

浙江农林大学学报, 2015, 32(2): 208 – 220

Journal of Zhejiang A & F University

doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2015.02.007

桂花品种‘堰虹桂’‘玉玲珑’和‘杭州黄’的香气成分及释放节律

侯 丹¹, 付建新², 张 超², 赵宏波^{1,2}

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分析了桂花 *Osmanthus fragrans* ‘堰虹桂’‘Yanhong Gui’‘玉玲珑’‘Yu Linglong’和‘杭州黄’‘Hangzhou Huang’芳香物质及其释放节律。结果表明: 3个桂花品种最主要的特征香气物质均为芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮。随花的开放, 3个品种中芳樟醇的香气值均逐渐升高, 在盛开期达到最大后降低, α -紫罗兰酮表现为逐渐降低; β -紫罗兰酮在‘堰虹桂’和‘杭州黄’中逐渐降低, 在‘玉玲珑’中先升高再降低; 此外, 部分酯类和烯类芳香物质的相对含量也表现为随花开放而逐渐升高。通过感官判断可知, ‘堰虹桂’香气甜而淡, ‘玉玲珑’浓香馥郁, ‘杭州黄’香甜雅致。花开放过程中主要特征香气物质香气值变化规律的不同与部分品种特异的酯类(γ -癸内酯)和烯类芳香物质(顺式和反式氧化芳樟醇)的共同作用是导致3个桂花品种香气及其释放节律差异的主要原因。图5表4参34

关键词: 植物生物化学; 桂花; 特征香气成分; 固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: S685.13; Q946.8 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2015)02-0208-13

Flower scent composition of *Osmanthus fragrans* ‘Yanhong Gui’‘Yu Linglong’ and ‘Hangzhou Huang’, and their emission patterns

HOU Dan¹, FU Jianxin², ZHANG Chao², ZHAO Hongbo^{1,2}

(1. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To interpret the fragrance type of different cultivars in *Osmanthus fragrans*, flower scent components and emission patterns in ‘Yanhong Gui’, ‘Yu Linglong’, and ‘Hangzhou Huang’ were analyzed by means of solid-phase microextraction (SPME) coupled to gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS). Results showed that the major characteristic scent compositions are similar among three cultivars including linalool, α -ionone and β -ionone, while the relative content were different. For all cultivars, the odour activity values (OAVs) of linalool reached a peak at full-blossoming stage then decreased gradually; whereas, OAVs of α -ionone decreased gradually with the flower opening. For ‘Yanhong Gui’ and ‘Hangzhou Huang’, the OAVs of β -ionone decreased gradually during flower opening, and in ‘Yu Linglong’ a low-high-low pattern emerged. In addition, the relative content of some terpene and ester components increased gradually during flower opening. Special scent components such as γ -Decalactone, cis-Linalool oxide, and trans-Linalool oxide were also noted. According to sensory judgment, ‘Yanhong Gui’ had a light and sweet fragrance, ‘Yu Lin-

收稿日期: 2014-05-23; 修回日期: 2014-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31170656, 31400598); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3100221); 浙江省农业重大科技专项重点项目(2012C12909-9)

作者简介: 侯丹, 从事林木遗传育种研究。E-mail: 55505043@qq.com。通信作者: 赵宏波, 副教授, 博士, 从事观赏植物遗传育种和植物繁殖生态等研究。E-mail: zhaohb@zafu.edu.cn

‘Yanhong Gui’ had a strong and sweet fragrance, and ‘Hangzhou Huang’ had an elegant and fresh fragrance. Thus, the major characteristic scent components were similar among the three cultivars, but variations in OAVs for the characteristic scent compositions during flower opening and the appearance of some special scent components for certain cultivars most likely caused differences in scent fragrance and emission patterns. [Ch, 5 fig. 4 tab. 34 ref.]

Key words: plant biochemistry; *Osmanthus fragrans*; characteristic scent component; solid phase microextraction (SPME); gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS)

桂花 *Osmanthus fragrans* 为木犀科 Oleaceae 木犀属 *Osmanthus* 植物, 是中国十大传统名花之一, 在中国已有 2 500 a 以上的栽培历史^[1]。桂花品种繁多, 香气宜人, 按花色可分为金桂品种群 (Luteus group), 银桂品种群 (Albus group), 丹桂品种群 (Aurantiacus group) 及四季桂品种群 (Asiaticus group)^[2]。由于其树形优美、四季常绿、花朵芳香, 是中国最重要的园林植物之一; 同时, 桂花还可用于提取芳香油和浸膏, 且花、果实及根均可入药, 又具有重要的经济和药用价值^[2]。桂花素以芳香著称, 其香气可分为浓香、淡香、微香等^[2]。早在 20 世纪 60~70 年代, Sisido 等^[3]和 Kaiser 等^[4]已分别对桂花浸膏、精油中的挥发性成分进行分析鉴定。到目前为止, 已有一定数量文献报道了桂花的主要香气成分, 包括罗勒烯、 β -紫罗兰酮、芳樟醇、 α -紫罗兰酮、 γ -癸内酯等化合物^[5~11]。但是, 大部分相关研究并未明确所用研究材料的具体品种^[5,7~10], 从而导致结果缺乏足够的代表性。‘堰虹桂’ *O. fragrans* ‘Yanhong Gui’, ‘玉玲珑’ *O. fragrans* ‘Yu Linglong’ 和 ‘杭州黄’ *O. fragrans* ‘Hangzhou Huang’ 分别为具有代表性的丹桂、银桂和金桂品种。其中, ‘堰虹桂’ 产自于成都地区都江堰市, 由于其树形优美、花色艳、花量大、分支多而不易折断, 因此受到广泛关注和喜爱^[1]; ‘玉玲珑’ 产自于浙江金华, 其树冠大, 花朵繁密, 香气浓郁, 并且顶端优势不明显, 因此是极好的盆栽材料^[2]; ‘杭州黄’ 产自于浙江杭州地区, 其花型独特, 表现为花瓣边缘波状起伏, 花金黄色, 着花极为紧密, 是杭州地区最受欢迎金桂品种之一^[1~2]。金荷仙等^[6]曾报道过杭州满陇桂雨公园四大品种群共 4 个品种(‘小叶金’ ‘玉玲珑’ ‘朱砂丹桂’ 和 ‘佛顶珠’)的主要香气成分, 认为 ‘玉玲珑’ 中的顺式氧化芳樟醇和 β -紫罗兰酮的含量较高。本研究旨在明确这 3 个主要栽品种主要香气物质及其香气释放节律, 并比较不同品种香气类型, 从而探讨不同品种群香气异同, 为桂花品种资源的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料丹桂‘堰虹桂’(yhg), 银桂‘玉玲珑’(yll)和金桂‘杭州黄’(hzh)为扦插繁殖植株, 5~7 年生。3 个品种生长环境相同, 长势一致。于 2012 年 9~10 月晴天选择生长位置基本一致的开花枝, 按①蕾期(花瓣未开展, 花径约 0.1~0.2 mm; ②半开期(花瓣微张, 花径约 0.3~0.4 mm; ③盛开期(花瓣完全开展, 花药未变色, 花径约 0.5~0.6 mm; ④末期(花瓣含水量下降, 易脱落, 花药变色, 花径约 0.4~0.5 mm)等 4 个时期(图 1)采样。样品采集后带回实验室即刻进行香气成分测定。

1.2 方法

采用固相微萃取(SPME)结合气质联用(GC-MS)的方法对桂花香气进行测定, 并依据相关文献设定测定条件^[5,23]。先将桂花花朵从枝条上取下, 称取 0.4 g 样品置于锥形瓶中, 并用封口膜将锥形瓶密封, 于室温下(25 °C); 密闭平衡 10 min 后插入经过老化的萃取纤维头, 于室温下萃取 40 min, 最后取样进行 GC-MS(日本岛津公司 GC-MS QP2010 Plus 气相色谱-质谱联用仪)分析。事先将 100 μm PDMS 萃取纤维头与 SPME 手动进样手柄进行组装(美国 Supelco 公司), 在气相色谱的进样口处老化, 老化温度为 230 °C, 老化时间 1 h。

