

尾叶紫薇与紫薇杂交后代花香气成分分析

徐 婉, 石 俊, 蔡 明, 潘会堂, 张启翔*

(花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心, 北京林业大学 园林学院, 北京 100083)

摘 要: 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱(GC/MS)联用仪测定技术, 对尾叶紫薇(W_1)与紫薇品种‘多花粉’(C)杂交各世代(F_1 、 F_2 、 BC_1)个体的香气成分进行了分析比较。结果表明: (1)尾叶紫薇与 F_1 代个体的挥发物成分均有 25 种, ‘多花粉’的挥发物成分有 10 种, F_2 代及 BC_1 代个体的挥发物成分均有 26 种。(2)月桂烯是尾叶紫薇与杂交子代共有的挥发物成分, 但相对百分含量在亲本及各世代中均不高, 分别为 0.69% (W_1)、3.16% (F_1)、0.51% (F_2)、0.75% (BC_1)。(3)亲本及子代的香气成分和相对百分含量存在很大差异, 尾叶紫薇、‘多花粉’与杂交子代(F_1 、 F_2 、 BC_1)具有较高相对百分含量的挥发物成分分别为异香叶醇(26.21%)、1,1-二甲基-3-亚甲基-乙基环己烷(50.34%)、 α -法尼烯(11.37%)、1,3,3-三甲基-2-乙基-环己烯(14.67%)及反- α -香柠檬烯(16.19%)。(4)尾叶紫薇、‘多花粉’与 F_1 的主要挥发物成分为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物, F_2 及 BC_1 子代的主要挥发物成分为来源于甲羟戊酸(MVA)途径和 2-C-甲基-D-赤藓糖醇-4-磷酸(MEP)途径的萜烯类化合物。研究结果为进一步了解紫薇香气成分的遗传规律奠定了基础。

关键词: 尾叶紫薇; 紫薇; 种间杂种; 挥发物成分; 顶空-固相微萃取

中图分类号: Q946.8; Q321

文献标志码: A

Flower Fragrance Components of the Hybrids between *Lagerstroemia caudata* and *L. indica*

XU Wan, SHI Jun, CAI Ming, PAN Huitang, ZHANG Qixiang*

(Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding; National Engineering Research Center for Floriculture; College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To elucidate the formation and inheritance of flower fragrance of *Lagerstroemia* and the volatile components of flower scent, we chose *L. caudata* (W_1), *L. indica* ‘Duohuafen’ (C), and their hybrid of different generations, including F_1 hybrid between *L. caudata* $\times$ *L. indica* ‘Duohuafen’ (F_1), F_1 backcrossed with *L. caudata* (BC_1) and F_1 selfing (F_2) to investigate the flower aroma components by using headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). The results showed that: (1) 25, 10, 25, 26 and 26 volatile compounds were identified from the flowers of W_1 , C, F_1 , F_2 and BC_1 , respectively. (2) Myrcene was the only mutual ingredient among *L. caudata* and its hybrids, of which the relative contents were not high [0.69% (W_1), 3.16% (F_1), 0.51% (F_2) and 0.75% (BC_1), respectively]. (3) Main aroma ingredients and their relative contents were quite different among the parents (W_1 and C) and their hybrids (F_1 , F_2 and BC_1): iso-Geraniol (26.21%), 1,1-Dimethyl-3-methylene-2-vinylcyclohexane (50.34%), 1,3,6,10-Dodecatetraene, 3,7,11-trimethyl-, (3E,6E)- (11.37%), Cyclohexene, 2-ethenyl-

收稿日期: 2013-12-03; 修改稿收到日期: 2013-12-19

基金项目: ‘十二五’国家科技支撑计划项目(2012BAD01B07, 2013BAD01B07); 北京市共建项目专项

作者简介: 徐 婉(1989—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事园林植物遗传育种研究。E-mail: 18810546542@163.com

* 通信作者: 张启翔, 教授, 博士研究生导师, 主要从事园林植物资源与育种研究。E-mail: zqxjbtfu@126.com

1,3,3-trimethyl-(14.67%) and trans- α -Bergamotene (16.19%), respectively. (4) The main aroma components of *L. caudata*, *L. indica* ‘Duohuafen’ and F_1 were fatty acid derivatives from lipxygenase pathway, whereas terpenoids from the mevalonate (MVA) pathway and 2-C-methyl-D-erythritol-4-phosphate (MEP) pathway were the main aroma components of F_2 and BC_1 .

Key words: *Lagerstroemia caudata*; *L. indica*; interspecific cross; fragrant compounds; HS-SPME

紫薇 (*Lagerstroemia indica*) 为原产中国的传统名花之一, 有 1 500 多年的栽培历史^[1]。夏季开花、开花持续期较长, 约 3 个月, 有时甚至能达 5 个月, 是中国尤其是北方夏季绿化美化环境的主要树种之一^[2]。又因其具有较强的抗污染能力、应用形式多样且范围广泛, 是一种非常好的植物育种材料^[3]。目前, 全世界大约有紫薇品种 260 个^[4], 大多花色艳丽、开花繁密, 被广泛应用于园林绿化中^[5]。大规模的紫薇育种工作约开始于 20 世纪 60 年代, 至今已培育出一系列极具观赏价值如红色、矮生的紫薇品种或具有抗病、抗虫特点的紫薇品种^[6-10]等, 但未见有关香花、早花紫薇品种的报道。

