

网络出版时间:2024-07-08 11:42 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.01.011  
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20240704.1808.028

# 木香花不同花期及盛花期花器官的挥发性成分分析

杨云<sup>a,b</sup>, 闫顺<sup>a,b</sup>, 陈倩<sup>a,b</sup>, 黄琳曦<sup>a,b</sup>, 张先言<sup>a,b</sup>, 汪琼<sup>a,b,c</sup>

(西南林业大学 a 园林园艺学院, b 云南省林下资源保护与利用重点实验室,  
c 西南山区森林资源保护与利用教育部重点实验室, 云南 昆明 650224)

**【摘要】**【目的】探究木香花(*Rosa banksiae* Ait. var. *banksiae*)挥发性成分释放规律,为其花香调控奠定理论基础。【方法】以花蕾期、半开期、盛花期和末花期木香花花朵以及盛花期木香花的雌蕊、雄蕊、花瓣和萼片为试验材料,采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)、正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA)和聚类热图分析木香花不同花期和盛花期花器官挥发性成分及其差异。【结果】不同花期的木香花中共检出 78 种挥发性成分,包含烯烃类、醛类、醇类、酸类、酮类等。从花蕾期、半开期、盛花期、末花期的木香花中分别检出 39, 41, 45 和 41 种挥发性成分,共有成分有 20 种;不同花期木香花的挥发性成分组成不同,花蕾期、盛花期和末花期相对含量最高的挥发性成分均为  $\beta$ -蒎烯,其相对含量分别为 26.20%, 16.85% 和 21.24%; Z-5-十九烯在半开期相对含量最高,为 23.03%。不同花期的木香花中有 38 种差异挥发性成分,其中半开期、盛花期和花蕾期挥发性成分相近,均与末花期挥发性成分差异较大。从盛花期木香花的雌蕊、雄蕊、花瓣、萼片中分别检出 27, 30, 28 和 27 种挥发性成分,其中烯烃类物质在雌蕊、雄蕊、花瓣中相对含量最高,萼片中酯类物质相对含量最高。雌蕊与萼片中挥发性成分差异较大,花瓣与雄蕊中挥发性成分差异较小。 $\beta$ -蒎烯、甲酸芳樟醇、5-十九烯-1-醇、Z-5-十九烯、正十九烷、2-甲氧基-3-(2-丙基)苯酚、 $\beta$ -罗勒烯、乙酸苜酯和正辛醛是不同花器官中主要差异性挥发成分,同时  $\beta$ -蒎烯相对含量较高的雌蕊和  $\beta$ -罗勒烯、甲酸芳樟醇、正辛醛相对含量较高的萼片是木香花释放香气的主要部位。【结论】木香花花香主要来自其雌蕊和萼片中的挥发性化合物,这些挥发性成分在末花期变化较大。

**【关键词】** 木香花; 气相色谱-质谱联用技术; 挥发性成分; 花香

**【中图分类号】** S685.99

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2025)01-0110-12

## Volatile components from flowers at different periods and from floral organs at full flowering period of *Rosa banksiae* Ait. var. *banksiae*

YANG Yun<sup>a,b</sup>, YAN Shun<sup>a,b</sup>, CHEN Qian<sup>a,b</sup>, HUANG Linxi<sup>a,b</sup>,  
ZHANG Xianyan<sup>a,b</sup>, WANG Qiong<sup>a,b,c</sup>

(a College of Landscape and Horticulture, b Key Laboratory of Understorey Resource Conservation and Utilization of Yunnan Province, c Key Laboratory of Conservation and Utilization of Forest Resources in Southwest Mountainous Areas, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the release pattern of volatile components from *Rosa banksiae* Ait. var. *banksiae* to lay foundations for its regulating floral fragrance. 【Method】 Volatile components from flowers at bud period, half-open period, full flowering period, final flowering period as well as pistils, stamens, petals and sepals of flowers at full flowering period of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae* were measured and analyzed by GC-MS combined with cluster heatmap and OPLS-DA. 【Result】 A total of 78

【收稿日期】 2023-10-31

【基金项目】 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 云南省重大科技专项(202102AE090042, 202002AA10007, 2019ZG00901)

【作者简介】 杨云(2000—), 女(苗族), 湖南怀化人, 在读硕士, 主要从事风景园林植物资源研究。E-mail: 1378740472@qq.com

【通信作者】 汪琼(1974—), 女, 湖北鄂州人, 教授, 硕士生导师, 主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: 1006078164@qq.com

volatile components (including alkenes, aldehydes, alcohols, acids and ketones) were detected at different flowering periods. There were 39, 41, 45 and 41 volatile components at bud, half-open, full flowering and final flowering periods, respectively, including 20 common components. The composition of volatile components was different at various flowering periods. The most abundant volatile component was  $\beta$ -Pinene at bud period, full flowering period and final flowering period with relative contents of 26.20%, 16.85% and 21.24%, respectively. Z-5-nondecadene had the highest relative content of 23.03% at half-open period. There were 38 major volatile components at different flowering periods. Compared to the final flowering period, volatile compositions at bud period, half-open period and full flowering periods were similar to each other. A total of 27, 30, 28 and 27 volatile components were detected in pistil, stamen, petal and sepal at full flowering period, respectively. Alkenes had the highest relative contents in pistil, stamen and petal, while ester had the highest content in sepal. There were large differences in volatile components between pistil and sepal, and small differences between petal and stamen.  $\beta$ -Pinene, linolool formate, 5-Nonadecen-1-ol, Z-5-Nonadecene, nonadecane, 2-methoxy-3-(2-propenyl)-phenol,  $\beta$ -Ocimene, acetic acid phenylmethyl ester and octanal were main differential substances in various flower organs. Pistil with high  $\beta$ -Pinene content and sepal with high  $\beta$ -Ocimene, linolool formate and n-octanal contents were main parts of fragrance releasing. 【Conclusion】 The floral fragrance of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae* was mainly from the volatile compounds in pistil and sepal, which changed significantly at the final flowering period.

**Key words:** *Rosa banksiae* Ait. var. *banksiae*; GC-MS; volatile component; floral fragrance

花香是花朵释放的次生代谢产物,由许多低分子量的挥发性成分组成,主要为萜类、芳香族和脂肪酸类化合物<sup>[1]</sup>。花香被誉为“花卉的灵魂”<sup>[2]</sup>,能给人们带来丰富多样的嗅觉感受。前人研究发现,不同发育时期花的挥发性成分及其含量差异明显,如玫瑰(*Rosa rugosa*)花发育过程中醇类物质在半开期含量最高,酯类物质在盛开期含量最高,萜烯类物质在花蕾期含量最高<sup>[3]</sup>;与之不同的是单花鸢尾(*Iris uniflora*)花发育过程中,萜烯类物质在盛开期含量最高,酚类物质在花蕾期含量最高<sup>[4]</sup>。此外,不同花器官中挥发性成分种类构成不同,如梅花(*Prunus mume*)花瓣以芳香族化合物和脂肪酸衍生物为主,雄蕊以芳香族化合物为主,花萼、花盘和雌蕊群均以单萜化合物为主<sup>[5]</sup>;而在紫薇‘香雪云’(*Lagerstroemia indica* ‘Xiangxueyun’)中,花瓣中芳香族化合物和萜类化合物含量较高,雌蕊和雄蕊中则以萜类化合物为主<sup>[6]</sup>;同时,在对山茶‘克瑞墨大牡丹’(*Camellia japonica* ‘Kramer’s supreme’)<sup>[7]</sup>、紫花含笑(*Michelia crassipes*)<sup>[8]</sup>、牡丹(*Paeonia suffruticosa*)<sup>[9]</sup>不同花器官的挥发性成分进行检测后发现,花香成分间存在明显差异性和一定的相似性。因此,多元化研究可以了解植物开花过程中挥发性成分的差异变化和释放规律。

木香花(*Rosa banksiae* Ait. var. *banksiae*)为蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*)常绿攀援小灌木<sup>[10]</sup>。

