



不同品种番石榴花的挥发性成分分析

林宝妹, 邱珊莲, 郑开斌, 吴妙鸿, 洪佳敏, 张帅

引用本文:

林宝妹, 邱珊莲, 郑开斌, 吴妙鸿, 洪佳敏, 张帅. 不同品种番石榴花的挥发性成分分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2023, 31(1): 128–140.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4545>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers, Fruits and Leaves of Jaboticaba at Different Developmental Stages

热带亚热带植物学报. 2022, 30(3): 423–433 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4451>

睡莲属62个栽培种花朵挥发性成分GC-MS分析

Volatile Components in Flowers of 62 *Nymphaea* Cultivars by GC-MS

热带亚热带植物学报. 2022, 30(4): 567–574 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4498>

4种石斛属植物花朵挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers of Four *Dendrobium* Species

热带亚热带植物学报. 2015(4): 454–462 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2015.04.014>

铁皮石斛和重唇石斛及其杂交子代花的挥发性成分分析

Volatile Components in Flowers of *Dendrobium officinale*, *D. hercoglossum* and Their Hybrids

热带亚热带植物学报. 2022, 30(4): 558–566 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4488>

番石榴4个品种叶和幼果的生物活性和酚类成分研究

Biological Activities and Phenolic Constituents in Extracts from Leaves and Young Fruits of Four Guava Cultivars

热带亚热带植物学报. 2021, 29(6): 694–702 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4416>

向下翻页, 浏览PDF全文

不同品种番石榴花的挥发性成分分析

林宝妹, 邱珊莲*, 郑开斌, 吴妙鸿, 洪佳敏, 张帅

(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005)

摘要: 为探究番石榴(*Psidium guajava*)花挥发性成分组成, 采用顶空/气相色谱-质谱联用技术对 10 个番石榴品种(‘翠玉’、‘帝王’、‘本土’、‘红叶’、‘粉红蜜’、‘珍珠’、‘西瓜’、‘水蜜’、‘木瓜’和‘红宝石’)花的挥发性成分进行鉴定分析。结果表明, 10 个品种共检出相对含量在 0.1% 以上的挥发性成分 43 种, 包含共有成分 10 种, 以萜烯类化合物(89.77%~97.40%)为主。 β -石竹烯、 β -罗勒烯、桉叶油醇和 D-柠檬烯为花主要挥发性成分。影响品种间挥发性成分差异的成分主要有 7 种, 分别为 α -蒎烯、 β -罗勒烯、D-柠檬烯、3-蒎烯、香树烯、 β -长叶蒎烯和 1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘。按照香气相似性, ‘翠玉’和‘帝王’归为一类, ‘水蜜’和‘本土’归为一类, ‘粉红蜜’、‘西瓜’、‘红叶’、‘木瓜’和‘红宝石’归为一类, ‘珍珠’为单独一类。不同品种番石榴花挥发性成分存在相似性和差异性, 为番石榴花混合采摘及后期个性化开发利用提供理论基础。

关键词: 番石榴; 花; 挥发性成分; 顶空/气相色谱-质谱法

doi: 10.11926/jtsb.4545

Volatile Components in Flower of Ten Varieties of *Psidium guajava*

LIN Baomei, QIU Shanlian*, ZHENG Kaibin, WU Miaohong, HONG Jiamin, ZHANG Shuai

(Fujian Academy of Agricultural Sciences, Institute of Subtropical Agriculture, Zhangzhou 363005, Fujian, China)

Abstract: In order to investigate the volatile constituents from fresh flowers of *Psidium guajava*, the volatile components of ten guava varieties, including ‘Cuiyu’, ‘Diwang’, ‘Bentu’, ‘Hongye’, ‘Fenhongmi’, ‘Zhenzhu’, ‘Xigua’, ‘Shuimi’, ‘Mugua’ and ‘Hongbaoshi’, were determined by headspace-GC-MS method. The results showed that a total of 43 volatile components with relative content of more than 0.1% were detected, contained 10 common components, mainly consisted of terpenes with the content of 89.77%–97.40%. β -Ocimene, D-limonene, eucalyptol and β -caryophyllene were the main volatile components in the ten varieties. Seven volatile compounds, including α -pinene, β -ocimene, D-limonene, 3-carene, alloaromadendrene, β -longipinene and 1-isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8a-hexahydronaphthalene, mainly caused the volatile components differences in different varieties. Ten guava varieties could be divided into 4 groups according to aroma similarity. ‘Cuiyu’ and ‘Diwang’ fell into a group, while ‘Shuimi’ and ‘Bentu’ belonged to one group, ‘Fenhongmi’, ‘Xigua’, ‘Hongye’, ‘Mugua’ and ‘Hongbaoshi’ were clustered one group, and the fourth group had only ‘Zhenzhu’. There were similarities and differences in the volatile components of different varieties of guava flowers, which provide a theoretical basis for the mixed picking and personalized development and utilization of guava flowers.

Key words: *Psidium guajava*; Flower; Volatile component; Headspace-GC-MS

番石榴(*Psidium guajava*)又称芭乐、喇叭番石榴、鸡屎(矢)果等, 为桃金娘科番石榴属常绿小乔木, 原产于从墨西哥南部到南美洲北部的热带地区, 现广泛种植于热带和亚热带地区^[1]。番石榴的

收稿日期: 2021-10-21 接受日期: 2022-03-10

基金项目: 福建省科技计划公益类专项(2019R1030-4, 2021R1030004); 福建省自然科学基金项目(2020J011369)资助

This work was supported by the Special Project for Public Welfare for Research Institute in Fujian (Grant No. 2019R1030-4, 2021R1030004), and the Project for Natural Science in Fujian (Grant No. 2020J011369).

作者简介: 林宝妹(1988年生), 女, 助理研究员, 研究方向为天然产物化学。E-mail: yogobm@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: slqiu79@163.com

种植面积和产量仅次于芒果(*Mangifera indica*)、香蕉(*Musa spp.*)和柑橘(*Citrus reticulata*), 并称四大重要水果作物, 在我国福建、海南、广东等地均有种植^[2-3]。番石榴果实富含维生素 C、维生素 A、矿物质元素钙、磷、铁和镁等人体所需营养成分, 营养价值高^[2,4]。番石榴植株的其他部位如根、茎皮、种籽和叶也具有一定的药用价值。番石榴根水提取物中的单宁对金黄色葡萄球菌、芽孢杆菌和大肠杆菌具有良好的抑菌作用, 效果优于庆大霉素和氯霉素^[5]。番石榴茎皮水提取物对机械或化学诱导疼痛的白化大小鼠均具有镇痛效果^[6]。番石榴种籽多糖通过诱导细胞凋亡抑制 PC-3 前列腺癌细胞增殖^[7]。番石榴叶含有挥发油、多酚类化合物和多糖等活性成分, 具有抗癌、抗糖尿病、抗氧化、止泻、抗菌、降脂和保肝等多种功效^[8]。因此, 番石榴的综合应用价值高。

番石榴在自然情况下花量大、挂果多, 需要通过疏花疏果达到丰产稳产和果大质优的要求^[9]。番石榴幼果含有金丝桃苷、鞣花酸和杨梅苷等多酚类化合物, 具有体外抗氧化及降糖活性, 可作为天然抗氧化剂和 α -葡萄糖苷酶抑制剂进行开发利用^[10]。目前对于番石榴花的研究主要在调控花期产果方面。钟思强等^[11]通过水肥调控促夏梢抽生的方法生产番花果, 提高了果实的营养品质。李平等^[12]调查了番石榴的成花习性, 阐明花朵着生处枝梢及叶片的理化性质变化, 为人工调控果实成熟期提供理论依据。Silva 等^[13]报道了番石榴叶和花的浸出液可作为传统中药用于治疗腹泻。关于番石榴植株多个部位如叶、果实的挥发性成分及多酚类化合物的生物活性和组分分析已有较多报道, 但关于花的挥发性成分研究则暂未见报道。植物花中含有多种次级代谢产物, 如黄酮类、有机酸和挥发油等成分, 具有抗氧化、抗菌和抗黑色素生成等多种对人体有益的生物效应^[14-16]。随着植物挥发性成分研究的深入及芳香疗法的推广, 植物挥发油对人体的积极作用逐渐引起关注。不同植物挥发油在成分和功效方面有较大差异, 研究挥发油成分有助于进一步了解挥发性成分发挥功效的物质基础。以香茅醇为主要成分的玫瑰(*Rose rugosa*)精油具有镇静催眠的作用^[17]。以柠檬醛为主成分的柠檬草(*Cymbopogon citratus*)精油可发挥抗炎作用^[18]。丁香(*Eugenia caryophyllata*)挥发油中的丁香酚是其抗惊厥的药效物质基础^[19], 丁香油中的石竹烯则是其发挥镇定作用的主要成

