

不同花期枸骨花朵挥发性化合物变化及其对传粉的影响

崔滢莎^{1a,1b}, 郝明灼^{1c}, 姬晓悦^{1d}, 邹义萍², 彭冶^{1a,1b,①}

(1. 南京林业大学: a. 南方现代林业协同创新中心, b. 生命科学学院, c. 林草学院、水土保持学院, d. 现代分析测试中心, 江苏 南京 210037;
2. 南京青珠果园艺有限公司, 江苏 南京 210043)

摘要: 利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)法对枸骨(*Ilex cornuta* Lindl. et Paxton)雌、雄花在大蕾期、初开期、盛花期、末花期的挥发性化合物进行分离、鉴定,探究其变化对传粉的影响。结果显示:枸骨雌花挥发性化合物总释放在末花期最大,雄花挥发性化合物总释放在盛花期最大。在不同花期枸骨雌、雄花中共检出30种挥发性化合物,其中,雌、雄花共有成分有15种,雌花特有成分有4种,雄花特有成分11种,雌、雄花中成分均以萜烯类和醚类为主。随着花发育,雌、雄花中挥发性化合物的Jaccard相似性系数先增加后减小,在盛花期达到极相似水平,在末花期为极不相似。根据变量投影重要性(VIP)从雌花中筛选出萜烯类6种、醇类1种、酰胺类1种和醚类1种共9种差异标志物(VIP \geq 1),从雄花中筛选出萜烯类4种、酯类1种和醚类1种共6种差异标志物。通过偏最小二乘法判别分析(PLS-DA)可有效区分枸骨雌花的4个花期;雄花的大蕾期、初开期和盛花期、末花期也可有效区分。对苯二甲醚、 α -蒎烯、长叶烯、丙氨酸丙氨酸丙氨酸、罗勒烯、蒎烯、金合欢醇和萜品油烯可用于区分雌花发育进程; α -蒎烯、肌醇六乙酸酯和芳樟醇可用于区分雄花发育进程。雌、雄花的主要访花昆虫均以蜂类昆虫为主,且访花频率的最大值均在盛花期;雄花访花昆虫的访花频率多于雌花。综合研究结果表明:不同花期枸骨雌、雄花中挥发性化合物的种类和含量存在差异; α -蒎烯、长叶烯和 β -蒎烯等雌花中的差异标志物以及长叶烯、肌醇六乙酸酯和 α -蒎烯等雄花中的差异标志物可能影响了蜂类等访花昆虫的访花频率;枸骨雌花在末花期会生成大量蒎烯,可能起到减少访花昆虫访问、保护子房的目的。

关键词: 枸骨; 花发育; 挥发性化合物; HS-SPME-GC-MS; 传粉

中图分类号: Q946.8; Q948.12⁺2.6; S792.99 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)03-0096-10
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.03.09

Changes of volatile compounds of *Ilex cornuta* flowers at different flowering stages and their effects on pollination CUI Gansha^{1a,1b}, HAO Mingzhuo^{1c}, JI Xiaoyue^{1d}, ZOU Yiping², PENG Ye^{1a,1b,①} (1. Nanjing Forestry University: a. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, b. College of Life Science, c. College of Forestry and Grassland, College of Soil and Water Conservation, d. Advanced Analysis and Testing Center, Nanjing 210037, China; 2. Nanjing Green Pearl Fruit Horticulture Co., Ltd., Nanjing 210043, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(3): 96-105

Abstract: The volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at the big bud stage, initial opening stage, full flowering stage, and final flowering stage were separated and identified by using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) method, and the effect of their changes on pollination was explored. The results show that the total release amount of volatile compounds in female flowers of *I. cornuta* is the largest at the final flowering stage, while that in male flowers is the largest at the full flowering stage. A total of 30 volatile

收稿日期: 2024-08-05

基金项目: 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2021307);南京市“一区一中心”科技发展计划项目(202306003)

作者简介: 崔滢莎(1998—),女,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事观赏植物新品种选育方面的研究。

①通信作者 E-mail: pengye@njfu.edu.cn

引用格式: 崔滢莎, 郝明灼, 姬晓悦, 等. 不同花期枸骨花朵挥发性化合物变化及其对传粉的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(3): 96-105.

compounds are detected in female and male flowers of *I. cornuta* at different flowering stages, among which, there are 15 common components in both female and male flowers, 4 components specific to female flowers, 11 components specific to male flowers, and terpenes and ethers are the main components in both female and male flowers. With the development of flowers, the Jaccard similarity coefficient of volatile compounds in female and male flowers first increases and then decreases, it reaches a very similar level at the full flowering stage, and is extremely dissimilar at the final flowering stage. Based on the variable importance in the projection (VIP), a total of 9 differential markers (VIP ≥ 1) are screened from female flowers, including 6 terpenes, 1 alcohol, 1 amide, and 1 ether, and 6 differential markers are screened from male flowers, including 4 terpenes, 1 ester, and 1 ether. The four developmental stages of female flowers of *I. cornuta* can be effectively distinguished through partial least squares discriminant analysis (PLS-DA); the big bud stage, initial opening stage and full flowering stage, and final flowering stage of male flowers can also be effectively distinguished. The flowering process of female flowers of *I. cornuta* can be judged by 1,4-dimethoxybenzene, α -pinene, longifolene, trialanine, ocimene, pinene, (*E,E*)-farnesol, and terpinolene; the flowering process of male flowers of *I. cornuta* can be judged by α -pinene, myo-inositol hexaacetate, and linalool. The main flower-visiting insects for both female and male flowers are bees, and the maximum visiting frequency of flowers all occurs at the full flowering stage; the visiting frequency of flower-visiting insects for male flowers is larger than that for female flowers. The comprehensive research results show that there are differences in types and contents of volatile compounds in female and male flowers of *I. cornuta* at different flowering stages; differential markers in female flowers such as α -pinene, longifolene, and β -pinene, and those in male flowers such as longifolene, myo-inositol hexaacetate, and α -pinene, may affect the flower-visiting frequency of flower-visiting insects like bees; a large amount of pinene are generated at the final flowering stage of female flowers of *I. cornuta*, which may serve the purpose of reducing the visits of flower-visiting insects and protecting the ovary.

