



4种香花型石斛花朵的挥发性成分分析

张钰莹, 赵瑞晶, 许凤, 李涵, 李东徽, 曹桦

引用本文:

张钰莹, 赵瑞晶, 许凤, 李涵, 李东徽, 曹桦. 4种香花型石斛花朵的挥发性成分分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2024, 32(2): 264–272.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4732>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

铁皮石斛总RNA提取方法的比较研究

Comparison of Several Total RNA Extraction Methods from Flowers of *Dendrobium officinale*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(5): 479–486 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4202>

南瓜5个品种果肉的挥发性成分分析

Volatile Components in Flesh of Five Pumpkin Varieties

热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 633–643 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4226>

印度梨形孢对铁皮石斛种子萌发和原球茎生长的影响

Effects of *Piriformospora indica* on Seed Germination and Protocorm Growth of *Dendrobium officinale*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 59–66 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4231>

铁皮石斛WOX转录因子的鉴定和分析

Identification and Analysis of WOX Transcription Factor in *Dendrobium officinale*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 301–310 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4294>

瑙蒙石斛, 中国兰科一新记录种

Dendrobium naungmungense Q. Liu & X. H. Jin, A New Record of Orchidaceae from China

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 201–202 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4109>

向下翻页, 浏览PDF全文

4 种香花型石斛花朵的挥发性成分分析

张钰莹¹, 赵瑞晶^{1*}, 许凤², 李涵², 李东徽^{1**}, 曹桦^{2**}

(1. 云南农业大学园林园艺学院, 昆明 650201; 2. 云南省农业科学院花卉研究所, 国家观赏园艺工程技术研究中心, 昆明 650205)

摘要: 为探究石斛属(*Dendrobium*)盛花期花朵的主要挥发性成分, 采用顶空固相微萃取结合 GC-MS 技术对球花石斛(*D. thyrsiflorum*)、扭瓣石斛(*D. tortile*)、鼓槌石斛(*D. chrysotoxum*)和密花石斛(*D. densiflorum*)花朵的挥发性成分进行分析。结果表明, 4 种石斛花朵的挥发性成分共 70 种, 包括酯类、醇类、酚类、酮类、烷类、烯类、醛类以及其他等 8 类, 其中烯类总含量最高, 为主要挥发性成分。球花和密花石斛的主要香气成分为 β -石竹烯, 相对含量分别为 0.46 和 6.91 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 而扭瓣石斛为醋酸辛酯[6.11 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]; 鼓槌石斛为 β -罗勒烯[5.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]。该研究有利于评价和筛选有价值的芳香石斛兰种质资源, 为香型石斛兰品种培育和兰花精油的开发利用提供参考。

关键词: 石斛属; 花朵; GC-MS; 挥发性成分

doi: 10.11926/jtsb.4732

Analysis of Volatile Components of Four Aromatic *Dendrobium* Flowers

ZHANG Yuying¹, ZHAO Ruijing^{1*}, XU Feng², LI Han², LI Donghui^{1**}, CAO Hua^{2**}

(1. College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Flower Research Institute Yunnan Academy of Agricultural Sciences, National Research Center for Ornamental Horticulture Engineering, Kunming 650205, China)

Abstract: In order to understand the main volatile components of *Dendrobium* flowers at full bloom stage, the volatile components from flowers of *D. thyrsiflorum*, *D. tortile*, *D. chrysotoxum* and *D. densiflorum* were determined by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The results showed that there were 70 volatile components identified in 4 *Dendrobium* flowers, including 8 types of esters, alcohols, phenols, ketones, alkanes, alkenes, aldehydes and others, among which alkenes was the main volatile component with the highest content. The main aromatic constituent was caryophyllene in *D. thyrsiflorum* and *D. densiflorum* with relative contents of 0.46 and 6.91 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, respectively, and acetic acid [6.11 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$] in *D. tortile*; and β -ocimene [5.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$] in *D. chrysotoxum*. Thus, it was helpful to evaluate and screen valuable germplasm resources of *Dendrobium*, and provide reference for the cultivation of aromatic *Dendrobium* species and the development and utilization of orchid essential oil.

Key words: *Dendrobium*; Flower; GC-MS; Volatile component

石斛属(*Dendrobium*)为兰科(Orchidaceae)第二大属, 约有 1 000 种植物, 我国记载的石斛共 81 种, 产于秦岭以南诸省区, 尤其云南南部为多^[1]。石斛

兰因其花色艳丽多彩, 姿态优美, 观赏价值极高, 深受人们喜爱。近年来, 随着石斛花的经济价值逐渐被开发, 石斛的研究与开发也受到越来越多研究

收稿日期: 2022-10-13 接受日期: 2023-02-10

基金项目: 云南省科技厅科技人才与平台计划(202005AD160014); 绿色食品品牌项目(53000021000000013742); 云南省科技基础研究专项(202101BC070002); 重大科技专项(202002AA100007)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology Talents and Platform Plan of Yunnan Provincial Department of Science and Technology (Grant No. 202005AD160014), the Project for Green Food Brand (Grant No. 53000021000000013742), the Special Project for Basic Research of Science and Technology in Yunnan (Grant No. 202101BC070002), and the Major Project of Science and Technology (Grant No. 202002AA100007).