观赏植物花朵释放的香气是构成观赏植物品种的重要因素^[11], 目前研究植物的花香成分和培育具有芳香气味的观赏植物已成为当今国际上重要的育种趋势^[12]。根据中国植物志记载, 紫薇属仅有少数几个种或品种具有明显的芳香气味, 比如尾叶紫薇 (*L. caudata*)、狭瓣紫薇 (*L. stenopetata*) 及紫薇品种‘香雪云’。但这些资源尚未引起足够的重视, 对其研究利用较少。尾叶紫薇是紫薇属一种具有芳香气味的落叶大乔木, 花期较早, 约 4~5 月^[5]。利用尾叶紫薇与紫薇品种进行远缘杂交, 有可能培育出具有较好香味表现的紫薇新品种。

前期本课题组以芳香的尾叶紫薇为母本、无香的紫薇品种‘多花粉’ (*L. indica* ‘Duohuafen’) 为父本进行远缘杂交, 获得了一定数量的杂种 F_1 代^[13-14], 但后代花香性状的总体表现并不是十分的理想。本实验选择一个 F_1 株系 (X_{19}) 分别用自交及回交 (与尾叶紫薇) 的方式对其进行香味性状的改良, 分别获得了一定数量的杂种 F_2 代及 BC_1 代。通过表型观测发现, 香味性状表现有了一定程度的改善。从各世代群体中各选出 1 株花香表现较好的子代个体 (分别用 $X_{19}X_{19}$ 及 $X_{19}W_1$ 来表示), 与亲本尾叶紫薇、紫薇‘多花粉’、 F_1 株系 X_{19} 一起, 利用顶空固相微萃取技术, 通过比较分析尾叶紫薇及其与紫薇品种‘多花粉’杂交各世代个体之间主要挥发性有机成分的异同, 为进一步了解紫薇香气成分的遗传规律及定向选择育种奠定基础。

1 材料和方法

1.1 实验材料

试供材料包括尾叶紫薇 (W_1) 1 株、‘多花粉’ (C) 和具有芳香气味的 F_1 代 (X_{19})、 F_2 代 ($X_{19}X_{19}$) 及 BC_1 代 ($X_{19}W_1$) 株系各 1 个, 实验材料均保存在棕榈园林股份有限公司德清引种园, 花香成分测定在浙江工业大学化学与工程学院分析测试实验室完成, 时间为 2013 年 8 月 1 日~28 日开花期。

1.2 实验方法

1.2.1 SPME 取样 先将固相微萃取的萃取纤维头在气相色谱的进样口进行老化, 老化温度 250 °C, 载气流量 0.9 mL/min, 不分流, 老化时间 30 min。于晴天上午开花期 7:00~8:00 采集活体紫薇植株, 并将 3 朵鲜花放入 22 mL 顶空瓶 (美国 Supelco 公司) 中固定于铁架台上, 密封平衡 10 min。将型号为 DVB-CAR-PDMS 65 μ m 的萃取纤维头 (美国 Supelco 公司) 通过聚四氟乙烯隔热插入采样瓶中, 置于花朵上方 1 cm 左右^[15], 然后使用 HS-SPME 对待测植株的鲜花在室温 (25 $\pm$ 5) °C 吸附 90 min, 立即进行 GC-MS (GC-2000/Mars-6100 GC/MS 联用仪; 聚光科技 (杭州) 股份有限公司制造) 分析。每株重复采样 3 次。

1.2.2 色谱条件 毛细管色谱柱: RXI-5 石英毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m); 进样口温度 250 °C; 载气为 He, 纯度 $\geq$ 99.999%, 流速为 0.8 mL/min; 柱温为 40 °C; 保持 3 min, 5 °C/min 升温至 90 °C 保持 1 min, 再 3 °C/min 升温至 250 °C 并保持 5 min; 不分流进样, 隔垫吹扫 1.0 mL/min。

1.2.3 质谱条件 电子电离 (EI) 离子源; 电子能量 70 eV; 离子阱温度 180 °C; 歧管温度 50 °C; 传输线温度 250 °C; 质量扫描范围 45~550 m/z, 扫描速度 3 次/s。

1.2.4 定性及定量分析 首先以 EI 为电离源进行 GC-MS 联用分析, 采集得到的质谱图利用 NIST05 库检索同时采用保留指数 (RI) 定性的方法辅助质谱检索, 并参考有关文献定性^[16-22], 用于测定保留指数的正构烷烃系列标准品为 C6~C18。依据总离子

流色谱峰的峰面积归一法进行定量分析,计算各紫薇鲜花活体香气成分的相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 亲本挥发性有机成分分析

由表 1 可知,芳香的尾叶紫薇与普通紫薇品种‘多花粉’的主要香气成分及相对百分含量不同。在尾叶紫薇开花期共检测出 25 种化合物成分。来源于甲羟戊酸(MVA)途径和 2-C-甲基-D-赤藓糖醇-4-磷酸(MEP)途径^[23]的萜烯类化合物 8 种,包括月桂烯、右旋萜二烯、甲基庚基甲酮、 α -古巴烯、1-石竹烯、香树烯、金合欢烯、杜松烯;来源于莽草酸途径^[24]的苯丙素类/苯类化合物 3 种,包括甲基苯甲醚、苯乙醇、对甲氧基苯甲醚;其余为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物^[25],共 14 种。其中,异香叶醇含量最高为 26.21%、柠檬醛及 α -环柠檬醛次之,分别为 14.31%、11.67%。其他几种相对较高的成分主要有甲基庚基甲酮(7.31%)、香叶酸甲酯(5.51%)、对甲氧基苯甲醚(4.18%)等。

