

◆濒危植物化学成分多样性◆

基于 GC-MS 的 6 种石斛花朵挥发性成分分析*

徐坚旺^{1,2}, 江海都¹, 陈泰国^{1,2}, 熊忠臣¹, 韦 霄¹, 柴胜丰^{1**}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西桂林 541006; 2. 桂林医学院药学院, 广西桂林 541004)

摘要:为了解石斛(*Dendrobium*)花朵的挥发性成分, 本文以罗河石斛(*D. lohohense*)、球花石斛(*D. thyrsiflorum*)、喇叭唇石斛(*D. litui florum*)、紫瓣石斛(*D. parishii*)、黄石斛(*D. catenatum*)和始兴石斛(*D. shixingense*)的花朵为材料, 采用固相微萃取法(SPME)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术分析 6 种石斛花朵的挥发性成分的种类及其相对含量。结果显示:(1)从 6 种石斛花朵中共鉴别出 106 种挥发性物质, 主要成分为萜烯类、烷烃类、酯类等; 6 种石斛均含有萜烯类和烷烃类, 其中罗河石斛中萜烯类成分相对含量较高(88.68%), 球花石斛中烷烃类成分相对含量较高(72.38%)。(2)6 种石斛花朵均含有十甲基环戊硅氧烷, 并且该成分在球花石斛、紫瓣石斛、黄石斛和始兴石斛中的相对含量较高, 分别为 22.04%、25.86%、20.58% 和 21.66%。(3)罗河石斛花中的 α -蒎烯、 β -水芹烯和 *D*-柠檬烯相对含量较高, 分别为 26.66%、22.96% 和 13.77%; 罗勒烯在喇叭唇石斛中的相对含量高达 73.98%。综上, 6 种石斛花朵中挥发性成分种类和含量不尽相同, 个别石斛花朵的特征性挥发性成分可能是其独特香味来源之一。研究结果对香型石斛种类的选育及其衍生产品的开发具有重要参考价值。

关键词:石斛花朵; 挥发性成分; 固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: S682.31 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2023)06-1226-11

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20240125.021

石斛属(*Dendrobium*)为兰科(Orchidaceae)植物第二大属。在中国, 石斛属植物种类超过 80 种, 主要分布于云南、广西、贵州、四川、广东等省区^[1]。石斛被誉为九大仙草之首, 种类繁多, 分布地区广。不同

种类的石斛花朵具有不同的外部形态、花朵结构、颜色以及挥发性气味, 且花期长, 观赏性强, 深受国人喜爱^[2]。部分石斛除了观赏价值, 还具有较高的药用价值, 有抗癌^[3]、抗氧化^[4]等功效。植物的花香具有提

收稿日期: 2023-05-05

修回日期: 2023-06-23

* 国家重点研发计划课题(2022YFF1300703), 国家自然科学基金项目(32060248), 广西林业科技推广示范项目(桂林科字[2021]第 28 号, 2023LYKJ03), 桂林市创新平台和人才计划项目(20210102-3)资助。

【第一作者简介】

徐坚旺(1998-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事珍稀药用植物引种保育研究。

【**通信作者简介】

柴胜丰(1980-), 男, 研究员, 主要从事珍稀特色植物保育及持续利用研究, E-mail: sfchai@163.com

【引用本文】

徐坚旺, 江海都, 陈泰国, 等. 基于 GC-MS 的 6 种石斛花朵挥发性成分分析[J]. 广西科学, 2023, 30(6): 1226-1236.

XU J W, JIANG H D, CHEN T G, et al. Analysis of Volatile Components in Six Species of *Dendrobium* Flowers based on GC-MS [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(6): 1226-1236.

高观赏价值、帮助繁育、抵御侵害等作用。研究人员从植物花朵中分析出的各种挥发性物质,促进了精油、护肤品等衍生产品的开发。吕素华等^[5]采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术,从铁皮石斛(*D. officinale*)花朵中共分析出的 51 个挥发性成分以萜烯类、脂肪族类和芳香族类为主。王元成等^[6]采用 HS-SPME 结合 GC-MS 技术分析了细叶石斛(*D. hancockii*)和翅梗石斛(*D. trigonopus*)花朵的赋香成分,共发现挥发性成分 87 个,细叶石斛花朵中含有 52 个,翅梗石斛花朵中含有 35 个,且主要成分种类皆为萜烯类,二者共有的主要成分为罗勒烯和 β -石竹烯。

传统的植物挥发油成分提取方法主要有水蒸气蒸馏法(SD)、索氏提取法等^[7],传统方法成本低,但耗材过多,提取效率低。固相微萃取法(SPME)是将取样、浓缩、进样一体化,可结合其他检测仪器联合使用,具有检测快速、重现性好等特点^[8,9]。宋小蒙等^[10]分别采用 SPME 和 SD 两种方法提取金钗石斛(*D. nobile*)花朵挥发性成分,发现两种方法虽然共鉴定出 69 种化合物,但两者相差较大,其中采用 SPME 方法分析出 63 种化合物,而采用 SD 法仅分析出 24 种化合物。因此,本研究使用 SPME 法结合 GC-MS 技术,测定并分析罗河石斛(*D. lohohense*)、球花石斛(*D. thyrsiflorum*)、喇叭唇石斛(*D. lituiflorum*)、紫瓣石斛(*D. parishii*)、黄石斛(*D. catenatum*)和始兴石斛(*D. shixingense*)花朵的挥发性成分,拟为香型石斛的繁育及其精油、化妆品等衍生产品的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为栽培于广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所石斛种质资源圃的罗河石斛、球花石斛、喇叭唇石斛、紫瓣石斛、黄石斛和始兴石斛。

1.2 仪器

手动固相微萃取进样器(美国 SUPELCO 公司),50 mL 棕色螺纹取样瓶,气相色谱-质谱仪 GC-MS (6890N-5975B,美国 Agilent 公司),水浴锅(上海精学科学仪器有限公司)。