作者简介: 张钰莹, 女, 硕士研究生, 研究方向为兰属和石斛属植物新品种选育和繁殖。E-mail: Z13231526902@163.com

* 共同第一作者

** 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 22835041@qq.com; landsliy@qq.com

者关注。

花香是观赏植物重要的观赏性状之一,目前除叠鞘石斛(*D. lohohense*)、麝香石斛(*D. parishii*)、钩状石斛(*D. aduncum*)、鼓槌石斛(*D. chrysotoxum*)等具有可嗅挥发性成分外,大多数石斛不具备可嗅挥发性香气,因此有必要对其他石斛属植物资源的挥发性成分进行研究,以挖掘重要的香味育种资源。花的香气由植物散发出的挥发性低分子量混合物组成,不同种类的植物,产生出不同种类、含量及比例的挥发物,最终产生的香味具有植物个体特异性^[2],测定花朵的挥发性成分能更真实地反映植物的花香。目前已对部分石斛花的挥发性成分进行了研究^[3-4],但还有大量的香型石斛兰种质资源有待挖掘。吕素华等^[5]报道,壬醛、 α -蒎烯是铁皮石斛鲜花的主要香气成分。王元成等^[6]的研究表明,环五聚二甲基硅氧烷及罗勒烯在肿节石斛、棒节石斛、玫瑰石斛和束花石斛中的含量均相对较高。宋小蒙等^[7]报道金钗石斛干燥花的挥发性成分有烯烃类、酯类、醇类、醛类等4类。

球花石斛(*D. thyrsiflorum*)、鼓槌石斛和扭瓣石斛(*D. tortile*)香味淡雅,密花石斛(*D. densiflorum*)气味较刺鼻,4种石斛株型紧凑直立,花色鲜艳,是观赏型盆栽石斛重要的亲本,关于这4种石斛的研究主要集中于所含化合物类别及含量、药用价值、栽培繁殖等方面,而对这几种石斛鲜花的香气品质和赋香成分的关注较少。本研究采用固相微萃取(SPME)结合气相色谱质谱联用(GC-MS)技术对顶叶组4种石斛花朵的挥发性成分及其含量进行分析比较,一方面比较不同品种石斛兰花朵的香味组分及其含量变化;另一方面评价和筛选有价值的芳香石斛兰种质资源,为香型石斛兰品种培育和开发利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

4种带香味的石斛属盛花期新鲜花朵,包括球花石斛(*Dendrobium thyrsiflorum*)、扭瓣石斛(*D. tortile*)、鼓槌石斛(*D. chrysotoxum*)和密花石斛(*D. densiflorum*),采自云南省农业科学院花卉研究所澄江兰花资源圃。

1.2 方法

参照王珍珍等^[8]的方法提取花朵的挥发性成

分,并稍加修改。先将萃取头插入GC-MS进样口,250℃老化处理52min。每个品种选择生长和开花正常的植株作为采集对象,取2~3朵盛花期石斛花,并对其进行称重后,放入50mL广口锥形瓶底部,重复3次,加入2 μ L 1‰(4.325 μ g/ μ L)癸酸乙酯,迅速将萃取头插入锥形瓶中下部,瓶口用封口膜密封,35℃恒温萃取30min。萃取完成后,取出SPME萃取头,插入GC-MS进样口,解析30s后进行分析。

按照GC-MS总离子流色谱图,分析各个峰所对应的质谱图。获得的质谱数据用MSD ChemStation Data Analysis F.01.03版本软件与NIST14.L所给出的标准物质谱图库进行比对,得出挥发性化合物组分种类,以癸酸乙酯为内标,根据挥发物与内标的峰面积对比计算组分含量。组分含量 $[\mu$ g/(g·h)]=[组分峰面积/内标峰面积 \times 内标的密度(μ g/ μ L) \times 内标的体积(μ L)]/样品重量(g)/萃取时间(h)。

色谱条件:色谱柱为HP-5MS石英毛细管色谱柱(30m \times 0.25mm \times 0.25 μ m),升温程序:初始温度为40℃,以3℃/min升温至80℃,然后以5℃/min升温至250℃,并维持5min。载气为99.99%的高纯度氦气,隔垫吹扫流量为3.00mL/min;总流量为9.00mL/min;柱前压50kPa,分流比10:1;3min溶剂延迟。质谱条件:采用EI离子源,MS离子源温度230℃,MS四级杆温度150℃,传输线温度250℃,电子能量70eV,数据采集模式:标准扫描,扫描范围为35~450amu,阈值为0;柱压50kPa。

2 结果和分析

2.1 花朵挥发性成分测定

采用GC-MS方法对4种香花石斛盛花期花朵的挥发性成分进行分析测定,得到挥发性物质的离子流峰图(图1),共鉴定出70种化合物,分别占总挥发性成分的97.10%(球花石斛)、96.82%(扭瓣石斛)、97.00%(鼓槌石斛)和99.55%(密花石斛)。

不同石斛间的挥发性物质存在显著差异,成分含量为扭瓣石斛>鼓槌石斛>密花石斛>球花石斛,扭瓣石斛的总含量为19.20 μ g/(g·h),是球花石斛的7.56倍。从表1可见,球花石斛共鉴定化合物14种,其中 β -石竹烯和六甲基环三硅氧烷含量较高,分别为0.47和0.45 μ g/(g·h),其余还有八甲基环四硅氧烷、2-戊基环戊酮、环五聚二甲基硅氧烷等。扭瓣石斛共鉴定出挥发性物质46种,其中醋酸辛