在‘多花粉’开花期仅检测出 10 种挥发性有机成分。其中,来源于甲羟戊酸(MVA)途径和 2-C-甲基-D-赤藓糖醇-4-磷酸(MEP)途径的萜烯类化合物 6 种,包括反式- β -罗勒烯、2,6-二甲基-2,6-十二二烯、1-石竹烯、 α -律草烯、 α -法尼烯、框素;来源于莽草酸途径的苯丙素类/苯类化合物 2 种,包括苯、草蒿脑;来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物 2 种,包括 1,1-二甲基-3-亚甲基-乙基环己烷、库贝醇。其中,1,1-二甲基-3-亚甲基-乙基环己烷含量最高为 50.34%、苯及 1-石竹烯次之,分别为 15.52% 及 10.32%。其他几种相对较高的成分主要有草蒿脑(8.51%)和 α -法尼烯(6.15%)等。

可以看出,虽然亲本尾叶紫薇与‘多花粉’的主要香气成分及相对百分含量不同,但香气成分类别相似,主要为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物,分别占 75.91% 和 52.00%。两者的共有香气成分仅 1 种,即 1-石竹烯,但在尾叶紫薇中的相对百分含量仅为 2.86%。

2.2 杂交子代挥发性有机成分分析

由表 1 可知,在 X_{19} 开花期共检测出 25 种化合物。来源于甲羟戊酸途径和 2-C-甲基-D-赤藓糖醇-4-磷酸途径的萜烯类化合物 11 种,包括环己酮、3-侧柏烯、月桂烯、右旋萜二烯、罗勒烯、甲基庚基甲酮、4-甲基-1,5-庚二烯、[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯、5,9-

Undecadien-2-one, 6, 10-dimethyl-, (5Z)-、 α -法尼烯、角鲨烯;来源于莽草酸途径的苯丙素类/苯类化合物 4 种,包括乙基苯、间二甲苯、2-甲基-3-苯基-丁-2-醇、苯甲醛;其余为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物,共 10 种。其中, α -法尼烯的含量最高为 11.37%;2-壬醇、己醛及乙酸-2-甲基丁酯次之,分别为 9.05%、8.87%、7.24%;其他几种相对较高的成分主要有十二烷(6.21%)、十三烷(6.12%)及角鲨烯(5.13%)。

在 $X_{19}X_{19}$ 开花期共检测出 26 种有机挥发性成分:来源于 MVA 和 MEP 途径的萜烯类化合物 14 种,包括 1-甲氧基-(Z)-3-己烯、2,6-二甲基-2-庚烯、(2E,4E)-2,4-Heptadiene-6-ynal、甲基庚烯酮、1-(6,6-dimethylbicyclo[3.1.0]hex-2-en-2-yl)-Ethanone、萜品烯、月桂烯、罗勒烯、1,3,3-三甲基-2-乙基-环己烯、反- α -香柠檬烯、 α -古巴烯、1-石竹烯、香树烯、杜松烯;除 1 种未知物(6.00%)外,其余均为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物,共 11 种。其中,1,3,3-三甲基-2-乙基-环己烯含量最高,为 14.67%;甲基庚烯酮、柏木烯醇及反- α -香柠檬烯次之,分别为 12.03%、10.13%、9.78%;其他几种相对较高的成分有 4-Penten-1-ol,3-methyl-,1-acetate(5.97%)、(2E,4E)-2,4-Heptadiene-6-ynal(5.10%)及萜品烯(4.00%)。

在 $X_{19}W_1$ 开花期共检测出 26 种有机挥发性成分:来源于 MVA 途径和 MEP 途径的萜烯类化合物 13 种,包括 1-甲氧基-(Z)-3-己烯、甲基庚烯酮、(2E,4E)-2,4-Heptadiene-6-ynal、萜品烯、1-(6,6-dimethylbicyclo[3.1.0]hex-2-en-2-yl)-Ethanone、月桂烯、右旋萜二烯、萜品油烯、1,3,3-三甲基-2-乙基-环己烯、反- α -香柠檬烯、榄香烯、1-石竹烯、雪松烯;来源于莽草酸途径的苯丙素类/苯类化合物 2 种,包括对烯丙基苯甲醚、丁羟甲苯;其余为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物,共 10 种。其中,反- α -香柠檬烯的含量最高为 16.19%,1-石竹烯、1-甲氧基-(Z)-3-己烯及丁羟甲苯次之,分别为 13.36%、10.33%、9.87%;其他几种相对较高的成分为 1-(6,6-dimethylbicyclo[3.1.0]hex-2-en-2-yl)-Ethanone(5.85%)、反-3-己烯醇(5.47%)及 S-(Z)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇(4.96%)。

可以看出,检测出的挥发性有机成分, X_{19} 相较于 $X_{19}X_{19}$ 和 $X_{19}W_1$ 而言,存在较大差异性:(1)主要挥发物成分及相对百分含量不同;(2)香气成分类别

