



睡莲属62个栽培种花朵挥发性成分GC-MS分析

苏群, 田敏, 王虹妍, 王凌云, 刘俊, 赵培飞, 卜朝阳

引用本文:

苏群,田敏,王虹妍,王凌云,刘俊,赵培飞,卜朝阳. 睡莲属62个栽培种花朵挥发性成分GC-MS分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(4): 567-574.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4498>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

4种石斛属植物花朵挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers of Four Dendrobium Species

热带亚热带植物学报. 2015(4): 454-462 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.014>

嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers, Fruits and Leaves of Jaboticaba at Different Developmental Stages

热带亚热带植物学报. 2022, 30(3): 423-433 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4451>

南瓜5个品种果肉的挥发性成分分析

Volatile Components in Flesh of Five Pumpkin Varieties

热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 633-643 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4226>

我国4种红茶的挥发性成分分析

Analysis of Volatile Compounds of Four Kinds of Black Tea from China

热带亚热带植物学报. 2015(3): 301-309 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.03.011>

铁皮石斛和重唇石斛及其杂交子代花的挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers of *Dendrobium officinale*, *D. hercoglossum* and Their Hybrids

热带亚热带植物学报. 2022, 30(4): 558-566 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4488>

向下翻页, 浏览PDF全文

睡莲属 62 个栽培种花朵挥发性成分 GC-MS 分析

苏群¹, 田敏^{2*}, 王虹妍¹, 王凌云³, 刘俊⁴, 赵培飞², 卜朝阳¹

(1. 广西农业科学院花卉研究所, 南宁 530007; 2. 云南省农业科学院花卉研究所/国家观赏园艺工程技术研究中心, 昆明 650200; 3. 金华市农业科学研究院, 浙江 金华 321000; 4. 广州市番禺莲花山旅游区, 广州 511400)

摘要: 为了解睡莲花朵的致香物质, 利用气相色谱-质谱法对 62 个栽培种花朵的挥发性成分进行了研究。结果表明, 共检测出 72 种挥发性成分, 以烯烃类(26 种)、烷烃类(11 种)和醇类(9 种)较多, 其中花香成分有 53 种(73.60%)。40 个热带睡莲花朵中共检测出 56 种挥发性成分, 其中花香成分 39 种; 22 个耐寒睡莲品种花朵共检测出 37 种挥发性成分, 其中花香成分 27 种。花香成分中主要致香物质有乙酸苄酯、顺式-罗勒烯、苯甲醇、金合欢烯、月桂烯、柠檬烯、苯甲醛、 α -异松油烯、 α -蒎烯、肉桂醇和 β -丁醇等。利用组内联接余弦的方法, 分别根据挥发性成分和花香成分, 62 个睡莲栽培种(品种)可分成 3 和 4 组。这为睡莲香气物质的开发利用及与传粉动物的协同进化研究提供了基础资料。

关键词: 睡莲属; 花朵; 挥发性成分; 花香成分; 气相色谱-质谱法; 聚类分析

doi: 10.11926/jtsb.4498

Volatile Components in Flowers of 62 *Nymphaea* Cultivars by GC-MS

SU Qun¹, TIAN Min^{2*}, WANG Hongyan¹, WANG Lingyun³, LIU Jun⁴, ZHAO Peifei², BU Zhaoyang¹

(1. Flower Research Institute Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2. Flower Research Institute Yunnan Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Research Center for Ornamental Horticulture, Kunming 650200, China; 3. Jinhua Academy of Agricultural Sciences, Jinhua 321000, Zhejiang, China; 4. Guangzhou Panyu Lotus Hill Resort, Guangzhou 511400, China)

Abstract: In order to understand the aroma substances of *Nymphaea*, the volatile components in flowers of 62 cultivars were studied by using Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that there were 72 volatile components detected from flowers, in which alkenes (26 types), alkanes (11 types), and alcohols (9 types) are the top 3, and there were 53 aromatic components, accounting for 73.60%. Fifty-six volatile components were detected from 40 cultivars of tropical waterlily, including 39 aromatic components, while 37 volatile components from 22 cultivars of hardy waterlily, including 27 aromatic components. The main aroma substances were benzyl acetate, *cis*-ocimene, benzyl alcohol, farnesene, myrcene, limonene, benzaldehyde, α -isoterpinene, α -pinene, cinnamyl alcohol, β -butanol, etc. According to volatile components and aromatic components of *Nymphaea*, 62 cultivars could be divided into 3 and 4 groups by using intergroup cosine connection method, respectively. Therefore, these would provide basic information for development and utilization of aroma substances of *Nymphaea* and the studies on co-evolution of *Nymphaea* with pollinators.

Key words: *Nymphaea*; Flower; Volatile component; Aromatic component; GC-MS; Cluster analysis

收稿日期: 2021-08-11

接受日期: 2021-11-03

基金项目: 广西自然科学基金青年基金项目(2020GXNSFBA297106); 云南省重大科技专项(2019ZG006); 广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科 2021JM113); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2021YT132); 金华市科技计划项目(2019-2-002)资助

This work was supported by the Youth Project for Natural Science in Guangxi (Grant No. 2020GXNSFBA297106); the Project for Major Science and Technology in Yunnan (Grant No. 2019ZG006); the Project for Science and Technology Development of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Grant No. 2021JM113); the Project for Basic Research of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Grant No. 22021YT132); and the Project for Science and Technology in Jinhua City (Grant No. 2019-2-002).