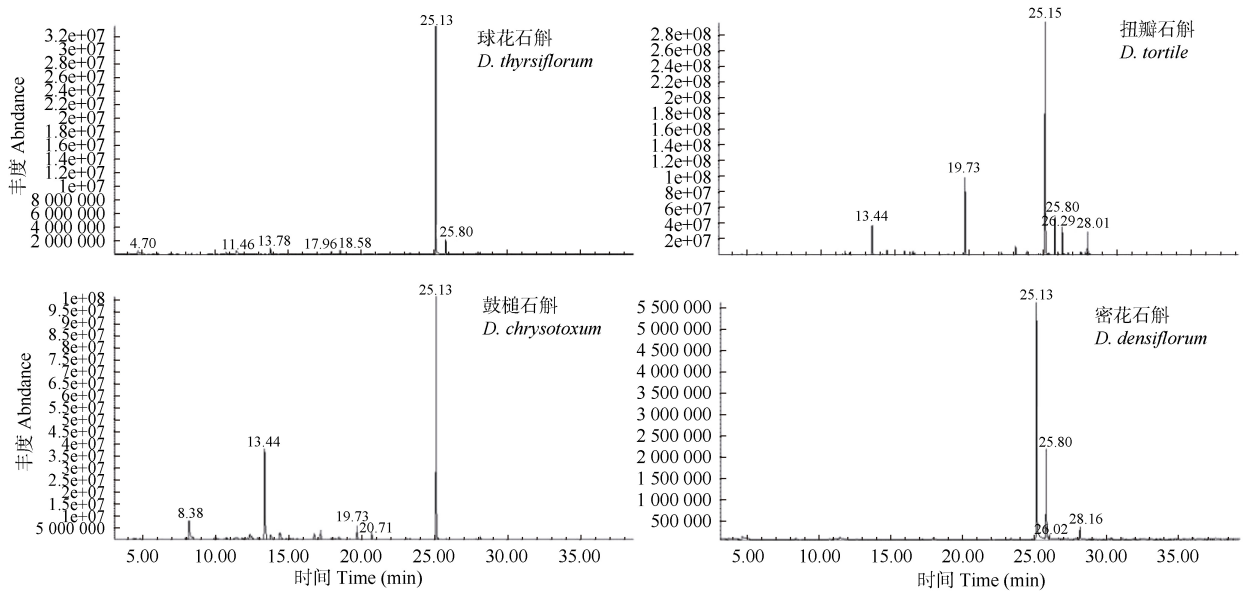


图 1 4 种石斛盛花期花朵挥发性物质的 GC/MS 总离子流图

Fig. 1 GC/MS total ion flow diagram of volatile components in flowers of four *Dendrobium* species at full bloom stage

酯含量最高[6.11 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$], 占总含量的 31.82%, 其余还有 β -罗勒烯、 β -石竹烯、 α -愈创木烯、 δ -愈创木烯等。鼓槌石斛中共鉴定挥发性成分 30 种, 其中 β -罗勒烯含量最高 5.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 占总含量的 49.34%, 其余还有蒎烯、苯乙醛等。密花石斛仅鉴定挥发性成分 4 种, 以 β -石竹烯含量最高[6.91 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$], 占总含量的 78.34%, 还有 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚、10,10-二甲基-6-二亚甲基二环[7.2.0]十一烷和六甲基环三硅氧烷。

4 种石斛花挥发性物质中的共有成分仅六甲基环三硅氧烷, 在除鼓槌石斛外的其余 3 种石斛中的含量均高于 0.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; β -石竹烯在除鼓槌石斛外的

另外 3 种石斛中均存在且含量较高, 环五聚二甲基硅氧烷、八甲基环四硅氧烷、十二甲基环己硅氧烷和萘在除密花石斛以外的 3 种石斛中共有; 仅醋酸辛酯、 β -罗勒烯、正辛醇等 11 种物质存在于 2 种石斛中, 其中 β -罗勒烯在扭瓣石斛和鼓槌石斛中的含量均高于 1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。球花石斛中特有的挥发性成分有 5 种, 其中仅 2-戊基环戊酮和 2,2,4,6,6-五甲基庚烷的含量高于 0.1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 扭瓣石斛中特有挥发性物质有 30 种, 仅 α -愈创木烯和 δ -愈创木烯的含量高于 1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 鼓槌石斛特有的挥发性成分有 17 种, 含量均低于 1 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$; 密花石斛中特有挥发性物质为 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚, 含量为 1.09 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。

表 1 4 种石斛属植物花的挥发性成分含量[$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]

Table 1 Contents of volatile [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$] in four *Dendrobium* flowers

序号 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	CAS 号 CAS No.	球花石斛 <i>D. thyrsiflorum</i>	扭瓣石斛 <i>D. tortile</i>	鼓槌石斛 <i>D. chrysotoxum</i>	密花石斛 <i>D. densiflorum</i>
酯类 Esters							
1	6.08	氯甲酸正己酯 Hexyl chloroformate	006092-54-2	-	0.04±0.00	-	-
2	11.61	乙酸-4-己烯酯 4-Hexen-1-ol, acetate	072237-36-6	-	0.40±0.19	-	-
3	11.91	乙酸正己酯 Acetic acid, hexyl ester	000142-92-7	-	0.21±0.09	-	-
4	16.20	乙酸庚酯 Acetic acid, heptyl ester	000112-06-1	-	0.28±0.06	-	-
5	17.17	乙酸菊烯酯 Chrysanthemin acetate	050764-55-1	-	-	0.04±0.03	-
6	19.19	Butyl tiglate 2-methyl-1-	1000383-67-9	-	-	0.01±0.01	-
7	19.73	醋酸辛酯 Acetic acid, octyl ester	000112-14-1	-	6.11±1.75	0.27±0.09	-
8	20.71	3-甲基-2-丁烯酸-3-甲基丁-2-烯酯 3-Methyl-2-butenic acid, 3-methylbut-2-enyl ester	1000299-30-9	-	-	0.11±0.90	-

续表(Continued)