色谱条件: 色谱柱为 Restek Rtx-Wax 气相柱(30 m \times 0.25 mm); 载气为高纯氦气(99.999%), 柱前压为 49.5 Pa, 柱流量 1 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$; 取样时间 1 min。进样口温度 230 °C, 程序升温为柱起始温度 40 °C, 保持 5 min, 以 5 °C·min⁻¹ 的速度升至 250 °C, 保持 5 min。

质谱条件: 电子轰击源为 EI; 电子能量为 70 ev; 离子源温度为 230 °C, 接口温度为 250 °C, 溶剂

切除时间为2 min, 扫描质量范围为33~650, 扫描间隔为0.3 s, 收集时间为3~52 min。

1.3 定性及定量分析方法

对采集到的质谱图用NTST 08及NTST 08s进行分析, 并将各主要峰的质谱数据与有关文献^[5,8,11,15-17]进行核对, 确定挥发性物质的化学成分。根据离子流峰面积归一化法计算各组分在总挥发物中的相对含量^[12-14], 采用SPSS 19.0进行数据分析, 对3个桂花品种中主要的鲜花挥发物(VOCs)的相对含量进一步进行方差分析。

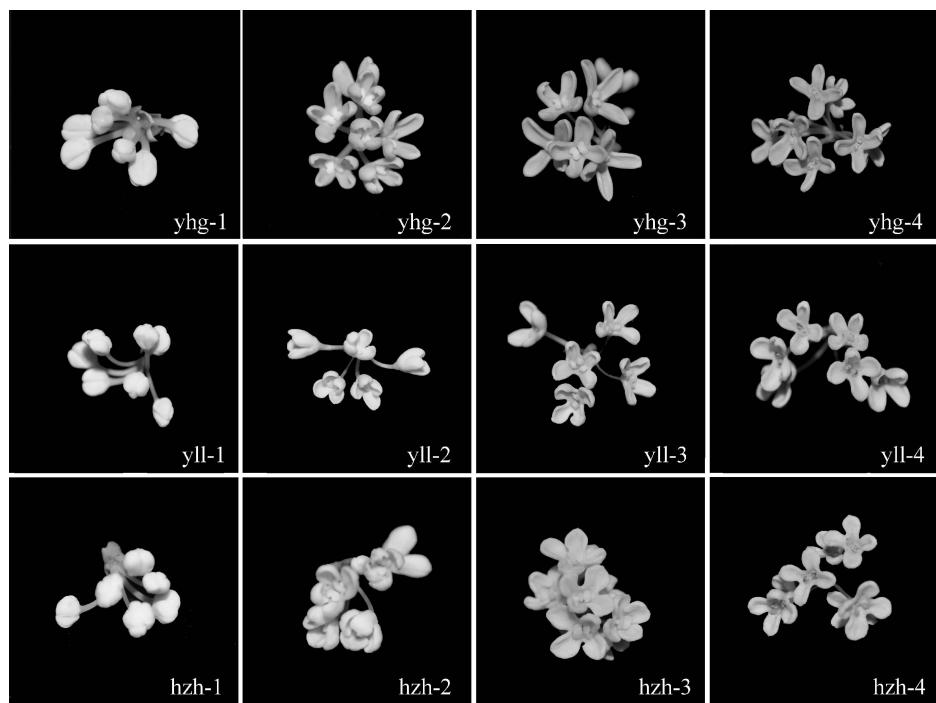


图1 ‘堰虹桂’ ‘玉玲珑’ 和 ‘杭州黄’ 的4个开花时期(1. 蕊期; 2. 半开期; 3. 盛开期; 4. 盛开末期)

Figure 1 Four blossom stages of *Osmanthus fragrans* ‘Yanhong Gui’, ‘Yu Linglong’, ‘Hangzhou Huang’ (1. the bud stage; 2. first flowering stage; 3. full-blooming stage; 4. declining stage)

2 结果与分析

2.1 桂花品种开花过程中的香气成分及其相对含量分析

2.1.1 ‘堰虹桂’ 开花过程中的主要香气物质及其相对含量 ‘堰虹桂’ 4个时期共检测出45种挥发性物质, 其中香气物质36种, 非香气物质9种。所有芳香物质可分为醇类、酮类、酯类、烯类4大类; 蕊期至盛开末期分别检测出19, 22, 27和20种香气成分, 总相对含量分别为90.22%, 96.49%, 97.00%及89.44%(图2和表1)。‘堰虹桂’ 中芳香物质总数和总相对含量基本呈现先升高再降低的变化趋势, 这与‘堰虹桂’ 感官上的香气浓度变化基本一致。醇类化合物在半开期和盛开期分别为62.2%和76.49%, 是‘堰虹桂’ 最主要的芳香化合物, 在花开放过程中呈现先上升后下降的趋势, 在盛开期达到最大; 酮类和烯类化合物呈现高—低—高的变化趋势; 酯类化合物相对含量在半开期最高, 之后逐渐下降。对比‘堰虹桂’ 的4个开花时期, 顺式罗勒烯、顺式氧化芳樟醇、反式氧化芳樟醇、芳樟醇、二氢 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和 γ -癸内酯的相对含量均较高。在花开放过程中, 顺式罗勒烯、顺式和反式氧化芳樟醇的相对含量逐渐增大, 并在盛开末期最高; 二氢 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮在蕊期相对含量最高; 芳樟醇和 γ -癸内酯均在半开期和盛开期相对含量最高(表1)。

2.1.2 ‘玉玲珑’ 开花过程中的主要香气物质及其相对含量 ‘玉玲珑’ 4个时期中共检测出42种挥发性物质, 其中芳香物质33种, 非芳香物质9种。所有芳香物质可分为醇类、酮类、酯类、烯类和醛类5大类, 蕊期至盛开末期依次检测出14, 27, 28及28种芳香物质, 总相对含量分别为80.28%,

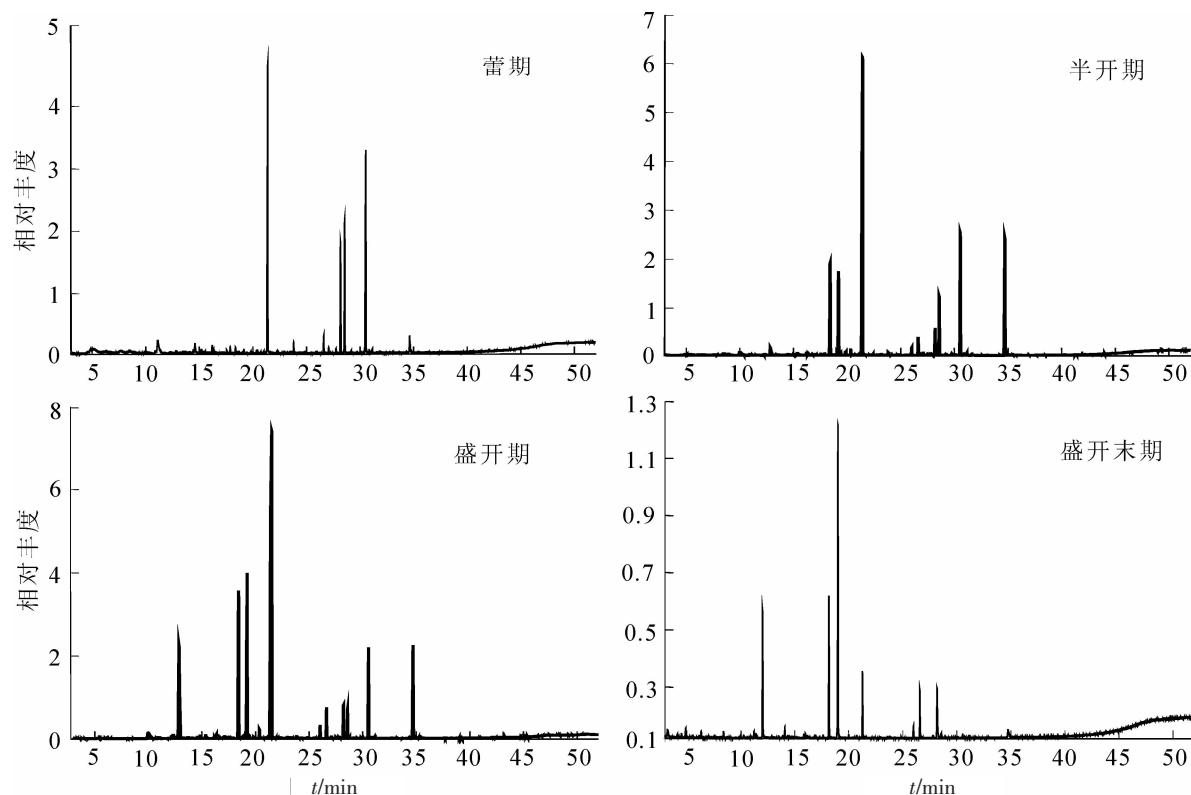


图2 ‘堰虹桂’GC-MS总离子流色谱图

Figure 2 Total ionic chromatogram of *Osmanthus fragrans* ‘Yanhong Gui’