分^[20]。含笑(*Michelia figo*)花挥发油的主要成分为橙花叔醇(76.37%)^[21], 橙花叔醇具有抗氧化、抗炎和抑制肿瘤细胞增殖等多种活性^[22-23]。因此, 挥发油的成分分析对其加工利用有重要意义。

挥发性成分的种类和含量在不同植物种类、品种、生长环境等影响下差异明显, 因此, 本文选取 10 个番石榴品种花为研究对象, 采用 HS-GC-MS (顶空-气质联用)技术, 检测其挥发性成分及相对含量, 明确不同品种番石榴花挥发性成分组成, 为番石榴花在医药、化工和食品领域的应用提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

选择福建省农业科学院亚热带农业研究所国家闽台特色作物种质资源圃内的 10 个番石榴品种, 树龄 4~5 a, 分别为‘翠玉’、‘帝王’、‘本土’(漳州本地种)、‘红叶’、‘粉红蜜’、‘珍珠’、‘西瓜’、‘水蜜’、‘木瓜’和‘红宝石’。于 2021 年 5 月 7—11 日采摘处于盛花期的花朵, 每个品种挑选树冠大小和长势较为接近的植株 4~5 株, 按照东南西北中每个方向随机选取 10~15 个花朵。

TriPlus 300 顶空自动进样器(美国赛默飞公司); Trace1300-TSQ9000 气质联用仪器(美国赛默飞公司)。

1.2 方法

顶空条件 取 1.00 g 番石榴鲜花, 转移至 20 mL 顶空螺旋瓶, 待测。设置传输线温度 135 °C、腔温 92 °C、炉温 85 °C, 瓶静态平衡时间 8 min, 压力平衡时间 0.2 min, 进样时间 0.2 min。

GC-MS 检测 气相条件: 气相色谱柱为 TG-5SILMS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μ m); 进样口温度 225 °C, 分流比 12:1, 载气为 He (99.999%), 体积流量 1.2 mL/min。升温程序为柱温箱起始温度 50 °C, 保持 5 min, 然后以 5 °C/min 升温到 160 °C, 再以 10 °C/min 升温到 250 °C, 保持 5 min, 总时间为 45 min。质谱条件: EI 离子源, 离子源温度 300 °C, 接口温度 280 °C。质量扫描范围为 30~550 amu。

定性和定量分析 将 GC-MS 采集得到的扫描质量图谱中的每个色谱峰与 NIST 标准质谱库进行匹配性检索, 再结合文献和人工谱图分析最终确定各化学成分; 挥发性物质的定量分析采用峰面积归一法计算各成分相对百分含量。参照王华夫等^[24]的方法计算成分相似率。

1.3 数据分析

运用 SPSS 22.0 软件中的聚类分析和主成分分析对数据进行统计分析, 采用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析, 图表制作采用 Excel 2007 和 Originpro 8.6 完成。

2 结果和分析

2.1 挥发性物质的组成

采用 HS-GC-MS 对 10 个品种番石榴花中的挥发性成分进行检测与分析, 相对含量在 0.1% (含) 以上的挥发性物质共 43 种, 其中单萜类 8 种、倍半萜类 26 种、酯类 2 种、醇类 3 种、醛类 2 种和烃类 2 种, 相对含量占挥发性成分总量的 91.19%~98.20% (表 1)。10 种番石榴花的共有挥发性成分有 10 种, 分别为单萜类 4 种(α -蒎烯、D-柠檬烯、桉叶油醇、 α -松油醇), 倍半萜类 5 种[雪松烯、 β -石竹烯、2-*epi*-反式- β -石竹烯、1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,4,6,8a-六氢萜、1,6-二甲基-4-(1-甲基)-1,2,3,4,4a,7-六氢萜]和醛类 1 种(苯甲醛)。不同品种番石榴花也检测到其特有的香气成分, ‘翠玉’特有 β -卡地烯, ‘帝王’特有 3-己烯-1-醇和乙酸橙花酯, ‘粉红蜜’特有 (-)- β -蒎烯、(4*aS*,9*aR*)-2,4*a*,5,6,7,9*a*-六氢-3,5,5,9-四甲基-1H-苯并环庚烯和(-)-异丁香烯, ‘木瓜’特有 α -愈创木烯, ‘红宝石’特有佛术烯、 α -甜没药烯、 τ -杜松醇乙酸酯和正二十烷。

不同品种番石榴花挥发性成分均以萜类为主, 含量范围 89.77%~97.40%。其中‘本土’、‘红叶’、‘粉红蜜’、‘珍珠’、‘西瓜’、‘水蜜’等品种主要以单萜类为主, 含量为 59.79%~76.17%, ‘珍珠’以单萜烃类为主(81.34%)、‘本土’、‘红叶’、‘西瓜’和‘水蜜’以单萜含氧衍生物为主, 占比达 52.45%~84.24%, ‘粉红蜜’单萜烃类含量占比(50.21%)与单萜含氧衍生物(49.79%)接近; ‘翠玉’、‘帝王’和‘红宝石’主要以倍半萜类为主, 含量范围 54.97%~67.71%, 其中倍半萜烃类含量占 99.65%~100%, 几乎不含倍半萜含氧衍生物; ‘木瓜’番石榴花的单萜类与倍半萜类含量接近, 分别为 48.01%和 41.76%。酯类、醛类、醇类和烃类等成分在各品种番石榴花中含量均较低, 此 4 类化合物总含量为 0.63%~2.25% (表 2)。

2.2 不同品种主要挥发性成分比较

不同品种番石榴花的主要挥发性成分组成及含量有较大差异, 以相对含量可达 20% 以上的成分

包括 β -石竹烯、桉叶油醇、D-柠檬烯和 β -罗勒烯等 4 种成分为主要成分进行品种间挥发性成分比较分析。从图 1 可见, ‘翠玉’、‘帝王’、‘水蜜’以 β -石竹烯和桉叶油醇为主要成分, 相对含量可达 57.00%~71.00%; ‘本土’以桉叶油醇和 D-柠檬烯为主要成分, 相对含量为 67.12%; ‘红叶’、‘西瓜’、‘粉红蜜’以桉叶油醇和 β -罗勒烯为主要成分, 相对含量可达 60.98%~72.90%; ‘木瓜’、‘红宝石’以 β -罗勒烯和 β -石竹烯为主要成分, 相对含量可达 57.45%~59.71%; D-柠檬烯为‘珍珠’的最主要成分, 含量达 57.54%。

D-柠檬烯和 β -罗勒烯的相对含量在不同番石榴花品种间的差异最为明显。除‘珍珠’和‘本土’外, 其余 8 个品种中 D-柠檬烯的相对含量均不超过 1%, 且‘珍珠’中的 D-柠檬烯相对含量(57.54%)是‘本土’(23.08%)的 2.49 倍。在相同的检测条件下, ‘翠玉’、‘帝王’、‘本土’和‘珍珠’未检测到 β -罗勒烯, ‘水蜜’中则仅含 0.51% β -罗勒烯, 其余品种的 β -罗勒烯相对含量范围为 22.40%~34.24%。 β -石竹烯、D-柠檬烯和桉叶油醇在 10 个品种中均可检测到, 含量分别为 10.32%~44.64%、0.37%~57.54%和 13.94%~49.91%。 β -石竹烯、桉叶油醇、D-柠檬烯和 β -罗勒烯相对含量最高的品种分别为‘帝王’、‘水蜜’、‘珍珠’和‘西瓜’。

2.3 挥发性成分相似率比较

将 10 个品种的挥发性成分进行相似率分析(表 3)。「翠玉」和「帝王」、「粉红蜜」和「红叶」、「粉红蜜」和「西瓜」、「西瓜」和「红叶」、「木瓜」和「红宝石」等品种的相似率均大于 0.95, 分别为 0.984、0.959、0.977、0.967 和 0.965, 相似率极高, 香型复配性好。「水蜜」和「本土」、「水蜜」和「红叶」、「西瓜」和「木瓜」、「红宝石」和「粉红蜜」之间的相似率为 0.8~0.9, 分别为 0.892、0.884、0.841 和 0.880, 这 4 个品种对香气相似率较高, 香型复配性较好。相似率为 0.7~0.8 的品种对共有 10 组, 涵盖除‘珍珠’品种外的 9 个品种, 除‘珍珠’外, 每个品种至少与其他一种具有相似的成分组成, 香型复配性一般。在 10 个品种中, ‘珍珠’的香气组成最为独特, ‘珍珠’与‘本土’香气相似率为 0.675, 与其余 8 种的为 0.192~0.303, 说明‘珍珠’的香气类型明显不同于其他 9 个品种。

2.4 聚类分析

将 10 个品种番石榴花的挥发性成分进行系统聚类分析(图 2)。当横坐标距离为 25 时, 可以将 10 个品种分为 2 类, ‘珍珠’为一类, 余下 9 个品种归