序号 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	CAS号 CAS No.	球花石斛 <i>D. thyrsiflorum</i>	扭瓣石斛 <i>D. tortile</i>	鼓槌石斛 <i>D. chrysotoxum</i>	密花石斛 <i>D. densiflorum</i>
9	22.28	(Z)-3-壬烯-1-醇乙酸酯 Acetic acid, non-3-enyl ester, <i>cis</i> -	013049-88-2	-	0.03±0.01	-	-
10	22.77	乙酸正壬酯 Acetic acid, nonyl ester	000143-13-5	-	0.02±0.00	-	-
11	23.15	癸酸甲酯 Decanoic acid, methyl ester	000110-42-9	-	-	0.02±0.06	-
12	23.15	(E)-己-3-烯基(E)-2-甲基丁-2-烯酸酯 (E)-Hex-3-enyl (E)-2-methylbut-2-enoate	1000373-74-1	-	0.39±0.15	-	-
13	24.70	反-4-癸烯酸乙酯 Ethyl <i>trans</i> -4-decenoate	076649-16-6	-	0.05±0.02	-	-
14	27.88	丁二酸二异丁酯 Diisobutyl succinate	001816-06-4	0.04±0.01	-	-	-
合计 Total				0.04	7.53	0.45	0.00
醇类 Alcohol							
15	4.09	4-甲基-2-戊醇 2-Pentanol, 4-methyl-	000108-11-2	0.07±0.04	-	-	-
16	5.63	反式-3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol, (E)-	000928-97-2	-	0.07±0.00	-	-
17	12.56	桉叶油醇 Eucalyptol	000470-82-6	-	-	0.11±0.08	-
18	14.45	正辛醇 Octanol	000111-87-5	-	0.29±0.13	0.35±0.11	-
19	15.63	芳樟醇 Linalool	000078-70-6	-	0.26±0.00	-	-
20	16.10	2-苯乙醇 2-Phenethyl alcohol	000060-12-8	-	-	0.02±0.02	-
合计 Total				0.07	0.62	0.48	0.00
酚类 Phenols							
21	28.16	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-Ditert-butylp-cresol	000128-37-0	0.09±0.02	0.08±0.02	-	-
22	28.16	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 2,6-Ditert-butyl-4-methylphenol	000128-37-0	-	-	-	1.09±0.23
合计 Total				0.09	0.08	0.00	1.09
酮类 Ketone							
23	13.78	2-戊基环戊酮 2-Pentylcyclopentanone	1000191-05-3	0.26±0.16	-	-	-
24	10.69	3-辛酮 3-Octanone	000106-68-3	-	0.06±0.01	-	-
25	14.13	苯乙酮 Acetophenone	000098-86-2	-	0.09±0.03	-	-
26	20.70	苄基丙酮 Benzyl acetone	002550-26-7	-	0.05±0.01	-	-
合计 Total				0.26	0.20	0.00	0.00
烷类 Alkane							
27	4.70	六甲基环三硅氧烷 Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	000541-05-9	0.45±0.02	0.19±0.04	0.08±0.05	0.31±0.16
28	10.77	2,2,4,6,6-五甲基庚烷 Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	013475-82-6	0.15±0.08	0.05±0.01	0.02±0.01	-
29	11.46	八甲基环四硅氧烷 Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	000556-67-2	0.35±0.11	0.13±0.03	0.16±0.08	-
30	15.63	1,3,3-三甲基三环[2.2.1.0(2,6)]庚烷 Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	000488-97-1	-	-	0.05±0.04	-
31	17.96	环五聚二甲基硅氧烷 Cyclopentasiloxane, decamethyl-	000541-02-6	0.20±0.07	0.07±0.01	0.05±0.02	-
32	23.36	十二甲基环己硅氧烷 Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	000540-97-6	0.06±0.02	-	-	-
33	25.23	正十四烷 Tetradecane	000629-59-4	-	0.10±0.01	-	-
34	26.03	10,10-二甲基-6-二亚甲基二环[7.2.0] 十一烷 10,10-Dimethyl-2,6- dimethylenebicyclo[7.2.0]undecane	357414-37-0	-	0.08±0.01	-	0.51±0.05
合计 Total				1.21	0.62	0.36	0.82
烯类 Alkenes							
35	8.09	α -侧柏烯 α -Thujene	002867-05-2	-	-	0.15±0.11	-
36	8.40	蒎烯 Pinene	007785-70-8	0.10±0.04	-	1.21±0.78	-
37	9.18	1-异丙基-4-亚甲基二环[3.1.0]己-2-烯 Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene- 1-(1-methylethyl)-	036262-09-6	-	-	0.04±0.03	-
38	9.99	桉烯 Sabinene	003387-41-5	-	-	0.09±0.08	-
39	10.12	β -蒎烯 β -Pinene	018172-67-3	-	-	0.23±0.17	-
40	10.86	月桂烯 Myrcene	000123-35-3	-	0.06±0.02	0.15±0.13	-

续表(Continued)