表1 ‘堰虹桂’开花过程中主要香气物质及其相对含量

Table 1 Flower scent compositions and relative contents in flower opening process of *O. fragrans* ‘Yanhong Gui’

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
醇类 alcohols						
桉树脑 eucalyptol	11.10	C ₁₀ H ₁₈ O	4.10	—	—	—
叶醇 cis-3-Hexenol	16.80	C ₆ H ₁₂ O	—	0.12	—	—
顺式-氧化芳樟醇 cis-linalool oxide	18.40	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.38 c	5.89 b	10.10 b	13.67 a
反式-氧化芳樟醇 trans-linalool oxide	19.20	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.30 c	4.77 bc	11.00 b	30.44 a
芳樟醇 linalool	21.50	C ₁₀ H ₁₈ O	17.89 b	50.43 a	54.00 a	10.68 b
脱氢芳樟醇 hotrienol	22.90	C ₁₀ H ₁₆ O	0.06	—	—	—
D-薄荷醇 menthol	23.60	C ₁₀ H ₂₀ O	—	—	—	0.11
双花醇 shuanghuaol	26.60	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.09 c	0.69 bc	1.55 b	5.02 a
2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇 2,6-dimethyl-3,7-Octadiene-2,6-diol	30.60	C ₈ H ₁₆ O ₂	—	0.16	0.04	—
β-柠檬醇(Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol	27.50	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.06	0.05	—
α-紫罗兰醇 α-ionol	29.70	C ₁₃ H ₂₂ O	0.13	0.08	0.03	—
β-紫罗兰醇 β-ionol	31.20	C ₁₃ H ₂₂ O	0.40	—	0.12	0.25
2,6-二甲基-1,7-辛二烯-2,6-二醇 2,6-dimethyl-1,7-octadiene-3,6-diol	34.40	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.11	—	0.05	—
酮类 ketones						
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	15.30	C ₈ H ₁₄ O	—	0.25	0.22	0.14
4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-2-丁酮 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-ylidene)-2-butanone	27.10	C ₁₃ H ₂₂ O	0.59	0.12	0.07	—
二氢-α-紫罗兰酮 2H-α-ionone	27.80	C ₁₃ H ₂₂ O	—	—	—	0.31
二氢-β-紫罗兰酮 2H-β-ionone	28.20	C ₁₃ H ₂₂ O	14.55 a	1.33 c	1.75 c	7.86 b
α-紫罗兰酮 α-ionone	28.60	C ₁₃ H ₂₂ O	16.96 a	3.63 b	1.49 b	0.84 b

表1 (续)

Table 1 Continued

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
β-紫罗兰酮 β-ionone	30.50	C ₁₃ H ₂₀ O	30.75 a	8.66 b	5.32 bc	0.67 c
6-戊基-2H-吡喃-2-酮 6-pentyl-2H-pyran-2-one	35.30	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	-	-	0.14	0.16
烯类 Terpenes						
β-水芹烯 β-phellandrene	8.28	C ₁₀ H ₁₆	0.08	-	-	0.18
β-蒎烯 β-pinene	9.95	C ₁₀ H ₁₆	0.39	-	-	-
β-月桂烯 β-myrcene	10.00	C ₁₀ H ₁₆	-	0.73	1.11	0.68
D-蒈烯 D-Limonene	10.90	C ₁₀ H ₁₆	1.03	-	-	-
反式罗勒烯 (E)-ocimene	12.30	C ₁₀ H ₁₆	-	-	0.44	0.56
顺式罗勒烯 (Z)-ocimene	12.90	C ₁₀ H ₁₆	0.40 c	6.23 b	1.60 bc	14.83 a
别罗勒烯 alloocimene	16.50	C ₁₀ H ₁₆	-	-	0.23	0.35
三甲基-6-亚丁烯基-4-环乙烯 4,6(Z),8(E)-triene-megastigma	23.20	C ₁₃ H ₂₀	0.14	0.08	0.04	-
酯类 ethers						
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	14.80	C ₈ H ₁₄ O ₂	-	0.38	0.23	0.26
3-甲基丁-2-烯基-2,2-二甲基苯甲酸酯 3-methylbut-2-enyl-2,2-dimethylpropanoic acid ester	16.60	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	-	-	0.11	0.11
4-己烯基丁酸酯 4-hexen-1-yl butanoic acid ester	17.00	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	-	2.05	0.10	-
4-己烯基戊酸酯 4-hexen-1-yl pentanoic acid ester	19.40	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	-	0.27	0.17	-
戊酸叶醇酯 cis-3-hexenyl valerate	19.80	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	-	0.44	0.06	-
γ-辛内酯 γ-octalactone	29.90	C ₈ H ₁₄ O ₂	-	0.07	0.03	-
γ-癸内酯 γ-decalactone	34.70	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	1.87 b	10.05 a	6.95 ab	2.32 b
非芳香物质 non aroma components						
2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene	14.40	C ₁₄ H ₁₁₀	0.39	0.07	-	0.47
3,3-二甲基-1,5-庚二烯 3,3-dimethyl-1,5-heptadiene	14.60	C ₉ H ₁₆	-	-	0.08	1.12
1,2-二甲基-3-乙烯基-1,4-环己二烯 1,2-dimethyl-3-ethenyl-1,4-cyclohexadiene	18.60	C ₁₀ H ₁₆	0.12	-	0.05	-
6-甲基-6-(5-甲基-2-呋喃基)-2-庚酮 6-methyl-6-(5-methylfuran-2-yl)heptan-2-one	31.60	C ₁₃ H ₂₀ O	0.03	-	-	-
十二烷 dodecane	10.30	C ₁₂ H ₂₆	-	-	-	0.23
十五烷 pentadecane	20.40	C ₁₅ H ₃₂	-	0.34	0.48	-
十六烷 hexadecane	22.90	C ₁₆ H ₃₄	0.08	0.06	-	-
二十一烷 heneicosane	25.40	C ₂₁ H ₄₄	-	-	0.02	-
丁基羟基甲苯 butylated hydroxytoluene	30.10	C ₁₅ H ₂₄ O	0.10	0.05	-	0.06

说明：“-”表示该成分未检测出。同行不同小写字母表示差异显著 $P<0.05$ ，相同字母表示差异不显著 $P>0.05$ 。

95.57%，98.60%及81.00% (图3和表2)。‘玉玲珑’中芳香物质总相对含量呈现先增大再降低的趋势，这与‘玉玲珑’在感官上的香气浓度变化基本一致。在‘玉玲珑’开花过程中共检测到的5类芳香物质中，除醛类化合物外，其余化合物类型相对含量均较高。其中，醇类和酮类化合物在盛开期分别为35.77%和31.15%，是‘玉玲珑’中最主要的芳香化合物；醇类和烯类化合物随花的开放表现出先增大后降低的趋势，均在盛开期达到最大；酮类化合物在蕾期相对含量最高，而后逐渐降低。顺式罗勒烯、芳樟醇、二氢-β-紫罗兰酮、α-紫罗兰酮和β-紫罗兰酮在‘玉玲珑’的不同开花时期相对含量均较高。在开花过程中，芳樟醇、β-紫罗兰酮和顺式罗勒烯相对含量显著增大，并在半开期或盛开期达到最大值；而α-紫罗兰酮和二氢-β-紫罗兰酮的相对含量呈现高—低—高的变化趋势(表2)。芳樟醇、β-紫罗兰酮和顺式罗勒烯共占‘玉玲珑’盛开期全部芳香物质相对含量的2/3，是‘玉玲珑’最主要的芳香物质。

