性成分最多, 达 56 种; 其次是巴萨罗斯秋海棠、丽纹秋海棠, 分别鉴定出 44 和 30 种挥发性成分。在丽纹秋海棠中, 其他类化合物成分种类最多, 有 8 种, 其次是醇类有 7 种, 杂环类有 6 种; 在鸟叶秋海棠中, 萜烯类和醇类化合物成分种类最多, 分别有 15 种和 13 种, 其次是酯类有 7 种; 在巴萨罗斯秋海棠中, 醇类化合

物成分种类最多, 有 12 种, 其次是萜烯类有 9 种, 杂环类和其他类均有 5 种。

对鉴定到的 97 种挥发性成分进行差异分析(图 1), 结果表明, 丽纹秋海棠有 13 种特有成分, 巴萨罗斯秋海棠有 24 种, 鸟叶秋海棠最多, 有 36 种。97 种挥发性成分中有 9 种在 3 种秋海棠雄花中均能检测到, 分别是醇类 2 种(2-乙基己醇和 1-壬醇)、酯类 2 种[癸酸乙酯和 2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯)]、醛类 1 种(壬醛), 杂环类 4 种(六甲基环三硅氧烷、八甲基环四硅氧烷、十甲基环五硅氧烷和十二甲基环六硅氧烷)。

表 1 3 种秋海棠挥发性成分及相对含量(%)

Table 1 Volatile components and relative content (%) in three *Begonia* species

序号 No.	类型 Type	化合物 Compound	丽纹秋海棠 <i>B. kui</i>	鸟叶秋海棠 <i>B. ornithophylla</i>	巴萨罗斯秋海棠 <i>B. barsalouxiae</i>
1	萜烯类 Terpenes	月桂烯 Myrcene		1.12	1.23
2		β -蒎烯 β -Pinene		0.20	
3		罗勒烯 Ocimene		1.92	0.44
4		别罗勒烯 Allo cimene B		0.08	
5		δ -榄香烯 δ -elemene		0.09	
6		α -柏木烯 (-)- α -Cedrene			0.31
7		β -柏木烯 (+)- β -Cedrene			1.55
8		α -檀香烯 α -Santalen		0.06	
9		β -石竹烯 β -Caryophyllene			0.65
10		α -香柠檬烯 α -Bergamotene		0.55	0.04
11		β -广藿香烯 β -Patchoulene			0.51
12		(<i>E</i>)- β -金合欢烯 (<i>E</i>)- β -Farnesene		6.77	
13		(+)- α -长叶蒎烯 (+)- α -Longipinene		0.06	
14		A-柏木萜烯 (+)- α -Funebrene			0.32
15		α -法呢烯 α -Farnesene		0.14	
16		β -红没药烯 β -Bisabolene		1.05	
17		雪松烯 Himachalene			0.05
18		1-环庚烯,1,4-二甲基-3-(2-甲基-1-丙烯-1-基)-4-乙烯基 1-Cycloheptene,1,4-dimethyl-3-(2-methyl-1-propene-1-yl)-4-vinyl-		0.49	
19		β -倍半水芹烯 β -Sesquiphellandrene		0.42	
20		(<i>E</i>)- β -罗勒烯 (<i>E</i>)- β -Ocimene		0.48	
21		α -罗勒烯 α -Ocimene		0.45	
22	醇类 Alcohols	3-甲基-3-丁烯-1-醇 3-Buten-1-ol, 3-methyl-			1.53
23		1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	4.06		8.17
24		2-乙基己醇 1-Hexanol, 2-ethyl-	1.77	15.27	12.66
25		苯甲醇 Benzyl alcohol		0.17	
26		(2 <i>Z</i>)-2-辛烯-1-醇 2-Octen-1-ol, (<i>Z</i>)-	0.68		2.82
27		辛醇 1-Octanol	4.11	1.24	
28		顺式氧化芳樟醇 <i>cis</i> -Linaloloxide			4.99
29		芳樟醇 Linalool		12.45	21.90
30		苯乙醇 Phenylethyl Alcohol		3.23	
31		异胡薄荷醇 Isobearde menthol		0.49	
32		顺-3-壬烯-1-醇 3-Nonen-1-ol, (<i>Z</i>)-			0.05
33		3-壬烯醇 3-Nonen-1-ol, (<i>E</i>)-		0.32	
34		反式-2-壬烯-1-醇 2-Nonen-1-ol, (<i>E</i>)-			0.08

续表(Continued)