作者简介: 苏群(1990 生), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事花卉分子遗传育种研究。E-mail: qunsu315@yeah.net

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: tminfl@yeah.net

自然界中, 依靠动物传粉的开花植物超过 2.5×10^5 种, 为了吸引这些传粉者, 许多开花植物会从其花、果实甚至叶片中释放出低分子量的挥发性物质, 以保证生殖和进化的成功^[1-2]。花朵虽然有相同的颜色和形状, 但是气味却不会完全相同^[3], 对于许多观赏植物而言, 花香是重要的品质之一, 被誉为“花卉的灵魂”, 可以有效刺激消费, 激起消费者的购买欲望^[4]。迄今为止, 已从 1 000 余种花卉中鉴定出 1 700 多种挥发性物质, 主要分为萜类化合物、苯丙酸类化合物/芳香型化合物和脂肪酸衍生物 3 大类, 其中萜类化合物是最主要也是最多元化的组分^[5-6]。

睡莲为睡莲科(Nymphaeaceae)睡莲属(*Nymphaea*)植物的总称, 为多年生水生草本植物。根据生态学特征, 可分为热带睡莲和耐寒睡莲。全世界睡莲属植物有 50 余种(含变种), 主要分布在热带、亚热带和温带地区^[7-8]。睡莲花色艳丽而多变, 花香浓郁而芬芳, 深受人们的喜爱。相对于花型、花色等易于观察的性状, 花香的研究相对滞后^[9], 但许多观赏植物花朵的挥发性成分已有较为详细的研究, 如月季(*Rosa hybrida*)^[10-12]、百合(*Lilium spp.*)^[13-14]、腊梅(*Chimonanthus praecox*)^[15-16]和荷花(*Nelumbo nucifera*)等^[17-20], 而作为著名水生花卉的睡莲挥发性物质研究却不多^[21-25]。本文利用气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对 62 个睡莲品种花朵的挥发性成分进行分析, 以期进一步明确睡莲属植物花朵的挥发成分, 为睡莲香气物质的开发利用及与传粉动物的协同进化研究提供基础资料, 并为将来睡莲属的良种繁育与品质鉴定奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料采自云南省农业科学院花卉研究所澄江基地高原水生植物资源圃和广西壮族自治区农业科学院花卉研究所睡莲资源圃内, 定植方式为盆栽沉水。62 个睡莲品种包含 40 个热带品种和 22 个耐寒品种(表 1)。

1.2 方法

参照田敏等^[26]的方法, 于每日同一时间(上午 9:00)取样, 将第 1 天开花的睡莲整朵鲜花置于容器中, 密封好后在室温下用固相微萃取柱(65 μm PDMS/

DVB, Fused Silica 24Ga, Manual Holder, 3pk. SUPELCO, USA)吸附 50 min, 直接进样, 进行 GC/MS 分析(HP6890GC/5973MS, Agilent Technologies, USA)。GC 条件: HP-5MS 石英毛细管柱(30 mm \times 0.25 mm \times 0.25 μm)。柱温: 起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 80 $^{\circ}\text{C}$, 再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 280 $^{\circ}\text{C}$, 保持 10 min; 柱流量为 1.0 mL/min; 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 柱前压 100 kPa; 分流比 5 : 1; 载气为高纯氦气。MS 条件: 电离方式 EI; 电子能量 70 eV; 传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; 质量扫描范围 35~500 amu。

依据总离子流色谱峰面积, 并通过面积归一化法, 即各色谱峰面积与总峰面积之比, 计算各组分的相对含量并进行定量分析。每样品进行 3 次平行重复实验。

1.3 数据处理

采用 wiley7n.1 和 NIST98.L 标准谱库计算机检索定性。图表使用 Excel 2010 制作, 聚类分析采用 IBM SPSS Statistics 21.0 进行分析处理。

2 结果和分析

2.1 花朵的挥发性成分分析

62 个睡莲品种的花朵共检测到 72 种挥发性成分, 包含 11 类化合物, 烯烃类、烷烃类、醇类、酮类、醛类和酯类化合物居前 6 位, 其中以烯烃类最多, 有 26 种(含量占 36.11%); 烷烃类次之, 有 11 种(15.28%); 醇类有 9 种(12.50%); 酮类有 8 种(11.11%); 最少的为醚类、酚类和酰胺类, 均只有 1 种(图 1)。62 个睡莲品种共有的挥发性成分只有 1 种, 为烷烃类的十五烷。72 种挥发性成分中花香成分有 53 种(73.60%)。前 6 类挥发性成分中有 5 类具香味, 可见这些香味物质是导致睡莲花朵具有香气的主要原因。

62 个品种睡莲花朵的挥发性成分的种类和含量不同(图 2), 热带睡莲和耐寒睡莲间没有明显的差异。挥发性成分含量最高的是‘酸橙’(166.45%), 其次是‘桑吉巴尔之星’(148.86%), 然后是‘苏克斯’(134.54%)、‘狐火’(127.59%)和‘万维莎’(125.58%)。挥发性成分相对含量超过 100%的有 28 个品种, 19 个为热带睡莲; 挥发物成分相对含量较低的有‘蓝蟹爪’(84.73%)、‘江南风韵’(84.23%)、

