

荷花不同品种花瓣中挥发性成分的研究

牛叶青^①, 张 芳^①, 李柳燕, 金奇江, 王彦杰, 徐迎春^②

(南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 利用顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术对荷花(*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 20个品种(包括5种花色和4种瓣型)花瓣中挥发性成分及其相对含量进行了检测,并基于释香成分对荷花20个品种进行了聚类分析。结果显示:荷花20个品种花瓣中共检测出69个挥发性成分,包括烷烃类化合物18个,烯烃类化合物24个,醇类化合物8个,酯类化合物6个,酮类、醛类、胺类和酸类化合物各2个,其他化合物5个,其中,释香成分42个。荷花20个品种花瓣中烷烃类、烯烃类和醇类化合物的相对含量较高,且在20个品种中均有检出;而酯类、酮类和醛类化合物的相对含量较低,且仅在个别品种中检出。荷花不同品种间花瓣中挥发性成分的数量和相对含量存在差异。‘大洒锦’(‘Dasajin’)、‘16-A10-1’和‘16-A10-27’花瓣中挥发性成分数量较多,分别为27、21和20种。‘大洒锦’、‘伯里夫人’(‘Bolifuren’)和‘子夜’(‘Ziye’)花瓣中挥发性成分的相对含量较高,分别为93.58%、91.92%和91.79%。‘稼先莲’(‘Jiexianlian’)、‘子夜’、‘中国红·井冈山’(‘Zhongguohong Jinggangshan’)、‘27-1’、‘16-A9-55’、‘16-A9-49’、‘珠峰翠影’(‘Zhufengcuiying’)、‘金太阳’(‘Jintaiyang’)、‘秣陵秋色’(‘Molingqiuse’)和‘大洒锦’花瓣中的主要挥发性成分为正十六烷,‘中国红·北京’(‘Zhongguohong Beijing’)、‘16-A10-30’、‘16-A10-27’、‘39-1’、‘逸仙莲’(‘Yixianlian’)、‘伯里夫人’和‘16-A9-44’花瓣中的主要挥发性成分为正十五烷,‘16-A10-1’、‘红台莲’(‘Hongtailian’)和‘艾江南’(‘Aijiangnan’)花瓣中的主要挥发性成分分别为1-十六烯、 α -石竹烯和1-石竹烯。聚类分析结果显示:‘子夜’、‘红台莲’、‘16-A10-27’、‘秣陵秋色’和‘艾江南’聚为A组,‘逸仙莲’单独聚为C组,其他14个品种聚为B组。1-石竹烯、 α -石竹烯和 α -松油醇对A组荷花品种的香气具有重要贡献,桉烯、反-7-十六烯和顺-5-十八烯对B组荷花品种的香气具有重要贡献, α -萜品烯对C组荷花品种的香气具有重要贡献。综合研究结果认为:荷花花瓣中的释香成分与花色和瓣型无明显关联,不同品种花瓣中特有的释香成分可能对其香气具有决定作用。

关键词: 荷花; 顶空固相微萃取-气质联用(HS-SPME-GC-MS)技术; 挥发性成分; 释香成分; 相对含量

中图分类号: Q946; S682.32 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)01-0052-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.01.07

Study on volatile components in petals of different cultivars of *Nelumbo nucifera* NIU Yeqing^①, ZHANG Fang^①, LI Liuyan, JIN Qijiang, WANG Yanjie, XU Yingchun^② (College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(1): 52-61

Abstract: The volatile components and their relative contents in petals of 20 cultivars (including five flower colors and four petal types) of *Nelumbo nucifera* Gaertn. were detected by using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technology, and cluster analysis on 20 cultivars of *N. nucifera* was carried out based on aroma components. The results show that 69 volatile components in petals of 20 cultivars of *N. nucifera* are detected, including 18 alkanes, 24 alkenes, 8 alcohols, 6 esters, 2 ketones, 2 aldehydes, 2 amines, 2 acids, and 5 others, in

收稿日期: 2018-05-30

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(16)1024); 中央高校基本科研业务费专项资金(KJQN201659)

作者简介: 牛叶青(1996—),女,山西浑源人,硕士研究生,主要从事荷花生理生态和分子生物学方面的研究工作。

张 芳(1993—),女,山东威海人,硕士研究生,主要从事荷花生理生态方面的研究工作。

①共同第一作者

②通信作者 E-mail: xyc@njau.edu.cn

which, there are 42 aroma components. Relative contents of alkanes, alkenes, and alcohols in petals of 20 cultivars of *N. nucifera* are high, and all are detected in 20 cultivars; while those of esters, ketones, and aldehydes are low, and are detected only in several cultivars. There are differences in numbers and relative contents of volatile components in petals of different cultivars of *N. nucifera*. Numbers of volatile components in petals of ‘Dasajin’, ‘16-A10-1’, and ‘16-A10-27’ are large, with 27, 21, and 20, respectively. Relative contents of volatile components in petals of ‘Dasajin’, ‘Bolifuren’, and ‘Ziye’ are high, with 93.58%, 91.92%, and 91.79%, respectively. Main volatile component in petals of ‘Jiaxianlian’, ‘Ziye’, ‘Zhongguohong Jinggangshan’, ‘27-1’, ‘16-A9-55’, ‘16-A9-49’, ‘Zhufengcuiying’, ‘Jintaiyang’, ‘Molingqiuse’, and ‘Dasajin’ is *n*-hexadecane, that in petals of ‘Zhongguohong Beijing’, ‘16-A10-30’, ‘16-A10-27’, ‘39-1’, ‘Yixianlian’, ‘Bolifuren’, and ‘16-A9-44’ is *n*-pentadecane, and those in petals of ‘16-A10-1’, ‘Hongtailian’, and ‘Aijiangan’ are 1-hexadecene, α -caryophyllene, and 1-caryophyllene, respectively. The result of cluster analysis shows that ‘Ziye’, ‘Hongtailian’, ‘16-A10-27’, ‘Molingqiuse’, and ‘Aijiangan’ are clustered into Group A, ‘Yixianlian’ is clustered into Group C alone, other 14 cultivars are clustered into Group B. 1-caryophyllene, α -caryophyllene, and α -terpineol have an important contribution on aroma of cultivars of *N. nucifera* in Group A, sabinene, 7-hexadecylene-(*E*), and 5-octadecylene-(*Z*) do in Group B, and α -terpinene does in Group C. The comprehensive research result shows that there is no obvious association of aroma components with flower color and petal type of *N. nucifera*, and specific aroma components in petals of different cultivars play a decisive role in their aroma.