表 1 亲本与杂交后代的香气成分的相对百分含量

Table 1 Fragrant components of parents and hybrids from crosses between *L. caudata* and *L. indica* ‘Duohuafen’/%

保留时间 Retention time/min	化合物 Volatile components	亲本 Parent		杂交子代 Hybrid of different generations		
		尾叶紫薇 <i>L. caudata</i>	多花粉 <i>L. indica</i> Duohuafen	F ₁ (X ₁₉)	F ₂ (X ₁₉ X ₁₉)	BC ₁ (X ₁₉ W ₁)
3.09	苯 Benzene	—	15.52	—	—	—
3.99	乙酸异丁酯 Isobutyl Acetate	—	—	3.63	—	—
4.55	己醛 Hexanal	—	—	8.87	—	—
6.10	乙基苯 Ethylbenzene	—	—	1.67	—	—
6.36	间二甲苯 1,3-Xylene	—	—	4.57	—	—
6.71	乙酸-2-甲基丁酯 Aceticacidmethylbutylester	—	—	7.24	—	—
7.04	2-甲基-3-苯基-丁-2-醇 2-methyl-3-phenyl-butan-2-ol	—	—	3.24	—	—
7.09	1-甲氧基-(Z)-3-己烯 3-Hexene,1-methoxy-, (3Z)-	—	—	—	1.37	10.33
7.13	反-3-己烯醇(E)-3-Hexen-1-ol	—	—	—	2.98	5.47
7.15	青叶醛 Trans-2-Hexenal	—	—	—	3.56	1.61
7.16	环己酮 Cyclohexanone	—	—	1.16	—	—
7.46	2-庚醇 2-Heptanol	—	—	1.32	—	—
7.57	3,3-二甲基庚烷 3,3-Dimethylheptane	—	—	—	3.11	0.96
7.67	2,6-二甲基-2-庚烯 2,6-dimethyl-2-Heptene	—	—	—	1.34	—
8.37	3-侧柏烯 3-Thujene	—	—	0.81	—	—
8.55	正己醇 Hexyl alcohol	—	—	—	—	1.56
9.44	苯甲醛 Benzaldehyde	—	—	1.56	—	—
10.53	(2E,4E)-2,4-Heptadiene-6-ynal	—	—	—	5.10	1.02
11.75	甲基庚烯酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	—	—	—	12.03	4.19
11.80	右旋萜二烯 (+)-Limonene	0.68	—	4.82	—	0.78
11.87	2-庚醇 2-Heptanol	1.47	—	—	—	—
12.04	4-Penten-1-ol,3-methyl-,1-acetate	—	—	—	5.97	—
12.51	罗勒烯 1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-	—	—	1.10	0.55	—
13.39	萜品烯 g-Terpinene	—	—	—	4.00	1.91
14.16	甲基庚基甲酮 2-Nonanone	7.31	—	1.92	—	—
14.49	十一烷 Undecane	—	—	4.31	—	—
14.60	2-壬醇 2-Nonanol	—	—	9.05	—	—
14.94	4-甲基-1,5-庚二烯 1,5-Heptadiene,4-methyl-	—	—	1.86	—	—
16.10	1-(6,6-dimethylbicyclo[3.1.0]hex-2-en-2-yl)-Ethanone	—	—	—	1.87	5.85
16.84	月桂烯 Myrcene	0.69	—	3.16	0.51	0.75
18.09	十二烷 Dodecane	—	—	6.21	—	—
18.31	癸醛 Decanal	—	—	2.69	—	—
19.02	2-乙基己酸甲酯 Hexanoic acid,2-ethyl-,methyl ester	1.08	—	—	—	—
19.32	反式-β-罗勒烯 Trans-β-Ocimene	—	3.96	—	—	—
19.32	甲基苯甲醛 Benzaldehyde,methyl-	1.51	—	—	—	—
19.81	罗勒烯 1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-	—	—	—	0.55	—
20.82	桃金娘烷醇(±)-Lavandulol	1.64	—	—	0.76	0.70
21.25	萜品油烯 Terpinolene	—	—	—	—	0.76
21.53	十三烷 Tridecane	—	—	6.12	—	—
22.44	1,3,3-三甲基-2-乙烯基-环己烯 Cyclohexene,2-ethenyl-1,3,3-trimethyl-	—	—	—	14.67	4.54
22.79	1,1-二甲基-3-亚甲基-乙烯基环己烷 1,1-Dimethyl-3-methylene-2-vinylcyclohexane	—	50.34	—	—	—

