

# 五种乔灌木鲜花挥发物成分与香气特征分析

裴诗纯<sup>1,2</sup>, 童莹<sup>1,2</sup>, 袁黎娜<sup>1</sup>, 姚雷<sup>1,2</sup>, 张楠<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>上海交通大学设计学院; <sup>2</sup>上海交通大学芳香植物研发中心, 上海 200240

**摘要:** 为探究香樟、日本女贞、大花六道木、阔叶十大功劳和穗花牡荆的鲜花应用价值, 采用顶空动态采样及热脱附-气相色谱质谱联用法对其挥发物进行定性定量分析, 并结合香气活力值评估其释香强度和香气特征。香樟与阔叶十大功劳鲜花均呈明显花香, 前者主成分为樟脑和芳樟醇, 后者主成分为顺式- $\beta$ -罗勒烯, 且香樟花释香强度与香气活力值远高于其他四种植物。大花六道木和日本女贞花香主成分均含苯甲醛和苯乙醛, 主要呈甜香特征。穗花牡荆花香主成分为乙酸叶醇酯和桉烯, 香气特征较为复杂。五种乔灌木花香中均有较高含量的保健成分, 特别是香樟花在保健园林和芳香疗法中有较好的潜在应用前景。

**关键词:** 乔灌木; 鲜花; 挥发物; 香气强度; 香气活力值

中图分类号: S685.99

文献标识码: A

## Analysis of the flower fragrance components and aroma characteristics of five trees and shrubs

PEI Shi-chun<sup>1,2</sup>, TONG Ying<sup>1,2</sup>, YUAN Li-na<sup>1</sup>, YAO Lei<sup>1,2</sup>, ZHANG Nan<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Landscape Architecture, School of Design, Shanghai Jiao Tong University; <sup>2</sup>Aromatic Plant R&D

Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

**Abstract:** This study aims to explore the application value of the flowers of *Cinnamomum camphora*, *Ligustrum japonicum*, *Abelia × grandiflora*, *Mahonia bealei*, and *Vitex agnus-castus*. The volatile compounds of above five flowers were qualitatively and quantitatively analyzed using headspace dynamic sampling and thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. The aroma intensity and aroma characteristics were further evaluated in combination with the odor activity value (OAV). The results showed that the aroma release intensity and OAV of the *C. camphora* flowers were much higher than those of the other four plants. Flower aromas of *C. camphora* and *M. bealei* exhibited a floral fragrance. The main components of the former were camphor and linalool, while the main components of the latter were cis- $\beta$ -ocimene. Benzaldehyde and phenylacetaldehyde were the main components of the flower volatiles of *A. × grandiflora* and *L. japonicum*, which showed a sweet fragrance. The flower fragrances of *V. agnus-castus* showed complex aroma characteristics, with its main components being acetate esters and sabinene. The flower volatiles of the five types of trees and shrubs had high contents of health-care ingredients with anti-anxiety, anti-inflammatory, and antibacterial functions. Especially, the flowers of *C. camphora* that provide strong olfactory stimuli have promising potential applications in health gardens and aromatherapy. In future research, the application value of the flowers as mentioned above can be further explored by extracting their volatile oils.

**Key words:** trees and shrubs; flower; volatiles; aroma intensity; odor activity value

植物挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs) 是其在生长发育过程中通过次生代谢途径合成的小分子有机物, 通常由萜烯类、醇类、酯类、醛类、酮类、酸类等组成。很多 VOCs 具有特殊的香气, 可以丰富人的嗅觉体验, 同时对人的身心健康产生例如降低血压、舒缓焦虑情绪、改善睡眠质量、减少炎症反应<sup>[1,2]</sup>等有益影响。除从植物中通过各种物理化学方法提取挥发油加以利

用外，可以在园林中利用植物自然状态释放的 VOCs 达成一定的保健功能。特别是针对许多鲜花，物理与化学方法提取挥发油可能会造成其挥发物成分一定的改变或损失，直接利用其 VOCs 基于嗅觉途径达成保健功能可能是更为有效的方法之一。此外，鲜花的香气特征与释香强度也可能影响人们对嗅觉环境的主观感知。因此，挖掘植物自然状态释放 VOCs 的强度、香气关键成分与特征能够为其在疗愈景观中的应用及保健价值的进一步开发提供一定依据。

香樟(*Cinamomum camphora*)、日本女贞(*Ligustrum japonicum*)、阔叶十大功劳(*Mahonia bealei*)、穗花牡荆(*Vitex agnus-castus*)、大花六道木(*Abelia × grandiflora*)是近年来城市园林中被广泛应用的乔灌木，也多作为药用植物使用。五种植物鲜花都具有相对较长的花期及一定的芳香性，但相较于其观赏性以及枝叶、果实等部位挥发物的药用价值开发，对其鲜花芳香成分、特征及应用的研究较为缺乏。

香樟作为重要的芳香植物资源，其木材、根、叶、果实均含有挥发油，主要成分包括樟脑、桉叶油醇、芳樟醇、龙脑、柠檬烯等，相关精油已被证明具有一定的抗炎、抗菌等作用<sup>[3,4]</sup>。目前对于香樟花香的化学成分与香气特征报道很少。有报道冷冻干燥后的香樟花蕾香气成分主要包括罗勒烯、 $\alpha$ -依兰油烯、石竹烯、香橙烯等<sup>[5]</sup>，而针对香樟花盛花期 VOCs 的研究还有待进一步完善。阔叶十大功劳花、茎、叶均具有芳香性，有学者对其茎叶挥发油成分进行了提取与分析<sup>[6]</sup>，对其药理作用的研究则主要集中在黄酮和生物碱类化合物<sup>[7]</sup>。穗花牡荆原产于地中海地区，其花与叶均散发淡香，在欧洲常作为药用植物被用来治疗经前综合症<sup>[8]</sup>。目前针对其芳香性的研究主要集中在果实和叶两部位。其果实和叶挥发油中的主要成分为桉烯、桉叶油醇和 $\alpha$ -蒎烯等，被证明具有一定的抗菌能力<sup>[9]</sup>。日本女贞是常见的绿篱植物，目前对其应用主要集中在叶和果，其叶在我国除作中药使用外，在民间还可作“苦丁茶”饮用<sup>[10]</sup>。大花六道木是传统中药糯米条与单花六道木的杂交种，叶和花都具有较高的观赏价值。虽然日本女贞和大花六道木花量大，具有一定的芳香性，但目前鲜有针对其香气成分、香气特征与药用价值的研究。

