



## 铁皮石斛和重唇石斛及其杂交子代花的挥发性成分分析

颜沛沛, 周建金, 叶炜, 江金兰, 王培育

引用本文:

颜沛沛,周建金,叶炜,江金兰,王培育. 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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4488>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### [4种石斛属植物花朵挥发性成分分析](#)

Volatile Components in Flowers of Four *Dendrobium* Species

热带亚热带植物学报. 2015(4): 454–462 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.014>

#### [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>

#### [铁皮石斛花总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>

#### [海南石斛化学成分研究](#)

Chemical Constituents from *Dendrobium hainanense*(Orchidaceae) in Hainan

热带亚热带植物学报. 2015(3): 317–322 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.03.013>

#### [嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析](#)

Volatile Components in Flowers, Fruits and Leaves of *Jaboticaba* at Different Developmental Stages

热带亚热带植物学报. 2022, 30(3): 423–433 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4451>

[向下翻页，浏览PDF全文](#)

# 铁皮石斛和重唇石斛及其杂交子代花的挥发性成分分析

颜沛沛, 周建金, 叶炜, 江金兰\*, 王培育

(三明市农业科学研究院, 福建 三明 365000)

**摘要:** 为阐明铁皮石斛和重唇石斛及其杂交后代 14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 花挥发性成分的变化, 采用静态顶空气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对石斛花进行检测。结果表明, 从石斛花中检测出 81 种挥发性成分, 包括烯、酮、醛、烷几大类, 铁皮石斛、重唇石斛、14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 分别有 23、12、21、33、23 和 35 种。铁皮石斛花的主成分是  $\alpha$ -蒎烯, 重唇石斛花是 2-十五烷酮, 4 个子代花中均含有这 2 种来自亲本的特征成分,  $\alpha$ -蒎烯是子代共同的主成分。亲本和子代石斛花共有成分是正己醛。子代 14L-3、14L-6、14L-9 均与母本铁皮石斛相似性高, 相似性以 14L-3>14L-6>14L-9, 与父本差异性大。14L-7 与亲本相似度最均衡。这为石斛育种研究提供了指导。

**关键词:** 石斛; 花; 挥发性成分; 正己醛;  $\alpha$ -蒎烯; 2-十五烷酮

doi: 10.11926/jtsb.4488

## Volatile Components in Flowers of *Dendrobium officinale*, *D. hercoglossum* and Their Hybrids

YAN Peipei, ZHOU Jianjin, YE Wei, JIANG Jinlan\*, WANG Peiyu

(Sanming Academy of Agricultural Sciences, Sanming 365000, Fujian, China)

**Abstract:** To clarify the changes in volatile components of *Dendrobium officinale*, *D. hercoglossum* and their hybrid strains (14L-3, 14L-6, 14L-7 and 14L-9), their flowers were detected by static headspace combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technology. The results showed that there were 81 volatile components detected, including olefins, ketones, aldehydes, and alkanes. Among them, there are 23 compounds in *D. officinale*, 12 in *D. hercoglossum*, 21 in 14L-3, 33 in 14L-6, 23 in 14L-7, and 35 in 14L-9. The main component in *D. officinale* flower was  $\alpha$ -pinene, and that in *D. hercoglossum* was 2-pentadecanone.  $\alpha$ -Pinene was the main component common in the four hybrids. The parents and hybrids contain hexanal. The hybrids 14L-3, 14L-6, and 14L-9 had high similarity with the female parent *D. officinale* in the order of 14L-3>14L-6>14L-9, they are quite different from the male parent *D. hercoglossum*. 14L-7 has the most balanced similarity with the parents. Therefore, these would provide guidance for breeding of *Dendrobium*.

**Key words:** *Dendrobium*; Flower; Volatile component; Hexanal;  $\alpha$ -Pinene; 2-Pentadecanone

石斛是兰科(Orchidaceae)石斛属(*Dendrobium*)多年生附生草本植物, 是我国传统名贵药材, 在我国南方各省均有分布, 主要用于阴伤津亏、口干烦

渴、食少干呕、病后虚热和目暗不明等<sup>[1]</sup>。石斛自身生理性质特殊, 种子没有胚乳, 自然条件下难以萌发, 繁殖能力低, 生长缓慢, 野生资源长期过度

收稿日期: 2021-07-26

接受日期: 2021-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31501802); 福建省自然科学基金项目(2017J01153); 三明市科技专项(2020-N-6)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31501802); the Project for Natural Science in Fujian (Grant No. 2017J01153); and the Project for Science and Technology in Sanming City (Grant No. 2020-N-6).

作者简介: 颜沛沛(1989 生), 女, 硕士, 助理研究员, 从事药用植物生理与化学研究。E-mail: woshiyanpeipei@126.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 420465520@qq.com

挖采, 已濒临灭绝<sup>[2]</sup>。为满足市场需求, 人工栽培石斛范围不断扩大, 培育石斛新品种的工作也越来越重要。石斛花非石斛传统药用部位, 多用于观赏或茶饮<sup>[3]</sup>, 其花产量较大, 色彩艳丽、姿态优美, 与卡特兰(*Cattleya* sp.)、蝴蝶兰(*Phalaenopsis* sp.)、文心兰(*Oncidium* sp.)并列为世界四大观赏洋兰<sup>[4]</sup>, 且花中含有多种挥发油, 气味清香、温和解郁, 是极具观赏性和实用性的植物; 现代药理学方面的研究也证实石斛花提取物具有抗炎抗氧化<sup>[5]</sup>、抗衰老<sup>[6]</sup>、改善甲亢<sup>[7]</sup>等作用的报道, 可见石斛花具有广阔的开发应用前景。

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)是药用栽培最广泛的物种之一<sup>[8]</sup>, 花瓣细长呈黄绿色, 多作茶饮, 食用价值高; 重唇石斛(*D. hercoglossum*)生长旺盛, 花色鲜艳, 花型玲珑娇美, 观赏价值高。本课题组以铁皮石斛为母本、重唇石斛为父本, 经杂交、子代单株选择和无性繁殖选育出生长速度快、抗病虫性好、生长量高的 14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 共 4 个株系, 亲本与 4 个子代的花各有不同(图 1), 铁皮石斛萼片与花瓣细长, 呈黄绿色; 唇瓣中部有紫色斑纹, 内部黄斑, 尖端白色; 药帽白色。重唇石斛萼片与花瓣椭圆, 呈紫色; 唇瓣白色, 尖端紫色;