续表 2 Continued Table 2

保留时间 Retention time/min	化合物 Volatile components	亲本 Parent		杂交子代 Hybrid of different generations		
		尾叶紫薇 <i>L. caudata</i>	多花粉 <i>L. indica</i> Duohuafen	F ₁ (X ₁₉)	F ₂ (X ₁₉ X ₁₉)	BC ₁ (X ₁₉ W ₁)
23.34	苯乙醇 Phenethyl alcohol	0.71	—	—	—	—
25.25	[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯 Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene,4,11,11-trimethyl-8-methylene-,(1R,4Z,9S)-	—	—	4.88	—	—
26.08	桃金娘醛 Myrtanal	—	—	—	1.04	0.53
26.25	5,9-Undecadien-2-one,6,10-dimethyl-,(5Z)-	—	—	2.25	—	—
26.39	α -(2-methyl-2-propenyl)-Cyclohexanemethanol	—	—	—	1.58	3.95
26.43	1-[2-Methyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)cyclopropyl] ethanol	—	—	—	0.69	1.76
26.95	萜品醇 Terpineol	1.01	—	—	—	—
27.81	对烯丙基苯甲醚 4-Allylanisole	—	—	—	—	0.56
27.99	反式香茅醇 Trans-Carveol	—	—	—	—	1.38
28.05	Fragranol	1.27	—	—	—	—
28.37	异香叶醇 Iso-Geraniol	26.21	—	—	—	—
28.98	α -环柠檬醛 α -Cyclociral	11.67	—	—	—	—
29.68	香叶醇 Geraniol	3.86	—	—	—	—
29.81	3,7-二甲基-6-辛烯酸甲酯 6-Octenoic acid,3,7-dimethyl-,methyl ester	1.94	—	—	—	—
29.93	对甲氧基苯甲醛 Anisic aldehyde	4.18	—	—	—	—
30.38	柠檬醛 Citral	14.31	—	—	—	—
31.22	草蒿脑 Estragole	—	8.51	—	—	—
32.02	反- α -香柠檬烯 Trans- α Bergamotene	—	—	—	9.78	16.19
32.29	香叶酸甲酯 2,6-Octadienoic acid,3,7-dimethyl-,methyl ester	—	—	—	0.53	—
32.59	2,6-二甲基-2,6-十二烯 2,6-Dodecadiene,2,6-dimethyl-	—	2.01	—	—	—
32.73	香叶酸甲酯 2,6-Octadienoic acid,3,7-dimethyl-,methyl ester,(2E)-	5.51	—	—	—	—
33.65	待定 Undetermination	—	—	—	6.00	5.92
33.86	2,5-二甲基正己烷-2,5-二甲羟基过氧化物 (1,1,4,4-tetramethyl-1,4-butanediyl)bis-Hydroperoxide	1.67	—	—	—	—
34.64	α -古巴烯 α -Copaene	1.01	—	—	2.16	—
35.67	角鲨烯 Squalene	—	—	5.13	—	—
35.89	2,6,10,15-四甲基十七烷 Heptadecane,2,6,10,15-tetramethyl-	—	—	1.06	—	—
36.45	榄香烯 Elemene	—	—	—	—	0.52
36.94	1-石竹烯 1-Caryophyllene	2.86	10.32	—	2.27	13.36
37.27	雪松烯 Himachalene	—	—	—	—	0.57
38.4	香树烯 Allo-Aromadendrene	2.67	—	—	2.09	—
38.45	α -律草烯 α -Humulene	—	0.67	—	—	—
38.49	S-(Z)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇 <i>Cis</i> -nerolidol	—	—	—	2.12	4.96
40.06	柏木烯醇 Cedrenol	—	—	—	10.13	—
40.42	金合欢烯 b-Farnesene	1.69	—	—	—	—
40.43	α -法尼烯 1,3,6,10-Dodecatetraene,3,7,11-trimethyl-,(3E,6E)-	—	6.15	11.37	—	—
40.56	杜松烯 (-)-g-Cadinene	0.78	—	—	3.79	—
40.66	丁羟甲苯 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	—	—	—	—	9.87
42.99	榧素 Denderalasin	—	1.28	—	—	—
43.67	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	2.76	—	—	—	—
44.66	柏木脑 Cedrol	1.51	—	—	—	—
44.79	库贝醇 Cubenol	—	1.24	—	—	—

注:表 1 仅列出相对百分含量大于 0.5% 的化合物。表中数值均为所有重复的平均值。
Note:The relative contents of the compounds listed in the table are over 0.5% and all data are mean value of three replications.

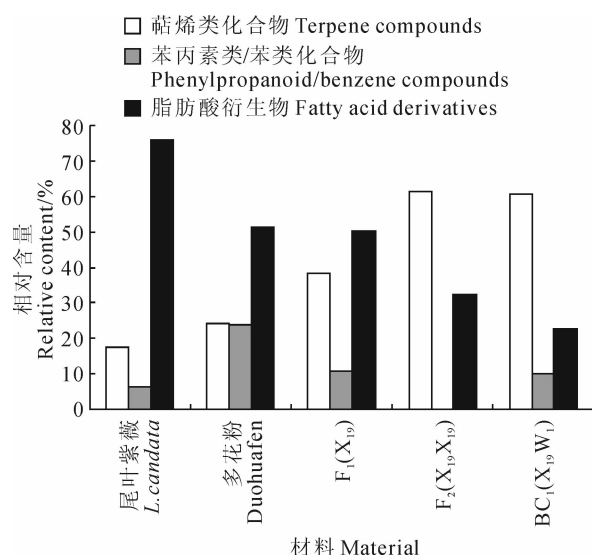


图1 尾叶紫薇与紫薇品种‘多花粉’杂交各世代花香化合物成分比较图

Fig. 1 Changes of fragrant components of hybrids of different generations between *L. caudata* and *L. indica* ‘Duohuafen’