1.3 GC-MS 分析

根据不同石斛的花期,在 2022 年 5 月上旬 10:00-12:00,摘取 6 种石斛正在盛开的花朵,平均每种采摘 5 朵,放入 50 mL 棕色螺纹取样瓶中保存,

插入提前处理好的 50/30 μm PDMS/CAR/DVB 纤维头,设置温度为 40 $^{\circ}\text{C}$,顶空萃取 30 min。萃取结束,将纤维头拿出,使用 GC-MS 进行分析。每种实验重复 3 次。

色谱条件:HP-5MS 石英毛细管色谱柱(30 mm \times 0.25 mm \times 0.25 μm);流速 1 mL \cdot min⁻¹;载气为高纯度氦气(99.99%),不分流模式。程序升温:进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,起始柱温 35 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,先以 5 $^{\circ}\text{C}\cdot$ min⁻¹ 升至 80 $^{\circ}\text{C}$,再以 8 $^{\circ}\text{C}\cdot$ min⁻¹ 升至 180 $^{\circ}\text{C}$,最后以 8 $^{\circ}\text{C}\cdot$ min⁻¹ 升至 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件:进样口温度维持在 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度为 230 $^{\circ}\text{C}$,电离方式为 EI,电子能量 70 eV,GC-MS 传输线温度为 250 $^{\circ}\text{C}$,扫描范围为 30-500 amu。

1.4 鉴定方法

通过 SPME 法结合 GC-MS 技术得到 6 种石斛花朵的总离子流色谱图,将色谱图中各个波峰进行解析,得到相应的质谱图,最后使用软件 Xcalibur1.2 和美国国家标准与技术研究院(NIST98)中的标准物质谱图库及相关文献中的物质数据进行比对,用离子流峰面积归一化法计算所检测出的挥发性成分的相对含量总占比。

2 结果与分析

2.1 6 种石斛花朵中挥发性成分类别比较

根据 6 种石斛花朵中挥发性成分检测结果,共鉴别出 106 种挥发性物质,其主要成分的种类为萜烯类、烷烃类、芳香族化合物、酯类、含氮化合物、酮类、醇类(表 1)。由表 1 可知,不同种类石斛花朵挥发性成分的类别均不相同,6 种石斛花朵的挥发性成分均含有萜烯类和烷烃类,罗河石斛和喇叭唇石斛萜烯类成分的相对含量较高,分别是 88.68% 和 87.64%。球花石斛和黄石斛烷烃类成分的相对含量较高,分别为 72.38% 和 40.47%。紫瓣石斛和黄石斛的烷烃类和酯类成分相对含量较高,紫瓣石斛的含量分别为 31.42%、41.73%,黄石斛的含量分别为 40.47%、39.19%。始兴石斛与其他 5 种石斛不同,其组分中的醇类与烷烃类成分相对含量较高,分别为 44.61%、32.57%。

球花石斛花朵的挥发性成分含有 20 种物质,其中有 14 种烷烃类成分,3 种萜烯类成分,1 种酮类,2 种醇类,除烷烃类成分外,萜烯类、酮类、醇类的相对含量分别为 17.45%、5.36%、4.83%。罗河石斛的

挥发性成分含有 18 种物质, 其中有 11 种萜烯类成分, 4 种烷烃类成分, 1 种芳香族化合物, 1 种酯类成分, 1 种含氮化合物, 除萜烯类成分外, 其余挥发性成分种类相对含量分别为 7.48%、1.67%、1.29%、0.88%。喇叭唇石斛的挥发性成分所含物质最多, 有 45 种, 其中有 20 种萜烯类成分, 10 种烷烃类成分, 7 种芳香族化合物, 4 种酯类成分, 3 种酮类, 1 种醇类, 除萜烯类成分外, 其余挥发性成分种类相对含量相对较少, 分别为 3.47%、3.98%、4.42%、0.36%、0.13%。紫瓣石斛含有 13 种组分, 其中 2 种酯类和 2 种烷烃类成分相对含量较高, 分别为 41.73% 和 31.42%, 其余种类成分相对含量较低, 1 种萜烯类成分, 3 种芳香族化合物, 3 种含氮化合物, 2 种酮类, 分

表 1 6 种石斛的挥发性成分类别

Table 1 Category of volatile components in six *Dendrobium* species

组分类别 Category	罗河石斛 <i>D. lohohense</i>		球花石斛 <i>D. thyrsiflorum</i>		喇叭唇石斛 <i>D. lituiflorum</i>		紫瓣石斛 <i>D. parishii</i>		黄石斛 <i>D. catenatum</i>		始兴石斛 <i>D. shixingense</i>	
	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%	组分数/个 Number of components/ind.	含量/% Content/%
Terpenoids	11	88.68 ± 0.11Aa	3	17.45 ± 0.44Cb	20	87.64 ± 0.25Ba	1	3.21 ± 0.26Fd	3	5.17 ± 0.10Ec	4	15.35 ± 0.48Dc
Alkane	4	7.48 ± 0.06Db	14	72.38 ± 0.15Aa	10	3.47 ± 0.26Ec	2	31.42 ± 1.15Cb	5	40.47 ± 1.22Ba	3	32.57 ± 1.69Cb
Aromatic	1	1.67 ± 0.07Bc	-	-	7	3.98 ± 0.37Ab	3	4.39 ± 0.62Ad	1	1.32 ± 0.03Bd	-	-
Ester	1	1.29 ± 0.07Dd	-	-	4	4.42 ± 0.16Cb	2	41.73 ± 1.20Aa	2	39.19 ± 0.84Ba	-	-
Nitrogenous compound	1	0.88 ± 0.17Ce	-	-	-	-	3	4.90 ± 0.04Bd	7	11.13 ± 0.58Ab	-	-
Ketone	-	-	1	5.36 ± 0.31Cc	3	0.36 ± 0.14Ed	2	14.34 ± 0.87Ac	2	1.64 ± 0.02Dd	1	7.48 ± 0.11Bd
Alcohol	-	-	2	4.83 ± 0.02Bc	1	0.13 ± 0.06Cd	-	-	1	1.10 ± 0.06Cd	3	44.61 ± 1.10Aa
Total	18		20		45		13		21		11	