药帽紫色。14L-3 萼片淡紫色, 花瓣紫色; 唇瓣边缘和中部有微紫斑纹, 尖端淡紫; 药帽上端紫色。14L-6 萼片淡黄绿色, 花瓣淡紫; 唇瓣中部有淡紫斑纹, 尖端锐尖; 药帽上端紫色。14L-7 萼片微紫, 花瓣淡紫; 唇瓣白色; 药帽紫色。14L-9 萼片微紫, 花瓣淡紫; 唇瓣中部有微紫斑纹; 药帽上端紫色。本试验检测了 2 种石斛和 4 个子代株系花的挥发性成分, 以探讨子代是否兼具亲本优势, 为石斛育种提供指导, 也为扩展石斛使用部位、促进石斛应用和产业化推广提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料和仪器

试验用铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)、重唇石斛(*D. hercoglossum*)和基因型一致的 4 个杂交子代株系 14L-3、14L-6、14L-7、14L-9, 均于 2021 年 5 月采自三明市农业科学院药用植物研究所石斛大棚, 选育方法见叶炜等<sup>[9]</sup>。

Agilent 5977B-7890B 气相色谱/质谱联用仪, Agilent 7697A 进样器(美国 Agilent Technologies 公司)。

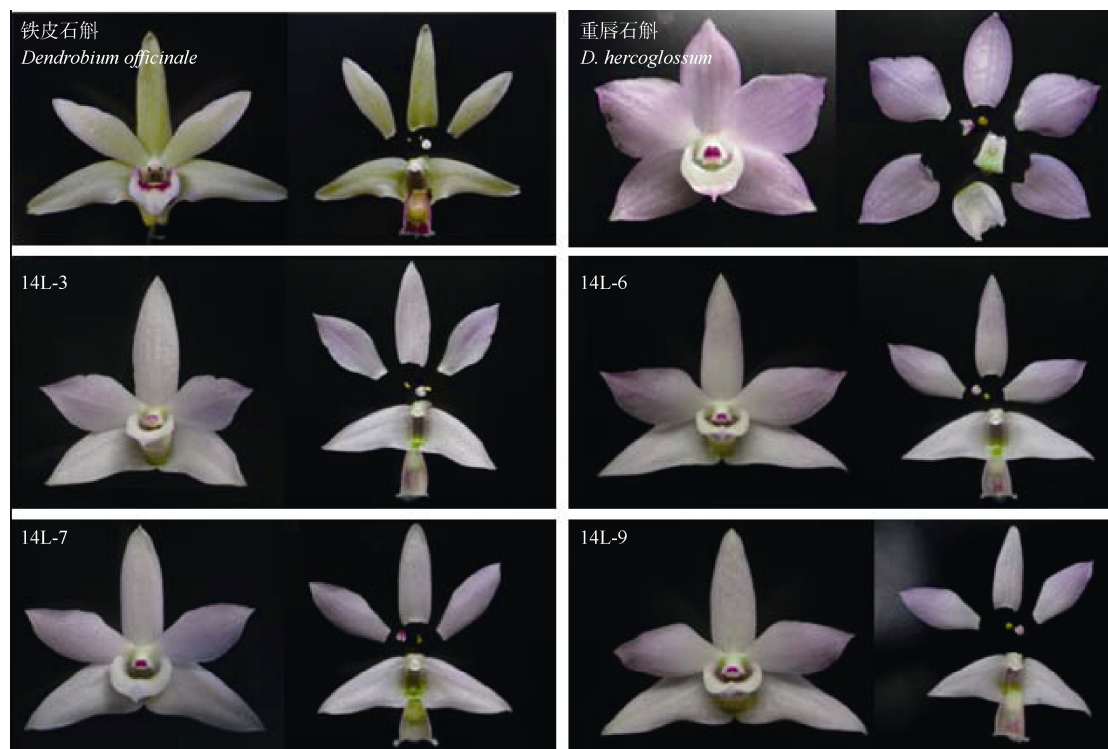


图1 亲本和子代石斛花

Fig. 1 Flowers of parents and hybrids of *Dendrobium*

## 1.2 方法

选择盛花期于上午 9:00 左右摘取铁皮石斛、重唇石斛和子代 14L-3、14L-6、14L-7、14L-9 的新鲜花朵，放入顶空瓶，检测挥发性成分，重复 3 次。

气相条件：Agilent 19091S-433UI: A001 色谱柱 (30 m×250 μm×0.25 μm); 升温程序：起始温度 35 °C 保持 2 min，以 5 °C/min 升至 80 °C，再以 8 °C/min 升至 200 °C 保持 1 min 至分析完成；进样口温度 250 °C；载气为高纯 He (99.999%)，流量 1 mL/min，进样量 1 μL。质谱条件：电子方式 EI；电子能量 70 eV；离子源温度：250 °C；四级杆温度：150 °C。质量扫描范围：45~550 *m/z*。

## 1.3 数据处理

通过 NIST14 谱库检索和人工解析图谱进行挥发性成分定性分析；根据离子流峰面积归一法计算挥发性成分的相对含量，应用 Microsoft Excel 整理数据，通过 simca14.1 建立 PCA-X 模型、拟合求解并分析数据关联性。

## 2 结果和分析

从 2 种石斛和 4 个子代株系花中共检测出 81 种

化学成分(表 1)，其中铁皮石斛 23 种，重唇石斛 12 种，14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 分别有 31、33、23 和 35 种，可分为烯、酮、醛、烷几个大类(图 2)。母本和子代花中均以烯类最多，铁皮石斛的烯类占化合物总数的 94.73%，14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 的烯类分别占 88.54%、65.44%、59.02%和 71.84%，而父本重唇石斛仅含 4.22%的烯类，显著低于其余 5 种(株系)石斛。重唇石斛花以酮类最多，占 93.77%，子代 14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 的酮类分别占 2.75%、0.99%、22.36%和 1.09%，铁皮石斛仅 1.84%。除烯类、酮类外，14L-6 的醇类占 30.42%，14L-7 的醛类 13.13%，14L-9 的醇类占 24.12%。

81 种成分中，6 种(株系)石斛花中共有成分为正己醛，亲本铁皮石斛和重唇石斛花的正己醛含量分别为 0.85%和 1.9%，正己醛也是铁皮石斛和重唇石斛唯一共有成分；子代 14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 分别含 2.18%、0.84%、13.13%和 0.89%正己醛，14L-7 的正己醛含量显著高于亲本和姐妹株。