Key words: *Nelumbo nucifera* Gaertn.; headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technology; volatile component; aroma component; relative content

荷花 (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 隶属于莲科 (Nelumbonaceae) 莲属 (*Nelumbo* Adans.), 又称莲花、芙蓉、水芙蓉, 为多年生大型挺水草本植物, 其外形高雅圣洁、花型大、叶片翠绿, 观赏价值极高, 常作为园林景观植物被广泛应用于湿地公园、观赏庭院、城市公园和静态水景布置^[1]。荷花的花和叶具有独特的浓香, 自古以来就被称为“熏风第一花”。荷花已有 1 300 余个品种, 涵盖了红色、粉色、淡紫堇色、白色、黄色、复色和洒锦色 7 种花色, 单瓣、半重瓣、重瓣、重台和千瓣 5 种瓣型^[1]。目前, 荷花的育种目标重点集中在花色和瓣型, 忽视了对花香这一性状的定向选育。随着荷花鲜切花和盆栽荷花市场的发展, 以及人们对芳香植物的喜爱, 香型荷花市场需求大, 培育不同香型的荷花品种将成为未来重要的育种方向。

花香被誉为“花卉的灵魂”, 由花朵释放的一系列低相对分子质量挥发性成分混合而成^[2-3]。对于花朵而言, 花香是重要的观赏性状之一, 在很大程度上影响着植物的观赏价值, 也是观赏植物的育种目标之一。从植物花朵中提取的天然香料, 不仅在日化、食品和医疗领域中有应用, 而且在美容保健、芳香疗法、消毒灭菌和空气清新等方面应用广泛^[4]。近年来花香成为国内外研究的热点, 据 Knudsen 等^[5]统计, 已鉴定出的花香成分约 1 719 种, 其中 12 种普遍存在于种子植物中。国内学者在陆生芳香植物的花

香成分组成方面也展开了研究, 如月季花 (*Rosa chinensis* Jacq.)^[6]、杜鹃 (*Rhododendron simsii* Planch.)^[7]、梅 (*Armeniaca mume* Sieb.)^[8]、茉莉花 [*Jasminum sambac* (Linn.) Ait.]^[9]、百合 (*Lilium brownii* var. *viridulum* Baker)^[10]、桂花 [*Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.]^[11]、文心兰 (*Oncidium* spp.)^[12] 和刺槐属 (*Robinia* Linn.)^[13] 等, 而对水生花卉花香成分的研究较少, 徐双双等^[14]对荷花品种‘洪湖红莲’ (‘Honghuhonglian’)、‘红万万’ (‘Hongwanwan’)、‘红牡丹’ (‘Hongmudan’)、‘白万万’ (‘Baiwanwan’) 和‘黄牡丹’ (‘Huangmudan’) 的挥发性成分进行了测定分析, 但侧重于实验条件的优化; 邓娇等^[15]测定了荷花品种‘白鸽’ (‘Baige’)、‘白海莲’ (‘Baihailian’)、‘野红莲’ (‘Yehonglian’) 和‘磨山红’ (‘Moshanhong’), 美洲黄莲 (*Nelumbo lutea* Pters) 品种‘晶雀’ (‘Jingque’) 以及荷花与美洲黄莲的杂交品种‘黄牡丹’花瓣中挥发性成分的组成和含量, 认为挥发性成分的差异与荷花种源密切相关。

鉴于前人的研究选取的荷花品种和花色相对较少, 本研究选取 20 个典型的观赏型荷花品种, 涵盖红色、粉色、白色、黄色和复色 5 种花色以及单瓣、重瓣、半重瓣和重台 4 种瓣型, 利用顶空固相微萃取-气质联用 (HS-SPME-GC-MS) 技术对其花瓣中挥发性成

进行分析,检测挥发性成分的种类和相对含量,并分析挥发性成分的种类和相对含量在不同品种间的异同;在此基础上,根据其中的释香成分,采用聚类分析法将荷花20个品种进行分组,分析组内荷花品种中挥发性成分组成的相似性及组间差异,为后续荷花芳香产品深加工的研究开发提供理论支持,并为培育荷花不同香型品种奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试荷花20个品种采自南京市艺莲苑花卉有限公司。于2016年7月25日至7月27日清晨5:30至6:00采集荷花各品种盛花期花瓣,每个品种采集3朵花。供试荷花20个品种的花色和瓣型见表1。

1.2 方法

用电子天平(精度0.01 g)分别称取荷花各品种花瓣2.50 g,分别放置在40 mL带有塑料瓶盖的棕色进样瓶中,塑料瓶盖上覆有聚四氟乙烯隔膜。为了使

表1 供试荷花20个品种的花色和瓣型
Table 1 Flower color and petal type of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. tested