Note: different capital letters within the same row indicate significant differences, different lowercase letters within the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.2 6 种石斛花朵挥发性成分分析

表 2 统计了采用 SPME 结合 GC-MS 技术从 6 种石斛花朵中所检测出化合物匹配度 ≥ 80 的挥发性成分。由表 2 可知, 在 6 种石斛花朵中共检测出 106 种挥发性物质。6 种石斛花朵中均含有十甲基环戊硅氧烷, 其在罗河石斛、喇叭唇石斛中相对含量较低, 分别为 1.35%、0.96%; 在球花石斛、紫瓣石斛、黄石斛、始兴石斛中相对含量均较高, 分别为 22.04%、25.86%、20.58%、21.66%, 十甲基环戊硅氧烷是球

别为 3.21%、4.39%、4.90%、14.34%。黄石斛含有 21 种组分, 其中 5 种烷烃类和 2 种酯类成分相对含量较高, 分别为 40.47% 和 39.19%, 其余种类相对含量较低, 3 种萜烯类成分, 1 种芳香族化合物, 6 种含氮化合物, 2 种酮类, 1 种醇类, 分别为 5.17%、1.32%、11.13%、1.64%、1.10%。始兴石斛的挥发性成分含有 11 种物质, 其中 3 种烷烃类和 3 种醇类成分相对含量较高, 分别为 32.57% 和 44.61%, 其余种类相对含量较低, 4 种萜烯类成分, 1 种酮类成分, 相对含量分别为 15.35%、7.48%。结果表明, 不同种类的石斛花朵中挥发性成分类别和相对含量均存在差异, 所含类别数量和相对含量并无明显的关系。

花石斛、紫瓣石斛、黄石斛、始兴石斛的主要挥发性成分之一。罗河石斛与喇叭唇石斛的挥发性成分以萜烯类为主, α -蒎烯、 β -水芹烯、*D*-柠檬烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯在罗河石斛中相对含量较高, 分别为 26.66%、22.96%、13.77%、9.31%、6.06%; 喇叭唇石斛有 45 个挥发性成分, 罗勒烯和佛术烯是其主要成分, 二者的相对含量分别为 73.98% 和 5.66%。紫瓣石斛和黄石斛挥发性成分的主要成分为酯类和烷烃类, {双[(三甲基硅基)氧基]膦基}乙酸三甲基硅酯

为紫瓣石斛挥发性成分的主要成分, 相对含量为 41.40%; 对甲苯甲酸十八烷基酯为黄石斛挥发性成分的主要部分, 相对含量为 37.96%。始兴石斛较其他 5 种石斛不同, 3,6-二甲氧基-9-(2-苯基乙炔基) 苄-9-醇为始兴石斛挥发性成分的主要组成部分, 其相对含量为 39.86%。八甲基环四硅氧烷在球花石斛、黄石斛中均被检测到, 但相对含量较少, 分别为 1.72%、2.26%; 石竹烯在球花石斛和喇叭唇石斛中均有被检测到, 相对含量分别为 6.59%、2.61%; α -萜澄茄油烯在紫瓣石斛和黄石斛中均被检测到, 相对含量较少, 分别为 3.21% 和 1.37%; 桉树醇在黄石斛和始兴石斛中均被检测到, 相对含量较少, 分别为 1.10% 和 2.56%; (1*R*)-(+) - α -蒎烯在球花石斛和罗河石斛中均有存在, 但在球花石斛中相对含量较多, 为 9.12%, 罗河石斛中相对含量较少, 为 0.93%; 罗勒烯在喇叭唇石斛为主要成分, 但在黄石斛中相对

含量较少, 仅为 1.46%; α -蒎烯在罗河石斛和始兴石斛均有存在, 但在罗河石斛中含量较高, 在始兴石斛中含量较低, 仅为 6.52%; β -月桂烯和 *D*-柠檬烯在罗河石斛和喇叭唇石斛中均被检测到, 但其在罗河石斛中含量相对较高, 分别为 9.31% 和 13.77%, 在喇叭唇石斛中仅分别为 0.21%、0.10%。

除各石斛挥发性成分的共同组分之外, 还存在个别的特殊挥发性成分。1,3,5,7,9-五乙基环戊硅氧烷仅在喇叭唇石斛中被检测到, 其相对含量较少, 为 0.17%; 3,3-二甲基己烷仅在球花石斛中被检测到, 相对含量为 9.07%; β -水芹烯仅在罗河石斛中被检测到, 且相对含量较高, 为 22.96%。2-十三酮仅在紫瓣石斛中被检测到, 相对含量为 10.78%; 1,3,5,7,9-五乙基环五硅氧烷仅在黄石斛中被检测到, 相对含量为 11.13%。