亲本铁皮石斛的主要成分是  $\alpha$ -蒎烯，相对含量达 78.1%，重唇石斛为 2-十五烷酮，相对含量达 93.04%，子代 14L-3、14L-6、14L-7 和 14L-9 均含有这两种特征性成分，主要成分均为  $\alpha$ -蒎烯，相对含量分别为 73.61%、54.03%、37.85%和 57.13%，2-

表 1 石斛花的挥发性成分

Table 1 Volatile components of *Dendrobium* flowers

编号 No.	CAS 号 CAS No.	化合物 Compound	相对含量 Relative content /%					
			DO	DH	14L-3	14L-6	14L-7	14L-9
1	66-25-1	正己醛 Hexanal	0.85	1.90	2.18	0.84	13.13	0.89
2	78-70-6	芳樟醇 Linalool	-	-	-	0.07	-	-
3	80-56-8	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	-	-	-	-	6.32	1.41
4	98-55-5	$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	-	-	-	9.27	-	1.94
5	99-84-3	对薄荷-1(7),3-二烯 Cyclohexene,4-methylene-1-(1-methylethyl)-	0.18	-	-	-	-	-
6	99-85-4	$\gamma$ -松油烯 $\gamma$ -Terpinene	0.34	-	0.51	0.25	-	0.27
7	108-88-3	甲苯 Toluene	-	-	0.18	-	-	-
8	123-35-3	月桂烯 $\beta$ -Myrcene	-	-	-	-	-	0.81
9	127-41-3	$\alpha$ -紫罗兰酮 $\alpha$ -Ionone	-	-	-	0.10	-	0.11
10	127-91-3	$\beta$ -蒎烯 $\beta$ -Pinene	2.61	-	1.44	3.00	-	1.66
11	138-86-3	双戊烯 Limonene	-	-	0.24	-	-	-
12	464-17-5	1,7,7-三甲双环[2.2.1]庚-2-烯 Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	-	-	-	-	-	0.08
13	470-82-6	桉叶油醇 Eucalyptol	2.19	-	3.39	20.69	0.43	18.77
14	471-01-2	3,5,5-三甲基-3-环己烯-1-酮 3-Cyclohexen-1-one,3,5,5-trimethyl-	1.84	-	-	-	-	-
15	471-84-1	7,7-二甲基-2-亚甲基-双环[2.2.1]庚烷 Bicyclo[2.2.1]heptane,7,7-dimethyl- 2-methylene-	-	-	0.20	-	-	0.66
16	489-40-7	(-)- $\alpha$ -古芸烯 1H-Cycloprop[e]azulene,1a,2,3,4,4a,5,6,7b-octahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1aR-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,4 $\beta$ ,7 $\beta$ )]-	-	0.34	-	-	-	-
17	493-08-3	3,4-二氢-1H-苯并吡喃 2H-1-Benzopyran,3,4-dihydro-	-	-	-	0.04	-	0.06
18	499-97-8	1-亚甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烷 Cyclohexane,1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	0.08	-	-	0.10	-	-

续表(Continued)

