

## 4个桂花品种叶片挥发物成分及其对空气微生物的影响

林富平<sup>1</sup>, 周帅<sup>1</sup>, 马楠<sup>1</sup>, 张汝民<sup>2</sup>, 高岩<sup>1,2</sup>

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 林学基础实验教学示范中心, 浙江 临安 311300)

**摘要:**采用动态顶空气体循环吸附法和热脱附-气相色谱-质谱(TDS-GC-MS)联用技术, 分析了近自然状态下金桂 *Osmanthus fragrans* ‘Thunbergii’, 银桂 *O. fragrans* ‘Odoratus’, 丹桂 *O. fragrans* ‘Aurantiacus’ 和四季桂 *O. fragrans* ‘Semperflorens’ 叶片挥发物(VOCs)的组分和含量; 同时采用自然沉降法, 调查了4个桂花品种林地空气中微生物(细菌、真菌和放线菌)的数量。结果表明: 金桂叶片 VOCs 中主要成分为(Z)-乙酸-3-己烯酯、己醛、辛醛、壬醛、癸醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮和3-己烯醇; 四季桂主要成分为(Z)-乙酸-3-己烯酯、己醛、苯甲醛、壬醛、癸醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮和壬烷; 银桂和丹桂主要成分为(Z)-乙酸-3-己烯酯、己醛、辛醛、壬醛、癸醛、壬烯、6-甲基-5-庚烯-2-酮和3-己烯醇。金桂林地中细菌数量在3, 5, 7, 9和11月比对照分别降低46.6%, 48.3%, 67.6%, 34.6%和26.0%( $P<0.01$ ), 其他3个桂花品种林地中细菌数量在不同月份与对照相比均有不同程度的降低; 金桂林在3, 7和9月对真菌抑制作用极显著( $P<0.01$ ), 比对照分别降低33.5%, 38.8%和34.1%; 4个桂花品种林对放线菌也具有明显的抑制作用。上述结果说明: 4个桂花品种树木可以降低林地空气中微生物的数量, 对改善空气质量具有显著的作用。图3表1参18

**关键词:**植物学; 挥发物; 桂花; 热脱附-气相色谱-质谱联用; 抑菌作用

中图分类号: S718.56 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2013)01-0015-07

## Volatile organic compounds in leaves of *Osmanthus fragrans* and their effect on airborne microorganisms

LIN Fuping<sup>1</sup>, ZHOU Shuai<sup>1</sup>, MA Nan<sup>1</sup>, ZHANG Rumin<sup>2</sup>, GAO Yan<sup>1,2</sup>

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forestry Basic Experiment Teaching Demonstration Center, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** To clarify the functions of plant volatile organic compounds (VOCs) on bacteriostasis and air decontamination, composition and content of VOCs in leaves of four cultivars of *Osmanthus fragrans*: ‘Thunbergii’, ‘Odoratus’, ‘Aurantiacus’ and ‘Semperflorens’ were analyzed under near-natural conditions using the thermal-desorption cold trap gas chromatography/mass spectrometer technique. The airborne microorganism count (bacteria, fungi, and actinomycetes) for the four cultivars and a control of open ground were determined for March, May, July, September, and November in 2011 using natural sedimentation. Results showed that the major VOCs as follows: (Z)-acetate-3-hexen-1-ol, hexanal, octanal, nonanal, decanal, 6-methyl-5-hepten-2-one, and 3-hexenol in ‘Thunbergii’; (Z)-acetate-3-hexen-1-ol, hexanal, benzaldehyde, nonanal, decanal, 6-methyl-5-hepten-2-one, and nonane in ‘Semperflorens’; (Z)-acetate-3-hexen-1-ol, hexanal, octanal, nonanal, decanal, nonene, 6-methyl-5-hepten-2-one, and 3-hexenol in ‘Odoratus’ and ‘Aurantiacus’. Compared to a control of open ground, the ‘Thunbergii’ stands for the five data collection months had significantly lower ( $P$

---

收稿日期: 2011-01-09; 修回日期: 2012-03-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30760193); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FR057); 浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(2112010018)

作者简介: 林富平, 从事园林植物栽培与管理研究。E-mail: linfuping@sohu.com。通信作者: 高岩, 教授, 博士, 从事植物化学生态和植物发育生理学等研究。E-mail: gaoyan1960@sohu.com

$< 0.01$ ) bacterial counts; the 'Thunbergii' stands for March, July, and September had significantly lower ( $P < 0.01$ ) fungal counts; and all four cultivars for the five data collection months had significantly reduced ( $P < 0.01$ ) actinomycete counts. Thus, the four *O. fragrans* cultivars could reduce the quantity of airborne microorganisms thereby improving air quality. [Ch, 3 fig. 1 tab. 18 ref.]