序号 No.	类型 Type	化合物 Compound	丽纹秋海棠 <i>B. kui</i>	鸟叶秋海棠 <i>B. ornithophylla</i>	巴塞罗斯秋海棠 <i>B. barsalouxiae</i>
35	醇类 Alcohols	1-壬醇 1-Nonanol	2.05	1.73	1.51
36		2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-呋喃-3-醇 2H-Pyran-3-ol,6-ethenyltetrahydro-2,2,6-trimethyl-			0.97
37		α -松油醇 α -Terpineol		1.03	1.35
38		D-香茅醇 D-Citronellol		9.53	
39		香叶醇 Geraniol		0.23	0.05
40		橙花醇 Nerol	0.20		
41		肉桂醇 Cinnamyl alcohol	3.85		
42		(-)-(Z)- β -檀香醇 (-)-(Z)- β -Santalol		0.74	
43		反式-橙花叔醇 (<i>E</i>)-Nerolidol		0.46	
44	酯类 Esters	溴乙酸正辛酯 Bromoacetic acid, octyl ester			0.73
45		2-羟基癸酸甲酯 Methyl 2-hydroxydecanoate			0.04
46		癸酸乙酯 Ethyl caprate	0.72	0.79	0.35
47		Bacchotricuneatin c		0.07	
48		乙酸桂酯 Cinnamyl acetate	1.34		
49		2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate		0.24	
50		2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯) Propanoic acid,2-methyl-,1-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl-1,3-propanediyl ester	2.08	0.60	0.06
51		苯乙酸, α ,3,4-三[(三甲基甲硅烷基)氧基]-三甲基甲硅烷基酯 Benzeneacetic acid, α ,3,4- <i>tris</i> [(trimethylsilyl)oxy]-, trimethylsilyl ester		1.44	
52		α ,3,4-三(三甲基硅氧基)苯乙酸甲酯	1.07		
53		α ,3,4- <i>Tris</i> (trimethylsiloxy)benzeneacetic acid methyl ester		0.06	
54	醛类 Aldehydes	邻苯二甲酸二异丁酯 Diisobutyl phthalate		0.09	
55		乙酸[(三甲基基)硫代]-三甲基硅基酯 Mercaptoacetic acid, <i>bis</i> (trimethylsilyl)-			
56		3-甲基-1-戊醛 Pentanal, 3-methyl-	2.49		
57		壬醛 Nonanal	1.22	0.92	0.60
58		癸醛 Decanal	0.10	0.18	
59		肉桂醛 Cinnamaldehyde	2.22		
60		十六醛 Hexadecanal			2.15
61		顺式-9-十八碳烯醛 Z-9-Octadecenal			0.09
62		(Z)-13-十八碳烯醛 Z-13-Octadecenal			0.07
63	酮类 Ketones	3-辛酮 3-Octanone			0.93
64		6-甲基-5-庚烯-2-酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl-		0.42	
65		2,2,6-三甲基-6-乙烯基二氢-2H-吡喃-3(4H)-酮 2H-Pyran-3(4H)-one,6-ethenyldihydro-2,2,6-trimethyl-			0.78
66		优葛缕酮 2,4-Cycloheptadien-1-one,2,6,6-trimethyl-		0.43	
67		香叶基丙酮 Geranylacetone	0.42	1.86	
68		β -紫罗酮 β -Lionone		1.06	
69		3,5,5-三甲基-2-己烷 2-Hexene, 3,5,5-trimethyl-			0.75
70		环辛烷 Cyclooctane			1.30
71		(3 <i>E</i> ,5 <i>E</i>)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 (3 <i>E</i> ,5 <i>E</i>)-2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene		0.13	
72		环癸烷 Cyclodecane		0.17	
73	杂环类 Heterocycles	辛基环丙烷 Cyclopropane, octyl-		0.08	
74		正十五烷 Pentadecane		0.06	
75		1-(3-甲基丁基)-2,3,4-三甲基苯 1-(3-Methylbutyl)-2,3,4-trimethylbenzene			0.75
76		α -姜黄烯 α -Curcumene		0.29	
77		六甲基环三硅氧烷 Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	2.48	1.70	1.56
78		(1-甲基丁基)-环氧乙烷 Oxirane, (1-methylbutyl)-	1.37		
79		八甲基环四硅氧烷 Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	8.31	2.34	4.16
80		十甲基环五硅氧烷 Cyclopentasiloxane, decamethyl-	31.84	10.47	9.53
81		十二甲基环六硅氧烷 Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	15.21	9.08	5.77
82		十八甲基环九硅氧烷 Cyclononasiloxane, octadecamethyl-	0.93		0.34

续表(Continued)

