

7 个品种芒果花的挥发性化合物比较与分析

王 帅, 郑霞林, 罗 聪, 何新华, 王小云*

广西大学农学院/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 广西南宁 530004

摘 要: 花朵挥发物是传粉昆虫和食花害虫定位花朵的嗅觉线索, 不同品种间花朵挥发物含量组分的差异影响昆虫的选择行为多有报道。芒果依赖昆虫传粉, 且易受食花害虫为害。而不同品种芒果花的挥发性化合物尚无报道, 不利于引诱剂/趋避剂的开发。因此, 本研究利用动态顶空吸附法收集四季蜜芒、台农 1 号、桂热 82 号、凯特芒、红芒 6 号、红象牙、金煌芒的花朵挥发物, 运用气相色谱-质谱联用法 (GC-MS) 鉴定分析其挥发性成分的组成差异和相似度。结果表明: 7 个品种芒果花挥发物共鉴定出挥发性成分 115 种, 其中萜烯类 44 种、烷烃类 30 种、酯类 16 种、醇类 16 种、酮类 5 种、醛类 3 种、酚类 1 种。四季蜜芒、台农 1 号、桂热 82 号、凯特芒、红芒 6 号、红象牙和金煌芒的挥发性成分分别为 82、49、46、49、60、49 和 59 种。7 个品种芒果花挥发物的共有成分有 14 种, 分别为 α -蒎烯、蒎烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、3-蒎烯、 α -蒎品烯、D-柠檬烯、 β -罗勒烯、蒎品油烯、1-石竹烯、大牛儿烯 D、邻-异丙基苯、苯甲酸乙酯和 2-丙基-1-戊醇; 特异性成分有 33 种, 其中四季蜜芒有 24 种, 台农 1 号有 4 种, 金煌芒有 2 种, 桂热 82 号、红芒 6 号和凯特芒各有 1 种。7 个品种芒果花的挥发物中以萜烯类 (46.15%~89.41%)、醇类 (2.01%~23.58%)、酯类 (3.34%~14.67%)、烷烃类 (2.27%~13.75%) 的相对含量较多。其中萜烯类含量较高的有 α -蒎烯、3-蒎烯和蒎品油烯, 醇类含量最高的是芳香醇, 酯类中含量最高的是苯甲酸乙酯, 烷烃类中含量最高的是环己硅氧烷。7 个品种芒果花挥发物间的关系最近的是四季蜜芒和金煌芒, 相似度达 0.862, 最远的是四季蜜芒与红象牙, 相似度为 0.255。本研究结果为后续花朵挥发性气味介导的传粉昆虫和食花害虫对芒果不同品种的选择偏好性研究提供参考依据。

关键词: 芒果花; 动态顶空吸附; 气相色谱-质谱联用 (GC-MS); 挥发性成分

中图分类号: S667.7 文献标识码: A

Comparison and Analysis of Flower Volatile Compounds in Seven Mango Varieties

WANG Shuai, ZHENG Xialin, LUO Cong, HE Xinhua, WANG Xiaoyun*

College of Agriculture, Guangxi University / State Key Laboratory of Protection and Utilization of Subtropical Agricultural Biological Resources, Nanning, Guangxi 530004, China

Abstract: Insects use floral volatiles as the olfactory cues to locate flowers. Numerous studies have shown that the selection behavior of insects can be impacted by variations in the volatile component concentration of floral varieties. The flower of mango (*Mangifera indica* L.) rely on insect pollination and susceptible to florivorous pests. However, volatiles in different varieties of mango flowers are relatively insufficient, which is unfavourable to the development of attractants and repellents. Therefore, the volatile floral chemical components in seven mango varieties (*M. indica* var. Sijimi, *M. indica* var. Tainong 1, *M. indica* var. Guire 82, *M. indica* var. Kaite, *M. indica* var. Hongmang 6, *M. indica* var. Hongxiangya, and *M. indica* var. Jinhuang) were collected using the dynamic headspace adsorption technique. The volatile components were identified and analyzed using gas chromatography-mass spectrometry-mass spectrometry (GC-MS) to compare the composition differences and similarities of the components. The findings indicated that a total

收稿日期 2022-11-30; 修回日期 2022-12-16

基金项目 国家现代农业产业技术体系广西芒果创新团队栽培与病虫害防治岗位项目 (No. nycytxgxcxt-2021-06-2); 国家自然科学基金项目 (No. 32201270)。

作者简介 王 帅 (1995—), 男, 硕士, 研究方向: 农业资源开发利用。*通信作者 (Corresponding author): 王小云 (WANG Xiaoyun), E-mail: wxy8771@163.com。

of 115 volatile components, comprising 44 terpenes, 30 alkanes, 16 esters, 16 alcohols, five ketones, three aldehydes, and one phenol, were found in the volatiles of the seven species of mango flowers. 82 distinct types of volatile substances were discovered in *M. indica* var. Sijimi, 49 distinct types of *M. indica* var. Tainong 1, 46 distinct types of *M. indica* var. Guire 82, 49 distinct types of *M. indica* var. Kaite, 60 distinct types of *M. indica* var. Hongmang 6, 49 distinctive types of *M. indica* var. Hongxiangya, and 59 distinct types of *M. indica* var. Jinhuang. Seven species of mango blossoms contained 14 common volatile components: α -pinene, camphene, β -pinene, β -myrcene, 3-carene, α -terpinene, D-limonene, β -ocimene, terpinolene, 1-caryophyllene, germacrene D, o-cymene, benzoic acid, ethyl ester and 2-propyl-1-pentanol; 33 different types of specific components existed, including 24 different types of *M. indica* var. Sijimi, four different types of *M. indica* var. Tainong 1, two different types of *M. indica* var. Jinhuang, one type of *M. indica* var. Guire 82, *M. indica* var. Hongmang 6, and *M. indica* var. Kaite. The volatile compounds of mango flowers had higher relative concentrations of terpenes (46.15%–89.41%), alcohols (2.01%–23.58%), esters (3.34%–14.67%), and alkanes (2.27%–13.75%). The most abundant terpenes were α -pinene, 3-carene and terpinolene, the most abundant alcohols was linalool. The most abundant esters were benzoic acid, ethyl ester, and the most abundant alkanes were cyclohexasiloxane, dodecamethyl. The flower volatiles of *M. indica* var. Sijimi and *M. indica* var. Jinhuang had highest similarity of 0.862 among seven mango species; and that of *M. indica* var. Sijimi and *M. indica* var. Hongxiangya had the lowest similarity of 0.255. The findings would provide a reference for flower-volatile-mediated behavior preference researches in pollination insects and florivorous pests to various mango varieties.

Keywords: mango flowers; dynamic headspace adsorption (DHSA); gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS); volatile components

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.03.013

芒果, 也作杧果 (*Mangifera indica* L.), 属漆树科, 是四大热带水果之一, 被誉为“热带果王”, 经济价值高^[1-2]。芒果是典型的虫媒作物, 授粉者缺乏是芒果结实率低的原因之一^[3-4]。芒果主要花期常遇低温阴雨, 授粉昆虫减少, 导致无虫授粉或授粉不良, 致使其结实率下降。此外, 芒果花期易受芒果扁喙叶蝉 (*Idioscopus incertus* Baker)、芒果横线尾夜蛾 (*Chlumetia transversa* Walker)、芒果天蛾 (*Compsogene panopus* Cramer) 等食花害虫为害^[5]。花朵挥发物在吸引昆虫授粉及为害方面有重要作用^[6-7]。

花朵挥发物组成复杂, 同种植物不同品种间花朵挥发物的种类和含量有一定差异。如经鉴定和分析, 酥梨、雪花梨和鸭梨的花朵挥发成分分别为 51、42 和 41 种, 且 3 个品种中共有的 20 种成分的相对含量也不同^[8]。蓝莓品种 Elliott 的花朵释放的顺-3-乙酸己烯酯显著高于 Duke 和 Bluecrop 两个品种^[9]。此外, 不同品种间不同含量组分的差异也影响昆虫的选择行为。研究表明, 蜜蜂辨别花朵的能力与花朵挥发物化合物的浓度、数量以及相似性有关^[10]。如草莓品种 Sonata 的花香挥发物总量高于 Honeoye 和 Darselect, 且野外条件下蜜蜂对 Sonata 的访问率高于 Honeoye 和 Darselect^[11]。豆花蓟马 (*Megalurothrips sjostedti*) 对不同品种豇豆花挥发物的偏好差异显著, 雌虫

对 Ken Kunde 1 吸引, 对 Katumani 80 趋避, 对 Ex-Luanda 无明显偏好; 而雄虫对 Machakos 66 表现趋避^[12]。田间试验发现丁香罗勒花序上引诱的绿盲蝽 (*Apolygus lucorum*) 数量显著高于其他 6 个罗勒品种^[13]。由此可知, 研究同种植物不同品种花朵挥发物的成分和含量差异对解析访花昆虫和花期害虫的行为选择偏好性有重要参考意义。

