广西植物 Guihaia Aug. 2026, 46(8): 1372-1384 http://www.guihaia-journal.com

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202503012

邹玲俐, 朱晓珍, 唐文秀, 等, 2026. 四种广西特有秋海棠花朵挥发性成分分析 [J]. 广西植物, 46(8): 1372-1384.
Zou L L, Zhu X Z, Tang W X, et al., 2026. Volatile components in flowers of four endemic *Begonia* species in Guangxi [J]. Guihaia, 46(8): 1372-1384.

四种广西特有秋海棠花朵挥发性成分分析

邹玲俐[1], 朱晓珍[2], 唐文秀[2], 盘 波[2], 闫蓬勃[1], 黄仕训[2*]

(1. 桂林旅游学院 旅游生态与环境学院, 广西 桂林 541006; 2. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西 桂林 541006)

摘 要: 广西特有植物灯果秋海棠(*Begonia lanternaria*)、弄岗秋海棠(*B. longgangensis*)、鹿寨秋海棠(*B. luzhaiensis*)和假癞叶秋海棠(*B. pseudoleprosa*)具有重要的生态价值与观赏潜力。为阐明其花朵挥发性成分的组成、含量及种间差异,该研究采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对 4 种秋海棠花朵挥发性成分进行鉴定分析。结果表明:(1)共检测出 56 种挥发性化合物,包括萜烯类 20 种、其他烃类(萜烯类除外)16 种、醇类 8 种、酚类 1 种、酯类 6 种、酰胺类 1 种及其他化合物 4 种。其中,萜烯类物质在弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠和假癞叶秋海棠花朵样本的挥发性成分中的相对含量最高,而灯果秋海棠花朵样本中相对含量最高的挥发性成分为醇类。(2)挥发性成分数量存在明显的种间差异,丰富度从大到小依次为弄岗秋海棠(27 种)、假癞叶秋海棠(22 种)、鹿寨秋海棠(10 种)和灯果秋海棠(5 种),4 个物种间无共有挥发性成分。(3)弄岗秋海棠和鹿寨秋海棠花朵中 (*Z*)-β-罗勒烯显著富集,可能是其特色香气的主要贡献成分。综上,4 种秋海棠花朵挥发性物质在成分组成和相对含量上均存在差异,因此各自形成了独特的香气特征。该研究结果可为秋海棠属植物种质资源评价、品种选育、园艺开发及康养旅游提供参考。

关键词: 秋海棠属, 气相色谱-质谱联用技术, 鲜花, 挥发性成分, 喀斯特植物

中图分类号: Q946 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2026)08-1372-13

Volatile components in flowers of four endemic *Begonia* species in Guangxi

ZOU Lingli[1], ZHU Xiaozhen[2], TANG Wenxiu[2], PAN Bo[2], YAN Pengbo[1], HUANG Shixun[2*]

(1. *School of Tourism Ecology and Environment, Guilin Tourism University*, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences*, Guilin 541006, Guangxi, China)

Abstract: The Guangxi endemic plants *Begonia lanternaria*, *B. longgangensis*, *B. luzhaiensis*, and *B. pseudoleprosa* have important ecological value and ornamental potential. This study aims to clarify the composition, content and

收稿日期: 2025-08-01 **接受日期:** 2025-08-26

基金项目: 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20325009)。

第一作者: 邹玲俐(1978—),高级工程师,主要从事植物种质资源保护与植物应用研究,(E-mail)654274586@qq.com。

*通信作者: 黄仕训,研究员,主要从事珍稀濒危植物保护研究,(E-mail)hsx@gxib.cn。

interspecific differences of volatile components in their flowers. In this study, headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry was used to identify and analyze the volatile components of flowers of four *Begonia* species. The results were as follows: (1) A total of 56 volatile compounds were detected, including 20 terpenes, 16 other hydrocarbons (excluding terpenes), 8 alcohols, 1 phenol, 6 esters, 1 amide, and 4 other compounds. Among them, Terpenoids were the most abundant volatile components in flower samples of *B. longgangensis*, *B. luzhaiensis* and *B. pseudoleprosa*, whereas alcohols were the most abundant in flower samples of *B. lanternaria*. (2) The number of volatile components showed significant differences among species. The richness of volatile components ranked from high to low was *B. longgangensis* (27 kinds), *B. pseudoleprosa* (22 kinds), *B. luzhaiensis* (10 kinds), and *B. lanternaria* (5 kinds). No common volatile components were found among the four species. (3) (*Z*)-β-ocimene was significantly enriched in flowers of *B. longgangensis* and *B. luzhaiensis*, and might be a major contributor to their characteristic aroma. In summary, the volatile components of flowers of four *Begonia* species differ in composition and relative content, resulting in unique aroma profiles. These results provide references for the evaluation of germplasm resources, variety breeding, horticultural development, and health tourism related to *Begonia* plants.

Key words: *Begonia*, GC-MS, fresh flower, volatile components, karst plants

秋海棠属(*Begonia* L.)植物是多样性最丰富的观赏植物类群之一,已记载种类超过 2 000 种,其中中国分布约 290 种(Hu et al., 2025),且新分类群和新记录种仍在继续增加。近年来,学界围绕秋海棠属植物已在传统分类学(税玉民等,2019)、分子系统学(杜文文等,2022;薛珍珍等,2023;Xiong et al., 2023)、基因组学(杜文文等,2018;Lu et al., 2024;Chen et al., 2024)、引种驯化与适应性机制(杨璇,2023;Zhao et al., 2024)等基础领域,以及新品种选育(邓涛等,2023)、资源调查与园林应用评价(李景秀等,2021;高洋洋等,2023)等应用方向开展了广泛而深入的研究。

植物释放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)是生态系统中重要的化学信号物质(李军,2016),它们在植物的繁衍及防御病虫危害中具有多重生态功能(孙仲享等,2019),同时在介导植物间化学信号转导、参与植物抵御环境胁迫、生物防御等过程中发挥重要作用(胡书婧和张汝民,2022)。植物花香的化学组成、释放节律及其在物种间的差异,不仅承载着物种特异性传粉策略的演化信息,还具有开发新型芳香资源、解析生态适应机制、指导人工育种及拓展健康养生等多重潜在价值。尽管秋海棠属植物的观赏价值已被广泛认可,但其花香特性的开发利用仍处于起步阶段。目前,有关该属植物花部挥发性成分的研究主要集中于不同物种挥发性物质的鉴定、定量分析及种间差异比较。已有报道共涉及 31 个分类群(含变种)和 11 个园艺品种,包括香花秋海棠(*Begonia handelii*)及其变种红毛香花秋海棠(*B. handelii* var. *rubropilosa*)和铺地秋海棠(*B. handelii* var. *prostrata*)、假厚叶秋海棠(*B. pseudodryadis*)、中华秋海棠(*B. grandis*)、柳叶秋海棠(*B. fuchsioides*)、里氏秋海棠(*B. listada*)、丽纹秋海棠(*B. kui*)、鸟叶秋海棠(*B. ornithophylla*)、巴萨罗斯秋海棠(*B. barsalouxiae*)、罗城秋海棠(*B. luochengensis*)、大新秋海棠(*B. daxinensis*)等(丁友芳等,2021;杜文文等,2022;梁晓莉等,2022,2025;李中昊,2025),远未覆盖属内丰富的种质资源。这些研究初步揭示了秋海棠属植物花香的种间多样性,为后续研究奠定了重要基础。然而,针对喀斯特生境特有野生种类花部挥发性的研究仍较为薄弱,仅涉及大新秋海棠、罗城秋海棠、方氏秋海棠(*B. fangii*)、桂南秋海棠(*B. austroguangxiensis*)、黑峰秋海棠(*B. ferox*)、铁甲秋海棠(*B. masoniana*)等少数物种。广西是中国喀斯特地貌发育最典型、最复杂的地区之一,其独特的岩溶生态系统孕育了丰富的生物多样性,是我国秋海棠属植物的现代分布和分化中心之一。该区域的秋海棠属植物不仅物种多、特有性高,而且多数种类在长期适应岩溶生境的过程中,演化出了极高的观赏特性,如叶形奇特多变、叶色斑斓绚丽、花色丰富多样及花期持久等,且有些种类兼具药用、食用及文化等多重价值,是基础科学研究和开发利用的良好材料(田代科,2020)。然而,多数物种尚未得到充分的开发和应用。本研究选取的灯果秋海棠(*B. lanternaria*)、弄岗秋海棠

