

杨 敏, 谢焰锋, 许 林, 等. 四种茶花品种花朵的香气挥发物分析[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(7): 137–142, 169.

四种茶花品种花朵的香气挥发物分析

杨 敏^{1,2}, 谢焰锋¹, 许 林¹, 向琮琳^{1,2}, 傅 劭¹, 陈宝林¹, 魏 鸣¹, 陈晓桂^{1,2}, 李清源¹
(1. 武汉市农业科学院林业果树研究所, 武汉 430075; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)

摘要: 以 C37 (*Camellia japonica* C37)、甜凯特 (*Camellia japonica* Sweet Emily Kate)、姬 (*Camellia lutchuensis* Hime)、烈香 (*Camellia japonica* Liexiang) 4 种香花型茶花品种为材料, 采用顶空固相微萃取-气相色谱联用 (SPME/GC-MS) 技术, 分析 4 种茶花品种在盛花期花朵的香气挥发物成分及相对含量。结果表明, 在 C37、甜凯特、姬、烈香中检测出香气挥发物, 分别为 27、10、19、27 种, 主要包括醇类、酯类、醛类、芳香族化合物、酚类、醚类、萜类、酮类、烷烃、脂肪酸 10 类化合物。正己醇、苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛、苯甲酸甲酯、苯乙醇、茶、水杨酸甲酯为 4 种茶花品种主要的挥发物成分, 这些化合物分别占 C37、甜凯特、姬、烈香总挥发物含量的 86.84%、90.32%、93.81%、82.20%, 苯环类化合物为主要花香成分。苯甲酸甲酯在 C37 和姬中的相对含量最高, 分别为 39.37% 和 42.00%; 而苯乙醇 (31.60%) 在烈香中的相对含量最高; 正己醇 (70.22%) 为甜凯特的主要挥发物。4 种茶花品种花朵中酯类及醇类物质的相对含量远高于其他化合物, 是茶花主要的挥发物。

关键词: 茶花; 花朵; 香气挥发物; 顶空固相微萃取-气相色谱联用 (SPME/GC-MS)

中图分类号: S685.14

文献标识码: A

文章编号: 0439-8114(2023)07-0137-06

DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2023.07.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of aroma volatiles in flowers of four camellia varieties

YANG Min^{1,2}, XIE Yan-feng¹, XU Lin¹, XIANG Cong-lin^{1,2}, FU Shao¹,

CHEN Bao-lin¹, WEI Ming¹, CHEN Xiao-gui^{1,2}, LI Qing-yuan¹

(1. Institute of Forestry and Pomology, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430075, China;

2. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Four fragrant camellia varieties, namely C37 (*Camellia japonica* C37), Sweet Emily Kate (*Camellia japonica* Sweet Emily Kate), Hime (*Camellia lutchuensis* Hime), and Liexiang (*Camellia japonica* Liexiang), were used as materials to analyze the volatiles components and relative content of the flowers of these four camellia varieties during their blooming period using headspace solid-phase microextraction gas chromatography (SPME/GC-MS) technology. The results showed that aroma volatiles compounds were detected in C37, Sweet Emily Kate, Hime, and Liexiang, with 27, 10, 19, and 27 types, mainly including alcohols, esters, aldehydes, aromatic compounds, phenols, ethers, terpenoids, ketones, alkanes, and fatty acids. N-hexanol, Benzaldehyde, Benzyl alcohol, Phenylacetaldehyde, Methyl benzoate, Phenethyl alcohol, Naphthalene, and Methyl salicylate were the main volatiles components of the four camellia varieties. These compounds accounted for 86.84%, 90.32%, 93.81%, and 82.20% of the total volatiles content of C37, Sweet Emily Kate, Hime, and Liexiang, respectively. Benzene ring compounds were the main floral components. The relative content of Methyl benzoate in C37 and Hime was the highest, 39.37% and 42.00%, respectively; the relative content of Phenethyl alcohol (31.60%) in Liexiang was the highest; N-hexanol (70.22%) was the main volatiles compound of Sweet Emily Kate. The relative content of esters and alcohols in the flowers of four camellia varieties was much higher than that of other compounds, making them the main volatiles of camellia.