已报道的芒果花组分研究多利用溶剂浸提法分析其药理作用, 不利于分析芒果花的挥发性组分。芒果花的水煎液组分主要有甾体、三萜、酚类和黄酮类化合物^[14]。芒果花的二氯甲烷浸提液中共鉴定出挥发性化合物 28 种, 其中含量最多的 6 种为顺式-罗勒烯、 α -蒎烯、 β -石竹烯、反式-罗勒烯、 α -律草烯、 β -蒎烯^[15]。TOLKE 等^[16]在芒果花蒸馏精油中鉴定出 21 种化合物, 含量最高的 5 种依次为蒎品油烯、古芸烯、芹子烯、 α -蒎烯、3-蒎烯。然而, 不同品种芒果花朵挥发物的比较分析较为缺乏。JESUS 等^[17]用动态顶空吸附法对 Carabao 芒果花挥发物进行抽提, 用气相色谱-质谱联用技术鉴定出芒果花在盛花期释放约 138 种挥发性化学物质, 检测结果显示主要挥发性化学物质是烃类、醇类、酯类, 分别占总挥发性物质的 31.9%、16.7%、10.1%, 蒎品油烯是最丰富的单一成分, 酰胺、醚、酮、醛和羧酸是次要成分。目前关于芒果花组分分析多用浸提鉴定, 对

于挥发性组分的鉴定报道很少，针对不同芒果品种间花朵挥发物的成分及含量差异的研究更鲜有报道。因此，本研究以广西大学标本园的 7 个芒果品种为试验材料，采用动态顶空吸附法抽取芒果花挥发物，采用 GC-MS 技术进行检测，通过核对标准谱库（NIST 17.0）标准化化合物的质谱图进行检索比对并分析鉴定，用峰面积归一法计算各成分的相对百分含量，比较不同芒果花挥发性成分的种类和含量差异，研究结果可对解析芒果花吸引访花昆虫、花期害虫的化学物质提供数据参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

供试植株：供试芒果品种包括桂热 82 号、台农 1 号、四季蜜芒、金煌芒、红芒 6 号、红象牙、凯特芒，均种植于广西大学标本园（22°50'N, 108°17'E）。

主要仪器和设备：气相色谱-质谱联用仪（7890B-5975C，安捷伦科技有限公司，美国）、色谱柱（HP-5MS，J&W Scientific，Folsom，美国）、大气采样仪 QC-1S 型（北京市劳动保护科学研究所，北京，中国），无味聚乙烯塑料袋（Reynolds，美国）、吸附管（内径 5 mm）填充 200 mg 吸附剂（Porapak Q 吸附剂，80~100 目，美国 Supelco 公司）。

1.2 方法

1.2.1 芒果花挥发物的收集 花朵挥发物的采集均在芒果花盛花期（采集时间见表 1），开花期间不喷洒任何农药。芒果花挥发物的收集采用动态顶空吸附法，使用无味聚乙烯塑料袋套住芒果花（活体抽取，芒果花自然释放状态，采集结束后不会对芒果的生长造成影响），袋子两端留进气口和出气口。从大气采样仪产生的空气，通过活性炭和填装了 Porapak Q 吸附剂的吸附管，从进气口进入采集袋内，出气口装有与进气口同等型号的吸附剂吸附植物挥发物。所有连接管均使用特氟龙软管，进气口、出气口流量均为 300 mL/min。采集时间为上午 8：00—12：00，共收集 4 h。每个芒果品种采集 3 株植株，每株植株选取数量大小相似的 3 个花簇，共计 9 个重复。

采集结束后，用 2 mL 的色谱纯正己烷洗脱吸附管，将同一植株的 3 根吸附管洗脱液合并到 1

个进样瓶中浓缩至 1 mL，洗脱样品保存于-20 ℃冰箱，备用，检测前用氮气吹浓缩至 100 μL。

表 1 芒果花挥发物的采集信息
Tab. 1 Information on the collection of volatiles from mango flowers

编号 No.	品种 Variety	采集日期 Collect date	温度 Temperature/ ℃	天气状况 Weather condition
M ₁	桂热 82 号	2022-04-03	11~25	晴
M ₂	台农 1 号	2022-03-15	19~27	阴
M ₃	四季蜜芒	2022-04-02	11~19	阴
M ₄	金煌芒	2022-03-28	14~22	多云
M ₅	红芒 6 号	2022-04-04	12~27	晴
M ₆	红象牙	2022-04-05	15~27	晴
M ₇	凯特芒	2022-04-06	16~27	晴

1.2.2 GC-MS 分析 GC-MS 检测条件：安捷伦气相色谱-质谱联用仪，色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm），载气为氦气，纯度>99.99%，进样量为 1 μL，恒流不分流模式。GC 工作条件：进样器 250 ℃，检测器 300 ℃，流速为 1 mL/min；柱箱升温程序：起始温度 40 ℃，保持 1 min，5 ℃/min 升温至 90 ℃，保持 1 min，3 ℃/min 升温至 120 ℃，保持 1 min，10 ℃/min 升温至 200 ℃保持 1 min 结束；MS 工作条件：EI 离子源，电子能量 70 eV，质子扫描范围为 50~550 amu，四级杆温度为 150 ℃，离子源温度为 230 ℃，电子倍增器电压为 1200 V。各成分通过核对标准谱库（NIST 17.0）标准化化合物的质谱图进行检索比对并分析后进行定性。采取峰面积归一法进行定量。

1.3 数据处理

经 GC-MS 分析得到的总离子流图，对各峰经质谱数据系统检索和 NIST 17 标准质谱图数据库比对，并用峰面积归一化法计算各成分的相对百分含量。采用 One-Way ANOVA 单因素方差分析 7 个品种芒果花挥发物成分之间的差异显著性，并用多重比较（Tukey HSD）不同植物挥发物同一成分相对含量的差异。用 SPSS 26.0 软件斯皮尔曼检验对 7 个品种芒果花挥发性成分的相对含量进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种芒果花挥发物总离子流图

经 HP-5MS 安捷伦色谱柱分离、MS 检测，

得到芒果花挥发物总离子流图, 7 个品种芒果花挥发物总离子流图有明显区别(图 1)。各成分经质谱数据系统检索和 NIST 17.0 标准质谱图数据库比对, 7 个品种种芒果花挥发物样品中共检出 115 种挥发性组分。化合物种类最多的是四季蜜芒, 有 82 种, 最少的为桂热 82 号, 有 46 种。红芒 6 号、金煌芒、红象牙、台农 1 号和凯特芒则分别有 60、59、49、49 和 49 种。

2.2 不同品种芒果花挥发物成分差异分析

2.2.1 芒果花挥发物不同成分种类的比较 由表 2、表 3 可知, 7 个品种芒果花检测出的 115 种挥发性化合物中, 包含了萜烯类 44 种、烷烃类 30 种、酯类 16 种、醇类 16 种、酮类 5 种、醛类 3 种、酚类 1 种。相对含量范围: 萜烯类为

46.15%~89.41%、醇类为 2.01%~23.58%、酯类为 3.34%~14.67%和烷烃类为 2.27%~13.75%。其中, α -蒎烯、3-蒎烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、蒾烯、1-石竹烯、 α -萜品烯、萜品油烯、 β -罗勒烯、大牛儿烯 D、芳香醇、2-丙基-1-戊醇、苯甲酸乙酯等较为普遍。不同品种的芒果花挥发物组分存在一定差异。

桂热 82 号花挥发物检测出萜烯类 22 种、烷烃类 11 种、酯类 7 种、醇类 4 种、酮类 1 种、醛类 1 种。以上各类物质含量依次分别为 71.36%、6.03%、5.68%、15.77%、0.05%、0.03%。桂热 82 号花挥发物相对含量最高的物质是 α -蒎烯 (57.81%), 其次是芳香醇、苯甲酸乙酯, 这 3 种物质占总挥发物成分的 78.30%。