(*B. longgangensis*)、鹿寨秋海棠(*B. luzhaiensis*)和假癞叶秋海棠(*B. pseudoleprosa*)均为广西特有种,主要分布于大新、靖西、龙州、鹿寨、融水、忻城等地的喀斯特山地中,在最新发布的《中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020)》中,鹿寨秋海棠和弄岗秋海棠被列为受威胁物种(生态环境部 中国科学院,2023),灯果秋海棠和假癞叶秋海棠是狭域分布种,前者目前仅见于龙州、靖西,后者仅在大新有发现。它们对岩溶生境表现出良好适应性,是研究植物与环境互作关系的优质材料。同时,它们在叶、花或株型等方面表现出较高的观赏价值,亦是园林景观营造和新型盆栽花卉开发的理想材料。自引种至桂林植物园长期观测以来,这 4 种秋海棠对酸性腐殖土表现出较强的适应能力,显示出较广泛的生态适应潜力。然而,对其系统性开发利用的研究仍较薄弱,其花朵中挥发性物质的化学组成也暂未见报道。为更好地保护与开发这些植物,有必要对其花的挥发性物质进行鉴定与分析。

植物花朵中挥发性成分的提取技术多样,包括传统的溶剂萃取法、蒸馏法及现代的顶空固相微萃取技术(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)等,鉴定分析方法有气相色谱法、气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、气相色谱-红外光谱联用等。近年来,多技术联用策略已成为植物挥发性有机物研究的主流,其中顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS),凭借操作简便、快速高效、灵敏度高、无需溶剂以及对活体样损伤小等优势(庞纪伟等,2023),在植物花挥发性成分的检测中尤为广泛。如秋海棠属少数种类(丁友芳等,2021;杜文文等,2022;梁晓莉等,2022,2025)、石斛属(仇硕等,2019;夏科等,2021)和虾脊兰属(黄蓓等,2023)等。基于前人的研究基础,本研究采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术,首次对灯果秋海棠、弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠和假癞叶秋海棠这 4 种广西特有秋海棠植物的鲜花挥发性有机化合物进行系统分析。本研究旨在明确其花香化学组成及种间差异,丰富秋海棠属花香化学多样性数据,为该属植物的种质创新、芳香品种定向选育、商业化开发以及喀斯特地区特色花卉产业发展提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为盆栽于广西植物研究所秋海棠种质资源圃内的 4 种广西特有秋海棠全花,这 4 种植物均为雌雄同株异花的多年生草本植物。其中,灯果秋海棠和弄岗秋海棠引种自龙州,鹿寨秋海棠引种自忻城,假癞叶秋海棠引种自大新。

1.2 试验仪器和设备

核心仪器与设备如下:固相微萃取手动进样装置和 50/30 μm DVB/CAR/PDMS SPME 萃取头(美国 Supelco 公司);HP-5MS 毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm,美国 Agilent 公司);7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪(配套 40 mL 棕色顶空进样瓶,美国 Agilent 公司);DHP-9602 电热恒温培养箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 花朵采集和挥发性成分萃取 对 4 种秋海棠,于盛花期的晴天上午 9:00—11:30 进行采样。每个物种采集生长健壮植株上正在盛开的完整花朵 10 朵置于 40 mL 顶空进样瓶中,并及时送至实验室。弄岗秋海棠在采集植株样本时,因雌雄花数量差异明显,故对其雌花和雄花分开采集与测定。

采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术进行挥发性有机物富集,实验方法参考朱晓珍等(2020)与夏科等(2018)的挥发性物质的萃取方法。具体操作流程如下:将已活化好的萃取头插入装有秋海棠花朵的进样瓶中,于 37 ℃恒温环境持续顶空萃取 30 min,取出萃取头插入 GC-MS 进样口,解析 5 min 后进样分析。

1.3.2 GC-MS 分析 GC-MS 分析综合参考朱晓珍等(2020)的方法。

气相色谱(GC):(1)采用 HP-5MS 型号的石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);(2)初始柱温设定为 50 ℃,以 5 ℃ · min^{-1}的速率加热至 200 ℃;(3)进样口温度为 230 ℃,不分流,进样量为 2 μL;(4)使用超高纯度氦气(纯度 ≥ 99.999%),流速为 1.0 mL · min^{-1}。

质谱(MS):(1)电离方式为电子电离(electron ionization, EI),电子能量为 70 eV;(2)离子源温度

为 230 ℃，传输线温度为 280 ℃，四极杆温度为 150 ℃；(3)采用全扫描采集模式，质量范围为 *m/z* 40~400。

1.3.3 *数据统计分析*　对照 GC-MS 总离子流色谱图以解析各色谱峰对应的质谱图(夏科等，2021)，采用 NIST05a.L 标准质谱数据库对解析得到的质谱数据进行双向匹配，并参考文献以确定检测成分。挥发性成分相对含量采用峰面积归一法计算得出，运用 WPS 软件统计与分析挥发性成分的数量及其相对含量，运用 OriginPro 2024b 软件绘制堆积柱状图、PCA 图、Venn 图。

2　结果与分析

2.1 4 种秋海棠花朵挥发性成分类型与主成分分析

2.1.1 *挥发性成分类型*　在 4 种秋海棠的鲜花样品中共检测出 56 种挥发性物质(表 1)，主要类型包括萜烯类、其他烃类、醇类、酚类、酯类、酰胺类及其他化合物。不同物种间花朵的挥发性类型有所不同。根据表 1 和图 1，可发现以下差异。

(1)萜烯类　从 4 种秋海棠花朵中共检测出 20 种萜烯类物质，各物种该类型物质总相对含量排序为弄岗秋海棠雄花(98.46%)、弄岗秋海棠雌花(97.59%)、鹿寨秋海棠(92.81%)、假癞叶秋海棠(86.86%)、灯果秋海棠(0%)。由此可以看出，弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠和假癞叶秋海棠花朵中挥发性物质以萜烯类为主，灯果秋海棠样本花朵中未检测出萜烯类化合物。

(2)其他烃类(萜烯类除外)　除萜烯类以外的烃类物质在 4 种秋海棠花朵中有 16 种，但相对含量除灯果秋海棠较高外(23.23%)，其余种类的此类物质的总相对含量均低于 3%。

(3)醇类　在供试样本花朵中共检测出 8 种醇类物质，其中灯果秋海棠花中此类物质含量最多(45.90%)，其次是假癞叶秋海棠(4.09%)和弄岗秋海棠(雄花 0.04%、雌花 0.19%)，鹿寨秋海棠花朵中未检测出醇类物质。

(4)酚类　仅在弄岗秋海棠雌花中检测出此类物质且相对含量低(0.15%)。

(5)酯类　在供试样本花朵中共检测出 6 种酯类物质，该类物质仅存在于弄岗秋海棠和假癞叶秋海棠花朵中，其总相对含量中，前者(雄花0.44%、雌花 0.72%)显著低于后者(6.01%)，而灯果秋海棠和鹿寨秋海棠花朵中均未检出酯类成分。