Table 2 Analysis of volatile components in six varieties of *Dendrobium* flowers

编号 No.	化合物 Compound	保留时间/ min Retention time/min	相对含量/% Relative content/%					
			<i>D. loho-</i> <i>hense</i>	<i>D. thyrsi-</i> <i>florum</i>	<i>D. litui-</i> <i>florum</i>	<i>D. pari-</i> <i>shii</i>	<i>D. caten-</i> <i>atum</i>	<i>D. shixin-</i> <i>gense</i>
1	Decamethylcyclopentasiloxane	21.955	1.35 ± 0.16c	22.04 ± 0.24b	0.96 ± 0.10c	25.86 ± 1.59a	20.58 ± 0.14b	21.66 ± 1.13b
2	1,3,5,7,9-Pentaethylcyclopentasiloxane	28.137	—	—	0.17 ± 0.02	—	—	—
3	Octamethylcyclotetrasiloxane	15.861	—	1.72 ± 0.05	—	—	2.26 ± 0.34	—
4	Limonene	15.320	1.82 ± 0.09	—	—	—	—	—
5	(1 <i>R</i>)-(+) - α -Pinene	17.993	0.93 ± 0.10	9.12 ± 0.95	—	—	—	—
6	2-Methyl-5-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	18.196	3.04 ± 0.70	—	—	—	—	—
7	α -Pinene	18.644	26.66 ± 1.45	—	—	—	—	6.52 ± 0.11
8	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	20.843	1.41 ± 0.47	—	—	—	—	—
9	β -Pinene	21.194	1.62 ± 0.03	—	0.03 ± 0.01	—	—	—
10	β -Myrcene	21.760	9.31 ± 0.94	—	0.21 ± 0.03	—	—	—
11	α -Phellandrene	23.042	6.06 ± 0.23	—	—	—	—	—
12	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	24.407	1.67 ± 0.29	—	0.14 ± 0.07	—	—	—
13	<i>D</i> -Limonene	24.805	13.77 ± 1.79	—	0.10 ± 0.01	—	—	—
14	β -Phellandrene	24.961	22.96 ± 1.09	—	—	—	—	—
15	Ethenylcyclohexane	27.181	1.52 ± 0.11	—	—	—	—	—
16	Undecane	29.587	2.74 ± 0.87	—	—	—	—	—

续表

Continued table

编号 No.	化合物 Compound	保留时间/ min Retention time/min	相对含量/% Relative content/%					
			<i>D. loho-</i> <i>hense</i>	<i>D. thyrsi-</i> <i>florum</i>	<i>D. litui-</i> <i>florum</i>	<i>D. pari-</i> <i>shii</i>	<i>D. caten-</i> <i>atum</i>	<i>D. shixin-</i> <i>gense</i>
17	2-Hydroxy-benzoicacimethylester	34.742	1.29 ± 0.34	—	—	—	—	—
18	Dodecane	34.932	1.87 ± 0.61	—	0.14 ± 0.05	—	—	—
19	(3-Methoxy-phenyl)-(6-methyl-4-phenyl-quinazolin-2-yl)-amine	39.161	0.88 ± 0.14	—	—	—	—	—
20	[1S-(1 α , 4 α , 7 α)]-1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-4,7-methanoazulene	46.003	1.10 ± 0.22	—	—	—	—	—
21	(<i>E</i>)-3,7-dimethylocta-1,3,6-triene	18.386	—	—	0.70 ± 0.21	—	—	—
22	3-Octanone	21.418	—	5.36 ± 0.36	—	—	—	—
23	Heptadecane	27.786	—	3.15 ± 1.21	—	—	—	—
24	Octane,3,4,5,6-tetramethyl-	28.171	—	3.28 ± 0.40	—	—	—	—
25	2,7-Dimethylundecane	28.302	—	1.82 ± 0.09	—	—	—	—
26	3,3-Dimethylhexane	28.615	—	9.07 ± 1.80	—	—	—	—
27	2-Ethyl-1-dodecanol	28.750	—	2.28 ± 0.17	—	—	—	—
28	3,5-Dimethylundecane	28.919	—	1.40 ± 0.66	—	—	—	—
29	Tridecane	29.215	—	4.26 ± 0.07	—	—	—	—
30	2,6-Dimethylundecane	29.355	—	1.48 ± 0.29	—	—	—	—
31	2-Methyldecane	29.503	—	5.46 ± 0.20	—	—	—	—
32	Heptadecane	30.222	—	6.23 ± 1.56	—	—	—	—
33	2,4,6-Trimethyloctane	30.463	—	6.39 ± 0.35	0.06 ± 0.02	—	—	—
34	1-Octanol,2-butyl-	30.535	—	2.55 ± 0.66	—	—	—	—
35	3,7-Dimethylundecane	30.907	—	1.89 ± 0.91	—	—	—	—
36	3,5,5-Trimethyl-2-hexene	31.537	—	1.74 ± 0.11	—	—	—	—
37	Silane, [1,2,3-benzenetriyltris(oxy)]tris[trimethyl-	39.153	—	4.19 ± 0.14	—	—	—	—
38	Caryophyllene	44.168	—	6.59 ± 0.17	2.61 ± 0.15	—	—	—
39	Hexamethylcyclotrisiloxane	12.145	—	—	0.03 ± 0.01	—	3.78 ± 0.34	—
40	3,5-Ethanoquinolin-10-one, decahydro-1,7-dimethyl-, (3 <i>R</i> -(3 α , 4 $\alpha\beta$, 5 α , 7 β , 8 $\alpha\beta$))-	12.174	—	—	0.03 ± 0.02	—	—	—

