



嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析

邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌, 吴妙鸿, 洪佳敏

引用本文:

邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌, 吴妙鸿, 洪佳敏. 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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4451>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

大孔树脂纯化嘉宝果叶片多酚及其生物活性和组成分析

Biological Activities and Composition Analysis of Polyphenols in Jaboticaba Leaves Purified with Macroporous Resin
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 563–572 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4352>

南瓜5个品种果肉的挥发性成分分析

Volatile Components in Flesh of Five Pumpkin Varieties
热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 633–643 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4226>

对叶榕花序不同发育时期气味成分的变化及其对传粉者的吸引作用

Odour Composition Variation at Different Stages of *Ficus hispida* Inflorescence and the Attraction to Pollinators
热带亚热带植物学报. 2019, 27(3): 299–308 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4016>

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>

杨桃叶的化学成分研究

Chemical Constituents from the Leaves of *Averrhoa carambola*
热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 105–111 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4246>

向下翻页, 浏览PDF全文

嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分分析

邱珊莲, 林宝妹, 郑开斌*, 吴妙鸿, 洪佳敏

(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005)

摘要: 为了解嘉宝果(*Myrciaria cauliflora*)的挥发性成分, 利用顶空-气相色谱/质谱联用技术对其不同发育期的花、果、叶的挥发性成分进行测量。结果表明, 萜烯类是花、果、叶的主要挥发性成分, 随开花进程呈增加趋势, 随果实和叶片成熟进程而下降, 单萜类是其中的优势成分, 主要有 α -蒎烯、 β -蒎烯、D-柠檬烯、 β -罗勒烯等; 花苞期、初花期和嫩叶以 β -蒎烯含量最高, 盛花期和老叶以 α -蒎烯最高, 末花期和果实中均以 D-柠檬烯含量最高, 嫩叶中 α -蒎烯和 β -蒎烯的总含量高达 62.07%。酯类在花期中以初花期含量最高(16.92%), 在果实中以完熟期含量最高(14.81%), 老叶中酯类含量(4.35%)显著高于嫩叶(0.26%)。因此, α -蒎烯和 β -蒎烯是花、果、叶共有主香成分, 柳酸甲酯和苯乙醇是花苞期和初花期特征主香成分, 毕澄茄烯是完熟果特征风味物质, β -石竹烯是嫩叶特征主香成分, 桉叶油醇和 β -胡椒烯是老叶特征主香成分。

关键词: 嘉宝果; 花; 果; 叶; 发育期; 挥发性成分

doi: 10.11926/jtsb.4451

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

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

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

Abstract: In order to understand the volatile components in *Myrciaria cauliflora*, the contents of volatile components in flowers, fruits and leaves at different development stages were measured by using HS-GC-MS (head space-gas chromatography/mass spectrometry) technology. The results showed that terpenes were the main components in flowers, fruits and leaves, increasing with flowering process, but decreasing with fruit and leaf development. The monoterpenes were the dominant component in terpenes, mainly including α -pinene, β -pinene, D-limonene and β -ocimene. The content of β -pinene was the highest in the budding stage, early flowering stage and young leaf, the content of α -pinene was the highest in the full bloom stage and old leaf, the content of D-limonene was the highest in the late flowering stage and the whole development stage of fruit. The total content of pinene (α -pinene + β -pinene) in young leaves was high for 62.07%. The content of esters (16.92%) in the early flowering stage was the highest among flowering stages, and that in mature stage was the highest (14.81%) among fruit development stages, which in old leaves (4.35%) was significantly higher than that in young leaves (0.26%). Therefore, α -pinene and β -pinene were the main common aroma component of flowers, fruits and leaves, methyl salicylate and phenylethanol were the main characteristic aroma components in bud stage and early flowering stage, and cubebene was the characteristic flavor component of mature fruits, β -caryophyllene was the main characteristic aroma component of young leaves, eucalyptol and β -copaene were the main characteristic aroma

收稿日期: 2021-05-23

接受日期: 2021-09-05

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2020J011369); 福建省省属公益类科研院所专项(2019R1030-4)资助

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

作者简介: 邱珊莲, 女, 博士, 副研究员, 研究方向为农产品加工。E-mail: slqiu79@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: kaibin118@163.com

component of old leaves.

Key words: *Myrciaria cauliflora*; Flower; Fruit; Leaf; Development stage; Volatile component

嘉宝果(*Myrciaria cauliflora*), 俗称树葡萄, 为桃金娘科(Myrtaceae)拟香桃木属常绿灌木, 原产于南美洲的巴西、玻利维亚、巴拉圭和阿根廷东部地区^[1], 目前在我国福建、广东、海南、重庆等地均有种植, 已成为国内一种新兴的热带水果。嘉宝果有很高的观赏及食药用价值, 在巴西等原产地, 嘉宝果的植株及果实广泛应用于园林、食品、医药保健品等领域。嘉宝果果实营养价值高, 富含维生素 C、抗坏血酸、钙、铁及多种氨基酸等营养成分^[2]。嘉宝果植株各部位含有丰富的酚类物质, 如黄酮类、花青素、单宁和酚酸等, 具有很强的抗氧化、抗炎、抗菌、抗癌的生物活性, 其提取物在临床上用于治疗癌症、糖尿病、哮喘、腹泻等疾病^[3]。果皮冻干粉直接添加入高血糖小鼠饮水中饲喂 8 周后, 发现大鼠血糖最高可降低 19%, 血浆中的血脂指标如甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白-胆固醇等含量均有显著降低^[4]。饲料中添加 8% 的嘉宝果叶片粉末可极显著降低小鼠空腹血糖值和改善糖耐量^[5]。关于嘉宝果植株各部位功效及活性成分方面的研究报道较多, 但关于其花、果、叶挥发性成分的研究报道极少。植物挥发性成分是植物的次生代谢产物, 具有缓解压力、促进细胞新陈代谢、镇静、镇痛、抗菌、抗氧化、抗肿瘤等多方面药理活性^[6-10]以及净化空气等多种生物活性, 能直接或间接地保护人的身体和身心健康。挥发性成分主要分布于植物的花、叶、茎、果、根等部位, 其释放成分的组成与植物种类、器官部位、生长阶段、生长环境等密切相关, 从不同植物种类、不同器官部位、不同生长阶段检测到的挥发性成分构成及生物活性差异明显^[11]。