**Key words:** botany; volatile organic compounds; *Osmanthus fragrans*; TDS-GC-MS; antibacterial activity

植物生长发育过程中释放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)在生态系统中起着重要的化学信息传递作用<sup>[1-2]</sup>, 并且对环境空气质量、微生物生长<sup>[3-4]</sup>及人体健康等具有一定的影响<sup>[5-6]</sup>。Gao 等<sup>[3]</sup>对北京地区油松 *Pinus tabuliformis* 等 5 种针叶树林地空气中微生物研究, 发现针叶树具有明显的抑菌作用; 张庆费等<sup>[7]</sup>对上海 12 种常见绿化树种的抑菌物质进行了分析, 其中银杏 *Ginkgo biloba*, 臭椿 *Ailanthus altissima* 和构树 *Broussonetia papyrifera* 等释放的 VOCs 中含有大量的乙醛等 9 种抑菌物质; 郭阿君等<sup>[8]</sup>研究表明, 不同季节火炬树 *Rhus typhina* 释放的 VOCs 对空气微生物的影响存在明显差异; 张风娟等<sup>[9]</sup>研究发现皂荚 *Gleditsia sinensis* 和五角枫 *Acer truncatum* 释放的 VOCs 种类不同, 对空气微生物生长的抑制效果存在显著差异。因此, 研究不同植物释放 VOCs 的成分及其对空气中微生物的影响在园林绿化树种配置方面具有非常重要的作用。桂花 *Osmanthus fragrans* 在中国已有 2 500 多年的栽培历史。近年来, 许多学者对桂花鲜花 VOCs<sup>[10-13]</sup>成分及含量做了一些研究, 但对不同桂花品种叶片 VOCs 成分及其林地中微生物的生长情况的研究还未见报道。本研究采用动态顶空气体循环采集法与热脱附-气相色谱-质谱联用分析技术(TDS-GC-MS)相结合, 对金桂 *O. fragrans* 'Thunbergii', 银桂 *O. fragrans* 'Odoratus', 丹桂 *O. fragrans* 'Aurantiacus' 和四季桂 *O. fragrans* 'Semperflorens' 活体树木叶片 VOCs 进行采集与分析, 同时采用自然沉降法测定了 4 个桂花品种林地中空气微生物的生长情况。本结果可为进一步研究不同桂花品种 VOCs 的生态保健功能提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试树种

项目研究地点设在浙江农林大学东湖校区校园内, 选择长势良好, 无病虫害, 树龄 20 a 左右, 树高约 5 m 的金桂、银桂、丹桂和四季桂为试材。

### 1.2 实验方法

1.2.1 单株植物挥发物采集分析 于 2011 年 3, 5, 7, 9 和 11 月选择晴朗无风的天气, 用 QC-2 型大气采样仪采用动态顶空气体循环采集法对 4 个桂花品种叶片进行 VOCs 采集, 各品种叶片采样重复 3 次。采样气体循环流量为  $100 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 采气时间 25 min。VOCs 的分析参照文献[14], 采用 TDS-GC-MS 分析技术。分析仪器条件设置: TDS(TD3 型, 德国 Gerstel 公司)工作条件: 系统载气压力 20 kPa; 进样口温度 250 °C; 脱附温度 250 °C(10 min); 冷阱温度 -100 °C(保持 3 min); 冷阱进样时温度骤然升温至 260 °C。GC (7890A 型, Agilent 公司)工作条件: 色谱柱为  $30 \text{ m} \times 250 \mu\text{m} \times 0.25 \mu\text{m}$  的 HP-5MS 柱; 升温程序为初始温度 40 °C(保持 3 min), 以  $6 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速率升至 112 °C(保持 3 min), 以  $6 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速率升至 250 °C, 再以  $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  的速率升至 270 °C(保持 5 min)。MS(5975C 型, Agilent 公司)工作条件: 电离方式为 EI, 电子能量为 70 eV, 原子质量范围 29~400, 接口温度 280 °C, 离子源温度为 230 °C, 四级杆温度 150 °C。数据处理与质谱检索: 根据 4 个桂花品种叶片 VOCs 成分的 TDS-GC-MS 总离子流色谱图, 采用气质联用仪计算机的 NIST 2008 谱库, 结合计算机检索与手工检索, 定性分析组分的质谱数据, 以色谱峰面积进行定量分析, 并计算其组分的相对含量。

1.2.2 培养基的制备 按照刘国生<sup>[15]</sup>的方法配制细菌培养基(牛肉膏蛋白胨培养基)、真菌培养基(马铃薯培养基)和放线菌培养基(淀粉琼脂培养基)。