表 1 睡莲属 62 个栽培种

Table 1 62 *Nymphaea* cultivars

编号 No.	栽培种 Cultivar	生活型 Life form	编号 No.	栽培种 Cultivar	生活型 Life form
1	‘伊斯兰达’ ‘Islamorada’	TW	32	‘多贝’ ‘Dauben Yana’	TW
2	小花睡莲 <i>Nymphae micrantha</i>	TW	33	埃及白睡莲 <i>N. lotus</i>	TW
3	‘华丽’ ‘Huali’	TW	34	‘蓝紫苑’ ‘Blue Aater’	TW
4	‘江南风韵’ ‘Southern Charm’	TW	35	‘艾伯特’ ‘Albert Greenberg’	TW
5	‘丹泉石’ ‘Tanzanite’	TW	36	‘桑给巴尔之星’ ‘Star of Zanzibar’	TW
6	‘午夜’ ‘Midnight’	TW	37	‘保罗蓝’ ‘Paul Stetson’	TW
7	‘蓝蟹爪’ ‘UdomBaramce’	TW	38	‘酸橙’ ‘Key Lime’	TW
8	‘查尔斯托马斯’ ‘Charles Thomas’	TW	39	‘狐火’ ‘Foxfire’	TW
9	‘巴拿马太平洋’ ‘Panama Pacific’	TW	40	蓝星 <i>N. colorata</i>	TW
10	‘蓝鸟’ ‘Blue Bird’	TW	41	‘伊丽莎白’ ‘Elizabeth’	HW
11	‘卡拉阳光’ ‘Carl’s Sunshine’	TW	42	‘白仙子’ ‘Gonnere’	HW
12	‘约瑟芬’ ‘Josephine’	TW	43	‘科罗拉多’ ‘Colorado’	HW
13	‘海拉里’ ‘Hilary’	TW	44	‘教主’ ‘Sultan’	HW
14	‘甘娜’ ‘Madame Ganna Walska’	TW	45	‘澳大利亚红’ ‘Australian Red’	HW
15	‘黑美人’ ‘Murasaki Shikibu’	TW	46	‘卡蒙奇’ ‘Comanche’	HW
16	‘林德赛伍’ ‘Lindsey’s Wood’	TW	47	‘红蜘蛛’ ‘Red Spider’	HW
17	‘公牛眼’ ‘Bull’s Eye’	TW	48	‘豪华’ ‘Sumptuosa’	HW
18	‘曼妞’ ‘Mameaw’	TW	49	‘赤子之心’ ‘Chizi zhixin’	HW
19	‘蒂娜’ ‘Tina’	TW	50	‘克罗马利’ ‘Chromatella’	HW
20	‘紫乔伊’ ‘Purple Joy’	TW	51	‘万维莎’ ‘Wanvisa’	HW
21	‘热带落日’ ‘Tropic Sunset’	TW	52	‘瑶池春色’ ‘Spring’	HW
22	‘荧光黄’ ‘Swangjitra’	TW	53	‘月香红’ ‘Tuberosa’	HW
23	‘安德瑞斯’ ‘Tetragona Antars’	TW	54	‘保尔哈利特’ ‘Paul Hariot’	HW
24	‘泰 3 号’ ‘Siam No. 03’	TW	55	‘红仙子’ ‘Rose Arey’	HW
25	‘泰 2 号’ ‘Siam No. 02’	TW	56	‘佛罗里达’ ‘Florida Sunset’	HW
26	‘月亮光线’ ‘Rassamecjan’	TW	57	宽瓣白睡莲 <i>N. alba</i>	HW
27	‘纯真’ ‘Innocence’	TW	58	‘怀特’ ‘Richardsonii White’	HW
28	‘蓝蜘蛛’ ‘Blue Spider’	TW	59	‘苏克斯’ ‘Souixchanceal’	HW
29	‘纯洁’ ‘Klao Mongkol’	TW	60	‘芷碧’ ‘Zhibi’	HW
30	‘奥格斯特’ ‘August Koch’	TW	61	‘仁者’ ‘Rene Gerard’	HW
31	‘暹罗玉’ ‘Yok Siam’	TW	62	‘中华兰’ ‘Zhonghua Lan’	HW

TW: 热带睡莲; HW: 耐寒睡莲。

TW: Tropical waterlily; HW: Hardy waterlily.

‘蓝鸟’(82.65%)、‘卡拉阳光’(80.60%)和‘中华兰’(70.78%)。在挥发性成分数量以‘紫乔伊’和‘酸橙’最多, 均有 18 种; 其次是‘芷碧睡莲’(16 种)、‘安德瑞斯’(16 种)、‘暹罗玉’、‘赤子之心’和‘桑吉巴尔之星’, 均有 15 种; ‘月光’、‘纯真’、‘教主’和‘蓝紫苑’均有 6 种; ‘中华兰’的最少, 仅有 6 种。可见, ‘酸橙’花朵挥发性成分的种类和数量均最多, 而‘中华兰’均最少。

2.2 不同类型睡莲花朵中挥发性成分比较

40 种热带睡莲花朵中检测到 56 种挥发性成分, 花香成分有 39 种(69.65%)。挥发性成分最多的是烯

炔类, 有 17 种(30.36%); 烷烃类有 10 种(17.86%); 酮类、醇类、醛类及酯类分别有 7、6、5 和 4 种。22 种耐寒睡莲花朵中检测到 37 种挥发性成分, 花香成分有 27 种(72.97%)。种类最多的是烯炔类, 有 19 种(51.35%); 烷烃类有 9 种(24.32%); 酮类、醇类、醛类及酯类分别有 1、4、2 和 1 种(图 3)。两种生活型睡莲共有挥发性成分 21 种, 其中 8 种为烷烃类; 共有花香成分 13 种, 其中烯炔类 8 种, 醇类、醛类及酯类分别各 1 种。