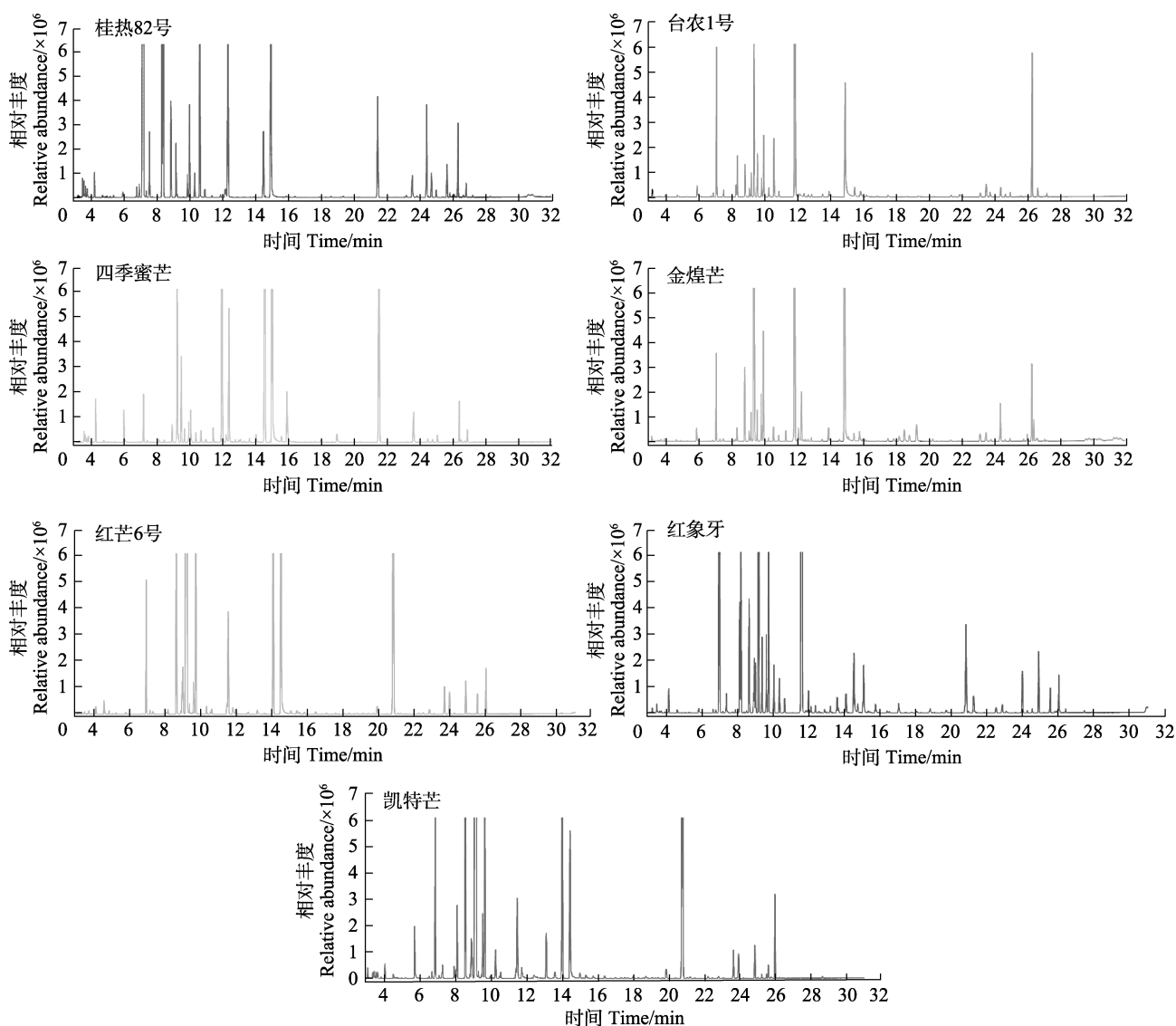


图 1 7 个品种芒果花挥发物总离子流图

Fig. 1 Total ion current chromatogram of flowers volatiles in seven mango varieties

表 2 7 个品种芒果花挥发物成分及相对含量
Tab. 2 Compositions and relative contents of flowers volatiles in seven mango varieties

类别 Category	序号 No.	挥发物名称 Volatiles name	保留时间 RT/min	CAS 号 CAS No.	相对含量 Relative content/%						
					M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
萜烯类	1	四氯乙烷 tetrachloroethylene	4.36	127-18-4	0.20±0.04 ^b	0.16±0.02 ^{bc}	0.09±0.04 ^c	0.18±0.03 ^b		0.39±0.03 ^a	0.09±0.02 ^c
	2	(3E)-3-丙-2-烯亚基环丁烯 (3E)-3-prop-2-enylidenecyclobutene	6.71	52097-85-5			0.03±0.01				
	3	苯乙烯 styrene	8.75	100-42-5		0.61±0.15 ^b	0.63±0.11 ^b	1.98±0.22 ^a	0.07±0.03 ^c		0.07±0.01 ^c
	4	三环萜 tricyclene	8.90	508-32-7		0.10±0.05 ^a		0.03±0.01 ^b			0.02±0.01 ^b
	5	4-甲基-1-(1-甲基乙基)二环[3.1.0]己-2-烯 bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	9.10	28634-89-1		0.12±0.02 ^d	0.49±0.16 ^c	1.57±0.25 ^a	0.02±0.01 ^d	1.47±0.14 ^a	0.83±0.05 ^b
	6	α-蒎烯 α-pinene	10.48	80-56-8	57.81±7.20 ^a	5.84±1.92 ^c	1.10±0.05 ^c	2.16±0.06 ^c	1.86±0.05 ^c	26.79±1.21 ^b	3.44±0.26 ^c
	7	莰烯 camphene	10.72	79-92-5	0.41±0.04 ^a	0.49±0.13 ^a	0.10±0.02 ^{bc}	0.06±0.02 ^{bc}	0.01±0.00 ^c	0.53±0.23 ^a	0.17±0.02 ^b
	8	β-蒎烯 β-pinene	11.74	127-91-3	0.18±0.04 ^c	1.88±0.41 ^b	0.38±0.06 ^c	1.48±0.26 ^b	0.10±0.01 ^c	2.86±0.49 ^a	1.66±0.24 ^b
	9	桉烯 bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)	11.85	3387-41-5	0.18±0.02 ^c				1.70±0.07 ^a	1.09±0.14 ^b	0.88±0.09 ^b
	10	β-月桂烯 β-myrcene	12.26	123-35-3	1.37±0.07 ^{bc}	0.02±0.01 ^d	0.39±0.05 ^{cd}	2.02±0.27 ^b	3.52±0.58 ^a	0.83±0.22 ^{cd}	2.94±0.41 ^{ab}
	11	4-萜烯 4-carene	12.33	29050-33-7	0.67±0.09 ^a		0.18±0.12 ^c	0.36±0.03 ^b	0.09±0.02 ^c	0.44±0.14 ^{ab}	0.10±0.03 ^c
	12	α-水芹烯 α-pellandrene	12.44	99-83-2			0.15±0.01 ^b	0.65±0.04 ^a	0.73±0.15 ^a	0.65±0.17 ^a	
	13	3-萜烯 3-carene	13.05	13466-78-9	1.96±0.16 ^c	8.16±2.23 ^c	2.21±0.26 ^c	35.21±3.78 ^b	55.57±170.05 ^a	6.50±0.41 ^c	65.61±9.04 ^a
	14	α-萜品烯 α-erpinene	13.27	99-86-5	0.23±0.02 ^d	2.35±0.07 ^{bc}	3.32±0.96 ^{ab}	1.20±0.04 ^{cd}	4.28±1.02 ^a	0.5±0.02 ^d	2.26±0.08 ^{bc}
	15	(3E,5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 (3E,5E)-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetrene	13.31	460-01-5				0.03±0.01 ^b	0.03±0.02 ^b	0.28±0.02 ^a	0.35±0.06 ^a
	16	(R)-1-甲基-5-(1-甲基乙基)环己烯 (R)-1-methyl-5-(1-methylethyl)cyclohexene, (R)-	13.50	1461-27-4		2.52±0.73 ^a	1.32±0.04 ^b				
	17	D-柠檬烯 D-limonene	13.74	5989-27-5	1.73±0.39 ^{cd}	2.82±0.09 ^{bcd}	1.11±0.04 ^d	1.79±0.12 ^{cd}	5.23±0.85 ^{ab}	3.16±0.12 ^{bc}	4.01±1.04 ^{ab}
	18	β-水芹烯 β-phellandrene	13.80	555-10-2				1.10±0.15 ^{ab}		0.57±0.03 ^b	1.53±0.06 ^a
	19	罗勒烯异构体混合物 1,3,6-辛atriene, 3,7-dimethyl-, (3E)-	13.93	3779-61-1	0.19±0.04 ^{abc}		0.28±0.04 ^a	0.09±0.02 ^{bc}	0.05±0.01 ^c	0.20±0.03 ^{ab}	
	20	环萜烯 cyclofeuchene	14.40	488-97-1	0.03±0.06 ^b		0.82±0.13 ^a				
	21	β-罗勒烯 β-ocimene	14.88	13877-91-3	1.67±0.12 ^a	0.80±0.04 ^b	0.38±0.06 ^{bc}	0.54±0.20 ^b	0.37±0.13 ^{bc}	0.62±0.08 ^b	0.07±0.03 ^c
	22	(1S,3R)-顺式-4-萜烯 (1S,3R)-cis-4-carene	14.90	5208-49-1		0.24±0.03 ^a	0.04±0.01 ^b		0.16±0.07 ^{ab}	0.23±0.08 ^a	0.05±0.01 ^b
	23	γ-萜品烯 γ-terpinene	15.20	99-85-4	0.04±0.03 ^c	0.49±0.12 ^a	0.22±0.05 ^b	0.15±0.04 ^{bc}			
	24	萜品油烯 terpinolene	16.14	586-62-9							
	25	2,4-二甲基苯乙炔 2,4-dimethyl styrene	16.33	1195-32-0	1.26±0.04 ^c	51.44±7.60 ^a		29.12±1.95 ^b	3.12±0.18 ^c	38.81±2.33 ^{ab}	2.33±0.07 ^c
	26	对薄荷-1,3,8-三烯 1,3,8-p-menthatriene	17.12	18368-95-1			0.18±0.05				
	27	(3E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯 1,3,7-nonatriene, 4,8-dimethyl-, (3E)-	17.33	19945-61-0			0.60±0.09				
	28	(E,E)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 2,4,6-octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,E)-	17.56	3016-19-1			0.01±0.01				
	29	1,5,8-p-薄荷烯 1,5,8-p-menthatriene	17.83	21195-59-5				0.71±0.05 ^a	0.11±0.01 ^b		1.27±0.09