1.2.3 微生物的采集 微生物采集采用自然沉降法<sup>[16]</sup>, 分别在 4 个桂花品种林地内和对照(浙江农林大学东湖校区五洲广场)各设 3 个采样点, 将带有不同培养基的培养皿分别置于距树冠水平距离 0.3 m, 离地面 1.2~1.5 m 高的平板支架上, 打开培养皿盖, 采集空气中自然漂浮的微生物(细菌、真菌和放线菌)。培养基在空气中暴露 10 min 后, 将培养皿盖好并用保鲜膜包好后带回实验室置于 30 °C 恒温培养箱中培

养。微生物的采集分别在2011年3, 5, 7, 9和11月的晴朗无风天气, 上午10:00左右, 连续采集3 d, 重复3个·次<sup>-1</sup>。

**1.2.4 微生物的数据统计与处理** 接菌的培养皿在30℃条件下培养48 h后进行细菌菌落统计, 培养72 h后进行真菌菌落统计, 培养96 h后进行放线菌菌落统计。按1991年12月颁发的中华人民共和国国家标准确定的公共场所空气微生物的计算公式, 计算出各处理的微生物数。具体计算公式为: 菌数(个·m<sup>-3</sup>) = 50 000N/(AT)。N为培养皿中菌落平均数(个); A为培养皿的面积(cm<sup>2</sup>); T为打开培养皿皿盖的时间(min)。抑菌率(%) = (对照菌数-处理菌数)/对照菌数×100。数据处理: 采用SPSS18.0数据处理系统进行数据统计和方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 4个桂花品种叶片 VOCs 成分分析

将金桂、银桂、丹桂和四季桂活体植株的VOCs进行TDS-GC-MS分析, 总离子流图见图1, 从中鉴定出含有醛类、醇类、酸类、酯类、萜类、烃类和酮类等化合物, 但种类与相对含量有很大不同。将各个桂花品种叶片VOCs在不同月份所含化合物的峰面积做平均值, 见表1。

表1 4个桂花品种叶片的VOCs成分

Table 1 Components of VOCs in leaves of *Osmanthus fragrans*

序号	保留时间/ min	化合物	分子式	峰面积(×10 <sup>6</sup> )			
				金桂	银桂	丹桂	四季桂
1	5.31	辛烯 octene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	0.696 ± 0.015	0.892 ± 0.015	1.073 ± 0.124	1.012 ± 0.111
2	5.39	2,4-二甲基-3-戊醇 3-pentanol, 2,4-dimethyl-	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	ND	0.986 ± 0.051	1.027 ± 0.123	ND
3	5.42	1-庚烯-4-醇 1-hepten-4-ol	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.814 ± 0.018	ND	ND	ND
4	5.58	己醛 hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	2.237 ± 0.215	2.341 ± 0.232	2.164 ± 0.201	3.519 ± 0.385
5	6.08	乙酸丁酯 acetic acid, butyl ester	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.311 ± 0.005	0.394 ± 0.015	ND	ND
6	6.66	1,3 二甲基-1-环己烯 1,3-dimethyl-1-cyclohexene	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	ND	0.391 ± 0.013	0.348 ± 0.038	ND
7	7.22	(E)-2-己烯醛 2-hexenal, (E)-	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.697 ± 0.005	0.737 ± 0.014	1.087 ± 0.083	0.580 ± 0.045
8	7.36	3-己烯醇 3-hexenol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	3.739 ± 0.251	2.855 ± 0.254	3.134 ± 0.212	ND
9	7.51	2-甲基辛烷 octane, 2-methyl-	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.359 ± 0.015	ND	ND	0.364 ± 0.021
10	7.82	己醇 hexanol	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	0.117 ± 0.003	0.247 ± 0.023	0.138 ± 0.012	0.106 ± 0.010
11	8.32	壬烯 nonene	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	1.011 ± 0.102	2.556 ± 0.213	2.343 ± 0.134	1.200 ± 0.112
12	8.58	壬烷 nonane	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	1.440 ± 0.115	1.680 ± 0.131	1.693 ± 0.125	1.706 ± 0.146
13	8.64	庚醛 heptanal	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.204 ± 0.003	1.227 ± 0.125	ND	ND
14	8.93	(E,E)-2,4-己二烯醛(E,E)-2,4-hexadienal	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	1.029 ± 0.152	0.262 ± 0.014	1.183 ± 0.102	0.263 ± 0.014
15	9.56	α-蒎烯 α-pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.211 ± 0.003	0.216 ± 0.021	0.196 ± 0.014	0.206 ± 0.013
16	10.31	2,4-二甲基-环己醇 cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.201 ± 0.002	0.451 ± 0.042	0.511 ± 0.059	ND
17	10.37	苯甲醛 benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	1.607 ± 0.214	1.970 ± 0.143	1.673 ± 0.123	2.205 ± 0.211
18	10.71	2,6-二甲基-辛烷 octane, 2,6-dimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	ND	0.107 ± 0.016	0.124 ± 0.012	ND
19	10.77	(E)-壬烯醛 nonenal, (E)-	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	ND	0.268 ± 0.011	0.198 ± 0.008	ND
20	10.96	1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	0.208 ± 0.005	0.253 ± 0.042	0.242 ± 0.013	0.223 ± 0.012
21	11.22	6-甲基-5-庚烯-2-酮 5-hepten-2-one, 6-methyl-	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	4.067 ± 0.855	2.056 ± 0.153	2.112 ± 0.113	2.229 ± 0.142
22	11.54	癸烷 decane	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0.099 ± 0.002	0.156 ± 0.010	0.124 ± 0.021	0.093 ± 0.008
23	11.65	辛醛 octanal	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	3.517 ± 0.633	5.269 ± 0.535	4.943 ± 0.825	ND
24	11.78	(Z)-乙酸-3-己烯酯 3-hexen-1-ol, acetate, (Z)-	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	5.000 ± 1.258	8.044 ± 1.003	4.593 ± 0.803	1.287 ± 0.121
25	12.23	对伞花烃 p-cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.100 ± 0.010	0.132 ± 0.014	0.146 ± 0.012	0.143 ± 0.011