序号 No.	类型 Type	化合物 Compound	丽纹秋海棠 <i>B. kui</i>	鸟叶秋海棠 <i>B. ornithophylla</i>	巴塞罗斯秋海棠 <i>B. barsalouxiae</i>
82	其他类 Other	三乙基-甲基锡烷 Stannane, triethylmethyl-	0.20		
83		1,4-二(三甲基硅烷基)苯 1,4-bis(Trimethylsilyl)benzene		0.01	
84		十甲基二氢五硅氧烷 Pentasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decamethyl-	0.10		
85		对苯二甲醚 Benzene, 1,4-dimethoxy-		0.63	
86		(2 <i>R</i>)-3β-乙酰氧基-2,3,3β,9αβ-四氢-2α-[(三甲基硅基)氧基]甲基]-6 <i>H</i> -呋喃并[2',3':4,5]恶唑并[3,2- <i>a</i>]嘧啶-6-酮 6 <i>H</i> -Furo[2',3':4,5]oxazolo[3,2- <i>a</i>]pyrimidin-6-one, 3-(acetyloxy)-2,3,3a,9a-tetrahydro-2-[[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]-, [2 <i>R</i> -(2α,3β,3αβ,9αβ)]-1,1,6 三甲基-1,2 二氢萘 Naphthalene, 1,2-dihydro-1,1,6-trimethyl-	0.40		
87		<i>N,N</i> -二甲基对甲苯胺 Benzenamine, <i>N,N</i> ,4-trimethyl-	0.88		4.60
88		十二甲基五硅氧烷 Pentasiloxane, dodecamethyl-		4.98	0.87
89		十二甲基二氢六硅氧烷 Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-	7.40		1.88
90		<i>N</i> -甲基-β,3,4-三(三甲基硅氧基)苯乙胺 Phenethylamine, <i>N</i> -methyl-β,3,4- <i>tris</i> (trimethylsiloxy)-	2.09	0.36	
91		[[4-[1,2-双[(三甲基甲硅烷基)氧基]乙基]-1,2-亚苯基]双(氧基)]双(三甲基硅烷) Silane, [[4-[1,2- <i>bis</i> [(trimethylsilyl)oxy]ethyl]-1,2-phenylene] <i>bis</i> (oxy)] <i>bis</i> [(trimethyl-			1.07
92		1,1,1,5,7,7,7-七甲基-3,3-双(三甲基甲硅烷基)四硅氧烷 1,1,1,5,7,7,7-Heptamethyl-3,3- <i>bis</i> (trimethylsiloxy)tetrasiloxane		0.50	
93		异丙基五(三甲基甲硅烷基)原硅酸 Isopropyl pentakis(trimethylsilyl) disilicate	0.35		
94		十六甲基八硅氧烷 Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,15,15-hexadecamethyl-			0.03
95		十四甲基六硅氧烷 Hexasiloxane, tetradecamethyl-	0.07		
96		四(三甲基硅氧基)硅烷 Tetrakis(trimethylsilyl) orthosilicate		0.05	
97					
总计 Total			100.00	99.77	99.57

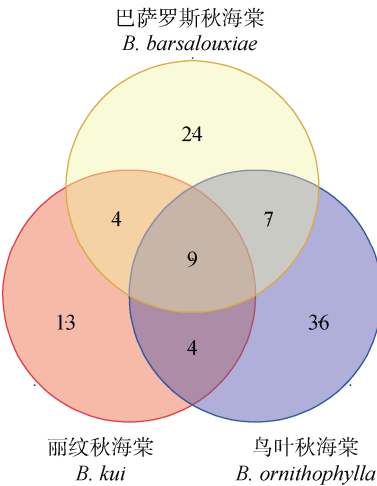


图 1 3 种秋海棠挥发性成分韦恩图分析

Fig. 1 Venn diagram analysis of volatile components in three *Begonia* species

2.2 不同秋海棠花挥发性成分的定量分析

从表 1 可见, 丽纹秋海棠雄花中 30 种挥发性成分占总挥发性成分含量的 100.00%, 鸟叶秋海棠的 56 种挥发性成分占 99.77%, 巴萨罗斯秋海棠的 44 种挥发性成分占 99.57%。丽纹秋海棠中挥发性成分含量较高的是十甲基环五硅氧烷(31.84%)、十

二甲基环六硅氧烷(15.21%)、八甲基环四硅氧烷(8.31%)、十二甲基二氢六硅氧烷(7.40%), 占总含量的 62.76%; 鸟叶秋海棠中挥发性成分含量较高的是 2-乙基己醇(15.27%)、芳樟醇(12.45%)、十甲基环五硅氧烷(10.47%)、D-香茅醇(9.53%)、十二甲基环六硅氧烷(9.08%)、(*E*)-β-金合欢烯(6.77%), 占总含量的 63.57%; 巴萨罗斯秋海棠中挥发性成分含量较高的是芳樟醇(21.90%)、2-乙基己醇(12.66%)、十甲基环五硅氧烷(9.53%)、1-辛烯-3-醇(8.17%)、十二甲基环六硅氧烷(5.77%)、顺式氧化芳樟醇(4.99%), 占总含量的 63.03%。

从图 2 可见, 醇类和杂环类为 3 种秋海棠属植物雄花挥发性化合物的主要组成成分, 占总含量的 70% 以上。丽纹秋海棠挥发性成分含量较高的是杂环类(60.14%)、醇类(16.72%)和其他类(11.48%), 没有萜烯类和烃类化合物; 鸟叶秋海棠挥发性成分含量较高的是醇类(46.90%)、杂环类(23.60%)和萜烯类(13.88%); 巴萨罗斯秋海棠挥发性成分含量较高的是醇类(56.09%)和杂环类(21.36%)。