因此，为探明上述五种乔灌木鲜花的香气特征与潜在应用价值，本研究采用动态顶空法采集了该五种植物鲜花的 VOCs，使用热脱附-气相色谱-质谱联用法分析其化学成分，并对主要成分的释香强度和香气特征进行了进一步分析，以期为其鲜花挥发物价值的开发，以及在保健园林中的应用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

在晴朗天气分别采集香樟、日本女贞、穗花牡荆、大花六道木和阔叶十大功劳同一植株上长势良好，无病虫害且处于盛花期的鲜花混合后用于香气成分的采集与分析。采集地点为上海交通大学闵行校区内。供试材料具体信息见表 1。

表 1 五种乔灌木植物材料信息

Table 1 Material information of five trees and shrubs

植物名称	学名	科	属	采集时间
Plant name	Latin name	Family	Genus	Collection time
阔叶十大功劳	<i>Mahonia bealei</i>	小檗科	十大功劳属	2023年2月
香樟	<i>Cinnamomum camphora</i>	樟科	樟属	2023年4月
日本女贞	<i>Ligustrum japonicum</i>	木犀科	女贞属	2023年5月
穗花牡荆	<i>Vitex agnus-castus</i>	马鞭草科	牡荆属	2023年8月
大花六道木	<i>Abelia × grandiflora</i>	忍冬科	糯米条属	2023年10月

## 1.2 主要仪器与试剂

TurboMatrix 300 - Clarus SQ8 热脱附-气相色谱质谱联用仪（美国 Perkinelmer 公司）；TenaxTA 60/80 吸附管（美国 Supelco 公司）；GilAir Plus 空气采样泵（美国 Sensidyne 公司）。

甲醇（色谱纯，批号 P1829032，上海泰坦科技股份有限公司）；乙醇（色谱纯，批号 C10480953）、桉叶油醇（纯度 98%，批号 C11259822）、乙酸叶醇酯（纯度 98%，批号 C16075561）、 $\alpha$ -蒎烯（纯度 98%，批号 C16293871）、柠檬烯（纯度 95%，批号 C15756202）（上海麦克林生化科技股份有限公司）；桉烯（纯度 75%，批号 M261S215945，上海源叶生物科技有限公司）；反式-3-己烯-1-醇（纯度 97%，批号 M10042629）、苯甲醛（纯度 98.5%，批号 230621100032）、苯乙醛（纯度 95%，批号 M10003825）和吡啶（纯度 99.5%，批号 M10045465）（上海迈瑞尔生化科技有限公司）；壬醛（纯度 98%，批号 BD145401，上海毕得医药科技股份有限公司）；樟脑（纯度 95%，批号 C7313ABE7）和水杨酸甲酯（纯度 98%，批号 M3153ABE0）（上海吉至生化科技有限公司）； $\beta$ -金合欢烯（纯度 95%，批号 MD25）和苯甲酸（纯度 99%，批号 MF30）（上海旭硕生物科技有限公司）；异戊酸香叶酯（纯度 95%，批号 P2722563）、芳樟醇氧化物（纯度 97%，批号 P2701485）（上海泰坦科技股份有限公司）； $\beta$ -蒎烯（纯度 98%，批号 20120109）、芳樟醇（纯度 98%，批号 20210428）（国药集团化学试剂有限公司）； $\beta$ -石竹烯（纯度 $>90\%$ ，批号 ARY4A-EE，梯希爱（上海）化成工业发展有限公司）；苯甲醇（纯度 $\geq 98\%$ ，批号 MKBK0036）、罗勒烯（纯度 $\geq 90\%$ ，批号 MKCH0052）（美国 Sigma-Aldrich 公司）。

## 1.3 植物挥发性有机化合物的采集

使用自制圆筒不锈钢密闭采集器进行 VOCs 的采集。将所采集的新鲜植物材料混匀后，选取 5 g 植物材料放入采集器中平衡 10 min 后，在采集器上方连接 TenaxTA 60/80 不锈钢吸附管，使用空气采样泵，按照 200 mL/min 流速采集筒内空气 5 min，合计共采集 1 L 气体。采集过程中向采集器中通入 200 mL/min 高纯空气维持采集系统的平衡。

## 1.4 VOCs 的定性与定量分析

使用热脱附-气相色谱质谱联用仪进行挥发物的脱附与进样分析。具体的 TD 和 GC/MS 分析条件如下：样品管脱附温度：280 °C；阀温度和传输线温度：250 °C；冷阱富集低温 5 °C，40 °C/s 升至 300 °C；样品管解析时间：10 min；样品管脱附流量：40 mL/min；色谱柱流量：1.0 mL/min；色谱柱：Elite-WAX (30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu$ m)。使用程序升温，初始温度 50 °C 3 min，按照 4 °C/min

升温至 120 °C，保持 10 min，按照 2 °C/min 升温至 220 °C，保持 2 min；离子源温度为 250 °C。根据 GC/MS 总离子流色谱图，解析各个峰所对应的质谱图。将获得的质谱图与 NIST17 谱库进行检索比对及定性分析，同时结合标准品对主要成分进行进一步定性。采用色谱峰面积归一化法计算各化合物的相对百分比含量。

主要化合物的定量方法采用外标法。将相对含量大于 2% 的化合物的标准品用甲醇进行稀释后制成不同浓度的混合标准品测试液。随后使用进样针将 1 μL 标准品测试液加入 Tenax 吸附管进行吸附，并进行热脱附和 GC/MS 分析。热脱附和 GC/MS 条件同上，随后绘制标准曲线以计算主要化合物的浓度。

### 1.5 香气活力值与香气特征分析

使用 Origin 2024 进行香气成分的主成分分析和作图。化合物的香气类型判定依据 Goodscents 香精香料信息系统<sup>[11]</sup>。根据主要化合物的浓度和嗅觉阈值计算其香气活力值（odor activity value, OAV）。OAV=化合物浓度/化合物嗅觉阈值。当 OAV>1，认为该香气成分对整体香气的贡献和影响较大。OAV 越大说明该化合物对总体香气的贡献值越大。化合物嗅觉阈值参考《化合物嗅觉阈值汇编（第 2 版）》中对化合物在空气中的嗅觉阈值的描述<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 五种乔灌木花香中 VOCs 的成分分析