目前,研究者已对木香花(*R. banksiae* Ait. var. *banksiae*)和黄木香花(*R. banksiae* var. *lutea*)挥发性成分进行分析,发现木香花主要挥发性成分为苯甲醇、 $\beta$ -石竹烯、 $\beta$ -紫罗兰酮、乙酸苄酯和乙酸己酯等物质,黄木香花主要挥发性成分为罗勒烯、 $\beta$ -石竹烯、紫苏烯、 $\beta$ -二氢紫罗兰酮<sup>[11]</sup>;对七里香蔷薇(*R. banksiae* R. Br. var. *noroalis* Regel.)<sup>[12]</sup>果实的挥发油成分进行分析,发现苄醇、丁子香酚、苯丙醛为主要成分。以上研究仅限于对挥发性成分的定性分析,而对挥发性成分的释放部位和规律研究较少。因此,本研究以木香花为试验材料,利用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对木香花不同花期(花蕾期、半开期、盛花期、末花期)及盛花期不同花器官(雌蕊、雄蕊、花瓣及萼片)的挥发性成分进行分析鉴定,为后续木香花挥发性成分代谢研究及其资源化利用奠定基础。

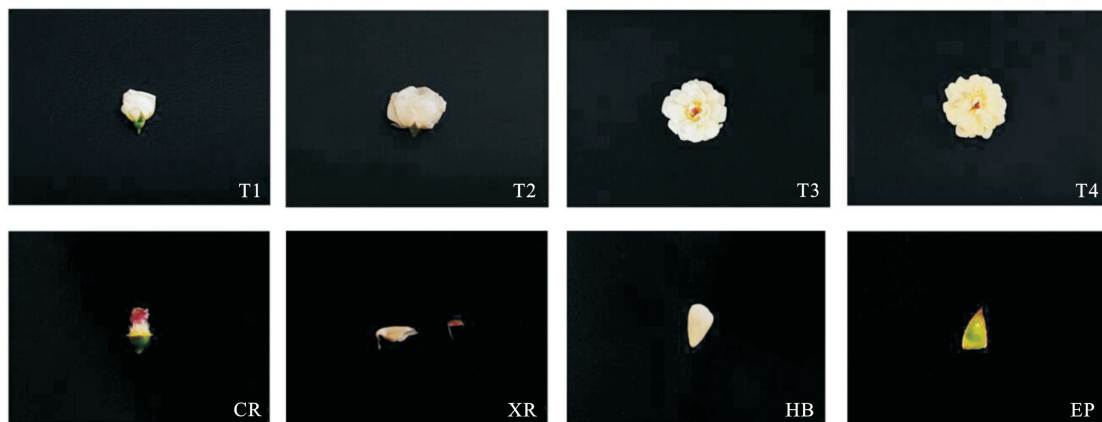
## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

2023年3月选取西南林业大学(25°03'54" N, 102°45'34" E)健康且长势相近的木香花作为供试材料,在天气晴朗的上午10:00收集处于花蕾期(花蕾顶端出现缝隙,但无法看到雌雄蕊)、半开期(花朵半开,能看到部分雌雄蕊)、盛花期(花朵完全开放,花瓣洁白平整)、末花期(花瓣反卷发黄且易脱落)<sup>[13]</sup>

的木香花花朵,带回实验室后分别称取每个花期约 0.4 g 花朵进行挥发性成分测定。同时将盛花期的花朵解剖成雌蕊、雄蕊、花瓣、萼片 4 部分(图 1),每

部分称取约 0.4 g 样品进行挥发性成分测定,以上试验均设置 3 次重复。



T1. 花蕾期;T2. 半开期;T3. 盛花期;T4. 末花期。CR. 雌蕊;XR. 雄蕊;HB. 花瓣;EP. 萼片。

T1. Bud period;T2. Half-open period;T3. Full flowering period;T4. Final flowering period. CR. Pistil;XR. Stamen;HB. Petal;EP. Sepal.

图 1 木香花不同花期和不同花器官形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of flowers at different flowering periods and different floral organs of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae*

## 1.2 不同花期及花器官挥发性成分测定

采用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对木香花不同花期及盛花期不同花器官的挥发性物质进行定量测定。采用岛津 HS-20 顶空自动进样器进行挥发性成分的收集和吸附。HS-20 收集吸附条件为:传输线温度 150 °C,恒温炉温度 70 °C,恒温时间 30 min,加压 1 min,捕集阱加热温度 280 °C,导入时间 0.5 min。

气相色谱条件:色谱柱:SH-Rts-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序为初始温度 50 °C,先以 1 °C/min 升至 65 °C 保持 3 min,再以 1 °C/min 升至 75 °C 保持 1 min,然后以 5 °C/min 升至 200 °C 保持 4 min,最后以 5 °C/min 升至 225 °C 保持 1 min;柱流速为 0.8 mL/min;载气为氦气,载气流速为 1 mL/min,不分流进样。

质谱条件:电离方式离子源(EI),电子能量 69.9 eV,离子源温度 230 °C,发射电流 34.6 μA,电子倍增器电压 1 624 V;扫描质量范围( $m/z$ )10~701 amu。

## 1.3 数据分析

采用 NIST 2017 谱图库兼顾色谱保留时间定性确认、鉴定出各样品的主要挥发性成分,采用峰面积归一法计算样品中各挥发性物质的相对含量,采用 Excel 2010、SPSS 26.0 对试验数据进行统计分析,采用 SIMCA14.1 和 Metware Cloud 进行

OPLS-DA 分析、关键挥发性成分筛选以及聚类热图分析,采用 Origin 2023 进行图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同花期木香花挥发性成分组成

将不同花期木香花挥发性成分的总离子流色谱图信息经计算机检索和资料分析,扣除空气本底杂质,共检出 78 种挥发性成分,包含烯烃类、醛类、醇类、酸类、酯类、酮类等物质(表 1)。其中烯烃类物质种类最多,有 29 种;其次为醛类物质,有 12 种;酸类、酚类、醚类、炔烃类和其他物质的种类较少。

由表 1 可知,在花蕾期、半开期、盛花期和末花期,木香花挥发性成分分别有 39,41,45 和 41 种,共有成分有 20 种。花蕾期木香花的挥发性成分构成以烯烃类(56.68%)和烷烃类(14.90%)为主,占总成分的 71.58%;半开期木香花的挥发性成分以烷烃类(22.93%)和烯烃类(50.47%)为主,占总成分的 73.40%;盛花期木香花的挥发性成分以醛类(16.05%)、烷烃类(19.93%)和烯烃类(43.51%)为主,占总成分的 63.44%;末花期木香花的挥发性成分以醛类(32.84%)、烯烃类(36.47%)和烷烃类(17.40%)为主,占总成分的 86.70%。以上结果表明,随开花进程的推进,木香花的挥发性成分中烯烃类物质的相对含量呈逐渐降低的趋势,烷烃类物质的相对含量呈先升高后逐渐降低的趋势,醛类物质

的相对含量呈先降低后升高的趋势。

不同花期木香花的挥发性成分组成不同,花蕾期、盛花期和末花期相对含量最高的成分均为  $\beta$ -蒎烯,其相对含量分别为 26.20%,16.85%和 21.24%,

半开期 Z-5-十九烯的相对含量最高,为 23.03%。随开花进程的推进,Z-5-十九烯的相对含量呈先上升后下降的趋势, $\beta$ -蒎烯的相对含量则呈先降低后上升的趋势。

表 1 木香花不同花期挥发性成分鉴定结果

Table 1 Identification of volatile components of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae* at different flowering periods