表1(续)

序号	保留时间/ min	化合物	分子式	峰面积( $\times 10^6$ )			
				金桂	银桂	丹桂	四季桂
26	12.34	柠檬烯 d-limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.572 ± 0.015	0.866 ± 0.003	0.834 ± 0.083	0.604 ± 0.044
27	12.40	2-乙基己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	0.406 ± 0.024	0.572 ± 0.058	0.273 ± 0.012	0.448 ± 0.024
28	12.91	罗勒烯 ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.327 ± 0.052	1.484 ± 0.143	ND	0.129 ± 0.011
29	13.19	(E)-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	0.139 ± 0.005	0.176 ± 0.022	0.152 ± 0.011	0.126 ± 0.012
30	13.47	(E)-2-壬烯-1-醇 2-nonen-1-ol, (E)-	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.401 ± 0.025	0.440 ± 0.052	0.516 ± 0.051	0.429 ± 0.014
31	13.55	壬醇 nonanol	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> O	0.097 ± 0.003	0.163 ± 0.016	0.125 ± 0.013	ND
32	14.07	异蒲勒醇 isopulegol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	ND	0.276 ± 0.051	0.096 ± 0.008	0.145 ± 0.011
33	14.29	十一烷 undecane	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	ND	0.214 ± 0.023	0.089 ± 0.007	ND
34	14.42	壬醛 nonanal	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	3.787 ± 0.896	4.064 ± 1.043	4.669 ± 0.735	4.114 ± 0.421
35	14.74	紫苏烯 perillene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	0.137 ± 0.005	1.356 ± 0.062	ND	ND
36	14.93	2-乙基己酸 hexanoic acid, 2-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.897 ± 0.215	0.684 ± 0.035	0.678 ± 0.033	1.045 ± 0.111
37	15.08	1,3,8-对-薄荷三烯 1,3,8-p-menthatriene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.124 ± 0.002	0.517 ± 0.032	ND	ND
38	15.30	2-甲基-戊二酸 pentanedioic acid, 2-methyl-	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	0.206 ± 0.005	0.114 ± 0.011	0.219 ± 0.025	0.146 ± 0.010
39	15.48	樟脑 camphor	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	0.130 ± 0.003	0.210 ± 0.019	0.136 ± 0.013	0.147 ± 0.014
40	16.09	薄荷醇 L-( )-menthol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.781 ± 0.118	0.677 ± 0.062	1.048 ± 0.128	1.031 ± 0.111
41	16.42	甘菊环烃 azulene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	0.303 ± 0.021	0.374 ± 0.003	0.313 ± 0.037	0.306 ± 0.025
42	16.55	6-甲基-5-辛烯-2-酮 6-methyl-5-octen-2-one	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	0.200 ± 0.012	0.458 ± 0.038	ND	ND
43	16.72	二氢香茅醇 citronellol, dihydro-	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O	0.347 ± 0.007	0.522 ± 0.042	0.428 ± 0.043	0.375 ± 0.015
44	16.87	癸醇 decanol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.303 ± 0.005	0.351 ± 0.013	0.289 ± 0.032	0.306 ± 0.013
45	16.97	癸醛 decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	3.079 ± 0.818	2.629 ± 0.204	3.640 ± 0.351	3.998 ± 0.251
46	17.26	5-乙基-1-壬烯 5-ethyl-1-nonene	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	0.211 ± 0.010	ND	ND	0.251 ± 0.015
47	17.84	2-乙基-己酸甲酯 methyl 2-ethylhexanoate	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.171 ± 0.008	0.217 ± 0.014	0.104 ± 0.010	ND
48	18.42	新癸酸 neodecanoic acid	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.123 ± 0.006	0.188 ± 0.011	0.093 ± 0.005	0.177 ± 0.011
49	19.37	十一醛 undecanal	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	0.155 ± 0.008	0.157 ± 0.005	0.151 ± 0.015	0.218 ± 0.018
50	19.18	十三烷 tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	ND	0.144 ± 0.004	0.114 ± 0.011	ND
51	19.37	十二醛 fodecanal	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	ND	0.177 ± 0.012	0.156 ± 0.014	0.194 ± 0.011
52	21.39	十四烷 tetradecane	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	0.948 ± 0.010	1.307 ± 0.031	0.994 ± 0.093	1.159 ± 0.311
53	21.59	十四醛 tetradecanal	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O	ND	0.150 ± 0.005	0.098 ± 0.003	ND
54	21.79	雪松烯 cedrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.106 ± 0.004	0.179 ± 0.006	0.116 ± 0.003	0.105 ± 0.009
55	21.94	石竹烯 caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.138 ± 0.005	0.359 ± 0.021	ND	ND
56	22.54	香叶基丙酮 geranyl acetone	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	0.492 ± 0.014	0.093 ± 0.003	ND	0.143 ± 0.012
57	22.88	石竹烯氧化物 caryophyllene oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.120 ± 0.020	0.166 ± 0.013	0.122 ± 0.010	ND

