

吴秋霞, 易齐贤, 陈曦, 等. 广热带睡莲的挥发态气味物质检测及优良芳香品种筛选[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(3): 230-239.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.03.024

广热带睡莲的挥发态气味物质检测 及优良芳香品种筛选

吴秋霞¹, 易齐贤², 陈曦², 樊熙蓓², 唐昕妍²,
王景云², 殷铭轩², 郑日如², 陈胜洪¹, 袁慧红¹

1. 浙江人文园林有限公司, 杭州 310029;

2. 华中农业大学园艺林学学院/果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室, 武汉 430070

摘要 为检测广热带亚属睡莲挥发性成分, 鉴定香气活性物质, 筛选优良芳香品种, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)对30个广热带睡莲亚属常见栽培品种进行挥发态物质检测。结果显示, 30个睡莲品种共含有60种挥发态物质, 含量从高到低排列依次是烷烃、烯烃、萜类、芳香族、酯类、醇类、醛类7类化合物。其中, 烷烃、烯烃是含量较高的类别, 平均占比分别达到42.43%和28.61%, 但其无明显气味特征。进一步通过气味活性值(OAV)筛选到了19种气味活性物质, 其中可被嗅觉感知的(OAV>1)的特征气味物质均为萜类化合物, 包括 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、反式- β -紫罗兰酮、金合欢烯, 其中紫罗兰酮赋予睡莲木质香、甜香, 金合欢烯赋予睡莲苹果香及典型花香。结果表明, 以气味活性值为标准筛选出的‘蓝鸟’‘卡拉阳光’‘黄金国’‘鲁比’‘粉钻’5个睡莲品种是园林应用和产品加工的潜在优良品种。

关键词 睡莲; 挥发物; 气味活性成分; HS-SPME-GC-MS; 品种筛选

中图分类号 S682.32 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)03-0230-10

中国芳香植物种质资源丰富, 应用历史悠久^[1]。近年来, 芳香植物的产业价值凸显^[2], 中国芳香保健产业仅精油市场份额就达57.11亿元, 可供挖掘的市场空间达500亿元^[3]。各类芳香物质如紫罗兰酮^[4]、芳樟醇及其氧化物^[5]、金合欢烯^[6-7]等对人体生理和心理健康效用已被逐步验证, 并在康养产业中推广应用。值得一提的是, 梅花^[8]、桂花^[9]、菊花^[10-11]等中国传统芳香植物的研究不断深化, 为其康养功效发掘和应用形式创新奠定了理论基础。

芳香植物品种间的香气物质差异显著, 优良品种筛选是开展芳香产品研发的前提。如在梅花(*Prunus mume*)的研究中发现肉桂醇是其重要香气成分之一, 不同品种肉桂醇脱氢酶活性差异导致其合成量差异, 进而导致梅花品种间的香气差异^[8]。朱琳琳等^[9]研究表明, 丹桂品种群富含芳樟醇及其氧化物, 呈现花香、木香, 而金桂、银桂品种群富含 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮, 呈现甜香; 特色品种‘日香

桂’不仅富含 β -紫罗兰酮、 γ -癸内酯和芳樟醇等香气成分, 且花期长、花量大, 是优良的加工品种。依兰(*Cananga odorata*)是重要的热带香料作物, 科摩罗依兰香气成分以酯类为主, 而斯里兰卡依兰以烯烃类物质为主, 适合不同类型依兰精油产品的开发^[12]。

植物合成的芳香物质主要以挥发态、游离态和糖苷态3种形式存在, 其中挥发态香气物质分子质量小、挥发性强, 可以为人的嗅觉直接感知, 是决定香味品质的关键因素^[13]; 游离态与糖苷态香气物质则储存在植物组织内, 部分香气物质可与挥发态香气物质相互转化, 是加工产品的重要组分^[14-15]。在挥发态香气物质中, 仅有部分香气活性物质可被人嗅觉感知, 他们在决定芳香植物的香型和香味浓郁度方面发挥重要作用^[16]。气味活性值(odor activity value, OAV)是气味物质含量与气味感知阈值的比值, 是衡量气味活性物质感知度的关键指标。通常

收稿日期: 2023-09-21

基金项目: 华中农业大学横向科研项目(305/707122465)

吴秋霞, E-mail: 87603738@qq.com

通信作者: 易齐贤, E-mail: 1115078372@qq.com; 陈胜洪, E-mail: 75508564@qq.com

认为OAV值大于1的香气物质对嗅觉感官有贡献,属于特征香气物质^[17]。

睡莲为睡莲科(Nymphaeaceae)睡莲属(*Nymphaea*)植物,花色丰富,花香宜人,是少有的芳香水生植物^[18]。睡莲早在3 000多年前就被作为芳香圣品应用于古埃及的皇家园林和宗教活动^[19],我国新疆有将雪白睡莲入药的传统,是一味重要的维吾尔族药材^[20]。根据产地和生物学特性差异分类,睡莲属包括新热带睡莲(*Hydrocallis*)、古热带睡莲(*Lotos*)、广热带睡莲(*Brachyceras*)、澳大利亚睡莲(*Anecphyra*)、广温带睡莲(*Nymphaea*)5个亚属^[20]。其中新热带亚属和古热带亚属为夜开型,园林应用受到制约;澳洲睡莲品种较少且养护难度较高,推广程度低;广温带亚属和广热带亚属品种具有易繁殖、花量大、花色丰富、养护简易等优点,是目前市场主推品种。前人研究表明,睡莲品种间气味物质差异较大,热带睡莲挥发物种类与含量均显著多于耐寒睡莲^[21-22],在睡莲花茶中也呈现相似的规律^[23]。睡莲挥发态成分中烯烃、烷烃种类较多,占比分别达到30.36%、17.86%。乙酸苄酯、顺式-罗勒烯、苯甲醇、金合欢烯等萜类、脂肪酸衍生物、苯环类化合物是睡莲中的主要香气成分^[24]。前期研究主要集中在睡莲挥发物的种类鉴定和含量检测,基于挥发物检测进行优良品种筛选的工作尚未开展。同时,睡莲挥发物中含有大量不具备气味特征的烷烃类物质,这类非气味活性物质对睡莲香气构成相关研究存在一定干扰。通过OAV值计算进行气味活性物质筛选是植物香气、食品风味研究的有效手段。本研究通过顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术(head-space solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)^[25]对30个广热带睡莲主栽品种的挥发态成分进行检测,采用内标法进行准确定量,并根据OAV值解析睡莲特征气味成分,筛选优良芳香品种,以期对睡莲的芳香产业化应用提供基础数据,为睡莲香氛产品的研发提供参考。