不同, X_{19} 主要为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物(51.00%), 而 $X_{19}X_{19}$ 和 $X_{19}W_1$ 主要为来源于 MVA 途径和 MEP 途径的萜烯类化合物(分别占 65.00% 和 65.00%); (3) 共有香气成分数量及相对百分含量不同, X_{19} 与 $X_{19}X_{19}$ 的共有香气成分有 2 种即月桂烯(分别为 3.16%、0.51%)和罗勒烯(分别为 1.10%、0.55%), X_{19} 与 $X_{19}W_1$ 的共有香气成分也仅有 2 种[月桂烯(3.16% 和 0.75%)及右旋萜二烯(4.82% 和 0.78%)], 而 $X_{19}X_{19}$ 和 $X_{19}W_1$ 的共有挥发性有机成分则有 17 种(分别占总含量的 67.44% 和 78.08%), 具有极大的相似性。此外, 也可以看出, 月桂烯是三者唯一共有的香气成分, 但相对百分含量在各世代均不高。

2.3 亲本及杂交后代花香化合物成分含量比较

园林植物香气成分类别及其含量的高低在一定程度上决定着它的香气表现。由图 1 可知: (1) 萜烯类化合物含量由高到低分别为 $X_{19}X_{19}$ 、 $X_{19}W_1$ 、 X_{19} 、‘多花粉’、尾叶紫薇; (2) 脂肪酸衍生物含量由高到低依次为尾叶紫薇、‘多花粉’、 X_{19} 、 $X_{19}X_{19}$ 、 $X_{19}W_1$; (3) 苯丙素类/苯类化合物含量由高到低分别为‘多花粉’、 X_{19} 、 $X_{19}W_1$ 、尾叶紫薇、 $X_{19}X_{19}$ 。由此看出: (1) 脂肪酸衍生物是亲本尾叶紫薇中的主要挥发性有机成分; (2) X_{19} 的花香化合物虽主要仍为来源于脂氧合酶途径的脂肪酸衍生物, 但已不占绝对优势, 而来源于 MVA 途径和 MEP 途径的萜烯类化合物

的比重相较尾叶紫薇中而言则有明显提高; (3) X_{19} 、 $X_{19}X_{19}$ 及 $X_{19}W_1$ 的花香化合物主要为来源于 MVA 和 MEP 途径的萜烯类化合物。

大多数脂类具有令人愉快的花、果香气^[26]; 单萜及倍单萜大都带有浓郁的甜香、花香及木香^[27]。特征香气是由多种花香化合物共同作用的结果, 而某种挥发物对于这种香气的作用则取决于阈值和它的实际浓度, 即香气值=实际浓度/阈值。只有具有较高的香气值的化合物才是这种香气的特征香气成分^[28]。但可惜的是, 在尾叶紫薇与紫薇品种‘多花粉’杂交子代中具有较高含量的挥发性有机成分的阈值均未见相关报道, 尚需进一步的研究。

3 讨论

尾叶紫薇、紫薇‘多花粉’与杂交后代(X_{19} 、 $X_{19}X_{19}$ 、 $X_{19}W_1$) 的香气成分及相对百分含量不同。尾叶紫薇及 X_{19} 的挥发性有机成分有 25 种, ‘多花粉’的挥发性有机成分仅 10 种, $X_{19}X_{19}$ 及 $X_{19}W_1$ 的挥发性有机成分有 26 种。其中, 尾叶紫薇的主要挥发性有机成分为异香叶醇(26.21%)、柠檬醛(14.31%)及 α -环柠檬醛(11.67%), ‘多花粉’的主要挥发性有机成分为 1,1-二甲基-3-亚甲基-乙烯基环己烷(50.34%)、苯(15.52%)及 1-石竹烯(10.32%), X_{19} 的主要挥发性有机成分为 α -法尼烯(11.37%)、2-壬醇(9.05%)及己醛(8.87%), $X_{19}X_{19}$ 的主要挥发性有机成分为 1,3,3-三甲基-2-乙烯基-环己烯(14.67%)、甲基庚烯酮(12.03%)及柏木烯醇(10.13%), $X_{19}W_1$ 的主要挥发性有机成分为反- α -香柠檬烯 16.19%、1-石竹烯(13.36%)、1-甲氧基-(Z)-3-己烯(13.36%)及丁羟甲苯(10.33%)。其中, 柠檬醛^[29]、环柠檬醛^[30]、1-石竹烯^[31-32]、 α -法尼烯^[33-34]、己醛和丁羟甲苯^[35-36]等是许多植物、水果、茶及香水的主要挥发性有机成分。

尾叶紫薇与 X_{19} 共有的挥发性有机成分为月桂烯、右旋萜二烯及甲基庚基甲酮。其中, 月桂烯及右旋萜二烯的相对含量在 X_{19} 中有所提高, 而甲基庚基甲酮的相对含量则由原来的 7.31%(W_1) 降低到了 1.92%(X_{19})。尾叶紫薇与 $X_{19}X_{19}$ 共有的挥发性有机成分有 6 种, 包括月桂烯、 α -古巴烯、1-石竹烯、香树烯、杜松烯及桃金娘烷醇。其中, 月桂烯、1-石竹烯、香树烯及桃金娘烷醇的相对含量在后者中相较前者中略有降低, 而另两种挥发性有机成分 α -古巴烯及杜松烯的相对含量较之前者则有明显提高, 分别由原来的 1.01%、0.78% 提高到了 2.16% 及