2.3 聚类分析

根据睡莲花朵中的挥发性成分和相对含量, 利

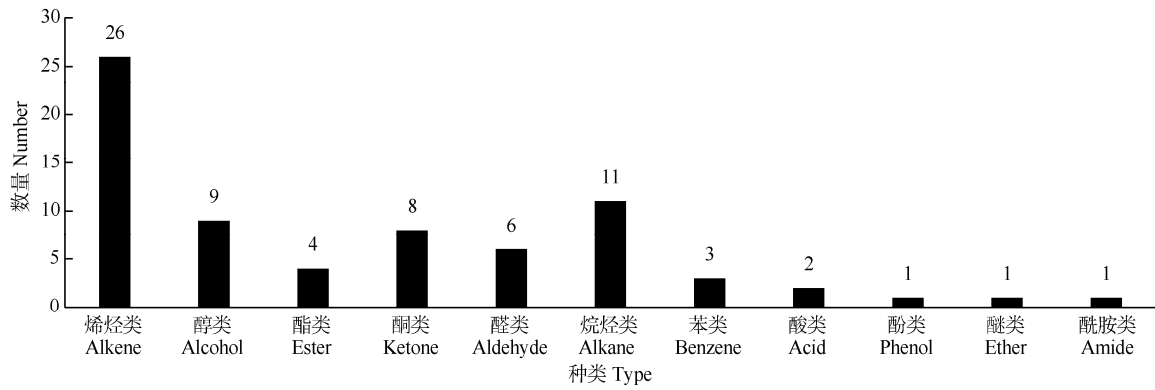


图 1 睡莲属植物花朵挥发性成分的种类

Fig.1 Types of volatile components in *Nymphaea* flowers

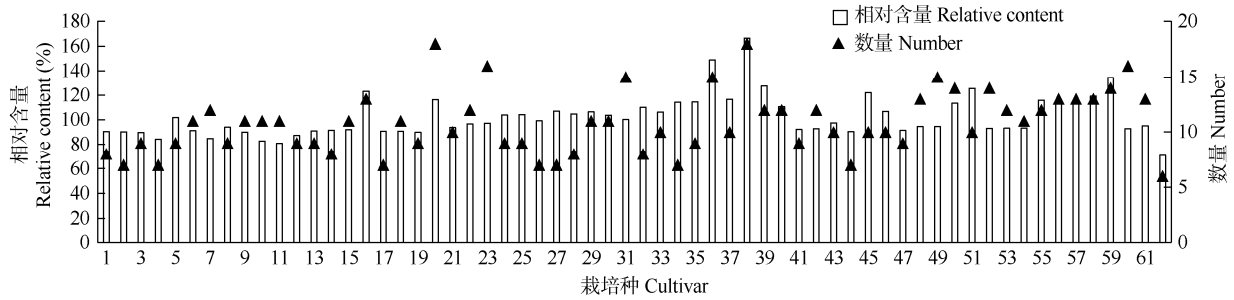


图 2 睡莲花朵挥发性成分的种类与相对含量。1~62 见表 1。

Fig. 2 Number and relative contents of volatile components in 62 *Nymphaea* cultivars. 1–62 see Table 1.

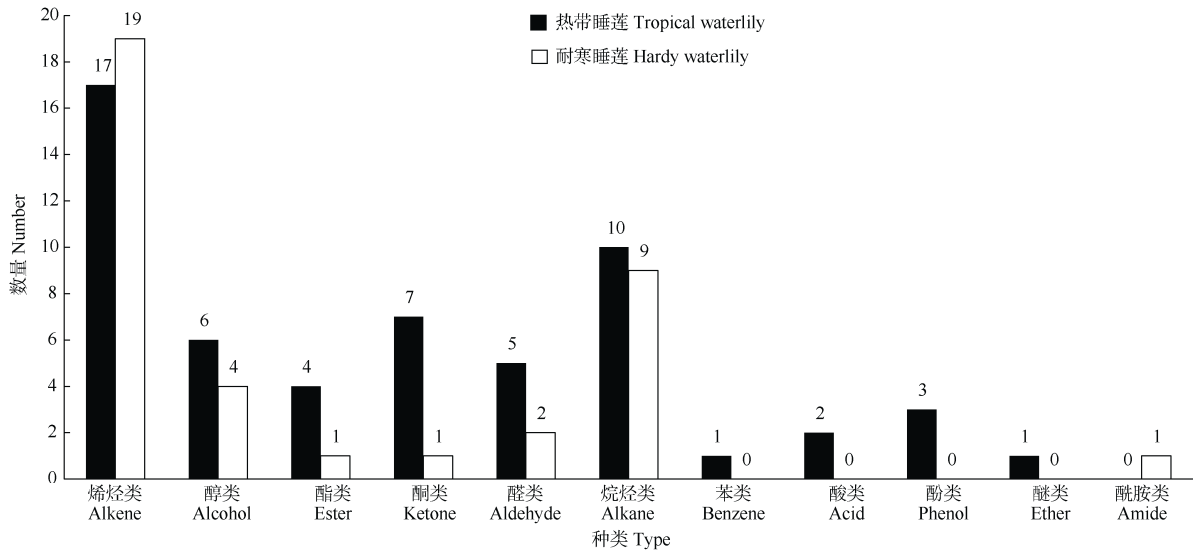


图 3 热带睡莲和耐寒睡莲花朵的挥发性成分种类

Fig. 3 Types of volatile components in tropical and hardy *Nymphaea* flowers

用 IBM SPSS 21.0 软件中组内联接余弦方法可将 62 个睡莲品种分成 3 组, 即 A、B 和 C 组(图 4)。A 组由‘小花睡莲’、‘公牛眼’、‘午夜’等 40 个热带睡莲品种组成; B 组由‘红仙子’、‘佛罗里达’、‘万维莎’等 7 个耐寒睡莲品种组成; C 组由‘赤子之心’、‘保

尔哈利特’、‘豪华’等 15 个耐寒睡莲品种(种)组成。

A 组为 40 种热带睡莲, 挥发性成分的种类和数量均较多, 包含烯烃类、烷烃类、醇类、酯类、酮类、醛类、苯类、酸类和酚类等。烷烃类物质主要是十一烷、十三烷、十五烷和十七烷; 烯烃类物