穗花牡荆、香樟、阔叶十大功劳、大花六道木、日本女贞鲜花 VOCs 中共鉴定出 114 种化合物（见表 2）。五种鲜花挥发物中化合物种类丰度从大到小依次为穗花牡荆>香樟>阔叶十大功劳>大花六道木>日本女贞。穗花牡荆花 VOCs 中主要有 59 种挥发性化合物，主成分包括乙酸叶醇酯（22.81%）、桉烯（15.04%）、桉叶油醇（4.75%）、 $\alpha$ -蒎烯（4.43%）和（E）- $\beta$ -金合欢烯（4.01%）。香樟花 VOCs 中主要有 52 种挥发性化合物，主成分包括樟脑（35.48%）、芳樟醇（15.69%）、顺式- $\beta$ -罗勒烯（9.27%）和 $\beta$ -石竹烯（6.19%）。阔叶十大功劳花 VOCs 中主要有 39 种挥发性化合物，主成分包括顺式- $\beta$ -罗勒烯（27.30%）、异戊酸香叶酯（5.51%）、苯甲醇（4.94%）和苯甲酸（4.01%）。大花六道木花和日本女贞花 VOCs 分别有 36 和 15 种挥发性化合物，主成分都包括苯甲醛和苯乙醛，其中苯甲醛分别可达 44.78%和 54.24%，苯乙醛分别可达 11.63%和 2.73%。此外大花六道木花香 VOCs 中还包含较高含量的 $\alpha$ -蒎烯（17.01%）、（-）- $\beta$ -蒎烯（7.92%）和苯甲醇（4.05%）。

由表 2 可以看出， $\alpha$ -蒎烯、（-）- $\beta$ -蒎烯、甲苯、己醛、苯甲醛在五种乔灌木的鲜花 VOCs 中均有检测到，但相对含量有所不同。顺式- $\beta$ -罗勒烯作为主要挥发性成分存在于香樟花和阔叶十大功劳花 VOCs 中，而苯甲醛与苯乙醛两种化合物无论在大花六道木还是日本女贞花 VOCs 中合计相对含量均超过 50%。

表 2 五种乔灌木花香主要 VOCs 的相对含量

Table 2 Relative content of main VOCs in the flowers of five trees and shrubs

序	保留时间	化合物	化学式	相对含量 Relative content (%)
---	------	-----	-----	---------------------------

号 No.	Retention time (min)	Compound	Chemical formula	穗花牡荆 <i>Vitex agnus-castus</i>	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	阔叶十 大功劳 <i>Mahonia bealei</i>	大花六道 木 <i>Abelia × grandiflora</i>	日本 <i>Ligu japo</i>
1	1.32	2-丁烯 2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	-	-	-	0.23	1
2	1.34	正戊烷 Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-	0.53	-	-	
3	1.44	1,4-戊二烯 1,4-Pentadiene	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	-	-	3.91	0.16	
4	1.53	乙醛 Acetaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0.12	0.14	0.62	0.26	1
5	2.42	叔丁醇 <i>tert</i> -Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	-	-	0
6	2.42	4-羟基-3-己酮 4-Hydroxy-3-hexanone	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	-	0.18	-	-	
7	2.47	2-丁酮 2-Butanone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	0.15	-	-	0.21	
8	2.81	乙醇 Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	-	0.19	1.88	0.11	5
9	3.41	3-戊酮 3-Pentanone	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	0.24	-	-	-	
10	3.42	异丙基乙烯基醚 Isopropyl vinyl ether	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	-	0.13	
11	4.05	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	4.43	2.42	1.31	17.01	0
12	4.52	甲苯 Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.19	0.13	1.1	0.29	1
13	4.93	蒎烯 Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	1.52	0.71	0.29	
14	5.22	乙酸丁酯 Butyl acetate	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.45	-	
15	5.46	己醛 Hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.14	0.18	1.27	0.23	0
16	5.92	(-)- $\beta$ -蒎烯 (-)- $\beta$ -Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.95	0.75	0.85	7.92	0
17	6.24	$\alpha$ -水芹烯 $\alpha$ -Phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	0.17	-	-	
18	6.31	桉烯 Sabinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	15.04	-	-	0.48	
19	6.55	乙苯 Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0.21	-	-	-	0
20	7.06	正丁醇 1-Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	0.52	-	
21	7.07	2-甲基-4-戊醛 2-Methyl-pent-4-enal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	-	0.14	
22	7.54	$\beta$ -月桂烯 $\beta$ -Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.33	1.69	-	0.24	
23	8.24	庚醛 Heptanal	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	-	-	0.60	-	
24	8.46	( <i>R</i> )-异香芹萜烯 ( <i>R</i> )-Isocarvestrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	2.32	-	-	
25	8.48	( <i>R</i> )-(+)-柠檬烯 ( <i>R</i> )-(+)-Limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.87	-	0.57	-	
26	8.72	桉叶油醇 Eucalyptol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	4.75	0.23	0.46	-	
27	9.23	2-己烯醛 2-Hexenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.54	0.16	-	0.17	
28	9.69	反式- $\beta$ -罗勒烯 <i>trans</i> - $\beta$ -Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	0.92	2.32	0.32	
29	9.95	$\gamma$ -萜品烯 $\gamma$ -Terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.13	0.13	-	-	
30	10.21	顺式- $\beta$ -罗勒烯 <i>cis</i> - $\beta$ -Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.86	9.27	27.30	-	
31	10.71	邻伞花烃 <i>o</i> -Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.19	0.13	0.37	-	
32	10.86	乙酸己酯 Hexyl acetate	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.19	-	-	-	
33	11.10	联三甲苯 1,2,3-Trimethylbenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	-	-	0.25	-	
34	11.13	萜品油烯 Terpinolene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	0.24	-	-	
35	11.38	正辛醛 Octanal	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.20	-	1.31	0.29	