3.79%。尾叶紫薇与 $X_{19}W_1$ 共有的挥发性有机成分则有 4 种,包括月桂烯、右旋萜二烯、1-石竹烯及桃金娘烷醇。除桃金娘烷醇的相对含量(1.64%)较之亲本降低了以外(0.70%),其余 3 种化合物的相对含量均较亲本有所增加。其中增长幅度最大的为 1-石竹烯,由 2.86% (W_1) 增长到了 13.36% ($X_{19}W_1$)。亲本‘多花粉’与 X_{19} 共有的挥发性有机成分仅 1 种,即 α -法尼烯。其相对含量在子代中有明显提高,分别为 6.15% (C) 及 11.37% (X_{19}); ‘多花粉’和 X_{19} 自交及 $X_{19}W_1$ 共有的挥发性有机成分相同,为 1-石竹烯。其相对含量在 X_{19} 自交中降低(2.27%),在 $X_{19}W_1$ 中则有所增长(13.36%)。

月桂烯是尾叶紫薇与子代(X_{19} 、 $X_{19}X_{19}$ 及 $X_{19}W_1$) 唯一共有的挥发性有机成分,且根据检测结果,亲本‘多花粉’与子代(X_{19} 、 $X_{19}X_{19}$ 及 $X_{19}W_1$) 无共有香气成分,因此紫薇中的香气遗传极有可能是双亲

之一具有的挥发物成分的遗传^[34]且偏母性遗传即母本尾叶紫薇的可能性更大。月桂烯是许多植物和水果^[29,32,38]的主要挥发性有机成分,但本实验中检测出的月桂烯相对含量在亲本尾叶紫薇及杂交子代中均不高,分别为 0.69% (W_1)、3.16% (X_{19})、0.51% ($X_{19}X_{19}$) 及 0.75% ($X_{19}W_1$)。共有成分月桂烯及不同世代子代个体的特有香气成分的存在不容忽视,但这些成分对于各子代个体的香气表现没有关键性的影响还不清楚,尚需进一步的研究。

这是首次从杂交种与亲本主要香气成分异同的角度进行观赏植物花香主成分的分析。这次尝试对于紫薇香气成分遗传规律的研究具有十分重大的意义。此外,通过对各亲本及子代香气成分的鉴定,有助于了解紫薇香气成分的代谢路径,为以分子手段培育具有浓郁芳香气味的紫薇新品种奠定理论基础。

参考文献:

- [1] 张启翔,田 苗. 2008 中国观赏园艺研究进展[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会 2008 年学术年会论文集. 北京:中国林业出版社, 2008:56—65.
- [2] ZHANG Q X(张启翔). Studies on cultivars of crape-myrtle (*Lagerstroemia indica*) and their uses in urban greening[J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报),1991,13(4):57—66(in Chinese).
- [3] POOLER M. “Crapemyrtle, *Lagerstroemia* spp.” Flower Breeding and Genetics Issues, Challenges and Opportunities for the 21st Century [J]. Kluwer, 2006, 2:428—449.
- [4] DIX R L. Cultivars and names of *Lagerstroemia*[M]. United States: United State National Arboretum, 2005.
- [5] CAI M(蔡 明), WANG X Y(王晓玉), ZHANG Q X(张启翔), et al. Compatibility of interspecific crosses between *Lagerstroemia indica* cultivars and *Lagerstroemia caudata* [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2010, 30(4):645—651(in Chinese).
- [6] EGOLF D R, ANDRICK A O. The *Lagerstroemia* handbook/checklist: A Guide to Crapemyrtle Cultivars[M]. United States: American Association of Botanical Gardens and Arboreta, 1978.
- [7] EGOLF D R. ‘Muskogee’ and ‘Natchez’ *Lagerstroemia* [J]. *Hort Science*, 1981, 16(4):576—577.
- [8] EGOLF D R. ‘Acoma’, ‘Hopi’, ‘Pecos’, and ‘Zuni’ *Lagerstroemia* [J]. *Hort Science*, 1986, 21:1 250—1 252.
- [9] EGOLF D R. ‘Apalachee’, ‘Comanche’, ‘Lipan’, ‘Osage’, ‘Sioux’ and ‘Yuma’ *Lagerstroemia* [J]. *Hort Science*, 1987, 22(4):674.
- [10] EGOLF D R. ‘Caddo’ and ‘Tonto’ *Lagerstroemia* [J]. *Hort Science*, 1990, 25(50):585—587.
- [11] CHANDLER S, TANAKA Y. Genetic modification in floriculture[J]. *Critical Review in Plant Sciences*, 2007, 26(4):169—197.
- [12] SUN M(孙 明), LIU H(刘 华), ZHANG Q X(张启翔), et al. Preliminary studies on major aroma ingredients of three ground-cover chrysanthemum cultivars[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*(沈阳农业大学学报), 2008, 39(1):92—95(in Chinese).
- [13] 蔡 明. 紫薇种质资源评价和香花种质利用[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [14] 王晓玉. 尾叶紫薇与紫薇种间杂交育种研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012.
- [15] ZHAO Y Q(赵仰泉), PAN H T(潘会堂), ZHANG Q X(张启翔), et al. Dynamics of fragrant compounds from *Prunus mume* flowers [J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报), 2010, 32(4):201—206(in Chinese).
- [16] AGELOPOULOS N G, PICKETT J A. Headspace analysis in chemical analysis in chemical ecology: Effects of different sampling methods on ratios of volatile compounds present in headspace samples[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, 24(7):1 161—1 172.
- [17] DAVIES N W. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and Carbowax 20M phases [J]. *Journal of Chromatography*, 1990, 53:1—24.
- [18] XIE J C, SUN B G, YU M. Constituents of top fragrance from fresh flowers of *Robinia pseudoacacia* L. occurring in China[J]. *Flavour Fragrance Journal*, 2006, 21(5):798—800.
- [19] JIN H X(金荷仙), CHEN J Y(陈俊愉), JIN Y J(金幼菊). Comparison of different cultivars of *Prunus mume*’s major gas ingredients