2.1.3 ‘杭州黄’开花过程中的主要香气物质及其相对含量 ‘杭州黄’4个时期中共检测出36种挥发性物质，其中包括芳香物质31种，非芳香物质5种，所有芳香物质可分为醇类、酮类、酯类和烯类

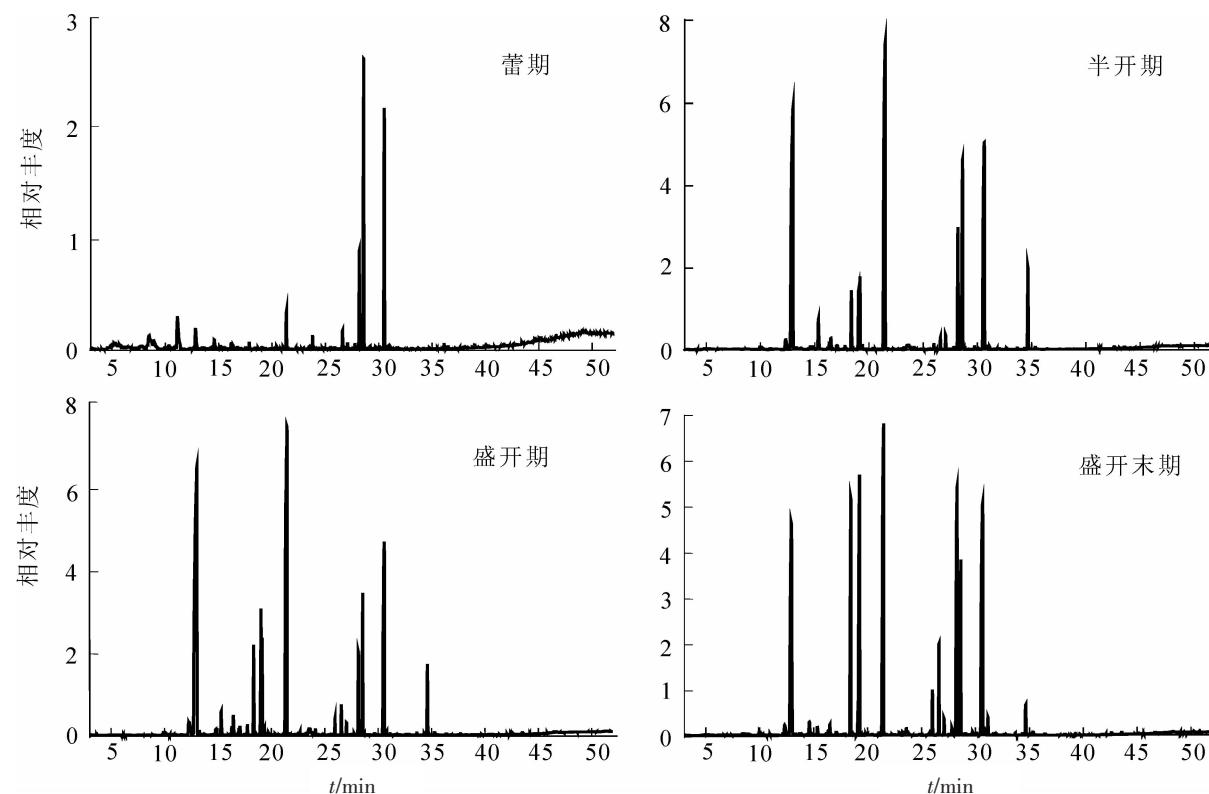


图3 ‘玉玲珑’ GC-MS 总离子流色谱图

Figure 3 Total ionic chromatogram of *Osmanthus fragrans* ‘Yu Linglong’

四大类。蕾期至盛开末期分别检测出 19, 21, 27 和 27 种芳香化合物, 总相对含量依次为 94.02%,

表2 ‘玉玲珑’ 开花过程中主要香气物质及其相对含量

Table 2 Flower scent compositions and relative contents in flower opening process of *O. fragrans* ‘Yu Linglong’

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
醇类 alcohols						
桉树脑 eucalyptol	11.12	C ₁₀ H ₁₈ O	8.98	—	—	—
叶醇 cis-3-hexenol	16.72	C ₆ H ₁₂ O	0.20	0.05	0.04	—
顺式-氧化芳樟醇 cis-linalool oxide	18.36	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.23 c	1.59 b	2.19 b	7.97 a
反式-氧化芳樟醇 trans-linalool oxide	19.16	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	2.04 a	3.55 a	—
芳樟醇 linalool	21.46	C ₁₀ H ₁₈ O	2.79 c	30.33 a	28.87 ab	25.74 ab
正辛醇 1-octanol	21.65	C ₈ H ₁₈ O	—	—	0.09	0.04
双花醇 shuanghuaol	26.59	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	0.38	0.81	1.79
β-柠檬醇 (Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol	27.48	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.02	0.03	0.04
α-紫罗兰醇 α-ionol	29.73	C ₁₃ H ₂₂ O	0.17	0.08	0.05	0.09
β-紫罗兰醇 β-ionol	31.15	C ₁₃ H ₂₂ O	—	0.04	0.04	0.31
植物醇 phytol	33.66	C ₂₀ H ₄₀ O	—	0.06	0.06	0.06
2,6-二甲基-1,7-辛二烯-3,6-二醇 2,6-dimethyl-1,7-octadiene-3,6-diol	34.36	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	0.04	0.04	0.07
酮类 ketones						
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	15.32	C ₁₀ H ₁₄ O	—	1.68	0.94	0.29
4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-2-丁酮 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-2-butanone	27.06	C ₁₃ H ₂₂ O	0.42	0.43	0.34	0.36
二氢-α-紫罗兰酮 2H-α-ionone	27.79	C ₁₃ H ₂₂ O	—	0.07	0.06	0.19
二氢-β-紫罗兰酮 2H-β-ionone	28.17	C ₁₃ H ₂₂ O	8.82 ab	3.13 b	2.50 b	11.07 a

表2 (续)