表 1 10 个品种番石榴花挥发性成分组成

Table 1 Volatile components in flower of ten varieties of *Psidium guajava*

挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	‘翠玉’ ‘Cuiyu’	‘帝王’ ‘Diwang’	‘本土’ ‘Bentu’	‘红叶’ ‘Hongye’	‘粉红蜜’ ‘Fenhongmi’
萜类 Terpenes						
单萜类 Monoterpene						
3-蒎烯 3-Carene	8.242	-	-	0.55±0.19bB	-	-
α -蒎烯 α -Pinene	8.249	7.66±0.87aA	4.39±0.02bB	2.93±0.01cC	0.37±0.02dD	0.34±0.13dD
β -蒎烯 β -Pinene	10.301	-	0.22±0.01cC	0.54±0.00bB	0.25±0.03cC	-
(-)- β -蒎烯 (-)- β -Pinene	10.301	-	-	-	-	0.15±0.03
D-柠檬烯 D-Limonene	11.653	0.70±0.13cC	0.85±0.1cC	23.08±2.29bB	0.82±0.06cC	0.57±0.04cC
β -罗勒烯 β -Ocimene	11.908	-	-	-	22.40±2.07eD	30.24±1.67cB
桉叶油醇 Eucalyptol	11.713	21.00±1.76fE	19.32±1.74fE	44.04±0.35bB	40.94±0.76cC	30.74±0.05eD
α -松油醇 α -Terpineol	16.978	0.18±0.01dD	0.38±0.09cB	0.77±0.08aA	0.39±0.05bB	0.30±0.04cC
倍半萜类 Sesquiterpene						
顺-菖蒲烯 <i>cis</i> -Calamenene	25.795	0.41±0.15aA	-	0.34±0.05aA	-	-
α -葑烯 α -Cubebene	21.368	0.23±0.01bB	0.37±0.01aA	-	-	-
雪松烯 Cedrene	22.140	13.02±0.28bA	14.25±1.65aA	2.74±0.90cC	3.00±0.15dC	4.05±0.09dC
β -卡地烯 β -Cadinene	22.951	0.33±0.03	-	-	-	-
(-)-异喇叭烯 Isoledene	22.958	-	-	-	0.26±0.05aA	-
(1 <i>R</i> ,3 <i>aS</i> ,8 <i>aS</i>)-7-异丙基-1,4-二甲基-1,2,3,3 <i>a</i> ,6,8 <i>a</i> -六氢偶氮苯 (1 <i>R</i> ,3 <i>aS</i> ,8 <i>aS</i>)-7-Isopropyl-1,4-dimethyl-1,2,3,3 <i>a</i> ,6,8 <i>a</i> -hexahydroazulene	22.964	0.34±0.02cB	-	-	0.62±0.01bA	0.21±0.09dC
β -石竹烯 β -Caryophyllene	23.266	36.00±2.33bB	44.64±0.72aA	14.00±3.85gE	15.60±1.51fE	18.26±0.64fD
香树烯 Alloaromadendrene	23.746	4.44±0.43bB	-	-	-	2.07±0.10cC
2- <i>epi</i> -反式- β -石竹烯 2- <i>epi</i> - <i>trans</i> - β -Caryophyllene	23.749	1.28±0.06eE	0.62±0.02fF	0.62±0.12fF	5.37±0.05aA	2.09±0.11dD
α -律草烯 Humulene	24.168	2.03±0.29bB	2.58±0.04aA	0.47±0.17cD	0.96±0.06dC	1.03±0.04dC
γ -衣兰油烯 γ -Murolene	24.678	0.23±0.00aA	-	-	-	0.20±0.00bB
β -长叶蒎烯 β -Longipinene	25.077	-	-	0.85±0.05aA	0.69±0.04bB	0.46±0.04cC
双环大根香叶烯 Bicyclogermacrene	25.181	0.34±0.08aA	-	0.18±0.02bB	0.22±0.03bB	-
顺- α -甜没药烯 <i>cis</i> - α -Bisabolene	25.285	-	-	-	1.67±0.01bB	0.14±0.00eD
(4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-2,4 <i>a</i> ,5,6,7,9 <i>a</i> -六氢-3,5,5,9-四甲基-1H-苯并环庚烯 1H-Benzocycloheptene, 2,4 <i>a</i> ,5,6,7,9 <i>a</i> -hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl-, (4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-	25.295	-	-	-	-	2.24±0.03
(4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9 <i>a</i> -八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H-苯并环庚烯 1H-Benzocycloheptene, 2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9 <i>a</i> -octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-	25.306	-	0.90±0.01	-	-	-
β -甜没药烯 β -Bisabolene	25.463	0.22±0.03eE	-	-	1.18±0.01cC	1.80±0.06bB
2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9 <i>a</i> -八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H-苯并环庚烯 1H-benzocycloheptene, 2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9 <i>a</i> -octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-	25.487	-	0.28±0.02bB	-	-	-
1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -六氢萘 1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -hexahydro-naphthalene	25.724	2.52±0.10bA	2.70±0.06aA	1.01±0.22cC	0.96±0.04eD	1.08±0.04dC
(4 <i>E</i>)-4-(1,5-二甲基-4-己烯亚基)-1-甲基-环己烯 Cyclohexene, 4-(1,5-dimethyl-4-hexenylidene)-1-methyl-, (4 <i>E</i>)-	25.942	-	-	-	0.15±0.01dC	0.21±0.03bB
1,6-二甲基-4-(1-甲基)-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-六氢萘 Naphthalene, 1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	26.063	1.05±0.15bB	1.24±0.12aA	0.41±0.12dC	0.29±0.01dD	0.34±0.02dD
(-)-异丁香烯 Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-, [1 <i>R</i> -(1 <i>R</i> *,4 <i>Z</i> ,9 <i>S</i> *)]-	26.737	-	-	-	-	0.51±0.08
τ -杜松醇 τ -Cadinol	28.505	-	0.15±0.05aA	-	0.11±0.01bB	0.12±0.01bA
酯类 Esters						
乙酸橙花酯 Nerolidyl acetate	26.738	-	0.14±0.04	-	-	-

续表(Continued)

挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	‘翠玉’ ‘Cuiyu’	‘帝王’ ‘Diwang’	‘本土’ ‘Bentu’	‘红叶’ ‘Hongye’	‘粉红蜜’ ‘Fenhongmi’
醇类 Alcohol						
3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol	5.569	—	0.15±0.02	—	—	—
正己醇 1-Hexanol	6.026	—	0.33±0.10aA	—	—	—
醛类 Aldehydes						
正己醛 Hexanal	3.959	—	0.93±0.10aA	—	—	—
苯甲醛 Benzaldehyde	9.205	1.05±0.06aA	0.70±0.06bB	0.83±0.08bB	0.66±0.13bB	0.80±0.04bB
烃类 Hydrocarbons						
1-甲基丁基-环氧乙烷 Oxirane, (1-methylbutyl)-	6.025	0.26±0.00aA	—	—	0.13±0.01bB	—
单萜含氧衍生物 Oxygenated monoterpene (%)		21.17±1.76eD	19.70±1.83eD	44.81±0.44bB	41.32±0.81cB	31.04±0.09dC
单萜烃类 Monoterpene hydrocarbon (%)		8.36±1.00gF	5.46±0.13hG	27.10±2.49eE	23.83±2.18fE	31.30±1.87cC
倍半萜含氧衍生物 Oxygenated sesquiterpene (%)		—	0.15±0.05aA	—	0.11±0.01bB	0.12±0.01bA
倍半萜烃类 Sesquiterpene hydrocarbon (%)		62.41±3.95bB	67.56±2.64aA	20.59±5.49gG	30.94±1.98fF	34.66±1.38eE
总和 Total (%)		94.10±7.27bA	95.11±4.97bA	94.19±8.54bA	97.51±5.14bA	98.20±3.39aA
挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	‘珍珠’ ‘Zhenzhu’	‘西瓜’ ‘Xigua’	‘水蜜’ ‘Shuimi’	‘木瓜’ ‘Mugua’	‘红宝石’ ‘Hongbaoshi’
萜类 Terpenes						
单萜类 Monoterpene						
3-萜烯 3-Carene	8.242	1.00±0.03aA	—	0.32±0.01cC	—	—
α -蒎烯 α -Pinene	8.249	2.66±0.35cC	0.31±0.02dD	7.71±0.21aA	0.11±0.08dD	0.30±0.01dD
β -蒎烯 β -Pinene	10.301	0.76±0.04aA	0.20±0.01cC	0.20±0.00cC	0.14±0.02dD	0.15±0.01dD
D-柠檬烯 D-Limonene	11.653	57.54±2.46aA	0.62±0.03cC	0.68±0.02cC	0.37±0.06cC	0.47±0.01cC
β -罗勒烯 β -Ocimene	11.908	—	34.24±0.75aA	0.51±0.01fE	32.45±1.06bA	27.42±0.58dC
桉叶油醇 Eucalyptol	11.713	14.05±0.80gF	38.66±1.65dC	49.91±1.21aA	14.86±0.35gF	13.94±0.62gF
α -松油醇 α -Terpineol	16.978	0.16±0.02dD	0.36±0.04cB	0.46±0.04bB	0.10±0.01eD	0.16±0.00dD
倍半萜类 Sesquiterpene						
顺-菖蒲烯 <i>cis</i> -Calamenene	25.795	0.37±0.04aA	—	0.36±0.00aA	0.29±0.01bB	—
雪松烯 Cedrene	22.140	3.52±0.01dC	0.10±0.01fD	5.98±0.83cB	6.06±0.11cB	6.71±0.13cB
(-)-异喇叭烯 Isoledene	22.958	—	—	—	0.20±0.01bB	—
(1 <i>R</i> ,3 <i>a</i> S,8 <i>a</i> S)-7-异丙基-1,4-二甲基-1,2,3,3 <i>a</i> ,6,8 <i>a</i> - 六氢偶氮苯 (1 <i>R</i> ,3 <i>a</i> S,8 <i>a</i> S)-7-Isopropyl-1,4- dimethyl-1,2,3,3 <i>a</i> ,6,8 <i>a</i> -hexahydroazulene	22.964	—	0.14±0.04cD	0.25±0.03dC	—	0.66±0.04aA
β -石竹烯 β -Caryophyllene	23.266	10.32±0.91hF	11.61±1.38gF	21.09±0.75eD	25.00±0.42dC	32.29±0.71cB
香树烯 Alloaromadendrene	23.746	—	—	—	5.11±0.37aA	—
2- <i>epi</i> -反式- β -石竹烯 2- <i>epi</i> - <i>trans</i> - β -Caryophyllene	23.749	2.11±0.01dD	2.13±0.01dD	3.15±0.38cC	1.02±0.02eE	4.12±0.22bB
α -律草烯 Humulene	24.168	0.59±0.12cD	0.61±0.08eD	1.14±0.17dC	—	1.80±0.05cB
γ -衣兰油烯 γ -Muurolene	24.678	—	—	—	—	0.21±0.02bB
β -长叶蒎烯 β -Longipinene	25.077	—	0.45±0.06cC	—	0.44±0.01dC	0.51±0.08cC
佛术烯 Eremophilene	25.208	—	—	—	—	0.15±0.01
顺- α -甜没药烯 <i>cis</i> - α -Bisabolene	25.285	—	0.98±0.13cC	—	0.80±0.01dC	3.12±0.21aA
β -甜没药烯 β -Bisabolene	25.463	—	0.77±0.13dD	—	—	2.47±0.06aA
2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9,9 <i>a</i> -八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1H- 茱萸并环庚烯 1H-Benzocycloheptene,2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9, 9 <i>a</i> -octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-	25.487	—	—	—	0.46±0.01aA	—
1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -六氢萘 1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -hexahydro- naphthalene	25.724	0.71±0.11fE	0.65±0.06fE	1.12±0.04dC	1.21±0.01dC	1.84±0.12cB
(4 <i>E</i>)-4-(1,5-二甲基-4-己烯亚基)-1-甲基-环己烯 Cyclohexene, 4-(1,5-dimethyl-4-hexenylidene)- 1-methyl-, (4 <i>E</i>)-	25.942	—	0.18±0.01cB	—	—	0.35±0.01aA
1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-六氢萘 Naphthalene,1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-hexahydro-1,6-dimethyl- 4-(1-methylethyl)-	26.063	0.30±0.05dD	0.20±0.03eE	0.47±0.01cC	0.53±0.01cC	0.56±0.03cC

续表(Continued)

挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	‘珍珠’ ‘Zhenzhu’	‘西瓜’ ‘Xigua’	‘水蜜’ ‘Shuimi’	‘木瓜’ ‘Mugua’	‘红宝石’ ‘Hongbaoshi’
α -甜没药烯 α -Bisabolene	26.268	-	-	-	-	0.22±0.01
α -愈创木烯 α -Guaiene	27.348	-	-	-	0.66±0.10	-
酯类 Esters						
τ -杜松醇乙酸酯 τ -Cadinol acetate	28.205	-	-	-	-	0.14±0.01
醇类 Alcohol						
反-2-甲基环戊醇 Cyclopentanol, 2-methyl-, <i>trans</i> -	3.956	0.65±0.00bA	-	0.72±0.00bA	-	-
正己醇 1-Hexanol	6.026	0.34±0.01aA	-	-	-	-
醛类 Aldehydes						
正己醛 Hexanal	3.959	-	0.30±0.05cC	-	0.51±0.02bB	0.15±0.04dD
苯甲醛 Benzaldehyde	9.205	0.65±0.08cB	0.58±0.06cC	0.98±0.14aA	0.92±0.06aA	0.20±0.01dD
烃类 Hydrocarbons						
正二十烷 Eicosane	32.220	-	-	-	-	0.14±0.02
单萜含氧衍生物 Oxygenated monoterpene (%)		14.21±0.82fE	39.02±1.69cC	50.37±1.25aA	14.95±0.35fE	14.10±0.62gF
单萜烃类 Monoterpene hydrocarbon (%)		61.96±2.88aA	35.37±0.81bB	9.42±0.25gF	33.06±1.22bB	28.34±0.60dD
倍半萜含氧衍生物 Oxygenated sesquiterpene (%)		-	-	-	-	-
倍半萜烃类 Sesquiterpene hydrocarbon (%)		17.90±1.24gG	17.80±1.94gG	33.56±2.21eE	41.76±1.11dD	54.97±1.68cC
总和 Total (%)		95.70±5.03bA	93.06±4.56bA	95.04±3.85bA	91.19±2.76cB	98.02±2.96aA

-: 未检测到; n=3; 同行数据后不同小写和大写字母分别表示差异显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)。下同

-: Not detected; n=3; Data followed different small and capital letters in the same line indicate significant different at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below

表 2 番石榴花的挥发性成分含量

Table 2 Relative contents of volatile components of *Psidium guajava* flowers

品种 Variety	相对含量 Relative content /%						
	萜类 Terpenes	单萜类 Monoterpenes	倍半萜类 Sesquiterpene	酯类 Esters	醇类 Alcohols	醛类 Aldehydes	烃类 Hydrocarbons
‘翠玉’ ‘Cuiyu’	91.94±6.72bB	29.54±2.76eE	62.41±3.95bB	-	0.85±0.49aA	1.05±0.06bB	0.26±0.00aA
‘帝王’ ‘Diwang’	92.87±4.65bA	25.16±1.96fE	67.56±2.64aA	0.14±0.04aA	0.48±0.12b	1.63±0.16aA	-
‘本土’ ‘Bentu’	92.50±8.42bA	71.91±2.93aA	20.59±5.49gF	-	0.86±0.03aA	0.86±0.08bB	-
‘红叶’ ‘Hongye’	96.20±4.97aA	65.15±2.99bB	31.05±1.99fE	-	0.53±0.03bA	0.66±0.13cB	0.13±0.01bB
‘粉红蜜’ ‘Fenhongmi’	97.10±3.35aA	62.33±1.97bB	34.77±1.38eE	-	0.31±0.01bB	0.80±0.01bB	-
‘珍珠’ ‘Zhenzhu’	94.06±4.94aA	76.16±3.70aA	17.90±1.24gF	-	0.99±0.01aA	0.65±0.08cB	-
‘西瓜’ ‘Xigua’	92.19±4.44bA	74.39±2.50aA	17.80±1.94gF	-	-	0.87±0.11bB	-
‘水蜜’ ‘Shuimi’	93.34±3.71aA	59.78±1.50bB	33.56±2.21eE	-	0.72±0.00aA	0.98±0.14bB	-
‘木瓜’ ‘Mugua’	89.77±2.68bB	48.01±1.57cC	41.76±1.11dD	-	-	1.43±0.08aA	-
‘红宝石’ ‘Hongbaoshi’	97.40±2.89aA	42.44±1.21dD	54.97±1.68cC	0.14±0.01aA	-	0.34±0.04dC	0.14±0.02bB

类; ‘珍珠’挥发性成分以 D-柠檬烯为主, 其他品种以 β -石竹烯、桉叶油醇或 β -罗勒烯为主且 D-柠檬烯相对含量较低。当距离为 10 时, 10 个品种分为 4 类, ‘珍珠’仍独立为 I 类; ‘翠玉’和‘帝王’归为 II 类, 该组品种中 β -石竹烯为相对含量最高的成分且均不含 β -罗勒烯; ‘水蜜’和‘本土’归为 III 类, 该组品种中桉叶油醇同为主要成分, 且 β -罗勒烯相对含量极低; ‘红叶’、‘粉红蜜’、‘西瓜’、‘木瓜’和‘红宝石’归为 IV 类, 该组品种大部分以 β -石竹烯、桉叶油醇