- [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2005, **32**(6): 1 139 (in Chinese).
- [20] ZHOU M Q(周明芹), XIANG L(向 林), CHEN L Q(陈龙清). Preliminary studies on the components of volatile floral flavor and flower pigments of *Chimonanthus praecox* L. [J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2007, **29**: 22—25 (in Chinese).
- [21] HUANG X(黄 雪), WANG CH(王 超), WANG X H(王晓茜), *et al.* Preliminary study of aromatic components in herbaceous peonies of 'Yangfei Chuyu' and 'Dafugui' [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2010, **37**(5): 817—822 (in Chinese).
- [22] ZHENG H(郑 华), JIN Y J(金幼菊), LI W B(李文彬), *et al.* The detection equipment of odor pollution of green plants [J]. *Practical Forestry Technology* (林业实用技术), 2002, (5): 30 (in Chinese).
- [23] MCGARVEY D J, CROTEAU R. Terpenoid metabolism [J]. *Plant Cell*, 1995, **7**: 1 015—1 026.
- [24] MULLERIER P M, LAMPARSKY D. Perfumes Art Science and Technology [M]. London: Elsevier Applied Science, 1991: 101—126.
- [25] SCHWAB W, DAVIDOVICH-RIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds [J]. *The Plant Journal*, 2008, **54**(4): 712—732.
- [26] GAI Y H(盖禹含), XIN X L(辛秀兰), YANG G W(杨国伟), *et al.* GC-MS analysis of aromatic composition of blueberry wine fermented with different species of yeast strains [J]. *Food Science* (食品科学), 2010, **31**(4): 171—174 (in Chinese).
- [27] WU Y(吴 勇). Terpenes compounds and tea aroma [J]. *Chemical Engineering & Equipment* (化学工程与装备), 2009, **11**: 123—125 (in Chinese).
- [28] LARSEN M, POLL L. Odour thresholds of some important aroma compounds in strawberries [J]. *Zeischrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1992, **195**(2): 120—123.
- [29] PAN J(潘 见), WANG H X(王海翔), XIE H M(谢慧明), *et al.* Effects of ultra high pressure treatment on main flavour compounds in orange juice [J]. *Transactions of the CSAE* (农业工程学报), 2009, **25**(5): 239—243 (in Chinese).
- [30] JIN D SH(金冬双), GONG SH Y(龚淑英), LIN Y H(林宇皓), *et al.* Analysis of the aroma components in the pile-fermentation of small leaf tea picked in Summer and Autumn [J]. *Journal of Tea Science* (茶叶科学), 2009, **29**(2): 111—119 (in Chinese).
- [31] FAN Y P(范燕萍), WANG X R(王旭日), YU R C(余让才), *et al.* Analysis on the aroma components in several species of *Hedychium* [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2007, **34**(1): 231—234 (in Chinese).
- [32] YU L(余 炼), TENG J W(滕建文), ZUO J(左 俊), *et al.* Analysis of aroma components in different mango varieties in beise region of Guangxi Province [J]. *Modern Food Science and Technology* (现代食品科技), 2008, **24**(3): 276—280 (in Chinese).
- [33] MIAO A Q(苗爱清), LÜ H P(吕海鹏), SUN SH L(孙世利), *et al.* Aroma components of oolong tea by HS-SPME-GC-MS and GC-O [J]. *Journal of Tea Science* (茶叶科学), 2010, **30**(1): 583—587 (in Chinese).
- [34] CHEN J L(陈计峦), ZHOU SH(周 珊), WANG Q(王 强), *et al.* Analysis of aroma components of Xinjiang Kuerle fragrant pear [J]. *Food Science and Technology* (食品科技), 2007, **6**: 95—98 (in Chinese).
- [35] TIAN CH P(田长平), WEI J L(魏景利), LIU X J(刘晓静), *et al.* GC-MS anslysis of fruit aromatic components of pear cultivars originated from different species of *Pyrus* [J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2009, **26**(3): 294—299 (in Chinese).
- [36] ZHANG Y(张 莹), WANG Y(王 雁), TIAN M(田 敏), *et al.* Analysis of aroma components in different orchids varieties [J]. *Journal of Analytical Science* (分析科学学报), 2012, **28**(4): 502—506 (in Chinese).
- [37] LI J M(李记明), HE P CH(贺普超). Inheritance of aroma components in *Vitis* interspecific crossings [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2002, **29**(1): 9—12 (in Chinese).
- [38] ZHANG J(张 继), ZHAO X L(赵小亮), MA J Y(马君义), *et al.* Chemical components in flower fragrance of *Lilium* × *barbaresco* [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2005, **25**(4): 786—790 (in Chinese).