嘉宝果是南美洲等地常见药食同源植物, 其根、茎、叶、花、果均有很高的药用价值, 尤其是花、果、叶中药用成分含量极高, 其中易挥发性成分占有极其重要的比例^[12]。本文以嘉宝果不同生长阶段的花、果、叶为试材, 采用 HS-GC-MS (顶空-气相色谱/质谱联用) 技术, 检测花、果、叶中的挥发性成分构成及相对含量, 分析植株不同部位挥发性成分组成和释放规律, 旨在筛选出具有积极作用的活性成分, 并明确活性成分的富集部位和富集期, 为嘉宝果植株的开发利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

以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 18 a 生的‘沙巴’嘉宝果(*Myrciaria cauliflora*)为试材, 2021 年 2 月 18 日至 3 月 1 日期间采集花苞和花, 分为花苞期、初花期、盛花期和末花期 4 个发育阶段。花芽膨大、但未开放时为花苞期; 有 5% 的花朵开放为初花期; 60% 以上的花朵开放为盛花期; 75% 以上的花变黄时为末花期。3 月 22 日至 4 月 15 日采集果实, 分为青果期、红果期、完熟期和过熟期。嘉宝果果实发育历经青色、红色和紫黑色而成熟, 果实膨大、果皮全绿为青果期, 果皮由绿色全部转为红色、未变紫黑色为红果期, 果皮黑且微软、果肉完全无涩味且甜味足为完全成熟期(完熟期), 果皮变皱、果肉甜味下降且出现酒味为过度成熟期(过熟期)。3 月 15 日采集叶片, 嫩叶为枝条顶部、质地柔嫩且叶脉不清晰者, 叶片颜色为红色; 老叶为枝条近树干侧、质地较硬且叶脉清晰者, 叶片颜色为绿色。

TriPlus 300 顶空自动进样器(美国赛默飞公司)、Trace1300-TSQ 9000 气质联用仪(美国赛默飞公司)、JYS-M01 粉碎机(济南九阳股份有限公司)。

1.2 方法

样品制备 称取当日采集的花苞或花 3 g, 尽快置于 20 mL 的顶空瓶, 放入顶空自动进样器中, 瓶静态平衡 3 min, 炉温 70 °C。精选 10 粒无机械损伤和病虫害果实, 洗净, 晾干水分后切块用粉碎机打成果浆, 称取 5 g 果肉置于 20 mL 顶空瓶, 瓶静态平衡 5 min, 炉温 85 °C。精选无病虫害的健康叶片经手揉搓 3 min, 称取 3 g 尽快放入 20 mL 的顶空瓶, 瓶静态平衡 3 min, 炉温 85 °C。

GC-MS 检测 花(苞)、叶片气相色谱分析条件: 色谱柱, TG-5SILMS, 30 m×0.25 mm×0.25 μm 石英毛细管柱; 花(苞)、叶片程序升温: 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; 进样量 1 000 μL, 载气为 He, 体积流量 1.2 mL/min, 分流比 10:1。质谱条件: 电离方式为 EI, 离子源温

度 300 °C, 接口温度 280 °C。扫描质量范围为 30~550 amu。果实气相色谱程序升温: 起始温度 50 °C, 保持 2 min, 然后以 8 °C/min 升温到 240 °C, 保持 5 min; 进样量 1 000 μ L, 载气为 He, 体积流量 1.2 mL/min, 不分流。质谱条件: 电离方式为 EI, 离子源温度 230 °C, 接口温度 280 °C。扫描质量范围为 50~450 amu。

挥发性成分分析 各组分质谱经 NIST 检索, 再人工谱图分析以确定各化学成分, 采用峰面积归一法计算各成分相对含量。T/E 为萜烯类化合物相对含量/酯类化合物相对含量^[13]; 香气相似率参照王华夫等^[14]的计算方法。

1.3 数据分析

通过 SPSS 19.0 软件对试验数据进行单向方差分析、独立样本 *t* 检验及主成分分析。数据以均值 \pm 标准误差表示, 多重比较采用 Duncan 法, 以 $P < 0.05$ 为显著性差异。两个样本的比较采用 *t* 检验法。

2 结果和分析

2.1 花期挥发性成分组成

从嘉宝果花苞期、初花期、盛花期和末花期 4 个发育期的花(苞)中共检测出相对含量大于 0.05% 的化合物 32 种, 花苞期、初花期均含 26 种, 盛花期、末花期均含 29 种, 4 个花期共有的挥发性成分有 22 种。由表 1, 2 可知, 整个花期挥发性成分包含萜烯类、酯类、醇类和其他化合物 4 大类, 整个花期均以萜烯类化合物为主体成分, 含 15~16 种化合物, 相对含量 68.78%~92.38%, 末花期的相对含

量(92.38%)显著高于盛花期(85.70%), 盛花期显著高于初花期(68.78%)和花苞期(71.95%), 后两者间无显著差异。酯类以初花期含量(16.95%)最高, 显著高于花苞期(10.91%), 末花期含量仅有 0.67%; 醇类化合物种类数及含量在花苞期(13.37%)和初花期(13.88%)不存在显著差异, 前两个花期显著高于后两者; 其他类化合物以盛花期含量(1.62%)最高, 含 3 种成分, 其中邻异丙基甲苯含量为 1.00%。

整个花期均以萜烯类化合物种类和含量最多, 但各成分含量随发育期而明显变化(表 2, 3)。萜烯类物质由单萜类和倍半萜类组成, 整个花期单萜类占主导优势, 各花期均有 11 种单萜类成分, 含量为 66.89%~83.00%, 成分种类和含量远大于倍半萜类, 单萜类和倍半萜类含量均以末花期 > 盛花期 > 花苞期 > 初花期。单萜类的主要成分有 α -蒎烯、 β -蒎烯、D-柠檬烯和 β -罗勒烯, 在各发育期含量均 > 10%, 但各发育期含量存在明显差异, 花苞期、初花期以 β -蒎烯含量最高, 盛花期以 α -蒎烯含量最高, 末花期以 D-柠檬烯含量最高。倍半萜类在整个花期有 4~5 种, 含量 1.89%~9.38%, 末花期含量显著高于盛花期, 盛花期又显著高于花苞期和初花期, 各花期均以 β -石竹烯为主要成分, 以末花期含量最高(4.74%)。酯类化合物在整个花期有 5~6 种, 其中柳酸甲酯在花苞期和初花期含量分别为 8.63%和 9.82%, 至盛花期急剧下降至 0.87%; 水杨酸乙酯含量在花苞期仅 0.53%, 到初花期上升至 5.11%, 盛花期又恢复至 0.58%。醇类化合物在整个花期有 4~5 种, 苯乙醇含量随着发育期而减少, 花苞期含量为 10.04%, 至末花期仅含 0.90%, 桉叶油醇含量随发育期而增加。