(6)酰胺类　此类挥发性物质仅存在于灯果秋海棠花朵中(占比为 26.20%)，其他 3 种秋海棠花朵中未检测出。

(7)其他化合物　此类物质包括芳香类化合物、N 化合物、羧酸类化合物和吡啶衍生物等。其他化合物中以鹿寨秋海棠占比最高(6.08%)，其次是灯果秋海棠(4.67%)，弄岗秋海棠雄花和假癞叶秋海棠占比少，弄岗秋海棠雌花中没有检测出其他化合物。

2.1.2 *主成分分析*　选取 4 种秋海棠花朵挥发性成分中相对含量大于 2%的 17 种成分进行主成分分析。结果(图 2)显示，PC1 贡献率为 52.7%，PC2 贡献率为 33.0%，二者贡献率为 85.7%，说明这两个主成分基本能反映原始样品的主要特征信息。其中，(*S*)-(−)-柠檬烯(7)、荜烯(2)、*β*-蒎烯(3)和*β*-月桂烯(4)等对 PC1 为正影响；(*E*)-*β*-罗勒烯(8)、苯乙腈(53)对 PC1 为负影响；1,8-壬二炔(24)等物质对 PC2 为正影响；(*Z*)-*β*-罗勒烯(9)和 *α*-法呢烯(20)等对 PC2 为负影响。

根据图 2 中各样本点的位置，4 种秋海棠花朵挥发性成分分布在 3 个象限中，鹿寨秋海棠、弄岗秋海棠雌花和雄花均位于第三象限区(PC1 负轴区域、PC2 负轴区域)，挥发物具有较为相似的化学构成，该区域主要物质有(*Z*)-*β*-罗勒烯(9)等；灯果秋海棠、假癞叶秋海棠与其他样本分布在不同象限，说明这两种植物花朵挥发性成分存在明显差异。灯果秋海棠主要物质有 1,8-壬二炔(24)等 5 种；假癞叶秋海棠主要物质有 *β*-月桂烯、(*S*)-(−)-柠檬烯等。

2.2 4 种秋海棠花朵挥发性成分量化分析

量化分析主要涉及 4 个物种的花朵挥发性物质种类和相对含量两方面，其种类丰富度高低排序分别为弄岗秋海棠(27 种，雌雄花合计)>假癞叶秋海棠(22 种)> 鹿寨秋海棠(10 种)>灯果秋海棠(5 种)。由图 3 可知，4 种秋海棠无共有成分，假癞叶秋海棠、弄岗秋海棠和鹿寨秋海棠花朵挥发性物质存在共性成分(*Z*)-*β*-罗勒烯，但每种的相对含量有所不同。

(1)灯果秋海棠：该物种花朵挥发性成分仅有 5 种，分别为 3,6-二甲氧基-9-(2-苯基乙炔基)-9-芴醇(45.90%)、(1*α*,2*Z*,3*α*)-3-乙烯基-2-(3-戊烯亚基)-*N*- 苯基环戊烷甲酰胺 (26.20%)、1,4-戊二

表 1 4 种秋海棠花挥发性成分分析表

Table 1 Analysis of volatile components of four *Begonia* species flowers

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	相对含量 Relative content (%)				
			A	B	C	D	E
		萜烯类 Terpenes					
1	7.144	(1*R*)-α-蒎烯 (1*R*)-α-pinene	—	—	—	—	4.40
2	7.525	莰烯 Camphene	—	—	—	—	2.05
3	8.214	β-蒎烯 β-Pinene	—	—	—	0.35	5.59
4	8.540	β-月桂烯 β-Myrcene	—	0.74	1.06	—	22.43
5	8.941	α-水芹烯 α-Phellandrene	—	—	—	—	0.75
6	9.288	3-甲基-6-(1-甲基亚乙基)环己烯 3-Methyl-6-(1-methylethylidene)cyclohexene	—	—	—	—	0.38
7	9.639	(*S*)-(−)-柠檬烯 (*S*)-(−)-limonene	—	—	—	—	42.34
8	9.800	(*E*)-β-罗勒烯 (*E*)-β-ocimene	—	1.72	2.19	1.76	—
9	10.172	(*Z*)-β-罗勒烯 (*Z*)-β-ocimene	—	93.49	92.07	81.72	0.47
10	10.392	4-甲基-1-(1-甲基乙基)双环[3.1.0]己-2-烯 4-Methyl-1-(1-methylethyl) bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	—	—	—	—	0.37
11	11.233	罗勒烯 Ocimene	—	0.04	—	—	—
12	11.233	(+)-4-蒈烯 (+)-4-Carene	—	—	—	—	8.08
13	11.246	3-乙烯基-2,5-二甲基-1,4-己二烯 3-Ethenyl-2,5-dimethyl-1,4-hexadiene	—	—	0.21	—	—
14	12.358	1,3,5,5-四甲基-1,3-环己二烯 1,3,5,5-Tetramethyl-1,3-cyclohexadiene	—	—	1.28	0.43	—
15	12.438	(3*E*,5*E*)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 (3*E*,5*E*)-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	—	0.45	—	—	—
16	12.717	别罗勒烯 Allo-ocimene	—	1.23	—	—	—
17	14.316	1-亚甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烷 1-Methylene-4-(1-methylethenyl)cyclohexane	—	0.05	—	—	—
18	21.077	(*Z*)-β-金合欢烯 (*Z*)-β-farnesene	—	—	0.78	—	—
19	21.086	(*E*)-β-金合欢烯 (*E*)-β-farnesene	—	0.74	—	—	—
20	22.388	α-法呢烯 α-Farnesene	—	—	—	8.55	—
合计 Total			—	98.46	97.59	92.81	86.86
		其他烃类(萜烯类除外) Other hydrocarbons (excluding terpenes)					
21	6.328	苯并环丁烯 Benzocyclobutene	—	—	—	—	2.48
22	8.996	5-甲基-1,3,6-庚三烯 5-Methyl-1,3,6-heptatriene	—	0.20	—	—	—
23	9.571	1,2-环壬二烯 1,2-Cyclononadiene	—	0.03	—	—	—
24	9.576	1,8-壬二炔 1,8-Nonadiyne	15.76	—	—	—	—
25	9.588	(*E*)-1,3-戊二烯 (*E*)-1,3-pentadiene	—	—	0.05	—	—
26	10.400	(*E*)-1,1-二甲基-2-(3-甲基-1,3-丁二烯基)环丙烷 (*E*)-1,1-dimethyl-2-(3-methylbuta-1,3-dien-1-yl)cyclopropane	—	0.33	0.72	—	—
27	11.018	7-乙烯基双环[4.2.0]辛-1-烯 7-Ethenylbicyclo[4.2.0]oct-1-ene	—	0.07	—	—	—