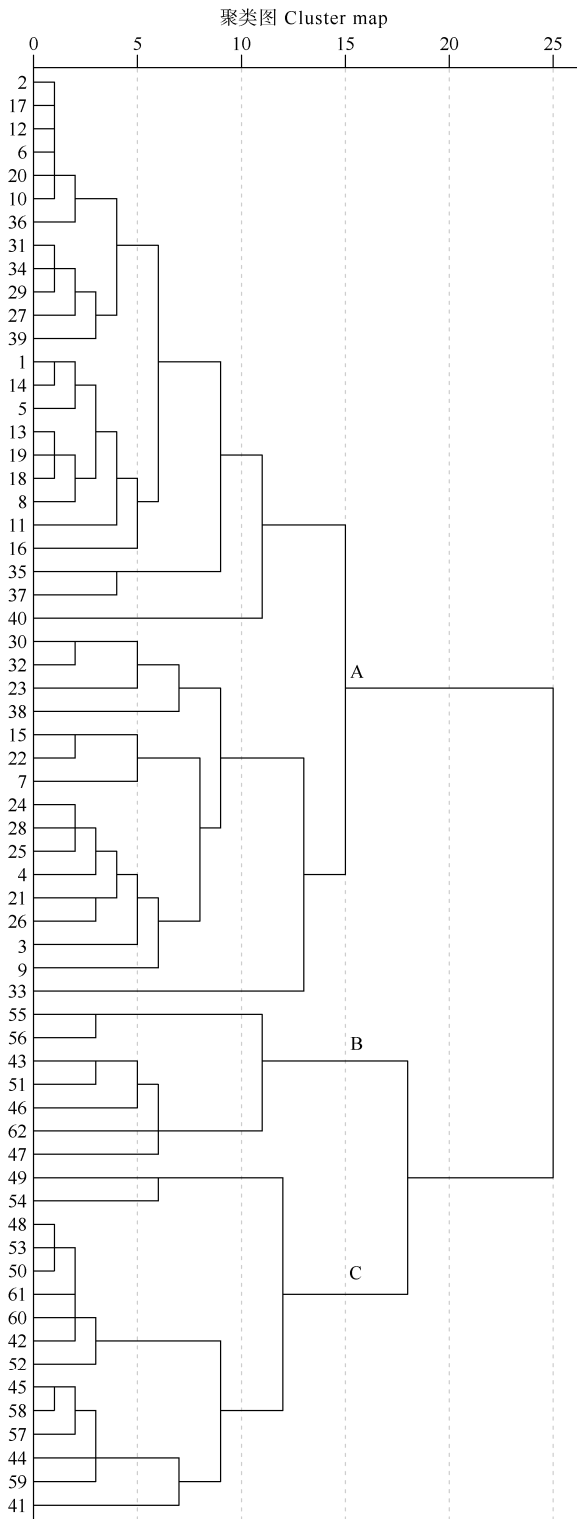


图 4 基于挥发性成分的 62 个睡莲品种聚类图。1~62 见表 1。
Fig. 4 Cluster map of 62 *Nymphaea* cultivars based on volatile components. 1-62 see Table 1.

质主要是反式- β -金合欢烯、反式- α -金合欢烯、 β -倍半水芹烯、6(E),8(E)-十七碳二烯、8-十七碳烯和反式- α -香柠檬烯；醇类物质主要是苯甲醇和 4-甲氧

基苯甲醇；酯类物质主要是乙酸苄酯和苯甲酸苄酯；酮类物质主要是 2-十七烷酮；醛类物质主要是苯甲醛、壬醛、4-甲氧基苯甲醛。

B 组为 7 种耐寒睡莲，挥发性成分较少，主要为烷烃类和烯烃类，还有少量的醛类、酮类及醇类、酰胺类物质。烷烃类主要是十一烷、十五烷、十七烷和十九烷；烯烃类物质主要是月桂烯、柠檬烯、顺式-罗勒烯、反式- α -金合欢烯和 8-十七碳烯；醛类物质是癸醛和十四烷醛；醇类、酮类、酰胺类物质各 1 种，分别是 β -丁香醇、马苄烯酮、N-苯基甲酰胺。

C 组为 15 种耐寒睡莲，含较多的烷烃类、烯烃类和醇类挥发性成分。烷烃类主要是壬烷、十一烷、十三烷、十五烷、十七烷；烯烃类物质主要是月桂烯、柠檬烯、 α -异松油烯、5(E)-十三碳烯、反式- β -金合欢烯、反式- α -金合欢烯、6(E),8(E)-十七碳二烯及 8-十七碳烯；醇类物质主要是丁香醇；酯类、醛类物质各有 1 种，分别是乙酸苄酯和十四烷醛，且相对含量较小。

可见，3 组均含有较多的烷烃类和烯烃类挥发性成分，烷烃类以十一烷、十五烷、十七烷的相对含量最高，烯烃类以金合欢烯、十七碳烯和柠檬烯较高。A 组挥发性成分的种类和数量都是最多，其次是 C 组，B 组最少，进一步反映了热带睡莲和耐寒睡莲间的差异。

2.4 花香成分的聚类分析

基于花香物质的种类和含量，利用 SPSS 21.0 软件的组内联接余弦方法进行聚类分析(图 5)。根据花香成分可将 62 个睡莲品种分成 4 组(D、E、F、G)。D 组由‘小花睡莲’、‘公牛眼’、‘午夜’等 38 种热带睡莲组成，与基于挥发性成分聚类的 A 组相似；E 组由 6 种耐寒睡莲组成，比 B 组少了 1 个耐寒睡莲‘佛罗里达’；F 组是由‘赤子之心’、‘仁者’、‘保尔哈利特’等 8 种耐寒睡莲组成；G 组由‘宽瓣白睡莲’、‘苏克斯’、‘怀特’等 8 种耐寒睡莲和 2 种热带睡莲‘蓝星睡莲’、‘埃及白睡莲’组成，F 组和 G 组与 C 组相似。

D 组的花香成分多而复杂，主要有乙酸苄酯(茉莉的香味)、苯甲醇(清香)、反式- β -金合欢烯(花瓣，苹果的香味)、反式- α -金合欢烯(花瓣，苹果的香味)、苯甲醛(苦杏仁，坚果，樱桃的香味)、反式- α -香柠檬烯(柠檬，柑橘的香味)、壬醛(玫瑰，柑橘，油脂