表 1 嘉宝果花期的挥发性成分和相对含量

Table 1 Volatile composition and relative contents of *Myrciaria cauliflora* at flowering stage

类别 Type	编号 No.	化合物 Compound	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content /%			
				花苞期 Budding stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Late flowering stage
萜烯类 Terpenes	1	α -侧柏烯 α -Thujene	7.997	0.83 \pm 0.04bc	0.77 \pm 0.10c	0.96 \pm 0.12b	1.21 \pm 0.08a
	2	α -蒎烯 α -Pinene	8.239	19.53 \pm 0.49b	17.33 \pm 0.82c	22.01 \pm 0.96a	20.88 \pm 0.55ab
	3	蒎烯 Camphene	8.816	0.19 \pm 0.02bc	0.17 \pm 0.01c	0.26 \pm 0.01ab	0.27 \pm 0.07a
	4	β -松油烯 β -Terpinene	9.651	0.26 \pm 0.02b	0.26 \pm 0.09b	0.32 \pm 0.05b	0.58 \pm 0.05a
	5	β -蒎烯 β -Pinene	9.801	21.38 \pm 1.20a	18.38 \pm 2.33b	20.41 \pm 0.19ab	20.27 \pm 0.63ab
	6	α -水芹烯 α -Phellandrene	10.824	1.93 \pm 0.05b	2.02 \pm 0.27b	2.11 \pm 0.51b	3.91 \pm 0.40a
	7	异松油烯 α -Terpinolene	11.203	0.14 \pm 0.02b	0.13 \pm 0.03b	0.09 \pm 0.02c	0.18 \pm 0.01a
	8	D-柠檬烯 D-Limonene	11.629	14.17 \pm 0.51c	14.31 \pm 1.00c	19.86 \pm 0.62b	24.77 \pm 2.18a
	9	β -罗勒烯 β -Ocimene	12.256	11.05 \pm 0.20a	13.08 \pm 0.71a	12.18 \pm 2.10a	10.48 \pm 2.09a

续表(Continued)

类别 Type	编号 No.	化合物 Compound	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content /%				
				花苞期 Budding stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Late flowering stage	
萜烯类 Terpenes	10	3-萜烯 3-Carene	12.629	0.36±0.01a	0.37±0.06a	0.32±0.02a	0.34±0.01a	
	11	4-萜烯 (+)-4-Carene	13.537	0.07±0.01b	0.08±0.01b	0.09±0.01ab	0.10±0.01a	
	12	雪松烯 Cedrene	22.119	0.08±0.01c	0.09±0.03c	0.45±0.03b	0.64±0.08a	
	13	β -石竹烯 Caryophyllene	23.263	1.25±0.17b	1.18±0.48b	4.02±0.72 a	4.74±0.26a	
	14	大根香叶烯 D Germacrene D	24.809	0.41±0.01c	0.37±0.02c	1.14±0.16 b	2.26±0.22a	
	15	佛术烯 Eremophilene	24.997	-	-	0.54±0.16 a	0.59±0.06a	
酯类 Esters	16	(-)- β -花柏烯 (-)- β -Chamigrene	25.168	0.30±0.05b	0.25±0.09b	0.94±0.22 a	1.16±0.10a	
	17	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	3.959	1.14±0.18a	1.50±0.34a	0.62±0.17 b	0.30±0.07b	
	18	己酸乙酯 Ethyl caproate	10.623	0.11±0.00a	0.08±0.00	-	-	
	19	柳酸甲酯 Methyl salicylate	16.861	8.63±1.51a	9.82±2.69a	0.87±0.53 b	0.19±0.05b	
	20	辛酸乙酯 Ethyl caprylate	17.045	0.17±0.11a	0.07±0.01b	0.05±0.00 b	-	
	21	(-)-二氢乙酸香芹酯 Lavandulyl cetate	18.612	-	-	0.30±0.02 a	0.05±0.00b	
	22	水杨酸乙酯 Ethyl salicylate	19.108	0.53±0.12b	5.11±1.33a	0.58±0.14 b	0.16±0.10b	
	23	丁酸苯乙酯 Phenethyl butanoate	23.706	0.36±0.03	0.41±0.04	-	-	
	醇类 Alcohols	24	顺-3-己烯-1-醇 (Z)-3-Hexen-1-ol	5.559	-	-	0.17±0.04 a	0.18±0.06a
		25	桉叶油醇 Eucalyptol	11.726	1.86±0.08b	2.12±0.24b	2.72±0.32 a	2.55±0.11a
26		氢化安息香 Hydrobenzoin	13.138	0.24±0.04a	0.19±0.04a	-	-	
27		芳樟醇 Linalool	14.020	1.23±0.29b	1.87±0.07a	1.28±0.12 b	0.45±0.18c	
28		苯乙醇 Phenylethanol	14.349	10.04±0.84a	9.70±1.74a	2.46±0.78 b	0.90±0.29b	
其他 Others	29	α -松油醇 α -Terpineol	16.968	-	-	0.17±0.06a	0.06±0.01b	
	30	对甲基苯甲醚 4-Methylanisole	11.297	-	-	0.20±0.05a	0.09±0.03b	
	31	邻异丙基甲苯 <i>O</i> -Cymene	11.462	0.29±0.11b	0.26±0.08b	1.00±0.35a	0.18±0.03b	
	32	甲基丁香酚 Methyl Eugenol	22.673	-	-	0.42±0.05a	0.14±0.05b	
总计 Total				96.51±1.97	99.83±2.77	96.51±0.36	97.59±0.25	

同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Data followed different letters within line indicate significant difference at 0.05 level.