和 β -罗勒烯为主要成分且 D-柠檬烯相对含量低。当距离为 5 时, 10 个品种分为 5 类, 其他分组保持不变, IV 类细分为 2 类, ‘木瓜’和‘红宝石’归为一类, 该组 β -石竹烯和 β -罗勒烯相对含量较高; ‘红叶’、‘粉红蜜’和‘西瓜’归为一类, 该组桉叶油醇相对含量较高。随着横坐标距离的变化, 10 个番石榴品种的分类不同, 但‘珍珠’始终单独为一类, 明显区别于其他 9 个品种, 该结果与挥发性成分相似率分析结果一致, 但聚类分析可更加直观看出番石榴的具体分类。

表 3 不同品种番石榴花挥发性成分的相似率

Table 3 Similarity rate of volatile components in *Psidium guajava* flowers among different cultivars

	‘翠玉’ ‘Cuiyu’	‘帝王’ ‘Diwang’	‘本土’ ‘Bentu’	‘红叶’ ‘Hongye’	‘粉红蜜’ ‘Fenhongmi’	‘珍珠’ ‘Zhenzhu’	‘西瓜’ ‘Xigua’	‘水蜜’ ‘Shuimi’	‘木瓜’ ‘Mugua’	‘红宝石’ ‘Hongbaoshi’
‘翠玉’‘Cuiyu’	1.000	0.984	0.651	0.661	0.654	0.289	0.523	0.792	0.664	0.766
‘帝王’‘Diwang’		1.000	0.586	0.608	0.612	0.276	0.471	0.722	0.659	0.783
‘本土’‘Bentu’			1.000	0.798	0.669	0.675	0.685	0.892	0.448	0.467
‘红叶’‘Hongye’				1.000	0.959	0.270	0.967	0.884	0.795	0.771
‘粉红蜜’‘Fenhongmi’					1.000	0.237	0.977	0.757	0.921	0.880
‘珍珠’‘Zhenzhu’						1.000	0.211	0.303	0.192	0.215
‘西瓜’‘Xigua’							1.000	0.753	0.841	0.774
‘水蜜’‘Shuimi’								1.000	0.541	0.577
‘木瓜’‘Mugua’									1.000	0.965
‘红宝石’‘Hongbaoshi’										1.000

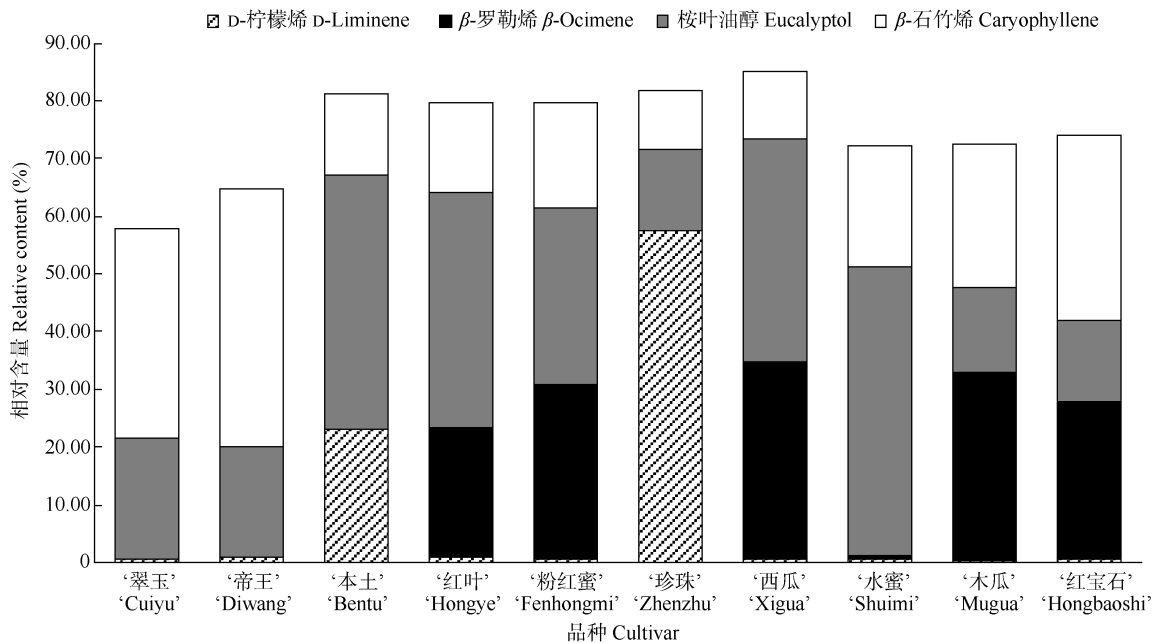


图 1 10 个品种番石榴花的主要挥发性成分

Fig. 1 Main volatile components in flowers of 10 *Psidium guajava* varieties

2.5 不同品种香气成分的主成分分析

利用 SPSS 软件的因子分析对 10 个品种番石榴花挥发性成分(相对含量>0.30%)进行主成分分析,得到主成分的特征值和特征向量(表 4)。结果表明,前 3 个主成分的方差贡献率分别为 27.697%、23.282%、14.798%,累积总方差 65.778%,说明这 3 个主成分包含了番石榴花香气的绝大部分信息。因此,本实验选择前 3 个主成分进行分析。载荷系数的绝对值越大,表明该指标与其对应的主成分之间的联系紧密程度越大。由表 5 可见,对第 1 主成分贡献较大的成分主要是 α -蒎烯和 1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘,负影响较大的是 β -罗勒烯和 β -长

叶蒎烯;对第 2 主成分贡献较大的成分是 3-蒎烯和 D-柠檬烯;对第 3 主成分贡献较大的成分为香桉烯。

依据 10 个品种挥发性成分的相对含量,第 1、第 2 和第 3 主成分的特征值及 19 种挥发性物质的载荷值计算出主成分 1 值(PC1)、主成分 2 值(PC2)和主成分 3 值(PC3),并以 PC1 为 x 轴,PC2 为 y 轴,PC3 为 z 轴作主成分 3D 散点图(图 3)。10 个品种可分为 4 类,‘翠玉’和‘帝王’为一类,‘本土’和‘水蜜’为一类,‘红宝石’、‘西瓜’、‘红叶’、‘粉红蜜’和‘木瓜’为一类,‘珍珠’为一类。该分类结果与聚类分析距离为 10 时的分类结果一致。

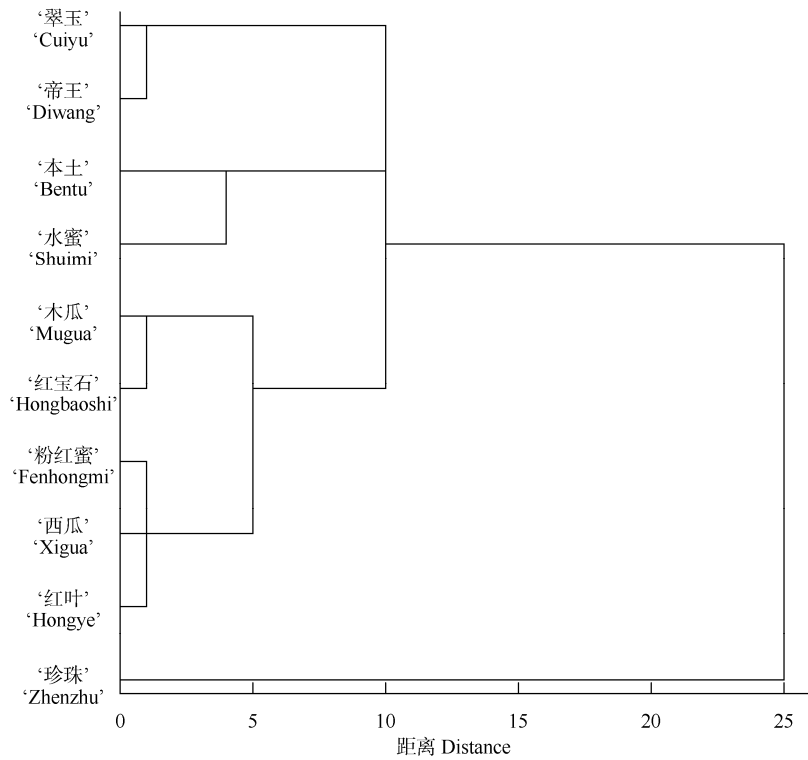


图 2 10 个品种番石榴花的 CA 树状图

Fig. 2 Cluster analysis dendrogram of 10 varieties of *Psidium guajava* flower

表 4 主成分的特征值和贡献率

Table 4 Eigenvalue and contribution rate of 3 principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 /% Contribution rate	累积贡献率 /% Cumulative contribution rate
1	5.262	27.697	27.697
2	4.424	23.282	50.980
3	2.812	14.798	65.778