续表 2 7 个品种芒果挥发物成分及相对含量
Tab. 2 Compositions and relative contents of flowers volatiles in seven mango varieties (continued)

类别 Category	序号 No.	挥发物名称 Volatiles name	保留时间 RT/min	CAS 号 CAS No.	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
烷烃类	30	1,5-环辛二烯 1,5-cyclooctadiene	18.46	111-78-4			0.80±0.08 ^a	0.50±0.04 ^b			
	31	γ-榄香烯 γ-elemene	26.88	339154-91-5			0.03±0.01				
	32	α-萜澄茄油烯 α-cubebene	26.97	17699-14-8		0.08±0.01					
	33	古巴烯 copaene	27.10	3856-25-5		0.73±0.15 ^a		0.43±0.05 ^b		0.15±0.04 ^c	0.14±0.02 ^c
	34	β-波旁烯 β-bourbonene	27.45	5208-59-3	0.73±0.04 ^b	1.94±0.12 ^a	1.85±0.08 ^a	1.08±0.17 ^b	0.14±0.05 ^c	0.17±0.08 ^c	
	35	长叶蕙烯 β-longipinen	28.01	41432-70-6			0.03±0.00 ^c			1.50±0.22 ^a	0.98±0.25 ^b
	36	异香树烯 alloaromadendrene	28.29	25246-27-9				0.32±0.02			
	37	1-石竹烯 1-caryophyllene	28.42	87-44-5	1.53±0.29 ^c	0.36±0.04 ^d	0.33±0.05 ^d	0.15±0.02 ^d	2.52±0.52 ^b	3.15±0.85 ^a	0.78±0.11 ^{cd}
	38	依兰烯 γ-murolene	28.72	30021-74-0			0.29±0.03				
	39	α-石竹烯 α-caryophyllene	28.79	6753-98-6	0.65±0.07 ^{bc}	0.14±0.50 ^c			1.11±0.13 ^b	2.25±0.64 ^a	1.10±0.14 ^b
	40	香橙烯 aromadendrene	28.83	489-39-4	0.37±0.12 ^a				0.15±0.03 ^b		0.04±0.01 ^b
	41	大牛儿烯 germacrene D	28.95	23986-74-5	1.15±0.13 ^{bcd}	7.45±0.39 ^a	1.79±0.73 ^{bc}	2.50±0.21	0.85±0.05 ^{bcd}	0.46±0.10 ^{cd}	0.24±0.05 ^d
	42	γ-榄香烯 γ-elemene	29.21	339154-91-5		0.43±0.22 ^{ab}	0.13±0.01 ^b		0.10±0.05 ^b		0.51±0.02 ^a
	43	雪松烯 cedrene	29.37	11028-42-5	0.08±0.02 ^{bc}	0.23±0.02 ^b		0.03±0.01 ^c	0.12±0.02 ^{bc}	0.66±0.03 ^a	
	44	氧化石竹烯 caryophyllene oxide	30.26	1139-30-6	0.15±0.03 ^a		0.05±0.01 ^b		0.12±0.04 ^a	0.13±0.03 ^a	0.04±0.01 ^b
	45	1-溴-3,4-二甲基戊烷 1-bromo-3,4-dimethylpentane	3.74	6570-92-9	0.03±0.01 ^b	0.15±0.02 ^a		0.06±0.01 ^b	0.06±0.02 ^b	0.07±0.01 ^b	
	46	正庚烷 heptane	3.99	142-82-5	0.12±0.05 ^c				0.09±0.02 ^c	0.34±0.12 ^a	0.14±0.05 ^{bc}
	47	2-己酮, 4-羟基-2-丙基- 2-hexanone, 4-hydroxy-3-propyl-	4.08	62338-17-4	0.10±0.01 ^a			0.02±0.01 ^a	0.07±0.04 ^a	0.08±0.03 ^a	0.12±0.05 ^a
	48	2,4-二甲基己烷 2,4-dimethylhexane	4.19	589-43-5				0.02±0.00 ^b	0.01±0.01 ^b	0.19±0.06 ^a	0.11±0.02 ^a
	49	1-乙基丁基-过氧化氢 hydroperoxide, 1-ethylbutyl	4.28	24254-56-6				0.15±0.04 ^{ab}	0.14±0.02 ^{ab}	0.16±0.03 ^a	0.07±0.01 ^b
	50	环己烷 cyclohexane	6.13	110-82-7		0.08±0.04					
	51	2,3-二甲基戊烷 2,3-dimethyl-pentane	6.36	565-59-3			0.01±0.00				
	52	甲苯 toluene	6.78	108-88-3			0.31±0.08				
	53	六甲基环三硅氧烷 hexamethylcyclotrisiloxane	7.32	541-05-9	0.06±0.01 ^c		0.39±0.04 ^a	0.02±0.01 ^c	0.04±0.01 ^c	0.19±0.03 ^b	0.06±0.03 ^c
	54	1-乙基丁基-过氧化氢 hydroperoxide, 1-ethylbutyl	7.35	24254-56-6		0.09±0.02 ^a	0.10±0.03 ^a				
	55	乙基苯 ethylbenzene	8.65	100-41-4			0.09±0.03				0.02±0.00 ^a
	56	1,2-二甲苯 1,2-xylene	8.72	95-47-6			0.06±0.01 ^a				
	57	对二甲苯 p-xylene	8.86	106-42-3			0.36±0.10				
	58	(1R)-2,2-双甲基-3-亚甲基-二环[2.2.1]庚烷 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1R)-bicyclo[2.2.1]heptane	10.68	5794-03-6	0.02±0.00 ^b	0.64±0.10 ^a		0.03±0.01 ^b	0.12±0.04 ^b	0.46±0.14 ^a	0.07±0.02 ^b
	59	1-亚甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烷 cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	10.81	499-97-8	0.02±0.01 ^b	0.85±0.21 ^a		0.04±0.01 ^b	0.06±0.01 ^b	0.86±0.11 ^a	0.11±0.06 ^b
	60	八甲基硅油 cyclotetrasiloxane, octamethyl-	10.90	556-67-2	0.39±0.05 ^b	0.16±0.06 ^b	4.10±1.22 ^a	0.03±0.01 ^b	0.04±0.01 ^b	0.52±0.03 ^b	0.04±0.01 ^b

续表 2 7 个品种芒果花挥发物成分及相对含量
Tab. 2 Compositions and relative contents of flowers volatiles in seven mango varieties (continued)