丽纹秋海棠醇类化合物含量较高的是辛醇(4.11%)、1-辛烯-3-醇(4.06%)和肉桂醇(3.85%); 鸟

叶秋海棠含量较高的是 2-乙基己醇(15.27%)、芳樟醇(12.45%)和 D-香茅醇(9.53%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是芳樟醇(21.90%)、2-乙基己醇(12.66%)和 1-辛烯-3-醇(8.17%)。

丽纹秋海棠、鸟叶秋海棠和巴萨罗斯秋海棠杂环类化合物含量最高的是十甲基环五硅氧烷, 分别为 31.84%、10.47%、9.53%, 其次是十二甲基环六硅氧烷和八甲基环四硅氧烷, 分别为 15.21%、9.08%、5.77%和 8.31%、2.34%、4.16%。

丽纹秋海棠其他化合物含量较高的是十二甲基二氢六硅氧烷(7.40%); 鸟叶秋海棠含量较高的是十二甲基五硅氧烷(4.98%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是 *N,N*-二甲基对甲苯胺(4.60%)。

鸟叶秋海棠萜烯类化合物含量较高的是(*E*)- β -金合欢烯(6.77%)、罗勒烯(1.92%)和月桂烯(1.12%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是 β -柏木烯(1.55%)、月桂烯(1.23%)和 β -石竹烯(0.65%)。鸟叶秋海棠烃类

化合物含量较高的是 α -姜黄烯(0.29%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是环辛烷(1.30%)。

丽纹秋海棠醛类化合物含量较高的是 3-甲基-1-戊醛(2.49%)、肉桂醛(2.22%)、壬醛(1.22%); 鸟叶秋海棠含量较高的是壬醛(0.92%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是十六醛(2.15%)和壬醛(0.62%)。

丽纹秋海棠酯类化合物含量较高的是 2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯)(2.08%)和乙酸桂酯(1.34%); 鸟叶秋海棠含量较高的是苯乙酸,a,3,4-三[(三甲基甲硅烷基)氧基]-三甲基甲硅烷基酯(1.44%)和癸酸乙酯(0.79%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是溴乙酸正辛酯(0.73%)。

丽纹秋海棠酮类化合物仅有香叶基丙酮(0.42%); 鸟叶秋海棠含量较高的是香叶基丙酮(1.86%)和 β -紫罗酮(1.06%); 巴萨罗斯秋海棠含量较高的是 3-辛酮(0.93%)。

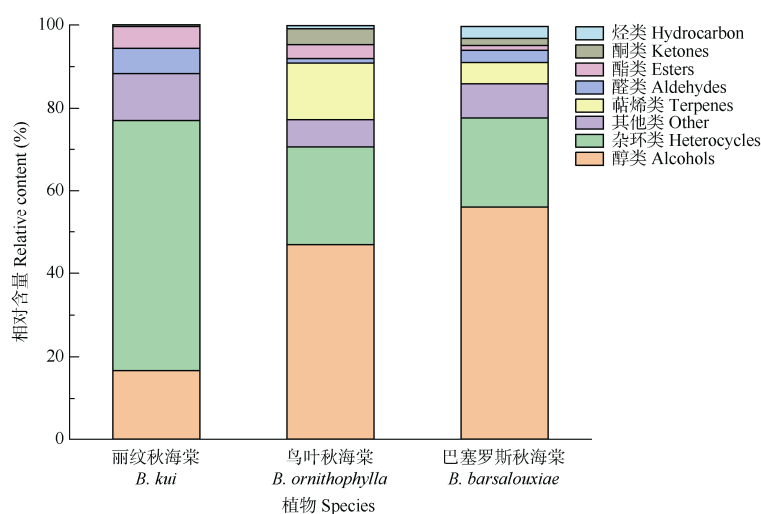


图 2 3 种秋海棠挥发性成分类型分析

Fig. 2 Types of volatile components in three *Begonia* species

2.3 主成分分析

本研究对 3 种秋海棠属植物雄花中挥发性化合物相对含量大于 2% 的组分进行主成分分析(PCA), 结果表明 97 种挥发性有机物中有 23 种含量大于 2% 的组分。由图 3 可知, 第一主成分(PC1)贡献率达 48.2%, 第二主成分(PC2)贡献率达 29.7%, 累计贡献率达到 77.9%, 可有效反映原始数据的信息。其中, 辛醇 (27)、2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯) (50)、肉桂醛 (58)、十二甲基环六硅氧烷 (80)、十二甲基二氢六硅氧烷 (90)等对 PC1 为正影

响; 芳樟醇 (29)、2-乙基己醇 (24)、顺式氧化芳樟醇 (28)、十六醛 (59)、*N,N*-二甲基对甲苯胺 (88)等物质对 PC1 有着负影响; 1-辛烯-3-醇 (23)、(2*Z*)-2-辛烯-1-醇 (26)等物质对 PC2 为正影响, D-香茅醇 (38)、苯乙醇 (30)等对其为负影响。