Table 2 Continued

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
α-紫罗兰酮 α -ionone	28.57	$C_{13}H_{20}O$	27.83 a	8.52 b	4.79 c	4.99 c
β -紫罗兰酮 β -ionone	30.56	$C_{13}H_{20}O$	13.80 c	16.15 b	23.42 a	14.44 bc
6-戊基-2H-吡喃-2-酮 6-pentyl-2H-pyran-2-one	35.33	$C_{10}H_{14}O_2$	-	-	0.10	0.10
烯类 terpenes						
1R- α -蒎烯 1R- α -pinene	3.34	$C_{10}H_{16}$	2.20	-	-	-
β -水芹烯 β -phellandrene	8.30	$C_{10}H_{16}$	0.55	-	-	-
β -月桂烯 β -myrcene	8.63	$C_{10}H_{16}$	0.30	0.14	-	0.34
顺式-罗勒烯(E)-ocimene	13.00	$C_{10}H_{16}$	13.82 b	24.10 a	23.00 a	15.13 b
别罗勒烯 alloocimene	16.46	$C_{10}H_{16}$	-	0.49	0.86	0.43
三甲基-6-亚丁烯基-4-环乙烯 4,6(Z),8(E)-triene-megastigma	23.21	$C_{13}H_{20}$	-	0.04	0.04	0.06
酯类 ethers						
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	14.82	$C_8H_{14}O_2$	-	0.27	0.27	0.13
丁酸-4-己-1-烯酯 4-butanoic acid,hexen-1-yl ester	16.99	$C_{10}H_{18}O_2$	-	3.56	0.18	-
丁酸己酯 hexyl butyrate	17.78	$C_{10}H_{20}O_2$	-	0.17	0.31	0.04
己酸叶醇酯 cis-3-hexenyl hexanoate	19.03	$C_{12}H_{22}O_2$	0.17	0.11	0.18	-
(Z)-丁酸-3-己烯酯(Z)-butanoic acid, 3-hexenyl ester	19.06	$C_{10}H_{18}O_2$	-	-	4.12	0.21
4-己烯-1-基戊酸酯 4-Hexen-1-yl pentanoic acid ester	19.38	$C_{11}H_{20}O_2$	-	0.14	0.22	-
γ -癸内酯 γ -decalactone	34.63	$C_{10}H_{18}O_2$	-	2.90 a	2.50 a	0.82 b
醛类 aldehydes						
β -环柠檬醛 β -cyclocitral	23.03	$C_{10}H_{16}O$	-	0.04	-	-
非芳香物质 non aroma components						
对二甲苯 p-xylene	8.68	C_8H_{10}	1.87	-	-	0.04
邻二甲苯 o-xylene	8.89	C_8H_{10}	2.75	-	-	-
5,5-二甲基-3-异丙烯基-环戊烯 5,5-dimethyl-3-isopropenyl-cyclopentene	13.28	$C_{10}H_{16}$	-	-	0.13	-
2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene	14.42	$C_{14}H_{110}$	0.38	-	-	0.04
二十四烷 tetradecane	17.53	$C_{24}H_{50}$	0.21	-	-	-
(E,E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 E,E-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	18.52	$C_{10}H_{14}$	-	0.06	0.10	10.20
十五烷 pentadecane	20.39	$C_{15}H_{32}$	0.13	0.03	0.04	-
6,6-二甲基-3-十一碳烯-1,5,10-三酮 6,6-dimethyl-3-undecene-2,5,10-trione	42.57	$C_{13}H_{20}O_3$	0.15	0.12	0.09	0.06
三十二烷 dotriacontane	46.61	$C_{32}H_{66}$	0.30	-	-	-

说明：“-”表示该成分未检测出。同行不同小写字母表示差异显著 $P < 0.05$ ，相同字母表示差异不显著 $P > 0.05$ 。

96.59%，97.29%和95.79% (图4和表3)。‘杭州黄’中所有香气物质的总数和总相对含量呈现先增大再减小的趋势，这与‘杭州黄’感官上的香气变化规律相一致。在花开放过程中，除酯类化合物外，其余化合物类型的相对含量均较高。其中，醇类和酮类化合物在盛开期分别达到68.45%和25.22%，是‘杭州黄’最主要的2种芳香化合物；醇类和烯类物质随花的开放表现出逐渐增大的变化趋势，并分别在盛开期和半开期达到最高值，随后逐渐下降；酮类化合物在蕾期相对含量最高，之后逐渐下降。顺式-氧化芳樟醇、反式-氧化芳樟醇、芳樟醇、二氢 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮相对含量在不同开花时期均较高，是最主要的芳香物质。随着花的开放，顺式和反式氧化芳樟醇在半开期相对含量最高，随后逐渐降低；二氢 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮在蕾期相对含量最高，随着花开放逐渐降低；芳樟醇从蕾期至盛开末期相对含量先增大后减小，并在盛开期达到最大值，是‘杭州黄’最主

要的香气物质。

2.2 3个桂花品种特征香气物质分析

为了更好地评价‘堰虹桂’‘玉玲珑’和‘堰虹桂’的香气类型,引入了香气值的概念^[18]。3个桂花品种香气值大于1的芳香物质可综合为顺式和反式-氧化芳樟醇、芳樟醇、二氢- β -紫罗兰酮、 α -紫罗

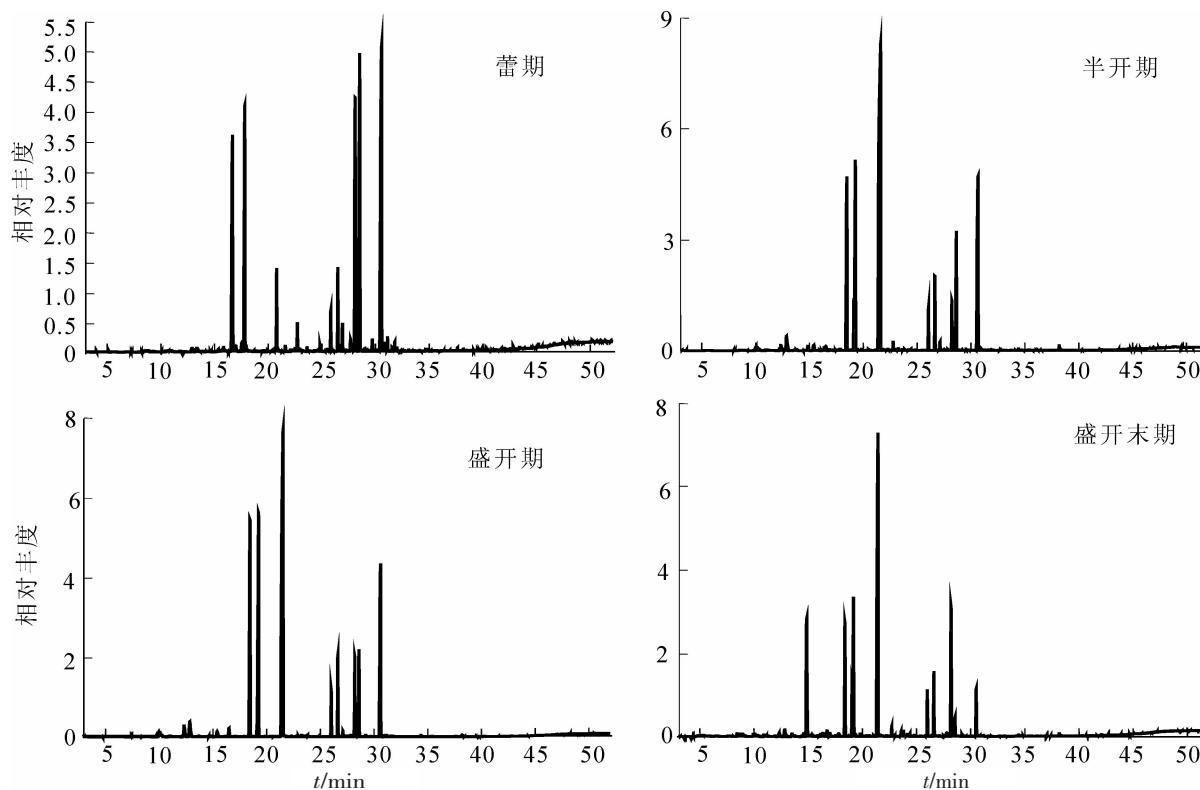


图4 ‘杭州黄’GC-MS总离子流色谱图

Figure 4 Total ionic chromatogram of *Osmanthus fragrans* ‘Hangzhou Huang’

表3 ‘杭州黄’4个花期主要香气成分及其相对含量

Table 3 Flower scent compositions and relative contents in flower opening process of *O. fragrans* ‘Hangzhou Huang’

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
醇类 alcohols						
叶醇 cis-3-hexenol	16.758	C ₆ H ₁₂ O	—	—	0.05	0.29
顺式-氧化芳樟醇 cis-linalool oxide	18.456	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	10.55 b	14.53 a	10.01 b	8.46 c
反式-氧化芳樟醇 trans-linalool oxide	19.253	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	11.52 b	16.20 a	11.51 b	10.90 c
异辛醇 2-ethyl-1-hexanol	19.826	C ₈ H ₁₈ O	—	0.03	—	—
芳樟醇 linalool	21.531	C ₁₀ H ₁₈ O	5.99 c	34.09 ab	43.82 a	39.14 ab
脱氢芳樟醇 hotrienol	22.930	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.05	0.06	0.13
双花醇 shuanghuaol	26.627	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	2.99 b	3.25 a	2.83 b	3.31 a
β -柠檬醇(Z)3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol	27.508	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.05	0.05	0.11
α -紫罗兰醇 α -ionol	29.753	C ₁₃ H ₂₀ O	0.45	0.03	0.02	—
β -紫罗兰醇 β -ionol	31.177	C ₁₃ H ₂₀ O	0.45	0.07	0.03	0.09
2,6-二甲基-1,7-辛二烯-2,6-二醇 2,6-dimethyl-1,7-octadiene-3,6-diol	34.397	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.04	0.07	0.07	0.09
酮类 ketones						
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	15.351	C ₈ H ₁₄ O	0.23	—	0.46	0.17
2,2,6-三甲基-6-乙烯基二氢-2H-吡喃-3-(4H)-酮(Z)- 2,2,6-triyl-6-ethenyldihydro-2H-pyran-3(4H)-one	19.093	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	—	—	1.41	1.89