36	11.90	(3E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯 (3E)-4,8-Dimethylnona-1,3,7-triene	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub>	0.37	0.19	-	0.20	
37	12.29	乙酸叶醇酯 <i>cis</i> -3-Hexenyl acetate	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	22.81	-	0.29	0.21	
38	12.38	(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯 (E)-3-Hexen-1-ol acetate	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	-	0.25	-	-	
39	12.81	(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯 (Z)-2-Hexen-1-ol acetate	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0.27	-	-	-	
40	13.02	甲基庚烯酮 Methylheptenone	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	-	-	-	0.14	0
41	13.32	左旋玫瑰醚 (-)- <i>cis</i> -Rose oxide	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	-	-	0.46	-	
42	13.47	正己醇 1-Hexanol	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	-	-	0.57	-	
43	13.54	1-氢过氧己烷 1-Hydroperoxyhexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	-	0.14	-	-	
44	14.38	反式-3-己烯-1-醇 <i>trans</i> -3-Hexen-1-ol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	3.02	-	-	0.57	
45	14.46	叶醇 Leaf alcohol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	-	0.22	0.55	-	
46	14.64	壬醛 Nonanal	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.29	0.22	2.25	0.30	
47	15.08	反式-2-己烯-1-醇 <i>trans</i> -2-Hexen-1-ol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.10	-	-	-	
48	16.00	对甲苯甲醚 <i>p</i> -Methoxytoluene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	1.86	-	-	-	
49	16.31	(Z)-芳樟醇氧化物 (Z)-Linalool oxide	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	2.21	-	-	
50	16.43	1-十二烯-3-醇 1-Dodecen-3-ol	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	0.12	-	-	-	
51	16.63	1,4-杜松二烯 1,4-Cadinadiene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	0.19	-	-	
52	16.76	乙酸 Acetic acid	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1.18	-	1.56	0.24	0
53	17.06	(1S,3R)-顺式-4-萜烯 (1S,3R)- <i>cis</i> -4-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	-	0.13	-	-	
54	17.23	2,6-二甲基-辛-2,6-二烯-1,8-二醇 2,6-Dimethyl-octa-2,6-diene-1,8-diol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	0.83	-	-	
55	17.63	2-乙基己醇 2-Ethylhexanol	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	0.59	-	0.57	0.21	
56	17.68	(-)- $\alpha$ -萜澄茄油烯 (-)- $\alpha$ -Cubenene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	0.16	-	0.12	
57	17.85	癸醛 Decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.31	-	0.90	0.20	
58	18.24	(-)- $\beta$ -波旁烯 (-)- $\beta$ -Bourbonene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.19	-	-	0.36	
59	18.26	樟脑 Camphor	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	-	35.48	0.62	-	
60	18.58	苯甲醛 Benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	0.97	0.49	2.47	44.78	54
61	19.32	反式-4-侧柏醇 <i>trans</i> -4-Thujanol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.17	-	-	-	
62	19.40	芳樟醇 Linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.25	15.69	-	-	
63	19.49	甲酸芳樟酯 Linalool formate	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	-	1.78	-	
64	19.77	1-环丙基戊烷 1-Cyclopropylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	-	-	0.32	-	
65	20.51	$\beta$ -石竹烯 $\beta$ -Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.20	6.19	-	0.84	
66	20.90	(-)-4-萜品醇 (-)-Terpinen-4-ol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.91	-	-	-	
67	21.35	(3-甲基-6-丙-2-基-1-环己-2-烯基)乙酸酯 (3-Methyl-6-propan-2-ylcyclohex-2-en-1-yl) acetate	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	-	0.19	-	-	
68	21.51	苯甲腈 Benzonitrile	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> N	-	-	-	-	0

69	21.66	苯甲酸甲酯 Methyl benzoate	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	-	0.39	0.76	-	0
70	22.04	2- <i>epi</i> -反式- $\beta$ -石竹烯 2- <i>epi-trans</i> - $\beta$ -Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.13	-	-	-	-
71	22.13	$\beta$ -倍半水芹烯 $\beta$ -Sesquiphellandrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.13	-	-	-	-
72	22.28	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.35	-	-	11.63	2
73	22.51	苯乙酮 Acetophenone	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.15	0.14	-	-	-
74	23.11	( <i>E</i> )- $\beta$ -金合欢烯 ( <i>E</i> )- $\beta$ -Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	4.01	-	-	-	-
75	23.5	$\alpha$ -石竹烯 $\alpha$ -Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	0.85	-	-	-
76	23.78	邻羧基苯甲醛 2-Carboxybenzaldehyde	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	-	0.19	-	-	-
77	24.26	乙酸松油酯 Terpinyl acetate	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.82	-	-	-	-
78	24.59	大根香叶烯 D Germacrene D	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.36	-	-	0.21	-
79	25.23	$\beta$ -可巴烯 $\beta$ -Copaene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	0.81	-	-	-
80	25.63	3-吡啶甲醛 3-Pyridinecarboxaldehyde	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO	-	0.18	-	-	-
81	25.69	(+)-双环大根香叶烯 (+)-Bicyclgermacrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	2.64	-	-	-	-
82	26.14	乙酸苄酯 Benzyl acetate	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	-	0.14	1.03	-	-
83	26.33	柠檬醛 Citral	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	-	-	0.60	-	-
84	26.48	广藿香烯 Patchoulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	0.41	-	-	-
85	27.06	(-)- $\alpha$ -可巴烯 (-)- $\alpha$ -Copaene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	-	-	0.20	-
86	27.39	芳樟醇氧化物 (吡喃型) Linalool oxide (pyranoid)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	1.06	-	-	-
87	27.87	$\alpha$ -法呢烯 $\alpha$ -Farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.22	0.84	-	-	-
88	28.38	乙酰胺 Acetamide	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO	0.12	-	-	-	-
89	28.56	香茅醇 Citronellol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	-	-	1.42	-	-
90	29.01	( <i>E</i> )-芳樟醇氧化物 (吡喃型) ( <i>E</i> )-Linalool oxide (pyranoid)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	0.21	-	-	-
91	29.32	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	-	2.5	-	-	-
92	34.74	异戊酸香叶酯 Geranyl isovalerate	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	-	-	5.51	-	-
93	36.57	苯甲醇 Benzyl alcohol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	-	0.83	4.94	4.05	-
94	37.95	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.33	-	-	1.82	-
95	38.34	苯乙腈 Benzyl nitrile	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	0.83	-	-	0.33	-
96	40.81	3-甲基-3-苯基苯甲酸酯 3-Methylbut-3-enylbenzoate	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	-	0.22	-	-	-
97	40.91	对甲氧基苯甲醛 <i>p</i> -Anisaldehyde	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.18	-	-	-	-
98	41.35	氨基甲酸苯酯 Phenyl carbamate	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	-	0.14	-	-	-
99	41.36	肉豆蔻酸异丙酯 Isopropyl myristate	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	1.09	-	-	-	-
100	41.71	4, 7, 7-三甲基双环[4. 1. 0]庚-3-烯-2-酮 4, 7, 7-Trimethylbicyclo[4. 1. 0]hept-3-en-2-one	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.13	-	-	-	-
101	41.87	辛酸 Octanoic acid	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.10	-	-	-	-