续表

Continued table

编号 No.	化合物 Compound	保留时间/ min Retention time/min	相对含量/% Relative content/%					
			<i>D. lolo-</i> <i>hense</i>	<i>D. thyrsi-</i> <i>florum</i>	<i>D. litui-</i> <i>florum</i>	<i>D. pari-</i> <i>shii</i>	<i>D. caten-</i> <i>atum</i>	<i>D. shixin-</i> <i>gense</i>
41	2-Heptanone	16.064	-	-	0.06 ± 0.02	-	-	-
42	Benzoic acid, 3-methyl-2-trimethylsilyloxy-, trimethylsilyl ester	21.054	-	-	0.03 ± 0.01	-	-	-
43	3-Carene	22.682	-	-	0.06 ± 0.02	-	-	-
44	3-Oxatricyclo[3.2.1.0 ^{2,4}]octane, (1 α , 2 β , 4 β , 5 α)-	23.680	-	-	0.03 ± 0.01	-	-	-
45	Ocimene	26.365	-	-	73.98 ± 2.74	-	1.46 ± 0.15	-
46	α -Terpinolene	26.754	-	-	0.25 ± 0.06	-	-	-
47	3,4-Dimethylpyridine	28.179	-	-	0.02 ± 0.01	-	-	-
48	Bicyclo(2.2.1)heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	28.349	-	-	0.04 ± 0.02	-	-	-
49	1,3-Cyclopentadiene, 5,5-dimethyl-2-propyl-	29.025	-	-	0.04 ± 0.02	-	-	-
50	1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl butyrate	29.609	-	-	0.41 ± 0.16	-	-	-
51	2,5-Dimethylpyridine	29.867	-	-	0.04 ± 0.01	-	-	-
52	(<i>E</i>)-2-Butenoic acid, 2-(methylene-cyclopropyl)prop-2-yl ester	30.395	-	-	3.95 ± 0.69	-	-	-
53	(<i>E, Z</i>)-2,6-Dimethylocta-2,4,6-triene	31.233	-	-	1.25 ± 0.14	-	-	-
54	3-Methylundecane	33.470	-	-	0.02 ± 0.01	-	-	-
55	3,5-Dimethoxytoluene	37.986	-	-	2.57 ± 0.07	-	-	-
56	2,4-Hexadiene, (<i>E, Z</i>)-	40.147	-	-	0.15 ± 0.05	-	-	-
57	N-Caprylic acid isobutyl ester [1 <i>R</i> -(1 α , 5 α , 6 β)]	42.544	-	-	0.03 ± 0.01	-	-	-
58	Bicyclo(3.1.1)heptane, 6-methyl-2-methylene-6-(4-methyl-3-pentenyl)-, [1 <i>R</i> -(1 α , 5 α , 6 β)]	42.764	-	-	1.78 ± 0.10	-	-	-
59	Cyclohexane, 1-Ethenyl-1-Methyl-2,4-Bis(1-Methylethenyl)	42.929	-	-	0.24 ± 0.07	-	-	-
60	α -Cedrene	44.109	-	-	0.05 ± 0.02	-	-	-
61	1-Methoxymethylcyclooctatetraene	44.168	-	-	0.02 ± 0.01	-	-	-
62	Bicyclo(3.1.1)hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-	44.434	-	-	1.15 ± 0.19	-	-	-
63	Cyclohexene, 3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-, (<i>S</i> -(<i>R</i> *, <i>S</i> *))-	44.671	-	-	0.16 ± 0.04	-	-	-
64	1,4-Hexadiene, 3,3,5-trimethyl	44.921	-	-	0.11 ± 0.03	-	-	-

续表

Continued table

编号 No.	化合物 Compound	保留时间/ min Retention time/min	相对含量/% Relative content/%					
			<i>D. loho-</i> <i>hense</i>	<i>D. thyrsi-</i> <i>florum</i>	<i>D. litui-</i> <i>florum</i>	<i>D. pari-</i> <i>shii</i>	<i>D. caten-</i> <i>atum</i>	<i>D. shixin-</i> <i>gense</i>
65	α -Longipinene	45.927	-	-	0.57 ± 0.20	-	-	-
66	Benzene, 1-methyl-4-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)-	46.05	-	-	0.37 ± 0.05	-	-	-
67	4 α -Methyl-1-methylene-7-(1-methylethylidene) decahydronaphthalene	46.346	-	-	0.28 ± 0.02	-	-	-
68	Eremophilene	46.591	-	-	5.66 ± 1.25	-	-	-
69	2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	46.781	-	-	0.56 ± 0.07	-	-	-
70	α -Panasinsen	47.559	-	-	0.29 ± 0.11	-	-	-
71	Nerolidol	48.515	-	-	0.13 ± 0.04	-	-	-
72	2-Dodecanone	52.507	-	-	0.27 ± 0.09	-	-	7.48 ± 1.77
73	Valencene	53.598	-	-	0.25 ± 0.03	-	-	-
74	2-phenyl-1-benzopyrylium	12.013	-	-	-	0.93 ± 0.24	-	-
75	2-Chloroaniline-5-sulfonic acid	12.132	-	-	-	1.87 ± 0.37	-	-
76	2-Propenamide	15.823	-	-	-	0.78 ± 0.02	1.13 ± 0.12	-
77	Butanimidamide	28.894	-	-	-	2.25 ± 0.39	-	-
78	Oxalic acid, isobutyl pentyl ester	34.911	-	-	-	0.33 ± 0.03	-	-
79	2-Undecanone	38.958	-	-	-	3.56 ± 1.45	-	-
80	Acetic acid, [bis[(trimethylsilyl)oxy] phosphinyl]-, trimethylsilyl ester	39.148	-	-	-	41.40 ± 2.66	-	-
81	α -Cubebene	41.322	-	-	-	3.21 ± 0.07	1.37 ± 0.52	-
82	Tetrakis(trimethylsilyloxy)silane	45.166	-	-	-	5.56 ± 0.30	-	-
83	2-Tridecanone	46.308	-	-	-	10.78 ± 2.60	-	-
84	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	47.327	-	-	-	2.66 ± 0.07	1.32 ± 0.14	-
85	2-(5-isoxazolyl)phenol	47.851	-	-	-	0.80 ± 0.09	-	-
86	2-Methylbutyric acid methyl ester	10.339	-	-	-	-	1.23 ± 0.22	-
87	Acetaldoxime	10.373	-	-	-	-	0.31 ± 0.09	-
88	2-Methyl-4,5-dihydrooxazole	10.423	-	-	-	-	1.95 ± 0.02	-