编号 No.	化合物名称 Name of compound	相对含量/% Relative content			
		花蕾期 Bud period	半开期 Half-open period	盛花期 Full flowering period	末花期 Final flowering period
<b>酯类 Esters(5)</b>					
1	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.61±0.31 a	0.79±0.19 a	0.74±0.16 a	1.16±0.11 a
2	乙酸己酯 Hexyl acetate	—	0.20±0.03 b	1.47±0.65 a	—
3	乙酸苄酯 Acetic acid phenylmethyl ester	—	0.33±0.19 a	0.91±0.28 a	1.16±0.78 a
4	氨基甲酸(1-氰基-2-羟乙基)-1,1-二甲基乙酯 (1-cyano-2-hydroxyethyl)-carbamic acid-1,1-dimethyl ester	—	0.10±0.04	—	—
5	甲酸芳樟酯 Linolool formate	—	—	2.57±1.52	—
<b>醛类 Aldehydes(12)</b>					
6	3-甲基丁醛 3-Methyl-butanal	1.88±0.56 b	2.32±0.12 b	1.30±0.47 b	5.50±1.30 a
7	2-甲基丁醛 2-Methyl-butanal	1.11±0.70 b	0.28±0.05 b	0.42±0.27 b	4.11±1.04 a
8	2-甲基庚醛 2-Methyl-heptanal	0.46±0.23 b	—	1.16±0.65 b	2.52±0.25 a
9	正己醛 Hexanal	2.67±0.87 a	1.44±0.13 ab	1.80±0.53 a	—
10	2-己烯醛 2-Hexenal	2.30±0.66 a	0.43±0.11 b	1.09±0.41 ab	—
11	庚醛 Heptanal	0.52±0.11 b	0.27±0.04 b	2.05±1.48 a	—
12	苯甲醛 Benzaldehyde	1.18±0.31 a	1.05±0.17 a	2.46±1.54 a	0.64±0.13 a
13	正辛醛 Octanal	1.05±0.20 b	0.57±0.07 b	2.98±1.71 b	11.87±0.91 a
14	壬醛 Nonanal	1.07±0.04 b	0.68±0.12 b	2.13±1.00 b	7.00±0.42 a
15	癸醛 Decanal	0.23±0.07 b	0.27±0.08 b	0.52±0.27 b	1.24±0.09 a
16	3-((1S,5S,6R)-2,6-二甲基双环[3.1.1]庚-2-烯-6-基)丙醛 3-((1S,5S,6R)-2,6-Dimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl)propanal	—	—	0.14±0.02	—
17	Z,Z-10,12-十六二烯醛 Z,Z-10,12-Hexadecadienal	1.64±0.69	—	—	—
<b>酮类 Ketones(3)</b>					
18	8',10'-二氧杂螺[环丙烷-1,5'-三环[5.2.1.0{2,4}]癸烷]-6'-酮 8',10'-Dioxaspiro[cyclopropane-1,5'-tricyclo[5.2.1.0{2,4}]decane]-6'-one	0.25±0.10	—	—	—
19	$\beta$ -二氢紫罗兰酮 $\beta$ -Dihydro-ionone	1.75±0.36 a	1.81±0.19 a	1.54±0.36 a	1.19±0.13 a
20	$\beta$ -紫罗兰酮 $\beta$ -Ionone	2.12±0.50 ab	3.38±0.42 a	2.65±0.56 ab	1.33±0.23 b
<b>醇类 Alcohols(9)</b>					
21	正己醇 1-Hexanol	1.70±0.54 a	1.04±0.24 a	1.32±0.44 a	1.33±0.23 a
22	$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	0.79±0.13 a	0.72±0.07 a	0.65±0.38 a	1.31±0.18 a
23	二氢- $\beta$ -紫罗兰醇 Dihydro- $\beta$ -ionol	2.01±0.47 a	2.52±0.34 a	2.12±0.90 a	2.84±0.25 a
24	1-甲基环丙烷甲醇 1-Methylcyclopropyl-methanol	—	0.17±0.02	—	—
25	5-十九烯-1-醇 5-Nonadecen-1-ol	—	—	3.51±1.80	—
26	喇叭茶醇 Decahydro-1,1,4,7-tetramethyl-4aH-cycloprop[e]azulen-4a-ol	—	0.20±0.04	—	—
27	正戊醇 1-Pentanol	—	—	0.59±0.09	—
28	反式-3-己烯-1-醇 Trans-3-hexen-1-ol	—	—	—	1.27±0.54
29	反式-3-萜烯-2-醇 Trans-3-carene-2-ol	—	—	—	0.61±0.25
<b>酸类 Acids(2)</b>					
30	顺-11,14-二十碳二烯酸 11,14-Eicosadienoic acid	3.92±1.33 a	5.86±0.75 a	1.14±0.66 b	—
31	9(E),11(E)-十八碳二烯酸 9(E),11(E)-Conjugated linoleic acid	—	0.13±0.08	—	—
<b>烷烃类 Alkanes(9)</b>					
32	正十五烷 Pentadecane	0.82±0.62 ab	1.38±0.05 a	—	—
33	正十九烷 Nonadecane	13.02±2.20 bc	19.33±1.54 a	15.10±5.43 b	3.24±1.70 c

表 1(续) Table 1(continued)

编号 No.	化合物名称 Name of compound	相对含量/% Relative content			
		花蕾期 Bud period	半开期 Half-open period	盛花期 Full flowering period	末花期 Final flowering period
34	正二十烷 Eicosane	1.06±0.10 b	1.77±0.07 b	4.38±0.25 ab	7.22±1.98 a
35	2,6,10,15-四甲基十七烷 2,6,10,15-Tetramethyl-heptadecane	—	0.17±0.05	—	—
36	2-甲基辛二烷 2-Methyl-octacosane	—	0.28±0.21 a	—	0.25±0.04 a
37	正壬烷 Nonane	—	—	—	3.34±0.21
38	正十四烷 Tetradecane	—	—	0.45±0.24	—
39	正辛烷 Octane	—	—	—	3.53±0.34
40	2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-乙烯基双[5.2.0]壬烷 2-Methylene-4,8,8-trimethyl-4-Bicyclo [5.2.0] non- ane	0.66±0.46 b	3.93±1.25 a	—	—
<b>烯烃类 Alkenes(29)</b>					
41	3-十七烯 3-Heptadecene	6.32±0.47 a	6.77±0.35 a	2.26±0.55 b	—
42	Z-5-十九烯 Z-5-Nonadecene	15.77±2.06 a	23.03±1.31 a	13.09±5.47 a	1.53±0.68 b
43	9-二十烯 9-Eicosene	—	0.20±0.06	—	—
44	诱虫烯(Z)-9-Tricosene	—	—	0.39±0.12	—
45	壬烯 1-Nonene	—	—	—	0.18±0.02
46	8-十七烯 8-Heptadecene	—	—	0.25±0.09	—
47	2,4-己二烯 2,4-Hexadiene	—	—	1.58±1.02	—
48	3-乙烯基-1,2-二甲基-1,4-环己二烯 3-Ethenyl-1,2-dimethyl-1,4-cyclohexadiene	0.31±0.11	—	—	—
49	反式-1,2-双(1-甲基乙烯基)-环丁烷 Trans-1,2-bis(1-methylethenyl)-cyclobutane	1.16±0.38 a	0.21±0.01 a	0.75±0.31 a	0.86±0.63 a
50	β-罗勒烯 β-Ocimene	0.47±0.10 ab	—	0.85±0.32 a	0.56±0.26 ab
51	萜品油烯 Tterpinolene	0.42±0.09 a	—	0.31±0.16 a	0.37±0.17 a
52	β-蒎烯 β-Pinene	26.20±3.74 a	12.80±2.17 b	16.85±4.66 ab	21.24±1.88 ab
53	(E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯 (E)-4,8-dimethylnona-1,3,7-triene	0.31±0.07 a	0.19±0.02 a	0.65±0.24 a	0.45±0.14 a
54	茶螺烷 2,6,10,10-tetramethyl-1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene	1.12±0.26 a	1.24±0.09 a	1.08±0.29 a	1.63±0.18 a
55	4,6(Z),8(Z)-巨豆三烯 Megastigma-4,6(Z),8(Z)-triene	—	—	0.82±0.38	—
56	3,7(E),9-巨豆三烯 Megastigma-3,7(E),9-triene	0.58±0.36 a	0.97±0.40 a	0.52±0.19 a	0.62±0.04 a
57	双环吉马烯 Bicyclogermacrene	1.86±0.81	—	—	—
58	α-石竹烯 α-Caryophyllene	1.32±1.09	—	—	—
59	反式石竹烯 Trans-Caryophyllene	—	—	3.53±1.68 a	4.70±0.46 a
60	γ-古朱烯 γ-Gurjunene	0.16±0.06 b	—	—	0.40±0.12 a
61	1,5,9,9-四甲基-Z,Z,Z-1,4,7-环十一三烯 1,5,9,9-Tetramethyl-Z,Z,Z-1,4,7-cycloundecatriene	—	0.92±0.72	—	—
62	2-外-反式-β-石竹烯 2-epi-trans-β-caryophyllene	—	0.22±0.03	—	—
63	(-)-丁香三环烯(-)-Clovone	—	—	0.18±0.09 b	1.03±0.04 a
64	α-蒎烯 α-Pinene	—	—	—	0.24±0.06
65	γ-喜马拉雅烯 γ-Himachalene	—	—	—	0.70±0.30
66	1,3-二甲基-1,5-环辛二烯 1,3-Dimethyl-1,5-cyclooctadiene	—	—	0.38±0.19 a	0.39±0.24 a
67	α-红没药烯 α-Bisabolene	—	—	—	0.79±0.09
68	广藜香烯 Patchoulene	—	—	—	0.57±0.14
69	4,4-二甲基-2-(2,7-辛二烯基)-1-环丁烯 4,4-Dimethyl-2-(2,7-octadienyl)-1-cyclobutene	—	—	—	0.20±0.05
<b>芳香烃类 Arenes(29)</b>					
70	4-乙基间二甲苯 4-Ethyl-m-xylene	0.38±0.16	—	—	—
71	4aR,8aS-4a-甲基-1-亚甲基-7-(2-亚乙基)丙基-十氢萘 (4aR, 8aS)-4a-Methyl-1-methylene-7-(propan-2-ylidene)decahydronaphthalene	—	—	—	0.28±0.11
72	邻伞花烃 o-Cymene	—	—	0.80±0.45	—
73	1-(1-甲酰乙基)-4-(1-丁烯-3-基)苯 1-(1-formylethyl)-4-(1-buten-3-yl)-benzene	0.37±0.10	—	—	—