102	42.14	2, 4, 5-三甲基-苯甲醇 (2, 4, 5-Trimethylphenyl) methanol	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	-	0.27	-	-
103	42.69	桉油烯醇 Spathulenol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.25	-	-	-
104	43.13	3-己烯-1-醇苯甲酸酯 3-Hexen-1-ol benzoate	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	-	0.35	-	-
105	43.43	壬酸 Nonanoic acid	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.62	-	-	-
106	43.49	丁香酚 Eugenol	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.52	-
107	44.28	棕榈酸异丙酯 Isopropyl palmitate	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	2.49	-	-	-
108	44.70	正癸酸 n-Decanoic acid	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.30	-	-	-
109	44.95	水杨酸异辛酯 2-Ethylhexyl salicylate	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub>	0.19	-	-	-
110	45.13	丙三醇 Glycerin	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.15	-	-	-
111	45.86	4-烯丙基苯酚 4-Allylphenol	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	-	0.26	-	-
112	46.50	苯甲酸 Benzoic acid	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1.64	-	4.01	0.41
113	46.78	吲哚 Indole	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	-	-	2.16	-
114	47.08	月桂酸 Dodecanoic acid	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	0.32	-	-	-

注：“-”表示未检测出。

Note: "-" indicates it was not detected.

## 2.2 五种乔灌木鲜花挥发物主成分分析与化合物类型分析

根据官能团可将五种乔灌木鲜花 VOCs 分为萜烯类、醇类、酯类、醛类、酮类、酸类、醚类和其他类化合物，其他类化合物包括烷烃类、烯烃类、酚类、腈类、酰胺类、芳香烃、环杂化合物和过氧化物。如图 1 所示，穗花牡荆花和阔叶十大功劳花的 VOCs 都主要由萜烯类构成，分别占 36.49% 和 33.06%。此外，穗花牡荆花中还含有较多酯类（27.86%）。阔叶十大功劳花还含有醇类（10.45%）、醛类（10.02%）和酯类（9.82%）。香樟花 VOCs 主要由酮类（35.80%）、萜烯类（29.01%）和醇类（19.09%）构成。大花六道木花 VOCs 主要由醛类（58.00%）和萜烯类（27.99%）构成。日本女贞花 VOCs 的种类相对较为单一，主要由醛类（58.40%）构成。

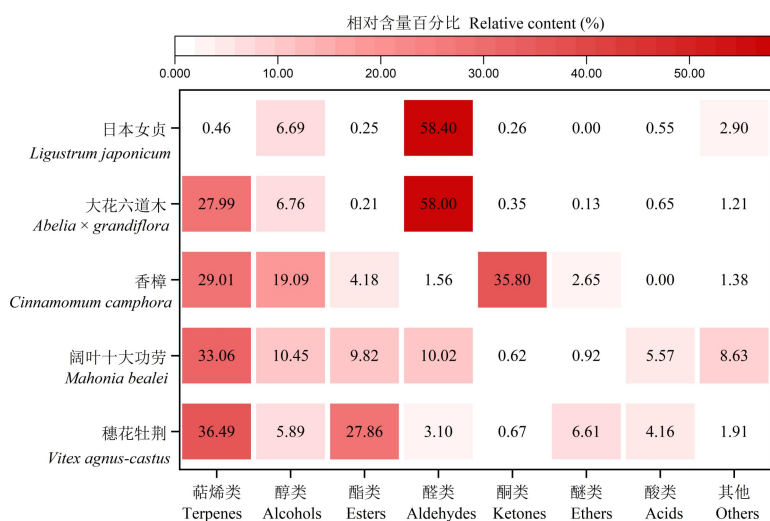


图 1 五种乔灌木鲜花挥发物中不同类型化合物的分布



Fig.1 Distribution of different types of compounds in the flower volatile of five trees and shrubs

进一步将五种植物鲜花 VOCs 中检测到的 114 种挥发物的相对含量组建成  $5 \times 114$  的矩阵进行主成分分析, 前三个主成分的累积贡献率达到 90.57% (见图 2A), 反映了原始变量的绝大部分信息。以 PC1、PC2 和 PC3 为坐标轴绘制五种植物花香主成分得分结果如图 2B 所示, 其中以大花六道木花和日本女贞花主成分得分较为类似, 提示了二者挥发物较为相似的化学构成。

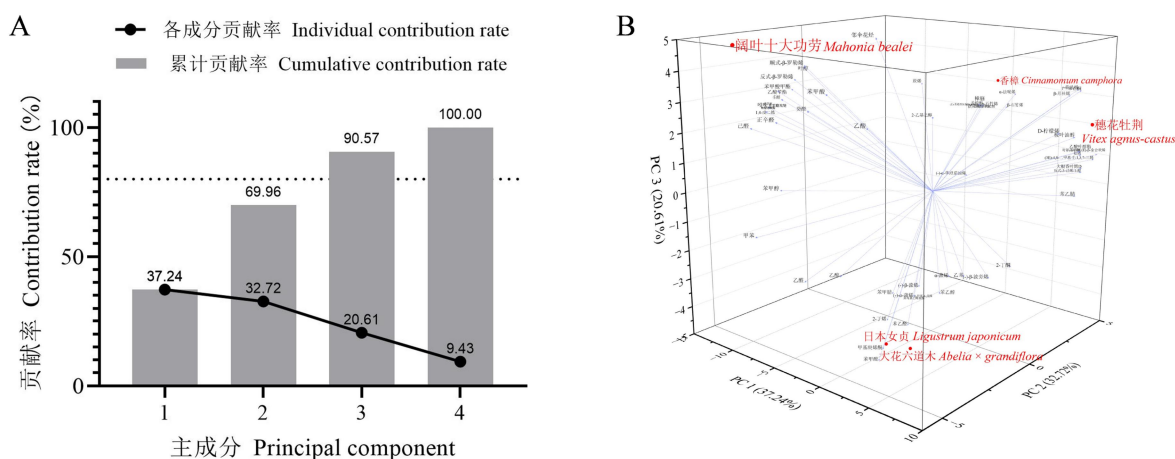


图 2 五种植物鲜花挥发物主成分贡献率及各主成分得分

Fig. 2 Contribution rate and scores of principal components of flower volatiles from five trees and shrubs

### 2.3 五种植物鲜花的香气强度及香气活力值分析

选取五种植物花香中至少在 1 种花香中相对含量大于 2%, 且能通过资料查询到明显芳香性的 24 种挥发性有机成分进行定量分析和香气活力值分析。研究表明, 同等质量下五种植物鲜花释放至采集器中的香气量差异较大 (见表 3), 按照释香强度依次为香樟>穗花牡荆>大花六道木>日本女贞>阔叶十大功劳。香樟鲜花的香气释放强度远高于其他四种植物, 可达到 25.420  $\mu\text{g/L}$ , 其中又以樟脑的含量最高 (11.059  $\mu\text{g/L}$ )。这提示同等花量下香樟花的香气更容易被人所感知。