3 种秋海棠根据主成分的不同, 被划分在 3 个象限中, 表明三者的花香成分存在显著差异。鸟叶秋海棠位于 PC1 负轴和 PC2 负轴区域, 主要香气物质有(*E*)- β -金合欢烯 (12)、十二甲基五硅氧烷 (89)、苯乙醇 (30)、D-香茅醇 (38)、2-乙基己醇(24); 巴萨罗

斯秋海棠位于 PC1 负轴和 PC2 正轴区域, 主要香气物质有(2Z)-2-辛烯-1-醇 (26)、1-辛烯-3-醇 (23)、*N,N*-二甲基对甲苯胺 (88)、十六醛 (59)、顺式氧化芳樟醇 (28)、芳樟醇 (29); 丽纹秋海棠位于 PC1 正轴和 PC2 正轴区域, 主要香气物质有六甲基环三硅氧烷 (76)、八甲基环四硅氧烷 (78)、*N*-甲基- β ,3,4-三(三甲基硅氧基)苯乙胺 (91)、3-甲基-1-戊醛 (55)、肉桂醇

(41)、十甲基环五硅氧烷 (79)、十二甲基二氢六硅氧烷 (90)、肉桂醛 (58), 这些成分可能是造成秋海棠不同香气差异的主要原因。

2.4 关键差异化合物及其香气类型分析

为进一步了解 3 种秋海棠花香中的关键差异化合物, 更直观地体现其花香特点, 对 23 种高含量化合物进行偏最小二乘判别分析(PLS-DA), 以推断

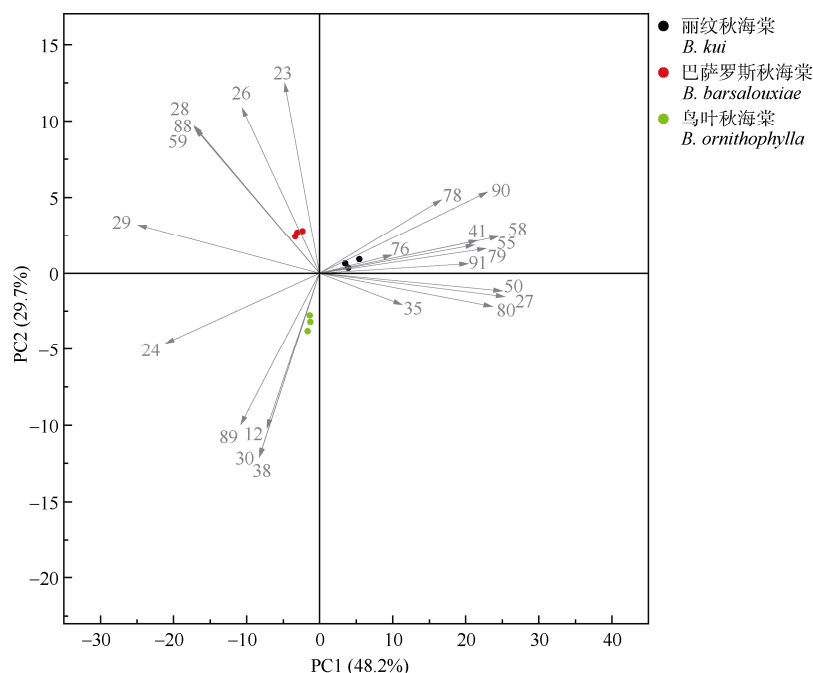


图 3 3 种秋海棠主要挥发性成分的 PCA 分析。数字编号见表 1。

Fig. 3 PCA analysis of main volatile components of three *Begonia* species. The No. see Table 1.

香气类型。PLS-DA 模型中的变量投影重要性值 (VIP) 可以反映各挥发性化合物的差异贡献度, VIP 值越大表明差异贡献程度越大, 当 VIP 值 > 1 时可认为是重要差异化合物。

从图 4 可见, 筛选出的 15 种关键差异花香化合物的相对含量在 3 种秋海棠间的差异极大, 对其香气特征的形成和区分具有重要意义。芳樟醇 (29)、十甲基环五硅氧烷 (79) 和 2-乙基己醇 (24) 的 VIP 值 > 1, 作为 3 种秋海棠雄花的重要差异化合物。丽纹秋海棠的重要差异化合物十甲基环五硅氧烷的贡献率最高, 但无嗅味, 因此结合有香味的辛醇 (27) 和肉桂醇 (41) 这 2 个含量较高的差异化合物, 推断其主要香气类型为蜡香和膏香型。鸟叶秋海棠的重要差异化合物 2-乙基己醇的贡献率最高, 推断其为柑橘香型。巴萨罗斯秋海棠的重要差异化合物芳樟醇的贡献率最高, 推断其为花香型,