编号 No.	CAS号 CAS No.	化合物 Compound	相对含量 Relative content /%					
			DO	DH	14L-3	14L-6	14L-7	14L-9
19	502-61-4	$\alpha$ -法呢烯 $\alpha$ -Farnesene	-	1.83	3.55	1.44	5.50	1.81
20	502-99-8	$\alpha$ -罗勒烯 1,3,7-Octatriene,3,7-dimethyl-	-	-	-	0.47	-	-
21	508-55-4	$\gamma$ -广藿香烯 $\gamma$ -Patchoulene	-	0.79	-	-	3.40	-
22	514-51-2	4,7-亚甲基萘, 1,2,3,4,5,6,7,8-八氢-1,4,9,9-四甲基-, [1S-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,7 $\alpha$ )]- 4,7-Methanoazulene,1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4,9,9-tetramethyl-, [1S-(1 $\alpha$ ,4 $\alpha$ ,7 $\alpha$ )]-	-	0.25	-	-	-	-
23	536-50-5	1-(4-甲基苯基)-1-乙醇 Benzenemethanol, $\alpha$ ,4-dimethyl-	-	-	0.12	0.07	-	-
24	554-61-0	2-萜烯 2-Carene	-	-	-	-	-	0.09
25	555-10-2	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯 $\beta$ -Phellandrene	-	-	0.33	-	-	-
26	562-74-3	4-萜烯醇 Terpinen-4-ol	-	-	-	0.19	-	0.15
27	586-62-9	萜品油烯 Cyclohexene,1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	0.22	-	0.28	0.17	-	0.09
28	586-63-0	3-甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯 Cyclohexene,3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	0.13	-	-	-	-	-
29	593-08-8	2-十三烷酮 2-Tridecanone	-	0.73	-	-	-	-
30	629-66-3	2-十九烷酮 2-Nonadecanone	-	-	-	-	2.10	-
31	765-46-8	螺[2.4]庚-4,6-二烯 Spiro[2,4]hepta-4,6-diene	-	-	0.08	-	-	-
32	821-55-6	2-壬酮 2-Nonanone	-	-	-	0.11	-	-
33	928-95-0	2-己烯-1-醇,(E)- 2-Hexen-1-ol, (E)-	0.20	-	-	-	-	-
34	934-23-6	2-甲基-1H-嘌呤 1H-Purine,2-methyl-	-	-	-	0.06	-	0.03
35	934-33-8	8-甲基-9H-嘌呤 1H-Purine,8-methyl-	-	-	-	0.04	-	-
36	1079-01-2	6,6-二甲基双环庚-2-烯-2-乙酸甲酯 Myrtenyl acetate	-	-	-	0.04	0.43	0.06
37	1405-16-9	广藿香烯 Patchoulene	-	-	-	-	1.20	-
38	1758-88-9	2-乙基对二甲苯 Benzene,2-ethyl-1,4-dimethyl-	-	-	1.47	-	-	-
39	1888-90-0	3-亚甲基环己烯 3-Methylenecyclohexene	1.42	-	-	2.23	-	1.05
40	2345-28-0	2-十五烷酮 2-Pentadecanone	-	93.04	2.65	0.78	20.26	0.98
41	2566-57-6	双环[4.1.0]庚-4-烯 Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene	-	-	-	1.02	-	-
42	2867-05-2	双环[3.1.0]己-2-烯,2-甲基-5-(1-甲基乙基)- Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,2-methyl-5-(1-methylethyl)-	1.94	-	0.79	0.45	0.45	0.41
43	3338-55-4	1,3,6-十八烷三烯,3,7-二甲基-, (Z)- 1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-,(Z)-	0.20	-	0.23	-	-	0.48
44	3387-41-5	桉烯 Bicyclo[3.1.0]hexane,4-methylene-1-(1-methylethyl)-	1.12	-	0.14	-	1.26	0.09
45	3642-22-6	6-亚甲基双环[3.2.0]庚烷 Bicyclo[3.2.0]heptane, 6-methylene-	-	-	0.22	-	-	-
46	3691-11-0	$\delta$ -愈创木烯 $\delta$ -Guaiene	-	0.42	-	-	-	-
47	3691-12-1	$\alpha$ -愈创木烯 $\alpha$ -Guaiene	-	0.08	-	-	-	-
48	3779-61-1	(3E)-3,7-二甲基辛-1,3,6-三烯 <i>trans</i> - $\beta$ -Ocimene	-	-	0.23	-	-	-
49	3999-06-2	咪唑并吡啶-2-酮 Imidazo[1,2-a]pyridin-2(3H)-one	-	-	0.10	-	-	-
50	4104-56-7	3-(2-甲基丙基)-1-环己烯 Cyclohexene,3-(2-methylpropyl)-	-	-	-	0.05	-	-
51	5986-38-9	2,6-二甲基-5,7-辛二烯-2-醇 5,7-Octadien-2-ol, 2,6-dimethyl-	-	-	-	0.09	-	-
52	5989-27-5	D-柠檬烯 D-Limonene	3.07	-	1.63	1.50	0.65	2.55
53	6831-16-9	马兜铃-9-烯 (-)-Aristolene	-	-	-	-	0.49	-
54	6901-97-9	3-丁烯-2-酮, 4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)- 3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-	-	-	-	0.26	-	0.12
55	7785-26-4	(-)- $\alpha$ -蒎烯 (-)- $\alpha$ -Pinene	78.10	-	73.61	31.93	26.26	17.77
56	7785-70-8	(+)- $\alpha$ -蒎烯 (+)- $\alpha$ -Pinene	-	-	1.26	22.09	11.59	39.36
57	13062-00-5	(Z)- $\gamma$ -没药烯 (Z)-1-Methyl-4-(6-methylhept-5-en-2-ylidene)cyclohex-1-ene	-	0.40	-	-	-	-
58	13466-78-9	3-萜烯 3-Carene	-	-	-	-	-	2.80
59	13474-59-4	(1S,5S,6R)-2,6-二甲基-6-(4-甲基-3-戊烯-1-基)双环[3.1.1]庚-2-烯 <i>trans</i> - $\alpha$ -Bergamotene	0.11	-	-	-	-	-
60	13475-82-6	2,2,4,6,6-五甲基庚烷 Heptane,2,2,4,6,6-pentamethyl-	-	-	-	-	0.93	-
61	13877-91-3	罗勒烯 $\beta$ -Ocimene	-	-	-	0.22	-	0.20
62	17334-55-3	白菖烯 1H-Cyclopropa[a]naphthalene,1a,2,3,5,6,7,7a,7b-octahydro- 1,1,7,7a-tetramethyl-, [1aR-(1 $\alpha$ ,7 $\alpha$ ,7 $\alpha$ ,7 $\beta$ )]-	-	-	0.11	-	-	-
63	17699-16-0	(2R,5R)-2-甲基-5-丙烷-2-基双环[3.1.0]己烷-2-醇 Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-,(1 $\alpha$ ,2 $\alpha$ ,5 $\alpha$ )-	-	-	0.08	-	-	-
64	18172-67-3	(-)- $\beta$ -蒎烯 (-)- $\beta$ -Pinene	1.23	-	2.46	1.57	-	1.36
65	18675-34-8	新二氢香芹醇 Neodihydrocarveol	-	-	-	-	0.42	-

续表(Continued)

编号 No.	CAS号 CAS No.	化合物 Compound	相对含量 Relative content /%					
			DO	DH	14L-3	14L-6	14L-7	14L-9
66	25144-05-2	顺-2-甲基-环戊醇 Cyclopentanol,2-methyl-, cis-	0.14	-	-	-	-	-
67	27129-87-9	3,5-二甲苯甲醇 Benzenemethanol,3,5-dimethyl-	-	-	0.15	-	-	-
68	29021-37-2	异丁酸,2-蒎烯-10-基酯 Isobutyric acid,2-pinen-10-yl ester	-	-	-	-	0.57	-
69	31502-14-4	反-2-壬烯-1-醇 2-Nonen-1-ol, (E)-	0.08	-	-	0.05	-	0.03
70	36262-09-6	金钟柏-2,4(10)-二烯 Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	0.87	-	1.75	0.06	0.58	0.04
71	36431-72-8	茶螺烷 1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene, 2,6,10,10-tetramethyl-	-	-	0.43	0.75	2.09	0.56
72	54868-40-5	(4 <i>S</i> ,4 <i>aR</i> ,6 <i>R</i> )-4,4a-二甲基-6-(丙-1-烯-2-基)-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘 (4 <i>S</i> ,4 <i>aR</i> ,6 <i>R</i> )-4,4a-Dimethyl-6-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	-	-	-	-	0.64	-
73	56348-21-1	3,3,7,7-四甲基-5-(2-甲基-1-丙烯-1-基)三环[4.1.0.0 <sup>2,4</sup> ]庚烷 Tricyclo[4.1.0.0(2,4)]heptane, 3,3,7,7-tetramethyl-5-(2-methyl-1-propenyl)-	-	0.11	0.07	-	0.62	-
74	61227-89-2	5,6-癸二烯-3-炔, 5,7-二乙基-5,6-Decadien-3-yne,5,7-diethyl-	-	-	-	-	0.68	-
75	62181-91-3	(1 <i>R</i> ,3 <i>S</i> ,4 <i>R</i> ,5 <i>S</i> )-1-异丙基-4-甲基双环[3.1.0]己-3-基乙酸酯-rel-(1 <i>R</i> ,3 <i>S</i> ,4 <i>R</i> ,5 <i>S</i> )-1-Isopropyl-4-methylbicyclo[3.1.0]hexan-3-ylacetate-rel-	-	-	-	-	-	0.06
76	75659-63-1	3,5-二甲苯丙胺 3,5-Dimethylamphetamine	-	-	-	-	-	0.02
77	92760-25-3	1,3,3-三甲基-2-氧杂双环[2.2.2]辛-5-烯 2,3-Dehydro-1,8-cineole	3.17	-	-	-	-	-
78	1000104-20-1	顺-(-)-2,4a,5,6,9a-六氢-3,5,5,9-四甲基(1 <i>H</i> )苯并环庚烯 cis-(-)-2,4a,5,6,9a-Hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl(1 <i>H</i> )benzocycloheptene	-	0.12	-	-	-	-
79	1000141-73-2	9,10-环氧硬脂酸-4,8-乙醇环庚烷[c]呋喃-1,3-二酮,六氢化-,(3 <i>aR</i> ,4-反式,8-反式,8 <i>a</i> -顺式,9 <i>xi</i> .,10 <i>xi</i> .)- 9,10-Epoxy-4,8-ethanocyclohepta[c]furan-1,3-dione, hexahydro-, (3 <i>aR</i> ,4- <i>trans</i> ,8- <i>trans</i> ,8 <i>a</i> - <i>cis</i> ,9 <i>xi</i> .,10 <i>xi</i> .)-	-	-	0.11	-	-	-
80	1000411-59-6	松油醇 Terpineol	-	-	-	-	-	3.23
81	138530-45-7	桃金娘当归酯 Myrtenyl angelate	0.23	-	-	-	-	-