另一方面, 24 种化合物的嗅觉阈值也具有较大差异, 根据香气浓度和嗅觉阈值计算 OAV 可以发现五种植物花香的 OAV 差异较大 (见表 4), 其中 OAV 大于 1 的化合物共 15 种。香樟花香的 OAV 最高, 可达 3917.67, 其中以芳樟醇的香气贡献最大 (OAV 为 3348.47), 其次为顺式- $\beta$ -罗勒烯 (OAV 为 389.02), 而樟脑的 OAV 仅为 5.53。因此尽管樟树花中樟脑含量较高, 但其香气特征依旧表现出较为明显的花香。阔叶十大功劳花香中吡嗪、壬醛以及顺式- $\beta$ -罗勒烯 OAV 分别为 257.08、73.91 和 42.47, 这三种化合物主要呈现了花香。日本女贞和大花六道木花香中苯乙醛有较高的 OAV, 分别可达 170.01 和 320.51, 为两种花香贡献了一定的甜香特征。而在日本女贞花香中含量较高的苯甲醛由于嗅觉阈值较高, OAV 仅为 2.67。穗花牡荆花香的 OAV 仅次于香樟, 其中乙酸叶醇酯、苯乙醛、芳樟醇和壬醛分别贡献了较高的 OAV, 分别达 248.75、162.21、150.01 和 80.14, 这四种化合物共同呈现了青香、果香、甜香、脂蜡香等混合在一起的较为复杂的香气特征。值得注意的是, 壬醛在除日本女贞外的其余四种植物花香中均贡献了相对较高的 OAV, 使得花香中呈现一定的脂蜡香特征。

表 3 五种乔灌木鲜花主要挥发物的嗅觉阈值及释放到采集器中的浓度比较

Table 3 Comparison of odor threshold and the odor concentration released into the collector of the main flower volatiles from five trees and shrubs

序号 No.	化合物 Compound	嗅觉阈值 Odor threshold (mg/m <sup>3</sup> )	释放香气浓度 Concentration of released odor (μg/L)				
			穗花牡荆 <i>Vitex agnus-castus</i>	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i>	大花六道木 <i>Abelia × grandiflora</i>	日本女贞 <i>Ligustrum japonicum</i>
1	乙醇 Ethanol	2.0	-	0.939	0.341	0.099	1.834
2	α-蒎烯 α-Pinene	0.23	0.435	0.665	0.036	0.492	0.029
3	(-)-β-蒎烯 (-)-β-Pinene	1.5	0.140	0.288	0.033	0.314	0.029
4	桉烯 Sabinene	1.5	1.925	-	-	0.042	-
5	(R) - (+) -柠檬烯 (R)- (+) -Limonene	0.045	0.235	-	0.061	-	-
6	桉叶油醇 Eucalyptol	0.036	0.349	0.076	0.037	-	-
7	反式-β-罗勒烯 <i>trans-β-Ocimene</i>	0.018 7	-	0.445	0.097	0.080	-
8	顺式-β-罗勒烯 <i>cis-β-Ocimene</i>	0.01	0.333	3.890	0.425	-	-
9	乙酸叶醇酯 <i>cis-3-Hexenyl acetate</i>	0.009	2.239	-	0.036	0.039	-
10	反式-3-己烯-1-醇 <i>trans-3-Hexen-1-ol</i>	1.55	0.559	-	-	0.140	-
11	壬醛 Nonanal	0.002	0.160	0.209	0.148	0.130	-
12	(Z)-芳樟醇氧化物 (Z)-Linalool oxide	/	-	0.813	-	-	-
13	樟脑 Camphor	2.0	-	11.059	0.181	-	-
14	苯甲醛 Benzaldehyde	0.3	0.134	0.166	0.078	1.055	0.799
15	芳樟醇 Linalool	0.001 3	0.195	4.353	-	-	-
16	β-石竹烯 <i>β-Caryophyllene</i>	1.5	0.255	1.330	-	0.194	-
17	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	0.000 72	0.117	-	-	0.231	0.122
18	(E)-β-金合欢 (E)-β- Famesene	/	0.416	-	-	-	-
19	(+) -双环大根香叶烯 (+) -Bicyclogermacrene	/	0.360	-	-	-	-
20	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.023	-	0.878	-	-	-
21	异戊酸香叶酯 Geranyl	/	-	-	0.137	-	-

		isovalerate						
22	苯甲醇 Benzyl alcohol	0.1	-	0.308	0.166	0.222	-	
23	苯甲酸 Benzoic acid	/	0.312	-	0.195	0.172	-	
24	吲哚 Indole	0.000 6	-	-	0.154	-	-	
合计 Sum	-	-	8.163	25.420	2.124	3.210	2.814	

注：嗅觉阈值均来自《化合物嗅觉阈值汇编（第2版）》一书中化合物在空气中的最小觉察阈值<sup>[12]</sup>。“/”表示未查询到该化合物在空气中的嗅觉阈值。

Note: The odor threshold values were the minimum detection threshold of compounds in the air from the book "Compilations of Odour Threshold Values in air, Water and Other Media (2nd Edition)"<sup>[12]</sup>. The "/" indicates that the odor threshold of the compound in the air has not been found.

表4 五种乔灌木鲜花主要挥发物（OAV > 1）的香气活力值及香气特征

Table 4 Odor activity values (OAV) and odor characteristics of the major flower volatiles (OAV>1) of five trees and shrubs