1 材料与方法

1.1 试材及取样

30个品种睡莲花试验材料(图1)定植于浙江人文园林股份有限公司杭州睡莲基地,采用盆栽沉水法种植,株行距3 m,水深70 cm。2022年10月10日

至17日11:00至13:00采集首日开放、柱头液尚未干涸的整花,每个品种取5朵,液氮速冻后置于-80℃超低温冰箱保存。取花朵质量、花径一致的3朵冻存样品在液氮冷冻下混合研磨成粉末,取0.5 g混合均匀的粉末加入到20 mL顶空瓶中,采用甲基叔丁基醚(MTBE, Mreda, USA)稀释100倍的壬酸甲酯(Sigma, USA)作为内标,终质量浓度为8.75 μg/mL。取2 μL加入到顶空瓶壁,密封平衡10 min,55℃水浴萃取30 min上样,3次生物学重复。进样口温度为230℃,解吸附时间为5 min。

1.2 检测条件

采用DB-5MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm, Thermo Scientific, Bellefonte, PA, USA),载气为高纯氦气(99.999%),分流比50:1,流速为1 mL/min。离子源和进样口的温度分别为280℃和230℃,传输线的温度为250℃。色谱条件:40℃保持5 min,以5℃/min速率升温至120℃并保留2 min,以3℃/min速率升温至160℃并保留2 min,以5℃/min速率升温至200℃并保留4 min。质谱条件:EI(电子轰击)离子源,电子轰击能量70 eV,正离子扫描模式,质量扫描范围 m/z 40~450 amu。

1.3 物质含量测定指标

GC-MS原始数据用Xcalibur软件处理并导出。在相同升温程序下用正构烷烃标准样品(C8~C30)计算得到的科瓦茨保留指数('Kovats' retention index, RI)。挥发物鉴定基于NIST质谱数据库(NIST 2017)结合RI进行定性。采用内标定量法,计算公式如下:

$$\text{各组分含量} = \frac{\text{各组峰面积}}{\text{内标物峰面积}} \times \frac{\text{内标物含量}}{\text{样品量}}$$

1.4 香气活性成分分析

OAV是客观估计气味物质对样品整体气味贡献程度的方法,OAV值是气味物质在样品气味中的浓度(concentration, C)与其阈值(odor threshold, OT)的比值。当OAV>1时,该气味物质对整体气味具有贡献作用,OAV值越大,对样品整体气味的贡献度越高。