-: 未测出。DO: 铁皮石斛; DH: 重唇石斛。

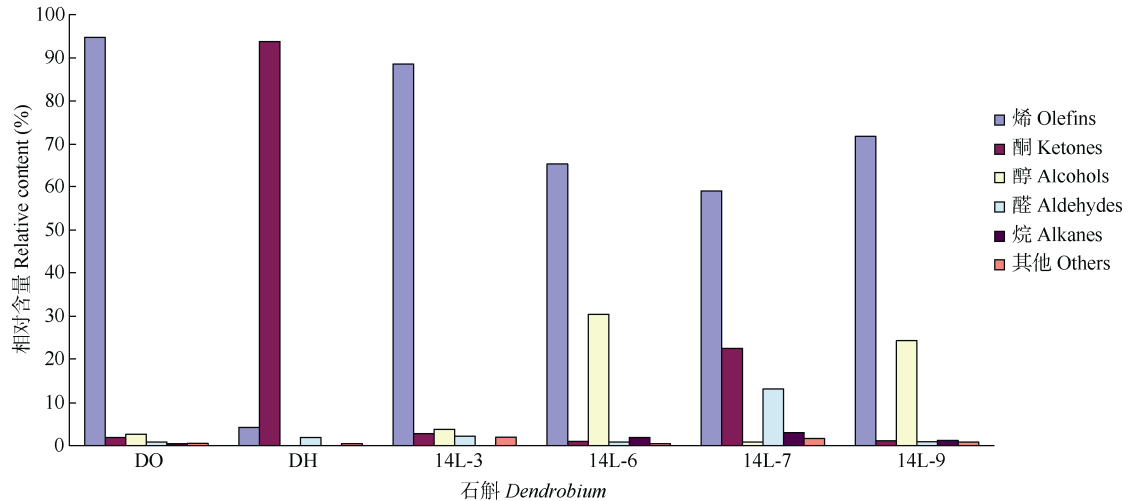
-: No detected. DO: *Dendrobium officinale*; DH: *D. hercoglossum*.

图2 石斛花的挥发性成分含量。DO: 铁皮石斛; DH: 重唇石斛。

Fig. 2 Contents of volatile components of *Dendrobium* flowers. DO: *Dendrobium officinale*; DH: *D. hercoglossum*.

十五烷酮含量则较少,分别为3.65%、0.78%、20.26%和0.98%。除两个特征性成分外,铁皮石斛和子代共有4个成分:双环[3.1.0]己-2-烯,2-甲基-5-(1-甲基乙基)-D-柠檬烯、金钟柏-2,4(10)-二烯和桉叶油醇;重唇石斛和子代只共有1个成分: $\alpha$ -法尼烯。且重唇石斛中相对含量大于2%的成分只有2-十五烷酮,其余均小于2%,铁皮石斛中相对含量大于2%的成

分有5种,14L-3有6种、14L-6有6种、14L-7有9种、14L-9有6种。母本铁皮石斛与父本重唇石斛花的香气成分呈负相关,铁皮石斛与子代的均呈正相关,而重唇石斛与14L-6、14L-9也呈负相关;子代与铁皮石斛香气成分的相关系数均大于其与重唇石斛,子代与铁皮石斛的相关系数为14L-3>14L-6>14L-7>14L-9,与重唇石斛为14L-7>14L-3>14L-