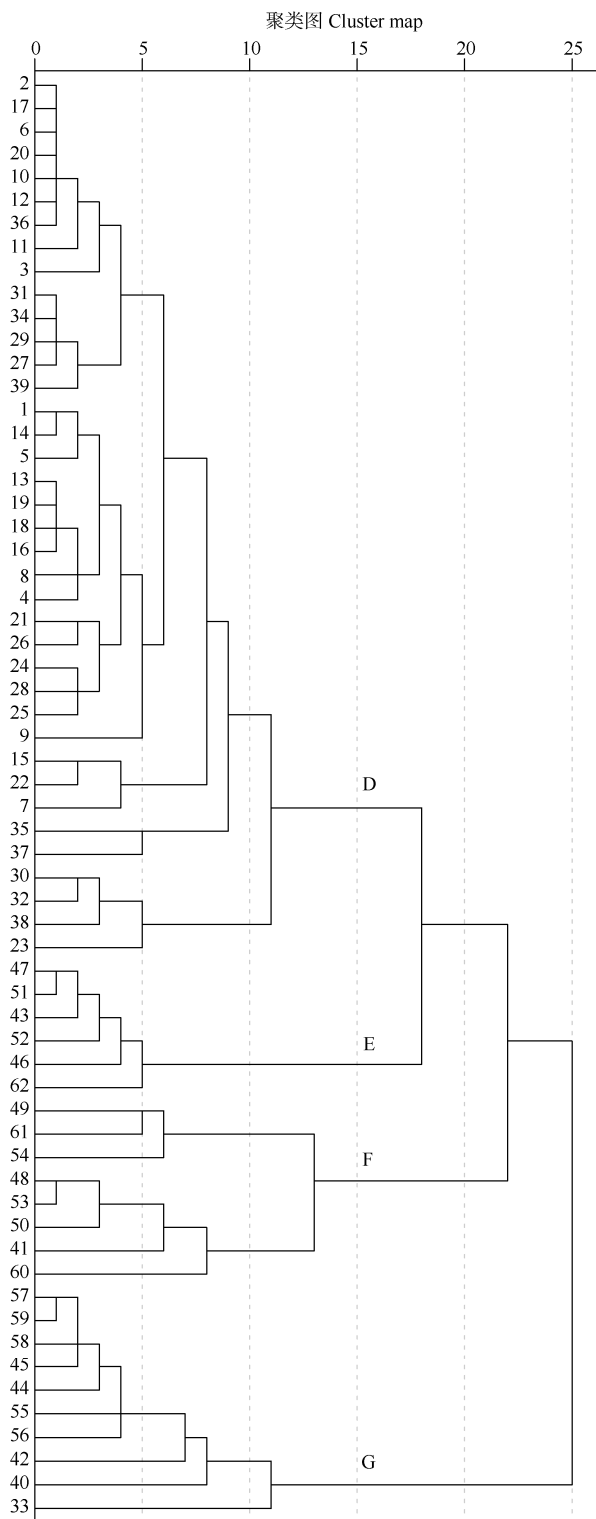


图 5 基于花香成分的 62 个睡莲品种聚类图。1~62 见表 1。

Fig. 5 Cluster map of 62 *Nymphaea* cultivars based on aroma components.

1-62 see Table 1.

的香味)等,因此 D 组睡莲的香气主要是茉莉花香和苹果果香的混合味道。

E 组主要致香物质有顺式-罗勒烯(薄荷的香

味)、月桂烯(香脂、香叶的香味)、柠檬烯(柠檬的香味)、 α -蒎烯(松木、树脂、针叶的香味)、反式- α -金合欢烯(花瓣、苹果的香味),因此 E 组睡莲主要是薄荷清香与脂香、果香相结合的香气。

F 组主要致香物质有月桂烯(香脂、香叶的香味)、柠檬烯(柠檬的香味)、 α -异松油稀(柑橘的香味)、反式- β -金合欢烯(花瓣、苹果的香味)、反式- α -金合欢烯(花瓣、苹果的香味)。因此 F 组睡莲主要是脂香与柑果清香相结合的香气。

G 组致香物质较多,但相对含量较小。主要致香物质有反式- α -金合欢烯(花瓣、苹果的香味)、反式- β -金合欢烯(花瓣、苹果的香味)、肉桂醇(风信子香味)、 β -丁香醇(木屑味道)、 α -异松油稀(柑橘的香味)、月桂烯(香脂、香叶的香味)、柠檬烯(柠檬的香味)。因此 G 组睡莲主要是花味与柑果、香叶的香味相结合的香气。

综上所述,睡莲致香物质多而复杂,含量差异较大,主要的致香物质有乙酸苄酯、顺式-罗勒烯、苯甲醇、金合欢烯、月桂烯、柠檬烯、苯甲醛、 α -异松油稀、 α -蒎烯、肉桂醇和 β -丁香醇等。

3 结论和讨论

与其他遗传性状一样,花朵的挥发性成分也反映了植物的遗传规律^[27]。睡莲属植物作为被子植物基部类群之一,对其花朵挥发性成分分析,可为研究花香和传粉动物间协同进化提供基础资料。Artur 等^[24]通过检测夜花型热带睡莲花朵挥发性成分,分析了挥发性成分与环头圣甲虫(*Scarabacidae*)传粉、取食、交配的关系。袁茹玉^[21]利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)从 56 个睡莲栽培品种中检测到 117 种挥发性成分,包含 31 种香气物质,并指出雄蕊是睡莲最主要的释香组织,挥发性成分可占整朵花的 70%~90%;黄秋伟等^[22]和徐辉等^[23]从热带睡莲‘保罗蓝’精油和 2 种花色的香水莲挥发油中检出 42 和 37 种挥发性成分。本试验从 62 个睡莲品种(种)花朵中检出 72 种挥发性成分,其中热带睡莲中含量较高的挥发性成分有苯甲醇、乙酸苄酯、6(*E*),8(*E*)-十七碳二烯、8-十七碳烯和反式- β -金合欢烯;耐寒睡莲有十五烷、十一烷、顺式-罗勒烯、十三烷和 8-十七碳烯。袁茹玉^[21]报道热带睡莲挥发性成分含量较高的有 6,9-十七碳二烯、十五烷、8-十七碳烯、金合欢烯和 Z,Z-10,12-