续表 1

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	相对含量 Relative content (%)				
			A	B	C	D	E
28	11.436	1,3,3-三甲基-2-乙烯基环己烯 2-Ethenyl-1,3,3-trimethylcyclohexene	—	0.08	—	—	—
29	12.180	3-甲基-4-亚甲基双环[3.2.1]辛-2-烯 3-Methyl-4-methylenebicyclo[3.2.1]oct-2-ene	—	0.06	0.37	—	—
30	12.447	1,2,3,4,5,8-六氢萘　1,2,3,4,5,8-Hexahydronaphthalene	—	—	—	0.24	—
31	12.722	(1α,2β,4β,5α)-3,3,6,6-四甲基三环[3.1.0.0^{2,4}]己烷 (1α,2β,4β,5α)-3,3,6,6-Tetramethyltricyclo[3.1.0.0^{2,4}]hexane	—	—	—	0.23	—
32	13.090	1,4-戊二烯　1,4-Pentadiene	7.47	0.06	0.21	—	—
33	15.301	3,3,6-三甲基-1,4-庚二烯　3,3,6-Trimethyl-1,4-heptadiene	—	0.03	—	—	—
34	18.405	4-甲基-1,4-庚二烯　4-Methyl-1,4-heptadiene	—	—	—	—	0.11
35	20.291	3-戊基环己烯　3-Pentylcyclohexene	—	—	—	0.52	—
36	22.025	1,1-二环丙基乙烯　1,1-Dicyclopropylethylene	—	—	—	0.12	—
合计 Total			23.23	0.86	1.35	1.11	2.59
		醇类 Alcohols					
37	10.840	2-异亚丙基-α-甲基环丙烷甲醇 2-Isopropylidene-α-methylcyclopropanemethanol	—	—	0.19	—	—
38	11.584	芳樟醇　Linalool	—	—	—	—	1.34
39	13.842	(-)-4-萜品醇　(-)-Terpinen-4-ol	—	—	—	—	0.15
40	14.269	α-松油醇　α-Terpineol	—	—	—	—	1.99
41	15.314	2-乙烯基-2,5-二甲基-4-己烯-1-醇 2-Ethenyl-2,5-dimethyl-4-hexen-1-ol	—	0.04	—	—	—
42	15.999	2,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇 2,7-Dimethyl-2,6-octadien-1-ol	—	—	—	—	0.54
43	17.276	6-甲基-1-庚醇　6-Methyl-1-heptanol	—	—	—	—	0.07
44	17.487	3,6-二甲氧基-9-(2-苯基乙炔基)-9-芴醇 3,6-Dimethoxy-9-(2-phenylethynyl)-fluoren-9-ol	45.90	—	—	—	—
合计 Total			45.90	0.04	0.19	—	4.09
		酚类　Phenols					
45	11.432	4-叔丁基苯酚　4-*tert*-Butylphenol	—	—	0.15	—	—
合计 Total			—	—	0.15	—	—
		酯类 Esters					
46	11.593	丁酸芳樟酯　Linalyl butyrate	—	—	0.72	—	—
47	11.601	丙酸芳樟酯　Linalyl propionate	—	0.44	—	—	—
48	16.701	乙酸龙脑酯　Bornyl acetate	—	—	—	—	1.68
49	18.709	乙酸橙花酯　Neryl acetate	—	—	—	—	0.34
50	19.225	乙酸香叶酯　Geranyl acetate	—	—	—	—	3.89

续表 1

序号 No.	保留时间 Retention time (min)	化合物 Compound	相对含量 Relative content (%)				
			A	B	C	D	E
51	19.526	4-甲基-2-氧代-2*H*-色烯-7-基 (2*E*)-3-苯基丙烯酸酯 4-Methyl-2-oxo-2*H*-chromen-7-yl (2*E*)-3-phenylacrylate	—	—	—	—	0.10
合计 Total			—	0.44	0.72	—	6.01
		酰胺类 Amides					
52	8.518	(1α,2*Z*,3α)-3-乙烯基-2-(3-戊烯亚基)-*N*-苯基环戊烷甲酰胺 (1α,2*Z*,3α)-3-ethenyl-2-(3-pentenylidene)-*N*-phenylcyclopentanecarboxamide	26.20	—	—	—	—
合计 Total			26.20	—	—	—	—
		其他化合物 Other compounds					
53	12.916	苯乙腈 Benzyl cyanide	—	—	—	6.08	—
54	14.434	1-(甲氧基甲基)-1,3,5,7-环辛四烯 1-(Methoxymethyl)-1,3,5,7-cyclooctatetraene	4.67	—	—	—	—
55	17.483	4-(4-氯苯基)-2,6-二苯基吡啶 4-(4-Chlorophenyl)-2,6-diphenylpyridine	—	0.17	—	—	0.45
56	17.711	4-甲基-2-戊烯酸 4-Methyl-2-pentenoic acid	—	0.03	—	—	—
合计 Total			4.67	0.20	—	6.08	0.45

注：**A**. 灯果秋海棠花；**B**. 弄岗秋海棠雄花；**C**. 弄岗秋海棠雌花；**D**. 鹿寨秋海棠花；**E**. 假癞叶秋海棠花。—表示未检测出。

Note: **A**. Flower of *Begonia lanternaria*; **B**. Male flower of *B. longgangensis*; **C**. Female flower of *B. longgangensis*; **D**. Flower of *B. luzhaiensis*; **E**. Flower of *B. pseudoleprosa*. — indicates undetected.

烯(7.47%)、1-(甲氧基甲基)-1,3,5,7-环辛四烯(4.67%)和1,8-壬二炔(15.76%),其中前两种成分是其主要挥发性物质,其特有成分4种。

(2)弄岗秋海棠:该物种花朵中共检测出27种挥发性成分,其中雄花和雌花分别检测出20种和13种,二者均含有(*Z*)-β-罗勒烯、β-月桂烯、(*E*)-β-罗勒烯、1,4-戊二烯等6种化合物。(*Z*)-β-罗勒烯在雄花和雌花中的相对含量分别高达93.49%和92.07%。雄花特有成分13种,但含量均较低,含量最多的别罗勒烯也仅1.23%。雌花特有挥发性成分较雄花少,仅6种,相对含量均小于1%。由此可见,该物种雄花和雌花的挥发性物质成分在类型上存在一定的差异,但差异不显著,皆以萜烯类为主。弄岗秋海棠与灯果秋海棠、鹿寨秋海棠之间各有1个共有的挥发性成分[1,4-戊二烯、(*E*)-β-罗勒烯]。

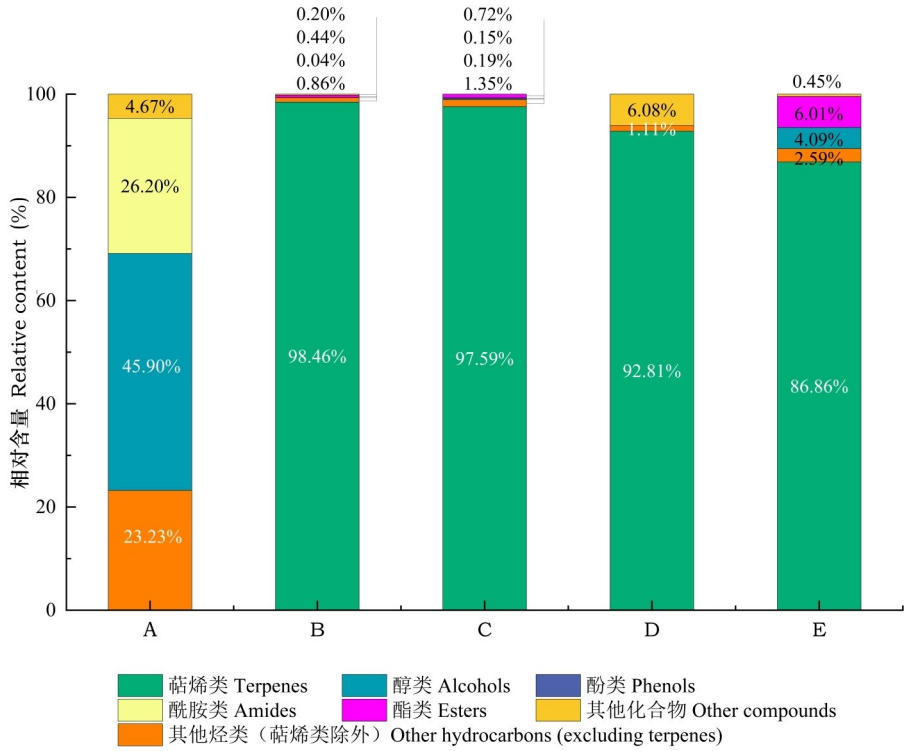
(3)鹿寨秋海棠:该物种花朵中共检测出10种挥发性成分,主要包括(*Z*)-β-罗勒烯(81.72%)、α-法呢烯(8.55%)、苯乙腈(6.08%)和(*E*)-β-罗勒烯(1.76%)。特有挥发性成分6种,其中含量较高的分别为α-法呢烯和苯乙腈。