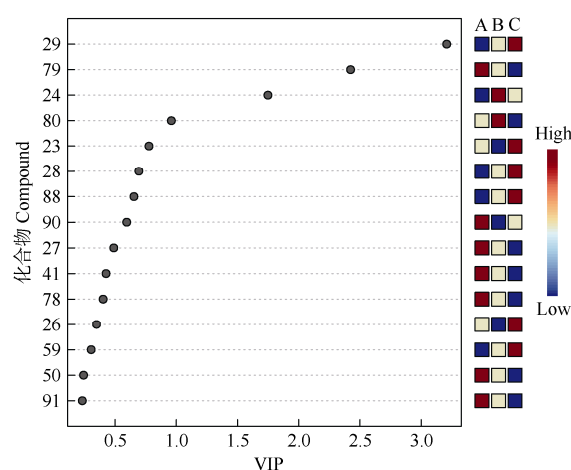


图 4 3 种秋海棠主要挥发性成分的 PLS-DA 分析。A: 丽纹秋海棠; B: 鸟叶秋海棠; C: 巴萨罗斯秋海棠; 化合物编号见表 1。

Fig. 4 PLS-DA analysis of main volatile components of three *Begonia* species. A: *B. kui*; B: *B. ornithophylla*; C: *B. barsalouxiae*; Compound No. see Table 1.

同时含量较高的 1-辛烯-3-醇 (23) 和 *N,N*-二甲基对甲苯胺 (88) 也对香气有着一定影响, 其中 1-辛烯-3-醇具有森林清香的气息, 有蘑菇香气混合着薰衣草似的香韵, *N,N*-二甲基对甲苯胺有着臭鸡蛋味, 使得巴萨罗斯秋海棠的嗅感除了花香还掺杂着一股特殊的异味。

3 讨论和结论

大量研究表明, 不同物种间的主要挥发性成分的种类和含量存在差异。曹桦等^[15]对 4 种香花型石斛的研究表明, 兜唇石斛(*Dendrobium aphyllum*)、金钗石斛(*D. nobile*)、铁皮石斛(*D. candidum*)的主要挥发性成分为萜烯类化合物; 美花石斛(*D. loddigesii*)为酯类化合物。卢路路等^[16]研究表明, 山栀子(*Gardenia jasminoides*)盛开期的醇类化合物含量最高; 水栀子(*G. jasminoides* var. *radicans*)和重瓣栀子(*G. jasminoides* var. *fortuniana*)则以烯炔类化合物含量最高; 狭叶栀子(*G. stenophylla*)的酯类化合物含量较高。本研究中的 3 种秋海棠同样存在差异, 其中, 鸟叶秋海棠与巴萨罗斯秋海棠的主要挥发性成分以醇类化合物为主; 丽纹秋海棠的主要挥发性成分为杂环类。在醇类化合物中, 芳樟醇和 2-乙基己醇为鸟叶秋海棠和巴萨罗斯秋海棠相对含量较高的物质, 其中芳樟醇具有甜的、典型的花香、木香香气, 并具有新鲜的百合香味, 广泛存在于植物精油中, 具有抗炎、抗菌、镇静和保护神经等作用^[17], 是食品、药品、日化香精行业的重要原料^[18]; 2-乙基己醇有甜味和淡淡的花香, 可用作食用香料, 也是一种重要的药物中间体, 在医药、化工领域有着重要的应用。与前人^[10-11]研究比较分析, 仅有丽纹秋海棠以杂环类为主要挥发性成分, 且本研究的杂环类化合物有 5 种硅氧烷, 其中 4 种为 3 种秋海棠的共有成分。而硅氧烷(硅油)作为化妆品的优质原料, 有良好的铺展性和护肤功能, 与大部分的醇和其他化妆品溶剂有很好的相容性, 属于化妆品原料中的合成油脂^[19]。由此看出, 杂环类物质虽然无香味, 但也具有一定的开发利用价值。

花香香味的形成依靠各种挥发物的相互作用, 不同种间的主要香气物质存在较大差异, 其香型主要由拥有较高气味值的挥发物决定。童妍等^[20]研究表明 8 个蝴蝶兰(*Phalaenopsis aphrodite*)品种的气味品质差异较大, 4 个品种的花香香味是由带有玫瑰

花香的芳樟醇决定的, 3 个品种中木质型芳香由 α -香柑油烯决定, 1 个为复合型花香, 由桉叶油醇、 α -香柑油烯、芳樟醇等物质共同提供。徐慧等^[21]指出, 在大花黄牡丹(*Paeonia ludlowii*)的主要香气成分为苯乙酮和芳樟醇, 表现出强烈的花香; 黄牡丹(*P. lutea*)的主要香气成分为 α -蒎烯、 β -古巴烯和芳樟醇, 同样表现出强烈的花香; 杨山牡丹(*P. ostia*)的主要香气成分为罗勒烯、 α -蒎烯、十五烷, 表现为草香和蜡香。周小理等^[22]研究表明, 萱草(*Hemerocallis fulva*)的 16 个杂交品种中, ‘H13’是木香型品种的代表, 富含特有的月桂烯、仲辛酮、2-蒎烯; ‘H10’是典型的果香型品种, 富含罗勒烯; ‘H6’是典型的花香型品种, 富含苯乙醇; ‘H3’是甜香型品种代表, 富含金合欢醇。本研究与前人研究一致, 3 种秋海棠的主要香气物质差异较大, 丽纹秋海棠由十甲基环五硅氧烷、辛醇和肉桂醇作为关键差异花香物质, 其香气类型为蜡香和膏香型; 鸟叶秋海棠由 2-乙基己醇作为关键差异花香物质, 香气类型为柑橘香型; 巴萨罗斯秋海棠由芳樟醇作为关键差异花香物质, 香气类型为花型, 但受到 1-辛烯-3-醇和 *N,N*-二甲基对甲苯胺的影响, 其嗅感为花香中掺杂着一股特殊的异味。通过了解不同花香的关键差异成分, 挖掘出不同香型的香花品种, 为进一步有效开发利用花香物质、培育具有不同香味的秋海棠新品种提供了理论基础。