类别 Category	序号 No.	挥发物名称 Volatiles name	保留时间 RT/min	CAS 号 CAS No.	相对含量 Relative content/%						
					M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
酯类	61	邻-异丙基苯 <i>o</i> -cymene	13.35	527-84-4	0.17±0.02 ^c	0.50±0.08 ^{abc}	0.35±0.05 ^{bc}	0.56±0.15 ^{ab}	0.75±0.25 ^a	0.81±0.21 ^a	0.60±0.01 ^{ab}
	62	间异丙基苯 1-methyl-3-(1-methylethyl)-benzen	13.66	535-77-3			0.42±0.08 ^b	0.86±0.08 ^a			
	63	苯甲酰胺 benzoyl hydrazine	16.30	613-94-5			0.01±0.00				
	64	α -环氧癸烷	16.38	1686-14-2	0.38±0.07 ^a	0.01±0.00 ^b		0.08±0.01 ^b	0.06±0.02 ^b	0.35±0.04 ^a	
	65	3-oxatricyclo[4.1.1.0(2,4)]octane, 2,7,7-trimethyl-1-异丙烯基-3-甲基苯	16.40	1124-20-5			0.63±0.17				
	66	benzene, 1-methyl-3-(1-methylethenyl)-3-亚甲基-1,1-二甲基-2-乙烯基环己烷	16.48	95452-08-7			0.02±0.01				
	67	2-ethenyl-1,1-dimethyl-3-methylenecyclohexane	18.66	541-02-6	3.71±1.43 ^a	0.27±0.04 ^b		0.25±0.02 ^b	2.06±1.75 ^{ab}	0.47±0.07 ^b	3.35±1.11 ^a
	68	邻苯二甲酸 1,2-dimethoxybenzene	18.81	91-16-7			0.11±0.03				
	69	苯基三甲基硅烷 silane, trimethylphenyl-	21.00	768-32-1				0.02±0.01			
	70	2-羟乙基对羟基苯甲酸	26.70	2496-90-4			0.31±0.08				
	71	benzoic acid, 4-hydroxy-, 2-hydroxyethyl ester	26.93	540-97-6			5.89±0.43 ^a	0.03±0.01 ^c	2.10±0.53 ^b	0.05±0.01 ^c	1.40±0.04 ^b
	72	环己硅氧烷 cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	26.99	4218-48-8		0.85±0.21					
	73	1-乙基-4-异丙基苯 benzene, 1-ethyl-4-(1-methylethyl)-	28.90	107-50-6	0.02±0.00 ^c	0.11±0.01 ^c			0.03±0.01 ^c	0.18±0.02 ^c	1.39±0.05 ^a
	74	十四甲基环七硅氧烷 cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	30.32	71-63-6			0.55±0.06 ^b	0.03±0.01 ^a			
	75	洋地黄毒甙 digitoxin	3.11	5753-96-8	0.02±0.00 ^c	0.14±0.04 ^c			0.13±0.02 ^c	0.74±0.14 ^a	0.41±0.09 ^b
	76	2-己酮酸乙酯 ethyl 2-oxohexanoate	3.66	56554-43-9	0.40±0.03 ^a	0.15±0.06 ^b		0.05±0.01 ^c	0.03±0.00 ^c		0.02±0.00 ^c
	77	3,6-十八碳二炔酸甲酯 methyl 3,6-octadecadiynoate	3.83	868-57-5				0.08±0.03	0.01±0.00		
	78	2-甲基丁酸甲酯 ethyl/benzene	8.32	6776-19-8							
	79	顺-2-丁烯酸乙酯(Z)-2-butenic acid ethyl ester	8.49	108-64-5	0.03±0.01 ^b			0.02±0.00 ^b	0.18±0.06 ^a		0.06±0.01 ^b
	80	异戊酸乙酯 ethyl isovalerate	10.28	638-10-8	0.02±0.01						
	81	3,3-二甲基丙烯酸乙酯 ethyl 3,3-dimethylacrylate	10.65	5837-78-5	0.12±0.04 ^{ab}			0.03±0.01 ^b	0.12±0.03 ^{ab}		0.25±0.12 ^a
	82	惕各酸乙酯 ethyl tiglate	12.14	123-66-0			0.18±0.04 ^{ab}				
	83	正己酸乙酯 hexanoic acid, ethyl ester	12.96	25415-67-2	0.05±0.02 ^b		0.25±0.04				
	84	异己酸乙酯 pentanoic acid,4-methyl-, ethyl ester	19.55	93-89-0	5.02±1.21 ^{bc}	5.47±0.42 ^{bc}	11.38±2.55 ^a	8.56±1.71 ^{ab}	3.05±0.52 ^c	0.42±0.07 ^a	0.12±0.02 ^b
	85	苯甲酸乙酯 benzoic acid, ethyl ester	20.44	119-36-8		0.88±0.13 ^a	1.20±0.40 ^a		1.87±0.12 ^a	1.57±0.05 ^c	2.48±0.36 ^c
	86	水杨酸甲酯 methyl salicylate	20.54	106-32-1						1.56±0.12 ^a	
	87	辛酸乙酯 octanoic acid, ethyl ester	23.82	101-97-3			0.31±0.04				
	88	苯乙酸乙酯 ethyl phenylacetate	24.72	103-45-7			0.34±0.07				
	89	乙酸苯乙酯 acetic acid, 2-phenylethyl ester	26.63	118-61-6			0.09±0.02				
	90	水杨酸乙酯 benzoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester	29.47	128-37-0			0.25±0.05				
		3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇乙酸酯 butylated Hydroxytoluene					0.08±0.01				

续表 2 7 个品种芒果挥发物成分及相对含量
Tab. 2 Compositions and relative contents of flowers volatiles in seven mango varieties (continued)

类别 Category	序号 No.	挥发物名称 Volatiles name	保留时间 RT/min	CAS 号 CAS No.	相对含量 Relative content/%						
					M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
醇类	91	2-丙基-1-戊醇 2-propyl-1-pentanol	3.04	58175-57-8	0.04±0.02 ^c	0.08±0.03 ^c	0.05±0.02 ^c	0.03±0.00 ^c	0.05±0.01 ^c	1.45±0.23 ^a	0.47±0.08 ^b
	92	4-丁氧基丁醇 4-butoxybutyl alcohol	7.30	4161-24-4			0.01±0.00				
	93	甲基戊酮醇 2-pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	7.40	123-42-2		0.12±0.06 ^b		0.63±0.13 ^a	0.26±0.05 ^b		
	94	4-甲基-2-己醇 2-hexanol, 4-methyl-	7.44	2313-61-3			0.05±0.02				
	95	反-α,α-5-三甲基-5-乙烯基四氢化-2-呋喃甲醇 2-furanmethanol, 5-ethenyltetrahydro-a,a,5-trimethyl-, (2R,5R)-rel-	15.45	34995-77-2	0.26±0.07 ^b			0.52±0.08 ^a	0.09±0.01 ^c		
	96	α-松油醇 α-terpineol	16.28	98-55-5			1.95±0.42 ^b		3.24±0.94 ^a		1.82±0.14 ^b
	97	芳香醇 linalool	16.58	78-70-6	15.47±2.12 ^a		20.94±3.52 ^a	5.64±1.17 ^b	0.76±0.05 ^b	0.92±0.06 ^b	
	98	2,6-二甲基-1,5,7-辛二烯-3-醇 1,5,7-octatrien-3-ol, 2,6-dimethyl-	19.60	29414-56-0					0.21±0.03		
	99	对伞花-8-醇 m-cymen-8-ol	19.89	5208-37-7		1.38±0.07					
	100	1,1-二甲基-2-(4-甲基)-乙醇 benzeneethanol, a,a,4-trimethyl-	20.11	20834-59-7			0.05±0.01				
	101	对异丙基苯甲醇 benzenemethanol,4-(1-methylethyl)-	24.17	536-60-7		0.33±0.05 ^a	0.15±0.05 ^{ab}		0.05±0.01 ^b		
	102	对甲基苯异丙醇 benzenemethanol, α,α,4-trimethyl-	27.32	1197-01-9			0.05±0.01 ^b	0.65±0.14 ^b		2.23±0.22 ^a	
	103	萜蒎醇 β-acorenil	29.29	28400-11-5		0.09±0.01 ^b	0.18±0.04 ^b	0.08±0.02 ^b	0.07±0.02 ^b	0.08±0.01 ^b	0.87±0.14 ^a
	104	橙花叔醇 1,6,10-dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	29.58	7212-44-4			0.07±0.02				
酮类	105	桉油烯醇(-)-spathulenol	30.07	77171-55-2			0.08±0.03				
	106	叔十六硫醇 tert-hexadecanethiol	30.83	25360-09-2	0.02±0.00 ^a			0.05±0.03 ^a	0.01±0.01 ^a		
	107	3-己酮 3-hexanone	7.06	589-38-8			0.04±0.01				
	108	2-己酮 2-hexanone	7.14	591-78-6		0.08±0.02 ^a					
	109	松香芹酮 pinocarvone	18.85	30460-92-5	0.05±0.01						
醛类	110	对甲基苯乙酮 4'-methylacetophenone	19.66	122-00-9		0.47±0.14 ^a	0.15±0.05 ^b		0.05±0.01 ^b		
	111	3,4-二甲基苯乙酮 1-(3,4-dimethylphenyl)ethan-1-one	26.60	3637-01-2		0.22±0.03 ^b	0.81±0.12 ^a		0.06±0.01 ^b		
	112	苯甲醛 benzaldehyde	10.93	100-52-7			0.06±0.01				
	113	4-乙基苯甲醛 benzaldehyde, 4-ethyl-	19.22	4748-78-1			0.10±0.02 ^a	0.02±0.00 ^b			
	114	视黄醛 retinal	29.51	116-31-4	0.03±0.01 ^b			0.02±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b	0.23±0.03 ^a	
酚类	115	2-乙基-6-甲基苯酚 phenol, 2-ethyl-6-methyl-	20.91	1687-64-5		0.01±0.00 ^b	0.26±0.06 ^a		0.16±0.03 ^a		

注：同行不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters on the same row indicate significant difference ($P<0.05$).