表 2 嘉宝果不同发育期花果叶的挥发性成分组成和相对含量

Table 2 Volatile composition and relative contents of *Myrciaria cauliflora* flowers, fruits and leaves at different developmental stages

发育阶段 Developing stage		萜烯类 Terpenes		酯类 Esters		醇类 Alcohols		其他 Others	
		数量 Number	相对含量 /% Relative content	数量 Number	相对含量 /% Relative content	数量 Number	相对含量 /% Relative content	数量 Number	相对含量 /% Relative content
花 Flower	花苞期 Budding	15	71.95±1.95c	6	10.91±1.58b	4	13.37±0.90a	1	0.29±0.19b
	初花期 Early	15	68.78±3.28c	6	16.92±2.17a	4	13.88±1.87a	1	0.26±0.08b
	盛花期 Full	16	85.70±1.29b	5	2.38±0.49c	5	6.81±1.00b	3	1.62±0.28a
	末花期 Late	16	92.38±0.79a	4	0.67±0.22c	5	4.13±0.40c	3	0.41±0.05b
果 Fruit	青果期 Green	29	94.12±0.87a	3	0.72±0.08b	2	3.74±0.67c	1	0.72±0.15d
	红果期 Red	13	81.70±1.03b	1	2.42±0.14b	2	10.38±0.06b	1	1.93±0.14c
	完熟期 Mature	8	72.83±5.42c	4	14.81±2.66a	1	3.85±0.94c	1	4.12±0.26b
	过熟期 Overripe	11	72.47±1.88c	2	2.26±0.07b	2	11.60±0.28a	2	10.68±0.72a
叶 Leaf	嫩叶 Young	31	95.86±0.17a	1	0.26±0.01b	3	1.93±0.06b	3	0.44±0.04b
	老叶 Old	29	69.98±2.27b	3	4.35±1.38a	3	24.04±1.35a	3	0.73±0.16a

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level.

2.2 果实的挥发性成分组成

从嘉宝果青果期、红果期、完熟期、过熟期 4

个发育期的果实中共检测出相对含量在 0.05% 以上的化合物 39 种, 各有 35、17、14 和 17 种, 共有

成分 10 种。由表 2, 4 可知, 与花相似, 果实发育过程中挥发性成分包含萜烯类、酯类、醇类和其他

化合物 4 大类, 整个果实发育期均以萜烯类化合物为主体成分, 含 8~29 种化合物, 含量随果实发育

表 3 嘉宝果花果叶的萜烯类组成

Table 3 Terpenes in flowers, fruits and leaves of *Myrciaria cauliflora*

部位 Part	发育阶段 Development stage	单萜类 Monoterpenes		倍半萜类 Sesquiterpenoids	
		数量 Number	相对含量 /% Relative content	数量 Number	相对含量 /% Relative content
花 Flower	花苞期 Budding	11	69.91±2.25b	4	2.04±0.31c
	初花期 Early	11	66.89±3.88b	4	1.89±0.60c
	盛花期 Full	11	78.61±2.24a	5	7.09±1.03b
	末花期 Late	11	83.00±1.27a	5	9.38±0.59a
果 Fruit	青果期 Green	10	67.38±2.36a	19	26.74±3.01a
	红果期 Red	6	65.51±0.41a	7	16.19±1.01b
	完熟期 Mature	4	45.12±1.58c	4	27.71±3.87a
	过熟期 Overripe	5	57.59±1.14b	6	14.88±1.06b
叶 Leaf	嫩叶 Young	13	71.36±0.83a	18	24.50±0.67a
	老叶 Old	12	49.51±1.54b	17	20.47±1.47b

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level.

表 4 嘉宝果果实的挥发性成分和相对含量

Table 4 Volatile composition and relative contents of *Myrciaria cauliflora* fruits at different development stage

类别 Type	编号 No.	挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content /%			
				青果期 Green fruit stage	红果期 Red fruit stage	完熟期 Mature stage	过熟期 Overripe stage
萜烯类 Terpenes	1	α -侧柏烯 α -Thujene	5.884	0.43±0.02b	0.53±0.02a	-	0.36±0.04c
	2	α -蒎烯 α -Pinene	6.042	9.68±0.46b	8.35±0.54b	8.47±0.56b	14.98±1.53a
	3	β -水芹烯 β -Phellandrene	6.813	0.28±0.02	-	-	-
	4	β -蒎烯 β -Pinene	6.924	11.24±1.14b	12.29±0.86ab	10.53±0.54b	14.46±1.89a
	5	α -水芹烯 α -Phellandrene	7.481	2.18±0.08a	1.59±0.15b	-	-
	6	异松油烯 α -Terpinolene	7.692	0.09±0.01	-	-	-
	7	D-柠檬烯 D-Limonene	7.943	26.45±2.15a	29.65±1.23a	15.48±1.86b	26.00±2.77a
	8	β -罗勒烯 β -Ocimene	8.255	16.66±1.73a	13.11±2.64b	10.64±1.64b	1.79±0.07c
	9	3-萜烯 3-Carene	8.514	0.29±0.02	-	-	-
	10	2-萜烯 2-Carene	9.060	0.08±0.01	-	-	-
	11	δ -榄香烯 δ -Elemene	13.658	0.07±0.01	-	-	-
	12	α -胡椒烯 α -Copaene	14.372	1.13±0.08c	1.66±0.20b	-	3.05±0.29a
	13	(-)- α -古芸烯 (-)- α -Gurjunene	14.909	0.08±0.01	-	-	-
	14	β -石竹烯 β -Caryophyllene	15.117	10.42±0.81a	4.36±0.75b	5.43±1.03b	5.69±1.10b
	15	大根香叶烯 D Germacrene D	15.264	0.17±0.07	-	-	-
	16	长叶烯 β -Longipinene	15.419	0.52±0.04	-	-	-
	17	(Z)- α -没药烯 <i>cis</i> - α -Bisabolene	15.683	0.62±0.06	-	-	-
	18	(+)-香橙烯 Aromandendrene	15.764	0.56±0.12c	1.83±0.19b	4.49±0.67a	0.97±0.16c
	19	6,9-愈创木二烯 Guaia-6,9-diene	15.948	0.50±0.04	-	-	-
	20	毕澄茄烯 Cubebene	16.079	4.25±1.44b	3.74±0.06b	14.05±1.31a	2.60±0.64b
	21	佛术烯 Eremophilene	16.213	2.85±0.40a	1.49±0.17b	-	1.11±0.16b
	22	(+)- γ -古芸烯 (+)- γ -Gurjunene	16.317	3.79±0.38a	2.16±0.05b	3.74±1.15a	1.46±0.07b
	23	β -愈创木烯 β -Guaiene	16.401	0.27±0.07	-	-	-
	24	(-)- α -新丁香三环烯 (-)- α -Neoclovene	16.495	0.09±0.02	-	-	-
	25	(1 <i>R</i> ,9 <i>R</i> , <i>E</i>)-4,11,11-Trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-4-ene	14.570	0.29±0.06	-	-	-

续表(Continued)