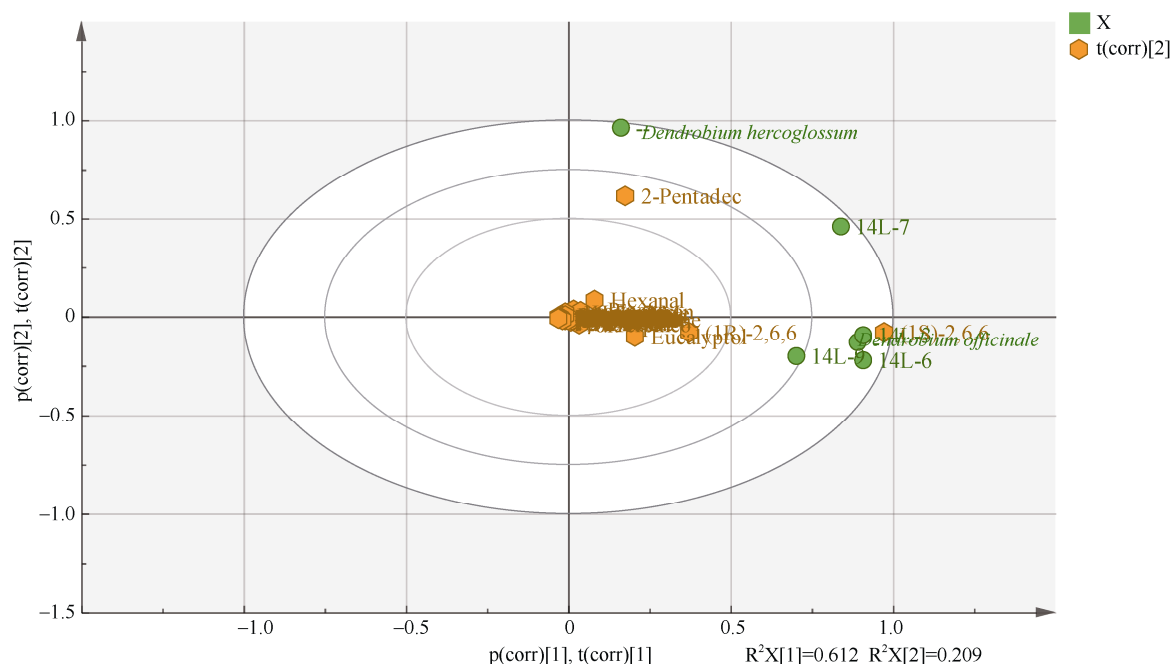


图3 石斛花香成分的相关性

Fig. 3 Relation of aroma components among *Dendrobium* flowers

9>14L-6。从图3可见,  $R^2$ 为0.612, 说明模型拟合度较好,  $Q^2$ 为0.209, 预测程度较低。可见子代14L-3、14L-6和14L-9间较为相近, 均与铁皮石斛相近, 与重唇石斛距离较远, 与14L-7也较远; 14L-3与铁皮石斛最相近, 14L-7则与亲本距离最均衡。

### 3 讨论

烯类化合物是植物体内重要次生代谢产物, 具有调节植物生长发育、增强抵抗生物胁迫等功能<sup>[10]</sup>, 还是许多药用植物的有效成分, 具有抗炎<sup>[11]</sup>、抗肿瘤<sup>[12]</sup>的作用, 此外D-柠檬烯可抗心律失常<sup>[13]</sup>, 月桂烯具有镇痛作用<sup>[14]</sup>,  $\beta$ -榄香烯、 $\gamma$ -萜品烯等均具有抑菌<sup>[15]</sup>、抗氧化<sup>[16]</sup>等作用。本试验中, 母本铁皮石斛和子代花中都是烯类成分含量较高, 子代14L-3、14L-6、14L-7和14L-9分别含有88.54%、65.44%、59.02%和71.84%的烯类成分, 铁皮石斛则高达94.73%。铁皮石斛及子代14L-3、14L-6、14L-7、14L-9花中相对含量最高的都是 $\alpha$ -蒎烯, 分别占78.1%、73.61%、54.03%、37.85%和57.13%。 $\alpha$ -蒎烯是单萜类化合物, 存在于许多植物精油中, 具有松木、针叶及树脂样的气息, 结构活泼、具有良好的生物学活性, 广泛应用于化学、化工等领域<sup>[17]</sup>; 自然环境中,  $\alpha$ -蒎烯可以增强植物对外界生物胁迫的抵抗能

力, 具有对一些害虫和病原真菌的毒杀和趋避作用<sup>[18]</sup>; 药理活性研究表明其有抗肿瘤<sup>[19]</sup>、细胞保护<sup>[20]</sup>、抗惊厥<sup>[21]</sup>和抗腺病毒等作用<sup>[22]</sup>。父本重唇石斛花中检测出47种挥发性成分, 不包含蒎烯, 相对含量最高的是2-十五烷酮, 达92.62%, 子代14L-3、14L-6、14L-7、14L-9中的相对含量分别为3.12%、1.07%、19.61%和1.05%。2-十五烷酮在植物中具有信息素<sup>[23]</sup>、抵抗昆虫和病原体的作用<sup>[24]</sup>, 在食品、化学方面则可用作调味物质, 补充和增强各种食物的微辣和花香。在医药方面, 2-十五烷酮具有抗菌、促进伤口闭合、胶原沉积和成纤维细胞增殖等活性<sup>[25]</sup>; 在病理研究中亦可用作挥发性生物标记跟踪病理途径<sup>[26]</sup>。 $\alpha$ -蒎烯和2-十五烷酮这2种特征成分也影响了子代与亲本的亲近关系, 14L-3、14L-6、14L-9与铁皮石斛的相似, 14L-3距离铁皮石斛最近, 与铁皮石斛相似性最高, 14L-7则相对均衡。除这2种主要成分外, 2种石斛和4个子代株系花中的共有成分只有正己醛, 正己醛是许多植物的主要挥发性物质, 一般作为食品香料和橡胶、树脂、杀虫剂的有机合成<sup>[27-28]</sup>, 是美国食品和药物管理局和GB 2760—2014《食品添加剂使用标准》批准使用的食品添加剂<sup>[27]</sup>。14L-3、14L-6和14L-9中含量较高的桉叶油醇可用于调控昆虫产卵、控制害虫危害<sup>[29]</sup>。14L-3、14L-7中含有的 $\alpha$ -法呢烯则在植物防

御中发挥重要的作用,是虫害诱导挥发物的主要成分之一<sup>[30]</sup>。14L-6 中的  $\alpha$ -松油醇在工业上可作为调香物、浮选剂等,还具有抑菌<sup>[31]</sup>、化感等作用<sup>[32]</sup>。

不同种类石斛花的挥发性成分差异显著,曹桦等<sup>[33]</sup>报道兜唇石斛(*D. aphyllum*)、金钗石斛(*D. nobile*)、铁皮石斛和美女石斛(*D. loddigesii*)的挥发性成分中的特征成分分别是乙酸异辛酯、 $\beta$ -石竹烯、 $\alpha$ -蒎烯、乙酸异辛酯,与本试验结果相似。王元成等<sup>[34]</sup>报道细叶石斛(*D. hancockii*)和翅梗石斛(*D. trigonopus*)赋香成分的特征成分是罗勒烯和  $\beta$ -石竹烯。不同提取方法对同种石斛花挥发性物质也有很大影响,宋小蒙等<sup>[35]</sup>分别采用顶空固相微萃取和水蒸气蒸馏法提取金钗石斛花的挥发性成分,特征性成分分别是柠檬烯和亚油酸。李文静等<sup>[36]</sup>采用水蒸气蒸馏法提取铁皮石斛花中的挥发性成分,主要成分是壬酸甘油二酯。而霍昕等<sup>[37]</sup>利用有机溶剂-水蒸气蒸馏法提取铁皮石斛花挥发油,主要成分是壬醛。可见不同提取方法对挥发性物质成分有很大影响。本试验采用静态顶空气相色谱-质谱联用技术分析 2 种石斛及其子代花的挥发性成分,减少了提取过程对挥发性物质的影响,使检测结果更接近事实,结果表明 14L-3 与母本铁皮石斛相近,14L-7 与亲本相似性较均衡,这对石斛杂交子代的选育和推广应用具有指导意义。