序号 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	CAS 号 CAS No.	球花石斛 <i>D. thyrsiflorum</i>	扭瓣石斛 <i>D. tortile</i>	鼓槌石斛 <i>D. chrysotoxum</i>	密花石斛 <i>D. densiflorum</i>
41	12.45	δ -柠檬烯 δ -Limonene	005989-27-5	-	0.03±0.01	0.43±0.25	-
42	12.98	(<i>E</i>)- β -罗勒烯 (<i>E</i>)- β -Ocimene	003779-61-1	-	0.04±0.00	0.11±0.05	-
43	13.44	β -罗勒烯 β -Ocimene	013877-91-3	-	2.96±1.21	5.23±3.97	-
44	13.81	Cyclopropane, 1,1-dimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)-	1000162-25-4	-	0.02±0.00	-	-
45	13.84	γ -松油烯 γ -Terpinene	000099-85-4	-	-	0.26±0.10	-
46	15.11	萜品油烯 Terpinolene	000586-62-9	-	-	0.14±0.07	-
47	16.31	(3 <i>E</i>)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯 (3 <i>E</i>)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene	019945-61-0	-	0.09±0.04	-	-
48	16.77	别罗勒烯 Alloocimene	007216-56-0	-	0.05±0.01	0.23±0.22	-
49	19.63	环辛烯 Cyclooctene	000931-88-4	-	0.19±0.11	-	-
50	24.80	3-薷烯 3-Carene	013466-78-9	-	0.11±0.05	-	-
51	25.80	β -石竹烯 β -Caryophyllene	000087-44-5	0.47±0.21	2.74±0.56	-	6.91±0.10
52	26.29	α -愈创木烯 α -Guaiene	003691-12-1	-	1.43±0.31	-	-
53	26.69	α -石竹烯 α -Caryophyllene	006753-98-6	-	0.16±0.03	-	-
54	27.53	β -芹子烯 β -Selinene	017066-67-0	-	0.24±0.10	-	-
55	27.59	Bicyclo[5.3.0]decane, 2-methylene-5-(1-methylvinyl)-8-methyl-	1000159-39-3	-	0.14±0.01	-	-
56	27.85	Guai-9,11-diene	1000374-19-8	-	0.17±0.01	-	-
57	28.01	δ -愈创木烯 δ -Guaiene	003691-11-0	-	1.25±0.08	-	-
合计 Total				0.57	9.68	8.27	6.91
醛类 Aldehydes							
58	4.03	正己醛 Hexanal	000066-25-1	-	0.03±0.01	-	-
59	9.46	苯甲醛 Benzaldehyde	000100-52-7	-	-	0.03±0.02	-
60	13.14	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	000122-78-1	-	-	0.92±1.04	-
61	16.51	2,5-二[(三甲基甲硅烷基)氧基]-苯甲醛 2,5-Dihydroxybenzaldehyde, 2TMS derivative	056114-69-3	-	0.02±0.01	-	-
合计 Total				0.00	0.05	0.95	0.00
其他 Other							
62	7.34	甲氧基苯基脒 Oxime-, methoxy-phenyl-	1000222-86-6	0.05±0.01	0.02±0.01	-	-
63	6.07	对二甲苯 <i>p</i> -Xylene	000106-42-3	0.09±0.05	-	-	-
64	12.26	邻-异丙基苯 <i>O</i> -Cymene	000527-84-4	-	-	0.04±0.02	-
65	18.23	邻氯苯腈 Benzonitrile, 2-chloro-	000873-32-5	-	-	0.02±0.01	-
66	18.23	3-氯苯腈 Benzonitrile, 3-chloro-	000766-84-7	-	0.03±0.01	-	-
67	18.58	萘 Naphthalene	000091-20-3	0.16±0.06	0.06±0.01	0.03±0.02	-
68	22.18	吲哚 Indole	000120-72-9	-	0.17±0.01	-	-
69	26.41	(1 <i>R</i> ,3 <i>a</i> S,8 <i>a</i> S)-7-Isopropyl-1,4-dimethyl-1,2,3,3 <i>a</i> ,6,8 <i>a</i> -hexahydroazulene	036577-33-0	-	0.11±0.00	-	-
70	24.86	2-Quinoxalinamine, 3-chloro-N-ethyl-	1000400-56-1	-	0.03±0.00	-	-
合计 Total				0.30	0.42	0.09	0.00

-: 未检测到。

-: Not detected.

2.2 花朵挥发性成分类别

4 种石斛鉴定出的 70 种挥发性成分, 根据化学结构可分为 8 类(表 2)。扭瓣石斛、鼓槌石斛和密花石斛均以烯类化合物的含量最高, 分别占其挥发性化合物总量的 50.42%、78.02%和 78.34%, 其次分别为酯类(39.22%)、醛类(8.96%)和酚类(12.36%)。球花石斛挥发性化合物含量最高的为烷类化合物,

占总含量的 47.64%, 烯类化合物次之(22.44%)。

3 结论和讨论

3.1 石斛盛花期花朵主要挥发性化合物

花香是由各种挥发性成分共同作用形成的, 主要包括萜烯类、酯类、醇类、烷类、酮类以及醛类

表 2 石斛属植物花朵的挥发性化合物组成

Table 2 Composition of volatiles in *Dendrobium* species

类型 Type	球花石斛 <i>D. Thyrsiflorum</i>		扭瓣石斛 <i>D. tortile</i>		鼓槌石斛 <i>D. chrysotoxum</i>		密花石斛 <i>D. densiflorum</i>	
	数量 Number	含量 Content [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	数量 Number	含量 Content [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	数量 Number	含量 Content [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	数量 Number	含量 Content [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]
酯类 Esters	1	0.04	9	7.53	5	0.45	0	0.00
醇类 Alcohol	1	0.07	3	0.62	3	0.48	0	0.00
酚类 Phenols	1	0.09	1	0.08	0	0.00	1	1.09
酮类 Ketone	1	0.26	3	0.20	0	0.00	0	0.00
烷类 Alkane	5	1.21	6	0.62	5	0.36	2	0.82
烯类 Alkenes	2	0.57	16	9.68	12	8.27	1	6.91
醛类 Aldehydes	0	0.00	2	0.05	2	0.95	0	0.00
其他 Other	3	0.30	6	0.42	3	0.09	0	0.00
合计 Total	14	2.54	46	19.20	30	10.60	4	8.82

等。蝴蝶兰 (*Phalaenopsis aphrodite*)^[9]、睡莲属 (*Nymphaea*)^[10]、栀子 (*Gardenia jasminoides*)^[11]、细茎石斛 (*D. moniliforme*)^[12] 等花的挥发性成分主要以萜烯类物质的含量最高; 藏红花 (*Crocus sativus*)^[13]、报春石斛 (*D. polyanthum*)^[14]、美花石斛 (*D. loddigesii*)^[15-16] 等花香的主要挥发性成分为酯类; 榆叶梅 (*Amygdalus triloba*)^[17]、云南细茎石斛^[18] 等花以烷类物质为主要挥发性成分; 重唇石斛 (*D. hercoglossum*)^[19]、麝香石斛^[20]、檀香石斛 (*D. superbum*)^[21] 花的主要香味成分为酮类; 文心兰 (*Oncidium hybridum*)^[22-23] 的香气主要由醛类和萜烯类物质决定; 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)^[24] 花中挥发性成分以酮类和醇类为主。