类别 Type	编号 No.	挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content /%			
				青果期 Green fruit stage	红果期 Red fruit stage	完熟期 Mature stage	完熟期 Mature stage
萜烯类 Terpenes	26	(1 <i>S</i> ,4 <i>aR</i> ,8 <i>aS</i>)-1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4 <i>a</i> ,5,6,8 <i>a</i> -octahydronaphthalene	16.562	0.14±0.03	-	-	-
	27	1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8 <i>a</i> -hexahydronaphthalene	16.622	0.75±0.11a	0.95±0.09a	-	-
	28	Naphthalene,1,2,3,4,4 <i>a</i> ,7-hexahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	16.851	0.06±0.01	-	-	-
	29	大根香叶烯 B Germacrene B	17.286	0.19±0.05	-	-	-
酯类 Esters	30	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	3.621	0.14±0.02b	-	2.80±0.92a	-
	31	(<i>Z</i>)-2-丁烯酸乙酯 (<i>Z</i>)-2-Butenoic acid ethyl ester	4.335	-	-	5.69±1.00a	1.67±0.20b
	32	苯酸甲酯 Methyl benzoate	9.211	-	-	3.46±1.01	-
	33	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	9.302	0.23±0.04d	2.42±0.14b	2.85±0.04a	0.59±0.13c
醇类 Alcohols	34	(<i>E</i>)-己-3-烯基丁酸酯 <i>E</i> -3-Hexenyl butyrate	10.905	0.34±0.05	-	-	-
	35	顺-3-己烯-1-醇 (<i>Z</i>)-3-Hexen-1-ol	4.540	0.70±0.28c	1.61±0.34b	-	2.28±0.14a
	36	桉叶油醇 Eucalyptol	8.011	3.03±0.42b	8.77±0.29a	3.85±0.94b	9.32±0.14a
其他 Others	37	苯乙烯 Styrene	5.200	-	-	-	7.83±0.29
	38	己二烯 (<i>E</i>)-1,4-Hexadiene	7.414	-	-	4.12±0.26	-
	39	邻异丙基甲苯 <i>O</i> -Cymene	7.836	0.72±0.15c	1.93±0.14b	-	2.86±0.46a
总计 Total				99.29±0.06	96.43±1.11	95.61±3.39	97.01±1.59

同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Data followed different letters within line indicate significant difference at 0.05 level.

成熟而减少, 青果期的含量为 94.12%, 过熟期为 72.47%。酯类化合物种类及含量以完熟期最高, 显著高于其他 3 个时期, 醇类化合物和其他类化合物以过熟期含量最高, 显著高于其他 3 个时期。

果实整个发育期萜烯类物质以单萜类为优势成分, 其含量极显著高于倍半萜, 单萜类的主要成分为 α -蒎烯、 β -蒎烯、D-柠檬烯、 β -罗勒烯, 与嘉宝果花相似(表 2, 4)。但与花挥发性成分特征存在多个不同之处, 整个果实发育阶段单萜类含量随果实成熟而下降, 且均以 D-柠檬烯含量最高, 倍半萜类种类数高于单萜类, 各果实发育期倍半萜类不只以 β -石竹烯为主要成分, 果实完熟期倍半萜类以毕澄茄烯为主。表 4 显示果实完熟期最显著的特征为: D-柠檬烯含量(15.48%)为整个发育期最低值, 约为高峰期时(红果期, 29.65%)一半, 而(+)-香橙烯、毕澄茄烯、己二烯含量却达到整个发育期的峰值, 分别为 4.49%、14.05%、4.12%, 远高于其他 3 个发育期; 酯类化合物 4 种, 含量达到 14.81%, 显著高于红果期(1 种, 2.42%)、过熟期(2 种, 2.26%)、青果期(3 种, 0.72%), 4 种成分分别为(*Z*)-2-丁烯酸乙酯(5.69%)、苯酸甲酯(3.46%)、乙酸芳樟酯(2.85%)、丁酸乙酯(2.80%)。各发育期果实中醇类物质以桉叶油醇为主, 含量 3.03%~9.32%。

2.3 叶片的挥发性成分组成

从嘉宝果嫩叶、老叶中共检测出相对含量在 0.05% 以上的化合物共有 40 种, 嫩叶、老叶均含 38 种, 其中共有成分 36 种。由表 2, 5 可知, 与嘉宝果花果相似, 叶片挥发性成分包含萜烯类、酯类、醇类以及其他化合物 4 大类, 嫩叶、老叶均以萜烯类化合物为主体成分, 分别含 31、29 种化合物, 含量分别为 95.86%、69.98%, 嫩叶中萜烯类化合物含量显著高于老叶, 而酯类(0.26%)、醇类(1.93%)和其他类(0.44%)含量显著低于老叶(4.35%、24.04%、0.73%)。

与嘉宝果花、果相似, 叶片中萜烯类物质以单萜类为优势成分, 其含量极显著高于倍半萜; 单萜类的主要成分为 α -蒎烯和 β -蒎烯等(表 3, 5)。与嘉宝果果实相似, 叶片中倍半萜类种类明显高于单萜类。嫩叶中单萜类化合物含量(71.36%)显著高于老叶(49.51%), 其中 α -蒎烯、 β -蒎烯含量分别为 29.53%、32.54%, 老叶中分别为 25.67%、13.97%, 嫩叶、老叶中 D-柠檬烯、 β -罗勒烯的含量均 < 5%。嫩叶中倍半萜类含量(24.50%)显著高于老叶(20.47%), 其中 β -石竹烯含量最高, 为 11.51%, 其次为 β -胡椒烯(3.54%)、(-)- β -花柏烯(2.97%), 老叶中倍半萜类以 β -胡椒烯含量最高, 为 9.19%, 其次为 β -石竹烯(4.70%)、 α -胡椒烯(2.33%)。酯类化合物在嫩叶中只

表5 嘉宝果叶片的挥发性成分和相对含量

Table 5 Volatile composition and relative contents of *Myrciaria cauliflora* leaves at different development stage