## 参考文献

- [1] TAN D P, LU A J, LING L, et al. Comparative study on *Dendrobium officinale* of different attached trees based on UPLC-MS with principal component analysis [J]. J Zunyi Med Univ, 2020, 43(2): 151–154. doi: 10.14169/j.cnki.zunyiixuebao.2020.0031.  
谭道鹏, 陆安静, 凌蕾, 等. 基于 UPLC-MS 主成分分析的不同树种附生铁皮石斛对比研究 [J]. 遵义医科大学学报, 2020, 43(2): 151–154. doi: 10.14169/j.cnki.zunyiixuebao.2020.0031.
- [2] MA P, ZHAO M, WANG B L. Effects of different media on seed germination and strong seedling rooting of *Dendrobium candidum* [J]. J Anhui Agric Sci, 2021, 49(1): 154–156. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.01.041.  
马盼, 赵萌, 王宝玲. 不同培养基对铁皮石斛种子萌发和壮苗生根的影响 [J]. 安徽农业科学, 2021, 49(1): 154–156. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.01.041.
- [3] QU J X, HE Y X, SUN Z R, et al. Comparison of amino acids and volatile constituents in four kinds of *Dendrobium* flowers [J]. Mod Chin Med, 2018, 20(4): 387–394. doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.20170904003.  
曲继旭, 贺雨馨, 孙志蓉, 等. 四种石斛花氨基酸和挥发性成分比较 [J]. 中国现代中药, 2018, 20(4): 387–394. doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.20170904003.
- [4] YANG X B, WANG Y Q, XIE Y, et al. Analysis of aroma components in *Dendrobium fimbriatum* Hook. flower by SPME-GC-MS [J]. Det Cosmet, 2019, 42(8): 40–43. doi: 10.3969/j.issn.1006-7264.2019.08.011.  
杨晓蓓, 王雅琴, 谢勇, 等. 顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用分析流苏石斛花的香气成分 [J]. 日用化学品科学, 2019, 42(8): 40–43. doi: 10.3969/j.issn.1006-7264.2019.08.011.
- [5] WU Y L, HUANG S H, HE C M, et al. *Dendrobium officinale* flower extraction mitigates alcohol-induced liver injury in mice: Role of antisteatosis, antioxidative, and anti-inflammatory [J]. Evid-Based Comple Alternat Med, 2020, 2020: 1421853. doi: 10.1155/2020/1421853.
- [6] LI L Z, LEI S S, LI B, et al. *Dendrobium officinale* flower improves learning and reduces memory impairment by mediating antioxidant effect and balancing the release of neurotransmitters in senescent rats [J]. Comb Chem High Throughput Screen, 2020, 23(5): 402–410. doi: 10.2174/1386207323666200407080352.
- [7] LEI S S, LÜ G Y, JIN Z W, et al. Effect of extracts from *Dendrobium officinale* flos on hyperthyroidism Yin deficiency mice [J]. China J Chin Mat Med, 2015, 40(9): 1793–1797. doi: 10.4268/cjcm20150931.  
雷珊珊, 吕圭源, 金泽武, 等. 铁皮石斛花提取物对甲亢型阴虚小鼠的影响 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(9): 1793–1797. doi: 10.4268/cjcm20150931.
- [8] JIANG J L. Character analysis of hybrid offspring of *Dendrobium officinale* and *Dendrobium huoshanense* [J]. Chin J Trop Crops, 2020, 41(8): 1574–1581. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2020.08.010.  
江金兰. 铁皮石斛与霍山石斛杂交后代性状分析 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(8): 1574–1581. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2020.08.010.
- [9] YE W, JIANG J L, LI Y Q, et al. Method for rapidly cultivating purified strain of *Dendrobium candidum* with red leaves and red stems: CN, 108887174B [P]. 2020-06-26.  
叶炜, 江金兰, 李永清, 等. 一种快速培育红叶红杆铁皮石斛纯化株系的方法: 中国, 108887174B [P]. 2020-06-26.
- [10] BERGMAN M E, DAVIS B, PHILLIPS M A. Medically useful plant terpenoids: Biosynthesis, occurrence, and mechanism of action [J]. Molecules, 2019, 24(21): 3961. doi: 10.3390/molecules24213961.
- [11] KIM T, SONG B, CHO K S, et al. Therapeutic potential of volatile terpenes and terpenoids from forests for inflammatory diseases [J]. Int