表 1(续) Table 1(continued)

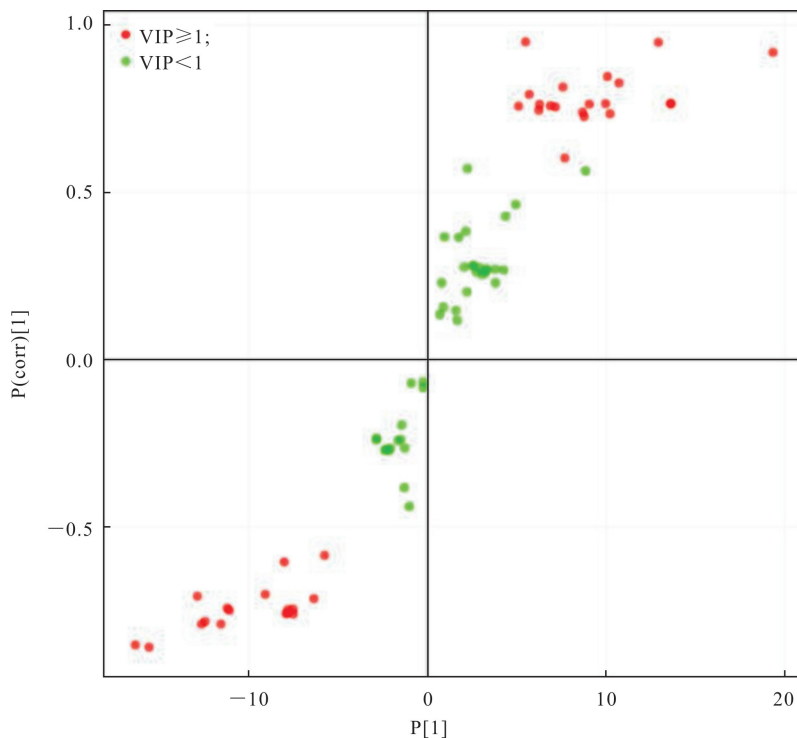
编号 No.	化合物名称 Name of compound	相对含量/% Relative content			
		花蕾期 Bud period	半开期 Half-open period	盛花期 Full flowering period	末花期 Final flowering period
<b>酚类 Phenolics(2)</b>					
74	顺式-甲基异丁香油酚 (Z)-1,2-Dimethoxy-4-propenyl-benzene	—	—	0.28±0.14	—
75	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚 2-Methoxy-3-(2-propenyl)-phenol	—	0.90±0.47 a	0.21±0.08 ab	—
<b>醚类 Ethers(1)</b>					
76	苄基甲基醚 Methoxymethyl-benzene	—	0.17±0.03 b	—	0.81±0.26 a
<b>炔烃类 Alkynes(1)</b>					
77	2-甲基-7-十八炔 2-Methyl-7-octadecyne	—	0.97±0.77	—	—
<b>其他类 Others(1)</b>					
78	3,4-二甲基-2,5-二丙基-2-烯基-2,5-二氢噻吩-1,1-二氧化物 3,4-Dimethyl-2,5-diprop-2-enyl-2,5-dihydrothio- phene 1,1-dioxide	0.40±0.16	—	—	—
总计 Total		99.99±0.02 a	100.03±0.03 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a

注:同行数据后标不同小写字母表示不同花期间差异显著( $P<0.05$ ),括号内数值为成分种类数;‘—’表示未检出。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between various flowering periods ( $P<0.05$ ). The value in parentheses shows number of components and ‘—’ means not detected. The same below.

对不同花期木香花挥发性成分进行正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA), 得出 Splot 图(图

2), 从而筛选出 37 种  $VIP \geq 1$  的差异特征标志物。通过绘制聚类热图(cluster heatmap)可以直观看到 37 种差异挥发性成分。



纵横坐标分别表示主成分与挥发性物质的协方差和相关系数。

Horizontal and vertical coordinates represent covariance and correlation coefficient of principal components and volatile substances.

图 2 木香花不同花期挥发性成分的 OPLS-DA Splot 图

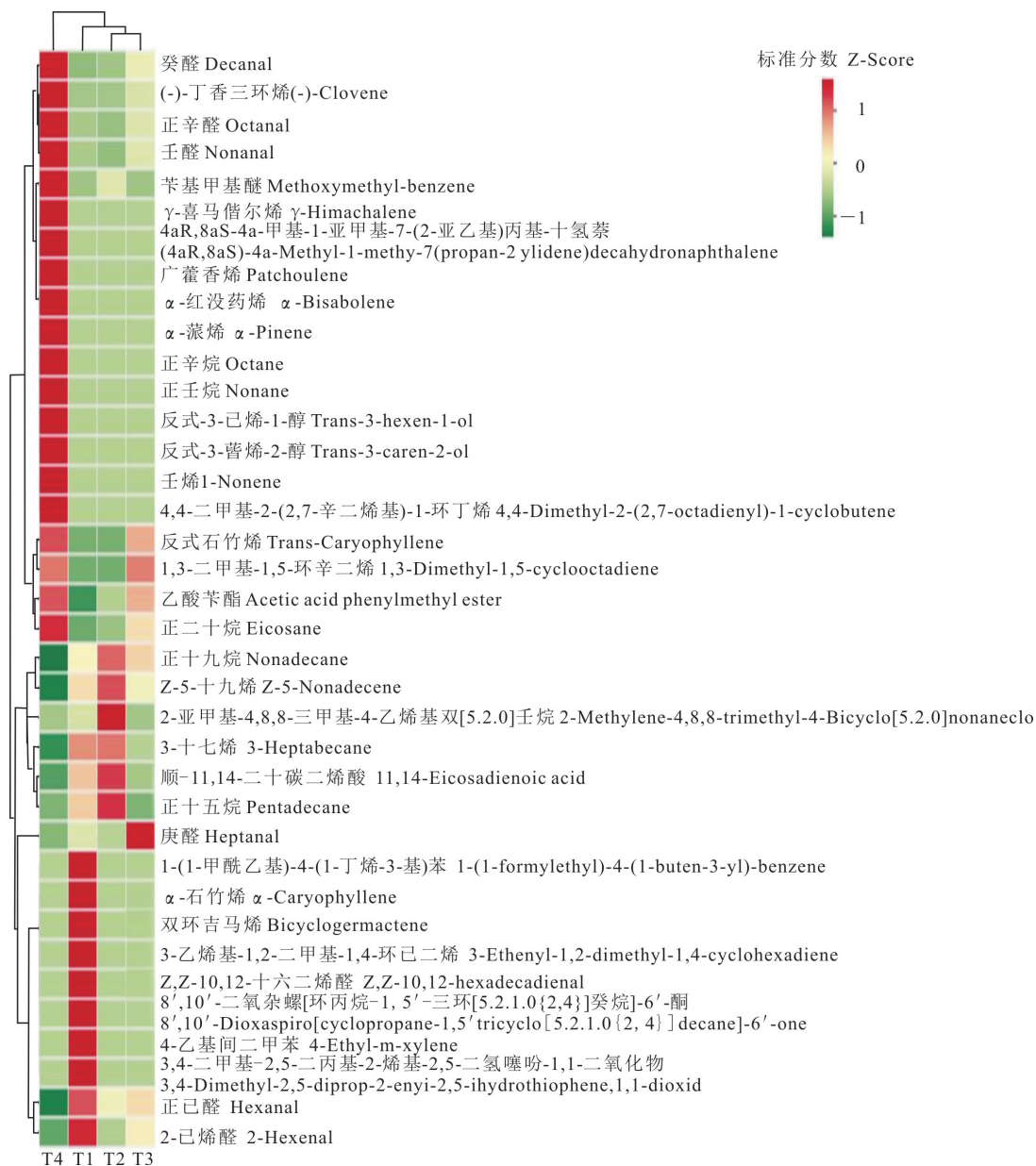
Fig. 2 OPLS-DA Splot of volatile constituents of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae* at different flowering periods