续表

Continued table

编号 No.	化合物 Compound	保留时间/ min Retention time/min	相对含量/%Relative content/%					
			<i>D. lolo-</i> <i>hense</i>	<i>D. thyrsi-</i> <i>florum</i>	<i>D. litui-</i> <i>florum</i>	<i>D. pari-</i> <i>shii</i>	<i>D. caten-</i> <i>atum</i>	<i>D. shixin-</i> <i>gense</i>
89	Indole-2-one, 2, 3-dihydro- <i>N</i> -hydroxy-4-methoxy-3,3-dimethyl-	12.017	-	-	-	-	1.02 ± 0.06	-
90	Eucalyptol	25.012	-	-	-	-	1.10 ± 0.42	2.56 ± 0.21
91	2,3,4,5-Tetrahydropyridazine	26.585	-	-	-	-	1.82 ± 0.13	-
92	1,3,5,7,9-Pentaethylcyclopentasiloxane	39.153	-	-	-	-	11.13 ± 0.09	-
93	Butanamide	39.241	-	-	-	-	0.63 ± 0.05	-
94	Decyloxirane	39.254	-	-	-	-	2.72 ± 1.10	-
95	3-Aminocrotononitrile	39.330	-	-	-	-	4.81 ± 0.31	-
96	2,5-Dimethylbenzenamine	42.295	-	-	-	-	0.48 ± 0.21	-
97	Copaene	42.489	-	-	-	-	2.34 ± 0.18	-
98	5,10-Dihydro-5-(3-(methylamino)propyl)-11 <i>H</i> -dibenzo(<i>B,E</i>)(1,4)diazepin-11-one	45.174	-	-	-	-	0.62 ± 0.15	-
99	<i>P</i> -toluic acid, octadecyl ester	57.323	-	-	-	-	37.96 ± 1.74	-
100	Ethyl alcohol	6.516	-	-	-	-	-	2.19 ± 0.19
101	Fluorene-9-ol, 3,6-dimethoxy-9-(2-phenylethynyl)-	39.165	-	-	-	-	-	39.86 ± 1.18
102	3,3,7,7-Tetramethyl-5-(2-methyl-1-propenyl)tricyclo[4.1.0.0 _{2,4}]heptane	42.946	-	-	-	-	-	7.31 ± 1.98
103	Azulene, 1,2,3,5,6,7,8,8 <i>A</i> -octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, (1 <i>S</i> -(1 <i>α</i> ,7 <i>α</i> ,8 <i>β</i>))-	44.578	-	-	-	-	-	2.85 ± 0.09
104	Dodecamethylpentasiloxane	45.170	-	-	-	-	-	3.60 ± 0.07
105	Cis-(-)-2,4 <i>a</i> ,5,6,9 <i>a</i> -Hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl(1 <i>H</i>)benzocycloheptene	46.016	-	-	-	-	-	5.19 ± 0.34
106	Camphene	46.811	-	-	-	-	-	0.79 ± 0.19

Note: different lowercase letters within the same row indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 6种石斛花朵中主要赋香成分

花香是由花朵自然产生的一种芳香物质,属于植物释放的次级代谢产物。不同的花香含有不同的挥发性物质,其中相对含量较高且香气值(释放浓度/嗅觉阈值)较大的挥发性物质,可推测其为香味的主要赋香成分^[11,12]。研究报道,十甲基环戊硅氧烷以及

硅氧烷化合物被广泛用于化妆品、精油等个人洗护产品中的芳香剂、除臭剂等^[13-15]。 α -蒎烯、 β -水芹烯、*D*-柠檬烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯、石竹烯、罗勒烯、佛术烯等物质为香味的主要赋香成分,可提供丰富的香气^[16,17]。罗勒烯具有植物香味并伴有橙花油气息,甜香味强烈,常被作为各种精油产品的香味添加剂^[18]; *D*-柠檬烯为单环单萜烯,似甜橙清新香味,有抗炎、抗菌等药理作用^[19,20],香气阈值为 10 g/

m³^[21];月桂烯具有清淡的香脂气味,有抗炎、抗氧化等药理作用^[22,23],香气阈值为13-15 g/m³^[21];石竹烯为辛香、木香和温和的丁香香味,让人心旷神怡,具有平喘、消痰等药理作用^[24-27]。各种酯类物质也是花香的重要组成部分,例如苯甲酸甲酯具有清新的甜香味^[28],水杨酸甲酯具有特殊草药气味,且有消炎、止痛等药理作用^[29]。

α -蒎烯、 β -水芹烯、*D*-柠檬烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯在罗河石斛中相对含量较高,分别为26.66%、22.96%、13.77%、9.31%、6.06%, α -蒎烯、 β -水芹烯可能是罗河石斛的主要赋香成分,*D*-柠檬烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯为次要赋香成分。十甲基环戊硅氧烷、(1*R*)-(+) - α -蒎烯、石竹烯在球花石斛中相对含量较高,分别为22.04%、9.12%、6.59%,其中十甲基环戊硅氧烷可能是球花石斛的主要赋香成分之一,(1*R*)-(+) - α -蒎烯、石竹烯可能是其次要赋香成分。罗勒烯在喇叭唇石斛中的相对含量高达73.98%,这一成分可能是其独特的赋香成分。紫瓣石斛、黄石斛和始兴石斛均被检测出独特的挥发性成分,{双[(三甲基硅基)氧基]膦基}乙酸三甲基硅酯在紫瓣石斛中相对含量为41.40%,可能是其特征香气成分;黄石斛中对甲苯甲酸十八烷基酯的相对含量为37.96%,可能是其主要独特的香气成分;3,6-二甲氧基-9-(2-苯基乙炔基)苄-9-醇是始兴石斛中的特征性成分,相对含量为39.86%,可能是其主要赋香成分之一。