表 3 7 个品种芒果花挥发物成分类别及相对含量
Tab. 3 Compositions and relative contents of flowers volatiles in seven mango varieties

类别 Category	相对含量 Relative content/%						
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
萜烯类	71.36±8.96	89.41±15.01	46.15±6.98	84.98±8.22	82.03±14.16	88.12±7.53	89.13±12.2
烷烃类	6.03±1.66	3.71±0.71	13.75±3.41	2.27±0.40	6.44±0.73	3.67±0.96	7.46±1.46
酯类	5.68±1.34	6.65±0.65	14.67±3.28	8.78±2.37	5.39±0.82	4.29±0.52	3.34±0.69
醇类	15.77±2.21	2.01±0.22	23.58±4.14	7.55±1.57	4.84±1.17	5.41±0.52	3.09±0.28
酮类	0.05±0.01	0.77±0.19	1.04±0.17	0	0.11±0.02	0	0
醛类	0.03±0.01	0	0.16±0.03	0.04±0.01	0.01±0.00	0.23±0.03	0
酚类	0	0.01±0.00	0.26±0.06	0	0.16±0.03	0	0

台农 1 号花挥发物检测出萜烯类 25 种、烷烃类 11 种、酯类 4 种、醇类 5 种、酮类 3 种、酚类 1 种，以上各类物质含量依次分别为 89.41%、3.71%、6.65%、2.01%、0.77%、0.01%。台农 1 号花挥发物相对含量最高的是萜品油烯为 51.44%，其次为 3-萜烯、大牛儿烯 D、 α -蒎烯和苯甲酸乙酯，这 5 物质占总挥发物成分的 78.36%。

四季蜜芒花挥发物检测出萜烯类 33 种、烷烃类 19 种、酯类 12 种、醇类 11 种、酮类 4 种、醛类 2 种、酚类 1 种，以上各类物质含量依次分别为 46.15%、13.75%、14.67%、23.58%、1.04%、0.16%、0.26%。四季蜜芒花挥发物相对含量较高的为萜品油烯、芳香醇和苯甲酸乙酯，这 3 种物质占总挥发物成分的 61.60%。

金煌芒花挥发物检测出萜烯类 27 种、烷烃类 16 种、酯类 6 种、醇类 7 种、醛类 2 种，以上各类物质含量依次分别为 84.98%、2.27%、8.78%、7.55%、0.04%。金煌芒花挥发物相对含量较高的成分有 3-萜烯、萜品油烯、苯甲酸乙酯和芳香醇。这 4 种物质占总挥发物成分的 78.53%。

红芒 6 号花挥发物检测出萜烯类 26 种、烷烃类 14 种、酯类 7 种、醇类 9 种、酮类 2 种、醛类 1 种，酚类 1 种，以上各类物质含量依次分别为 82.03%、6.44%、5.39%、4.84%、0.11%、0.01%、0.16%。红芒 6 号花挥发物相对含量最高的是 3-萜烯（55.57%），其次为 *D*-柠檬烯、 α -萜品烯、 β -月桂烯、 α -松油醇、萜品油烯和苯甲酸乙酯，这 7 种物质占总挥发物成分的 78.01%。

红象牙花挥发物检测出萜烯类 26 种、烷烃类 14 种、酯类 4 种、醇类 4 种、醛类 1 种，以上各类物质含量依次分别为 88.12%、3.67%、4.29%、5.41%、0.23%。红象牙花挥发物相对含量较高的物质有萜品油烯、 α -蒎烯、3-萜烯、*D*-柠檬烯、

1-石竹烯，这 5 种物质占总挥发物成分的 78.41%。

凯特芒花挥发物检测出萜烯类 27 种、烷烃类 13 种、酯类 6 种、醇类 3 种，以上各类物质含量依次分别为 89.13%、7.46%、3.34%、3.09%。凯特芒花挥发物含量最高的物质为 3-萜烯（65.61%），其次为 *D*-柠檬烯和 α -蒎烯，这 3 种物质占总挥发物成分的 73.06%。

2.2.2 不同品种芒果花挥发物共有成分的比较
7 个品种芒果花挥发物中含有 14 种共有成分，分别为 α -蒎烯、蒎烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、3-萜烯、 α -萜品烯、*D*-柠檬烯、 β -罗勒烯、萜品油烯、1-石竹烯、大牛儿烯 D、邻-异丙基苯、苯甲酸乙酯和 2-丙基-1-戊醇，14 种共有成分总相对含量分别占桂热 82 号、台农 1 号、四季蜜芒、金煌芒、红芒 6 号、红象牙和凯特芒总成分相对含量的 74.53%、85.31%、50.96%、85.38%、81.28%、88.04% 和 87.06%，且各成分在各个品种中的相对含量存在差别。3-萜烯在 7 个品种芒果花挥发物中含量较高，尤其在凯特芒和红芒中的含量分别高达 65.61%和 55.57%，与其他 5 个芒果品种的相对含量差异显著； α -蒎烯在桂热 82 号中的相对含量高达 57.81%，显著区别于其他 6 个品种；萜品油烯在 7 个品种芒果花挥发物中的相对含量较为丰富，台农 1 号的最高可达 51.44%，其次是红象牙（38.81%），显著高于其他 5 个品种；苯甲酸乙酯相对含量为 1.57%~11.38%（表 2，图 1）。由共有成分种类表明 7 个品种芒果花挥发物具有一定的相似性，而由共有成分含量的差异表明这 7 个品种芒果花挥发物具有一定的差异。

2.2.3 芒果花挥发物不同品种特异性成分比较
不同品种芒果花挥发物含有的特异性成分有 33 种，其中四季蜜芒有 24 种，台农 1 号 4 种，金煌芒 2 种、桂热 82 号、红芒 6 号和凯特芒都是 1 种，

红象牙未检测出特异性成分, 特异性成分的存在表明不同品种芒果花挥发物间具有一定的差异。四季蜜芒的特异性成分主要为对薄荷-1,3,8-三烯、(3E)-4,8-二甲基壬-1,3,7-三烯、依兰烯、对二甲苯、1-异丙烯基-3-甲基苯、邻苯二甲醚、2-羟乙基对羟基苯甲酸、辛酸乙酯、苯乙酸乙酯、水杨酸乙酯, 台农 1 号为 1-乙基-4-异丙基苯、 α -萜荜澄茄油烯、环己烷、对伞花-8-醇, 金煌芒为异香树烯、苯基三甲基硅烷, 桂热 82 号为松香芹酮, 红芒 6 号为 2,6-二甲基-1,5,7-辛二烯-3-醇, 凯特芒为 1,5,8-*p*-薄荷烯。

2.3 不同品种芒果花挥发物成分类别及相对含量

以 7 个品种芒果花挥发物共有色谱峰的峰面积作相关性分析, 并进行相似度评价 (图 2), 结果表明, 7 个品种芒果花挥发物间存在一定差异, 相似度最近的是四季蜜芒和金煌芒, 相似度达到 0.862; 台农 1 号与金煌芒、台农 1 号与四季蜜芒、红芒 6 号与凯特芒也有较高的相似度, 均达到 0.800 以上, 四季蜜芒与红象牙相似度最低, 仅为 0.255。

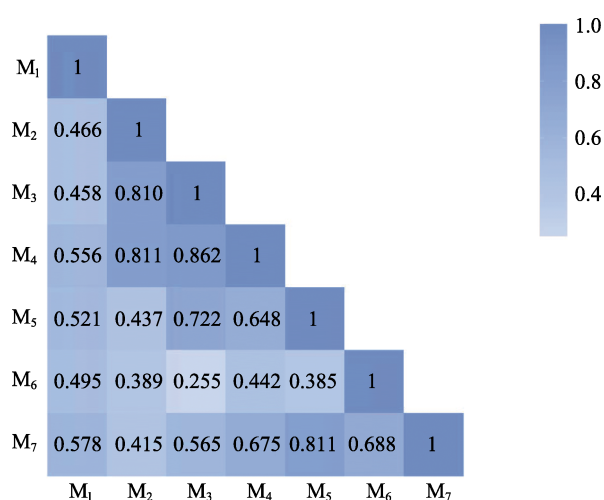


图 2 7 个品种芒果花挥发物相似度评价结果

Fig. 2 Similarity evaluation results of flowers volatiles in seven mango varieties

3 讨论

本研究采用动态顶空吸附法和 GC-MS 法从 7 个不同芒果品种中共鉴定出 115 种化合物, 然而不同品种芒果花挥发性化合物的数量有所不同。JESUS 等^[17]从 Carabao 芒果花挥发物中鉴定出 138 种挥发性成分, PANDIT 等^[15]从芒果花二氯甲烷浸提液中共鉴定出 28 种挥发性化合物,

TOLKE 等^[16]在芒果花蒸馏精油中鉴定出 21 种化合物。本研究结果与已有芒果花挥发物鉴定的报道有一定差异, 可能与不同品种、不同生长环境及不同挥发物提取方法有关。本研究不同品种的环境条件相似, 提取方法接近, 因此, 不同品种花朵挥发物组分的比较分析具有较好的参考价值。相对含量较高的芒果花和果实之间的共有和差异性的挥发物组分可能是花、果的生长发育相关的特征挥发物。例如, LIU 等^[18]在 5 种芒果果实挥发物中鉴定的共有成分为 α -蒎烯、 β -月桂烯、3-蒎烯、*D*-柠檬烯、萜品油烯, 与本研究的芒果花共有挥发物成分相同; 而 LIU 等^[18]在果实中鉴定的共有成分为 1-己醇、对伞花烯、 γ -松油烯、反式-2-己烯醛, 而本研究在芒果花挥发物中则未检测到, 可能以上物质是果实的特征香味物质。