由图 3 可知,4 个花期木香花挥发性成分相互区分,其中半开期、盛花期和花蕾期挥发性成分距离较近,均与末花期挥发性成分距离较远。说明半开

期、盛花期和花蕾期挥发性成分相近,均与末花期挥发性成分差异较大。由图 3 还可知,花蕾期木香花挥发性成分中含量较高的化合物有 1-(1-甲酰乙

基)-4-(1-丁烯-3-基)苯、 $\alpha$ -石竹烯、双环吉马烯、3-乙炔基-1,2-二甲基-1,4-环己二烯、Z,Z-10,12-十六二烯醛、8',10'-二氧杂螺[环丙烷-1,5'-三环[5.2.1.0{2,4}]癸烷]-6'-酮、4-乙基间二甲苯、3,4-二甲基-2,5-二丙基-2-烯基-2,5-二氢噻吩-1,1-二氧化物、2-己烯醛;半开期和盛花期木香花中挥发性成分含量较高的化合物分别为 2-亚甲基-4,8,8-三甲基-4-

乙炔基双[5.2.0]壬烷和庚醛;末花期木香花中挥发性成分含量较高的化合物有壬醛、癸醛、(-)-丁香三环烯、正辛醛、苜基甲基醚、 $\gamma$ -喜马偕尔烯、4aR,8aS-4a-甲基-1-亚甲基-7-(2-亚乙基)丙基-十氢萘、 $\alpha$ -红没药烯、广藿香烯、 $\alpha$ -蒎烯、正壬烷、正辛烷、壬烯、4,4-二甲基-2-(2,7-辛二烯基)-1-环丁烯。上述挥发性成分可作为区分不同花期木香花的潜在标志物。



热图中每行表示同一种挥发性成分在不同花期期间的差异,每列表示某种挥发性成分在某个花期相对含量的标准分数,颜色由绿到红代表相对含量标准分数由低到高。T1.花蕾期;T2.半开期;T3.盛花期;T4.末花期。

Each row represents the difference of same volatile component in different flowering periods,and each column represents the relative content of certain volatile component at certain flowering period. Color ranging from green to red represents relative contents from low to high. T1. Bud period;T2. Half-open period;T3. Full flowering period;T4. Final flowering period.

图 3 木香花不同花期的差异特征标志物聚类热图

Fig. 3 Cluster heatmap of differential characteristic markers from *R. banksiae* Ait. var. *banksiae* at different flowering periods

## 2.2 木香花盛花期不同花器官挥发性成分

由表2可知,从盛花期木香花雌蕊、雄蕊、花瓣、萼片中分别检出27,30,28,27种挥发性成分。不同花器官挥发性成分的组成及相对含量各不相同,烯烴类物质在雌蕊中相对含量最高,为70.58%,其中 $\beta$ -蒎烯相对含量为55.03%,明显高于其余成分,为雌蕊中的主要挥发性成分;雄蕊中挥发性成分以烯烴类(31.87%)和烷烴类(19.38%)为主,其中正十九烷和Z-5-十九烯的相对含量分别为16.81%和22.34%;花瓣中以烯烴类(34.41%)、醛类(21.98%)和烷烴类(21.77%)为主,其中正己醛、正十九烷、Z-5-十九烯相对含量分别为5.42%,17.87%,22.02%;萼片中挥发性成分以酯类(35.39%)、醛类(26.43%)和烯烴类(25.38%)为主,其中甲酸芳樟酯、 $\beta$ -罗勒烯和正辛醛相对含量分

别为30.67%,10.65%和8.41%。甲酸芳樟酯和 $\beta$ -罗勒烯在雄蕊和花瓣中均未检出,在雌蕊中相对含量分别为0.44%和3.23%,由此可知,烯烴类物质在雌蕊、雄蕊、花瓣中相对含量最高,萼片中酯类物质相对含量最高。

由表2还可知,盛花期各花器官共有9种挥发性成分,其中2-甲基丁醛、2-己烯醛在雌蕊、花瓣和萼片中的相对含量均达到1%以上,但均在雄蕊中相对含量最低;而正辛醛和壬醛在雌蕊中相对含量最低,在萼片中最高;正十九烷和Z-5-十九烯在萼片中相对含量最低,在花瓣和雄蕊中最高;正己醇、正二十烷在各花器官中的相对含量均在2%以上,且不同花器官之间差异不显著;反式石竹烯在各花器官中的相对含量均低于2%。除2-己烯醛和反式石竹烯外,其他7种物质也是不同花期木香花花朵的共有成分。

表2 木香花盛花期不同花器官挥发性成分鉴定结果

Table 2 Identification of volatile components from different floral organs of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae*