类别 Type	编号 No.	挥发性成分 Volatile component	保留时间 Retention time (min)	相对含量 Relative content /%	
				嫩叶 Young leaf	老叶 Old leaf
萜烯类 Terpenes	1	α -侧柏烯 α -Thujene	7.994	0.65±0.02a	0.27±0.03b
	2	α -蒎烯 α -Pinene	8.259	29.53±0.79a	25.67±0.98b
	3	莰烯 Camphene	8.805	0.54±0.04a	0.46±0.08a
	4	桉烯 Sabinene	9.654	0.09±0.02b	0.24±0.02a
	5	β -蒎烯 β -Pinene	9.825	32.54±0.36a	13.97±1.01b
	6	α -水芹烯 α -Phellandrene	10.821	0.23±0.01	-
	7	异松油烯 α -Terpinolene	11.200	0.29±0.01a	0.06±0.01b
	8	D-柠檬烯 D-Limonene	11.629	2.74±0.02b	4.73±0.59a
	9	β -罗勒烯 β -Ocimene	12.256	2.36±0.26a	1.03±0.36b
	10	γ -松油烯 γ -Terpinene	12.629	0.28±0.00a	0.15±0.03b
	11	δ -榄香烯 δ -Elemene	21.019	0.34±0.06a	0.50±0.08a
	12	(-)- α -萜澄茄油烯 (-)- α -Cubebene	21.341	0.14±0.01a	0.10±0.02b
	13	α -胡椒烯 α -Copaene	22.113	1.64±0.14b	2.33±0.29a
	14	β -榄香烯 β -Elemene	22.468	0.88±0.06a	0.53±0.09b
	15	(-)- α -古芸烯 (-)- α -Gurjunene	22.948	0.26±0.02a	0.13±0.02b
	16	β -石竹烯 β -Caryophyllene	23.273	11.51±0.13a	4.70±0.13b
	17	白菖烯 Calarene	23.524	0.18±0.02a	0.19±0.04a
	18	香树烯 Alloaromadendrene	23.742	0.37±0.03a	0.34±0.05a
	19	6,9-愈创木二烯 Guaia-6,9-diene	23.806	0.11±0.02a	0.14±0.04a
	20	(1S,4aR,7R)-1,4a-Dimethyl-7-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	23.930	0.08±0.01	-
	21	α -律草烯 Humulene	24.165	0.70±0.02a	0.27±0.03b
	22	(1R,9R,E)-4,11,11-Trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-4-ene	24.286	0.56±0.03a	0.67±0.10a
	23	4a,8-Dimethyl-2-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	24.621	0.49±0.03a	0.18±0.02b
	24	β -胡椒烯 β -Copaene	24.816	3.54±0.76b	9.19±0.73a
	25	β -瑟林烯 β -Eudesmene	25.010	1.74±0.13a	1.00±0.16b
	26	(+)-喇叭烯 Varidiflorene	25.074	0.36±0.01a	0.16±0.03b
	27	(-)- β -花柏烯 (-)- β -Chamigrene	25.188	2.97±0.12a	2.30±0.19b
	28	β -愈创木烯 β -Guaiene	25.352	0.12±0.01a	0.12±0.02a
	29	(1S,4aR,8aS)-1-Isopropyl-7-methyl-4-methylene-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	25.597	0.10±0.01a	0.08±0.02a
	30	1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,5,6,8a-hexahydronaphthalene	25.721	0.42±0.03a	0.36±0.07a
	31	大根香叶烯 B Germacrene B	26.704	0.12±0.02a	0.11±0.02a
酯类 Esters	32	乙酸叶醇酯 (Z)-3-hexenyl acetate	10.814	-	4.01±1.36
	33	乙酸己酯 Hexyl acetate	11.089	-	0.05±0.01
	34	乙酸芳樟酯 Linalyl acetate	14.017	0.26±0.01a	0.30±0.05a
醇类 Alcohols	35	顺-3-己烯-1-醇 (Z)-3-Hexen-1-ol	5.532	0.14±0.02b	0.34±0.04a
	36	桉叶油醇 Eucalyptol	11.710	1.68±0.08b	23.52±1.35a
其他 Others	37	α -松油醇 α -Terpineol	16.971	0.11±0.01b	0.18±0.03a
	38	邻异丙基甲苯 <i>O</i> -Cymene	11.455	0.10±0.01a	0.18±0.06a
	39	4,4-Dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylenebicyclo[4.1.0]heptane	27.109	0.20±0.03a	0.23±0.05a
	40	(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol	27.240	0.14±0.02b	0.31±0.06a
总计 Total				98.14±0.13	98.56±0.40

同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Data followed different letters within line indicate significant difference at 0.05 level.

检测到乙酸芳樟酯(0.26%), 而老叶中含乙酸叶醇酯(4.01%)、乙酸己酯(0.05%)、乙酸芳樟酯(0.30%)。嫩叶、老叶中醇类化合物均以桉叶油醇为主, 老叶中含量(23.52%)远高于嫩叶(1.68%)。

2.4 T/E 随发育期的变化

T/E 是挥发物中萜烯类化合物和酯类化合物

相对含量的比值, 其反映了这 2 类成分的消长动态和香气感官特征的改变。萜烯类化合物香气淡雅幽香, 酯类化合物香气较为浓郁刺激, T/E 的变化在一定程度上反映了香气协调性。嘉宝果在花开过程中, T/E 呈增加趋势, 在果实成熟过程中呈降低趋势, 过熟期略有回升。嫩叶的 T/E 远高于老叶及花、果(图 1)。

型化合物, 该类化合物是植物花香成分的第二大类别物质^[16], 花中广泛存在。月季中苯乙醇含量超过月季总挥发物组分的 50%^[19], 柳酸甲酯又称水杨酸甲酯, 是蜡梅花香的主要香气成分之一, 且随花发育期的延长含量降低, 至萎蔫期含量最低^[13], 本研究嘉宝果柳酸甲酯的变化规律与之相似。

香气是水果及其产品最重要的质量指标之一, 其客观反映了果实的风味、成熟度和商品品质^[20]。水果中挥发性香气物质主要包括酯类、醇类、醛类、酮类、内酯类、萜烯类及含硫化合物等^[21]。果实的挥发性物质组成与水果类别、品种、成熟度、土壤、气候等均息息相关, 石榴(*Punica granatum*)^[22]、番石榴(*Psidium guajava*)^[23]挥发性成分中己醛、己烯醛等醛类化合物含量最高, 菠萝(*Ananas comosus*)^[24]和香蕉(*Musa spp.*)^[25]中以酯类化合物含量最高, 芒果^[26]中以萜烯类化合物含量最高, 占总香气成分的 70.01%~99.04%, 其中以单萜类中的 3-长松针烯、(+)-4-长松针烯含量最高。本研究中的嘉宝果与芒果^[26]较相似, 以萜烯类的单萜类为主要成分, 但具体成分与芒果不同。嘉宝果果实与花相似, 主要成分包括 α -蒎烯、 β -蒎烯、D-柠檬烯、 β -罗勒烯等, 但完熟期果实与其他发育期果实的其他香气成分区别较明显, 酯类、(+)-香橙烯、毕澄茄烯含量远高于其他发育期, 这可能是赋予嘉宝果成熟果实特殊浓郁香气的重要因素。