本研究中扭瓣石斛、鼓槌石斛、密花石斛盛花期花朵挥发性物质中含量最高的均为烯烃类, 说明烯烃类物质对石斛属的花香有重要的贡献。清香的球花石斛中烯烃类物质的含量仅次于烷烃。

崔娟等^[25] 采用水回流法对球花石斛干燥花进行挥发性成分分析, 共鉴定出 22 种挥发物, 以酸类为主, 主要成分包括亚油酸、亚麻酸以及棕榈酸等; 李文静等^[4] 采用水蒸气蒸馏法从干燥的球花石斛花中鉴定出 26 种挥发性成分, 其中烷类和酸类化合物含量相当, 主要成分为亚油酸、二十三烷、棕榈酸、二十五烷等, 从鼓槌石斛中提取挥发性成分 18 种, 以酸类为主, 主要成分包括棕榈油酸、亚油酸等; 黄昕蕾等^[26] 采用顶空固相微萃取法, 40 °C 萃取 30 min, 从鼓槌石斛盛花期花朵中检测到挥发性成分 31 种, 以酯类和萜烯类为主, 主要香味成分为乙酸辛酯、 α -蒎烯等; 夏科等^[27] 同样采用顶空固相微萃取法对鼓槌石斛的挥发性成分进行分析, 仅

获得 17 种, 其中萜烯类的含量占绝对优势, 主要为顺式- β -罗勒烯、(1R)-(+)- α -蒎烯等; 李崇晖等^[28] 采用顶空固相微萃取法于室温 (25 °C) 下萃取 45 min, 从鼓槌石斛中得到 20 种挥发性成分, 同样以萜烯类为主, 其中 3-蒎烯含量最高, 从密花石斛中鉴定出 15 种, 其中 2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-乙烯基-双环[5.2.0]壬烷含量高达 82%。

研究表明, 品种、花色、生理发育时期、植物材料类型、环境条件、萃取条件等因素均会导致挥发性成分的种类和含量出现显著差异^[29-32]。本研究采用固相微萃取技术获得的球花石斛的挥发性成分与前人研究存在显著差异, 可能是提取方式、植物材料的类型不同导致的; 鼓槌石斛的挥发性物质类别与前人研究相似, 主要挥发性物质存在显著差异可能是萃取头、萃取温度及时间、栽培条件不同导致的; 密花石斛的挥发性物质与前人研究存在极显著差异, 未见共有成分, 可能与采集时间、萃取温度及时间的不同有关。

3.2 主要挥发性化合物对香味的贡献

花的香味与挥发性成分的组成和含量有关, 由释放量与香气阈值的比值决定, 释放量高且阈值较低的成分对香味的贡献最大^[33]。 β -石竹烯的阈值相对较低, 为 64 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 具有淡淡的类似于丁香的香气, 同时还具有木香、辛香、柑橘以及草药的气味, 常被用于配制精仿制品和定香剂, 属于天然等同香料和人造香料^[34-36], 在球花石斛和密花石斛中的释放量最高, 被认为是二者主要的赋香成分, 但密花石斛香味比较刺鼻而球花石斛香味较清淡, 可能是由于密花石斛 β -石竹烯的释放量达到了球花石斛的 14.70 倍, 同时对扭瓣石斛的香味产生一定的影

响。醋酸辛酯的阈值为 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 在扭瓣石斛中的释放量最高, 同时也是报春石斛主要的呈香物质^[6], 具有果香、花香和草木香^[37]。 β -罗勒烯作为鼓槌石斛的主要赋香成分, 香气阈值为 34 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 是一种非常常见的植物挥发性物质, 具有花香、草本植物清香、甜香味并伴有橙花油的气息, 能够吸引植食性昆虫的天敌以及传粉者^[38-39]。同时作为扭瓣石斛的次要挥发性成分对其花朵的香味做出一定的贡献。蒎烯作为鼓槌石斛花的次要挥发性成分, 嗅感阈值较低, 具有强烈的松木样香气^[19], 对其花朵的香味产生一定的影响。

石斛花香物质成分组成十分复杂, 本研究通过对 4 种香花型石斛挥发性成分测定分析, 有助于认识香花型石斛挥发性物质并加以利用, 为石斛产品开发和香花型石斛品种栽培育种及资源开发利用提供参考。