编号 No.	品种 Cultivar	花色 Flower color	瓣型 Petal type
1	16-A10-1	红色 Red	单瓣 Single
2	稼先莲 Jiaxianlian	红色 Red	单瓣 Single
3	中国红·北京 Zhongguohong Beijing	红色 Red	单瓣 Single
4	16-A10-30	红色 Red	重瓣 Double
5	子夜 Ziyè	红色 Red	重瓣 Double
6	中国红·井冈山 Zhongguohong Jinggangshan	红色 Red	半重瓣 Semidouble
7	红台莲 Hongtailian	红色 Red	重台 Duplicated
8	16-A10-27	粉色 Pink	单瓣 Single
9	27-1	粉色 Pink	重瓣 Double
10	39-1	粉色 Pink	半重瓣 Semidouble
11	16-A9-55	白色 White	单瓣 Single
12	金太阳 Jintaiyang	黄色 Yellow	重瓣 Double
13	珠峰翠影 Zhufengcuiying	白色 White	重台 Duplicated
14	16-A9-49	白色 White	重瓣 Double
15	秣陵秋色 Molingqiuse	黄色 Yellow	重瓣 Double
16	艾江南 Aijiangnan	黄色 Yellow	半重瓣 Semidouble
17	逸仙莲 Yixianlian	复色 Multi-color	单瓣 Single
18	伯里夫人 Bolifuren	复色 Multi-color	重瓣 Double
19	大洒锦 Dasajin	复色 Multi-color	重瓣 Double
20	16-A9-44	复色 Multi-color	重台 Duplicated

挥发性成分得到最大的释放,采样后将棕色进样瓶置于45℃的水浴锅中水浴1 h,然后以顶空固相微萃取方式对挥发性成分进行萃取收集^[16]。

采用 Agilent GC6890N/MS5973 气质联用仪(美国 Agilent 公司)进行 GC-MS 分析。HP-5 弹性石英纤维毛细管柱(30 m×0.1 mm×0.33 μm,美国 Agilent 公司),载气为高纯氮气,流速 1 mL·min⁻¹;升温程序:初始温度 40℃,保持 2 min;以 4℃·min⁻¹升温至 110℃,保持 2 min;以 3℃·min⁻¹升温至 150℃,保持 2 min;以 5℃·min⁻¹升温至 200℃,保持 4 min。进样方式:不分流。质谱条件:离子源温度 230℃;四极杆温度 150℃;电离方式 EI;接口温度 260℃;电子能量 70 eV;全扫描模式,扫描范围 35~540 amu。进样前需将固相微萃取纤维头在气质联用仪的进样口老化,250℃老化 1 h,载气流速 0.9 mL·min⁻¹。

1.3 数据分析

将 GC-MS 分析得到的总离子流图的各峰在标准 NIST98 谱图库中检索,并与标准谱图进行对照,对挥发性成分进行鉴定。参考王学敬等^[17]的方法,采用峰面积归一化法计算挥发性成分的相对含量。

采用 EXCEL 2003 软件对挥发性成分的数量和相对含量进行统计分析,采用 IBM SPSS Statistics 20 软件基于释香成分对供试荷花品种进行聚类分析。

2 结果和分析

2.1 荷花不同品种花瓣挥发性成分的分析

从荷花20个品种花瓣中共检测出挥发性成分69个,包括烷烃类化合物18个,烯烃类化合物24个,醇类化合物8个,酯类化合物6个,酮类、醛类、胺类和酸类化合物各2个,其他化合物5个,其中,烷烃类、烯烃类、醇类和酯类化合物及其相对含量分别见表2、表3、表4和表5。结果显示:大多数荷花品种花瓣中检出较多的烷烃类、烯烃类和醇类化合物,而酯类、酮类、醛类和胺类化合物较少,如酮类化合物仅在‘稼先莲’(‘Jiaxianlian’)、‘39-1’、‘16-A9-49’、‘秣陵秋色’(‘Molingqiuse’)和‘大洒锦’(‘Dasajin’)中检出,醛类化合物仅在‘中国红·北京’(‘Zhongguohong Beijing’)、‘红台莲’(‘Hongtailian’)、‘珠峰翠影’(‘Zhufengcuiying’)和‘秣陵秋色’中检出,胺类化合物仅在‘39-1’和‘大洒锦’中检出。

荷花不同品种间花瓣中挥发性成分的数量和相对含量存在差异。‘大洒锦’花瓣中挥发性成分数量最多(27 个); ‘16-A10-1’ 和 ‘16-A10-27’ 花瓣中挥发性成分数量也较多, 分别为 21 和 20 种; 其他品种

表 2 荷花 20 个品种花瓣中烷烃类化合物及其相对含量¹⁾
Table 2 Alkanes and their relative contents in petals of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn.¹⁾

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
decamethyl cyclopentasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>n</i> -tridecane	0.29	0.60	—	0.87	—	1.67	—	1.71	0.45	0.29
<i>n</i> -hexadecane	14.53	38.63	12.20	3.07	39.74	31.39	—	10.72	35.31	—
<i>n</i> -eicosane	1.18	0.34	9.64	3.76	0.39	0.63	—	—	0.66	2.43
6-ethyl-2-methyl decane	—	—	—	—	—	—	0.34	—	—	—
2-methyl heptadecane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
dodecamethyl pentasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>n</i> -pentadecane	3.21	4.99	32.84	48.54	1.47	8.47	16.39	25.56	12.56	42.66
heptamethyl nonane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>n</i> -tetradecane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
decamethyl terasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-acetoxyacetyl nonadecane	—	—	—	—	—	—	—	—	0.23	—
2,6-dimethyl heptadecane	—	—	—	—	—	—	—	0.52	—	—
10,10-dimethyl-2,6-bicyclo [7.2.0]hendecane	—	—	—	—	1.06	—	—	—	—	—
1,3,3-trimethyl-tricyclo [2.2.1.0(2,6)]heptane	—	—	—	—	—	—	2.15	—	—	—
dodecamethyl cyclohexasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
tetramethyl cyclododecasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
octadecamethyl cyclononasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
decamethyl cyclopentasiloxane	—	—	0.44	—	0.92	—	0.26	—	0.42	—
<i>n</i> -tridecane	1.08	—	0.48	1.71	—	0.25	—	0.94	0.67	0.60
<i>n</i> -hexadecane	21.36	35.23	49.39	20.20	31.42	24.15	24.74	11.54	32.92	12.97
<i>n</i> -eicosane	6.63	—	2.64	0.25	—	—	—	3.48	2.53	5.38
6-ethyl-2-methyl decane	—	0.29	—	—	—	—	—	—	—	—
2-methyl heptadecane	—	—	—	—	0.20	—	—	—	—	—
dodecamethyl pentasiloxane	—	—	0.24	—	0.52	—	—	—	—	—
<i>n</i> -pentadecane	13.72	3.47	4.64	—	23.52	10.40	34.91	31.91	—	19.78
heptamethyl nonane	—	—	—	—	0.23	—	—	—	—	—
<i>n</i> -tetradecane	—	—	—	—	—	—	0.46	—	—	—
decamethyl terasiloxane	—	—	—	—	—	—	2.75	—	—	—
1-acetoxyacetyl nonadecane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,6-dimethyl heptadecane	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10,10-dimethyl-2,6-bicyclo [7.2.0]hendecane	—	—	—	—	—	2.08	—	—	—	—
1,3,3-trimethyl-tricyclo [2.2.1.0(2,6)]heptane	—	—	—	—	—	—	—	—	0.31	—
dodecamethyl cyclohexasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	0.98	—
tetramethyl cyclododecasiloxane	—	—	—	—	8.27	—	—	—	0.79	—
octadecamethyl cyclononasiloxane	—	—	—	—	—	—	—	—	0.91	—