表 5 主成分载荷矩阵

Table 5 Principal component loading matrix

编号 No.	化合物 Component	主成分 Principal component		
		1	2	3
C1	3-萜烯 3-Carene	0.098	0.911	-0.217
C2	α -蒎烯 α -Pinene	0.797	0.291	0.225
C3	D-柠檬烯 D-Limonene	0.081	0.799	-0.256
C4	β -罗勒烯 β -Ocimene	-0.776	-0.547	0.103
C5	桉叶油醇 Eucalyptol	-0.332	0.319	-0.029
C6	顺-菖蒲烯 cis-Calamenene	0.391	0.690	0.571
C7	β -卡地烯 β -Cadinene	0.573	-0.054	0.617
C8	β -石竹烯 Caryophyllene	0.721	-0.652	0.033
C9	香树烯 Alloaromadendrene	0.117	-0.295	0.867
C10	2- <i>epi</i> -反式- β -石竹烯 2- <i>epi</i> -trans- β -Caryophyllene	-0.412	-0.043	-0.248
C11	α -律草烯 Humulene	0.722	-0.478	-0.296
C12	β -长叶蒎烯 β -Longipinene	-0.750	-0.058	0.028

续表(Continued)

编号 No.	化合物 Component	主成分 Principal component	编号 No.	化合物 Component
C13	(4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-2,4 <i>a</i> ,5,6,7,9 <i>a</i> -六氢-3,5,5,9-四甲基-1 <i>H</i> -苯并环庚烯 1 <i>H</i> -benzocycloheptene,2,4 <i>a</i> ,5,6,7,9 <i>a</i> -Hexahydro-3,5,5,9-tetramethyl-,(4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-	-0.364	-0.270	0.026
C14	(4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9,9 <i>a</i> -八氢-3,5,5-三甲基-9-亚甲基-1 <i>H</i> -苯并环庚烯 1 <i>H</i> -benzocycloheptene,2,4 <i>a</i> ,5,6,7,8,9,9 <i>a</i> -octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4 <i>aS</i> ,9 <i>aR</i>)-	0.585	-0.413	-0.530
C15	1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -六氢萘 1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -hexahydronaphthalene	0.803	-0.545	0.055
C16	(-)-异丁香烯 Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-,[1 <i>R</i> *,4 <i>Z</i> ,9 <i>S</i> *]-	-0.364	-0.270	0.026
C17	α -愈创木烯 α -Guaiene	-0.205	-0.212	0.536
C18	反-2-甲基环戊醇 Cyclopentanol, 2-methyl-, <i>trans</i> -	0.250	0.742	0.299
C19	正己醇 1-Hexanol	0.523	0.190	-0.605

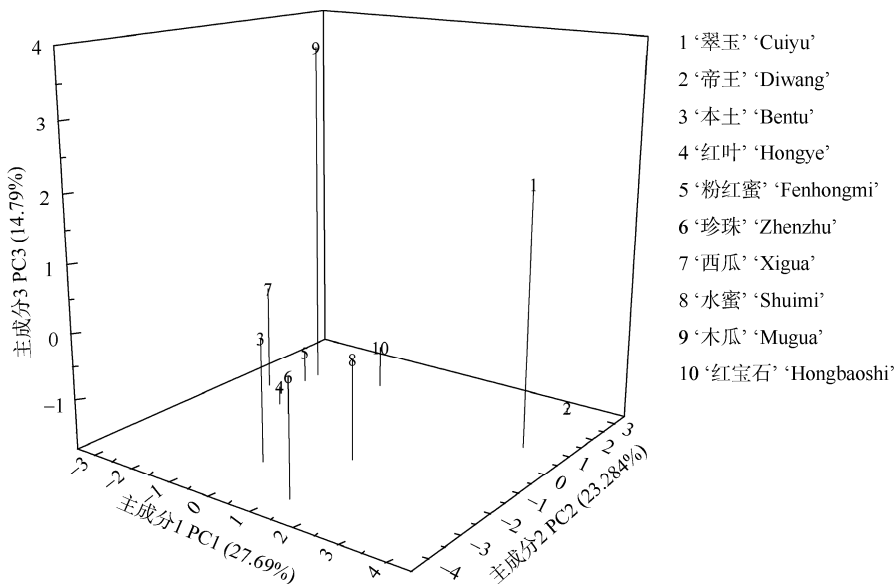


图 3 10 个品种番石榴花主成分散点图

Fig. 3 PCA scatter diagram of 10 varieties of *Psidium guajava* flower

3 结论和讨论

植物的挥发性成分(精油)是一类分子量较小的次级代谢产物,存在于多种植物[桃金娘科(Myrtaceae)、姜科(Zingiberaceae)、龙脑香科(Dipterocarpaceae)、芸香科(Rutaceae)、樟科(Lauraceae)、木兰科(Magnoliaceae)等]的根、叶、花、果等器官中,其中花果的经济价值最高,研究其香气成分,有利于优化品种特性,提高经济效益^[25]。植物精油成分复杂,主要有烃、醇、醛、酯、酮、酸、酚和萜类等挥发性成分,同一植株部位的挥发性成分的种类、组成比例和特征成分在不同品种间明显不同,对精油的开发及利用有较大影响^[15]。番石榴的根、

茎、叶、果均具有良好的药用价值,而番石榴花的应用研究则极为欠缺。本研究选取 10 个品种番石榴盛花期的花朵为研究对象,采用 HS-GC-MS 的方法对 10 个品种进行挥发性成分检测与分析,结果表明,番石榴花挥发性成分丰富,以萜烯类化合物为主,但种间存在差异,主要挥发性成分组成和含量也有较大区别。

从化合物分类上,番石榴花的萜类化合物中单萜类和倍半萜类的相对含量在 89% 以上,酯类、醇类、醛类、烃类化合物含量极少。该结果与番石榴叶片挥发油组成较为类似,番石榴叶挥发性成分中萜烯类化合物相对含量达 95% 以上^[26]。但该结果与番石榴果实香气相比,则有较大区别,不同品种番

石榴始熟果以萜烯类物质为主要香气成分, 相对含量范围 77.13%~94.85%; 而完熟果则以醛类物质为主要香气成分, 相对含量为 82.56%~96.79%^[27]。有研究表明, 野菊花(*Chrysanthemum indicum*)^[28]、金钗石斛(*Dendrobium nobile*)^[29]、腊梅(*Chimonanthus praecox*)^[30]等的部分品种均以萜烯类化合物为主要香气成分, 其相对含量分别为 86.36%~98.37%、83.25%~94.93%和 89.43%~90.79%, 与番石榴花接近。

从化合物种类上, 在相同的检测条件下, ‘红宝石’和‘粉红蜜’化合物种类最多, ‘红叶’次之, ‘珍珠’最少。研究表明, 植物花挥发性成分主要是萜类和苯环型化合物, 常见的有 β -罗勒烯、石竹烯、柠檬烯、 α -蒎烯、苯甲醛和苯甲醇等^[31]。番石榴叶挥发油以广藿香烯为主要成分, 不同番石榴果实以 3-己烯醛、己醛或石竹烯为主要成分^[27]。本研究中大多数番石榴花挥发性成分以单萜类为主, 并以 D-柠檬烯、桉叶油醇或 β -罗勒烯为主要成分, 其中‘本土’、‘红叶’、‘水蜜’的单萜含氧衍生物含量较高, 主要来源于桉叶油醇, 因此香气更为浓郁^[32]; ‘翠玉’、‘帝王’和‘红宝石’则以倍半萜类为主, 几乎不含倍半萜含氧衍生物, 并以 β -石竹烯含量最高, 香气偏淡雅^[33]。

从品种间的相似性上, 不同品种间挥发性成分组成及含量不同, 但也存在一定的相似性。对 10 个品种番石榴的花挥发性成分及主要成分进行对比分析, 可将 10 个品种分为 4 类。‘珍珠’香气独特, 独为一类; ‘翠玉’和‘帝王’有 12 种相同的挥发性成分, 含量接近, 相同成分的总含量可达 86.72%~92.04%, 香气相似度高, 归为一类; ‘水蜜’和‘本土’有 15 种相同的挥发性成分, 含量有一定的区别, 但主成分含量接近, 归为一类; ‘木瓜’、‘红宝石’、‘粉红蜜’、‘西瓜’和‘红叶’中相同的挥发性成分有 13 种, 5 个品种间的成分相似率为 0.771~0.967, 相似率高于 0.9 的品种组合数达 50%, 归为一类。PCA 对 10 个品种番石榴花的分类结果与 CA 为 10 时的分类一致, 说明 2 种方法均可对番石榴花进行分类, 但是根据 CA 值不同可以有多种分类结果, 而 PCA 根据得分仅获得 1 种侧重于信息贡献影响力综合评价的分类结果^[34]。按照成分对各品种进行划分, 有利于将差异明显的各类品种区别利用, 对同类品种则可作为相同/相似资源, 提高利用率。