大多数桃金娘科植物叶含有挥发性精油, 散发出芳香气味, 具有多种保健功效^[27]。陈佳龄等^[27]的研究表明 6 种桃金娘科植物叶中的挥发性成分主要为萜烯类, 各种的优势成分差异明显, 红果子(*Eugenia uniflora*)和海南蒲桃(*Syzygium hainanense*)主要挥发性成分是(Z)- β -罗勒烯、 β -石竹烯等, 红鳞蒲(*S. hancei*)为(R)-柠檬烯、 α -蒎烯、 β -石竹烯等, 黄金香柳(*Millea bracteata*)为甲基丁香酚、萜品油烯等, 白千层(*Melaleuca leucadendron*)为 α -蒎烯、 β -石竹烯等, 柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*)为香茅醇、乙酸香茅酯等。嘉宝果也为桃金娘科植物, 嫩、老叶也以萜烯类为主要成分, 但嫩叶主要香气成分为 β -蒎烯、 α -蒎烯、 β -石竹烯等, 老叶主要为 α -蒎烯、桉叶油醇、 β -蒎烯等, 与以上 6 种桃金娘科植物均明显不同, 与白千层略为接近, 与大多数嘉宝果品种叶片也差异较大, 与 *Myrciaria tenella*^[15]的主要成分类型较一致, 这与品种特性、生长环境等密切相关。

蒎烯包括 α -和 β -蒎烯 2 种异构体, 具有较好的抑菌、抗炎、抗氧化等作用^[28-29]。嘉宝果花、果、叶挥发物共有特征为主要成分中均含有丰富的蒎烯成分, 尤其嘉宝果嫩叶蒎烯含量高达 62.07%, 精油含量可达 0.37%^[12], 因此嘉宝果叶片挥发物在抗菌、抗炎、抗氧化等方面有较高的应用价值, 目前已有研究证明嘉宝果叶片提取物对 6 种口腔细菌具有抑制作用^[30], 在植株各部位中嫩叶的抗氧化活性最强^[31]。

综上, 嘉宝果花、果、叶挥发性成分以萜烯类为主要成分。萜烯类含量随开花进程呈增加趋势, 而随果实和叶片成熟进程呈下降趋势。花、果、叶共有的主要成分为 α -蒎烯、 β -蒎烯, 花、果共有的其他成分有 D-柠檬烯、 β -罗勒烯等。柳酸甲酯、苯乙醇为花特有主香成分, 毕澄茄烯为完熟果特有主香成分, 桉叶油醇和 β -胡椒烯为老叶特有主香成分。

参考文献

- [1] DE ALMEIDA T G H, BERLINGIERI D M F, DURIGAN J F. Jaboticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. (Myrtaceae)] [M]// YAHIA E M. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Philadelphia: Woodhead Pub., 2011: 246-274. doi: 10.1533/9780857092885.246.
- [2] BARROS R S, FINGER F L, MAGALHAES M M. Changes in non-structural carbohydrates in developing fruit of *Myrciaria jaboticaba* [J]. Sci Hort, 1996, 66(3/4): 209-215. doi: 10.1016/S0304-4238(96)00910-7.
- [3] PLAZA M, BATISTA A G, CAZARIN C B B, et al. Characterization of antioxidant polyphenols from *Myrciaria jaboticaba* peel and their effects on glucose metabolism and antioxidant status: A pilot clinical study [J]. Food Chem, 2016, 211: 185-197. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.04.142.
- [4] QUATRIN A, CONTE L, DA SILVA D T, et al. The hepatoprotective effect of jaboticaba peel powder in a rat model of type 2 diabetes mellitus involves the modulation of thiol/disulfide redox state through the upregulation of glutathione synthesis [J]. J Nutri Metab, 2018, 2018: 9794629. doi: 10.1155/2018/9794629.
- [5] LIN B M, QIU S L, ZHANG S H, et al. Hypoglycemic effect of jaboticaba leaf on hyperglycemic mice [J]. Fujian J Agric Sci, 2020, 35(7): 795-800. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2020.07.014. 林宝妹, 邱珊莲, 张树河, 等. 嘉宝果叶片对高血糖小鼠的降血糖作用 [J]. 福建农业学报, 2020, 35(7): 795-800. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2020.07.014.