¹⁾ 1: ‘16-A10-1’; 2: ‘稼先莲’ ‘Jiaxianlian’; 3: ‘中国红·北京’ ‘Zhongguohong Beijing’; 4: ‘16-A10-30’; 5: ‘子夜’ ‘Ziye’; 6: ‘中国红·井冈山’ ‘Zhongguohong Jinggangshan’; 7: ‘红台莲’ ‘Hongtailian’; 8: ‘16-A10-27’; 9: ‘27-1’; 10: ‘39-1’; 11: ‘16-A9-55’; 12: ‘金太阳’ ‘Jintaiyang’; 13: ‘珠峰翠影’ ‘Zhufengcuiying’; 14: ‘16-A9-49’; 15: ‘秣陵秋色’ ‘Molingqiuse’; 16: ‘艾江南’ ‘Aijiangnan’; 17: ‘逸仙莲’ ‘Yixianlian’; 18: ‘伯里夫人’ ‘Bolifuren’; 19: ‘大洒锦’ ‘Dasajin’; 20: ‘16-A9-44’. —: 未检出 Undetected.

花瓣中挥发性成分数量为 11~19。‘大洒锦’花瓣中挥发性成分的相对含量最高,为 93.58%;‘伯里夫人’(‘Bolifuren’)和‘子夜’(‘Ziye’)花瓣中挥发性成分的相对含量也较高,分别为 91.92%和 91.79%;‘中国红·井冈山’(‘Zhongguohong Jinggangshan’)和‘16-A9-55’花瓣中挥发性成分的相对含量较低,分别为 81.04%和 82.16%。

荷花 20 个品种中,‘稼先莲’、‘子夜’、‘中国红·井冈山’、‘27-1’、‘16-A9-55’、‘金太阳’(‘Jintaiyang’)、‘珠峰翠影’、‘16-A9-49’、‘秣陵秋色’和‘大洒锦’花瓣中正十六烷的相对含量最高,为这些品种的主要挥发性成分,相对含量分别为

38.63%、39.74%、31.39%、35.31%、21.36%、35.23%、49.39%、20.20%、31.42%和 32.92%;‘中国红·北京’、‘16-A10-30’、‘16-A10-27’、‘39-1’、‘逸仙莲’(‘Yixianlian’)、‘伯里夫人’和‘16-A9-44’花瓣中正十五烷的相对含量最高,为这些品种的主要挥发性成分,相对含量分别为 32.84%、48.54%、25.56%、42.66%、34.91%、31.91%和 19.78%;‘16-A10-1’花瓣中 1-十六烯的相对含量最高,为 30.09%;‘红台莲’花瓣中 α -石竹烯的相对含量最高,为 32.85%;‘艾江南’(‘Aijiangnan’)花瓣中 1-石竹烯的相对含量最高,为 26.24%。

表 3 荷花 20 个品种花瓣中烯烃类化合物及其相对含量¹⁾

Table 3 Alkenes and their relative contents in petals of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn.¹⁾

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4-isopropylidene-1-methyl cyclohexene	0.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pinene	0.29	—	—	—	—	3.29	3.15	—	—	—
sabinene	4.09	0.38	3.96	—	4.36	5.97	3.68	0.49	—	2.21
myrcene	0.53	2.14	—	—	0.64	2.19	0.26	6.33	0.52	—
α -terpinene	0.56	—	0.67	—	1.08	—	0.69	0.42	—	0.41
1-caryophyllene	—	0.61	0.30	—	16.72	0.72	4.48	9.01	2.29	—
β -pinene	—	—	—	—	—	—	—	0.33	—	—
D-limonene	—	—	—	—	0.85	—	0.44	2.91	0.34	—
3,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1] hept-2-ene	—	—	0.82	—	—	—	—	—	—	—
γ -terpinene	0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1-hexadecene	30.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-pinene	—	—	—	—	—	4.29	—	—	—	—
cinene	—	0.69	—	—	—	—	—	—	—	—
α -caryophyllene	0.22	—	—	—	2.27	—	32.85	1.06	—	—
squalane-(E,E,E,E)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7-hexadecylene-(E)	5.25	8.89	5.84	9.59	5.40	6.84	6.42	3.84	11.87	—
5-octadecylene-(Z)	10.72	10.70	2.28	8.94	—	2.91	—	1.01	2.64	6.77
9-octadecylene-(Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,11,11-trimethyl-8- methylidenebicyclo[7.2.0]undec-4- ene-[1R-(1R*,4Z,9S*)]	1.44	—	—	0.31	—	—	—	—	—	—
cubebene	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8-heptadecene	—	—	—	—	—	—	5.33	1.20	—	0.95
2-methyl-7-hexadecylene-(Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	—
3,6-dihydro-4-(4-methyl-3-phenyl)- 1,1-thiophene	—	—	—	—	0.64	2.19	0.26	—	—	—
4-methyl-3-(1-methylethylidene) cyclohexene	—	—	—	—	—	—	—	0.49	—	—