表3 (续)

Table 3 Continued

化合物	t/min	分子式	相对含量/%			
			蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-2-丁酮 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-2-butanone	27.100	C ₁₃ H ₂₂ O	0.83	0.26	0.34	0.22
二氢- α -紫罗兰酮 2H- α -ionone	27.818	C ₁₃ H ₂₂ O	0.51	—	0.06	0.25
二氢- β -紫罗兰酮 2H- β -ionone	28.213	C ₁₃ H ₂₂ O	13.35 a	3.46 c	2.01 c	11.48 b
α -紫罗兰酮 α -ionone	28.602	C ₁₃ H ₂₂ O	18.45 a	3.90 b	5.69 b	2.14 b
β -紫罗兰酮 β -ionone	30.610	C ₁₃ H ₂₂ O	25.89 a	13.35 b	15.25 b	7.02 c
4-(2,4,4-三甲基-环己-1,5-二烯基)丁-3-烯-2-酮 4-(2,4,4-trimethylcyc-1,5-dienyl)-but-3-en-2-one	31.850	C ₁₃ H ₂₂ O	0.32	0.04	—	0.09
烯类 terpenes						
β -月桂烯 β -myrcene	9.998	C ₁₀ H ₁₆	—	0.88	0.60	1.22
反式罗勒烯(E)-ocimene	12.322	C ₁₀ H ₁₆	0.29	1.07	0.48	0.76
顺式罗勒烯(Z)-ocimene	12.836	C ₁₀ H ₁₆	1.11	1.55	1.42	1.58
2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene	14.440	C ₁₄ H ₁₁₀	0.11	—	—	0.05
别罗勒烯 alloocimene	16.490	C ₁₀ H ₁₆	0.23	0.57	0.27	0.47
三甲基-6-亚丁烯基-4-环乙烯 4,6(Z),8(E)-triene-megastigma	23.250	C ₁₃ H ₂₀	0.71	0.06	0.06	—
α -金合欢烯 α -farnesene	26.423	C ₁₅ H ₂₄	0.08	—	—	—
酯类 ethers						
乙酸叶醇酯 cis-3-hexenyl acetate	14.838	C ₈ H ₁₄ O ₂	—	0.08	0.36	5.27
丁酸己酯 hexyl butyrate	17.827	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	—	—	0.08	0.14
异戊酸叶醇酯 cis-3-hexenyl isovalerate	19.837	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	—	—	0.06	0.12
(E,Z)-3-己烯基-2-丁烯酸酯(E,Z)-3-hexenyl ester-2-butenoic acid	22.743	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	—	—	0.27	0.32
γ -癸内酯 γ -decalactone	34.682	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	—	0.02	—
非芳香物质 non aroma components						
2-戊基呋喃 2-pentylfuran	12.165	C ₉ H ₁₄ O	—	0.07	—	0.05
二十四烷 tetradecane	17.572	C ₂₄ H ₅₀	0.14	—	—	0.06
2-(4-甲氧基苯基)乙醇 2-(4-methoxyphenyl)ethanol	38.190	C ₉ H ₁₂ O ₂	—	0.09	0.31	0.18
三十二烷 dotriacontane	45.048	C ₃₂ H ₆₆	0.21	—	—	—
五十四烷 tetradecane	48.225	C ₅₄ H ₁₁₀	0.17	—	—	—

说明：“—”表示该成分未检测出。同行不同小写字母表示差异显著 $P < 0.05$ ，相同字母表示差异不显著 $P > 0.05$ 。

兰酮、 β -紫罗兰酮和 γ -癸内酯。在‘堰虹桂’和‘杭州黄’中，香气值大于1的芳香物质包括顺式和反式-氧化芳樟醇、芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮；其中， α -和 β -紫罗兰酮的香气值均在蕾期最高，芳樟醇在半开期和盛开期香气值最高。在‘堰虹桂’中，顺式和反式-氧化芳樟醇的香气值仅在盛开期和盛开末期大于1，并均在盛开末期达到最大；在‘杭州黄’中，顺式和反式-氧化芳樟醇在各时期均大于1，并均在半开期达到最大值。在‘玉玲珑’中，香气值大于1的芳香物质主要为芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮，其中， β -紫罗兰酮在盛开期香气值最高，芳樟醇在半开期至盛开末期香气值均较高， α -紫罗兰酮在蕾期香气值最大(图5和表4)。

3 讨论

3.1 3个桂花品种的香气类型及其特征香气成分

‘堰虹桂’、‘玉玲珑’和‘杭州黄’均为极具代表性的桂花品种，本研究通过对其花开放过程中的香气成分分析发现，在3个品种中，主要的芳香化合物包括醇类和酮类化合物。其中，相对含量较高的芳香物质为顺式和反式-氧化芳樟醇、芳樟醇、二氢- β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮；此外， γ -癸内酯和顺式罗勒烯分别在‘堰虹桂’和‘玉玲珑’中相对含量较高，这与之前的相关报道结果基本

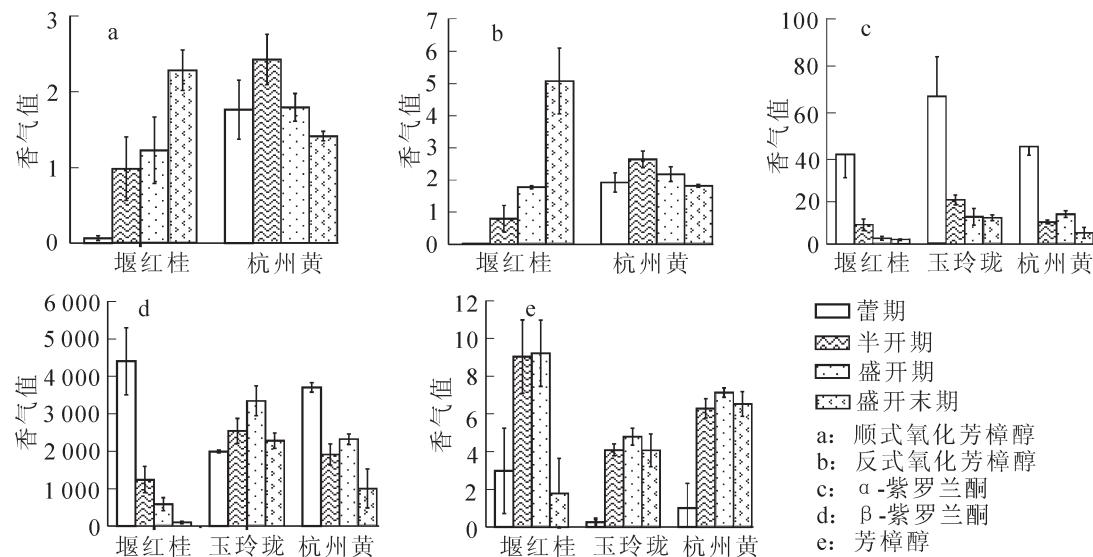


图 5 3个桂花品种不同时期特征香气成分的香气值

Figure 5 Odour activity values of main aromatic compounds in bloosom process of three cultivars of *Osmanthus fragrans*

表 4 3个桂花品种不同花期主要芳香物质香气值

Table 3 Odour activity values of main aromatic compounds in bloosom process of three cultivars of *O. fragrans*