Key words: *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton; flower development; volatile compound; HS-SPME-GC-MS; pollination

花香是开花植物的重要特征之一。花香一方面在传粉过程中用于保障植物授粉、结实^[1];另一方面用于自身防御,通过释放示警激素驱避无传粉功能的访花昆虫而免受外来生物侵害^[2]。花朵的挥发性化合物主要由萜烯类等易挥发小分子化合物组成,还含有硫化物、芳香族化合物等,可通过提取、合成等手段获取,广泛应用于医疗保健、香料香精等领域^[3-5]。挥发性化合物可随花发育而表现出不同的变化规律。例如:台湾连蕊茶(*Camellia lutchuensis* T. Ito)花开放过程释放的2种主要挥发性化合物中,芳樟醇相对含量呈先降低后升高的趋势,而苯乙醇相对含量呈先升高后降低的趋势^[6];菊花〔*Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) Hemsl.〕在花开放进程中,其主要挥发性化合物呈先升高后降低的趋势^[7]。而不同的挥发性化合物变化与访花者的访问存在一定互作关系^[8],在开花植物中,花香在传粉过程中担任着为传粉者提供食物信号的角色^[9]。Wakamura等^[10]研究发现,濒危物种金钗兰〔*Luisia teres* (Thunb. ex A. Murray) Blume〕花通过模拟与雌性翡翠甲虫性激素相同的挥发性化合物来吸引雄性进行授粉。Zu等^[11]通过对蔓菁(*Brassica rapa* Linn.)与其传粉者互

作网络的关系来预测蔓菁花朵性状进化轨迹。因此,研究植物特定挥发性化合物规律与访花昆虫的互作网络对其传粉成功具有重要意义。目前,对于植物特定挥发性化合物与访花昆虫互作的研究尚未见系统报道。

枸骨(*Ilex cornuta* Lindl. et Paxton)为冬青科(Aquifoliaceae)冬青属(*Ilex* Linn.)常绿植物,又名老虎刺、鸟不宿等,原产于中国长江中下游区域,是目前市场上热销品种‘斯蒂芬’冬青(*Ilex* × ‘Nellie R. Stevens’)的亲本之一^[12]。枸骨果实于秋、冬季成熟,鲜红艳丽,经久不落,花朵气味浓郁,加上奇特的叶型和抗火性能,成为良好的观赏园林树种和防护树种,被广泛应用于园林景观设计。此外,枸骨药还具有广泛药理活性,果实具有活血化瘀、强健筋骨等功效,根具有祛风湿、清风热等效果,茎具有抗炎等作用^[13]。枸骨属于雌雄异株植物,在空间上存在一定的隔离限制,但枸骨雌株却拥有高结实率(未发表数据),其传粉策略值得深入研究。目前,对于枸骨的研究工作主要集中在药用价值^[14]和繁殖技术改良^[15]上,对其花朵的挥发性化合物变化规律,及其在传粉中的生态作用尚无系统报道,不利于枸骨花朵与访花昆虫互作网

络及花朵性状进化的研究。

气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术可以有效检测出挥发性化合物的具体成分。顶空固相微萃取(HS-SPME)法在香气收集过程中具有便捷、快速分离复杂物质等优点,成为最常用的检测化学成分的方法之一,目前已广泛应用于六道木[*Zabelia biflora* (Turcz.) Makino]、香樟(*Cinnamomum camphora* var. *linaloolifera* Fujita)等植物花朵挥发性化合物的提取和检测^[16-18]。鉴于此,本研究以不同花期枸骨花朵为研究材料,采用HS-SPME-GC-MS法,结合偏最小二乘法判别分析(PLS-DA),探究不同花期花朵释放的挥发性化合物的种类和变化规律,以期为枸骨相关香气应用价值及传粉策略提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

研究地位于江苏省南京市(北纬 31°52'11.10"、东经 118°46'05.53"),属亚热带季风气候,四季分明,雨量充沛,年降水量 1 200 mm,年平均气温 15.4 °C。供试枸骨为南京林业大学内树龄 30 a 以上栽培树种,生长健康状况一致。于 2023 年 3 月 13 日至 4 月 9 日随机从 3 株枸骨上混合选取大蕾期(花蕾饱满、颜色呈黄色,3 月 13 日至 3 月 17 日)、初开期(花被片微微张开,3 月 18 日至 3 月 21 日)、盛花期(花瓣伸展、花被片完全张开,3 月 22 日至 3 月 27 日)、末花期(花被片逐渐萎蔫、颜色带微微褐色,3 月 28 日至 4 月 9 日)4 个时期的枸骨花朵鲜样,作为样本测定花香成分。各时期取 3 g 样品,重复 3 次。采样于晴朗天气的 8:00—10:00 进行,采集时佩戴手套,用剪刀剪取花枝,采摘不同时期的花朵装入 30 mL 进样瓶,拧紧瓶盖、做好标记后放入保鲜盒带回实验室进行检测。

1.2 GC-MS 分析

使用 TRACE ISQ 气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo Electro-Finnigan 公司)进行 GC-MS 分析。色谱条件:65 μm PDMS/DVB 萃取头(美国 SU-PELCO 公司)与 SPME 手动进样器;进样口温度 250 °C,解析时间 3 min;载气为高纯度氦气,流速 1.0 mL \cdot min⁻¹。升温程序:初始温度 40 °C,保持 3 min;以 5 °C \cdot min⁻¹ 升温至 100 °C;以 10 °C \cdot min⁻¹ 升温至 150 °C;以 15 °C \cdot min⁻¹ 升温至 250 °C,保持 5 min。

质谱条件:EI 电离源,电子能 70 eV,离子源温度

250 °C,质量扫描范围 45~450 amu。

1.3 访花昆虫观察及鉴定

于 2023 年 3 月 13 日至 4 月 9 日对校园内枸骨雌、雄株访花昆虫的种类、数量及访花行为进行定点观测和记录。随机选取雌、雄株各 3 株,每株随机选择 3 个花枝在晴朗天气的 8:00—18:00 进行观察,每隔 2 h 记录大蕾期、初开期、盛花期、末花期各时段花枝上访花昆虫的种类和访花频率(每 30 min 访花昆虫的访花次数),每次观察 30 min。使用含有乙酸乙酯(纯度大于或等于 99.9%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司)的毒瓶和捕虫网捕捉不同种类昆虫各 3 只,使用放大镜检测昆虫体表的携粉情况,将体表携带花粉器或花粉块确定为传粉昆虫,记录其种类,并制作成标本^[19]。

1.4 数据处理和分析

基于 NIST05 数据库对挥发性化合物进行鉴定,采用峰面积归一化法^[20]计算各成分相对含量及总峰面积,不同花期的挥发性化合物总峰面积即总释放量^[21]。以变量投影重要性(VIP)大于或等于 1 筛选差异挥发性化合物(差异标志物);VIP 值越大,表明该挥发性化合物的贡献度越大^[22-24]。使用 SIMCA 14.1 软件对各花期成分进行 PLS-DA 和置换检验分析,将复杂数据进行降维处理,从而达到分类的目的;自变量拟合指数(R_x^2)、因变量拟合指数(R_y^2)和模型预测指数(Q^2)均超过 0.5 表示模型拟合结果可接受^[25-26]。使用 Origin 2022 软件绘制 PLS-DA 得分图和散点图。