续表4 Table 4 (Continued)

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1,8-cineole	3.10	—	—	6.02	0.90	0.55	—	0.40	6.16	5.37
linalool	—	0.16	—	—	—	—	—	—	3.14	—
4-terpineol	0.33	0.75	—	1.32	2.14	—	—	—	3.05	1.07
α -terpineol	0.21	0.04	4.54	6.08	0.36	—	—	—	6.10	0.47
linolenyl alcohol	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—	—
9-octadecenyl tetradecalcohol-(Z)	—	—	—	11.59	—	3.16	—	8.00	—	—
8-dodecene-1-ol-(Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9-hexadecenoic-1-ol-(E)	—	—	—	—	—	—	0.31	—	—	—

¹⁾ 1: '16-A10-1'; 2: '稼先莲' 'Jiaxianlian'; 3: '中国红·北京' 'Zhongguohong Beijing'; 4: '16-A10-30'; 5: '子夜' 'Ziye'; 6: '中国红·井冈山' 'Zhongguohong Jinggangshan'; 7: '红台莲' 'Hongtailian'; 8: '16-A10-27'; 9: '27-1'; 10: '39-1'; 11: '16-A9-55'; 12: '金太阳' 'Jintaiyang'; 13: '珠峰翠影' 'Zhufengcuiying'; 14: '16-A9-49'; 15: '秣陵秋色' 'Molingqiuse'; 16: '艾江南' 'Aijiangnan'; 17: '逸仙莲' 'Yixianlian'; 18: '伯里夫人' 'Bolifuren'; 19: '大洒锦' 'Dasajin'; 20: '16-A9-44'. —: 未检出 Undetected.

表5 荷花20个品种花瓣中酯类化合物及其相对含量¹⁾Table 5 Esters and their relative contents in petals of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn.¹⁾

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11,14,17-eicosatrienoic acid methyl ester-(Z,Z,Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.57	—
5-tetradecenyl acetate-(Z)	—	—	5.28	—	—	—	—	—	—	—
11,14-eicosapentaenoic acid methyl ester-(Z,Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
isopropyl palmitate	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
dodec-5-enyl acetate	—	—	—	11.29	—	—	—	—	9.24	13.08
α -terpineol acetate	—	—	—	—	0.32	—	0.27	—	—	—

化合物 Compound	不同品种花瓣中各化合物的相对含量/% Relative content of each compound in petals of different cultivars									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11,14,17-eicosatrienoic acid methyl ester-(Z,Z,Z)	4.77	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5-tetradecenyl acetate-(Z)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,14-eicosapentaenoic acid methyl ester-(Z,Z)	—	15.08	—	—	—	—	—	—	—	—
isopropyl palmitate	—	—	—	—	—	—	—	—	0.35	—
dodec-5-enyl acetate	—	—	4.21	—	—	—	0.48	—	—	7.98
α -terpineol acetate	0.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ 1: '16-A10-1'; 2: '稼先莲' 'Jiaxianlian'; 3: '中国红·北京' 'Zhongguohong Beijing'; 4: '16-A10-30'; 5: '子夜' 'Ziye'; 6: '中国红·井冈山' 'Zhongguohong Jinggangshan'; 7: '红台莲' 'Hongtailian'; 8: '16-A10-27'; 9: '27-1'; 10: '39-1'; 11: '16-A9-55'; 12: '金太阳' 'Jintaiyang'; 13: '珠峰翠影' 'Zhufengcuiying'; 14: '16-A9-49'; 15: '秣陵秋色' 'Molingqiuse'; 16: '艾江南' 'Aijiangnan'; 17: '逸仙莲' 'Yixianlian'; 18: '伯里夫人' 'Bolifuren'; 19: '大洒锦' 'Dasajin'; 20: '16-A9-44'. —: 未检出 Undetected.

2.2 荷花不同品种花瓣中释香成分的比较

烯烴类、醇类、酯类、酮类和醛类化合物为释香成分。荷花20个品种花瓣中释香成分共有42个,各品种花瓣中释香成分的数量和相对含量见表6。结果显示:'16-A10-1'和'红台莲'花瓣中释香成分有15个,'16-A10-27'、'16-A9-55'和'大洒锦'花瓣中释香成分有14个,'16-A9-49'花瓣中释香成分有13个,'子夜'和'16-A9-44'花瓣中释香成分有12

个,'稼先莲'、'中国红·北京'和'中国红·井冈山'花瓣中释香成分有11个,'27-1'和'金太阳'花瓣中释香成分有10个,'39-1'和'秣陵秋色'花瓣中释香成分有9个,'珠峰翠影'和'艾江南'花瓣中释香成分有8个,'逸仙莲'和'伯里夫人'花瓣中释香成分有6个,'16-A10-30'花瓣中释香成分有5个。
2.2.1 烯烴类化合物的比较 由表3和表6可见:荷花20个品种花瓣中烯烴类化合物共有24个。