(4)假癞叶秋海棠:该物种花朵中共检测出22种挥发性成分,主要成分包括(*S*)-(-)-柠檬烯(42.34%)、β-月桂烯(22.43%)和(+)-4-萜烯(8.08%)等。其特有的挥发性成分18种,其中相对含量最高的为(*S*)-(-)-柠檬烯。与鹿寨秋海棠、弄岗秋海棠雌花和弄岗秋海棠雄花共有的挥发性成分分别有2种[β-蒎烯、(*Z*)-β-罗勒烯]、2种[β-月桂烯、(*Z*)-β-罗勒烯]、3种[β-月桂烯、(*Z*)-β-罗勒烯、4-(4-氯苯基)-2,6-二苯基吡啶],与灯果秋海棠无共性成分。

3 讨论与结论

3.1 讨论

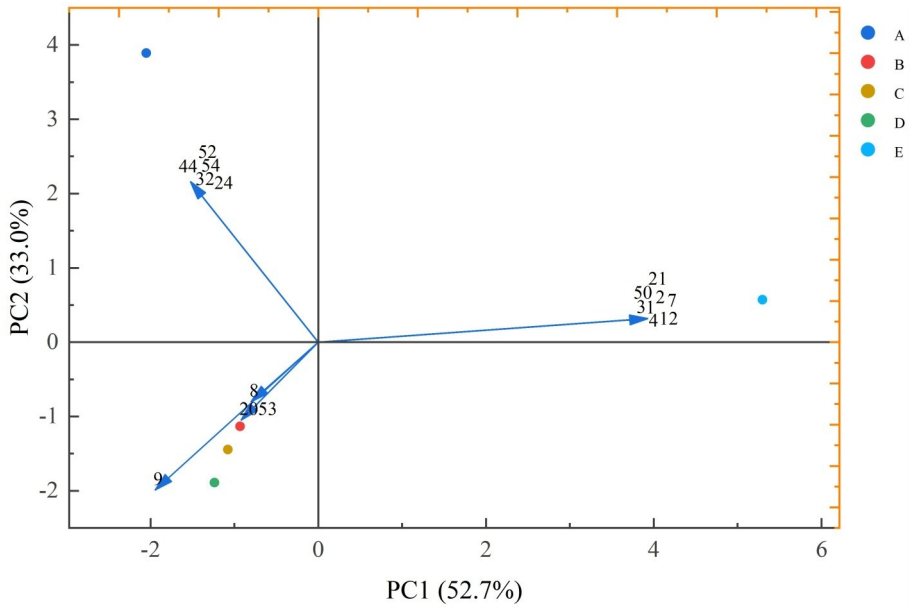
3.1.1 秋海棠属挥发性成分的种间差异 现有对秋海棠属植物花朵挥发性物质的研究均采用HS-SPME-GC-MS技术,但受产地、栽培环境条件、采



A. 灯果秋海棠花；**B**. 弄岗秋海棠雄花；**C**. 弄岗秋海棠雌花；**D**. 鹿寨秋海棠花；**E**. 假癞叶秋海棠花。下同。
A. Flower of *Begonia lanternaria*; **B**. Male flower of *B. longgangensis*; **C**. Female flower of *B. longgangensis*; **D**. Flower of *B. luzhaiensis*; **E**. Flower of *B. pseudoleprosa*. The same below.

图 1　4 种秋海棠属植物花朵挥发性成分类型与占比
Fig. 1　Types and proportions of volatile components in flowers of four *Begonia* species

样器官、检测条件等的影响，各物种挥发性成分和含量存在差异。例如，丁友芳等（2021）从福建厦门产的香花秋海棠雄花中检测出挥发性物质 21 种，以醛类为主（57.12%），其中糠醛占 43.53%；而其变种铺地秋海棠（雌花）和红毛香花秋海棠（雄花）的挥发性物质分别为 32 种和 44 种，两变种均以醇类为主（50.10%和 38.22%），顺式芳樟醇氧化物（呋喃型）占比最多（21.90%和 20.00%）。梁晓莉等（2022）对广州引种栽培的香花秋海棠雌花和冰花进行研究，发现其挥发性成分均以醇类为主（65.10%和 62.40%），1-辛烯-3-醇占比最高（33.48%和 20.78%），鲜花挥发性成分达 63 种，数量上明显高于丁友芳等（2021）报道的同种植物雄花成分数量（21 种），这可能源于生态因子差异及取花部位不同。同时，梁晓莉等（2022）的研究发现，鲜花经冷冻处理后，冰花样本中挥发性化合物类型会发生变化。李中昊（2025）研究表明，香花秋海棠花挥发性成分以醇类（16.03%）、烃类（25.05%）、酯类（22.16%）、酮类（16.95%）为主。由此可见，物种产地、花器官类型（雄花/雌花）及其生理状态（鲜花/冰花）上的差异，会对挥发性成分的分布和含量有重要影响。此外，杜文文等（2022）发现假厚叶秋海棠和中华秋海棠以萜烯类为主（75.44%和 78.61%），柳叶秋海棠和里氏秋海棠以苯类/苯丙素类为主，挥发性成分丰富度从大到小依次为柳叶秋海棠（28 种）、假厚叶秋海棠（23 种）、中华秋海棠（21 种）、里氏秋海棠（15 种）。梁晓莉等（2025）从丽纹秋海棠花中检测出 30 种挥发性成分，以杂环类为主（60.14%）；而鸟叶秋海棠（56 种）和巴萨罗斯秋海棠（44 种）均以醇类为主（46.90%和 56.09%）。本研究与上述文献对比发现，秋海棠属植物挥发性成分既存在某些种类花挥发性成分中萜烯类物质富集的共性，又表现出显著的物种特异性。弄岗秋海棠、鹿寨



数字同表 1 中序号。

The number is the same as the serial number in Table 1.