说明: ND 表示未测到化合物。

从金桂中鉴定出48种化合物, 主要成分为(Z)-乙酸-3-己烯酯(相对含量11.8%), 6-甲基-5-庚烯-2-酮(9.6%), 3-己烯醇(8.8%), 壬醛(8.9%), 辛醛(8.3%), 癸醛(8.3%), 己醛(5.3%), 苯甲醛(3.8%)和壬烷(3.4%)等。银桂中含有54种化合物, 主要成分为(Z)-乙酸-3-己烯酯(15.2%), 辛醛(10.0%), 壬醛(7.7%), 3-己烯醇(5.4%), 壬烯(5.3%), 癸醛(5.0%), 己醛(4.4%), 6-甲基-5-庚烯-2-酮(3.9%), 苯甲醛(3.7%)和壬烷(3.2%)等。丹桂中共46种化合物, 主要成分为辛醛(11.1%), 壬醛(10.5%), (Z)-乙酸-3-己烯酯(10.3%), 癸醛(8.2%), 3-己烯醇(7.0%), 己醛(4.8%), 6-甲基-5-庚烯-2-酮(4.7%), 壬烯

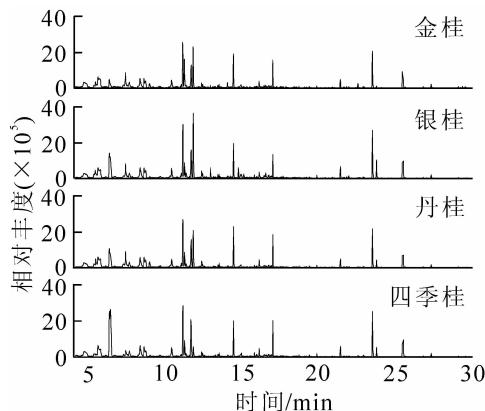


图1 4个桂花品种叶片 VOCs 总离子流图

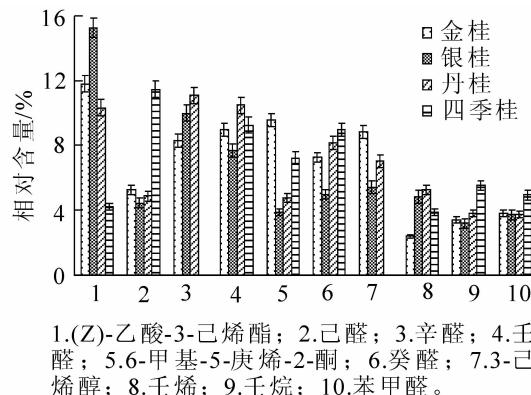
Figure 1 TIC of VOCs in leaves of *Osmanthus fragrans*