化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	‘堰红桂’				‘玉玲珑’	
		蕾期	半开期	盛开期	盛开末期	蕾期	半开期
顺式罗勒烯	34.000	0.01 ± 0.01 c	0.04 ± 0.01 c	0.34 ± 0.06 b	0.44 ± 0.01 a	0.09 ± 0.03 d	0.75 ± 0.04 b
顺式氧化芳樟醇	6.000	0.06 ± 0.03 c	0.98 ± 0.42 b	1.22 ± 0.44 b	2.28 ± 0.27 a	0.02 ± 0.01 c	0.34 ± 0.06 b
反式氧化芳樟醇	6.000	0.03 ± 0.03 c	0.80 ± 0.41 bc	1.77 ± 0.05 b	5.07 ± 1.02 a	—	0.43 ± 0.08 b
芳樟醇	6.000	2.98 ± 1.26 b	9.04 ± 1.94 a	9.22 ± 1.76 a	1.78 ± 1.17 b	0.25 ± 0.19 b	4.09 ± 0.32 a
α-紫罗兰酮	0.400	42.39 ± 11.01 a	9.08 ± 2.79 b	2.79 ± 0.90 b	2.10 ± 0.41 b	75.83 ± 5.42 a	20.86 ± 2.34 b
β-紫罗兰酮	0.007	4 393.33 ± 893.03 a	1 237.14 ± 348.71 b	583.33 ± 173.65 bc	96.19 ± 33.70 c	1 987.62 ± 38.37 c	2 539.52 ± 331.05 b
γ-癸内酯	11.000	0.17 ± 0.03 b	1.00 ± 0.37 a	0.48 ± 0.17 b	0.21 ± 0.07 b	—	0.26 ± 0.05 a

化合物名称	阈值/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	‘玉玲珑’		‘杭州黄’			
		盛开期	盛开末期	蕾期	半开期	盛开期	盛开末期
顺式罗勒烯	34.000	0.93 ± 0.12 a	0.47 ± 0.05 c	0.02 ± 0.02 a	0.04 ± 0.00 a	0.05 ± 0.01 a	0.05 ± 0.02 a
顺式氧化芳樟醇	6.000	0.49 ± 0.14 b	1.54 ± 0.22 a	1.76 ± 0.39 b	2.42 ± 0.33 a	1.79 ± 1.18 b	1.41 ± 0.06 b
反式氧化芳樟醇	6.000	0.59 ± 0.19 b	—	1.92 ± 0.30 b	2.64 ± 0.25 a	2.18 ± 0.23 a	1.82 ± 0.05 a
芳樟醇	6.000	4.79 ± 0.44 a	4.07 ± 0.87 a	1.00 ± 0.31 b	6.29 ± 0.51 a	7.13 ± 0.24 a	6.52 ± 0.65 a
α-紫罗兰酮	0.400	12.91 ± 3.89 c	12.48 ± 1.35 c	46.13 ± 4.03 a	10.50 ± 0.90 b	14.17 ± 1.59 b	5.34 ± 2.57 c
β-紫罗兰酮	0.007	3 338.57 ± 397.08 a	2 277.14 ± 205.63 bc	3 698.10 ± 126.14 a	1 907.14 ± 285.71 b	2 318.57 ± 140.00 b	1 003.33 ± 230.14 c
γ-癸内酯	11.000	0.13 ± 0.12 ab	0.06 ± 0.03 bc	—	—	—	—

说明: “—”表示该成分未检测出。同行不同小写字母表示差异显著 $P < 0.05$, 相同字母表示差异不显著 $P > 0.05$ 。一致^[5-11]。

为了更好地分析这些芳香物质对桂花香气的影响, 本研究引入了特征香气的概念, 即某种化合物对香气的作用取决于阈值和它的实际浓度, 只有具有较高的香气值才是其特征香气^[18-19]。香气值大于等于1, 这种成分才能对香气产生直接作用, 若在1以下则说明嗅觉器官对这种成分的香气无感觉^[20]。因此, 在‘堰红桂’和‘杭州黄’中, 顺式和反式-氧化芳樟醇、芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮是其特征香气成分; 而在‘玉玲珑’中只包含芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮。

α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮是紫罗兰酮的2种异构体, 具有强烈的紫罗兰香; 其中, α -紫罗兰酮较 β -紫罗兰酮更加香甜, 具浓郁花香, β -紫罗兰酮则更具果、木香^[21]。这2种化合物广泛存在于众多植物的鲜花中, 特别是玫瑰 *Rosa rugosa* 花精油的主要成分^[22-24]; β -紫罗兰酮还是杏 *Armeniaca vulgaris*, 番茄 *Lycopersicon esculentum*, 桃 *Amygdalus persica* 等许多成熟水果中的主要芳香物质^[25-28]。 α -紫罗兰酮和 β -

紫罗兰酮作为桂花的主要香气物质，赋予桂花香甜的香气，可能在吸引传粉昆虫方面发挥作用^[29-30]，芳樟醇具有新鲜的铃兰、柠檬香气，甜而透发，是过江藤属 *Lippia* 植物 *Lippia adoensis*，薰衣草 *Lavandula Angustifolia* 等鲜花的重要芳香物质^[21,31-32]。顺式和反式氧化芳樟醇是氧化芳樟醇的2种呋喃型立体异构体，同样具有优美的花香、木香^[21]。这些物质作为‘堰虹桂’‘杭州黄’和‘玉玲珑’香气的直接来源，使其品种具有相似的底香，而特征香气物质香气值的差异也是导致3个桂花品种香气略有差异的主要原因之一。顺式罗勒烯阈值较大，因此在3个品种中香气值均小于1，二氢- β -紫罗兰酮的阈值没有相关报道，不能明确判定其是否为桂花的特征香气成分，但根据其相对含量，应该参与了部分品种香气的形成。

3.2 3个桂花品种香气类型及其香气物质释放节律

由于3个桂花品种最主要的芳香物质(芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮)在不同开放时期均具有较高的香气值，且显著大于其他物质，因此形成了相似的底香；然而由于主要芳香物质在花开放过程中释放节律的差异以及其他一些品种特异性物质(γ -癸内酯、顺式和反式氧化芳樟醇等)的参与，又使香气类型在不同品种间略有不同。根据感官判断，‘玉玲珑’可归为香甜馥郁型，‘杭州黄’为甜美雅致型，‘堰虹桂’为淡甜香型。芳樟醇、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮在所有品种不同时期的香气值均较大，是影响‘堰虹桂’‘杭州黄’和‘玉玲珑’开花过程中香气浓度变化的关键性物质。在所有品种中，芳樟醇均呈先增大再减小的变化趋势， α -紫罗兰酮香气值则均在蕾期最大，随后逐渐降低；在‘堰虹桂’和‘杭州黄’中， β -紫罗兰酮随花的开放呈降低趋势；在‘玉玲珑’中， β -紫罗兰酮的香气值随着花的开放而增大，并在盛开花期达到最大值后下降。顺式和反式氧化芳樟醇直接参与了‘堰虹桂’和‘杭州黄’部分时期的香气组成，而 γ -癸内酯是‘堰虹桂’特有的主要香气物质。在矮牵牛 *Petunia hybrid* 中， α -和 β -紫罗兰酮的释放被认为与类胡萝卜素裂解酶1(phCCD1)基因转录物的含量密切相关^[33]；芳樟醇是极为重要的单萜类化合物，它是在芳樟醇合酶(linalool synthase, LIS)的作用下由牻牛儿基焦磷酸(geranylgeranyl pyrophosphate, GPP)一步合成而来的^[34]。因此，类胡萝卜素裂解酶(carotenoid cleavage, CCD)和芳樟醇合成酶(linalool synthase, LIS)基因在3个桂花品种不同时期的表达的差异可能与 α -和 β -紫罗兰酮、芳樟醇含量变化密切相关。

4 参考文献

- [1] 杨康民. 中国桂花[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [2] 向其柏, 刘玉莲. 中国桂花品种图志[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2008.
- [3] SISIDO K S, KUROZUMI K, ISIDA T. Fragrans flower constituents of *Osmanthus fragrans* [J]. *Perf Essnt Oil Rec*, 1967, **58**: 212 – 215.
- [4] KAISER R, LAMPARSKY D. Inhaltsstoffe des osmanthus-absolues. 1. mitteilung: 2,5-epoxy-megastigma- 6,8-dien [J]. *Helvetica Chimica Acta*, 1978, **61**(1): 373 – 382.
- [5] 曹慧, 李祖光, 沈德隆. 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.
- [6] 金荷仙, 郑华, 金幼菊, 等. 杭州满陇桂雨公园4个桂花品种香气组分的研究[J]. 林业科学, 2006, **19**(5): 612 – 615.
JIN Hexian, ZHENG Hua, JIN Youju, et al. Research on major volatile components of 4 *Osmanthus fragrans* cultivars in Hangzhou Manlongguiyu Park [J]. *For Res*, 2006, **19**(5): 612 – 615.
- [7] 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: 自然科学版, 2008, **32**(4): 77 – 81.
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 and GC-MS [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2008, **32**(4): 77 – 81.
- [8] 林富平, 马楠, 周帅, 等. 4个桂花品种鲜花挥发物成分TDS-GC-MS分析[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2012, **33**(2): 48 – 51.