采用 Jaccard 相似性系数(q)对不同花期枸骨雌、雄株花朵的挥发性化合物进行相似度分析^[27]。计算公式为 $q=c/(a+b-c)$;式中, c 代表雌、雄株花朵共有挥发性化合物的种类数, a 和 b 分别代表雌、雄株花朵挥发性化合物的种类数。 $0.00 \leq q \leq 0.25$,表示雌、雄花的挥发性化合物相似度为极不相似; $0.25 < q \leq 0.50$,表示雌、雄花的挥发性化合物相似度为中等不相似; $0.50 < q \leq 0.75$,表示雌、雄花的挥发性化合物相似度为中等相似; $0.75 < q \leq 1.00$,表示雌、雄花的挥发性化合物相似度为极相似。

2 结果和分析

2.1 不同花期雌、雄花中挥发性化合物分析

2.1.1 挥发性化合物总释放量分析 从不同花期枸

骨雌、雄花中挥发性化合物总释放量(表 1)看, 雌花挥发性化合物总释放量随花发育呈升高趋势, 在末花期达到最大值; 雄花挥发性化合物总释放量随花发育呈先升高后降低的趋势, 在盛花期达到最大值, 末花期为最小值。

2.1.2 挥发性化合物组成分析 结果(表 2 和表 3)显示: 在枸骨雌、雄花的大蕾期、初开期、盛花期、末花期中共检出 30 种化合物, 其中, 雌、雄花共有成分有

表 1 不同花期枸骨雌、雄花中挥发性化合物总释放量
Table 1 Total release amount of volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at different flowering stages

时期 Stage	挥发性化合物总释放量 Total release amount of volatile compounds	
	雌花 Female flower	雄花 Male flower
	大蕾期 Big bud stage	4.98×10 ⁸
初开期 Initial opening stage	21.86×10 ⁸	30.98×10 ⁸
盛花期 Full flowering stage	38.20×10 ⁸	47.54×10 ⁸
末花期 Final flowering stage	39.32×10 ⁸	8.17×10 ⁸

表 2 不同花期枸骨雌、雄花中挥发性成分分析¹⁾
Table 2 Analysis on volatile components in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at different flowering stages¹⁾

成分 Component	相对含量/% Relative content			
	大蕾期 Big bud stage	初开期 Initial opening stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Final flowering stage
雌花 Female flower				
酰胺类 Amides	4.85	1.76	2.46	3.91
萜烯类 Terpenes	53.47	51.06	62.94	69.23
醇类 Alcohols	5.76	1.93	1.57	2.06
醚类 Ethers	20.41	34.36	26.23	21.97
烷烃类 Alkanes	7.53	2.03	2.41	—
酯类 Esters	4.19	4.83	—	—
雄花 Male flower				
酰胺类 Amides	1.86	0.98	1.18	—
萜烯类 Terpenes	54.94	38.82	34.30	9.84
醇类 Alcohols	1.58	1.42	1.39	47.79
醚类 Ethers	36.08	53.03	60.47	22.85
烷烃类 Alkanes	1.45	1.54	1.41	5.51
酯类 Esters	0.44	—	—	—
醛类 Aldehydes	—	—	—	3.25
酮类 Ketones	—	—	—	5.31

¹⁾—: 未检出或者未检索到 Undetected or unretrieved.

表 3 不同花期枸骨雌、雄花中挥发性化合物的相对含量及变量投影重要性(VIP)¹⁾
Table 3 Relative contents and variable importance in the projection (VIP) of volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at different flowering stages¹⁾

化合物 Compound	保留时间/ min Retention time	各花期的相对含量/% Relative content at different flowering stages ($\bar{X} \pm SD$)				VIP
		大蕾期 Big bud stage	初开期 Initial opening stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Final flowering stage	
		雌花 Female flower				
丙氨酸丙氨酸丙氨酸 Trialanine	2.44	4.85±1.26a	1.76±0.53c	2.46±0.91bc	3.91±0.11ab	1.02
六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane	5.67	6.81±1.50a	2.03±1.43b	2.41±1.15b	—	0.81
叶醇 Cis-3-hexen-1-ol	6.80	1.66±0.92	—	—	—	0.83
3-己烯-1-醇 3-hexen-1-ol	6.86	2.91±0.78	—	—	—	0.92
α-蒎烯 α-pinene	7.65	26.06±1.28b	26.93±1.70a	24.95±0.41b	1.00±1.66c	1.22
β-蒎烯 β-pinene	8.50	11.67±3.25ab	5.84±4.28b	14.59±2.62a	14.49±1.15a	1.01
月桂烯 Myrcene	8.73	0.72±0.01c	1.03±0.16b	1.19±0.27b	1.80±0.10a	0.86
蒎烯 Pinene	8.74	—	—	—	24.43±5.39	1.13
右旋蒎烯(+)-limonene	9.52	—	13.44±0.81c	18.84±1.99b	22.32±0.73a	0.88
1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇乙酸酯 1-methyl-4-(1-methylvinyl)cyclohexyl acetate	9.55	4.19±1.12a	4.83±3.10a	—	—	0.97
罗勒烯 Ocimene	9.83	—	—	1.82±1.05a	1.05±0.76ab	1.09
萜品烯 Terpinene	10.08	—	—	0.54±0.10a	0.67±0.12a	0.99
顺-α,α-5-三甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-甲醇 Cis-α-α,5-trimethyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-methanol	10.42	1.19±0.37b	1.93±0.32a	1.57±0.18ab	1.57±0.08ab	0.87
萜品油烯 Terpinolene	10.73	—	—	—	1.49±0.23	1.14
芳樟醇 Linalool	11.01	15.02±0.38a	1.66±1.27b	1.00±0.49bc	0.41±0.08c	0.91
环五聚二甲基硅氧烷 Decamethylcyclopentasiloxane	11.83	0.72±0.45	—	—	—	0.82
对苯二甲醚 1,4-dimethoxybenzene	12.70	20.41±2.06b	34.36±4.93a	26.23±3.29b	21.97±1.45b	1.03
长叶烯 Longifolene	17.28	—	2.17±0.80a	—	2.57±1.30a	1.18
金合欢醇(E,E)-farnesol	22.32	—	—	—	0.49±0.02	1.15

续表3 Table 3 (Continued)