从品种间的差异性上, 为确认引起品种间挥发

性成分差异的主要化合物, 采用主成分分析法提取出 3 个主成分, 涵盖了 65.78% 的样品信息, 基本可以说明样品间的差异, 结果表明, 引起 10 个品种番石榴花挥发性成分差异的主要化合物有 7 种, 分别为 α -蒎烯、 β -罗勒烯、D-柠檬烯、3-蒎烯、香树烯、 β -长叶蒎烯和 1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘。植物花香的影响因素有很多, 如兜唇石斛(*Dendrobium aphyllum*)、金钗石斛和铁皮石斛(*D. officinale*)等 3 种石斛花的挥发性成分差异显著, 分别以乙酸异辛酯、 β -石竹烯和 α -蒎烯为主要成分^[33]。桃金娘科植物嘉宝果(*Myrciaria cauliflora*)花在不同发育期挥发性成分也明显不同, 花苞期和初花期以 β -蒎烯为主, 盛花期时 α -蒎烯含量最高, 末花期时 D-柠檬烯含量最高^[35]。此外, 外界环境对植物的挥发性成分也有一定影响, 例如盛花期的金钗石斛花一天内不同时间点挥发性物质的种类和数量存在明显差异, 香气释放量在 9:00 时最高, 15:00 最低^[36]。本试验所用鲜花于同一时间采自相同花期、树龄和栽培条件的番石榴植株, 且采用相同的试验方法, 因此, 引起番石榴花成分差异的主要因素可能是品种间遗传物质不同。

植物挥发性成分来源丰富、成分复杂、多靶点并且在干预人体机能上有显著优势, 如因其分子量小、脂溶性好, 易被人体吸收, 具有速效潜力; 在使用过程具有芳香气息, 达到身心愉悦的效果; 成分丰富, 药理作用多样, 可能降低副作用, 具有良好的开发潜力。‘帝王’和‘翠玉’可作为 β -石竹烯的良好来源。 β -石竹烯有介于丁香和松节油之间的萜烯味, 具有镇痛、局麻、抗炎、抗焦虑和抑郁等药理功效^[37-38], 可应用于以舒缓情绪为目的的芳香疗法。 β -石竹烯对金葡萄菌有较强的抑制作用, 最低抑菌浓度仅 $(3 \pm 1.0) \mu\text{mol/L}$, 且抑制真菌活性优于卡那霉素^[39], 可用于空气抑菌, 达到净化空气的效果。‘本土’、‘红叶’和‘水蜜’中桉叶油醇含量丰富。桉叶油醇有樟脑特有的清凉味道, 具有黏液溶解和解痉作用, 可用于呼吸道疾病治疗^[40], 桉叶油醇也具有一定的抑菌活性, 同样可应用于环境抑菌^[33]。‘珍珠’中 D-柠檬烯含量极为丰富, 超过 50%, 且其他成分含量均不超过 15%, 成分种类最少, 是 D-柠檬烯的优质来源。D-柠檬烯具有类似柑橘和柠檬(*Citrus limon*)的香味, 并具有预防和抑制肿瘤活性^[37], 在化工和医药方面有较好的利用前景。植物的挥发性成分除了对人体具有一定的药用价值, 这些物质还

可能与植物的生理活动如授粉、趋避害虫等相关,具有一定的农药研发价值^[32]。如 β -罗勒烯具有草香、花香并伴有橙花油气息,对害虫有毒害作用,可做绿色杀虫剂利用^[41],在‘西瓜’和‘木瓜’中含量均较为丰富。除了4种主要成分外,番石榴花中雪松烯的含量也较为丰富,雪松烯具有檀香木香气并带有花香,可用于香水调配。

不同品种番石榴花挥发性成分存在多样性,本研究结果明确了各品种番石榴花挥发性成分组成、优势成分和特征成分,可为番石榴花资源的开发利用提供理论指导。

参考文献

- [1] DÍAZ-DE-CERIO E, VERARDO V, GÓMEZ-CARAVACA A M, et al. Health effects of *Psidium guajava* L. leaves: An overview of the last decade [J]. *Int J Mol Sci*, 2017, 18(4): 897. doi: 10.3390/ijms18040897.
- [2] KAMLE M, BAEK K H. Somatic embryogenesis in guava (*Psidium guajava* L.): Current status and future perspectives [J]. *3 Biotech*, 2017, 7(3): 203. doi: 10.1007/s13205-017-0844-0.
- [3] ZHANG C K, HUANG W L, CHEN H B, et al. Analysis on the law of *Psidium guajava* L. fruit growth and nutritional quality [J]. *Chin J Trop Crops*, 2021, 42(4): 1035–1040. [张朝坤, 黄婉莉, 陈洪彬, 等. 番石榴果实生长发育和营养品质变化规律分析 [J]. *热带作物学报*, 2021, 42(4): 1035–1040. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2021.04.018.]
- [4] QIU S L, LIN B M, ZHANG S P, et al. Quality characteristics and evaluation of guava fruit at different maturity stages [J]. *J Food Safety Qual*, 2020, 11(24): 9230–9238. [邱珊莲, 林宝妹, 张少平, 等. 不同成熟期番石榴果实品质特征与评价 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(24): 9230–9238. doi: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.24.029.]
- [5] KIDAHA M L, ALAKONYA A E, NYENDE A B. Bioactivity determination of methanol and water extracts for roots and leaves of Kenyan *Psidium guajava* L. landraces against pathogenic bacteria [J]. *SpringerPlus*, 2013, 2(1): 670. doi: 10.1186/2193-1801-2-670.
- [6] SEKHAR N C, JAYASREE T, UBEDULLA S, et al. Evaluation of antinociceptive activity of aqueous extract of bark of *Psidium guajava* in albino rats and albino mice [J]. *J Clin Diagn Res*, 2014, 8(9): HF01–HF04. doi: 10.7860/JCDR/2014/8288.4811.
- [7] LIN H C, LIN J Y. Pharmacological effects of guava (*Psidium guajava* L.) seed polysaccharides: GSF3 inhibits PC-3 prostate cancer cell growth through immunotherapy *in vitro* [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(7): 3631. doi: 10.3390/ijms22073631.
- [8] KUMAR M, TOMAR M, AMAROWICZ R, et al. Guava (*Psidium guajava* L.) leaves: Nutritional composition, phytochemical profile, and health-promoting bioactivities [J]. *Foods*, 2021, 10(4): 752. doi: 10.3390/foods10040752.
- [9] HONG Y N, PANG G S, LI G. Biological characteristics and key cultivation technology of guava [J]. *China Trop Agric*, 2013, (4): 65–66. [洪亚楠, 庞观胜, 李国. 番石榴生物学特性及栽培技术要点 [J]. *中国热带农业*, 2013, (4): 65–66. doi: 10.3969/j.issn.1673-0658.2013.04.024.]
- [10] WU M H, QIU S L, LIN B M, et al. Biological activities and phenolic constituents in extracts from leaves and young fruits of four guava cultivars [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2021, 29(6): 694–702. [吴妙鸿, 邱珊莲, 林宝妹, 等. 番石榴4个品种叶和幼果的生物活性和酚类成分研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2021, 29(6): 694–702. doi: 10.11926/jtsb.4416.]
- [11] ZHONG S Q, HUANG S C, LIAO D Q. Research on production and application of guava flower [J]. *S China Fruits*, 2012, 41(2): 103–104. [钟思强, 黄树长, 廖冬晴. 番石榴番花生产应用研究 [J]. *中国南方果树*, 2012, 41(2): 103–104. doi: 10.13938/j.issn.1007-1431.2012.02.035.]
- [12] LI P, CHEN W G, WEN H L, et al. Investigation on floral induction in axillary buds of guava [J]. *Acta Hort Sin*, 2004, 31(1): 76–77. [李平, 陈伟光, 温华良, 等. 番石榴成花习性的调查 [J]. *园艺学报*, 2004, 31(1): 76–77. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2004.01.017.]
- [13] SILVA R C E, DA COSTA J S, DE FIGUEIREDO R O, et al. Monoterpenes and sesquiterpenes of essential oils from *Psidium* species and their biological properties [J]. *Molecules*, 2021, 26(4): 965. doi: 10.3390/molecules26040965.
- [14] ZHOU C H, SUN C D, CHEN K S, et al. Flavonoids, phenolics, and antioxidant capacity in the flower of *Eriobotrya japonica* Lindl. [J]. *Int J Mol Sci*, 2011, 12(5): 2935–2945. doi: 10.3390/ijms12052935.
- [15] ZHAO J L, JIANG L, TANG X H, et al. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the flower volatile oils of *Fagopyrum esculentum*, *Fagopyrum tataricum* and *Fagopyrum cymosum* [J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 182. doi: 10.3390/molecules23010182.
- [16] ZHANG H P, CHEN M J, WEN H, et al. Transcriptomic and metabolomic analyses provide insight into the volatile compounds of *Citrus* leaves and flowers [J]. *BMC Plant Biol*, 2020, 20(1): 7. doi: 10.1186/s12870-019-2222-z.
- [17] JIANG Z H, SHI Z P, SHAO S J, et al. Chemical composition and quality evaluation method of Chinese materia medica *Rosa rugosa* flos [J]. *J Gansu Univ Chin Med*, 2021, 38(1): 86–91. [蒋朝辉, 石振萍, 邵士俊, 等. 中药玫瑰花化学成分及质量评价方法研究进展 [J]. *甘肃中医药大学学报*, 2021, 38(1): 86–91. doi: 10.16841/j.issn.1003-8450.2021.01.17.]