花朵挥发物是影响昆虫访花的主要因素之一, 少部分化合物可能对昆虫的行为选择和定位起决定性作用^[19-22]。研究表明, 萜烯类和芳香族类是吸引授粉者的主要挥发性化合物类别^[6, 8]。本研究中, 7 个品种芒果花挥发物中萜烯类相对含量较高的共有成分, 如 α -蒎烯、3-蒎烯、萜品油烯、 β -蒎烯、 β -罗勒烯、 β -月桂烯、*D*-柠檬烯以及芳香族类的芳香醇在其他花朵中也有报道, 或是吸引授粉昆虫的优势组分。如茶花和茶梢的挥发物中水杨酸甲酯和芳香醇对门氏食蚜蝇 (*Sphaerophoria menthastri*) 有显著的吸引作用^[23]; 罗勒烯对四条小食蚜蝇 (*Paragus quadrifasciatus*) 具有明显的引诱作用^[24]; 疏花火烧兰 (*Epipactis veratrifolia*) 释放的 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯等物质, 能够吸引黑带食蚜蝇 (*Episyrphus balteatus*) 前来产卵, 从而有助于其传粉^[25]; 蜜蜂、食蚜蝇等传粉昆虫在释放柠檬烯较高的甜叶菊 (*Stevia rebaudiana*) 上访问最多^[26]。因此, 芒果花挥发物的 α -蒎烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、罗勒烯、*D*-柠檬烯、芳香醇、水杨酸甲酯等物质可能作为蝇类引诱剂的优势候选组分。

本研究中 7 个品种芒果花挥发物共有色谱峰峰面积相似度差异范围较大 (0.255~0.862), 或可为不同芒果品种亲缘关系的鉴定提供基础数据^[27]。此外, 花挥发物由多种复杂的挥发性化合物共同组成, 一般一个或几个重要成分占很大比例^[28]。3-蒎烯是花、果重要的挥发性成分之一, 研究表明 3-蒎烯是蜜蜂识别油菜花的气味物质之一^[29], 是传粉信号物质。本研究中, 3-蒎烯在凯特芒、

红芒 6 号中的相对含量分别高达 65.61% 和 55.57%, 但在桂热 82 号和四季蜜芒中分别为 1.96% 和 2.21%, 这可能与芒果品种间的遗传差异较大有关^[18]。昆虫对不同品种花的选择具有偏好性, 不同品种芒果花主要挥发物含量的差异与访花昆虫的行为反应的关系有待进一步探究。

植物主要通过特异性物质或者是各物质的特定比例组成变化来实现其挥发物的特异性^[30-31]。本研究的 7 个品种芒果花挥发物的特异性成分和共有成分分别为 33 种和 14 种, 芒果花共有香味物质组成比例不同, 这种特异性成分及特定比例构成了特有的化学指纹图谱。访花昆虫的嗅觉系统特别敏感, 能够精确识别花朵品种特定的气味组分^[8]。如 KLATT 等^[11]研究发现, 在 3 个草莓品种中, 蜜蜂对挥发物总含量最高的草莓品种 Sonata 的访问率最高; WRIGHT 等^[10]发现花的不同浓度、气味质量、化合物数量以及相似性均会影响蜜蜂对花香的鉴别, 进而影响其访花行为。因此, 不同品种芒果挥发物含量成分的差异对昆虫访花行为的影响有待进一步确定。

已有多个国家或地区研究表明双翅目大头金蝇是芒果的主要授粉类群, 如中国、澳大利亚、以色列、菲律宾、孟加拉国等^[3, 32-36]。花朵挥发物在引导传粉者到花的过程中起着重要的作用, 很多植物花朵能够散发出高度复杂、物种特有的挥发性物质, 花朵大量排放物质的时间往往与最大传粉者的活动时间相吻合。芒果作为典型的虫媒植物离不开昆虫授粉, 大头金蝇的活动时间具有明显的日节律, 与芒果花粉扩散高峰期同步, 主要集中在上午^[3, 37-38]。因此, 后续有必要进一步分析芒果花挥发性物质吸引大头金蝇传粉的化学机制, 或筛选获得较好的授粉昆虫引诱剂。同时, 需要考虑其他为害芒果花和叶的害虫, 如花蓟马、芒果扁喙叶蝉、芒果壮狭普瘿蚊等; 四季蜜芒果同期, 在筛选传粉昆虫引诱剂时也要考虑避免加重芒果果实害虫的为害, 如橘小实蝇、芒果果肉象甲等^[5, 39-40]。研究表明, 月桂烯、苯甲醛、 β -石竹烯对花蓟马具有引诱作用, α -蒎烯、 β -蒎烯对花蓟马具有趋避作用^[41]。3-蒎烯、乙酸乙酯、 α -石竹烯、 α -蒎烯对芒果壮狭普瘿蚊均具有引诱作用^[39]。 β -石竹烯对橘小实蝇雌虫具有引诱作用, 辛酸乙酯对橘小实蝇雌雄成虫均具有引诱作用^[42-43]。不同芒果品种挥发物的组分含量不同, 对害虫的吸引作用也不同, 本研究结果可为探究

不同品种芒果花挥发物对害虫的行为反应提供参考。目前芒果花期病虫害防治多使用化学农药, 可能会大量杀伤果园中主要的传粉昆虫, 可以通过综合分析传粉昆虫和花期害虫的偏好性开发有针对性的引诱剂或趋避剂。因此, 本研究结果对后续授粉昆虫和食花害虫引诱剂/趋避剂的开发具有重要的参考意义。

参考文献

- [1] 苏伟强, 王小媚, 任惠, 董龙, 蔡昭艳, 刘业强, 邱文武, 方位宽, 黄章保. 广西芒果产业发展现状及对策探讨[J]. 热带农业工程, 2018, 42(5): 38-40.
SU W Q, WANG X M, REN H, DONG L, CAI Z Y, LIU Y Q, QIU W W, FANG W K, HUANG Z B. Development situation and countermeasures of Guangxi mango industry[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2018, 42(5): 38-40. (in Chinese)
- [2] 陈业渊, 党志国, 林电, 胡美姣, 黄建峰, 朱敏, 张贺, 韩冬银, 高爱平, 高兆银, 黄媛媛. 中国芒果科学研究 70 年[J]. 热带作物学报, 2020, 41(10): 2034-2044.
CHEN Y Y, DANG Z G, LIN D, HU M J, HUANG J F, ZHU M, ZHANG H, HAN D Y, GAO A P, GAO Z Y, HUANG Y Y. Mango scientific research in China in the past 70 years[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(10): 2034-2044. (in Chinese)
- [3] 王助引, 韦德卫, 阳明剑, 但建国. 广西芒果传粉昆虫种类调查及活动习性初步观察[J]. 广西农学报, 2003(增刊 1): 155-158.
WANG Z Y, WEI D W, YANG M J, DAN J G. The investigation of the varieties of mango insect pollinator in Guangxi and the preliminary observation on the habits and characteristics of the activities of such insects[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2003(Suppl. 1): 155-158. (in Chinese)
- [4] RAFIQUE M K, QURATULAIN, MAHMOOD R, STEPHEN E, IRSHAD M, SARWAR G. Pollination deficit in mango orchards at Multan[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2016, 48(1): 35-38.
- [5] 林明光, 刘福秀, 况荣, 黄姿, 马建华, 郑金龙. 海南芒果作物害虫调查与鉴定[J]. 广西热带农业, 2010(1): 1-7.
LIN M G, LIU F X, KUANG R, HUANG Z, MA J H, ZHENG J L. Survey and identification of pest insects on mango crop in Hainan[J]. Agricultural Research and Application, 2010(1): 1-7. (in Chinese)
- [6] HABER A I, SIMS J W, MESCHER M C, MORAES C M D, DAVID E. A key floral scent component (β -trans-bergamotene) drives pollinator preferences independently of pollen rewards in seep monkeyflower[J]. Func-