编号 No.	化合物 Compounds	相对含量/% Relative content			
		雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	花瓣 Petal	萼片 Sepal
<b>酯类 Esters(4)</b>					
1	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.44±0.42 b	—	—	3.28±0.48 a
2	乙酸己酯 Hexyl acetate	—	4.56±2.91 a	2.00±0.32 a	1.44±0.99 a
3	乙酸苄酯 Acetic acid phenylmethyl ester	0.34±0.06 a	4.58±0.84 a	—	—
4	甲酸芳樟酯 Linolool formate	0.44±0.16 b	—	—	30.67±3.25 a
<b>醛类 Aldehydes(11)</b>					
5	3-甲基丁醛 3-Methyl-butanal	3.83±1.07 a	—	—	1.99±0.60 ab
6	2-甲基丁醛 2-Methyl-butanal	1.28±0.29 a	0.84±0.24 a	2.57±0.97 a	2.69±1.40 a
7	2-己烯醛 2-Hexenal	3.66±1.24 a	0.41±0.08 a	2.22±0.61 a	3.65±1.61 a
8	苯甲醛 Benzaldehyde	—	2.88±1.55	—	—
9	正辛醛 Octanal	0.63±0.06 c	4.23±2.52 ab	2.83±0.19 c	8.41±1.85 a
10	壬醛 Nonanal	1.04±0.18 c	1.17±0.28 c	3.77±1.50 ab	5.45±1.20 a
11	癸醛 Decanal	—	0.43±0.15 ab	—	1.01±0.34 a
12	2-甲基庚醛 2-Methyl-heptanal	—	0.60±0.25 ab	—	1.11±0.29 a
13	3-((1S,5S,6R)-2,6-二甲基双环[3.1.1]庚-2-烯-6-基)丙醛 3-((1S,5S,6R)-2,6-Dimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-en-6-yl)propanal	—	—	2.57±0.97	—
14	正己醛 Hexanal	0.35±0.07 c	2.44±0.56 b	5.42±0.49 a	—
15	庚醛 Heptanal	—	0.52±0.31 a	2.59±1.47 a	2.12±0.28 a
<b>酮类 Ketones(2)</b>					
16	$\beta$ -二氢紫罗兰酮 $\beta$ -Dihydro-ionone	—	1.28±0.44 a	1.20±0.59 a	—
17	$\beta$ -紫罗酮 $\beta$ -Ionone	—	1.71±0.68 a	2.08±0.53 a	—
<b>醇类 Alcohols(5)</b>					
18	正己醇 1-Hexanol	3.23±1.80 a	2.55±0.59 a	4.14±0.32 a	2.52±0.59 a
19	$\alpha$ -松油醇 $\alpha$ -Terpineol	1.76±0.25 b	—	—	2.47±0.18 a
20	二氢- $\beta$ -紫罗兰醇 Dihydro- $\beta$ -ionol	0.40±0.04 ab	1.64±0.59 a	0.89±0.18 ab	—
21	5-十九烯-1-醇 5-Nonadecen-1-ol	—	—	4.30±2.59	—
22	正戊醇 1-Pentanol	—	0.88±0.29 b	0.83±0.36 b	3.58±1.35 a
<b>酸类 Acids(1)</b>					
23	11,14-二十碳二烯酸 11,14-Eicosadienoic acid	1.89±0.51 b	5.67±0.91 a	5.18±1.51 a	—
<b>烷烴类 Alkanes(3)</b>					
24	正十九烷 Nonadecane	6.91±1.07 b	16.81±1.79 a	17.87±4.78 a	1.57±0.57 b
25	正二十烷 Eicosane	2.37±0.92 a	1.98±0.22 a	3.90±1.07 a	2.55±1.66 a
26	正十四烷 Tetradecane	0.32±0.04 b	0.58±0.08 a	—	—



表 2(续) Table 2(continued)

编号 No.	化合物 Compounds	相对含量/% Relative content			
		雌蕊 Pistil	雄蕊 Stamen	花瓣 Petal	萼片 Sepal
<b>烯烃类 Alkenes(16)</b>					
27	3-十七烯 3-Heptadecene	0.38±0.18 b	2.66±0.68 a	4.46±1.11 a	—
28	Z-5-十九烯 Z-5-Nonadecene	6.86±0.50 b	22.34±2.42 a	22.02±5.17 a	1.35±0.47 b
29	诱虫烯(Z)-9-Tricosene	—	—	0.93±0.70	—
30	2,4-己二烯 2,4-Hexadiene	—	0.93±0.34 b	2.12±0.58 ab	2.99±0.91 a
31	8-十七烯 8-Heptadecene	0.60±0.03 a	—	0.59±0.31 a	—
32	β-蒎烯 β-Pinene	55.03±4.56 a	1.98±0.51 b	—	0.74±0.22 b
33	反式-1,2-双(1-甲基乙炔基)-环丁烷 Trans-1,2-bis(1-methylethenyl)-cyclobutane	1.33±0.11 a	—	—	1.51±0.41 a
34	(E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯 (E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene	1.33±0.25 a	—	—	1.09±0.10 a
35	茶螺烷 2,6,10,10-tetramethyl-1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene	—	0.78±0.24 ab	1.69±0.56 a	0.91±0.08 ab
36	3,7(E),9-巨豆三烯 Megastigma-3,7(E),9-triene	—	1.50±0.87 ab	0.32±0.09 b	3.03±1.19 a
37	4,6(Z),8(Z)-巨豆三烯 Megastigma-4,6(Z),8(Z)-triene	—	0.37±0.09	—	—
38	(-)-丁香三环烯(-)-Clovone	—	—	0.72±0.27	—
39	反式石竹烯 Trans-Caryophyllene	0.40±0.04 c	1.31±0.40 ab	1.56±0.22 a	0.55±0.22 bc
40	β-罗勒烯 β-Ocimene	3.23±0.57 ab	—	—	10.65±4.99 a
41	萜品油烯 Terpinolene	0.97±0.23 ab	—	—	1.28±0.55 a
42	1,3-二甲基-1,5-环辛二烯 1,3-Dimethyl-1,5-cyclooctadiene	0.46±0.17 a	—	—	1.28±0.89 a
<b>芳香烃类 Arenes(1)</b>					
43	邻伞花烃 o-Cymene	0.49±0.23	—	—	—
<b>酚类 Phenolics(2)</b>					
44	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚 2-Methoxy-3-(2-propenyl)-phenol	—	8.10±2.25 a	0.42±0.19 b	—
45	顺式-甲基异丁香油酚 (Z)-1,2-Dimethoxy-4-propenyl-benzene	—	1.65±0.41 a	0.39±0.25 b	—
总计 Total		99.98±0.01 a	97.40±2.61 a	99.60±0.39 a	99.89±0.11 a

对木香花不同花器官的挥发性成分进行 OPLS-DA 分析,自变量拟合指数( $R^2X$ )为 0.832,因变量拟合指数( $R^2Y$ )为 0.972,模型预测指数( $Q^2$ )为 0.897, $R^2$  为 0.972, $R^2$  和  $Q^2$  均超过 0.5,表示模型拟合结果可接受<sup>[15]</sup>。由图 4-a 可知,木香花不同花器官挥发性成分的 OPLS-DA 得分图显示

了 3 个不同的聚类,其中雌蕊中挥发性成分位于第一象限,雄蕊和花瓣中挥发性成分位于第二、三象限交界的 X 负半轴和第三象限,萼片中挥发性成分位于第四象限,表明雄蕊和花瓣中挥发性成分差异小,雌蕊、萼片中挥发性成分差异较大。经过 200 次置换检验,结果如图 4-b 所示。

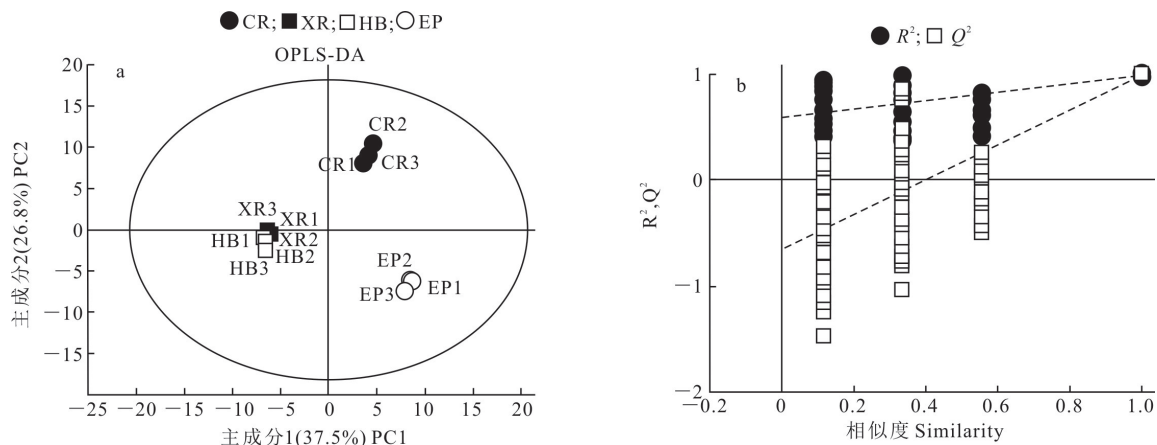
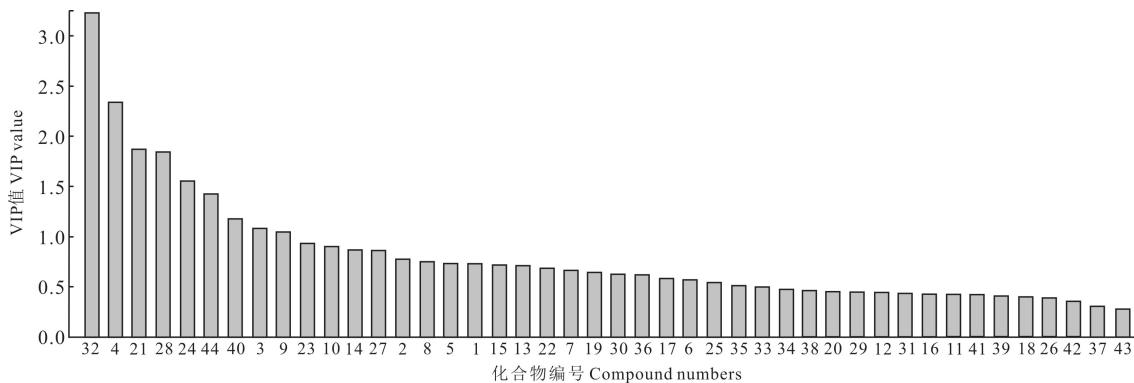