图2 4个桂花品种叶片 VOCs 主要成分比较

Figure 2 Contrast of main ingredients VOCs in leaves of *O. fragrans*

(4.8%), 苯甲醛(3.8%)和壬烷(3.8%)等。四季桂中有37种化合物，主要为己醛(11.5%)，壬醛(9.2%)，癸醛(9.0%)，6-甲基-5-庚烯-2-酮(7.3%)，壬烷(5.6%)，苯甲醛(5.0%)，(Z)-乙酸-3-己烯酯(4.2%)，壬烯(3.9%)等(图2)。通过分析发现：4个桂花品种叶片 VOCs 均以醛类化合物为主，相对含量在35%以上，另外(Z)-乙酸-3-己烯酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮、壬烯和壬烷等化合物相对含量也较高。

## 2.2. 4个桂花品种林地中空气微生物数量的测定

3, 5, 7, 9和11月的实地监测表明：4个桂花品种林地中空气微生物的数量在不同月份具有一定的动态变化(图3)。4个桂花品种林地中细菌含量在不同月份与对照相比均有明显的降低(图3A)，其中金桂林地在3, 5, 7, 9和11月分别降低46.6%，48.3%，67.6%，34.6%和26.0%( $P<0.01$ )；银桂和四季桂林地在5月降幅最大，分别降低53.7%和57.8%，9月降低最少，分别降低18.7%和31.0%( $P<0.01$ )；丹桂林地也在5月降幅最大，但在3月份降低最少，分别降低80.3%( $P<0.01$ )和14.8%( $P<0.05$ )。可见，不同桂花品种林地在不同月份对细菌生长均有显著或极显著的抑制作用。

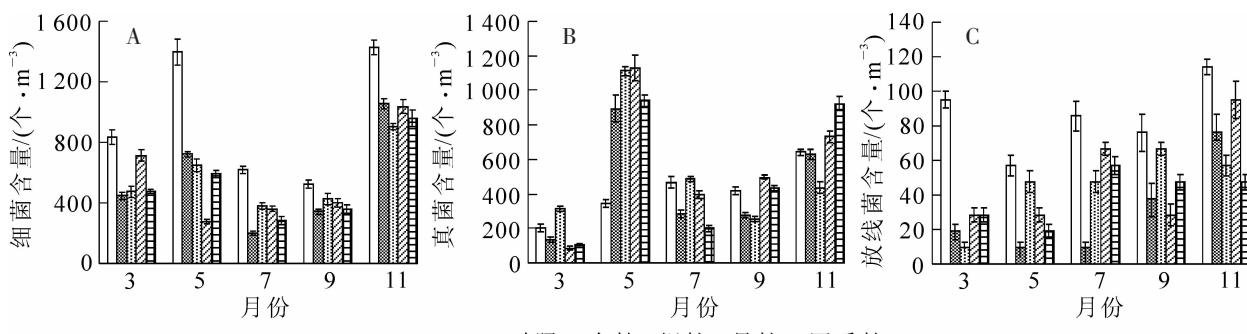


图3 4个桂花品种林地中空气微生物的含量

Figure 3 Amount of air microorganism in the stands of *O. fragrans*

4个桂花品种林地中真菌含量在不同月份与对照相比变化差异不一致。从图3B可见：5月金桂、四季桂、银桂和丹桂林地分别比对照增加极显著( $P<0.01$ )，分别增加1.6, 1.8, 2.2和2.3倍；银桂林地在3月、四季桂林地在11月也显著增加。金桂林地在3, 7和9月比对照分别降低33.5%，38.8%和34.1%( $P<0.01$ )；银桂林地在9和11月分别降低38.7%和31.8%( $P<0.01$ )；丹桂林地在3月降低57.0%( $P<0.01$ )；四季桂林地在3和7月分别降低47.5%和57.1%( $P<0.01$ )。说明不同桂花品种林在不同月份对真菌的生长影响差异极显著。

4个桂花品种林地中放线菌含量在微生物总量中所占比例较小(图3C)。放线菌含量在不同月份都低于对照，金桂林地在3, 5和7月都降低80.0%以上( $P<0.01$ )；银桂林地在3月降低89.5%( $P<0.01$ )；丹桂林地在3和9月，四季桂林地在3和5月都降低60.0%以上( $P<0.01$ )。其他月份4个桂花品种林也对放线菌生长具有显著的抑制作用。