- tional Ecology, 2019, 33(2): 218-228.
- [7] SCHIESTL F P. The evolution of floral scent and insect chemical communication[J]. Ecology Letters, 2010, 13(5): 643-656.
- [8] 龙登隆. 蜜蜂对梨花挥发物的电生理及行为反应[D]. 太原: 山西农业大学, 2019.
- LONG D L. Electrophysiological and behavioral responses of bees to the volatiles compounds of pear flowers[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [9] CESAR R S, LEONARDO P, ANDRES Q. Variation in highbush blueberry floral volatile profiles as a function of pollination status, cultivar, time of day and flower part: implications for flower visitation by bees[J]. Annals of Botany, 2011, 107(8): 1377-1390.
- [10] WRIGHT G A, SKINNER B D, SMITH B H. Ability of honeybee, *Apis mellifera*, to detect and discriminate odors of varieties of canola (*Brassica rapa* and *Brassica napus*) and snapdragon flowers (*Antirrhinum majus*)[J]. Journal of Chemical Ecology, 2002, 28(4): 721-740.
- [11] KLATT B K, BURMEISTER C, WESTPHAL C, TSCHARNTKE T, FRAGSTEIN M. Flower volatiles, crop varieties and bee responses[J]. PLoS One, 2013, 8(8): e72724.
- [12] DIABATE S, DELETRE E, MURUNGI L K, FIABOE K K M, SUBRAMANIAN S, WESONGA J, MARTIN T. Behavioural responses of bean flower thrips (*Megalurothrips sjostedti*) to vegetative and floral volatiles from different cowpea cultivars[J]. Chemoecology, 2019, 29: 73-88.
- [13] 陈泽军. 丁香罗勒挥发物对山东茶园绿盲蝽和天敌的种群调控评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- CHEN Z J. Population regulation of *Ocimum gratissimum* L. volatile on *Apolygus lucorum* and natural enemies in tea plantation in Shandong province[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2021. (in Chinese)
- [14] LIMA Z P, SEVERI J A, PELLIZZON C H, BRITO A R, SOLIS P N, CACERES A, GIRON L M, VILEGAS W, HIRUMA-LIMA C A. Can the aqueous decoction of mango flowers be used as an antiulcer agent?[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 106(1): 29-37.
- [15] PANDIT S S, KULKARNI R S, CHIDLEY H G, GIRI A P, PUJARI K H, KOLLNER T G, DEGENHARDT J, GERSHENZON J, GUPTA V S. Changes in volatile composition during fruit development and ripening of 'Alphonso' mango[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(12): 2071-2081.
- [16] TOLKE E D, BACHELIER J B, LIMA E A, FERREIRA M, DEMARCO D, CARMELLO-GUERREIRO S M. Osmophores and floral fragrance in *Anacardium humile* and *Mangifera indica* (Anacardiaceae): an overlooked secretory structure in Sapindales[J]. Aob Plants, 2018, 10(6): ply062.
- [17] JESUS L, CALUMPANG S, MEDINA J. Floral volatiles of *Mangifera indica* L. (cv. Carabao) attractive to *Sternochetus frigidus* (Fabr.) (Coleoptera: Curculionidae)[J]. Philippine Agricultural Scientist, 2004, 87(1): 23-35.
- [18] LIU H, AN K, SU S, YU Y, WU J, XIAO G, XU Y. Aromatic characterization of mangoes (*Mangifera indica* L.) using solid phase extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry and olfactometry and sensory analyses[J]. Foods, 2020, 9(1): 75.
- [19] KNUDSEN J T, ERIKSSON R, GERSHENZON J, STAHL B. Diversity and distribution of floral scent[J]. Botanical Review, 2006, 72(1): 1-120.
- [20] PICHERSKY E, NOEL J P, DUDAREVA N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity[J]. Science, 2006, 311(5762): 808-811.
- [21] WRIGHT G A, SCHIESTL F P. The evolution of floral scent: the influence of olfactory learning by insect pollinators on the honest signalling of floral rewards[J]. Functional Ecology, 2009, 23(5): 841-851.
- [22] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, KAPLAN I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds[J]. New Phytologist, 2013, 198(1): 16-32.
- [23] 韩宝瑜, 周成松. 茶梢和茶花主要挥发物对门氏食蚜蝇和大草蛉引诱效应[J]. 应用生态学报, 2004(4): 623-626.
- HAN B Y, ZHOU C S. Attraction effect of main volatile components from tea shoots and flowers on *Sphaerophoria menthastri* and *Chrysopa septempunctata*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004(4): 623-626. (in Chinese)
- [24] YU H L, ZHANG Y J, WU K M, GAO X W, GUO Y Y. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects[J]. Environmental Entomology, 2008, 37(6): 1410-1415.
- [25] STOKL J, BRODMANN J, DAFNI A. Smells like aphids: orchid flowers mimic aphid alarm pheromones to attract hoverflies for pollination[J]. Proceedings Biological Sciences, 2011, 278(1709): 1216-1222.
- [26] BENELLI G, CANALE A, ROMANO D, FLAMINI G, TAVARINI S, MARTINI A, ASCRIZZI R, CONTE G, MELE M, ANGELINI L G. Flower scent bouquet variation and bee pollinator visits in *Stevia rebaudiana* bertonii (asteraceae), a source of natural sweeteners[J]. Insect Plant Interactions, 2017, 11(3): 381-388.
- [27] 张旭. 不同种源香椿风味分析及香气指纹图谱的构建[D]. 天津: 天津科技大学, 2020.
- ZHANG X. Flavor substances analysis and construction of

- aroma fingerprint of toona sinensis from different provenance[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2020. (in Chinese)
- [28] 官昭瑛, 吴艳光, 袁海滨, 任炳忠. 昆虫访花机制研究概述[J]. 吉林农业大学学报, 2005(6): 608-613.
- GUAN S Y, WU Y G, YUAN H B, REN B Z. Research review of insect pollination mechanism[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2005(6): 608-613. (in Chinese)
- [29] KNAUER A C, SCHIESTL F P. Bees use honest floral signals as indicators of reward when visiting flowers[J]. Ecology Letters, 2014, 18(2): 135-143.
- [30] 蔡晓明, 李兆群, 潘洪生, 陆宴辉. 植食性害虫食诱剂的研究与应用[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 8-35.
- CAI X M, LI Z Q, PAN H S, LU Y H. Research and application of food-based attractants of herbivorous insect pests[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2018, 34(1): 8-35. (in Chinese)
- [31] 贾志飞, 仇延鑫, 赵永超, 闫雪艳, 薛明, 赵海朋. 植物挥发物对昆虫的驱避和引诱作用研究进展[J]. 山东农业科学, 2022, 54(7): 164-172.
- JIA Z F, QIU Y X, ZHAO Y C, YAN X Y, XUE M, ZHAO H P. Advances of research on repellency and attraction of plant volatiles to insects[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(7): 164-172. (in Chinese)
- [32] ANDERSON D L, SEDGLEY M, SHORT J, ALLWOOD A J. Insect pollination of mango in northern Australia[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1982, 33(3): 541-548.
- [33] FAJARDO A C, MEDINA J R, OPINA K. Insect pollinators and floral visitors of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao)[J]. The Philippine Agricultural Scientist, 2008, 91(4): 372-382.
- [34] DAG A. Interaction between pollinators and crop plants: the Israeli experience[J]. Israel Journal of Plant Sciences, 2009, 57(3): 231-242.
- [35] AMIN M R, NAMNI S, MIAH M. Insect inventories in a mango-based agroforestry area in Bangladesh: foraging behavior and performance of pollinators on fruit set[J]. Entomological Research, 2015, 45(4): 217-224.
- [36] 江唐鑫, 何堂熹, 罗聪, 王小云, 何新华. 广西杧果传粉昆虫调查及诱蝇授粉试验研究[J]. 中国南方果树, 2022, 51(2): 50-56.
- JIANG T X, HE T X, LUO C, WANG X Y, HE X H. Investigation on mango pollinating insects and study on fly pollination experiment in Guangxi[J]. South China Fruits, 2022, 51(2): 50-56. (in Chinese)
- [37] HOBALLAH M E, STUURMAN J, TURLINGS T C, GUERIN P M, CONNÉTABLE S, KUHLEMEIER C. The composition and timing of flower odour emission by wild *Petunia axillaris* coincide with the antennal perception and nocturnal activity of the pollinator *Manduca sexta*[J]. Planta, 2005, 222(1): 141-150.
- [38] DOBSON H E M. Section iv plant-insect interactions and pollination ecology 8 relationship between floral fragrance composition and type of pollinator[J/OL]. Biology of Floral Scent, 2006. [2022-10-20] DOI:10.1111/j.1469-8137.2005.01509.
- [39] 蔡鸿娇, 田厚军, 魏辉, 林硕, 陈峰. 入侵害虫芒果壮铃普癭蚊对5种芒果挥发物的电生理反应和行为选择[J]. 热带作物学报, 2021, 42(12): 3402-3408.
- CAI H J, TIAN H J, WEI H, LIN S, CHEN F. Electroantennographic and behavioral responses of invasive insect *Procontarinia robusta* to five host plant volatiles[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(12): 3402-3408. (in Chinese)
- [40] 邢楚明, 韩冬银, 李磊, 牛黎明, 陈俊谕, 张方平, 符悦冠. 蓟马在芒果园田间的时空动态[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(6): 1258-1265.
- CHEN C M, HAN D Y, LI L, NIU L M, CHEN J Y, ZHANG F P, FU Y G. Spatio-temporal dynamics of thrips in mango orchard[J]. Journal of Environmental Entomology, 2017, 39(6): 1258-1265. (in Chinese)
- [41] 李晓维, 程江辉, 韩海斌, 吕要斌. 植物次生代谢物质对蓟马的行为调控作用及其在蓟马防控中的应用[J]. 昆虫学报, 2022, 65(9): 1222-1246.
- LI X W, CHENG J H, HAN H B, LYU Y B. Behavioral manipulation of the plant secondary metabolites to thrips and their application in thrips management[J]. Acta Entomologica Sinica, 2022, 65(9): 1222-1246. (in Chinese)
- [42] 高扬, 李慧静, 陆永跃, 程代凤. 桔小实蝇雌成虫对寄主挥发物 β -石竹烯的行为反应[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(1): 253-259.
- GAO Y, LI H J, LU Y Y, CHENG D F. Behavioral response of *Bactrocera dorsalis* female adults to the host volatile, β -caryophyllene[J]. Journal of Environmental Entomology, 2021, 43(1): 253-259. (in Chinese)
- [43] 黄爱玲. 番石榴产区橘小实蝇转移为害规律及寄主偏好性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- HUANG A L. Studies on the pattern of transferring damage and host preference of *Bactrocera dorsalis* in the guava producing area[D]. Nanning: Guangxi University, 2020. (in Chinese)