1.5 数据处理

采用SPSS软件的单因素方差分析(one-way ANOVA)统计品种间的数据差异,热图和柱状图分别由TBtools和Origin2021绘制。

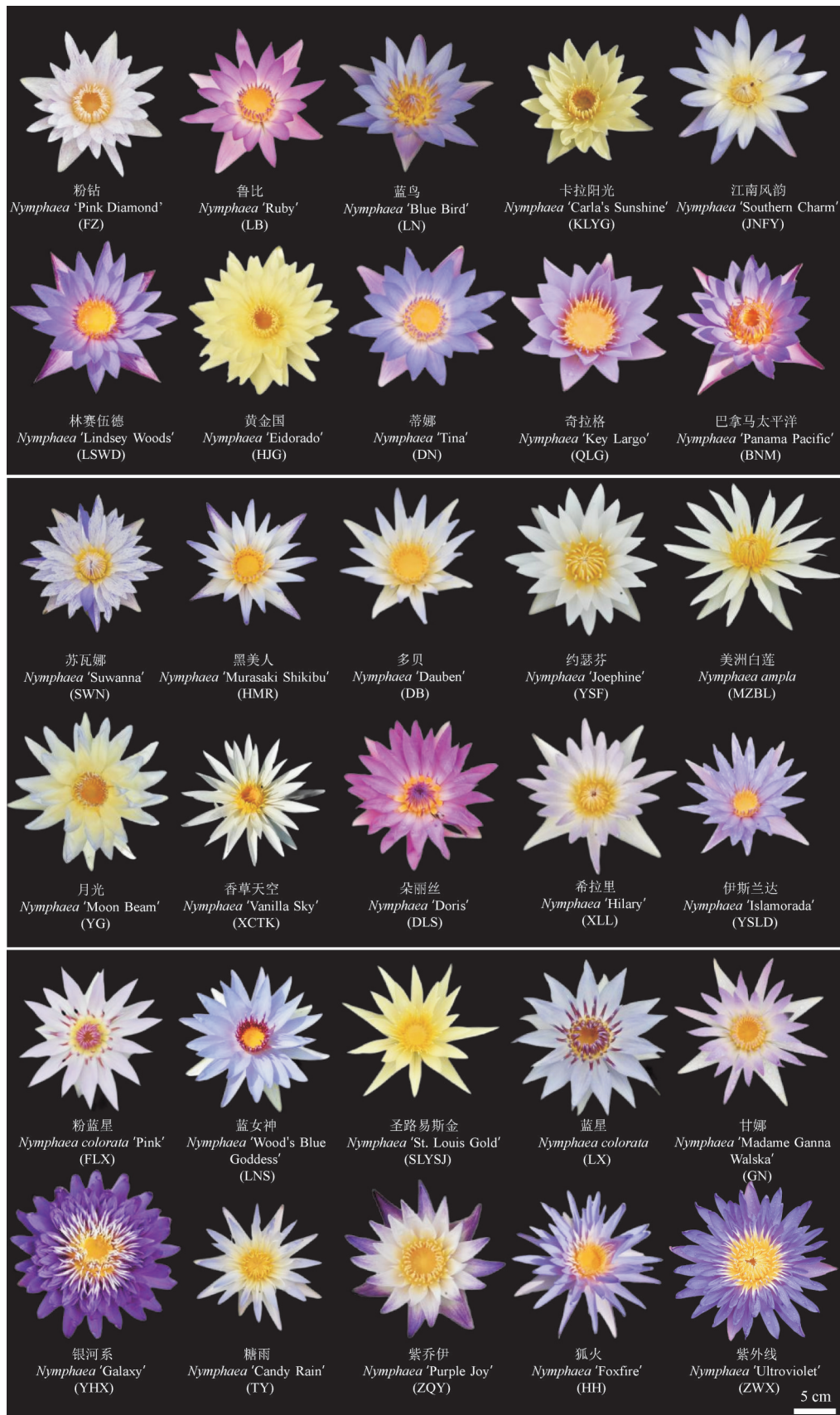


图1 30个广热带睡莲品种

Fig. 1 30 cultivars of pantropical water lilies

2 结果与分析

2.1 不同广热带睡莲品种的挥发态物质的定性和定量分析

通过HS-SPME-GC-MS技术进行挥发物检测,根据保留时间和保留指数进行物质鉴定。在30个广热带睡莲品种中共检测出7类60种挥发态成分(表1),包括萜类22种、烷烃10种、醛类8种、酯类6种、

烯烴类5种、芳香族5种、醇类4种。所有品种共有的挥发物为十四烷、十五烷、十六烷、十七烷、十九烷、6,9-十七碳二烯。此外,2-己烯醛、苯甲醇、反式- α -香柠檬烯、金合欢烯、 β -倍半水芹烯也在多数品种中检出(27个及以上品种)。部分品种含有特殊物质,如十一烷、 γ -木犀烯仅在‘粉蓝星’中检出,十五烯仅在‘蓝星’中检出。

表1 不同广热带品种睡莲挥发态物质平均含量及范围

Table 1 Average content and range of volatile substances of different pantropical water lily cultivars

类别 Category	序号 No.	名称 Name	CAS号 CAS number	保留指数 Retention index	平均含量(含量范围)/(ng/g) Average content (content range)
萜类 Terpenoid	1	α -蒎烯 α -Pinene	80-56-8	937	0.03 (0.00~0.28)
	2	马兜铃酮(S)-Verbenone	80-57-9	1 205	0.20 (0.00~1.98)
	3	α -紫罗兰醇 α -Ionol	25312-34-9	1 390	0.13 (0.00~0.81)
	4	胡萝卜烯 Carotene	16661-00-0	1 381	0.22 (0.00~2.76)
	5	(+)-7-表-倍半萜烯 (+)-7- <i>epi</i> -Sesquithujene	159407-35-9	1 391	0.97 (0.00~6.40)
	6	顺式- α -香柠檬烯 <i>cis</i> - α -Bergamotene	18252-46-5	1 415	1.83 (0.00~14.22)
	7	二氢- β -紫罗兰酮 Dihydro- β -ionone	17283-81-7	1 407	0.07 (0.00~0.78)
	8	γ -榄香烯 γ -Elemene	29873-99-2	1 433	0.41 (0.00~3.92)
	9	α -紫罗兰酮 α -Ionone	127-41-3	1 426	1.38 (0.00~4.46)
	10	反式- α -香柠檬烯 <i>trans</i> - α -Bergamotene	13474-59-4	1 435	19.60 (0.00~85.20)
	11	顺式- β -金合欢烯 <i>cis</i> - β -Farnesene	28973-97-9	1 444	18.98 (0.00~215.94)
	12	香叶基丙酮 Geranyl acetone	3796-70-1	1 453	0.12 (0.00~0.63)
	13	金合欢烯 Farnesene	18794-84-8	1 457	111.00 (0.00~443.38)
	14	γ -木犀烯 γ -Murolene	30021-74-0	1 477	0.02 (0.00~0.41)
	15	β -紫罗兰酮 β -Ionone	14901-07-6	1 491	1.13 (0.00~10.57)
	16	反式- β -紫罗兰酮 <i>trans</i> - β -Ionone	79-77-6	1 486	4.86 (0.00~26.66)
	17	反式- β -佛手柑烯 <i>trans</i> - β -Bergamotene	15438-94-5	1 492	7.03 (0.00~43.06)
	18	姜烯 Gingerene	495-60-3	1 495	10.90 (0.00~42.60)
	19	β -倍半水芹烯 β -Sesquicyclene	20307-83-9	1 524	35.54 (0.00~180.32)
	20	红没药烯 Bisabolene	17627-44-0	/	0.37 (0.00~1.43)
	21	橙花叔醇 Nerolidol	7212-44-4	1 564	0.94 (0.00~7.00)
	22	贝壳杉烯 Kaur-16-ene	562-28-7	2 041	1.23 (0.00~5.69)
烷烴类 Alkane	23	十一烷 Undecane	1120-21-4	1 100	0.02 (0.00~0.52)
	24	十三烷 Tridecane	629-50-5	1 300	1.49 (0.00~3.75)
	25	十四烷 Tetradecane	629-59-4	1 400	2.24 (0.05~5.71)
	26	十五烷 Pentadecane	629-62-9	1 500	283.54 (4.39~584.63)
	27	十六烷 Hexadecane	544-76-3	1 600	1.76 (0.05~4.31)
	28	十七烷 Heptadecane	629-78-7	1 700	28.32 (1.06~77.89)
	29	十八烷 Octadecane	593-45-3	1 800	1.35 (0.00~7.81)
	30	十九烷 Nonadecane	629-92-5	1 900	14.75 (2.53~37.48)
	31	二十烷 Eicosane	112-95-8	2 000	0.02 (0.00~0.17)
	32	二十一烷 Heneicosane	629-94-7	2 100	4.31 (0.00~9.94)
醛类 Aldehyde	33	(E)-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	6728-26-3	854	1.63 (0.00~3.95)
	34	肉桂醛 Cinnamaldehyde	104-55-2	1 274	0.21 (0.00~1.31)
	35	(E)-10,(E)-12-十六碳二烯醛 E,E-10,12-Hexadecadienal	69977-24-8	1 702	1.87 (0.00~6.79)
	36	十六醛 Hexadecanal	629-80-1	1 817	1.26 (0.00~5.37)