本研究采用 SPME 结合 GC-MS 对丽纹秋海棠、鸟叶秋海棠和巴萨罗斯香花秋海棠的雄花进行挥发性成分分析。从 3 种秋海棠花中鉴定出 97 种挥发性成分, 其中 9 种为 3 种秋海棠雄花的共有成分。3 种秋海棠的主要挥发性成分和含量存在差异, 在丽纹秋海棠中鉴定出 30 种挥发性化合物, 以杂环类、醇类和其他类为主; 在鸟叶秋海棠中鉴定出 56 种挥发性化合物, 以醇类、杂环类和萜烯类化合物为主; 在巴萨罗斯香花秋海棠中鉴定出 44 种挥发性化合物, 以醇类、杂环类和其他类化合物为主。通过对 3 种秋海棠进行主成分分析发现, 3 种秋海棠间的主要花香成分存在显著差异, 这些成分可能是造成秋海棠不同香气差异的主要原因。通过偏最小二乘判别分析, 推断出丽纹秋海棠的香气类型为蜡香和膏香型; 鸟叶秋海棠为柑橘香型; 巴萨罗斯秋海棠为花型, 由于 1-辛烯-3-醇和 *N,N*-二甲基对甲苯胺对巴萨罗斯秋海棠香气的影响, 使得其嗅感除了花香还掺杂着一股特殊的异味, 这体现了花香