参考文献

- [1] JI Z H, CHEN X Q, LUO Y B, et al. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 18 [M]. Beijing: Science Press, 1999: 111. [吉占和, 陈心启, 罗毅波, 等. 中国植物志, 第 18 卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 111.]
- [2] WANG W J, LÜ S J, WANG Q H, et al. Research advance on the metabolism and regulation of plant floral fragrance [J]. Mol Plant Breed, 2021, 19(22): 7612-7617. [王文静, 吕思佳, 汪庆昊, 等. 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. doi: 10.13271/j.mpb.019.007612.]
- [3] HUO X, ZHOU J H, YANG N J, et al. Determination of chemical constituents of essential oil from flower of *Dendrobium candidum* Wall. ex Lindl. [J]. China J Trad Chin Med Pharm, 2008, 23(8): 735-737. [霍昕, 周建华, 杨迺嘉, 等. 铁皮石斛花挥发性成分研究 [J]. 中华中医药杂志, 2008, 23(8): 735-737.]
- [4] LI W J, LI J J, LI G F, et al. Analysis of volatile components of four *Dendrobium* flowers by GC-MS [J]. J Chin Med Mat, 2015, 38(4): 777-780. [李文静, 李进进, 李桂锋, 等. GC-MS 分析 4 种石斛花挥发性成分 [J]. 中药材, 2015, 38(4): 777-780. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2015.04.032.]
- [5] LÜ S H, XU M, ZHANG X F, et al. Studies on volatile constituents of 11 families of *Dendrobium officinale* flowers [J]. Chin J Exp Trad Med Form, 2016, 22(6): 52-57. [吕素华, 徐萌, 张新风, 等. 11 个铁皮石斛杂交家系鲜花的挥发性成分分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(6): 52-57. doi: 10.13422/j.cnki.syfjx.2016060052.]
- [6] 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.]
- [7] SONG X M, WANG H X, MA C Y, et al. Analysis on volatile components from flower of *Dendrobium nobile* Lindl. by GC-MS [J]. J Food Sci Biotechnol, 2019, 38(9): 133-138. [宋小蒙, 王洪新, 马朝阳, 等. GC-MS 分析金钗石斛花挥发性成分 [J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(9): 133-138. doi: 10.3969/j.issn.1673-1689.2019.09.019.]
- [8] WANG Z Z, WANG Q G, TANG K X, et al. Analysis of volatile components and scent-related gene expressions of edible roses in Yunnan [J]. Plant Physiol J, 2019, 55(7): 1038-1046. [王珍珍, 王其刚, 唐开学, 等. 云南主栽食用玫瑰花香成分及关键花香基因表达分析 [J]. 植物生理学报, 2019, 55(7): 1038-1046. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2018.0452.]
- [9] 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.]
- [10] SU Q, TIAN M, WANG H Y, et al. Volatile components in flowers of 62 *Nymphaea* cultivars by GC-MS [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(4): 567-574. [苏群, 田敏, 王虹妍, 等. 睡莲属 62 个栽培种花朵挥发性成分 GC-MS 分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(4): 567-574. doi: 10.11926/jtsb.4498.]
- [11] LU L L, FAN 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.]
- [12] QIU S, ZHENG W J, XIA K, et al. Volatile components in flowers of *Dendrobium moniliforme* [J]. Guihaia, 2019, 39(11): 1482-1495. [仇硕, 郑文俊, 夏科, 等. 细茎石斛花朵挥发性成分分析 [J]. 广西植物, 2019, 39(11): 1482-1495. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201810008.]
- [13] YANG J W, XIANG J Y, ZHANG Y, et al. Analysis on flower volatile components from *Crocus sativus* L. [J]. Farm Prod Proc, 2022(7): 67-69. [杨军文, 向建英, 张媛, 等. 藏红花花瓣挥发性成分分析 [J]. 农产品加工, 2022(7): 67-69. doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2022.07.046.]
- [14] YAN P P, YE W, JIANG J L. Compounds and diurnal variation of floral scent emitted from *Dendrobium primulinum* [J]. Subtrop Plant Sci, 2020, 49(3): 168-174. [颜沛沛, 叶炜, 江金兰. 报春石斛花香气成