图 4 木香花不同花器官挥发性成分 OPLS-DA 得分图(a)和检验图(b)

Fig. 4 OPLS-DA score plot (a) and permutation test graph (b) of volatile components in different floral organs of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae*

由图 4-b 可知,  $Q^2$  回归线与纵轴交叉的截距小于 0, 说明模型不存在过拟合, 模型验证有效, 拟合结果可用于木香花不同花器官挥发性成分的差异分析。

通常用 VIP 来选择 OPLS-DA 模型中的要素, 由图 5 可知, 木香花不同花器官的挥发性成分中, 有 9 种化合物的 VIP 值大于 1, 可用于区分不同花器官中挥发性成分的差异。这 9 种化合物分别为  $\beta$ -蒎烯、甲酸芳樟酯、5-十九烯-1-醇、Z-5-十九烯、正十九烷、2-甲氧基-3-(2-丙烯基)苯酚、 $\beta$ -罗勒烯、乙酸苯



图中化合物编号同表 2。

Compound numbers are same as Table 2.

图 5 木香花不同花器官 45 种挥发性成分的 VIP 值

Fig. 5 VIP value of 45 volatile components in different floral organs of *R. banksiae* Ait. var. *banksiae*

### 3 讨论与结论

花香成分分析是近年国内外的热门研究领域, 目前已鉴定出 2 000 多种花香化合物。在这些化合物中, 萜烯类、酯类、醇类、醛类物质占有很大比例, 如牡丹花香成分中萜烯类和醇类含量较高<sup>[15]</sup>, 玫瑰花瓣中醇类、酯类和萜烯类化合物是主要香气成分<sup>[3]</sup>。本研究对不同花期木香花花香进行检测, 共发现了 78 种挥发性成分, 其中烯炔类最多, 有 29 种, 醛类 12 种, 酯类仅有 5 种; 相对含量较高的挥发性成分为  $\beta$ -蒎烯、Z-5-十九烯、正十九烷和正辛醛。这与李淑颖<sup>[11]</sup>等测定的木香花、黄木香花主要芳香物质为苯甲醇、 $\beta$ -石竹烯有较大差别, 可能是不同生长环境、不同品种对植物挥发性成分有重要影响<sup>[21]</sup>所致。

本研究结果表明, 不同发育阶段对花香的香气成分及其含量影响显著。在花蕾期、半开期、盛花期和末花期, 木香花挥发性成分分别有 39, 41, 45 和 41 种, 其中盛花期挥发性成分种类最为丰富。这与欧洲水仙 (*Narcissus tazetta*)、波叶金桂 (*Osmanthus fragrans* Boye Jingui) 在不同花期香气成分的释放规律相似<sup>[22-23]</sup>。同时, 随着木香花开花进程的

酯和正辛醛。已有文献报道,  $\beta$ -蒎烯香味为树脂、树脂香<sup>[16]</sup>, 正辛醛具水果、青草气味<sup>[17]</sup>, 甲酸芳樟酯香味呈香柠檬油样的果味、玫瑰香气<sup>[18]</sup>,  $\beta$ -罗勒烯呈花香、甜香、草香和果香<sup>[19-20]</sup>。木香花作为香花植物, 其花香为果香花香型、类似茉莉花头香。因此, 推测  $\beta$ -蒎烯相对含量较高的雌蕊以及  $\beta$ -罗勒烯、甲酸芳樟酯和正辛醛相对含量较高的萼片是木香花释放香气的主要部位。

推进, 烯炔类物质的相对含量呈逐渐降低的趋势, 烷炔类物质的相对含量呈先升高后逐渐降低的趋势, 醛类物质的相对含量呈先降低后升高的趋势。这与蜡梅 (*Chimonanthus praecox*)、晚香玉 (*Polianthes tuberosa*)、栀子花 (*Gardenia jasminoides*) 在不同开花阶段花香成分的释放规律<sup>[24-26]</sup>不同, 这可能是不同种类花卉间主要香气成分存在较大差异<sup>[27]</sup>所致。

花香是由花瓣中的挥发性化合物产生的, 不同花器官释放化合物的种类及其相对含量有很大差异。对木香花不同花器官挥发性成分检测发现,  $\beta$ -蒎烯为雌蕊中的主要成分, 但在花瓣中未检测到  $\beta$ -蒎烯; 但袁颖等<sup>[28]</sup>对丰花玫瑰 (*Rosa rugosa* Fenghua) 不同部位挥发性成分检测发现, 雌蕊中未检测到  $\beta$ -蒎烯, 但花瓣中  $\beta$ -蒎烯含量最高。正十九烷和 Z-5-十九烯是雄蕊和花瓣的主要挥发性成分, 在甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)<sup>[29]</sup>和凤梨草莓 (*Fragaria ananassa*) 与黄毛草莓 (*F. nilgrrensis*) 种间杂种果实<sup>[30]</sup>中均检测到这 2 种物质, 但其相对含量均低于 5%。甲酸芳樟酯、 $\beta$ -罗勒烯、正辛醛是萼片中的主要挥发性成分, 在香紫苏 (*Salvia sclarea*) 精油<sup>[31]</sup>、丰花玫瑰<sup>[28]</sup>、柑橘 (*Citrus*) 果皮精油<sup>[32]</sup>中均

已检测到这 3 种物质。

木香花不同部位和不同阶段释放挥发性成分的种类及其相对含量有很大差异。复杂的花香调节模式致使不同开花时期的挥发性成分发生变化。此外,花器官释放物质的生物合成途径和积累模式差异也可能会导致挥发性成分有别。因此,可通过分子生物学等手段解析花香基因的生物合成途径,为木香花的分子育种提供理论基础。