### 3 讨论

植物释放 VOCs 的种类及含量与植物本身种属特性存在很大关系, 不同植物释放的 VOCs 种类与比例具有明显的差异。Gao 等<sup>[3]</sup>对 5 种松柏类植物的研究表明, 不同植物的 VOCs 成分不同, 主要为柠檬烯、 $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯和月桂烯等化合物; 张庆费等<sup>[7]</sup>对银杏等 12 种绿化树种研究表明, 主要成分为柠檬醛、乙酰乙酸乙酯和丁酮醇等 9 种化合物, 但各树种释放 VOCs 的种类和比例不同; 张凤娟等<sup>[9]</sup>对皂莢和五角枫研究发现, 2 种植物枝叶的 VOCs 都含有酯类、醇类和醛类等化合物, 但其种类与相对含量有很大不同。本实验通过对 4 个桂花品种叶片 VOCs 进行分析, 其主要成分为醛类化合物, 但不同品种的 VOCs 成分组成和相对含量差别较大。通过与以往研究比较, 还发现桂花叶片 VOCs 成分与鲜花间存在较大差异<sup>[10-13]</sup>。

植物在生长过程中释放的 VOCs 成分很多都会对微生物生长产生影响<sup>[3,9,17]</sup>。Gao 等<sup>[3]</sup>对壬醛、癸醛、苯甲醛研究, 发现 3 种单体对空气微生物(细菌、真菌和放线菌)的生长具有明显的抑制作用, 且随着浓度的增加而抑制作用增强。张凤娟等<sup>[9]</sup>通过对乙酸-3-己烯酯、乙酸庚酯、壬醛、己醛、正戊醛、trans-2-己烯醛、1-辛醇和 3-己烯醇等 8 种单体进行抑菌试验, 发现除 3-己烯醇在低体积分数(0.01%)时对细菌的生长起促进作用外, 其他单体在不同浓度对细菌均有抑制作用, 且随着浓度的增加而抑制作用增强。Edris 等<sup>[17]</sup>也证明, 癸醛、苯甲醛和  $\beta$ -蒎烯具有显著的抑菌作用。4 个桂花品种叶片释放的 VOCs 均含有大量的(Z)-乙酸-3-己烯酯、己醛、苯甲醛、壬醛、癸醛和 3-己烯醇等化合物, 在不同品种间的相对含量差别较大, 抑菌作用也存在显著差异, 这些化合物可能是抑制微生物生长的主要成分。

郭阿君等<sup>[8]</sup>研究显示火炬树在不同季节对空气细菌抑制能力存在明显差异: 夏季抑制作用最强, 秋季稍有回落, 但均明显高于春季; 但对空气真菌具有促进作用。盖苗苗等<sup>[18]</sup>对雪松 *Cedrus deodara* VOCs 的抑菌效益研究, 发现对细菌和放线菌有明显的抑制作用且趋势基本一致, 夏、秋季较强, 春季较弱, 6 月达到最大值; 对真菌的生长有促进作用, 总体趋势是夏季>秋季>春季, 表明这种差异与 VOCs 的成分及含量有关。4 个桂花品种林地在 5 月和 7 月对细菌具有极显著的抑制作用, 在 5 月对真菌具有极显著的促进作用; 由于空气真菌适合阴暗和潮湿的地方生长, 因此对照中真菌含量在不同月份都较低, 这与前人研究结果相一致。

由于不同树木林地中微生物含量在不同月份有显著差异, 因此, 在选择城市绿化树种时, 除了考虑树木的适生性、抗污染性和美观造型等因素外, 合理搭配还应考虑其释放的 VOCs 及其抗菌性, 使园林绿地树种在建设和配置中得到更好的应用, 充分发挥其美化环境、净化空气功能, 更好地改善人居生活环境。

### 参考文献:

- [1] 刘和, 孙忠贵. 我国化学领域天然植物挥发性成分研究的进展[J]. 江西农业大学学报, 1998, **20** (1): 74–81.  
LIU He, SUN Zhonggui. The progress of the studies on the volatile constituents of natural plants in chemistry field [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 1998, **20** (1): 74–81.
- [2] THEIS N, LERDAU M. The ecology and evolution of plant secondary metabolites [J]. *Int J Plant Sci*, 2003, **164** (3): 93–102.
- [3] GAO Yan, JIN Youju, LI Haidong, et al. Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. *J Integrative Plant Biol*, 2005, **47** (4): 499–507.
- [4] GUENTHER A, ZIMMERMAN P. Natural volatile organic compound emission rate estimates for U.S. woodland landscapes [J]. *Atom Environ*, 1994, **28** (6): 1119–1121.
- [5] 郑华, 金幼菊, 周金星, 等. 活体珍珠梅挥发物释放的季节性及其对人体脑波影响的初探[J]. 林业科学, 2003, **16** (3): 328–334.  
ZHENG Hua, JIN Youju, ZHOU Jinxing, et al. A preliminary study on human brain waves influenced by volatiles released from living *Sorbaria kirilowii* (Regel) Maxim. in different seasons [J]. *For Res*, 2003, **16** (3): 328–334.
- [6] ILMBERGER J, HEUBERGER E, MAHRHOFER C, et al. The influence of essential oils on human attention I: alertness [J]. *Chem Sens*, 2001, **26** (3): 239–245.
- [7] 张庆费, 庞名瑜, 姜义华, 等. 上海主要绿化树种的抑菌物质和芳香成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2000, **9**