续表 1 Continued Table 1

类别 Category	序号 No.	名称 Name	CAS号 CAS number	保留指数 Retention index	平均含量(含量范围)/(ng/g) Average content (content range)
	37	顺式-9-十六碳烯醛 <i>cis</i> -9-Hexadecenal	56219-04-6	1 780	0.06 (0.00~0.72)
	38	(<i>E</i>)-2-十六烯醛 (<i>E</i>)-2-Hexadecenal	22644-96-8	1 878	0.23 (0.00~2.25)
	39	(<i>Z</i>)-9-十八碳烯醛 (<i>Z</i>)-9-Octadecenal	2423-10-1	2 010	0.13 (0.00~1.89)
	40	十八醛 Octadecanal	638-66-4	2 021	0.82 (0.00~2.66)
	41	乙酸苄酯 benzyl acetate	140-11-4	1 164	1.03 (0.00~3.84)
	42	乙酸月桂酯 Lauryl acetate	112-66-3	1 607	1.76 (0.00~38.59)
酯类 Ester	43	茉莉酸甲酯 Methyl jasmonate	1211-29-6	1 638	0.05 (0.00~0.48)
	44	苯甲酸苄酯 Benzyl benzoate	120-51-4	1 762	0.63 (0.00~3.57)
	45	肉豆蔻醇乙酸酯 Tetradecyl acetate	638-59-5	1 810	0.47 (0.00~8.55)
	46	1-十六烷醇甲酸酯 Hexadecanyl acetate	629-70-9	2 009	0.61 (0.00~3.24)
	47	苯甲醛 Benzaldehyde	100-52-7	962	0.76 (0.00~2.20)
芳香族 Benzenoid	48	苯甲醇 Benzyl alcohol	100-51-6	1 036	28.84 (0.00~82.56)
	49	大茴香醛 Anisic aldehyde	123-11-5	1 250	0.72 (0.00~5.74)
	50	4-甲氧基苯甲醇 4-Methoxybenzyl alcohol	105-13-5	1 290	1.71 (0.00~6.23)
	51	依杜兰 Edulane	41678-29-9	1 314	0.02 (0.00~0.17)
	52	十五烯 1-Pentadecene	13360-61-7	1 492	0.36 (0.00~4.46)
烯烃类 Alkene	53	6,9-十七碳二烯 6,9-Heptadecadiene	81265-03-4	1 667	248.15 (2.51~601.53)
	54	(<i>Z</i>)-3-十六烯 (<i>Z</i>)-3-Hexadecene	/	1 689	51.39 (0.00~282.10)
	55	(<i>Z</i>)-3-十七碳烯 (<i>Z</i>)-3-Heptadecene	62026-26-0	1 689	8.06 (0.00~97.71)
	56	1-十九碳烯 1-Nonadecene	18435-45-5	1 892	1.35 (0.00~8.39)
	57	肉桂醇 Cinnamyl alcohol	104-54-1	1 313	1.83 (0.00~11.18)
醇类 Alcohol	58	(<i>Z</i>)-6-十五稀醇 (<i>Z</i>)-6-Pentadecen-1-ol	68797-95-5	1 480	0.12 (0.00~2.65)
	59	1-十四醇 1-Tetradecanol	112-72-1	1 676	51.72 (0.00~247.81)
	60	棕榈油醇 Palmitoleyl alcohol	10378-01-5	1 863	0.20 (0.00~1.09)

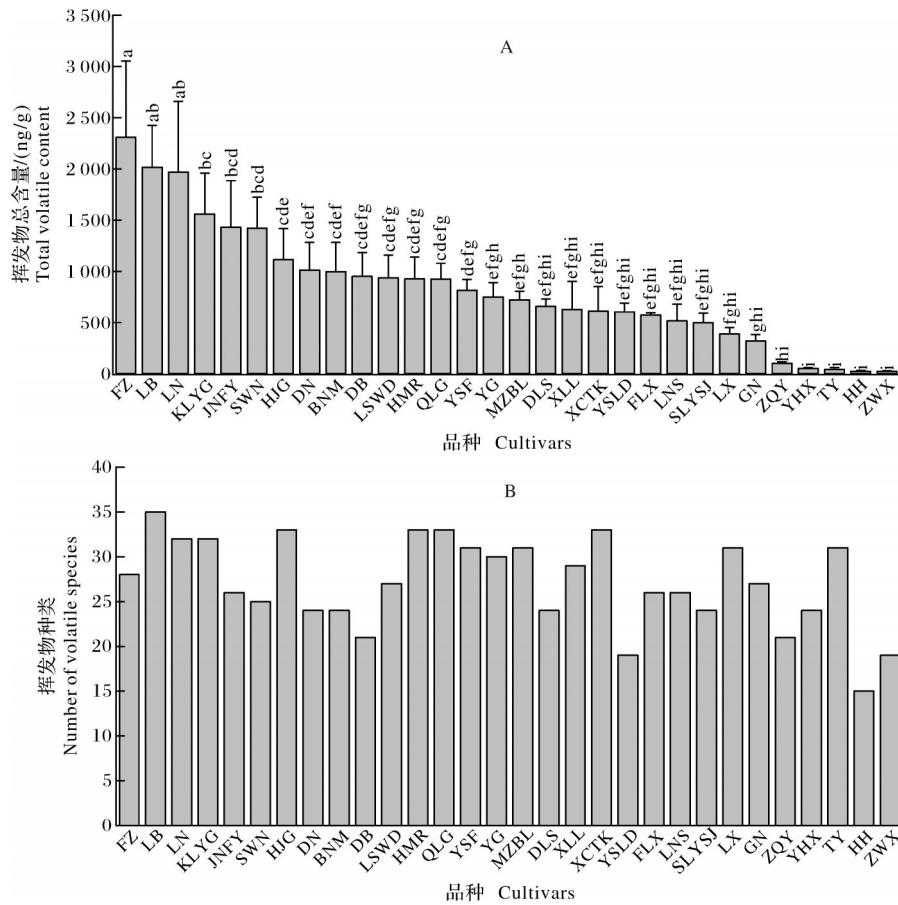
由图 2A 可知,30 个广热带睡莲品种的挥发物含量存在明显差异,其中‘粉钻’挥发物总含量最高(2 308.63 ng/g),是含量最低的‘紫外线’品种(23.80 ng/g)的 49.12 倍。挥发物含量较高的品种(>1 000 ng/g)有‘粉钻’‘鲁比’‘蓝鸟’等 9 个品种;‘紫乔伊’‘紫外线’‘狐火’‘银河系’4 个大型蓝紫色重瓣品种挥发物含量最低。由图 2B 可知,30 个广热带睡莲品种平均检出 28 种挥发物,‘鲁比’挥发物种类丰富度最高,达到 35 种,‘狐火’挥发物种类较少,仅 15 种。