## [参考文献]

- [1] DONG F, FU X M, WATANABE N, et al. Recent advances in the emission and functions of plant vegetative volatiles [J]. *Molecules*, 2016, 21(2): 124.
- [2] 陈秀中, 王琪. 中华民族传统赏花理论探微 [J]. *北京林业大学学报*, 2001, 23(S1): 16-21.
- CHEN X Z, WANG Q. Studies on Chinese principles in appreciating traditional flowers [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(S1): 16-21.
- [3] 冯立国, 生利霞, 赵兰勇, 等. 玫瑰花发育过程中芳香成分及含量的变化 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41(12): 4341-4351.
- FENG L G, SHENG L X, ZHAO L Y, et al. Changes of the aroma components and contents during the development of roses [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(12): 4341-4351.
- [4] 蔡科羽, 冯成玉, 许绍怿, 等. 单花鸢尾不同时期的花香成分 [J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51(8): 53-58.
- CAI K Y, FENG C Y, XU S Y, et al. Volatile components in different flowering stages of *Iris uniflora* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2023, 51(8): 53-58.
- [5] 赵印泉, 潘会堂, 张启翔, 等. 梅花花朵香气成分时空动态变化的研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32(4): 201-206.
- ZHAO Y Q, PAN H T, ZHANG Q X, et al. Dynamics of fragrant compounds from *Prunus mume* flowers [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(4): 201-206.
- [6] 徐婉, 蔡明, 潘会堂, 等. 紫薇‘香雪云’香气成分时空动态变化研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(6): 85-95.
- XU W, CAI M, PAN H T, et al. Study on spatial-temporal variability of volatile components in *Lagerstroemia indica* ‘Xiangxueyun’ [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, 39(6): 85-95.
- [7] 范正琪, 李纪元, 李辛雷, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析山茶品种‘克瑞墨大牡丹’花器官香气成分 [J]. *植物研究*, 2014, 34(1): 136-142.
- FAN Z Q, LI J Y, LI X L, et al. Analysis on the aroma components of different floral organs of *Aromatic camellia* ‘kramer’s supreme’ based on HS-SPME-GC-MS [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2014, 34(1): 136-142.
- [8] 袁婕俐, 金晓玲, 张峥, 等. 紫花含笑不同开花时期花被片的挥发性成分分析 [J]. *园艺学报*, 2023, 50(5): 1095-1109.
- YUAN J L, JIN X L, ZHANG Z, et al. Volatility components of *Michelia crassipes* sepals at different flowering stages [J]. *Acta Horticultural Sinica*, 2023, 50(5): 1095-1109.
- [9] 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.
- 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]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2023, 47(3): 63-69.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十七卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 445-446.
- Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. *Flora of China: Volume 37* [M]. Beijing: Science Press, 1985: 445-446.
- [11] 李淑颖, 姚雷. 2 种木香花的自然香气成分分析与香型评价 [J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2013, 31(4): 51-57, 82.
- LI S Y, YAO L. Volatile composition analysis and aroma evaluation of *in-vivo* fragrance of two *Rosa banksiae* Ait. varieties [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2013, 31(4): 51-57, 82.
- [12] 杨芳, 嵯苏, 倪星, 等. 七里香蔷薇精油的化学成分分析 [J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(10): 2635-2636.
- YANG F, ZHUO S, NI X, et al. Chemical composition analysis of *Rosa banksiae* R. Br. var. *noroalis* Regel. plant essential oil [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2016, 55(10): 2635-2636.
- [13] 周晨晨, 范俊俊, 谭瑞楠, 等. ‘白兰地’海棠不同花期与不同花器官的香气成分分析 [J]. *福建农业学报*, 2022, 37(8): 1038-1047.
- ZHOU C C, FAN J J, TAN R N, et al. Aromatics in floral organs of *Malus* ‘Brandywine’ during different flowering stages [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37(8): 1038-1047.
- [14] YUN J, CUI C, ZHANG S. Use of headspace GC-MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea [J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 130033.
- [15] 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.
- ZHANG J, ZHOU X T, HU L P, et al. SPME-GC-MS measurement of volatile in different peony varieties [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(4): 136-143.
- [16] 白芸. 从松节油制得的食用香料概况 [J]. *中国食品添加剂*, 2006(4): 133-135.
- BAI Y. The general situation of flavor from turpentine oil [J]. *China Food Additives*, 2006(4): 133-135.
- [17] 孙小鑫. 天然茉莉、菊花精油香气协同作用机制研究 [D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020.
- SUN X X. Study on synergistic mechanism of natural jasmine and chrysanthemum essential oil aroma [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2020.
- [18] 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成分 [J]. *亚热带植物*

- 科学,2021,50(5):347-352.
- 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]. *Subtropical Plant Science*, 2021, 50(5):347-352.
- [19] FARRÉ-ARMENGOL G, FILELLA I, LIUSIÀ J, et al.  $\beta$ -ocimene, a key floral and foliar volatile involved in multiple interactions between plants and other organisms [J]. *Molecules*, 2017, 22(7):1148.
- [20] KANG Z W, LIU F H, ZHANG Z F, et al. Volatile  $\beta$ -ocimene can regulate developmental performance of peach aphid *Myzus persicae* through activation of defense responses in Chinese cabbage *Brassica pekinensis* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9:708.
- [21] 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.
- LIANG X L, WANG N, ZHOU Z X, et al. Volatile components of *Begonia handelii* by GC-MS [J]. *Subtropical Plant Science*, 2022, 51(6):424-433.
- [22] 秦军, 张蒙, 潘腾飞, 等. 欧洲水仙 4 个花期香气成分的 GC-MS 分析 [J]. *亚热带农业研究*, 2017, 13(1):41-45.
- QIN J, ZHANG M, PAN T F, et al. Analysis of aromatic compounds during four flowering stages in *Narcissus tazetta* by GC-MS [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2017, 13(1):41-45.
- [23] 施婷婷, 杨秀莲, 王良桂. ‘波叶金桂’花香成分的释放规律 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 42(2):97-104.
- SHI T T, YANG X L, WANG L G. Study on the aroma component emission pattern of *Osmanthus fragrans* ‘Boye Jingui’ [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2018, 42(2):97-104.
- [24] 周继荣, 倪德江. 蜡梅不同品种和花期香气变化及其花茶适制性 [J]. *园艺学报*, 2010, 37(10):1621-1628.
- ZHOU J R, NI D J. Changes in flower aroma compounds of cultivars of *Chimonanthus praecox* (L.) link and at different stages relative to *Chimonanthus* tea quality [J]. *Acta Horticultural Sinica*, 2010, 37(10):1621-1628.
- [25] 林榕燕, 钟淮钦, 黄敏玲, 等. 晚香玉花香成分时空动态变化的研究 [J]. *核农学报*, 2017, 31(12):2434-2442.
- LIN R Y, ZHONG H Q, HUANG M L, et al. Spatial and temporal changes of aromatic constituents from *Polianthes tuberosa* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(12):2434-2442.
- [26] 谭谊谈, 薛山, 唐会周. 不同花期栀子花的香气成分分析 [J]. *食品科学*, 2012, 33(12):223-227.
- TAN Y T, XUE S, TANG H Z. Analysis of aroma constituents in *Gardenia jasminoides* at different flowering stages [J]. *Food Science*, 2012, 33(12):223-227.
- [27] 张莹, 王雁, 李振坚, 等. 不同石斛兰香气成分的 GC-MS 分析 [J]. *广西植物*, 2011, 31(3):422-426.
- ZHANG Y, WANG Y, LI Z J, et al. GC-MS analysis on aroma components in four *Dendrobium cultivars* [J]. *Guihaia*, 2011, 31(3):422-426.
- [28] 袁颖, 郝瑞杰, 杜方, 等. 丰花玫瑰不同部位挥发成分研究 [J]. *山西农业科学*, 2018, 46(4):562-567.
- YUAN Y, HAO R J, DU F, et al. Study on the volatile components in different parts of *Rosa rugosa* ‘Fenghua’ [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46(4):562-567.
- [29] 梁勇, 典灵辉, 方昆阳, 等. 甘草挥发性成分 GC-MS 分析 [J]. *西北药学杂志*, 2005, 20(1):3-5.
- LIANG Y, DIAN L H, FANG K Y, et al. GC-MS analysis of volatile constituents of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch [J]. *Northwest Pharmaceutical Journal*, 2005, 20(1):3-5.
- [30] 王爱华, 马红叶, 李荣飞, 等. 凤梨草莓与黄毛草莓种间杂种果实香气成分的代谢谱分析 [J]. *中国农业科学*, 2021, 54(5):1043-1054.
- WANG A H, MA H Y, LI R F, et al. Metabolic analysis of aroma components in two interspecific hybrids from the cross of *F. ananassa* Duch. and *Fragaria nilgerrensis* Schlecht [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(5):1043-1054.
- [31] 蔡继宝, 林平, 桑文强, 等. 精油中挥发性成分 GC/FTIR 与 GC/MS 联合分析 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 25(10):1599-1602.
- CAI J B, LIN P, SANG W Q, et al. Analysis of essential oil components by GC/FTIR and GC/MS [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2005, 25(10):1599-1602.
- [32] 张涵, 鲁周民, 王锦涛, 等. 4 种主要柑橘类香气成分比较 [J]. *食品科学*, 2017, 38(4):192-196.
- ZHANG H, LU Z M, WANG J T, et al. Comparative aroma components of fruits of four main *Citrus varieties* [J]. *Food Science*, 2017, 38(4):192-196.

(责任编辑:陈丽)