化合物 Compound	保留时间/ min Retention time	各花期的相对含量/% Relative content at different flowering stages ($\bar{X}\pm SD$)				VIP
		大蕾期 Big bud stage	初开期 Initial opening stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Final flowering stage	
雄花 Male flower						
丙氨酰丙氨酰丙氨酸 Trialanine	2.36	1.86±0.56a	0.98±0.34a	1.18±0.66a	—	0.87
异戊醇 Isoamyl alcohol	2.59	—	—	—	18.56±3.55	0.71
异丁醇 Isobutanol	3.35	—	—	—	1.72±0.37	0.72
正己醛 Hexanal	3.96	—	—	—	3.25±0.98	0.70
正己烷 Hexane	3.99	—	—	—	2.23±0.49	0.71
3-己烯-1-醇 3-hexene-1-ol	5.43	—	—	—	3.99±1.34	0.69
六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane	5.60	1.45±0.89a	1.54±0.32a	1.41±0.17a	—	0.65
正己醇 1-hexanol	5.70	—	—	—	17.32±0.40	0.73
蒎烯 Pinene	7.01	—	—	—	3.90±1.32	0.69
α -蒎烯 α -pinene	7.60	27.02±1.55a	15.05±7.39b	11.71±7.44b	—	1.21
甲基庚烯酮 6-methylhept-5-en-2-one	8.40	—	—	—	3.88±1.46	0.68
β -蒎烯 β -pinene	8.44	9.48±1.15a	7.70±0.85b	7.69±0.46b	1.58±0.30c	0.78
月桂烯 Myrcene	8.72	1.05±0.62a	1.23±0.38a	1.37±0.78a	—	0.70
6-甲基-5-庚烯基-2-醇 6-methyl-5-hepten-2-ol	8.87	—	—	—	4.42±2.16	0.66
右旋萜二烯(+)-limonene	9.49	9.71±4.19a	7.49±3.47a	7.65±3.44a	—	0.64
罗勒烯 Ocimene	9.82	1.60±1.15a	1.70±0.50a	2.26±0.16a	—	0.98
芳樟醇 Linalool	10.05	5.63±0.59a	2.88±0.10c	3.36±1.11bc	4.36±0.68ab	1.52
萜品烯 Terpinene	10.06	0.45±0.19a	—	0.26±0.14a	—	1.48
顺- α , α -5-三甲基-5-乙基四氢化呋喃-2-甲醇 Cis- α , α -5-trimethyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-methanol	10.37	1.59±0.10a	1.42±0.30a	1.39±0.22a	—	0.72
对苯二甲醚 1,4-dimethoxybenzene	12.65	36.09±4.43b	53.03±13.91a	60.48±10.49a	22.85±0.23b	1.35
长叶烯 Longifolene	17.27	—	2.76±1.13	—	—	2.26
十四甲基环七硅氧烷 Tetradecamethyl cycloheptasiloxane	18.25	—	—	—	2.29±1.19	0.65
十六甲基环辛硅氧烷 Hexadecamethylcyclooctasiloxane	20.89	—	—	—	0.99±0.31	0.70
金合欢醇(E,E)-farnesol	22.33	—	—	—	1.79±0.41	0.86
肌醇六乙酸酯 Myo-inositol hexaacetate	23.13	0.45±0.21	—	—	—	1.59
植酮 Phytone	23.80	—	—	—	1.42±0.39	0.70

¹⁾—: 未检出或者未检索到 Undetected or unretrieved. 同行中的不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different lowercases in the same row indicate the significant differences at the 0.05 level.

15 种,雌花特有成分有 4 种,雄花特有成分 11 种。雌花中共鉴定出 19 种,包括萜烯类 10 种、醇类 4 种、烷烃类 2 种、酰胺类 1 种、醚类 1 种、酯类 1 种;雄花中共鉴定出 26 种,包括萜烯类 9 种、醇类 7 种、烷烃类 4 种、酰胺类 1 种、醚类 1 种、酯类 1 种、醛类 1 种、酮类 2 种。雌花中,大蕾期、初开期、盛花期、末花期的萜烯类相对含量均最高,均在 50% 以上;醚类相对含量次之,均在 20% 以上。雄花中,大蕾期的萜烯类相对含量最高(54.94%),醚类相对含量次之(36.08%);初开期、盛花期的醚类相对含量均最高(分别为 53.03% 和 60.47%),萜烯类相对含量次之(分别为 38.82% 和 34.30%);末花期的醇类相对含量最高(47.79%),醚类相对含量次之(22.85%)。

结果(表 3)显示:在雌花中,丙氨酰丙氨酰丙氨酸、 α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯、顺- α , α -5-三甲基-5-乙基四氢化呋喃-2-甲醇、芳樟醇和对苯二甲醚为 4 个花期共有成分;叶醇、3-己烯-1-醇和环五聚二甲基硅氧烷为大蕾期特有成分;蒎烯、萜品油烯和金合欢醇为末花期特有成分。在雄花中, β -蒎烯、芳樟醇和对苯二甲醚为 4 个花期共有成分;肌醇六乙酸酯为大蕾期特有成分;长叶烯为初开期特有成分;异戊醇、异丁醇、正己醛、正己烷、3-己烯-1-醇、正己醇、蒎烯、甲基庚烯酮、6-甲基-5-庚烯基-2-醇、十四甲基环七硅氧烷、十六甲基环辛硅氧烷、金合欢醇和植酮为末花期特有成分。

2.1.3 相似度分析 进一步对整个花期枸骨雌、雄

花中挥发性化合物进行总体相似度以及各花期的相似度进行分析。统计结果显示:在整个花期,雌、雄花中挥发性化合物的 Jaccard 相似性系数(q)为 0.50,处于中等不相似水平。从各花期(表 4)看,大蕾期雌、雄花中挥发性化合物 q 值为 0.50,处于中等不相似水平;初开期雌、雄花中挥发性化合物 q 值为 0.75,处于中等相似水平;盛花期雌、雄花中挥发性化合物 q 值为 1.00,处于极相似水平;末花期雌、雄花中挥发性化合物 q 值为 0.16,处于极不相似水平。随着花发育,雌、雄花中挥发性化合物种类的相似性先增加后减小,在盛花期达到极相似水平,雌、雄花中挥发性化合物种类完全一致。但在末花期,雌、雄花中挥发性化合物种类具有较大差异,雌花在末花期生成较多的萜烯类化合物,雄花在末花期生成较多的醇类化合物。

表 4 不同花期枸骨雌、雄花中挥发性化合物的 Jaccard 相似性系数
Table 4 Jaccard similarity coefficient of volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at different flowering stages

时期 Stage	Jaccard 相似性系数 Jaccard similarity coefficient
大蕾期 Big bud stage	0.50
初开期 Initial opening stage	0.75
盛花期 Full flowering stage	1.00
末花期 Final flowering stage	0.16

2.1.4 差异成分分析 采用变量投影重要性(VIP)进一步分析不同挥发性化合物的贡献度。结果(表 3)显示:根据 $VIP \geq 1$ 的标准,从雌花中筛选出萜烯