香味的形成依靠各种挥发物的相互作用,不同种间的主要香气物质存在较大差异,这些差异可作为区分花香类型的依据。

参考文献

- [1] SHI B. Strengthening resource protection and promoting industrial development: *Begonia* professional committee of china wild plant protection association was established [J]. Flower Plant Bonsai (Flower Gard), 2020(11): 8–11. [石柏. 加强资源保护 助力产业发展——中国野生植物保护协会秋海棠专业委员会成立 [J]. 花木盆景(花卉园艺), 2020(11): 8–11.]
- [2] ZHU W S, DAI J, WANG J H. Changes in flower volatiles and analysis of alternative oxidase and ultrastructure in *Dendrobium huoshanense* induced by snail (*Bradybaena ravida*) infestation [J]. Sci Hort, 2023, 310: 111774. doi: 10.1016/j.scienta.2022.111774.
- [3] JIN Z L, ZHANG Q X, PAN H T, et al. The aromatic characteristics and healthy effects of the aromatic plants [J]. Hubei Agric Sci, 2009, 48(5): 1245–1247. [金紫霖, 张启翔, 潘会堂, 等. 芳香植物的特性及对人体健康的作用 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1245–1247. doi: 10.3969/j.issn.0439-8114.2009.05.070.]
- [4] HE X Y, JIN H X, JIANG J Q. Advances on research and application of aromatic plants [J]. J Zhejiang For Sci Technol, 2019, 39(4): 87–94. [何雪雁, 金荷仙, 姜嘉琦. 芳香植物的应用历史及园林应用研究进展 [J]. 浙江林业科技, 2019, 39(4): 87–94. doi: 10.3969/j.issn.1001-3776.2019.04.014.]
- [5] PICHERSKY E, DUDAREVA N. Scent engineering: Toward the goal of controlling how flowers smell [J]. Trends Biotechnol, 2007, 25(3): 105–110. doi: 10.1016/j.tibtech.2007.01.002.
- [6] THOMAS D C, Hughes M, PHUTTHAI T, et al. A non-coding plastid DNA phylogeny of Asian *Begonia* (Begoniaceae): Evidence for morphological homoplasy and sectional polyphyly [J]. Mol Phylogenet Evol, 2011, 60(3): 428–444. doi: 10.1016/j.ympev.2011.05.006.
- [7] MA J H, OU M Z, REN Q F, et al. Study on tissue culture and strong seedling stress of *Begonia cavaleriei* [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2021, 27(15): 39–41. [马菁华, 欧明烛, 任启飞, 等. 昌感秋海棠组培及炼苗条件研究 [J]. 安徽农学通报, 2021, 27(15): 39–41. doi: 10.3969/j.issn.1007-7731.2021.15.015.]
- [8] ZHOU Z X, XU K, TAN J, et al. *Begonia* ‘Pink Memory’ ‘Oasis’ and ‘Fu Yu’ [J]. Acta Hort Sin, 2023, 50(S1): 113–114. [周志雄, 许凯, 谈静, 等. 秋海棠新品种‘粉红回忆’‘绿洲’和‘福玉’ [J]. 园艺学报, 2023, 50(S1): 113–114. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2023-0198.]
- [9] KWON J H, OH H J, LEE D S, et al. Pharmacological activity and quantitative analysis of flavonoids isolated from the flowers of *Begonia semperflorens* Link et Otto [J]. Appl Biol Chem, 2019, 62(1): 11. doi: 10.1186/s13765-019-0416-6.
- [10] DU W W, DUAN Q, JIA W J, et al. Determination of volatile compounds and analysis of characteristic aroma components of four kind of *Begonia* species flowers [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci), 2022, 44(5): 1043–1053. [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), 2022, 44(5): 1043–1053. doi: 10.7540/j.ynu.20210455.]
- [11] DING Y F, CHEN F, LÜ Y L, et al. Analysis of aroma components in the flowers of *Begonia handelii* and its varieties by HS-SPME/GC-MS [J]. Subtrop Plant Sci, 2021, 50(5): 347–352. [丁友芳, 陈菲, 吕燕玲, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析香花秋海棠及其变种花香气成分 [J]. 亚热带植物科学, 2021, 50(5): 347–352. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2021.05.003.]
- [12] WANG H Q, KOU Y P, YAO C Y, et al. Detection of volatile organic compounds in five rose petals based on headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Plant Genet Resour, 2023, 24(6): 1626–1638. [王洪乾, 寇亚平, 姚晨阳, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 测定 5 种蔷薇属植物花瓣挥发性成分 [J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(6): 1626–1638. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20230324002.]
- [13] FAN Z Q, LI J Y, LI X L, et al. Composition analysis of floral scent within genus *Camellia* uncovers substantial interspecific variations [J]. Sci Hort, 2019, 250: 207–213. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20230324002.
- [14] LIANG X L, WANG N, ZHOU Z X, et al. Volatile components of *Begonia handelii* by GC-MS [J]. Subtrop Plant Sci, 2022, 51(6): 424–433. [梁晓莉, 王宁, 周志雄, 等. 香花秋海棠挥发性成分的 GC-MS 分析 [J]. 亚热带植物科学, 2022, 51(6): 424–433. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2022.06.002.]
- [15] CAO H, XU F, LU L, et al. GC-MS analysis of volatile components in flowers of four kinds of fragrant *Dendrobium* species [J]. Chin Agric Sci Bull, 2021, 37(13): 56–62. [曹桦, 许凤, 陆琳, 等. 4 种香花型石斛花朵挥发性成分 GC-MS 分析 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(13): 56–62. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb2020-0381.]
- [16] LU L L, PAN Y L, 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. [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. doi: 10.11869/j.issn.100-8551.2021.07.1601.]
- [17] YUAN C Y, SHIN M, PARK Y, et al. Linalool alleviates A β 42-induced neurodegeneration via suppressing ROS production and inflammation in fly and rat models of Alzheimer’s disease [J]. Oxid Med Cell

- Longev, 2021, 2021: 8887716. doi: 10.1155/2021/8887716.
- [18] DU Y. Improved linalool production in *Saccharomyces cerevisiae* by comprehensive control [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021. [杜艺. 利用综合调控策略提高酿酒酵母芳樟醇产量的研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021. doi: 10.27441/d.cnki.gyzdu.2021.001671.]
- [19] WANG Y C, ZHANG M, ZHOU X X, et al. Floral volatile components from five *Dendrobium* species based on SPME-GC-MS [J]. For Res, 2022, 35(1): 132–140. [王元成, 张萌, 周晓星, 等. 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. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.015.]
- [20] TONG Y, ZHANG Y P, HU M J, et al. Volatile component analysis of new hybrid varieties of *Phalaenopsis* [J]. Guihaia, 2023, 43(6): 1016–1026. [童妍, 张燕萍, 胡美娟, 等. 蝴蝶兰新型杂交品种挥发性成分分析 [J]. 广西植物, 2023, 43(6): 1016–1026. doi: 10.11931/guihaia.gxzw202204020.]
- [21] XU H, YAO X Z, TONG K K, et al. Analysis of volatile components in different parts of flower organs of three species of tree peony [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2023, 47(3): 63–69. [徐慧, 姚霞珍, 佟珂珂, 等. 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. doi: 10.12302/j.issn.1000-2006.202203039.]
- [22] ZHOU X L, ZHU S Y, ZHOU Y M, et al. Analysis of flavor substances in flowers of different hybrids of *Heimerocallis* [J/OL]. Mol Plant Breed, 2022. [2022-10-17]. [周小理, 朱思怡, 周一鸣, 等. 不同萱草杂交品种花部风味物质分析 [J/OL]. 分子植物育种, 2022. [2022-10-17]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20221015.1117.004.html>]