- LIN Fuping, MA Nan, ZHOU Shuai, et al. TDS-GC-MS analysis of volatile organic compounds from the fresh flowers of four *Osmanthus fragrans* varieties [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ Nat Sci Ed*, 2012, **33**(2): 48 – 51.
- [9] 胡春弟, 梁逸曾, 曾茂茂, 等. 不同品种桂花挥发油成分的分析研究[J]. 化学试剂, 2010, **32**(3): 231 – 234.
- HU Chundi, LIANG Yizeng, ZENG Maomao, et al. Analysis of essential oil composition from different species of *Osmanthus fragrans* [J]. *Chem Reagents*, 2010, **32**(3): 231 – 234.
- [10] 陈虹霞, 王成章, 孙燕. 不同品种桂花挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 生物质化学工程, 2012, **46**(4): 38 – 41.
- CHEN Hongxia, WANG Chengzhang, SUN Yan. Analysis of essential oil compounds from different species *Osmanthus fragrans* Lour. by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Biom Chem Eng*, 2012, **46**(4): 38 – 41.
- [11] 孙宝军, 李黎, 韩远记, 等. 上海桂林公园桂花芳香成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. 福建林学院学报, 2012, **32**(1): 39 – 42.
- SUN Baojun, LI Li, HAN Yuanji, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of different *Osmanthus fragrans* cultivars from guilin garden in Shanghai [J]. *J Fujian Coll For*, 2012, **32**(1): 39 – 42.
- [12] DÖTTERLA S, BURKHARDTC D, WEI?BECKERD B, et al. Linalool and lilac aldehyde/ alcohol in flower scents: electrophysiological detection of llilac aldehyde stereoisomers by a moth [J]. *J Chromatogr A*, 2006, **1113**(1/2): 231 – 238.
- [13] LI Zuguang, LEE M, SHEN Delong. Analysis of volatile compounds emitted from fresh *Syringa oblata* flowers in different florescence by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Anal Chim Acta*, 2006, **576**(1): 43 – 49.
- [14] PALÁ P J, BROPHY J J, GOLDSACK R J, et al. Analysis of the volatile components of *Lavandula canariensis* (L.) Mill., a canary islands endemic species, growing in Australia [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2004, **32**(1): 55 – 62.
- [15] DENG Chunhui, SONG Guoxin, HU Yaoming. Application of HS-SPME and GC-MS to characterization of volatile compounds emitted from *Osmanthus* flowers [J]. *Analyst*, 2004, **94**(12): 921 – 927.
- [16] LI Zuguang, CAO Hui, ZHU Guohua, et al. Study on chemical constituents of fragrance released from fresh flowers of three different *Osmanthus fragrans* Lour. during different florescences [J]. *Chem Ind For Prod*, 2008, **28**(3): 75 – 80.
- [17] WANG L, LI M, JIN W, et al. Variations in the components of *Osmanthus fragrans* Lour. essential oil at different stages of flowering [J]. *Food Chem*, 2009, **114**(1): 233 – 236.
- [18] LARSEN M, POLL L. Odour thresholds of some important aroma compounds in strawberries [J]. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung*, 1992, **195**(2): 120 – 123.
- [19] TEKIN A R, KARAMAN H. Odor thresholds of some derivatives of strawberry aldehyde [J]. *Chem Sens*, 1992, **17**(6): 795 – 799.
- [20] 杨荣华. 白柠檬果皮油特征香气成分的评价[J]. 食品与发酵工业, 2000, **26**(3): 31 – 34.
- YANG Ronghua. Haracteristic flavor compounds in peel oil of lime [J]. *Food Ferment Ind*, 2000, **26**(3): 31 – 34.
- [21] 黄致喜, 王慧辰. 茄类香料化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [22] BUCHBAUER G, JIROVETZ L, WASICKY M, et al. Headspace and essential oil analysis of apple flowers [J]. *J Agric Food Chem*, 1993, **41**(1): 116 – 118.
- [23] HELSPER J, DAVIES J A, VERSTAPPEN F W A. Analysis of rhythmic emission of volatile compounds of rose flowers/analysis of taste and aroma [J]. *Anal Taste Aroma*, 2002, **21**: 199 – 221.
- [24] MOOKHERJEE B D, TRENKLE R W, WILSON R A. The chemistry of flowers, fruits and spices: live vs. dead a new dimension in fragrance research [J]. *Pure Appl Chem*, 1990, **62**(7): 1357 – 1364.
- [25] BUTTERY R G, SEIFERT R M, GUADAGNI D G, et al. Characterization of additional volatile components of tomato [J]. *J Agric Food Chem*, 1971, **19**(3): 524 – 529.
- [26] GUILLOT S, PEYTAVI L, BUREAU S, et al. Aroma characterization of various apricot varieties using headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry [J]. *Food Chem*, 2006, **96**(1): 147 – 155.
- [27] TANDON K S, BALDWIN E A, SHEWFELT R L. Aroma perception of individual volatile compounds in fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by the medium of evaluation [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2000, **20**(3): 261 – 268.

- [28] 魏好程, 王贵禧, 梁丽松, 等. HS-SPME 在桃果实挥发性芳香物质分析中应用研究[J]. 食品科学, 2007, **28**(7): 347 – 351.
WEI Haocheng, WANG Guixi, LIANG Lisong, et al. Study on headspace solid-phase microextraction for rapid analysis of volatile flavor compounds in peach fruits [J]. *Food Sci*, 2007, **28**(7): 347 – 351.
- [29] HU Chundi, LIANG Yizeng, LI Xiaoru, et al. Essential oil composition of *Osmanthus fragrans* varieties by GC-MS and heuristic evolving latent projections [J]. *Chromatographia*, 2009, **70**(7/8): 1163 – 1169.
- [30] ÔMURA H, HONDA K, HAYASHI N. Floral scent of *Osmanthus fragrans* discourages foraging behavior of cabbage butterfly, *Pieris rapae* [J]. *J Chem Ecol*, 2000, **26**(3): 655 – 666.
- [31] ELAKOVICH S D, OGUNTIMEIN B O. The essential oil of *Lippia adoensis* leaves and flowers [J]. *J Nat Prod*, 1987, **50**(3): 503 – 506.
- [32] VENSKUTONIS P R, DAPKEVICIUS A, BARANAUSKIENE M. Composition of the essential oil of Lavander (*Lavandula angustifolia* Mill.) from Lithuania [J]. *J Essent Oil Res*, 1997, **9**(1): 107 – 110.
- [33] SIMKIN A J, SCHWARTZ S H, AULDridge M, et al. The tomato carotenoid cleavage dioxygenase 1 genes contribute to the formation of the flavor volatiles beta-ionone, pseudoionone, and geranylacetone [J]. *Plant J*, 2004, **40**(6): 882 – 892.
- [34] PICHERSKY E, RAGUSO R A, LEWINSOHN E. Floral scent production in *Clarkia* (Onagraceae) [J]. *Plant Physiol*, 1994, **106**(4): 1533 – 1540.