类 6 种、醇类 1 种、酰胺类 1 种和醚类 1 种共 9 种差异标志物,分别为 α -蒎烯、长叶烯、金合欢醇、萜品油烯、蒎烯、罗勒烯、对苯二甲醚、丙氨酰丙氨酰丙氨酸和 β -蒎烯。从雄花中筛选出萜烯类 4 种、酯类 1 种和醚类 1 种共 6 种差异标志物,分别为长叶烯、肌醇六乙酸酯、芳樟醇、萜品烯、对苯二甲醚和 α -蒎烯。

2.2 不同花期雌、雄花的 PLS-DA 和置换检验分析

2.2.1 各花期的 PLS-DA 分析 结果(图 1)显示:雌花花期的自变量拟合指数(R_x^2)为 0.906,因变量拟合指数(R_y^2)为 0.989,模型预测指数(Q^2)为 0.968;雄花花期的 R_x^2 值为 0.887, R_y^2 值为 0.882, Q^2 值为 0.738。 R^2 和 Q^2 值均超过 0.5,表明模型拟合结果可接受。不同花期的样品在 PLS-DA 得分图上区分较好,组内差异较小,组间分布分散。雌花中,大蕾期分布在第 4 象限,初开期分布在第 1 和第 2 象限交界处附近,盛花期分布在中心点附近,末花期分布在第 3 象限;雄花中,大蕾期分布在第 4 象限,初开期和盛花期主要分布在第 1 象限,末花期分布在第 2 和第 3 象限交界处附近。说明通过 PLS-DA 分析可有效区分枸骨雌花的 4 个花期;雄花的大蕾期、初开期和盛花期、末花期也可有效区分,但初开期与盛花期无法区分。

进一步的置换检验分析结果(图 2)显示:2 个模型经 200 次置换检验后, Q^2 回归线与纵轴的相交点小于 0,说明模型不存在过拟合,可靠性强,模型验证有效,该结果可用于枸骨花不同花期的鉴别分析。

2.2.2 挥发性化合物的 PLS-DA 分析 基于各花期

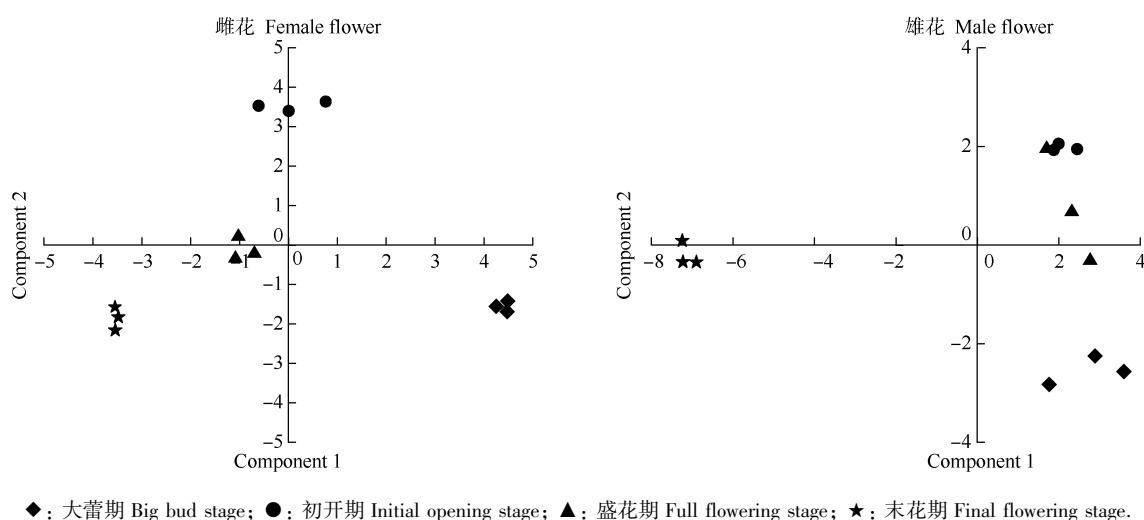


图 1 枸骨雌、雄花各花期的 PLS-DA 得分图
Fig. 1 PLS-DA score diagram of each flowering stage of female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton

的 PLS-DA 分析结果及各挥发性化合物的 VIP 值, 进一步对枸骨花花期 30 种挥发性化合物进行 PLS-DA 分析, 结果见图 3。结果显示: 从雌花看, 对苯二甲醚、 α -蒎烯、顺- α, α -5-三甲基-5-乙炔基四氢化呋喃-2-甲醇、长叶烯和 1-甲基-4-(1-甲基乙炔基) 环己醇乙酸酯与 component 1 正相关, 其中, 对苯二甲醚、 α -蒎烯和长叶烯的 VIP 值大于 1, 由这 3 种化合物可区分初开期与其他花期; 芳樟醇、丙氨酰丙氨酰丙氨酸、六甲基环三硅氧烷、3-己烯-1-醇、环五聚二

甲基硅氧烷和叶醇与 component 2 正相关, 其中, 丙氨酰丙氨酰丙氨酸的 VIP 值大于 1, 由该种化合物可区分大蕾期与其他花期; 月桂烯、罗勒烯、萜品烯、蒎烯、金合欢醇和萜品油烯与 component 2 负相关, 其中, 罗勒烯、蒎烯、金合欢醇和萜品油烯的 VIP 值大于 1, 由这 4 种化合物可区分末花期与其他花期。从雄花看, β -蒎烯、丙氨酰丙氨酰丙氨酸、 α -蒎烯、右旋萜二烯、顺- α, α -5-三甲基-5-乙炔基四氢化呋喃-2-甲醇、萜品烯和肌醇六乙酸酯与 component 1 负相关, 其中,