Key words: camellia; flowers; aroma volatiles; headspace solid-phase microextraction gas chromatography (SPME/GC-MS)

收稿日期: 2021-12-05

基金项目: 武汉市农业科学院创新项目 (QNCX202311)

作者简介: 杨 敏 (1997-), 女, 云南昆明人, 在读硕士研究生, 研究方向为林木遗传育种, (电话) 15287146587 (电子信箱) 2683330189@qq.com;

通信作者: 李清源 (1982-), 男, 湖北武汉人, 工程师, 博士, 主要从事茶花育种研究, (电话) 13114375216 (电子信箱) gavin1982@163.com。

花香是评价观赏植物和切花的重要性状之一^[1]。近年来,众多学者对桂花(*Osmanthus fragrans*)^[2]、晚香玉(*Pollinates tuberosa*)^[3]、月季(*Rosa chinensis*)^[4]、百合(*Lilium amoenum*)^[5]等植物花香展开广泛的探索和研究,发现花香成分是由一系列低分子质量、低沸点、低极性的挥发性有机化合物(Volatile organic compound, VOC)组成的混合物^[6],这些化合物不仅是昆虫与植物通信和传粉的媒介^[7],还会对种群遗传结构产生影响^[8]。花香物质大多属于3大类,即萜烯类化合物、苯丙酸类化合物/苯环型化合物和脂肪酸衍生物^[9]。茶花花色艳丽,枝繁叶茂,为中国十大名花之一。怡人香气是观赏植物的重要园艺性状^[10],茶花虽品种众多,但芳香型品种却很少,因此,分析不同茶花品种的香气特征,对进一步开展茶花香气评价和香花型茶花新品种选育具有重要意义。

国内外学者已从多个茶花资源中鉴定出香气挥发物。怒江红山茶(*Camellia saluenensis* Inokuchi-Kaori)、香太阳(*Camellia japonica* cv. Scented Sun)、克瑞墨大牡丹(*Camellia japonica* Kramer's supreme)等^[11-13]茶花的主要香气物质为单帖类物质中的芳樟醇。多个茶花品种花朵的主要挥发物为苯乙酮、顺式-芳樟醇氧化物和芳樟醇^[14],不同品种茶花的香气组分也存在特异性。

本研究利用顶空固相微萃取-气相色谱联用(SPME/GC-MS)技术,鉴定不同茶花品种中的挥发物成分及相对含量,对比他们之间的差异。为了更好地开展芳香型茶花育种工作,本研究以C37(*Camellia japonica* C37)、甜凯特(*Camellia japonica* Sweet Emily Kate)、姬(*Camellia lutchuensis* Hime)、烈香(*Camellia japonica* Liexiang)4种香花型茶花品种为研究对象,对其盛花期花朵的挥发物进行时空分析,旨在前人研究的基础上进一步探究茶花香气形成与释放机理,进而为茶花育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2019年3月取样于湖北省武汉市农业科学院林业果树研究所茶花资源圃,4种茶花品种分别为C37、甜凯特、姬、烈香;4种茶花均具有香气,2010年武汉市农业科学院林业果树研究所将烈香作为良种引进湖北省^[15]。

1.2 仪器

气相色谱质谱联用仪DSQII,美国Thermo fisher公司;HP-5MS毛细管柱,美国Agilent公司;65 μm PDMS/DVB SPME萃取头及SPME手动进样器,美国

Supelco公司;10 μL N型液相进样针,上海Truelab有限公司;玻璃顶空进样瓶;甲醇试剂;内标溶液:癸酸乙酯(纯度99.6%),德国CNW technologies gmbH。标准品:C9~C40正构烷烃标样,美国Thermo fisher scientific。

1.3 方法

1)取样。分别于C37、甜凯特、姬、烈香的盛花期采摘新鲜花朵称重并记录,立即将4种茶花样品分别置于50 mL顶空进样瓶。利用手动进样器加入1 μL 0.86 g/mL的癸酸乙酯作为内标,室温下,用65 μm PDMS/DVB SPME的萃取头萃取30 min后进样5 min,取下萃取头。首次进样的萃取头需要先在270 $^{\circ}\text{C}$ 高温下进行老化处理。每个材料设置3个生物学重复。