图 2 主成分分析

Fig. 2 Principal component analysis

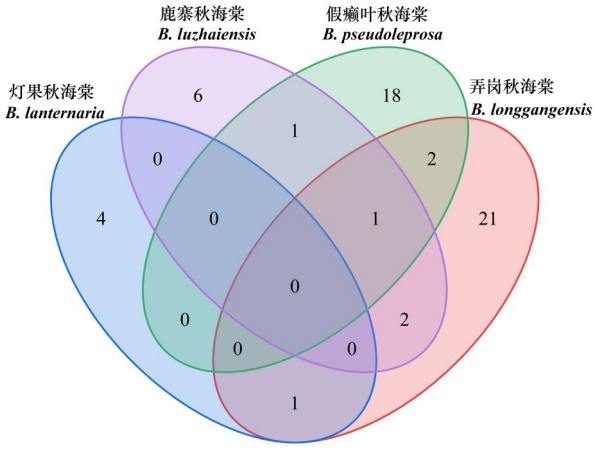


图 3 4 种秋海棠花朵挥发性成分 Venn 图分析

Fig. 3 Venn diagram analysis of volatile components in flowers of four *Begonia* species

秋海棠以及假癞叶秋海棠均以萜烯类物质为主，这与杜文文等(2022)报道的假厚叶秋海棠和中华秋海棠中萜烯高占比的特征一致。不同之处体现在单萜与倍半萜的分化上，弄岗秋海棠与鹿寨秋海棠花朵中挥发性物质以单萜烯［(*Z*)-*β*-罗勒烯］为主，假癞叶秋海棠以单萜烯［(*S*)-(−)-柠檬烯、*β*-月桂烯］为主，而假厚叶秋海棠和中华秋海棠则以 *β*-石竹烯、*α*-法呢烯等倍半萜类为主。灯果秋海棠花的挥发性成分以醇类为主，这与梁晓莉等(2025)报道的鸟叶秋海棠与巴萨罗斯秋海棠花中挥发性主要成分类型一致，但具体的挥发性物质种类则不同。另外，本研究检测出的化合物种类少于其他研究且萜烯类物质在弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠和假癞叶秋海棠花挥发性性成分中相对含量占比高，并首次在秋海棠属中发现单一成分高度富集的现象。尽管秋海棠属此前未见单一挥发性成分超高占比的报道，但跨类群研究存在某一挥发性成分占比高的现象。覃泳智等(2025)发现洋紫荆 4 个品种鲜花中倍半萜类和单萜类化合物的相对含量均超 95.00%，其中 YZJ2 号中(*Z*)-*β*-罗勒烯相对含量达(78.26±6.50)%。胡桂婷等(2025)检测出柳叶蜡梅花香以 *β*-水芹烯(77.49%～80.65%)为主。此外，陆永垚等(2025)证实沃柑等 7 种柑橘类水果果皮中萜烯类化合物相对含量为 89.6%～97.2%，D-柠檬烯是其中的主要成分，砂糖橘果皮中该物质含量尤为突出，达 91.2%。影响植物萜类化合物产生的因素主要为

遗传控制和生态环境条件，其中单萜类化合物的含量与释放量尤其易受温度、光照强度和土壤肥沃程度等的影响（彭少麟等，2002）。弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠以及假癞叶秋海棠引种自广西喀斯特地区，原生境中土层浅薄、贫瘠，这种环境条件促使植物发展出独特的生理和生化特征，以适应极端的土壤和水分条件，如释放出的特殊挥发性有机物质，不仅能够帮助植物抵御恶劣环境，也可参与植物的防御（胡书婧和张汝民，2022）。（*Z*）-*β*-罗勒烯作为 *β*-罗勒烯的同分异构体，在弄岗秋海棠和鹿寨秋海棠花中占比极高，可能是物种对传粉者吸引或抗虫防御的适应性响应，或许与虫媒传粉策略相关，也可能与人工栽培环境有关。本研究样本采自大棚栽培植株，栽植土壤为酸性腐殖土，人工栽培环境可能对花期及花朵挥发性成分产生影响，这或许是单一挥发性成分相对含量偏高的原因之一，此外，也可能与取样量、检测方式、植株年龄等有关。灯果秋海棠花中挥发性物质少且缺乏萜类化合物，释放出的特殊醇类也可能与其独特的生态位或繁殖策略有关，也有可能是由栽培条件（盆栽于大棚内）、提取方法、分析仪器参数设置等原因引起的。相比前人对秋海棠花挥发性物质的研究，本研究首次从秋海棠属植物中检测出了 3-甲基-6-（1-甲基亚乙基）环己烯等成分，这为秋海棠属植物挥发性成分的研究增添了新的数据和视角，同时也为该属植物的化学分类、生态适应机制以及资源开发利用提供了新方向。

3.1.2 *秋海棠属植物挥发物成分的多维应用价值*

植物挥发性有机化合物（VOCs）作为植物次生代谢的重要产物，在自然界和人类生活中扮演着多重角色。这些低沸点、易挥发的小分子化合物不仅在调节植物与周围环境间的信息交流中起着重要作用（李军，2016），而且还在食品与医药健康、农业生产、园艺疗法与康养旅游、心理健康调节等领域展现出广阔的应用前景。

萜烯类化合物凭借多样化的生物活性与天然属性在多个领域展现出重要价值。在本研究的 4 个物种花中，检测到的萜烯类化合物相对含量较高的有 *β*-罗勒烯、（*S*）-（−）-柠檬烯和 *β*-月桂烯。其中，*β*-罗勒烯具有清甜的花果香气，存在（*Z*）-与（*E*）-两种几何异构体。该化合物不仅是一种与植物防御启动密切相关的信号分子（刘武等，2012），还具有一定的抗菌和抗氧化活性，在天然食品香料及绿色化妆品开发中具有良好应用潜力。柠檬烯因宜人的柠檬香气及抗菌、抗氧化、抗炎、抗肿瘤等生物活性，已广泛应用于食品防腐、医药制剂以及天然风味添加剂中。此外，其杀虫、杀菌及除草活性，在农业病虫害防控中具有一定的潜能和应用前景（李烨青等，2023）。月桂烯是一种常见食品添加剂，具有清淡的香脂香气，在食品和饮料制造中用作调味剂，具有抗焦虑、抗氧化、抗衰老、抗菌、镇痛、抗炎和抗分解代谢作用（Surendran et al.，2021；王元成等，2022）。管开云等（2005）研究证实，有些秋海棠属植物释放的挥发性物质对葡萄球菌（*Staphyllococcus epidermidis*）、大肠杆菌（*Escherichia coli*）和白假丝酵母菌（*Candida albicans*）有抗性。鉴于弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠花挥发性成分中（*Z*）-*β*-罗勒烯的相对含量占比高，笔者认为可将这两种植物的花作为天然植物源罗勒烯的提取材料和植物精油新原料。假癞叶秋海棠花中（*S*）-（−）-柠檬烯含量高达 42.34%，该组分不仅可作天然风味剂和抗氧化剂，还可作为植物源农药用于生物防治。

当前，萜烯类物质的健康调节功能正推动其在园艺疗愈、康养领域的应用。本研究检测出的 56 种花朵挥发性物质中，其中 29 种经文献检索被证实具有明显的芳香特征（郝瑞杰，2014；杜文文等，2022；张鹏等，2025），主要为萜烯类、醇类和酯类化合物。这些物质赋予不同物种独特的香气轮廓。在假癞叶秋海棠鲜花中，相对含量较高的 *β*-蒎烯（5.59%）赋予其典型的松木香气与松节油气息，*β*-月桂烯（22.43%）贡献清淡的香脂香，（*S*）-（−）-柠檬烯（42.34%）带来清新的柠檬香味。弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠以呈柑橘香型香气的（*Z*）-*β*-罗勒烯为主，此外，在鹿寨秋海棠鲜花中，相对含量超过 5% 的还有 *α*-法呢烯（8.55%），其具有青香、淡淡花香及蜡质果皮般的复合香气。灯果秋海棠鲜花中的挥发性物质目前没有直接的文献报道与明确描述其花中化合物的气味，但近距离能闻到淡淡的芳香气味。这进一步支持了 4 种秋海棠在园艺疗法和康养旅游景观建设中的应用。鉴定出的 29 种芳香挥发性物质，特别是假癞叶秋海棠独有的（*S*）-（−）-柠檬烯，以及弄岗秋海棠和鹿寨秋海棠花中高含量的（*Z*）-*β*-罗勒烯均可作为关键香气标记物用于香型育种。但是，在应用中要注意，因为柠檬烯、罗勒烯对皮肤有刺激性，直接接触花可能会