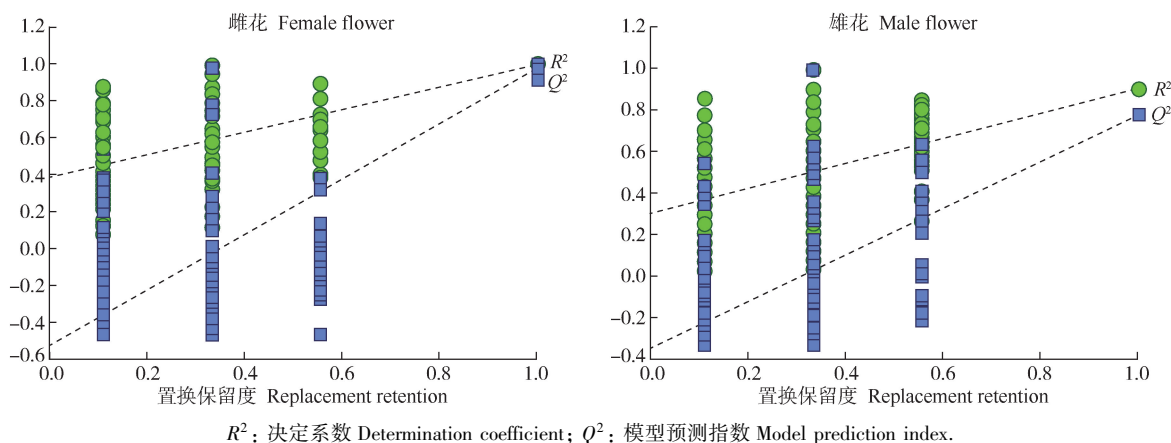
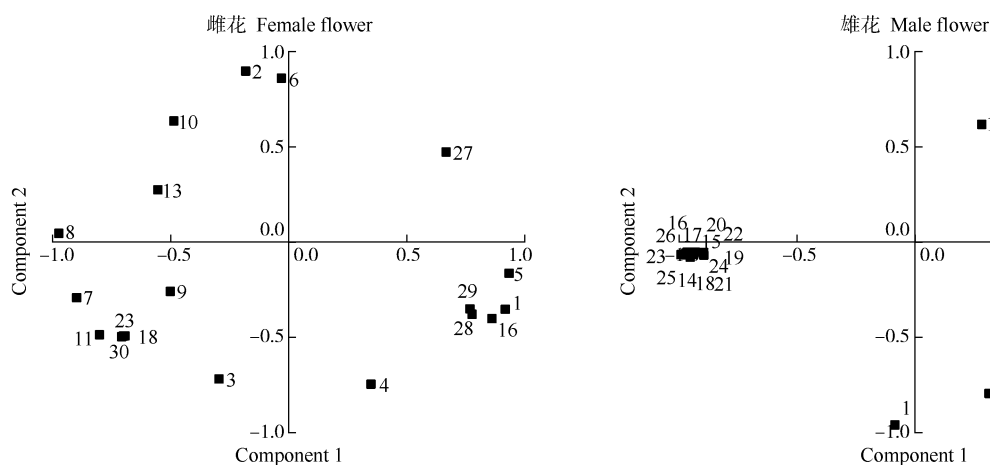


图 2 枸骨雌、雄花挥发性化合物的模型交叉验证

Fig. 2 Model cross-validation of volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton



1: 芳樟醇 Linalool; 2: 对苯二甲醚 1,4-dimethoxybenzene; 3: β -蒎烯 β -pinene; 4: 丙氨酰丙氨酰丙氨酸 Trialanine; 5: 六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane; 6: α -蒎烯 α -pinene; 7: 月桂烯 Myrcene; 8: 右旋萜二烯(+)-limonene; 9: 罗勒烯 Ocimene; 10: 顺- α, α -5-三甲基-5-乙炔基四氢化呋喃-2-甲醇 *Cis*- α, α -5-trimethyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-methanol; 11: 萜品烯 Terpinene; 12: 肌醇六乙酸酯 Myo-inositol hexaacetate; 13: 长叶烯 Longifolene; 14: 异戊醇 Isoamyl alcohol; 15: 正己醛 Hexanal; 16: 3-己烯-1-醇 3-hexen-1-ol; 17: 正己醇 1-hexanol; 18: 蒎烯 Pinene; 19: 甲基庚烯酮 6-methylhept-5-en-2-one; 20: 6-甲基-5-庚烯基-2-醇 6-methyl-5-hepten-2-ol; 21: 十四甲基环七硅氧烷 Tetradecamethyl cycloheptasiloxane; 22: 十六甲基环辛硅氧烷 Hexadecamethylcyclooctasiloxane; 23: 金合欢醇 (*E, E*)-farnesol; 24: 植酮 Phytone; 25: 异丁醇 Isobutanol; 26: 正己烷 Hexane; 27: 1-甲基-4-(1-甲基乙炔基) 环己醇乙酸酯 1-methyl-4-(1-methylvinyl) cyclohexyl acetate; 28: 环五聚二甲基硅氧烷 Decamethylcyclopentasiloxane; 29: 叶醇 *Cis*-3-hexen-1-ol; 30: 萜品油烯 Terpinolene.

图 3 枸骨雌、雄花挥发性化合物的 PLS-DA 散点图

Fig. 3 PLS-DA scatter diagram of volatile compounds in female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton

α -蒎烯和肌醇六乙酸酯的VIP值大于1,由这2种化合物可区分大蕾期与其他花期;芳樟醇、异戊醇、正己醛、3-己烯-1-醇、正己醇、蒎烯、甲基庚烯酮、6-甲基-5-庚烯基-2-醇、十四甲基环七硅氧烷、十六甲基环辛硅氧烷、金合欢醇、植酮、异丁醇和正己烷与component 2负相关,其中,芳樟醇的VIP值大于1,由该化合物可区分末花期与其他花期。综上所述,对苯二甲醚、 α -蒎烯、长叶烯、丙氨酰丙氨酰丙氨酸、罗勒烯、蒎烯、金合欢醇和萜品油烯可用于区分雌花发育进程, α -蒎烯、肌醇六乙酸酯和芳樟醇可用于区分雄花发育进程。

2.3 访花昆虫观测

对枸骨雌、雄花整个发育期访花昆虫的观测发

现,枸骨雌、雄花的访花昆虫均为膜翅目和双翅目。主要访花昆虫为蜂类昆虫,其访花频率占总访花昆虫频率的90%以上,说明蜂类昆虫是枸骨的高效传粉者。从枸骨全花期看,除雨天未见到访花昆虫;其余花期主要访花昆虫的访花频率在8:00—10:00之间较少,基本在10:00—16:00之间最多,16:00后访花频率又开始减少,18:00时左右基本没有昆虫访花。

观测和统计结果(表5)显示:总体上看,枸骨雌、雄花访花昆虫的访花频率随着花发育呈先上升后下降的趋势,在大蕾期上升,在盛花期达到顶峰后下降,在末花期后无访花昆虫访问。总体上看,枸骨雌、雄花大蕾期和末花期访花昆虫的访花频率较少,盛花期最多,雄花访花昆虫的访花频率多于雌花。

表5 不同花期枸骨雌、雄花的昆虫访花频率

Table 5 The flower-visiting frequency of insects of female and male flowers of *Ilex cornuta* Lindl. et Paxton at different flowering stages

时期 Stage	雌花的访花频率 Visiting frequency of female flower					雄花的访花频率 Visiting frequency of male flower				
	8:00—10:00	10:00—12:00	12:00—14:00	14:00—16:00	16:00—18:00	8:00—10:00	10:00—12:00	12:00—14:00	14:00—16:00	16:00—18:00
S1	1.0	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	4.2	5.5	5.5	2.5
S2	3.0	5.0	6.3	7.0	5.3	8.0	16.6	13.3	7.3	5.0
S3	8.9	14.4	17.8	15.3	7.9	10.0	16.8	21.3	21.8	12.3
S4	3.1	5.5	7.0	5.2	2.8	5.6	10.0	12.4	11.3	6.5

¹⁾ S1: 大蕾期 Big bud stage; S2: 初开期 Initial opening stage; S3: 盛花期 Full flowering stage; S4: 末花期 Final flowering stage.