- (2): 62–64.
- ZHANG Qingfei, PANG Mingyu, JIANG Yihua, et al. The bactericidal and aromatic volatile gas of the main greenery tree species in Shanghai [J]. *J Plant Resour Environ*, 2000, **9** (2): 62–64.
- [8] 郭阿君, 王志英, 邹丽. 火炬树挥发性有机物释放动态及其抑菌作用[J]. 东北林业大学学报, 2010, **38** (7): 103–104.
- GUO Ajun, WANG Zhiying, ZOU Li. Release variation and antibiotic functions of volatile organic compounds from *Rhus typhina* [J]. *J Northeast For Univ*, 2010, **38** (7): 103–104.
- [9] 张风娟, 李继泉, 徐兴友, 等. 皂莢和五角枫挥发性物质组成及其对空气微生物的抑制作用[J]. 园艺学报, 2007, **34** (4): 973–978.
- ZHANG Fengjuan, LI Jiquan, XU Xingyou, et al. The volatiles of two greening tree species and the antimicrobial activity [J]. *Acta Hortic Sin*, 2007, **34** (4): 973–978.
- [10] 冯建跃, 赵菁, 黄巧巧, 等. 吸附丝色谱-质谱法用于桂花香气研究[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2001, **28** (6): 672–675.
- FENG Jianyue, ZHAO Jing, HUANG Qiaoqiao, et al. Study on aroma components of osmanthus by absorption wire gas chromatography mass spectrometry [J]. *J Zhejiang Univ Sci Ed*, 2001, **28** (6): 672–675.
- [11] 杨雪云, 赵博光, 刘秀华, 等. 金桂银桂鲜花挥发性成分的顶空固相微萃取 GC/MS 分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学报, 2008, **32** (4): 86–90.
- YANG Xueyun, ZHAO Boguang, LIU Xiuhua, et al. Analysis of volatile compounds from the fresh flowers of *Osmanthus fragrans* var. *thunbergii* and *O. fragrans* var. *latifolius* by SPME-GC-MS [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2008, **32** (4): 86–90.
- [12] 曹慧, 李祖光. 桂花品种香气成分的 GC/MS 指纹图谱研究[J]. 园艺学报, 2009, **36** (3): 391–398.
- CAO Hui, LI Zuguang, SHEN Delong. GC/MS fingerprint analysis of *Osmanthus fragrans* Lour. in different varieties [J]. *Acta Hortic Sin*, 2009, **36** (3): 391–398.
- [13] 王呈仲, 苏越, 郭寅龙. 顶空-气相色谱-质谱联用分析桂花和叶中挥发性成分[J]. 有机化学, 2009, **29** (6): 948–955.
- WANG Chengzhong, SU Yue, GUO Yinlong. Analysis of the volatile components from flowers and leaves of *Osmanthus fragrans* Lour. by headspace-GC-MS [J]. *Chin J Org Chem*, 2009, **29** (6): 948–955.
- [14] 高群英, 高岩, 张汝民, 等. 3种菊科植物香气成分的热脱附气质联用分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (2): 326–332.
- GAO Qunying, GAO Yan, ZHANG Rumin, et al. Aromatic composition in three plant species using TDS-GC-MS [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (2): 326–332.
- [15] 刘国生. 微生物学实验技术[M]. 北京: 科学出版社. 2007.
- [16] 谢慧玲, 李树仁, 袁秀云, 等. 植物挥发性分泌物对空气微生物杀灭作用的研究[J]. 河南农业大学学报, 1999, **33** (2): 127–133.
- XIE Huiling, LI Shuren, YUAN Xiuyun, et al. Study on the disinfection of plant volatile secretion to the microorganism content in the air [J]. *J Henan Agric Univ*, 1999, **33** (2): 127–133.
- [17] EDRIS A E, FARRAG E S. Antifungal activity of peppermint and sweet basil essential oils and their major aroma constituents on some plant pathogenic fungi from the vapor phase [J]. *Nahrung*, 2003, **47** (2): 117–121.
- [18] 盖苗苗, 周春玲, 曲宁, 等. 雪松的挥发性物质成分及抑菌效益研究[J]. 中国农学通报, 2010, **26** (7): 311–313.
- GAI Miaomiao, ZHOU Chunling, QU Ning, et al. The study of volatile substances from cedar and its antibacterial benefit [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26** (7): 311–313.