六癸二烯醛; 耐寒睡莲的十五烷、8-十七碳烯、6,9-十七碳二烯、十三烷和十四烷。这些差异可能和实验材料(睡莲品种)、检测方法、质控标准、栽种条件和环境气候等有关, 郭玉华等^[25]报道野生条件下海南延药睡莲(*Nymphaea stellata*)花朵的挥发性成分明显不同于人工栽培下的精油组成。

62 个睡莲品种花朵中共有的挥发性成分只有 1 种, 为十五烷。袁茹玉^[21]报道 56 个睡莲栽培品种共有的挥发性成分也仅有 1 种, 为 8-十七碳烯, 而本试验有 56 个品种检出了 8-十七碳烯。这进一步说明不同栽培种睡莲的挥发物成分和含量差异较大, 也和前人“花朵虽然有相同的颜色和形状, 但是气味却不会完全相同”的结论相符^[3]。

根据睡莲属植物花朵的挥发性成分, 利用组内联接余弦的方法, 将 62 个睡莲品种(种)分成 3 组, 而根据花香成分则分成了 4 组。根据香气成分进行聚类分析的结果与根据总挥发性物质的分类结果略有不同, 两种分类结果最大的不同在于根据花香成分的聚类进一步将耐寒睡莲细分成了 3 组, 主要是因为香气成分是总挥发物的一部分, 这种差异在同为水生花卉的荷花中也存在^[17]。

热带睡莲和耐寒睡莲花朵挥发物中的相对含量及挥发物种类上均存在明显差异, 两种生活型睡莲挥发性成分最多的均为烯炔类, 其次为烷炔类, 且数量差异不明显。挥发性成分中花香成分的差异较大, 尤其是香味更为浓郁的酮类、醛类及酯类数量有较大差异, 热带睡莲的花香成分数量均高于耐寒睡莲, 这说明热带睡莲和耐寒睡莲主要致香物质差异较大。热带睡莲花香成分更为复杂, 香气更为浓郁, 因此, 今后在香气物质的开发利用及对定向培育具特定香味的睡莲新品种上可优先考虑热带睡莲。

参考文献

- [1] BUCHMANN S L, NABHAN G P. The Forgotten Pollinators [M]. Washington, DC: Island Press, 1996: 8–16.
- [2] DUDAREVA N, PICHERSKY E. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents [J]. *Plant Physiol*, 2000, 122(3): 627–634. doi: 10.1104/pp.122.3.627.
- [3] KNUDSEN J T, TOLLSTEN L. Trends in floral scent chemistry in pollination syndromes: Floral scent composition in moth-pollinated taxa [J]. *Bot J Linn Soc*, 1993, 113(3): 263–284. doi: 10.1111/j.1095-8339.1993.tb00340.x.
- [4] CHEN X Z, WANG Q. Studies on Chinese principles in appreciating traditional flowers [J]. *J Beijing For Univ*, 2001, 23(S1): 16–21.
陈秀中, 王琪. 中华民族传统赏花理论探微 [J]. *北京林业大学学报*, 2001, 23(S1): 16–21.
- [5] MUHLEMANN J K, KLEMPIEN A, DUDAREVA N. Floral volatiles: From biosynthesis to function [J]. *Plant Cell Environ*, 2014, 37(8): 1936–1949. doi: 10.1111/pce.12314.
- [6] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, et al. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds [J]. *New Phytol*, 2013, 198(1): 16–32. doi: 10.1111/nph.12145.
- [7] HUANG G Z, DENG H Q, LI Z X, et al. *Nymphaea Water Lily* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009: 1–22.
黄国振, 邓惠勤, 李祖修, 等. 睡莲 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 1–22.
- [8] LI S J, YU Q, CHEN C, et al. Breeding progress of waterlilies in China [J]. *J Plant Genet Resour*, 2019, 20(4): 829–835. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20181209001.
李淑娟, 尉倩, 陈尘, 等. 中国睡莲属植物育种研究进展 [J]. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(4): 829–835. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20181209001.
- [9] DUDAREVA N, NEGRE F, NAGEGOWDAD A, et al. Plant volatiles: Recent advances and future perspectives [J]. *Crit Rev Plant Sci*, 2006, 25(5): 417–440. doi: 10.1080/07352680600899973.
- [10] SUN H N, LÜ Y Z, WANG Y L. Comparison of *Rosa hybrida* petals volatiles based on different extraction methods [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2020, 36(5): 1342–1344. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.05.034.
孙海楠, 吕运舟, 汪有良. 基于不同提取方法的月季香气成分比较分析 [J]. *江苏农业学报*, 2020, 36(5): 1342–1344. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.05.034.
- [11] LI S B, WANG W J, WU G Q, et al. Research progress on omics and genetic determinism of blooming behavior and flower scent in rose [J]. *Acta Hort Sin*, 2019, 46(5): 995–1010. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2018-1066.
李淑斌, 王炜佳, 吴高琼, 等. 月季组学及其开花习性和花香性状研究进展 [J]. *园艺学报*, 2019, 46(5): 995–1010. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2018-1066.
- [12] ZHENG R R, WU J Z, GU Z J, et al. Study on the floral scent components of *Lilium amoenum* with rose fragrance and *Lilium bakerianum* var. *rubrum* with orange fragrance [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)*, 2021, 47(1): 32–42. doi: 10.3785/j.issn.1008-9209.2020.04.221.
郑冉冉, 吴景芝, 谷志佳, 等. 玫瑰香味玫红百合和橙香味紫红花