- [18] SHI X C, CAO D H, LI J, et al. Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils of three *Cymbopogon* plants [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(21): 83–90. [石小翠, 曹冬花, 李佳, 等. 三种香茅精油的化学成分及体外抗氧化和抗炎活性评价 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(21): 83–90. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030051.]
- [19] TANG Y F, ZHANG T, CHEN C, et al. Research progress in volatile chemical constituents and medical functions of clove [J]. *Asia-Pacific Trad Med*, 2021, 17(7): 200–204. [汤逸飞, 张婷, 陈诚, 等. 丁香挥发化学成分与药理活性研究进展 [J]. *亚太传统医药*, 2021, 17(7): 200–204. doi: 10.11954/ytctyy.202107059.]
- [20] WAN L J, LU J Q, XU J J, et al. Research progress of essential oils, aromatic herbs and volatile components in calming and hypnotizing [J]. *China Pharm*, 2015, 24(15): 1–3. [万丽娟, 卢金清, 许俊洁, 等. 基于芳香性药物镇定安神的物质基础研究进展 [J]. *中国药业*, 2015, 24(15): 1–3.]
- [21] XIONG X, ZHOU X L, ZHU H M. Studies on the volatile component in *Michelia figo* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2008, 36(4): 1335–1336. [熊雄, 周先礼, 朱红枚. 含笑花挥发性成分研究 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(4): 1335–1336. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2008.04.027.]
- [22] DONG J R, CHANG W W, CHEN S M. Nerolidol inhibits proliferation of leiomyoma cells *via* reactive oxygen species-induced DNA damage and downregulation of the ATM/Akt pathway [J]. *Phytochemistry*, 2021, 191: 112901. doi: 10.1016/j.phytochem.2021.112901.
- [23] ARUNACHALAM S, NAGOOR M M F, AZIMULLAH S, et al. Nerolidol attenuates oxidative stress, inflammation, and apoptosis by modulating Nrf2/MAPK signaling pathways in doxorubicin-induced acute cardiotoxicity in rats [J]. *Antioxidants*, 2021, 10(6): 984. doi: 10.3390/antiox10060984.
- [24] WANG H F, LI M J, LIU Z H, et al. Changes of the volatile flavour constituents in Fuzhuan Brick tea during the fungus growing process [J]. *J Tea Sci*, 1991, 11(S1): 81–86. [王华夫, 李名君, 刘仲华, 等. 茯砖茶在发花过程中的香气变化 [J]. *茶叶科学*, 1991, 11(S1): 81–86.]
- [25] ZHANG H, GUO L, WANG J M, et al. Research progress of flower and fruit aroma components by GC-MS [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(5): 213–219. [张会, 郭磊, 王军民, 等. GC-MS 用于花果香气成分研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(5): 213–219.]
- [26] GUO Y, XIONG Y, SONG Z C, et al. Study on extraction technology, components analysis and antibacterial activity of *Psidium guajava* L. [J]. *China J Trad Chin Med Pharm*, 2015, 30(10): 3754–3757. [郭莹, 熊阳, 宋忠诚, 等. 番石榴叶挥发油的提取、成分分析及抑菌活性研究 [J]. *中华中医药杂志*, 2015, 30(10): 3754–3757.]
- [27] QIU S L, ZHANG S P, LIN B M, et al. Changes of aroma components of guava fruits at different maturity stages [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2021, 49(13): 162–169. [邱珊莲, 张少平, 林宝妹, 等. 不同成熟期番石榴果实香气成分变化 [J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(13): 162–169. doi: 10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.032.]
- [28] ZHANG C, QIN M J, SHU P, et al. Chemical variations of the essential oils in flower heads of *Chrysanthemum indicum* L. from China [J]. *Chem Biodiv*, 2010, 7(12): 2951–2962. doi: 10.1002/cbdv.201000034.
- [29] XIA K, ZHAO Z G, WU Q F, et al. Volatile components in flowers of seven *Dendrobium* [J]. *Guihaia*, 2021, 41(7): 1104–1111. [夏科, 赵志国, 吴巧芬, 等. 七种石斛花朵挥发性成分分析 [J]. *广西植物*, 2021, 41(7): 1104–1111. doi: 10.11931/guihaia.gxzw202003056.]
- [30] XU M, ZHANG J W, WU L S, et al. Determination of volatile components from *Chimonanthus* flowers by HS-SPME-GC-MS [J]. *Sci Silv Sin*, 2016, 52(12): 58–65. [徐萌, 张经纬, 吴令上, 等. HS-SPME-GC-MS 联用测定蜡梅属植物花的挥发性成分 [J]. *林业科学*, 2016, 52(12): 58–65. doi: 10.11707/j.1001-7488.20161207.]
- [31] LI H Y, LI H G, YANG X L, et al. Advances studies on the synthesis and regulation of floral substances in plant [J]. *Mol Plant Breed*, 2018, 16(1): 123–129. [李海燕, 李火根, 杨秀莲, 等. 植物花香物质合成与调控研究进展 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(1): 123–129. doi: 10.13271/j.mpb.016.000123.]
- [32] SHARMEEN J B, MAHOMOODALLY F M, ZENGIN G, et al. Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals [J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 666. doi: 10.3390/molcules26030666.
- [33] CAO H, XU F, LU L, et al. GC-MS analysis of volatile components in flowers of four kinds of fragrant dendrobium species [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2021, 37(13): 56–62. [曹桦, 许凤, 陆琳, 等. 4 种香花型石斛花朵挥发性成分 GC-MS 分析 [J]. *中国农学通报*, 2021, 37(13): 56–62.]
- [34] LU L L, FAN Y L, DENG K, et al. Principal component and cluster analysis of volatile components in cape jasmine flower from different cultivars at different stages of bloom [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2021, 35(7): 1601–1608. [卢路路, 樊怡灵, 邓珂, 等. 不同品种和花期栀子花挥发性物质的主成分和聚类分析 [J]. *核农学报*, 2021, 35(7): 1601–1608. doi: 10.11869/j.issn.100-8551.2021.07.1601.]
- [35] QIU S L, LIN B M, ZHENG K B, et al. Volatile components in flowers, fruits and leaves of jaboticaba at different developmental stages [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2022, 30(3): 423–433. [邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌, 等. 嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(3): 423–433. doi: 10.11926/jtsb.4451.]
- [36] YAN P P, YE W, JIANG J L, et al. Diurnal variation of floral scents

- emitted from *Dendrobium nobile* Lindl. [J]. Subtrop Agric Res, 2021, 17(3): 179–183. [颜沛沛, 叶炜, 江金兰, 等. 金钗石斛花香气日变化规律 [J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(3): 179–183. doi: 10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2021.03.006.]
- [37] BAI L L, DAI H, KONG D L, et al. Analysis of volatile chemical components of guava fruit by HS-SPME-GC-MS [J]. Mod Food Sci Technol, 2017, 33(11): 230–234. [白丽丽, 戴华, 孔杜林, 等. HS-SPME-GC-MS 分析番石榴果实中的挥发性成分 [J]. 现代食品科技, 2017, 33(11): 230–234. doi: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.033.]
- [38] HERNANDEZ-LEON A, GONZÁLEZ-TRUJANO M E, NARVÁEZ-GONZÁLEZ F, et al. Role of β -caryophyllene in the antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Tagetes lucida* Cav. essential oil [J]. Molecules, 2020, 25(3): 675. doi: 10.3390/molecules25030675.
- [39] DAHHAM S S, TABANA Y M, IQBAL M A, et al. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene β -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna* [J]. Molecules, 2015, 20(7): 11808–11829. doi: 10.3390/molecules200711808.
- [40] REIS R, ORAK D, YILMAZ D, et al. Modulation of cigarette smoke extract-induced human bronchial epithelial damage by eucalyptol and curcumin [J]. Hum Exp Toxicol, 2021, 40(9): 1445–1462. doi: 10.1177/0960327121997986.
- [41] KANG Z W, LIU F H, ZHANG Z F, et al. Volatile β -ocimene can regulate developmental performance of peach aphid *Myzus persicae* through activation of defense responses in Chinese cabbage *Brassica pekinensis* [J]. Front Plant Sci, 2018, 9: 708. doi: 10.3389/fpls.2018.00708.