引发红肿、瘙痒、灼热感等过敏反应,所以应规避孕妇、儿童、过敏体质等高风险人群。

3.2 结论

综上所述,秋海棠属植物在挥发性成分上表现出极高的种间多样性,这种多样性不仅体现在不同种类的挥发性化合物种类和含量上,还体现在其香气特征的显著差异上。本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术在 4 种广西特有秋海棠植物鲜花中鉴定出 56 种挥发性有机化合物,这些挥发性成分的丰富度从大到小依次为弄岗秋海棠(27 种)、假癞叶秋海棠(22 种)、鹿寨秋海棠(10 种)和灯果秋海棠(5 种),这 4 种秋海棠的花朵挥发性物质之间无共有成分。花中特有挥发性成分以假癞叶秋海棠最多,有 18 种,弄岗秋海棠有 13 种(雄花)和 6 种(雌花)特有挥发物,鹿寨秋海棠有 6 种,灯果秋海棠只有 4 种特有成分。弄岗秋海棠、鹿寨秋海棠和假癞叶秋海棠属于单萜优势型,而灯果秋海棠则以特殊醇类成分为主。本研究首次报道的(*Z*)-*β*-罗勒烯优势型为秋海棠挥发性成分研究增添了新的化学型,而灯果秋海棠的特殊醇类成分则提示该属植物可能存在尚未发现的次生代谢途径。这些发现不仅增进了对秋海棠化学多样性的认识,也为后续研究该属植物的传粉生态和进化适应提供了新的线索。同时,这些挥发性成分的显著差异赋予了不同种类秋海棠各自独特的芳香特性,能为秋海棠属植物的种质资源评估、品种改良、园艺应用开发以及康养旅游等领域提供参考。未来研究可以进一步探讨不同环境条件对挥发性成分的影响,以及挥发性成分在不同植物组织中的分布规律,以期为秋海棠属植物的香气改良、新品种选育、区域特色花卉的开发利用以及该属植物的可持续利用和生态保护提供科学支持。

参考文献:

Chen Y Q, Dong L N, Yi H Q, et al., 2024. Genomic divergence and mutation load in the *Begonia masoniana* complex from limestone karsts [J]. Plant Diversity, 46(5): 575-584.

Deng T, Huang Y, Tang W X, et al., 2023. A new Begonia cultivar 'Broken Star' [J]. Acta Horticulturae Sinica, 50(S2): 127-128. [邓涛, 黄扬, 唐文秀, 等, 2023. 秋海棠新品种'碎星' [J]. 园艺学报, 50(增刊2): 127-128.]

Ding Y F, Chen F, Lü Y L, et al., 2021. Analysis of aroma components in the flowers of *Begonia handelii* and its varieties by HS-SPME/GC-MS [J]. Subtropical Plant Science, 50(5): 347-352. [丁友芳, 陈菲, 吕燕玲, 等, 2021. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析香花秋海棠及其变种花香气成分 [J]. 亚热带植物科学, 50(5): 347-352.]

Du W W, Duan Q, Jia W J, et al., 2022. Determination of volatile compounds and analysis of characteristic aroma components of four kind of *Begonia* species flowers [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 44(5): 1043-1053. [杜文文, 段青, 贾文杰, 等, 2022. 4 种秋海棠花香挥发性物质测定与特征香气成分分析 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 44(5): 1043-1053.]

Du W W, Wang X N, Duan Q, et al., 2018. Genome size comparison in 34 *Begonia* L. species [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 19(2): 370-376. [杜文文, 王祥宁, 段青, 等, 2018. 34 种秋海棠基因组大小比较与分析 [J]. 植物遗传资源学报, 19(2): 370-376.]

Gao Y Y, Huang Y, Huang Y, et al., 2023. Comprehensive evaluation of plant resources and gardening application of wild *Begonia* in Guangxi [J]. Forest Resources Management (1): 104-114. [高洋洋, 黄莹, 黄扬, 等, 2023. 广西野生秋海棠植物资源与园林应用综合评价 [J]. 林业资源管理 (1): 104-114.]

Guan K Y, Fershalova T D, Tsybulya N V, et al., 2005. Antimicrobic activity of volatile emissions of some begonias from Yunnan, China [J]. Acta Botanica Yunnanica, 27(4): 437-442. [管开云, Fershalova T D, Tsybulya N V, 等, 2005. 云南秋海棠挥发物抗微生物活性的研究(英文) [J]. 云南植物研究, 27(4): 437-442.]

Hao R J, 2014. Research on plant fragrance [M]. Beijing: China Forestry Publishing House. [郝瑞杰, 2014. 植物花香研究 [M]. 北京: 中国林业出版社.]

Hu G T, Yang L Y, Ren G B, et al., 2025. Floral substances and daytime release rhythms of 3 *Chimonanthus* species [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 42(1): 124-132. [胡桂婷, 杨丽媛, 任广兵, 等, 2025. 3 种蜡梅属植物花香物质及白天释放节律 [J]. 浙江农林大学学报, 42(1): 124-132.]

Hu R C, Zhou J Y, Zhao Z Y, et al., 2025. Two new tuberous species of *Begonia* (Begoniaceae) from Guangxi, China [J]. PhytoKeys, 256: 119-129.

Hu S J, Zhang R M, 2022. Roles of volatile organic compounds in plant adaptation to stress and physiological ecology [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 39(6): 1378-

1387.［胡书婧，张汝民，2022. 挥发性有机化合物在植物适应胁迫及生理生态中的作用［J］. 浙江农林大学学报，39(6)：1378-1387.］

Huang B，He S L，Li T Y，et al.，2023. Comparison on volatile components in flower buds and flowers of three species in *Calanthe*［J］. Journal of Plant Resources and Environment，32(5)：92-94.［黄蓓，何水莲，李田园，等，2023. 虾脊兰属 3 种植物花蕾和花朵中挥发性成分的比较［J］. 植物资源与环境学报，32(5)：92-94.］

Li J，2016. Research progress in the volatile organic compounds of plant［J］. Ecology and Environmental Sciences，25(6)：1076-1081.［李军，2016. 植物挥发性有机化合物研究方法进展［J］. 生态环境学报，25(6)：1076-1081.］

Li J X，Guan K Y，Kong F C，et al.，2021. A brief summary of Chinese *Begonia* resources［J］. Chinese Wild Plant Resources，40(12)：35-44.［李景秀，管开云，孔繁才，等，2021. 中国秋海棠属植物资源概述［J］. 中国野生植物资源，40(12)：35-44.］

Li Y Q，Zhang C P，Fang N，et al.，2023. Research progress of limonene in the prevention and control of agricultural diseases，pests and weeds［J］. Chinese Journal of Pesticide Science，25(5)：1004-1016.［李烨青，张昌朋，方楠，等，2023. 柠檬烯在农业病虫草害防控中的应用研究进展［J］. 农药学学报，25(5)：1004-1016.］

Li Z H，2025. Analysis of floral volatiles of *Begonia* species［D］. Guangzhou：Zhongkai University of Agriculture and Engineering.［李中昊，2025. 秋海棠属植物花的挥发物的分析［D］. 广州：仲恺农业工程学院.］

Liang X L，Gao Y R，Wang L Y，et al.，2025. Volatile components analysis of *Begonia* floral aroma［J］. Journal of Tropical and Subtropical Botany，33(1)：81-90.［梁晓莉，高雁茹，王龙远，等，2025. 秋海棠花香挥发性成分分析［J］. 热带亚热带植物学报，33(1)：81-90.］

Liang X L，Wang N，Zhou Z X，et al.，2022. Volatile components of *Begonia handelii* by GC-MS［J］. Subtropical Plant Science，51(6)：424-433.［梁晓莉，王宁，周志雄，等，2022. 香花秋海棠挥发性成分的 GC-MS 分析［J］. 亚热带植物科学，51(6)：424-433.］

Liu R，Tian Z X，Tan A Q，et al.，2021. Screening of mutants of key genes in β-ocimene signaling pathway［J］. Molecular Plant Breeding，19(6)：1947-1953.［刘荣，田梓轩，谭安琪，等，2021. β-罗勒烯信号传导途径关键基因突变体的筛选［J］. 分子植物育种，19(6)：1947-1953.］

Liu W，Ruan Y，Liu C L，2012. Research progress of plant defense signal molecule — β-ocimene［J］. Plant Physiology Journal，48(2)：103-110.［刘武，阮颖，刘春林，2012. 植物防御信号分子 β-罗勒烯的研究进展［J］. 植物生理学报，48(2)：103-110.］

Lu Q F，Luo W H，2024. Chloroplast genome sequence of *Begonia asteropyrifolia* and comparative analysis with other related species［J］. Brazilian Journal of Botany，47(1)：105-117.