‘16-A10-1’和‘红台莲’花瓣中烯烴类化合物的相对含量较高,分别为 53.70%和 57.54%,‘16-A10-1’花瓣中烯烴类化合物有 11 个,其中,1-十六烯的相对含量最高,为 30.09%,且仅存在于该品种中;‘红台莲’花瓣中烯烴类化合物有 10 个,其中, α -石竹烯的相对含量最高,为 32.85%,而该化合物在其他品种中相对含量较低或未检出;‘秣陵秋色’花瓣中烯烴类化合物的相对含量最低,仅 6.39%。‘16-A10-27’和‘16-A9-55’花瓣中烯烴类化合物也较多,分别有 11 和 9 个,相对含量分别为 27.08%和 27.43%。‘27-1’、‘16-A9-55’、‘16-A9-49’、‘金太阳’、‘伯里夫人’和‘16-A9-44’花瓣中反-7-十六烯的相对含量均高于 10%,为这些品种的主要挥发性成分。‘子夜’、‘中国红·井冈山’、‘16-A9-49’、‘大洒锦’和‘16-A9-44’花瓣中烯烴类化合物均有 8 个,相对含量分别为 31.96%、28.41%、35.36%、26.78%和 32.25%,‘子夜’花瓣中 1-石竹烯含量最高,为 16.72%,为主要的挥发性成分。‘16-A9-30’和‘伯里夫人’花瓣中烯烴类化合物较

少,仅 3 个,相对含量分别为 18.84%和 30.83%。

2.2.2 醇类化合物的比较 由表 4 和表 6 可见:荷花 20 个品种花瓣中醇类化合物共有 8 个,多数品种花瓣中含 3 或 4 个醇类化合物,少数品种花瓣中含 1 或 2 个醇类化合物。‘16-A9-49’花瓣中醇类化合物的相对含量最高,为 25.01%,其中,顺-9-十四碳烯醇的相对含量最高,为 11.59%,为主要挥发性成分;‘16-A10-1’、‘稼先莲’、‘16-A10-27’和‘大洒锦’花瓣中醇类化合物的相对含量也较高,分别为 14.58%、18.71%、15.46%和 18.45%,其中,顺-9-十四碳烯醇在‘16-A10-1’和‘稼先莲’花瓣中的相对含量最高,分别为 8.99%和 12.15%,为主要挥发性成分;‘16-A10-30’和‘逸仙莲’花瓣中醇类化合物的相对含量较低,分别为 0.54%和 0.31%。

2.2.3 酯类化合物的比较 由表 5 和表 6 可见:荷花 20 个品种花瓣中酯类化合物共有 6 个,‘中国红·北京’、‘16-A10-30’、‘子夜’、‘红台莲’、‘27-1’、‘39-1’、‘16-A9-55’、‘金太阳’、‘珠峰翠影’、‘逸仙莲’、‘大洒锦’和‘16-A9-44’花瓣中含 1 或 2 个

表 6 荷花 20 个品种花瓣中释香成分的数量和相对含量¹⁾

Table 6 Numbers and relative contents of aroma components in petals of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn.¹⁾

编号 No.	品种 Cultivar	烯烴类化合物 Alkenes		醇类化合物 Alcohols		酯类化合物 Esters		酮类化合物 Ketones		醛类化合物 Aldehydes		合计 Total	
		N	RC/%	N	RC/%	N	RC/%	N	RC/%	N	RC/%	N	RC/%
1	16-A10-1	11	53.70	4	14.58	—	—	—	—	—	—	15	68.28
2	稼先莲 Jiaxianlian	6	23.40	4	18.71	—	—	1	0.26	—	—	11	42.36
3	中国红·北京 Zhongguohong Beijing	6	13.88	3	4.77	1	5.28	—	—	1	0.75	11	24.67
4	16-A10-30	3	18.84	1	0.54	1	11.29	—	—	—	—	5	30.67
5	子夜 Ziye	8	31.96	3	6.43	1	0.32	—	—	—	—	12	38.71
6	中国红·井冈山 Zhongguohong Jinggangshan	8	28.41	3	9.61	—	—	—	—	—	—	11	38.01
7	红台莲 Hongtailian	10	57.54	3	6.14	1	0.27	—	—	1	0.65	15	64.60
8	16-A10-27	11	27.08	3	15.46	—	—	—	—	—	—	14	42.53
9	27-1	6	17.78	2	8.06	2	9.81	—	—	—	—	10	35.65
10	39-1	4	10.33	3	2.44	1	13.08	1	4.36	—	—	9	30.21
11	16-A9-55	9	27.43	3	3.64	2	5.05	—	—	—	—	14	36.11
12	金太阳 Jintaiyang	6	26.25	3	0.94	1	15.08	—	—	—	—	10	42.27
13	珠峰翠影 Zhufengcuiying	5	14.80	1	4.54	1	4.21	—	—	1	3.46	8	27.00
14	16-A9-49	8	35.36	4	25.01	—	—	1	0.18	—	—	13	60.55
15	秣陵秋色 Molingqiuse	4	6.39	3	3.40	—	—	1	0.84	1	2.35	9	12.98
16	艾江南 Aijiangnan	6	36.20	2	3.71	—	—	—	—	—	—	8	39.91
17	逸仙莲 Yixianlian	4	13.56	1	0.31	1	0.48	—	—	—	—	6	14.34
18	伯里夫人 Bolifuren	3	30.83	3	8.47	—	—	—	—	—	—	6	39.30
19	大洒锦 Dasajin	8	26.78	4	18.45	1	0.35	1	0.62	—	—	14	46.20
20	16-A9-44	8	32.25	3	6.91	1	7.98	—	—	—	—	12	47.14

¹⁾N: 数量 Number; RC: 相对含量 Relative content. —: 未检出 Undetected.