- 滇百合的花香成分研究 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(1): 32–42. doi: 10.3785/j.issn.1008-9209.2020.04.221.
- [13] WANG T, ZHANG H Y, LIU Z Z, et al. Study on the aroma constituents of lily from twelve hybrid groups [J]. J China Agric Univ, 2020, 25(1): 86–94.
- 王婷, 张浩宇, 刘芝芝, 等. 12 种百合杂交类型香气成分比较 [J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(1): 86–94.
- [14] ZHANG H X, HU Z H, LENG P S, et al. Qualitative and quantitative analysis of floral volatile components from different varieties of *Lilium* spp. [J]. Sci Agric Sin, 2013, 46(4): 790–799. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.04.013.
- 张辉秀, 胡增辉, 冷平生, 等. 不同品种百合花挥发性成分定性分析与定量分析 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 790–799. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2013.04.013.
- [15] LU A X, ZHOU X R, YE Y L, et al. Changes of sensory characteristic and volatiles of harvested flowers of *Chimonanthus praecox* during spreading process [J]. Acta Hort Sin, 2020, 47(1): 73–84. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.20190-0233.
- 陆安霞, 周心如, 叶玉龙, 等. 蜡梅花离体摊放过程中香气感官评价和挥发性物质分析 [J]. 园艺学报, 2020, 47(1): 73–84. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.20190-0233.
- [16] SHEN Z G, SUN M, YUAN D Y, et al. HS-SPME-GC-MS analysis of volatile components in tender shoots from six plants of Calycanthaceae [J]. Acta Hort Sin, 2020, 47(12): 2349–2361. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0507.
- 沈植国, 孙萌, 袁德义, 等. 蜡梅科 6 种植物嫩梢挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析 [J]. 园艺学报, 2020, 47(12): 2349–2361. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0507.
- [17] ZHANG F. Analysis of volatile compounds in lotus petal of different varieties [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
- 张芳. 不同品种荷花花瓣挥发性物质的分析研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [18] NIU Y Q, ZHANG F, LI L Y, et al. Study on volatile components in petals of different cultivars of *Nelumbo nucifera* [J]. J Plant Resour Environ, 2019, 28(1): 52–61. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.01.07.
- 牛叶青, 张芳, 李柳燕, 等. 荷花不同品种花瓣中挥发性成分的研究 [J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(1): 52–61. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.01.07.
- [19] JIN L. Studies on morphological structure and flower fragrance components analysis of *Nelumbo nucifera* ‘Weishan Hong’ and American lotus [D]. Huaian: Huaiyin Institute of Technology, 2020.
- 金蕾. ‘微山红莲’和美洲黄莲花形态结构及花香成分分析研究 [D]. 淮安: 淮阴工学院, 2020.
- [20] LI H Y, LI H G, YANG X L, et al. Advances studies on the synthesis and regulation of floral substances in plant [J]. Mol Plant Breed, 2018, 16(1): 123–129. doi: 10.13271/j.mpb.016.000123.
- 李海燕, 李火根, 杨秀莲, 等. 植物花香物质合成与调控研究进展 [J]. 分子植物育种, 2018, 16(1): 123–129. doi: 10.13271/j.mpb.016.000123.
- [21] YUAN R Y. Studies on the composition of volatiles in different cultivars of water lily and functional component and antioxidant activity evaluation in ITS tea [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- 袁茹玉. 不同品种睡莲花挥发物组成及其茶汤功能成分和抗氧化活性评价 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [22] HUANG Q W, MAO L Y, LONG L Y, et al. Optimization of essential oil from tropical water lily extracted by supercritical CO₂ and volatile components of essential oil analysis by GC-MS [J]. Food Res Dev, 2020, 41(7): 188–195.
- 黄秋伟, 毛立彦, 龙凌云, 等. 热带睡莲精油的超临界 CO₂ 萃取优化及其成分 GC-MS 分析 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 188–195.
- [23] XU H, ZHANG W M, JIANG H F, et al. Analysis of essential oil from the flowers of *Nymphaea hybrida* by GC-MS [J]. Food Res Dev, 2008, 29(9): 101–103. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2008.09.030.
- 徐辉, 张卫明, 姜洪芳, 等. 香水莲花挥发油的气相色谱-质谱分析 [J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 101–103. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2008.09.030.
- [24] MAIA A C D, DE LIMA C T, DO AMARAL F N D M, et al. The floral scents of *Nymphaea* subg. *Hydrocallis* (Nymphaeaceae), the new world night-blooming water lilies, and their relation with putative pollinators [J]. Phytochemistry, 2014, 103: 67–75. doi: 10.1016/j.phytochem.2014.04.007.
- [25] GUO Y H, LIN F, HUANG S R, et al. Composition analysis of essential oil from flowers of *Nymphaea stellata*, a wild water lily in Hainan [J]. Chin J Trop Agric, 2021, 41(8): 60–65.
- 郭玉华, 林妃, 黄素荣, 等. 海南野生延药睡莲花挥发油成分分析 [J]. 热带农业科学, 2021, 41(8): 60–65.
- [26] TIAN M, WANG L Y, CAO H, et al. Analysis of volatile components from six varieties of space lotus [J]. Chin J Trop Agric, 2021, 41(5): 101–106.
- 田敏, 王凌云, 曹桦, 等. 六种太空莲挥发性成分分析 [J]. 热带农业科学, 2021, 41(5): 101–106.
- [27] NOGUEIRA P C D L, BITTRICH V, SHEPHERD G J, et al. The ecological and taxonomic importance of flower volatiles of *Clusia* species (Guttiferae) [J]. Phytochemistry, 2001, 56(5): 443–452.