由图 3 可知,烷烃、烯烃、萜类化合物是所有品种中含量相对丰富的种类,其中烷烃占比最高,平均可达 38.69%,但烷烃、烯烃类物质不具有气味特征或微具气味的部分物质香味阈值极高,因此这 2 类物质并不是睡莲的特征气味物质。萜类化合物虽然相对含量偏低,但多数物质气味阈值低,且具有浓郁而独特的芳香^[26],是广热带睡莲品种主要贡献成分。由表 1 可知,本研究在睡莲不同品种中共检出萜类化合物 22 种(表 1),占全部物质种类的 1/3 以上。其中,金合欢烯(平均含量 111.00 ng/g)、顺式- β -金合欢烯

(平均含量 18.98 ng/g)、 β -倍半水芹烯(平均含量 35.54 ng/g)、反式- α -香柠檬烯(平均含量 19.60 ng/g)、姜烯(平均含量 10.9 ng/g)等含量较高,且在大多数品种中广泛存在。 α -蒎烯、胡萝卜烯、 γ -木犀烯仅在少数品种中检测到。由图 3 可知,‘粉钻’较其他品种含有更为丰富的萜类化合物,约含有 760.23 ng/g,占其挥发物总含量 1/3 以上。

2.2 不同广热带睡莲品种香气活性成分分析及优良芳香品种筛选

为明确广热带睡莲的特征气味物质,进一步计算气味活性值,共筛选获得 19 个气味活性物质(表 2),包括 8 种萜类、6 种醛类、3 种醇类和 2 种酯类化合物。其中 OAV 值大于 1 的特征气味物质有 4 种,从高到低依次为 β -紫罗兰酮、反式- β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和金合欢烯。其中, α -紫罗兰酮在 25 个品种中均有检测到,金合欢烯在 28 个品种中检测到,是多数睡莲品种的主要气味贡献物质。紫罗兰酮类物质呈现甜香、木香,而金合欢烯呈现苹果香及典型的花香,因此睡莲总体呈现淡雅的甜香特征。此外,反式



不同小写字母表示不同品种间差异显著 ($P < 0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between different cultivars ($P < 0.05$).

图 2 不同广热带睡莲品种的挥发物总含量(A)和挥发物种类(B)

Fig. 2 Total volatile content and volatile species of different pantropical water lily cultivars

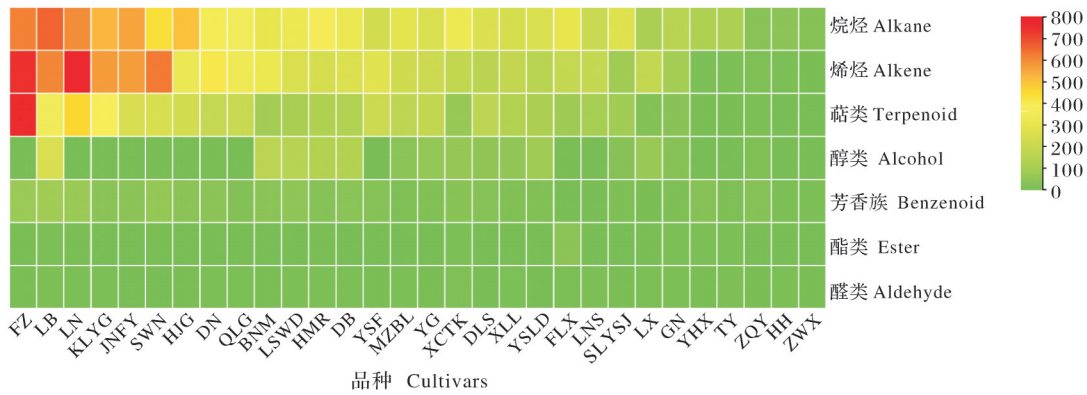


图 3 不同广热带睡莲品种各类挥发物含量热图

Fig. 3 Heat map of various volatile content of different pantropical water lily cultivars

-2-癸烯醛(柑橘香)、苯乙醛(果香)、二氢- β -紫罗兰酮(甜香、木香)、辛醛(柑橘香)、 α -蒎烯(草香)的平均 OAV 值小于 1,但在部分品种中有气味贡献。挥发物中含量较高的烷烃、烯烃类化合物由于缺乏气味特征或气味阈值较高,对睡莲香气的贡献度极低。

气味物质的种类和含量决定了睡莲的香气类型和香气浓郁程度。通过 OAV 值计算, α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、反式- β -紫罗兰酮和金合欢烯被筛选为主要的香气贡献成分。通过比较,筛选以上 4 种物质 OAV 值相对较高的品种,定义为优良的芳香睡莲品种。选取每种物质含量前 3 名的品种进行比较分析,