酯类化合物,其他品种花瓣中不含酯类化合物。‘金太阳’花瓣中酯类化合物相对含量最高,为15.08%,仅包含顺-11,14-二十碳二烯酸甲酯;‘16-A10-30’和‘39-1’花瓣中酯类化合物的相对含量较高,分别为11.29%和13.08%,均仅含乙酸-5-十二烯醇酯;‘27-1’花瓣中酯类化合物的相对含量也较高,为9.81%。

2.2.4 酮类化合物的比较 荷花20个品种花瓣中酮类化合物共有2个,‘稼先莲’、‘16-A9-49’和‘秣陵秋色’花瓣中顺-环二十酮的相对含量分别为0.26%、0.18%和0.84%,‘39-1’和‘大洒锦’花瓣中1-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)-丙酮的相对含量分别为4.36%和0.62%,其他品种花瓣中未检出酮类化合物。

2.2.5 醛类化合物的比较 荷花20个品种花瓣中醛类化合物共有2个,‘红台莲’、‘珠峰翠影’和‘秣陵秋色’花瓣中顺-14-十六碳醛的相对含量分别为0.65%、3.46%和2.35%,‘中国红·北京’花瓣中9,12,15-十八碳三烯醛的相对含量为0.75%,其他品种花瓣中未检出醛类化合物。

2.3 荷花不同品种花瓣中胺类、酸类和其他化合物的比较

2.3.1 胺类化合物的比较 荷花20个品种花瓣中胺类化合物共有2个,‘39-1’花瓣中*N,N*-二甲基十九烷-1-胺的相对含量为1.57%,‘大洒锦’花瓣中*N*-丁基苯磺酰胺的相对含量为0.44%,其他品种花瓣中未检出胺类化合物。

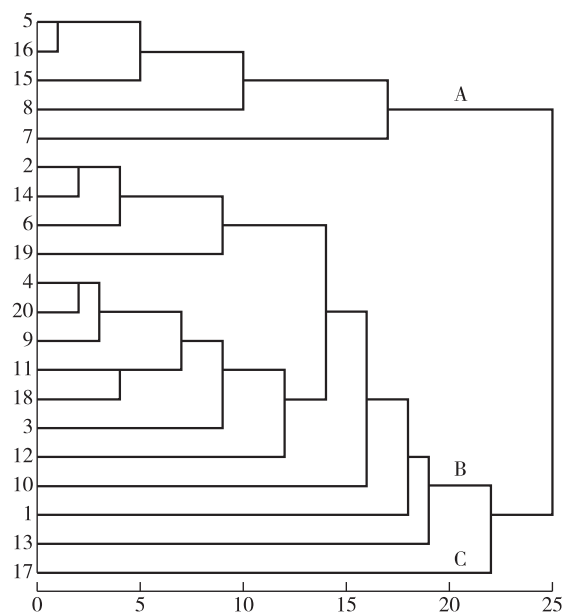
2.3.2 酸类化合物的比较 荷花20个品种花瓣中酸类化合物共有2个,‘16-A10-1’、‘16-A10-30’、‘27-1’、‘金太阳’、‘艾江南’和‘伯里夫人’花瓣中均含*L*-丙氨酰甘氨酸和*DL*-丙氨酰-*L*-甘氨酸,其他品种花瓣中仅含*DL*-丙氨酰-*L*-甘氨酸。

2.3.3 其他化合物的比较 ‘子夜’、‘16-A10-27’、‘16-A9-49’、‘金太阳’、‘秣陵秋色’、‘艾江南’、‘逸仙莲’、‘伯里夫人’、‘大洒锦’和‘16-A9-44’花瓣中均含对苯二甲醚,其中,对苯二甲醚在‘艾江南’花瓣中的相对含量最高(11.24%),在‘子夜’、‘16-A10-27’和‘伯里夫人’花瓣中的相对含量均高于1%;‘大洒锦’花瓣中含9-十八炔,相对含量为4.83%;‘39-1’和‘大洒锦’花瓣中均含4-十八烷基-吗啉,且在‘39-1’花瓣中的相对含量较高(8.81%);‘子夜’花瓣中含石竹素,‘艾江南’花瓣中

含(1*S*,8*aR*)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8*a*-六氢萘,但相对含量均较低。

2.4 基于释香成分的荷花20个品种的聚类分析

基于释香成分的荷花20个品种的聚类分析图见图1。由图1可见:荷花20个品种可分为3组,‘子夜’、‘红台莲’、‘16-A10-27’、‘秣陵秋色’和‘艾江南’聚为A组,‘逸仙莲’单独聚为C组,其他14个品种聚为B组。A组特有的释香成分为 β -蒎烯、4-甲基-3-(1-甲基亚乙基)-环己烯和顺-8-十二烯-1-醇;B组特有的释香成分较多,包括萜品油烯、3,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯、 γ -萜品烯、1-十六烯、2-蒎烯、双戊烯、反式角鲨烯、顺-9-十八烯、[1*R*-(1*R**,4*Z*,9*S**)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-双环[7.2.0]4-十一烯和顺-2-甲基-7-十六烯10个烯烴类化合物,芳樟醇和亚麻醇2个醇类化合物,顺-11,14,17-二十碳三烯酸甲酯、顺-5-十四碳烯-1-醇乙酸酯、顺-11,14-二十碳二烯酸甲酯和棕榈酸异丙酯4个酯类化合物,以及1-(3,5-二叔丁基-4-羟



1: ‘16-A10-1’; 2: ‘稼先莲’ ‘Jiaxianlian’; 3: ‘中国红·北京’ ‘Zhongguohong Beijing’; 4: ‘16-A10-30’; 5: ‘子夜’ ‘Ziye’; 6: ‘中国红·井冈山’ ‘Zhongguohong Jinggangshan’; 7: ‘红台莲’ ‘Hongtailian’; 8: ‘16-A10-27’; 9: ‘27-1’; 10: ‘39-1’; 11: ‘16-A9-55’; 12: ‘金太阳’ ‘Jintaiyang’; 13: ‘珠峰翠影’ ‘Zhufengcuiying’; 14: ‘16-A9-49’; 15: ‘秣陵秋色’ ‘Molingqiuse’; 16: ‘艾江南’ ‘Aijiangnan’; 17: ‘逸仙莲’ ‘Yixianlian’; 18: ‘伯里夫人’ ‘Bolifuren’; 19: ‘大洒锦’ ‘Dasajin’; 20: ‘16-A9-44’.