3.2 6种石斛花朵中挥发性成分差异分析

本研究主要采用SPME法结合GC-MS技术分析了6种石斛花朵的挥发性成分种类及其相对含量,共鉴别出106种挥发性物质,主要成分种类为萜烯类、烷烃类、芳香族化合物、酯类、含氮化合物、酮类、醇类。6种石斛花朵中挥发性成分检测数量为11-45种,个别石斛存在较大差异。始兴石斛鉴别出11种成分,含有独特的挥发性成分,其主要成分为醇类,而这类物质在其他5种石斛中含量极小或者未被检测出来。喇叭唇石斛挥发性成分较其他石斛复杂,具体体现在挥发性成分数量较多,共鉴定出45种香气成分,同时含有6类挥发性成分,其主要成分为萜烯类。黄石斛所含挥发性成分类别最多,有7类挥发性成分,但其香气成分只有21种,其主要成分为烷烃类和酯类。球花石斛主要的挥发性成分为烷烃类,罗河石斛和喇叭唇石斛较为相近,主要的挥发性成分为萜烯类。紫瓣石斛和黄石斛均以烷烃类和酯类为主。6种石斛的挥发性成分差异较大,仅十甲基环戊硅氧烷

为其共有成分,且每种石斛主要香气成分皆不相同。十甲基环戊硅氧烷在球花石斛、紫瓣石斛、黄石斛、始兴石斛中含量均较高,但在罗河石斛和喇叭唇石斛中含量极小。曹桦等^[30]对4种香花型石斛盛花期花朵的挥发性成分进行测定和分析,共鉴定出挥发性成分80种,其中共有挥发性成分仅有2种,4种香花型石斛的挥发性成分及相对含量具有明显差异,均含有其特征香气成分。王元成等^[31]采用SPME法结合GC-MS技术研究5种石斛花朵的挥发性成分,共鉴定出110个成分,花香成分以萜烯类化合物为主,其中罗勒烯、*D*-柠檬烯、芳樟醇相对含量较高;检测的棒节石斛(*D. findlayanum*)的独有成分有14个,5种石斛花朵之间的挥发性成分存在明显差异。颜沛沛等^[32]研究1 d内6个不同时间点报春石斛(*D. polyanthum*)花朵中挥发性成分的相对含量变化,发现乙酸乙酯在下午时间段的相对含量较高,但是王元成等^[31]在上午采样中,并未发现此成分,其余主要成分大致相同。李崇晖等^[33]研究鼓槌石斛(*D. chryso-toxum*)和细叶石斛(*D. hancockii*)花朵中3-萜烯的相对含量均最高,均未检测到顺式- β -罗勒烯,(1*R*)-(+) - α -蒎烯在鼓槌石斛中含量极低,石竹烯在细叶石斛中未被检测出。夏科等^[34]检测到的鼓槌石斛中顺式- β -罗勒烯和(1*R*)-(+) - α -蒎烯含量较高,但并未检测到3-萜烯,细叶石斛中顺式- β -罗勒烯和石竹烯相对含量较高。李崇晖等^[33]与夏科等^[34]对相同种的石斛的香气成分检测结果存在差异。

这些研究结果表明,石斛属不同种之间的花朵挥发性成分数量和含量均存在差异,甚至相同种石斛挥发性成分检测也可能存在差异,原因可能是石斛种植地域和生长环境因子的不同,也可能是对石斛花朵挥发性成分提取的方法不同,还可能是石斛花朵中挥发性成分以及含量会随着开花时间的变化而变化,不同的采样时间也会导致挥发性成分存在差异。

4 结论

本研究采用SPME法结合GC-MS技术,分析了6种石斛花朵的挥发性成分种类及其相对含量。共鉴别出106种挥发性物质,主要成分种类为萜烯类、烷烃类、芳香族化合物、酯类、含氮化合物、酮类、醇类。6种石斛花朵的挥发性成分均含有萜烯类和烷烃类,并且这两类成分均为6种石斛花朵的主要挥发性成分。6种石斛均含有十甲基环戊硅氧烷,但相对含量存在差异。球花石斛主要赋香成分为十甲基环

戊硅氧烷;罗河石斛主要特征香气成分为 α -蒎烯、 β -水芹烯;喇叭唇石斛的独特香气成分为罗勒烯;紫瓣石斛的主要赋香成分为{双[(三甲基硅基)氧基]膦基}乙酸三甲基硅酯和十甲基环戊硅氧烷;黄石斛的主要特征香气成分为对甲苯甲酸十八烷基酯和十甲基环戊硅氧烷;始兴石斛的独特香气成分为 3,6-二甲氧基-9-(2-苯基乙炔基)苄-9-醇和十甲基环戊硅氧烷。不同种类的石斛花朵挥发性成分不同,主要成分的组成和相对含量存在较大差异,研究结果对香型石斛种类的选育及其衍生产品的开发具有重要参考价值。