表2 广热带睡莲品种主要气味活性成分

Table 2 Main aroma active components of pantropical water lily cultivars

序号 No.	名称 Name	气味属性 Odor description	阈值/(ng/g) Threshold	OAV平均值(含量范围) Average content of OAV (content range)
1	反式- β -紫罗兰酮 <i>trans</i> - β -Ionone	甜香、木香	0.007	21.014 (0~191.850)
2	α -紫罗兰酮 α -Ionone	甜香、木香	0.4	3.672 (0~11.150)
3	β -紫罗兰酮 β -Ionone	甜香、木香	0.007	1.615 (0~23.680)
4	金合欢烯 Farnesene	苹果香、花瓣香	87	1.170 (0~5.096)
5	(<i>E</i>)-2-癸烯醛 (<i>E</i>)-2-Decenal	柑橘香	0.3	0.876 (0~1.19)
6	苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	果香	0.3	0.598 (0~0.598)
7	二氢- β -紫罗兰酮 Dihydro- β -ionone	甜香、木香	1	0.446 (0~0.785)
8	α -蒎烯 α -Pinene	草香	2.5	0.114 (0~0.114)
9	肉桂醇 Cinnamyl alcohol	甜香	77	0.060 (0~0.145)
10	大茴香醛 Anisic aldehyde	草香、花香	27	0.055 (0~0.213)
11	橙花叔醇 Nerolidol	甜香、木香	10	0.051 (0~0.099)
12	苯乙烯 Styrene	甜香	3.6	0.034 (0~0.050)
13	(<i>E</i>)-2-己烯醛 (<i>E</i>)-2-Hexenal	草香	88.7	0.018 (0~0.045)
14	苯甲醇 Benzyl alcohol	甜香,果香	2 546.21	0.012 (0~0.032)
15	肉桂醛 Cinnamaldehyde	辛香	50	0.011 (0~0.026)
16	茉莉酸甲酯 Methyl jasmonate	甜香	70	0.005 (0~0.007)
17	香叶基丙酮 Geranyl acetone	果香、木香	60	0.004 (0~0.010)
18	乙酸苄酯 Benzyl acetate	甜花香	364	0.003 (0~0.011)
19	苯甲醛 Benzaldehyde	苦杏仁味	750.89	0.001 (0~0.003)

结果如图4所示,‘卡拉阳光’有3种物质的OAV值较高,总体香气浓郁程度相比其他品种更为突出。‘黄金国’‘林赛伍德’‘巴拿马太平洋’ β -紫罗兰酮或反式- β -紫罗兰酮OAV值高,具有较为明显的甜香特征。‘粉钻’所含金合欢烯OAV值在所有品种中最大,相对其他品种具有更加明显的苹果和花瓣的香气。金合欢烯是睡莲精油中含量较高的主要成分之一。‘粉钻’‘卡拉阳光’‘蓝鸟’3个品种的金合欢烯含量均大于200 ng/g,相对其他品种较为突出,是用于精油提取的潜在优良品种。

3 讨论

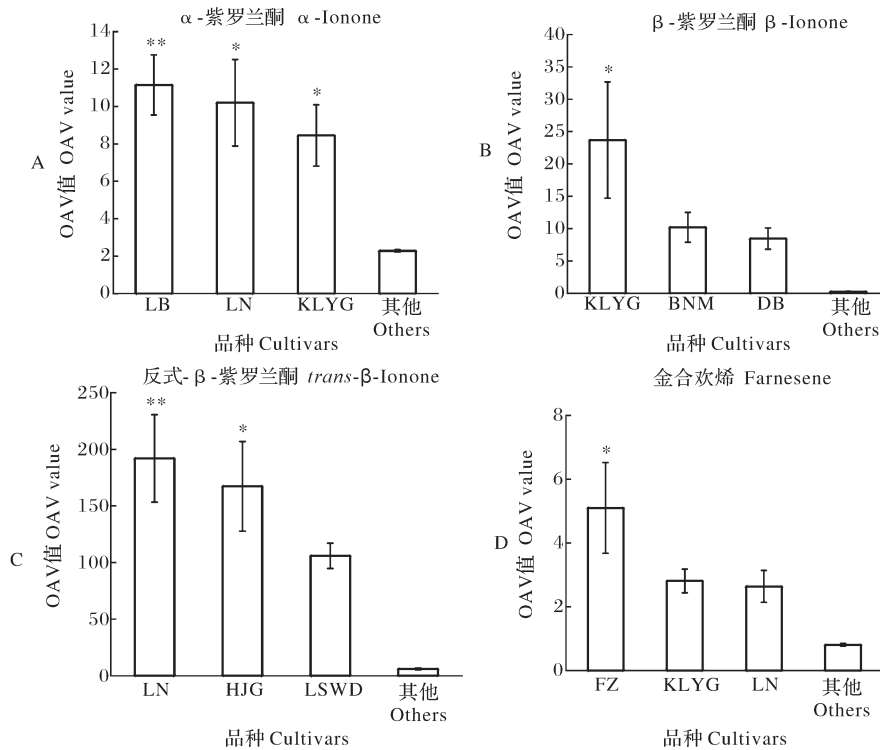
睡莲是优良的水生芳香植物,既可用于芳香水景营建,也是花茶、精油、纯露等新兴产品的主要原料。睡莲精油具有抗菌、抗氧化的功效,在芳香疗法中极具应用潜力^[27-28]。与玫瑰、薰衣草、薄荷等常见的芳香植物相比,睡莲的芳香研究基础薄弱,优良品种的培育和筛选刚刚起步,极大制约了睡莲香氛产品的开发。

本研究以香味浓郁、栽培广泛的广热带睡莲亚属不同品种为材料,采用HS-SPME-GC-MS技术检测鉴定出60种挥发物,其中十五烷、6,9-十七碳二烯、金合欢烯等含量较高,是睡莲的主要挥发物成

分,与袁茹玉^[21]、苏群等^[22]采用顶空固相微萃取实验结果一致性较高。黄秋伟等^[29]对二氧化碳超临界萃取的睡莲精油进行检测,结果也显示十五烷、6,9-十七碳二烯、金合欢烯是睡莲精油的主要成分。