化合物 Compound	香气特征 Aroma characteristics	香气活力值 Odor activity value				
		穗花牡荆 <i>Vitex agnus-castus</i>	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i>	大花六道木 <i>Abelia × grandiflora</i>	日本女贞 <i>Ligustrum japonicum</i>
$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	木香、树脂香 Woody, resin	1.89	2.89	-	2.14	-
桉烯 Sabenene	木香、果香 Woody, fruity	1.28	-	-	-	-
桉叶油醇 Eucalyptol	木香、草药香 Woody, herbal	9.69	2.11	1.02	-	-
乙酸叶醇酯 <i>cis</i> -3-Hexenyl acetate	青香、果香 Green, fruity	248.75	-	3.98	4.35	-
苯甲醛 Benzaldehyde	杏仁香、果香 Almond, fruity	-	-	-	3.52	2.67
( <i>R</i> )-(+)-柠檬烯 ( <i>R</i> )-(+)-Limonene	柑橘香、甜香 Citrus, sweet	5.22	-	1.36	-	-
反式- $\beta$ -罗勒烯 <i>trans</i> - $\beta$ -Ocimene	甜香、草药香 Sweety, herbal	-	23.79	5.19	4.27	-
苯甲醇 Benzyl alcohol	甜香、花香 Sweety, floral	-	3.08	1.66	2.22	-
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	蜂蜜、甜香 Honey, sweet	162.21	-	-	320.51	170.01
顺式- $\beta$ -罗勒烯 <i>cis</i> - $\beta$ -Ocimene	花香、草药香 Floral, herbal	33.28	389.02	42.47	-	-
芳樟醇 Linalool	花香、果香 Floral, fruity	150.01	3348.47	-	-	-
吲哚 Indole	花香 Floral	-	-	257.08	-	-
水杨酸甲酯 Menthyl salicylate	冬青油香 Wintergreen oil	-	38.19	-	-	-

壬醛 Nonanal	脂蜡香 Balsam wax	80.14	104.60	73.91	65.01	-
樟脑 Camphor	樟脑香 Camphoreous	-	5.53	-	-	-
合计 Sum	-	692.47	3917.68	386.67	402.02	172.68

注：“-”表示 OAV<1。

Note: "-" indicates OAV<1.

### 3 讨论与结论

五种园林乔灌木鲜花香气成分主要包括萜烯类、醇类、酯类、醛类、酮类化合物。香樟花香成分与枝叶等部位的挥发性成分类似，花香主成分中樟脑、芳樟醇、 $\alpha$ -蒎烯等也存在于叶挥发油中。而在另一项研究中香樟花挥发物主成分为罗勒烯、 $\alpha$ -依兰油烯、石竹烯、香橙烯等<sup>[5]</sup>。香樟树的化学型，采摘鲜花状态以及预处理手段的差异都可能是造成这种化学成分差异的原因之一。樟脑是本研究中香樟花挥发物中释放量最高的成分，具有典型的樟脑香气。除香樟枝叶外，常见于一些芳香植物，例如杂花薰衣草<sup>[13]</sup>、樟脑型迷迭香<sup>[14]</sup>的枝叶挥发物中。樟脑在植物花香中则较少被检测到或含量较低，目前有报道在菊花<sup>[15]</sup>、紫薇<sup>[16]</sup>等的花香中能检测到较高含量。此外，香樟花挥发物中芳樟醇 OAV 远高于樟脑，因此香樟花香并未表现出明显的樟脑香气，取而代之的是较为明显的花香。另一方面，香樟花挥发物中很多主成分具有健康功能，例如樟脑对神经兴奋性具有抑制作用<sup>[17]</sup>；芳樟醇、 $\beta$ -石竹烯、芳樟醇氧化物具有镇静、抗焦虑功能<sup>[18]</sup>。由此可见香樟花不仅花量大，释香强度高，同时也具有一定潜在保健功能，除在保健型园林中有很好的应用前景外，也可以进一步提取挥发油加以利用。

穗花牡荆花香主要成分包括乙酸叶醇酯、桉烯、桉叶油醇、 $\alpha$ -蒎烯、(E)- $\beta$ -金合欢烯等，与其叶和果的精油较为接近，但果叶精油中未报道含有乙酸叶醇酯。乙酸叶醇酯常见于许多乔木叶片挥发物且含量较高，例如栎树、垂柳、银杏等<sup>[19]</sup>，此外在一些乔灌木的鲜花，例如‘白地’海棠<sup>[20]</sup>等含量也较高。该化合物具有强烈的绿色嫩叶清香气味，结合 OAV 较高的其他几种化合物，使得穗花牡荆花香整体呈现出青香、果香、甜香、脂蜡香混合在一起的复杂香气特征。穗花牡荆花香中桉烯、 $\alpha$ -蒎烯、桉叶油醇和 (E)- $\beta$ -金合欢烯具有一定抗炎抗菌活性<sup>[21]</sup>。基于上述物质基础推测穗花牡荆鲜花挥发物可能对呼吸道具有潜在的保健价值。

阔叶十大功劳花香主要成分包括顺式- $\beta$ -罗勒烯、异戊酸香叶酯、苯甲醇和苯甲酸，已有研究中其叶、茎挥发油的主要成分为 1-(2-呋喃基)己酮和 6, 10, 14-三甲基-2-十五烷酮<sup>[6, 22]</sup>，可见鲜花挥发物与叶茎挥发油的成分有较大区别。阔叶十大功劳花香主要成分顺式- $\beta$ -罗勒烯具有温暖花香，在许多乔灌木的鲜花，例如栀子花<sup>[23]</sup>、番石榴花<sup>[24]</sup>等的挥发物中也作为主成分之一存在，具有一定的抑菌作用<sup>[25]</sup>。但罗勒烯容易氧化，使用水蒸气蒸馏等方法提取鲜花精油可能会造成罗勒烯的损失。而相较于顺式- $\beta$ -罗勒烯，OAV 较高的吲哚对于阔叶十大功劳的花香特征贡献更大。另一方面，在阔叶十大功劳中含量相对较高的苯甲醇及柠檬烯也已被证明通过嗅闻途径可以发挥抗焦虑作用<sup>[18]</sup>。但是由于阔叶十大功劳花量较小，释香强度较低，较难直接在保健型园林中发挥作用。

日本女贞和大花六道木花香在主成分、释香强度上均较为接近。二者含量最高的成分均为苯甲醛，同时都具有较高含量的苯乙醛。苯甲醛具有令人愉悦的杏仁气味，能吸引昆虫授粉，常见于水果如甜瓜和桃中，在部分品种的梅花<sup>[26]</sup>、菊花<sup>[15]</sup>中含量也较高。苯乙醛的 OAV 相较于苯甲醛更高，为两种植物花香贡献了更多的甜香特征。此外， $\alpha$ -蒎烯、(-)- $\beta$ -蒎烯也是大花六道木花香主要成分。这两种成分常见于许多乔木及绿篱植物枝叶挥发物中。而在一些植物鲜花，例如梅花<sup>[26]</sup>、紫薇<sup>[16]</sup>中含量也较高。但是由于二者的嗅觉阈值较高，对于大花六道木花香特征的贡献度不大。总体看日本女贞和大花六道木虽然单位质量鲜花释香强度不高，但是由于植株花量较大，其香气在园林中也较容易被识别。