- J Mol Sci, 2020, 21(6): 2187. doi: 10.3390/ijms21062187.
- [12] MUHSEEN Z T, LI G L. Promising terpenes as natural antagonists of cancer: An *in-silico* approach [J]. *Molecules*, 2020, 25(1): 155. doi: 10.3390/molecules25010155.
- [13] ALVES Q L, SILVA D F. D-Limonene: A promising molecule with bradycardic and antiarrhythmic potential [J]. *Arq Bras Cardiol*, 2019, 113(5): 933–934. doi: 10.5935/ABC.20190233.
- [14] JANSEN C, SHIMODA L M N, KAWAKAMI J K, et al. Myrcene and terpene regulation of TRPV1 [J]. *Channels*, 2019, 13(1): 344–366. doi: 10.1080/19336950.2019.1654347.
- [15] HAN S N. Antitumor active ingredients identification from *Zanthoxylum* essential oil based on composition-activity relationship [D]. Tianjin: Tianjin University, 2014: 76–77. doi: 10.7666/d.D636885.  
韩胜男. 基于中药组效关系的花椒挥发油抗肿瘤活性组分的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2014: 76–77. doi: 10.7666/d.D636885.
- [16] GAN Z L, NI Y Y. Antioxidant capacity of  $\gamma$ -terpinene *in vitro* and *vivo* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(6): 100–105. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.06.017.  
甘芝霖, 倪元颖.  $\gamma$ -萜品烯的体内外抗氧化性研究 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 100–105. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.06.017.
- [17] HU J H, HAN J, LI Q R, et al. Synthesis and comprehensive utilization of  $\alpha$ -pinene derivatives [J]. *Shandong Chem Ind*, 2014, 43(6): 64–68. doi: 10.3969/j.issn.1008-021X.2014.06.022.  
胡建华, 韩嘉, 李倩茹, 等.  $\alpha$ -蒎烯衍生物的合成及其综合利用 [J]. *山东化工*, 2014, 43(6): 64–68. doi: 10.3969/j.issn.1008-021X.2014.06.022.
- [18] LIU Z K, CUI J, LI Y X, et al. Transcriptome characteristics of pine wood nematode in response to  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinene stress [J]. *J NE For Univ*, 2020, 48(5): 93–98. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2020.05.018.  
刘振凯, 崔晶, 理元霞, 等.  $\alpha$ -和  $\beta$ -蒎烯胁迫下松材线虫转录组特征 [J]. *东北林业大学学报*, 2020, 48(5): 93–98. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2020.05.018.
- [19] HOU J, ZHNG Y, ZHU Y J, et al.  $\alpha$ -Pinene induces apoptotic cell death *via* caspase activation in human ovarian cancer cells [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 6631–6638. doi: 10.12659/MSM.916419.
- [20] SALEHI B, UPADHYAY S, ORHAN I E, et al. Therapeutic potential of  $\alpha$ - and  $\beta$ -pinene: A miracle gift of nature [J]. *Biomolecules*, 2019, 9(11): 738. doi: 10.3390/biom9110738.
- [21] ZAMYAD M, ABBASNEJAD M, ESMAEILI-MAHANI S, et al. The anticonvulsant effects of *Ducrosia anethifolia* (Boiss) essential oil are produced by its main component alpha-pinene in rats [J]. *Arq Neuro-Psiquiatr*, 2019, 77(2): 106–114. doi: 10.1590/0004-282x20180147.
- [22] WEI F X, SHANG L, GAO H, et al. Study on the anti-adenovirus mechanism of  $\alpha$ -pinene [J]. *J Harbin Med Univ*, 2020, 54(3): 248–252. doi: 10.3969/j.issn.1000-1905.2020.03.006.  
魏凤香, 商蕾, 高虹, 等.  $\alpha$ -蒎烯抗腺病毒作用机制研究 [J]. *哈尔滨医科大学学报*, 2020, 54(3): 248–252. doi: 10.3969/j.issn.1000-1905.2020.03.006.
- [23] MWERESA C K, MUKABANA W R, OMUSULA P, et al. Enhancing attraction of African Malaria vectors to a synthetic odor blend [J]. *J Chem Ecol*, 2016, 42(6): 508–516. doi: 10.1007/s10886-016-0711-1.
- [24] KIRILLOV V, STIKHAREVA T, SULEIMEN Y, et al. Chemical composition of the essential oil from carnation coniferous (*Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb) growing wild in northern Kazakhstan [J]. *Nat Prod Res*, 2017, 31(1): 117–123. doi: 10.1080/14786419.2016.1214832.
- [25] SIYUMBWA S N, EKEUKU S O, AMINI F, et al. Wound healing and antibacterial activities of 2-pentadecanone in streptozotocin-induced type 2 diabetic rats [J]. *Phcog Mag*, 2019, 15(62): 71–77.
- [26] LEE D K, NA E, PARK S, et al. *In vitro* tracking of intracellular metabolism-derived cancer volatiles via isotope labeling [J]. *ACS Cent Sci*, 2018, 4(8): 1037–1044. doi: 10.1021/acscentsci.8b00296.
- [27] CAO Q, WANG J J, DENG L L, et al. Effect of hexanal treatment on storage quality of navel orange [J]. *Food Sci*, 2015, 36(20): 252–257. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201520049.  
曹琦, 王建军, 邓丽莉, 等. 己醛处理对脐橙果实贮藏品质的影响 [J]. *食品科学*, 2015, 36(20): 252–257. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201520049.
- [28] CAI P M, YI C D, JI Q E, et al. Attractiveness of 11 volatile compounds from host fruits to *Drosophila suzukii* (Matsumura) [J]. *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci)*, 2019, 48(3): 285–290. doi: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2019.03.002.  
蔡普默, 仪传冬, 季清娥, 等. 寄主水果 11 种挥发性成分对斑翅果蝇的引诱效果 [J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2019, 48(3): 285–290. doi: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2019.03.002.
- [29] LIU Y, XIE D S, XIONG Y, et al. Effects of combination of cineole with heptanal on oviposition choices of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* [J]. *Plant Prot*, 2016, 42(3): 99–103. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.03.016.  
刘燕, 谢冬生, 熊焰, 等. 庚醛与桉叶油醇组合对马铃薯块茎蛾产卵选择的影响 [J]. *植物保护*, 2016, 42(3): 99–103. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.03.016.
- [30] WANG Q. Transcriptional regulation of  $\alpha$ -farnesene synthesis by MdMYC2 and MdERF3 in apple fruit [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019: 17.  
王晴. 苹果转录因子 MdMYC2 与 MdERF3 对  $\alpha$ -法尼烯生物合成的

- 转录调控 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019: 17.
- [31] OUYANG Q L, JIA L, TAO N G, et al. Inhibitory effect of  $\alpha$ -terpineol on *Penicillium italicum* [J]. Food Sci, 2014, 35(11): 32–35. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201411007.
- 欧阳秋丽, 贾雷, 陶能国, 等.  $\alpha$ -松油醇对意大利青霉的抑制作用 [J]. 食品科学, 2014, 35(11): 32–35. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201411007.
- [32] LI A X, HOU X C, ZENG J J, et al. Chemical composition analysis of eucalyptus essential oil and allelopathic effects of  $\alpha$ -terpineol [J]. Chin J Appl Ecol, 2020, 31(7): 2195–2201. doi: 10.13287/j.1001-9332.202007.002.
- 李奥欣, 侯新村, 曾加佳, 等. 桉树油化学成分分析及  $\alpha$ -松油醇的化感作用 [J]. 应用生态学, 2020, 31(7): 2195–2201. doi: 10.13287/j.1001-9332.202007.002.
- [33] 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.
- [34] WANG Y C, ZENG Y Y, LI Z J, et al. Aroma constituents in flower of *Dendrobium hancockii* and *D. trigonopus* based on SPME-GC-MS analysis [J]. For Res, 2020, 33(3): 116–123. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.03.015.
- 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. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.03.015.
- [35] 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. doi: 10.3969/j.issn.1673-1689.2019.09.019.
- 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.
- [36] LI W J, LI J J, LI G F, et al. GC-MS analysis of volatile components of 4 *Dendrobium* flowers [J]. J Chin Med Mat, 2015, 38(4): 777–780. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2015.04.032.
- 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.
- [37] 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]. Chin 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.