通过计算OAV值,本研究明确了睡莲的特征气味物质包括 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、反式- β -紫罗兰酮和金合欢烯。紫罗兰酮类物质OAV值在桂花^[9]、玫瑰^[30]中分别高达2 222 857、4 942,是这类浓香型花卉的主要香气活性物质之一。与浓香型花卉相比,睡莲中的气味活性成分种类、含量均相对较少,OAV值更低,因此睡莲的总体香气特征偏于温和。同时,OAV值显示,乙酸苄酯(茉莉香味)、苯甲醇(清香)、苯甲醛(苦杏仁、坚果、樱桃的香味)等前人研究鉴定的睡莲香气物质^[21-22]在本试验中香气活性值过低,可能对睡莲香气产生贡献较小。

本研究通过OAV值比较品种间差异,筛选出‘卡拉阳光’‘粉钻’‘鲁比’‘蓝鸟’‘黄金国’5个优良芳香品种。其中‘卡拉阳光’气味活性成分含量高,香气浓郁;‘鲁比’‘蓝鸟’‘黄金国’3个品种紫罗兰酮类物质丰富,甜香特征明显;‘粉钻’‘卡拉阳光’‘蓝鸟’3个品种金合欢烯含量相对较高,为精油提取的优良品种。由于本研究采样量较大,采用了低温冷冻法保存样品,样品香气物质可能存在损失,导致部



*和**分别表示在0.05和0.01水平上差异显著。* and ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

图4 4种香气活性物质在不同广热带睡莲品种的OAV值比较

Fig. 4 Comparison of OAVs of four aroma active compounds in different pantropical water lily cultivars

分香气活性物质OAV值偏低,影响睡莲香气活性物质的鉴别,后续在条件许可的情况下可采用鲜样和精油进一步检测鉴定。此外,采用顶空固相微萃取技术对睡莲的主要特征香气物质进行鉴定存在一定的局限性,后续可以通过GC-O嗅辨、香气重构与缺失等方法进行验证,获取更精确的睡莲香气构成数据。

参考文献References

- [1] 王羽梅. 中国芳香植物[M]. 北京: 科学出版社, 2008. WANG Y M. Aromatic plants in China [M]. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese).
- [2] 曹磊, 张大宝, 陈振艺. 云南省康养旅游产业与芳香产业融合发展初探: 从中医芳香疗法谈起[J]. 亚太传统医药, 2023, 19(2): 11-14. CAO L, ZHANG D B, CHEN Z Y. Preliminary study on the integration of health tourism industry and aromatic industry in Yunnan Province: from Chinese medicine aromatherapy[J]. Asia-pacific traditional medicine, 2023, 19(2): 11-14 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王有江. 精油企业与市场之间差的不止是“精油与疫情防控”的话题[J]. 中国化妆品, 2020(4): 102-103. WANG Y J. Essential oil epidemic prevention and control[J]. China cosmetics review, 2020(4): 102-103 (in Chinese).
- [4] ALOUM L, ALEFISHAT E, ADEM A, et al. Ionone is more than a violet's fragrance: a review[J/OL]. *Molecules*, 2020, 25(24): 5822 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.3390/molecules25245822>.
- [5] AN Q, REN J N, LI X, et al. Recent updates on bioactive properties of linalool[J]. *Food & function*, 2021, 12(21): 10370-10389.
- [6] TURKEZ H, SOZIO P, GEYIKOGLU F, et al. Neuroprotective effects of farnesene against hydrogen peroxide-induced neurotoxicity *in vitro*[J]. *Cellular and molecular neurobiology*, 2014, 34(1): 101-111.
- [7] ARSLAN M E, TÜRKEZ H, MARDINOĞLU A. *In vitro* neuroprotective effects of farnesene sesquiterpene on Alzheimer's disease model of differentiated neuroblastoma cell line[J]. *The international journal of neuroscience*, 2021, 131(8): 745-754.
- [8] ZHANG T X, BAO F, DING A Q, et al. Comprehensive analysis of endogenous volatile compounds, transcriptome, and enzyme activity reveals *PmCAD1* involved in cinnamyl alcohol synthesis in *Prunus mume*[J/OL]. *Frontiers in plant science*, 2022, 13: 820742 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.820742>.
- [9] 朱琳琳, 周婉飞, 宁璇, 等. 不同桂花品种游离态香气物质分析[J]. 园艺学报, 2022, 49(11): 2395-2406. ZHU L L, ZHOU W F, NING X, et al. Analysis of free aromatic components of different *Osmanthus fragrans* cultivars[J]. *Acta horticulturae sinica*,