Lu Y Y，Pang C，Gan C F，et al.，2025. Analysis of characteristic aroma components in seven citrus fruits in Guangxi［J］. Technology & Development of Chemical Industry，54(6)：64-69.［陆永垚，庞程，甘春芳，等，2025. 广西 7 种柑橘类水果的特征香气成分分析［J］. 化工技术与开发，54(6)：64-69.］

Ministry of Ecology and Environment，Chinese Academy of Sciences，2023. Red list of China biodiversity：Volume of higher plants（2020）［EB/OL］.［2023-05-19］. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.［生态环境部 中国科学院，2023. 中国生物多样性红色名录—高等植物卷(2020)［EB/OL］.［2023-05-19］. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.］

Pang J W，Yin F L，Liu Y F，et al.，2023. Research progress of HS-SPME-GC-MS in the detection of volatile substances in fruit products［J］. Food & Machinery，39(4)：217-224.［庞纪伟，殷菲胧，刘云芬，等，2023. HS-SPME-GC-MS 在水果产品挥发性物质检测中的研究进展［J］. 食品与机械，39(4)：217-224.］

Peng S L，Nan P，Zhong Y，2002. Terpenoids in higher plants and their roles in ecosystems［J］. Chinese Journal of Ecology，21(3)：33-38.［彭少麟，南蓬，钟扬，2002. 高等植物中的萜类化合物及其在生态系统中的作用［J］. 生态学杂志，21(3)：33-38.］

Qin Y Z，Zhou H J，Wei L Z，et al.，2025. Correlation analysis between flower colors and floral fragrance in 4 *Bauhinia variegate* varieties［J］. Journal of Southern Agriculture，56(2)：474-484.［覃泳智，周海将，韦柳仲，等，2025. 4 个洋紫荆品种花色与花香的相关性［J］. 南方农业学报，56(2)：474-484.］

Qiu S，Zheng W J，Xia K，et al.，2019. Volatile components in flowers of *Dendrobium moniliforme*［J］. Guihaia，39(11)：1482-1495.［仇硕，郑文俊，夏科，等，2019. 细茎石斛花朵挥发性成分分析［J］. 广西植物，39(11)：1482-1495.］

Shui Y M，Chen W H，Peng H，et al.，2019. Taxonomy of *Begonias*［M］. Kunming：Yunnan Science and Technology Press：1-208.［税玉民，陈文红，彭华，等，2019. 世界秋海棠分类及系统［M］. 昆明：云南科技出版社：1-208.］

Sun Z X，Song Y Y，Zeng R S，2019. Advances in studies on intraspecific and interspecific relationships mediated by plant volatiles［J］. Journal of South China Agricultural University，

40(5): 166-174. [孙仲亨, 宋圆圆, 曾任森, 2019. 植物挥发物介导的种内与种间关系研究进展 [J]. 华南农业大学学报, 40(5): 166-174.]

Surendran S, Qassadi F, Surendran G, et al., 2021. Myrcene—What are the potential health benefits of this flavouring and aroma agent? [J]. Frontiers in Nutrition, 8: 699666.

Tian D K, 2020. The diversity, conservation, and development status of *Begonia* resources in China (I) [J]. Flower Plant & Penjing (11): 4-7. [田代科, 2020. 中国秋海棠的多样性、保护及开发利用现状(上) [J]. 花木盆景(花卉园艺)(11): 4-7.]

Wang Y C, Zhang M, Zhou X X, et al., 2022. Floral volatile components from five *Dendrobium* species based on SPME-GC-MS [J]. Forest Research, 35(1): 132-140. [王元成, 张萌, 周晓星, 等, 2022. 基于 GC-MS 的五种石斛花朵挥发性成分鉴定与差异性分析 [J]. 林业科学研究, 35(1): 132-140.]

Xia K, Jiang B S, Zhao Z G, et al., 2018. Comparative analysis of aromatic components from different cultivars of *Osmanthus fragrans* in Guilin [J]. Guihaia, 38(11): 1493-1504. [夏科, 蒋柏生, 赵志国, 等, 2018. 桂林地区不同桂花品种花香成分比较分析 [J]. 广西植物, 38(11): 1493-1504.]

Xia K, Zhao Z G, Wu Q F, et al., 2021. Volatile components in flowers of seven *Dendrobium* [J]. Guihaia, 41(7): 1104-1111. [夏科, 赵志国, 吴巧芬, 等, 2021. 七种石斛花朵挥发性成分分析 [J]. 广西植物, 41(7): 1104-1111.]

Xiong C, Huang Y, Li Z L, et al., 2023. Comparative chloroplast genomics reveals the phylogeny and the adaptive evolution of *Begonia* in China [J]. BMC Genomics, 24(1): 648.

Xue Z Z, Guan H F, Li N, et al., 2023. Genome-wide identification of GASA family and preliminary exploration of leaf variegation formation in *Begonia masoniana* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 50(7): 1482-1494. [薛珍珍, 关鸿发, 李娜, 等, 2023. 铁十字秋海棠 GASA 家族全基因组鉴定及叶斑形成的初步探索 [J]. 园艺学报, 50(7): 1482-1494.]

Yang X, 2023. Study of cultivation and adaptability of introduced the wild *Begonia* plant resources in Guangxi [D]. Guilin: Guilin University of Technology: 1-64. [杨璇, 2023. 广西野生秋海棠属植物引种栽培及适应性研究 [D]. 桂林: 桂林理工大学: 1-64.]

Zhang P, Huang Y, Wei C J, et al., 2025. The study of volatile components in three scented types of black tea based on HS-SPME-GC-MS and molecular docking technology [J]. Journal of Tea Science, 45(2): 318-332. [张鹏, 黄艳, 魏成江, 等, 2025. 基于 HS-SPME-GC-MS 与分子对接技术的 3 种香型红茶挥发性成分研究 [J]. 茶叶科学, 45(2): 318-332.]

Zhao Z M, Liu A R, Zhang Y B, et al., 2024. Effects of progressive drought stress on the growth, ornamental values, and physiological properties of *Begonia semperflorens* [J]. Horticulturae, 10(4): 405.

Zhu X Z, Lu Q B, Hu X H, et al., 2020. Leaf volatile components and foraging insects of dioecious *Siraitia grosvenorii*: Sexual differences and its ecological effects [J]. Guihaia, 40(9): 1259-1268. [朱晓珍, 卢清彪, 胡兴华, 等, 2020. 罗汉果叶片挥发性成分与访花昆虫: 雌雄株差异及其生态影响 [J]. 广西植物, 40(9): 1259-1268.]

(责任编辑 邓斯丽)