图1 基于释香成分的荷花20个品种的聚类分析图
Fig. 1 Cluster analysis graph of 20 cultivars of *Nelumbo nucifera* Gaertn. based on aroma components

基苯基)-丙酮和9,12,15-十八碳三烯醛;C组特有的释香成分为萜澄茄油烯和反-9-十六碳烯-1-醇。

3 讨论和结论

本研究利用HS-SPME-GC-MS技术从荷花20个品种花瓣中共检出69个挥发性成分,包括烷烃类、烯烃类、醇类、酯类、醛类、酮类和胺类化合物,以及5个其他化合物,其中,烷烃类、烯烃类和醇类化合物的数量较多,相对含量较高。荷花不同品种花瓣中的挥发性成分及其相对含量差异较大,如:‘中国红·北京’、‘16-A10-30’、‘16-A10-27’、‘39-1’、‘逸仙莲’、‘伯里夫人’和‘16-A9-44’花瓣中正十五烷的相对含量最高,‘稼先莲’、‘子夜’、‘中国红·井冈山’、‘27-1’、‘16-A9-55’、‘16-A9-49’、‘珠峰翠影’、‘金太阳’、‘秣陵秋色’和‘大洒锦’花瓣中正十六烷的相对含量最高,其他3个品种花瓣中相对含量最高的挥发性成分也各不相同,这与徐双双等^[14]和邓娇等^[15]对荷花花瓣中挥发性成分组成的研究结果相似。

在荷花20个品种花瓣中检出的释香成分有42个,其中,烯烃类化合物的数量最多,相对含量最高,是主要释香成分;其次是醇类和酯类化合物。百合^[10]、桂花^[11]、文心兰^[12]和刺槐属^[13]等的释香成分研究结果均表明:烯类化合物是主要释香成分。聚类分析结果显示:根据荷花20个品种花瓣中的释香成分,20个品种可以分为3组,‘子夜’、‘红台莲’、‘16-A10-27’、‘秣陵秋色’和‘艾江南’聚为A组,逸仙莲单独聚为C组,其他14个品种聚为B组。对比3组间荷花品种花瓣中的释香成分,A组中多数荷花品种花瓣中含1-石竹烯、 α -石竹烯和 α -松油醇,推测这些释香成分对A组荷花品种的香气具有重要贡献,其中,1-石竹烯和 α -松油醇具有类似松木和丁香的味道;B组荷花品种花瓣中的桉烯、反-7-十六烯和顺-5-十八烯对该组荷花品种的香气具有重要贡献;C组‘逸仙莲’花瓣中的 α -萜品烯对其香气具有重要贡献。邓娇等^[15]认为,荷花花瓣中的挥发物质与花色无相关性,而与遗传背景密切相关。本研究中,A、B和C3组内荷花品种的瓣型和花色并不一致,也表明荷花花瓣中的释香成分与瓣型和花色无明显关联。研究结果还显示:荷花不同品种花瓣中特有的释香成分可能决定了不同品种的香味存在差异,这为后续进行不同香型荷花香料的深加工提供了可能,

同时也为荷花不同香型品种的育种提供了基础资料。本研究只对处于同一花期的荷花花瓣的挥发性成分进行了探究,而荷花在不同花期的挥发性成分及其含量的变化规律以及不同花部位的挥发性成分存在的差异还需更深入的研究。

参考文献:

- [1] 王其超,张行言.中国荷花品种图志[M].北京:中国林业出版社,2005:2-81.
- [2] DUDAREVA N, PICHERSKY E. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents[J]. Plant Physiology, 2000, 122(3): 627-633.
- [3] KNUDSEN J T, TOLLSTEN L. Trends in floral scent chemistry in pollination syndromes: floral scent composition in moth-pollinated taxa[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 1993, 113(3): 263-284.
- [4] 刘布鸣,莫建光.实用芳香精油图谱[M].南宁:广西科学技术出版社,2016:1-7.
- [5] KNUDSEN J T, ERIKSSON R, GERSHENZON J. Diversity and distribution of floral scent[J]. The Botanical Review, 2006, 72(1): 1-120.
- [6] 叶灵军.古老月季品种主要香气成分探究[J].现代园艺,2017(1):16.
- [7] 张继,马君义,黄爱仑,等.千里香杜鹃挥发性成分的分析研究[J].园艺学报,2002,29(4):386-388.
- [8] 赵印泉,潘会堂,张启翔,等.梅花花朵香气成分时空动态变化的研究[J].北京林业大学学报,2010,32(4):201-206.
- [9] 刘建军,耶兴元,郭桂义,等.茉莉花香气分析及收集方法研究进展[J].河南农业,2011(3下):58,60.
- [10] 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.
- [11] 邹晶晶,蔡璇,曾祥玲,等.桂花不同品种开花过程中香气活性物质的变化[J].园艺学报,2017,44(8):1517-1534.
- [12] 张莹,李辛雷,王雁,等.文心兰不同花期及花朵不同部位香气成分的变化[J].中国农业科学,2011,44(1):110-117.
- [13] 韩丛聪,苟守华,姜天华,等.刺槐属6种材料鲜花芳香成分分析[J].园艺学报,2017,44(3):557-565.
- [14] 徐双双,赵先恩,刘玉芹,等.顶空固相微萃取-气质联用技术分析5种荷花的挥发性成分[J].分析实验室,2011,30(6):54-56.
- [15] 邓娇,郑金萍.6种莲花花瓣的挥发性物质成分的分析[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2017,35(4):56-63.
- [16] 包秀霞,廉勇,包秀平.植物花香气成分提取方法的比较研究进展[J].北方农业学报,2016,44(5):126-130.
- [17] 王学敬,李聪,王玉峰,等.SPME-GC-MS法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析[J].南京农业大学学报,2016,39(3):495-501.

(责任编辑:张明霞)