- 2022, 49(11): 2395-2406 (in Chinese with English abstract).
- [10] WANG Y G, LI X R, JIANG Q J, et al. GC-MS analysis of the volatile constituents in the leaves of 14 compositae plants [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(1): 166 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.3390/molecules23010166>.
- [11] SUN H N, ZHANG T, FAN Q Q, et al. Identification of floral scent in chrysanthemum cultivars and wild relatives by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Molecules*, 2015, 20(4): 5346-5359.
- [12] 郝朝运, 秦晓威, 贺书珍, 等. 不同基因型依兰鲜花挥发性香气成分分析[J]. *热带作物学报*, 2017, 38(10): 1926-1931. HAO C Y, QIN X W, HE S Z, et al. Analysis of volatile aroma compounds in *Cananga odorata* (Ylangylang) of different genotypes [J]. *Chinese journal of tropical crops*, 2017, 38(10): 1926-1931 (in Chinese with English abstract).
- [13] SONG C K, HÄRTL K, MCGRAPHERY K, et al. Attractive but toxic: emerging roles of glycosidically bound volatiles and glycosyltransferases involved in their formation [J]. *Molecular plant*, 2018, 11(10): 1225-1236.
- [14] WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.) [J]. *Food chemistry*, 2014, 152: 29-36.
- [15] WU B P, CAO X M, LIU H R, et al. UDP-glucosyltransferase *PpUGT85A2* controls volatile glycosylation in peach [J]. *Journal of experimental botany*, 2019, 70(3): 925-936.
- [16] TAN F L, WANG P, ZHAN P, et al. Characterization of key aroma compounds in flat peach juice based on gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O), odor activity value (OAV), aroma recombination, and omission experiments [J/OL]. *Food chemistry*, 2022, 366: 130604 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130604>.
- [17] YANG Y J, AI L Z, MU Z Y, et al. Flavor compounds with high odor activity values (OAV > 1) dominate the aroma of aged Chinese rice wine (Huangjiu) by molecular association [J/OL]. *Food chemistry*, 2022, 383: 132370 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132370>.
- [18] 刘子毓, 杨光穗, 奚良, 等. 睡莲研究现状及展望[J]. *热带农业科学*, 2023, 43(1): 38-43. LIU Z Y, YANG G S, XI L, et al. The present situation and prospect of water lily research [J]. *Chinese journal of tropical agriculture*, 2023, 43(1): 38-43 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王书妹, 曾秀丽, 王忠红. 2010—2020年我国睡莲研究的文献分析[J]. *安徽农学通报*, 2022, 28(1): 37-39. WANG S M, ZENG X L, WANG Z H. Analysis of the literature on water-lily research in China during 2010-2020 [J]. *Anhui agricultural science bulletin*, 2022, 28(1): 37-39 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘晓然, 李岚, 周大庆. 睡莲属植物资源及栽培应用[J]. *现代园艺*, 2022, 45(12): 156-158. LIU X R, LI L, ZHOU D Q. Plant resources and cultivation application of water lily [J]. *Xiandai horticulture*, 2022, 45(12): 156-158 (in Chinese).
- [21] 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. YUAN R Y. Study 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 (in Chinese with English abstract).
- [22] 苏群, 田敏, 王虹妍, 等. 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. SU Q, TIAN M, WANG H Y, et al. Volatile components in flowers of 62 *Nymphaea* cultivars by GC-MS [J]. *Journal of tropical and subtropical botany*, 2022, 30(4): 567-574 (in Chinese with English abstract).
- [23] YIN D D, YUAN R Y, WU Q, et al. Assessment of flavonoids and volatile compounds in tea infusions of water lily flowers and their antioxidant activities [J]. *Food chemistry*, 2015, 187: 20-28.
- [24] ZHANG L S, CHEN F, ZHANG X T, et al. The water lily genome and the early evolution of flowering plants [J]. *Nature*, 2020, 577(7788): 79-84.
- [25] WEI L J, WEI S H, HU D L, et al. Comprehensive flavor analysis of volatile components during the vase period of cut lily (*Lilium* spp. 'manissa') flowers by HS-SPME/GC-MS combined with E-nose technology [J/OL]. *Frontiers in plant science*, 2022, 13: 822956 [2023-09-21]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.822956>.
- [26] 刘晶晶, 王富民, 刘国峰, 等. 茶树萜类香气物质代谢谱与相关基因表达谱时空变化的关系[J]. *园艺学报*, 2014, 41(10): 2094-2106. LIU J J, WANG F M, LIU G F, et al. Correlation between spatiotemporal profiles of volatile terpenoids and relevant terpenoid synthase gene expression in *Camellia sinensis* [J]. *Acta horticulturae sinica*, 2014, 41(10): 2094-2106 (in Chinese with English abstract).
- [27] 范杨杨, 王健, 余文刚, 等. 同时蒸馏萃取制备延药睡莲精油及其抗氧化研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(12): 19-23. FAN Y Y, WANG J, YU W G, et al. Preparation of essential oil from *Nymphaea stellata* by the method of simultaneous distillation extraction and its antioxidative activities [J]. *Food research and development*, 2018, 39(12): 19-23 (in Chinese with English abstract).
- [28] 陈彦甫, 范杨杨, 周卫娟, 等. 热带红睡莲精油主要成分及其抑菌活性分析[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(1): 32-38. CHEN Y F, FAN Y Y, ZHOU W J, et al. Extraction of essential oil from tropical water lily and its antibacterial activities [J]. *Food research and development*, 2022, 43(1): 32-38 (in Chinese with English abstract).
- [29] 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. 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 research and development, 2020, 41(7): 188-195 (in Chinese with English abstract).

[30] XIAO Z B, LI J, NIU Y W, et al. Verification of key odorants in rose oil by gas chromatography-olfactometry/aroma extract dilution analysis, odour activity value and aroma recombination [J]. Natural product research, 2017, 31(19): 2294-2302.

Detecting volatile aroma substances and screening elite aromatic varieties in pantropical water lilies

WU Qiuxia¹, YI Qixian², CHEN Xi², FAN Xibei², TANG Xinyan², WANG Jingyun²,
YIN Mingxuan², ZHENG Riru², CHEN Shenghong¹, YUAN Huihong¹

1. Zhejiang Humanity Landscape Co., Ltd., Hangzhou 310029, China;

2. National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops/
College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technology was used to detect volatile substances in 30 common cultivated varieties of pantropical water lilies to detect the volatile components, identify the aroma active substances, and screen the excellent aromatic varieties of water lilies. The results showed that a total of 60 volatile compounds were identified in the 30 varieties of pantropical water lilies, with seven compounds including alkanes, alkenes, terpenoid, benzenoid, esters, alcohols, and aldehydes in descending order of content. Among them, alkanes and alkenes were the categories with higher content, with an average proportion of 42.43% and 28.61%, respectively, but they had no obvious odor characteristics. 19 active substances of odor were further screened by the odor activity value (OAV). Among them, the characteristic substances of odor that can be perceived by the odor activity value (OAV>1) were all terpenoids including α -ionone, β -ionone, *trans*- β -ionone and farnesene, among which ionone endowed water lilies with woody and sweet fragrance, while farnesene endowed water lilies with apple and typical floral fragrance. It is indicated that the five varieties of water lilies including 'Blue Bird', 'Kara Sunshine', 'Golden Country', 'Ruby', and 'Pink Diamond' screened based on the odor activity value are potential elite varieties for landscaping use and processing product.

Keywords water lily; volatiles; aroma active compounds; HS-SPME-GC-MS; cultivar selection

(责任编辑:葛晓霞)