3 讨 论

在花发育过程中,花香是非常重要的食源信号,不同挥发性化合物的种类与比例构成了其特殊的香味,有助于促使昆虫产生定向反应来找到所需食物以起到传粉的作用^[28]。不同花期枸骨雌、雄花中挥发性化合物的种类和含量存在差异,通过分析各花期挥发性化合物及其含量、昆虫访花频率可推测访花昆虫与花朵挥发性化合物之间的联系。随着开花进程,枸骨雌花中萜烯类相对含量总体呈升高趋势,在末花期达到峰值;雄花中萜烯类相对含量呈下降趋势,在末花期降到最低值;其中, α -蒎烯、长叶烯和 β -蒎烯等为雌花中的差异标志物,长叶烯、肌醇六乙酸酯和 α -蒎烯等为雄花中的差异标志物。推测萜品油烯等差异挥发性化合物的变化可能影响了访花昆虫的访花频率。枸骨雌、雄花挥发性化合物的Jaccard相似性系数在盛花期高达1.00,该时期雌、雄花中挥发性化合物种类完全一致,但在末花期的Jaccard相似性系

数仅有0.16。相关研究发现,单性花会通过释放相似的挥发性化合物来吸引同一批传粉昆虫进行传粉^[29]。本研究中,枸骨雌、雄花主要访花昆虫均为蜂类昆虫。初步推测,枸骨雌花在大蕾期模拟雄花,产生相同的挥发性化合物来吸引相同的传粉昆虫,解决空间隔离的问题,从而达到高结实率的目的。

有研究表明蜂类昆虫适宜活动的温度范围是14~24℃^[30]。本研究中,枸骨访花昆虫种类较多,主要访花昆虫为蜂类昆虫,访花基本在10:00—16:00之间,16:00后访花频率开始减少。10:00—16:00间的气温较高、湿度较低,有利于挥发性化合物的散播^[31]。枸骨雄花从大蕾期发育至盛花期的挥发性化合物总释放量均大于雌花,且雄花访花昆虫的访花频率多于雌花。这是由于在许多雌雄异株的植物中,相较于雌株而言,雄株会通过产生更多的花朵或释放更多的挥发性化合物等行为来吸引访花昆虫^[32]。

在传粉过程中,部分植物雄花会在访花昆虫访问后,会通过释放不同挥发性化合物来限制访花昆虫的进一步访问,如对叶榕(*Ficus hispida* Linn. f.)^[33]。枸

骨雌、雄花挥发性化合物含量变化规律存在差异。枸骨雄花在末花期挥发性化合物发生明显变化,肌醇六乙酸酯为大蕾期特有成分;长叶烯为初开期特有成分;异戊醇、异丁醇、正己醛、正己烷、3-己烯-1-醇、正己醇、蒎烯、甲基庚烯酮、6-甲基-5-庚烯基-2-醇、十四甲基环七硅氧烷、十六甲基环辛硅氧烷、金合欢醇和植酮为末花期特有成分,且共有成分 β -蒎烯和对苯二甲醚的相对含量相较于前3个时期总体显著降低。这可能是被访花昆虫访问后的变化机制,可以降低访花昆虫的访问频率,避免过度访问。台闽算盘子(*Glochidion rubrum* Blume)的雌花在授粉结束后会通过改变挥发性化合物含量来减少访花昆虫的访问,避免访花昆虫或其幼虫对子房过度摄食而造成一定损伤^[34]。蒎烯及其异构体具有植物毒性,会对访花昆虫产生一定抑制影响^[35]。番茄(*Solanum lycopersicum* Linn.)花的主要挥发性化合物含有蒎烯异构体,且对蜜蜂的吸引力较小^[36];蝇子草(*Silene gallica* Linn.)在释放 α -蒎烯后,其种子被捕食的概率下降^[37]。本研究结果显示:枸骨雌花在末花期挥发性化合物总释放量明显高于雄花,雌花中萜烯类化合物的相对含量升至最高(69.23%),且 α -蒎烯、 β -蒎烯和蒎烯的相对含量(分别为24.43%、14.49%、24.43%)明显高于雄花。说明枸骨雌花在末花期会生成大量蒎烯,减少访花昆虫的进一步访问,从而防止访花昆虫产卵和保护子房。这也解释了枸骨雌花的访花昆虫数量在末花期明显下降的原因。

4 结 论

在不同花期枸骨雌、雄花中共检出30种挥发性化合物,其中雌花19种,雄花26种。雌花挥发性化合物总释放量随花发育呈升高趋势,在末花期达到最大值;雄花挥发性化合物总释放量随花发育呈先升高后降低的趋势,在盛花期达到最大值。雌花与雄花挥发性化合物相似度在盛花期极相似,在末花期极不相似。通过PLS-DA分析可有效区分枸骨雌花的4个花期;雄花的大蕾期、初开期和盛花期、末花期也可有效区分,但初开期与盛花期无法区分。枸骨主要访花昆虫的访花频率在枸骨雌、雄花花期均呈现先升高后降低的趋势。但不同花器官挥发性化合物成分有所差异,为了更加确认吸引访花昆虫的具体花器官部位,后续研究可围绕枸骨不同花器官的挥发性化合物

释放规律与访花昆虫之间的联系展开,深度探究枸骨的传粉策略。目前,随着对花香成分形成机制和代谢途径的逐步深入研究,也可以在本研究的基础上对冬青属花香挥发性化合物代谢组和转录组等方面展开研究。

参考文献:

- [1] DUDAREVA N, PICHERSKY E, GERSHENZON J. Biochemistry of plant volatiles[J]. *Plant Physiology*, 2004, 135: 1893-1902.
- [2] SCHIESTL F P. The evolution of floral scent and insect chemical communication[J]. *Ecology Letters*, 2010, 13: 643-656.
- [3] BERGOUGNOUX V, CAISSARD J-C, JULLIEN F, et al. Both the adaxial and abaxial epidermal layers of the rose petal emit volatile scent compounds[J]. *Planta*, 2007, 226: 853-866.
- [4] CAPUTI L, APREA E. Use of terpenoids as natural flavouring compounds in food industry[J]. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*, 2011, 3(1): 9-16.
- [5] 蔡科羽, 冯成玉, 许绍铎, 等. 单花鸢尾不同时期的花香成分[J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51(8): 53-58.
- [6] 张子月, 赵文亮, 范正琪, 等. 台湾连蕊茶不同花期及花器官挥发性成分分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2024, 33(3): 117-120.
- [7] 徐 瑾, 李莹莹, 郑成淑, 等. 菊花不同花期及花序不同部位香气成分和挥发研究[J]. *西北植物学报*, 2012, 32(4): 722-730.
- [8] GONG W C, CHEN G, VERECKEN N J, et al. Floral scent composition predicts bee pollination system in five butterfly bush (*Buddleja*, Scrophulariaceae) species[J]. *Plant Biology*, 2015, 17(1): 245-255.
- [9] 张 红. 设施番茄花香气味对传粉蜂访花行为的调控作用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021: 1-2.
- [10] WAKAMURA S, ARAKAKI N, MORIYAMA D, et al. Does the orchid *Luisia teres* attract its male chafer pollinators (Scarabaeidae: *Protaetia pryri pryri*) by sexual deception? [J]. *Chemoecology*, 2020, 30: 49-57.
- [11] ZU P, SCHIESTL F P, GERVAZI D, et al. Floral signals evolve in a predictable way under artificial and pollinator selection in *Brassica rapa*[J]. *BMC Evolutionary Biology*, 2020, 20: 127.
- [12] ZOU Y, HUANG Y, ZHANG D, et al. Molecular insights into a non-lethal yellow bud mutant in *Ilex* × 'Nellie R. Stevens' [J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 329: 113033.
- [13] WANG M L, LIU Y L, XU Q M, et al. Two new triterpenoid saponins from *Ilex cornuta*[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2015, 17(9): 908-914.
- [14] 宋 钰, 纪丽莲, 刘艳丽, 等. 枸骨的化学成分及其药理活性研究进展[J]. *天然产物研究与开发*, 2024, 36(6): 1082-1099.
- [15] 周喜军, 罗玉兰, 张冬梅, 等. 枸骨的组织培养与快速繁殖[J]. *植物生理学通讯*, 2008, 44(5): 949.
- [16] 吴 垠, 胡文利, 李水根, 等. 4个六道木品种花挥发性成分

- 分析[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(4): 116-118.
- [17] 郭向阳. 香樟花挥发性成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(6): 69-71.
- [18] 赵玉珍, 解泽阳, 高乐, 等. 基于HS-GC-MS和电子鼻技术的不同产地旋覆花挥发性成分差异分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(16): 170-176.
- [19] 史亮, 刘屹, 彭建, 等. 林业有害生物普查昆虫标本的制作与保存[J]. 四川林业科技, 2018, 39(5): 96-99.
- [20] 史久洲, 姬晓悦, 陈继超, 等. SPME/GC-MS分析不同产地枫香树脂中挥发性成分[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(5): 239-244.
- [21] ZHOU T, HAN W, NING K, et al. Spatial and temporal dynamics of carnation-scented flowers in *Lagerstroemia* 'Ning Xiang 3' [J]. *Industrial Crops and Products*, 2024, 208: 117864.
- [22] 蒋红卫, 夏结来, 李园, 等. 偏最小二乘判别分析在基因微阵列分型中的应用[J]. 中国卫生统计, 2007, 24(4): 372-374.
- [23] 孟克迪, 张国治, 王超改, 等. 基于GC-IMS联用技术分析不同干燥方式对香椿挥发性成分的影响[J]. 轻工学报, 2023, 38(3): 25-34.
- [24] LIU D, QI Y M, ZHAO N, et al. Multivariate analysis reveals effect of glutathione-enriched inactive dry yeast on amino acids and volatile components of kiwi wine [J]. *Food Chemistry*, 2020, 329: 127086.
- [25] YUN J, CUI C J, ZHANG S H, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea [J]. *Food Chemistry*, 2021, 360: 130033.
- [26] 何莲, 易宇文, 徐向波, 等. 基于电子鼻和气质联用技术分析德庄火锅底料在煮制过程中挥发性物质变化[J]. 食品工业科技, 2024, 45(24): 252-262.
- [27] 朱晓珍, 卢清彪, 胡兴华, 等. 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, 2020, 40(9): 1259-1268.
- [28] 任炳忠, 尚利娜, 高毅, 等. 长白山地区优势蜜源植物花的气味与访花昆虫种类的关系[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(1): 24-30, 36.
- [29] GRISON-PIGÉ L, BESSIÈRE J M, TURLINGS T C J, et al. Limited intersex mimicry of floral odour in *Ficus carica* [J]. *Functional Ecology*, 2001, 15: 551-558.
- [30] 刘方邻, 匡海鸥, 张学文, 等. 东方蜜蜂采集行为初步观察[J]. 云南农业大学学报, 1998, 13(4): 407-410.
- [31] 李稚, 杨国栋, 段一凡, 等. 桂花访花昆虫及其访花行为观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(增刊): 47-50.
- [32] WAELTI M O, PAGE P A, WIDMER A, et al. How to be an attractive male: floral dimorphism and attractiveness to pollinators in a dioecious plant [J]. *BMC Evolutionary Biology*, 2009, 9: 190.
- [33] PROFFIT M, SCHATZ B, BESSIÈRE J-M, et al. Signalling receptivity: comparison of the emission of volatile compounds by figs of *Ficus hispida* before, during and after the phase of receptivity to pollinators [J]. *Symbiosis*, 2008, 45: 15-24.
- [34] OKAMOTO T, SVENSSON G P, GOTO R, et al. Nocturnal emission and post-pollination change of floral scent in the leafhopper tree, *Glochidion rubrum*, exclusively pollinated by seed-parasitic leafhopper moths [J]. *Plant Species Biology*, 2022, 37: 197-208.
- [35] ARECO V A, FIGUEROA S, COSA M T, et al. Effect of pinene isomers on germination and growth of maize [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 55: 27-33.
- [36] ZHANG H, SHAN S, GU S H, et al. Prior experience with food reward influences the behavioral responses of the honeybee *Apis mellifera* and the bumblebee *Bombus lantschouensis* to tomato floral scent [J]. *Insects*, 2020, 11: 884.
- [37] PAGE P, FAVRE A, SCHIESTL F P, et al. Do flower color and floral scent of *Silene* species affect host preference of *Hadena bicurvis*, a seed-eating pollinator, under field conditions? [J]. *PLoS ONE*, 2014, 9(6): e98755.

(责任编辑: 郭严冬)

勘 误

本刊2025年第34卷第1期《加拿大一枝黄花水浸提液对红盖鳞毛蕨配子体发育的影响》全文的计量单位“g·mL⁻¹”有误,更正为“cg·mL⁻¹”。