综上，五种园林乔灌木鲜花具有不同的芳香性和释香强度。香樟与阔叶十大功劳鲜花呈明显花香，大花六道木和日本女贞花香主要呈甜香，穗花牡荆花香特征较为复杂。香樟花释香强度与 OAV 远高于其他四种植物，能够为园林提供较高强度的嗅觉环境。此外，五种鲜花挥发物中许多主成分具有一定的保健功能，例如香樟和阔叶十大功劳鲜花挥发物中含有较多具有抗焦虑作用的成分，穗花牡荆鲜花挥发物中含有较多具有抗菌消炎作用的成分。但这些鲜花挥发物的整体健康功能还需要进一步通过体内外实验予以验证。在未来研究中还可以通过提取上述植物鲜花的挥发油，进一步探索与拓展其应用价值。

#### 参考文献

- 1 Chen JY, Li YY, Wu SH. Advances in mechanism of biological activities of plant essential oils[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2012, 24: 1312-1318.
- 2 Cui J, Li M, Wei Y, et al. Inhalation aromatherapy via brain-targeted nasal delivery: natural volatiles or essential oils on mood disorders[J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 860043.
- 3 Xiao S, Yu H, Xie Y, et al. The anti-inflammatory potential of *Cinnamomum camphora*(L.) J. Presl essential oil *in vitro* and *in vivo*[J]. J Ethnopharmacol, 2021, 267: 113516.
- 4 Chen KX, Luo ZH, Li L, et al. Antimicrobial effect and mechanism of *Cinnamomum camphora* essential oil on *Aspergillus glaucus*[J]. J Chin Cereals Oils Assoc(中国粮油学报), 2021, 36: 71-78.
- 5 Guo XY. Analysis on flower volatile components of *Cinnamomum camphora* var. *linaloolifera*[J]. J Plant Resour Environ(植物资源与环境学报), 2020, 29: 69-71.
- 6 Dong L, Mu FH, Yang XH, et al. Study on chemical components of essential oil in leaf of *Mahonia bealei*(Fort.) Carr. by GC-MS[J]. Spec Wild Econ Anim Plant Res(特产研究), 2008, 119: 50-52.
- 7 Hong L, Pu L, Li BB, et al. Advances in chemical composition, pharmacological action and quality control of *Mahonia bealei*[J]. Guizhou Agric Sci(贵州农业科学), 2019, 47: 122-125.

- 8 Csopor D,Lantos T,Hegyí P,et al.*Vitex agnus-castus* in premenstrual syndrome:a meta-analysis of double-blind randomised controlled trials[J].Complement Ther Med,2019,47:102190.
- 9 Stojkovic D,Sokovic M,Glamoclija J,et al.Chemical composition and antimicrobial activity of *Vitex agnus-castus* L. fruits and leaves essential oils[J].Food Chem,2011,128:1017-1022.
- 10 Wu ZY,Jin L.Macroscopic and microscopic identification on three medical plants leaf of *Ligustrum*[J].J Pharm Anal(药物分析杂志),2007,27:657-660.
- 11 Lee BK,Mayhew EJ,Sanchez-lengeling B,et al.A principal odor map unifies diverse tasks in olfactory perception[J].Science,2023,381:999-1006.
- 12 van Gemert LJ.Compilations of odour threshold values in air,water and other media(2nd edition)[M].Huizen, The Netherlands:Boelens Aroma Chemical Information Service,2018.
- 13 Hao RF,Zhu YY,Chen B,et al.Study on the content and composition of essential oil in three kinds of lavender leaves[J].China Food Addit(中国食品添加剂),2016,27:53-59.
- 14 Xu Y,Yao L,Zhang YL,et al.Research on the botanical characters and the composition of essential oil from three varieties of rosemary[J].J Shanghai Jiaotong Univ:Agric Sci(上海交通大学学报:农科学),2006,24:429-434.
- 15 Zhang WB,Ma XY,Chen SM,et al.Diversity of floral volatiles in cut chrysanthemum with different flower types and diameters[J].J Nanjing Agric Univ(南京农业大学学报),2022,45:675-683.
- 16 Tang LP,Mao YT,Lan LJ,et al.Analysis on chemical components of floral scent in *Lagerstroemia speciosa* and *Lagerstroemia indica*[J].Southwest China J Agric Sci(西南农业学报),2019,32:403-409.
- 17 Oshima T,Ito M.Sedative effects of l-menthol,d-camphor,phenylethyl alcohol,and geraniol[J].J Nat Med-Tokyo,2021,75:319-325.
- 18 Zhang N,Yao L.Anxiolytic effect of essential oils and their constituents:a review[J].J Agric Food Chem,2019,67:13790-13808.
- 19 Li SN,Li TT,Tao XY,et al.Comparative study on the release of beneficial volatile organic compounds from four deciduous tree species[J].Ecol Environ Sci(生态环境学报),2023,32:123-128.
- 20 Zhou CC,Fan JJ,Tan RN,et al.Aromatics in floral organs of *Malus* brandywine during different flowering stages[J].Fujian J Agric Sci(福建农业学报),2022,37:1038-1047.
- 21 Zhao Q,Zhu LY,Wang SA,et al.Molecular mechanism of the anti-inflammatory effects of plant essential oils:a systematic review[J].J Ethnopharmacol,2023,301:115829.

- 22 Dong L, Yang XH, Wang Y, et al. GC/MS analysis of volatile oil from *Mahonia* stem[J]. J Changchun Univ Chin Med(长春中医药大学学报), 2006, 22: 43-44.
- 23 Lu LL, Fan YL, 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]. Acta Agric Nucl Sin(核农学报), 2021, 35: 1601-1608.
- 24 Lin BM, Qiu SL, Zheng KB, et al. Volatile components in flower of ten varieties of *Psidium guajava*[J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2023, 31: 128-140.
- 25 Zhao YH, Xu CX, Ma L, et al. Effects of volatile components of three evergreen plants on air anion and microorganism[J]. J Zhejiang A & F Univ(浙江农林大学学报), 2020, 37: 654-663.
- 26 Yang Y, Wang YG, Dong S, et al. Identification and analysis of floral scent compounds of *Prunus mume* cultivars[J]. J Zhejiang A & F Univ(浙江农林大学学报), 2024, 41: 262-274.

收稿日期: 2024-07-15            接受日期:

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (32101572)

\*通信作者 E-mail: fxzwzhangnan@sjtu.edu.cn