- [6] MANAHARAN T, THIRUGNANASAMPANDAN R, JAYAKUMAR R, et al. Purified essential oil from *Ocimum sanctum* Linn. triggers the apoptotic mechanism in human breast cancer cells [J]. *Pharmacogn Mag*, 2016, 12(S3): S327–S331. doi: 10.4103/0973-1296.185738.
- [7] NGUYEN H V, CARUSO D, LEBRUN M, et al. Antibacterial activity of *Litsea cubeba* (Lauraceae, May Chang) and its effects on the biological response of common carp *Cyprinus carpio* challenged with *Aeromonas hydrophila* [J]. *J Appl Microbiol*, 2016, 121(2): 341–351. doi: 10.1111/jam.13160.
- [8] CAPUTO L, SOUZA L F, ALLOISIO S, et al. *Coriandrum sativum* and *Lavandula angustifolia* essential oils: Chemical composition and activity on central nervous system [J]. *Int J Mol Sci*, 2016, 17(12): 1999. doi: 10.3390/ijms17121999.
- [9] VICTORIA F N, DE SIQUEIRA B A, SAVEGNAGO L, et al. Involvement of serotonergic and adrenergic systems on the antidepressant-like effect of *E. uniflora* L. leaves essential oil and further analysis of its antioxidant activity [J]. *Neurosci Lett*, 2013, 544: 105–109. doi: 10.1016/j.neulet.2013.03.054.
- [10] CHEN J P, SU J Y, CHEN L, et al. Study on antioxidant activity of volatile oil from Mei Pian tree [J]. *Sci Technol Food Indust*, 2012, 33(5): 149–151. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2012.05.015.
陈建平, 苏健裕, 陈玲, 等. 梅片树叶挥发油的抗氧化活性研究 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(5): 149–151. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2012.05.015.
- [11] YANG S M. Study on the volatile components of thirteen medicinal plants by SHS/GC-MS [D]. Xi'an: Northwest University, 2018: 73–79.
杨水萌. 十三种药用植物挥发性成分的SHS/GC-MS研究 [D]. 西安: 西北大学, 2018: 73–79.
- [12] DUARTE A R, SANTOS S C, SERAPHIN J C, et al. Environmental influence on phenols and essential oils of *Myrciaria cauliflora* leaves [J]. *J Braz Chem Soc*, 2010, 21(9): 1672–1680. doi: 10.1590/S0103-50532010000900011.
- [13] ZHOU J R, NI D J. Changes in flower aroma compounds of cultivars of *Chimonanthus praecox* (L.) Link and at different stages relative to *Chimonanthus* tea quality [J]. *Acta Hort Sin*, 2010, 37(10): 1621–1628. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2010.10.014.
周继荣, 倪德江. 蜡梅不同品种和花期香气变化及其花茶适制性 [J]. *园艺学报*, 2010, 37(10): 1621–1628. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2010.10.014.
- [14] 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.
- [15] SCHNEIDER N F Z, MOURA N F, COLPO T, et al. Estudo dos compostos voláteis e atividade antimicrobiana da *Myrciaria tenella* (Cambuí) [J]. *Rev Bras Farm*, 2008, 89(2): 131–133.
- [16] SCHADE F, LEGGE R L, THOMPSON J E. Fragrance volatiles of developing and senescing carnation flowers [J]. *Phytochemistry*, 2001, 56(7): 703–710. doi: 10.1016/s0031-9422(00)00483-0.
- [17] CHERRI-MARTIN M, JULLIEN F, HEIZMANN P, et al. Fragrance heritability in hybrid tea roses [J]. *Sci Hort*, 2007, 113(2): 177–181. doi: 10.1016/j.scienta.2007.03.002.
- [18] 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. doi: 10.13271/j.mpb.016.000123.
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.
- [19] VAN SCHIE C C, HARING M A, SCHUURINK R C. Regulation of terpenoid and benzenoid production in flowers [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2006, 9(2): 203–208. doi: 10.1016/j.pbi.2006.01.001.
- [20] KULKARNI R S, CHIDLEY H G, PUJARI K H, et al. Geographic variation in the flavour volatiles of Alphonso mango [J]. *Food Chem*, 2012, 130(1): 58–66. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.06.053.
- [21] PONTES M, MARQUES J C, CÂMARA J S. Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-quadrupole mass spectrometric methodology for the establishment of the volatile composition of *Passiflora* fruit species [J]. *Microchem J*, 2009, 93(1): 1–11. doi: 10.1016/j.microc.2009.03.010.
- [22] CALÍN-SÁNCHEZ Á, MARTÍNEZ J J, VÁZQUEZ-ARAÚJO L, et al. Volatile composition and sensory quality of Spanish pomegranates (*Punica granatum* L.) [J]. *J Sci Food Agric*, 2011, 91(3): 586–592. doi: 10.1002/jsfa.4230.
- [23] LI L M, JING W, YUAN Y, et al. Comparison of the volatiles of guava cultivars with different flesh color [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2014, 41(15): 89–92. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2014.15.019.
李莉梅, 静玮, 袁源, 等. 不同果肉类型番石榴果实香气比较 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41(15): 89–92. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2014.15.019
- [24] TEAI T, CLAUDE-LAFONTAINE A, SCHIPPA C, et al. Volatile compounds in fresh pulp of pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr.] from French Polynesia [J]. *J Essent Oil Res*, 2001, 13(5): 314–318. doi: 10.1080/10412905.2001.9712222.
- [25] SELLI S, GUBBUK H, KAFKAS E, et al. Comparison of aroma compounds in Dwarf Cavendish banana (*Musa* spp. AAA) grown from

- open-field and protected cultivation area [J]. *Sci Hort*, 2012, 141: 76–82. doi: 10.1016/j.scienta.2012.04.008.
- [26] LIU C H, LIU Y. Aroma quality of four cultivars of mango fruit [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2016, 43(10): 123–127. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.10.022.
- 刘传和, 刘岩. 4种芒果香气品质分析 [J]. *广东农业科学*, 2016, 43(10): 123–127. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2016.10.022.
- [27] CHEN J L, GUO W, PENG W, et al. Volatile components in leaves of six Myrtaceous plants by SPME-GC-MS [J]. *J Trop Subtrop Botany*, 2013, 21(2): 189–192. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.02.014.
- 陈佳龄, 郭微, 彭维, 等. SPME-GC-MS分析桃金娘科6种植物的叶片挥发性成分 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2013, 21(2): 189–192. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.02.014.
- [28] LIAO S L, SHANG S B, SHEN M G, et al. Progress on medicinal activities of pinenes and pinene-based derivatives [J]. *Chem Reag*, 2016, 38(3): 219–223. doi: 10.13822/j.cnki.hxsj.2016.03.007.
- 廖圣良, 商士斌, 沈明贵, 等. 蒎烯及其衍生化合物药物活性的研究进展. *化学试剂*, 2016, 38(3): 219–223, 286. doi: 10.13822/j.cnki.hxsj.2016.03.007.
- [29] XIA Z D, MAO X Z, LUO Y H. Study on antifungal mechanism of α -pinene [J]. *Bull Hunan Med Univ*, 1999, 24(6): 507–509. doi: 10.3321/j.issn:1672-7347.1999.06.004.
- 夏忠弟, 毛学政, 罗映辉. α -蒎烯抗真菌机制的研究 [J]. *湖南医科大学学报*, 1999, 24(6): 507–509. doi: 10.3321/j.issn:1672-7347.1999.06.004.
- [30] MACEDO-COSTA M R, DINIZ D N, CARVALHO C M, et al. Effectiveness of the *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. extract on oral bacteria [J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2009, 19(2B): 565–571. doi: 10.1590/S0102-695X2009000400010.
- [31] QIU S L, LIN B M, HONG J M, et al. Comparative study of the antioxidant activity and the α -glucosidase inhibitory activity of the ethanol extracts from different parts of jaboticaba plant [J]. *J Fruit Sci*, 2018, 35(3): 311–318. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.20170316.
- 邱珊莲, 林宝妹, 洪佳敏, 等. 树葡萄植株不同部位醇提取物抗氧化及抑制 α -葡萄糖苷酶活性的比较研究 [J]. *果树学报*, 2018, 35(3): 311–318. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.20170316.