- 分及其日变化规律 [J]. 亚热带植物科学, 2020, 49(3): 168–174. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2020.03.002.]
- [15] YUAN M Y, WANG Y Q, LI Y Z, et al. Analysis of aroma components in *Dendrobium loddigesii* Rolfe flower by SPME-GC-MS [J]. Flavour Frag Cosmet, 2018(4): 23–25. [袁明焱, 王雅琴, 李一泽, 等. 基于 SPME-GC-MS 法分析美花石斛花的香气组成 [J]. 香料香精化妆品, 2018(4): 23–25. doi: 10.3969/j.issn.1000-4475.2018.04.005.]
- [16] 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.]
- [17] CHEN M, ZHANG J C, GAO F, et al. Determination and analysis of volatile components in flowers of *Prunus triloba* [J]. Mod Agric Sci Technol, 2021(14): 224–226. [陈敏, 张江超, 高飞, 等. 榆叶梅花香挥发性成分测定与分析 [J]. 现代农业科技, 2021(14): 224–226. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2021.14.094.]
- [18] ZHANG C, LIU S J, YANG L, et al. Determination of volatile components from flowers of *Dendrobium moniliforme* (L.) Sw. in Yunnan by GC-MS [J]. J Yunnan Agric Univ (Nat Sci), 2017, 32(1): 174–178. [张聪, 刘守金, 杨柳, 等. GC-MS 法检测云南产细茎石斛花中挥发性成分 [J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2017, 32(1): 174–178. doi: 10.16211/j.issn.1004-390X(n).2017.01.026.]
- [19] YAN P P, ZHOU J J, YE W, et al. Volatile components in flowers of *Dendrobium officinale*, *D. hercoglossum* and their hybrids [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(4): 558–566. [颜沛沛, 周建金, 叶炜, 等. 铁皮石斛和重唇石斛及其杂交子代花的挥发性成分分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(4): 558–566. doi: 10.11926/jtsb.4488.]
- [20] JULLSRIGIVAL J, SONGSAK T, KIRDMANEE C, et al. Determination of volatile constituents of Thai fragrant orchids by gas chromatography-mass spectrometry with solid-phase microextraction [J]. Chiang Mai Univ J Nat Sci, 2013, 12(1): 43–57. doi: 10.12982/CMUJ NS.2013.0005.
- [21] FLATH R A, OHINATA K. Volatile components of the orchid *Dendrobium superbum* Rchb. f. [J]. J Agric Food Chem, 1982, 30(5): 841–842. doi: 10.1021/jf00113a011.
- [22] WANG P Y, ZHENG S Z, YE W, et al. GC-MS analysis of volatile components of *Oncidium hybridum* [J]. Subtrop Agric Res, 2020, 16(3): 175–179. [王培育, 郑世仲, 叶炜, 等. 文心兰挥发性成分的 GC-MS 分析 [J]. 亚热带农业研究, 2020, 16(3): 175–179. doi: 10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2020.03.006.]
- [23] CHEN H, FAN Y P. Analysis of aroma components of *Oncidium* [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 2012, 34(4): 692–698. [陈华, 范燕萍. 文心兰花香成分的分析 [J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 692–698. doi: 10.13836/j.jjau.2012129.]
- [24] ZHANG J J, BAI Z Z, LI Y Y, et al. Analysis of volatile components from different parts of *Medicago sativa* [J]. Grassl Turf, 2019, 39(6): 11–18. [张静静, 白泽珍, 李亚勇, 等. 紫花苜蓿不同部位的挥发性成分分析 [J]. 草原与草坪, 2019, 39(6): 11–18. doi: 10.13817/j.cnki.cyycp.2019.06.002.]
- [25] CUI J, LIU S, HU J M. Determination of volatile components from flower of *Dendrobium thyrsiflorum* by GC-MS [J]. Anhui Med Pharm J, 2013, 17(1): 31–32. [崔娟, 刘圣, 胡江苗. GC-MS 法检测球花石斛花中挥发性成分 [J]. 安徽医药, 2013, 17(1): 31–32. doi: 10.3969/j.issn.1009-6469.2013.01.012.]
- [26] HUANG X L, ZHENG B Q, WANG Y. Study of aroma compounds in flowers of *Dendrobium chrysotoxum* in different florescence stages and diurnal variation of full blooming stage [J]. For Res, 2018, 31(4): 142–149. [黄昕蕾, 郑宝强, 王雁. 鼓槌石斛不同花期香气成分及盛花期香气日变化规律研究 [J]. 林业科学研究, 2018, 31(4): 142–149. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2018.04.020.]
- [27] XIA K, ZHAO Z G, WU Q F, et al. Volatile components in flowers of seven *Dendrobium* [J]. Guihaia, 2021, 41(7): 1104–1111. [夏科, 赵志国, 吴巧芬, 等. 七种石斛花朵挥发性成分分析 [J]. 广西植物, 2021, 41(7): 1104–1111. doi: 10.11931/guihaia.gxzw202003056.]
- [28] LI C H, HUANG M Z, HUANG S H, et al. Volatile components in flowers of four *Dendrobium* species [J]. J Trop Subtrop Bot, 2015, 23(4): 454–462. [李崇晖, 黄明忠, 黄少华, 等. 4种石斛属植物花朵挥发性成分分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2015, 23(4): 454–462. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.014.]
- [29] ZHANG J, ZHOU X T, HU L P, et al. SPME-GC-MS measurement of volatile in different peony varieties [J]. J NW For Univ, 2013, 28(4): 136–143. [张静, 周小婷, 胡立盼, 等. SPME-GC-MS 测定不同品种牡丹花挥发性物质成分分析 [J]. 西北林学院学报, 2013, 28(4): 136–143. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2013.04.28.]
- [30] LIN X, CHEN Z, LIU B, et al. Analysis of the volatile components from *Lagerstroemia indica* with five different flower colours by solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chin J Trop Crops, 2018, 39(10): 2074–2082. [林霞, 陈峥, 刘波, 等. 基于固相微萃取-气质联用的不同花色紫薇的挥发性物质检测 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(10): 2074–2082. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2018.10.027.]
- [31] MA W H, LI L X, SHEN J S, et al. Effects of different extraction fibers on volatile compounds of *Pyrus bretschneideri* flowers [J]. Chin Agric Sci Bull, 2020, 36(4): 147–150. [马卫华, 李立新, 申晋山, 等. 不同萃取头对鸭梨花挥发性成分的影响 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(4): 147–150. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb20190800561.]

- [32] FIGUEIREDO A C, BARROSO J G, PEDRO L G, et al. Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils [J]. *Flavour Frag J*, 2008, 23(4): 213–226. doi: 10.1002/ffj.1875.
- [33] BOONBUMRUNG S, TAMURA H, MOOKDASANIT J, et al. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow keaw mango fruits determined by limited odor unit method [J]. *Food Sci Technol Res*, 2001, 7(3): 200–206. doi: 10.3136/fstr.7.200.
- [34] WANG Q, WAN F X, MAO P, et al. Composition of essential oil from *Cupressus lusitanica* and its screened chemical characteristics [J]. *J For Engr*, 2020, 5(3): 96–100. [王侨, 万福绪, 毛萍, 等. 墨西哥柏木精油组成分析及化学特征成分筛选 [J]. *林业工程学报*, 2020, 5(3): 96–100. doi: 10.13360/j.issn.2096-1359.201907043.]
- [35] ZHANG J L, LI J, WANG J, et al. Identification of aroma-active compounds from Hangzhou *Chrysanthemum morifolium* Ramat extract [J]. *Fine Chem*, 2018, 35(11): 1905–1913. [张璟琳, 李娟, 王娟, 等. 杭白菊浸膏中香气活性成分分析 [J]. *精细化工*, 2018, 35(11): 1905–1913. doi: 10.13550/j.jxhg.20180279.]
- [36] PINO J A, MARBOT R, VÁZQUEZ C. Characterization of volatiles in strawberry guava (*Psidium cattleianum* Sabine) fruit [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(12): 5883–5887. doi: 10.1021/jf010414r.
- [37] LI T T, HUANG M Z, TANG W Y, et al. Determination of volatile components in *Rosa roxburghii* Tratt juice and the analysis of its contribution for aroma [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(4): 237–246. [李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 等. 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. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025956.]
- [38] FARRÉ-ARMENGOL G, FILELLA I, LLUSIÀ J, et al. β -Ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms [J]. *Molecules*, 2017, 22(7): 1148. doi: 10.3390/molecules22071148.
- [39] KANG Z W, LIU F H, ZHANG Z F, et al. Volatile β -ocimene can regulate developmental performance of peach aphid *Myzus persicae* through activation of defense responses in Chinese cabbage *Brassica pekinensis* [J]. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 708. doi: 10.3389/fpls.2018.00708.