参考文献

- [1] 顺庆生,魏刚,王雅君. 石斛类药材品种的历史和现状[J]. 中药新药与临床药理,2017,28(6):838-843.
- [2] 李振坚,聂雪婷. 八种珍稀的观赏石斛[J]. 花木盆景(花卉园艺),2022(2):4-9.
- [3] 李健,王美娜,赵美丽,等. 石斛属植物抗肿瘤活性成分及其机制研究进展[J]. 广西植物,2021,41(10):1730-1745.
- [4] 徐悦,刘宏程,李鲜. 石斛化学成分、指纹图谱及药理活性研究进展[J]. 中国中医药信息杂志,2019,26(2):129-132.
- [5] 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.
- [6] 王元成,曾艺芸,李振坚,等. 细叶石斛和翅梗石斛花朵赋香成分的 GC-MS 分析[J]. 林业科学研究,2020,33(3):116-123.
- [7] 张志军,刘西亮,李会珍,等. 植物挥发油提取方法及应用研究进展[J]. 中国粮油学报,2011,26(4):118-122.
- [8] 娄方明,李群芳,黄燮南,等. 固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析吴茱萸挥发油成分[J]. 药物分析杂志,2010,30(7):1248-1253.
- [9] 吴彩霞,刘红丽,卢素格,等. 固相微萃取法与水蒸气蒸馏法提取蜘蛛香挥发油成分的比较[J]. 中国药房,2008,19(12):918-920.
- [10] 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.
- [11] 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 Science and Technology Research, 2001, 7(3): 200-206.
- [12] 金蕾,杨美玲,王纪忠. 植物花香物质代谢的研究进展[J]. 现代园艺,2019(5):8-10.
- [13] 张松林,吴丽华. 环甲基硅氧烷的环境分布、行为与效应研究进展[J]. 生态毒理学报,2016,11(3):72-85.
- [14] WANG R, MOODY R P, KONIECKI D, et al. Low molecular weight cyclic volatile methylsiloxanes in cosmetic products sold in Canada; implication for dermal exposure [J]. Environment International, 2009, 35(6): 900-904.
- [15] HORII Y, KANNAN K. Survey of organosilicone compounds, including cyclic and linear siloxanes, in personal-care and household products [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2008, 55(4): 701-710.
- [16] PINO J A, MARBOT R, VÁZQUEZ C. Characterization of volatiles in strawberry guava (*Psidium cattleianum* Sabine) fruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(12): 5883-5887.
- [17] TU N T M, ONISHI Y, CHOI H, et al. Characteristic odor components of *Citrus sphaerocarpa* Tanaka (Kabosu) cold-pressed peel oil [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(10): 2908-2913.
- [18] 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.
- [19] LESGARDS J F, BALDOVINI N, VIDAL N, et al. Anticancer activities of essential oils constituents and synergy with conventional therapies: a review [J]. Phytotherapy Research, 2014, 28(10): 1423-1446.
- [20] BACANLI M, ANLAR H G, AYDIN S, et al. D-limonene ameliorates diabetes and its complications in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 110: 434-442.
- [21] 郝瑞杰. 植物花香研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2014.
- [22] RAO V S N, MENEZES A M S, VIANA G S B. Effect of myrcene on nociception in mice [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 1990, 42(12): 877-878.
- [23] RUFINO A T, RIBEIRO M, SOUSA C, et al. Evaluation of the anti-inflammatory, anti-catabolic and pro-anabolic effects of E-caryophyllene, myrcene and limonene in a cell model of osteoarthritis [J]. European Journal of Pharmacology, 2015, 750: 141-150.
- [24] BANDEIRA REIDEL R V, MELAI B, CIONI P, et al. Aroma profile of *Rubus ulmifolius* flowers and fruits during different ontogenetic phases [J]. Chemistry & Biodiversity, 2016, 13(12): 1776-1784.
- [25] 刘晓宇,陈旭冰,陈光勇. β -石竹烯及其衍生物的生物活性与合成研究进展[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(1): 104-110.
- [26] YOO H, JWA S. Efficacy of β -caryophyllene for periodontal disease related factors [J]. Archives of Oral Bi-

- ology, 2019, 100: 113-118.
- [27] BAHI A, AL MANSOURI S, AL MEMARI E, et al. β -Caryophyllene, a CB2 receptor agonist produces multiple behavioral changes relevant to anxiety and depression in mice [J]. *Physiology & Behavior*, 2014, 135: 119-124.
- [28] FENG Y, ZHANG A J. A floral fragrance, methyl benzoate, is an efficient green pesticide [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 42168.
- [29] 钱敏, 宋冬梅, 乐健. 复方水杨酸甲酯苯海拉明喷雾剂中5个活性成分的含量测定[J]. *药物分析杂志*, 2023, 43(1): 70-76.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.

Analysis of Volatile Components in Six Species of *Dendrobium* Flowers based on GC-MS

XU Jianwang^{1,2}, JIANG Haidu¹, CHEN Taiguo^{1,2}, XIONG Zhongchen¹, WEI Xiao¹, CHAI Shengfeng^{1* * *}

(1. Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Pharmacy, Guilin Medical University, Guilin, Guangxi, 541004, China)

Abstract: *Dendrobium* flowers are distinct in term of external shape, flower structure, color and volatile phytochemicals. To unravel the volatile component constitution with potential beneficial effects on human health in different *Dendrobium* flowers, we applied solid phase microextraction (SPME) combined with gas chromatography mass spectrometry (GC-MS). *D. lohohense*, *D. thyrsoflorum*, *D. lituiflorum*, *D. parishii*, *D. catenatum* and *D. shixingense* were selected as representative materials in this study. Our results showed that: (1) A total of 106 volatile compounds were identified from 6 species of *Dendrobium*. The main components are terpenes, alkanes, esters, etc, among which, the relative content of terpenoids in *D. lohohense* was higher (88.68%); while *D. thyrsoflorum* had a higher relative content of alkane components (72.38%). (2) Decamethylcyclotrisiloxane was ubiquitous in the flower of six species, higher level of which was found in *D. thyrsoflorum*, *D. parishii*, *D. catenatum* and *D. shixingense*, with 22.04%, 25.86%, 20.58% and 21.66%. (3) The amount of α -pinene, β -phellandrene and D-limonene in *D. lohohense* flowers were relatively abundant, with 26.66%, 22.96% and 13.77%, respectively. The relative content of basil in *D. lituiflorum* reached 73.98%. In summary, compositions and contents of volatile components in six species of *Dendrobium* flowers are different, and individual *Dendrobium* has characteristic volatile components, which may be one of its unique sources of aroma. The results of this study are of reference value for the breeding of fragrant *Dendrobium* species and the development of derivative products.

Key words: *Dendrobium* flower, volatile components, solid phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry

责任编辑: 陆雁, 陈少凡