2)GC-MS条件。载气:高纯氦气(99.999%);流速:1.0 mL/min;进样口温度:250 $^{\circ}\text{C}$;升温程序:起始温度50 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min,按3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至110 $^{\circ}\text{C}$,然后以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至220 $^{\circ}\text{C}$,保持2 min。电离源:EI,其电离能量为70 eV,MS四级杆温度为260 $^{\circ}\text{C}$,离子阱温度为230 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围为30~500 amu。进样方式为分流进样。

3)定性定量分析。参考并完善冯楠^[16]的方法,使用内标法对茶花的主要成分进行定量分析。

2 结果与分析

2.1 4种茶花品种花朵挥发物

图1为4种茶花品种盛花期的总离子流。经GC-MS分析,C37、甜凯特、姬、烈香中分别检测出27、10、19、27种香气挥发物。其中,C37、烈香的香气挥发物较复杂,而甜凯特的香气挥发物则较单一。

4种茶花品种花朵共检测出48种主要香气挥发物。由表1可知,4种茶花品种花朵香气挥发物主要成分具有较大差异。由图2可知,4种茶花品种中C37特有的香气挥发物有11种(22.9%),甜凯特特有的香气挥发物最少,只有1种(2.1%),姬特有的香气挥发物有6种(12.5%),烈香特有的香气挥发物有13种(27.1%);4种茶花品种共有的香气挥发物有7种(14.6%),主要包含2种醇类(苯甲醇、苯乙醇)、2种醛类(苯甲醛、癸醛)、2种酯类(苯甲酸甲酯、水杨酸甲酯)、1种芳香烃(萘)。

进一步分析发现,苯甲酸甲酯为C37和姬中相对含量最高的成分,分别为39.37%和42.00%;烈香中相对含量最高的香气挥发物为苯乙醇(31.60%);而甜凯特中相对含量最高的香气挥发物为正己醇(70.22%)。与其他3种茶花品种相比,烈香的香气挥发物组成成分更复杂,共检测到13种特有成分:

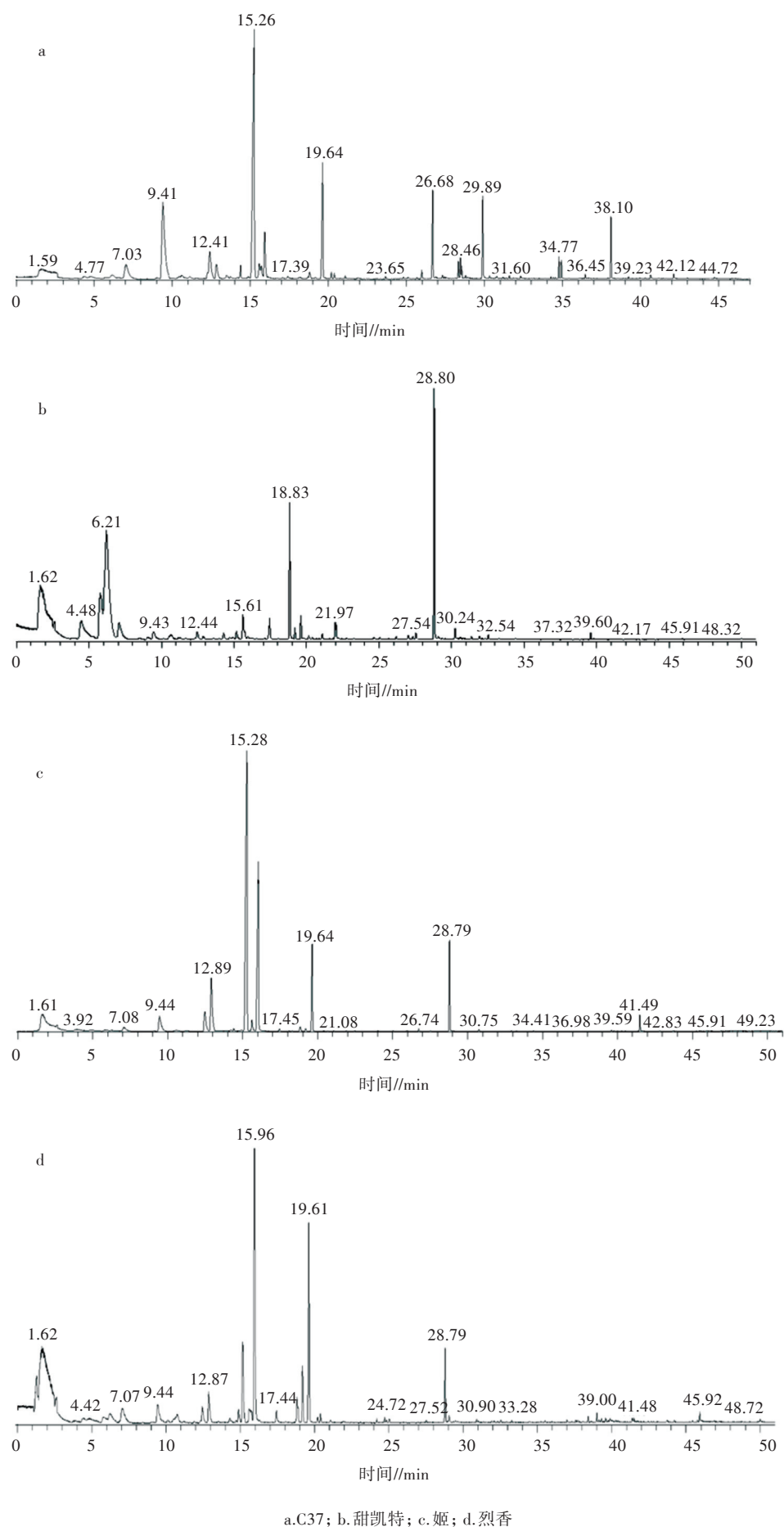


图 1 4种茶花品种花朵挥发物的GC-MS总离子流

表 1 4 种茶花品种花朵主要挥发物及相对含量

编号	保留时间/min	化合物	英文名	保留指数(RI)	分子式	相对含量/%			
						C37	甜凯特	姬	烈香
1	5.75	反式-3-己烯-1-醇	3-Hexen-1-ol, (E)	852	C ₆ H ₁₂ O	—	—	—	1.72
2	5.77	反式-2-己烯醛	2-Hexenal, (E)	854	C ₆ H ₁₀ O	—	5.79	—	—
3	6.12	正己醇	1-Hexanol	868	C ₆ H ₁₄ O	7.36	70.22	—	1.77
4	8.44	α-蒎烯	α-Pinene	937	C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	0.19
5	9.41	苯甲醛	Benzaldehyde	962	C ₇ H ₆ O	6.26	2.33	4.18	3.38
6	9.77	均三甲苯	Mesitylene	972	C ₉ H ₁₂	—	—	—	0.42
7	10.11	1,2,4-三甲基苯	Benzene, 1,2,4-trimethyl	990	C ₉ H ₁₂	—	—	—	0.62
8	10.76	仲丁基苯	Benzene, (1-methylpropyl)	994	C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	2.20
9	11.13	正辛醛	Octanal	1 003	C ₈ H ₁₆ O	0.52	—	0.34	—
10	11.29	(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯	3-Hexen-1-ol, acetate, (E)	1 005	C ₈ H ₁₄ O ₂	—	—	—	0.54
11	11.88	邻-异丙基苯	o-Cymene	1 022	C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	0.51
12	12.31	2-乙基己醇	Ethylhexanol	1 030	C ₈ H ₁₈ O	—	—	—	0.11
13	12.41	苯甲醇	Benzyl alcohol	1 036	C ₇ H ₈ O	8.24	2.93	3.95	1.83
14	12.84	苯乙醛	Benzeneacetaldehyde	1 045	C ₈ H ₈ O	0.51	—	11.09	5.98
15	13.53	5-乙基间二甲苯	Benzene, 1-ethyl-3,5-dimethyl	1 058	C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	0.38
16	14.19	顺式芳樟醇氧化物	Cis-Linalool oxide	1 070	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	—	0.22	—
17	14.71	1,2-二甲基-4-乙基苯	Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	1 085	C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	0.33
18	14.87	反式芳樟醇氧化物(呋喃类)	Trans-Linalool oxide (furanoid)	1 086	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.47	—	0.27	2.18
19	15.19	苯甲酸甲酯	Benzoic acid, methyl ester	1 094	C ₈ H ₈ O ₂	39.37	3.87	42.00	10.00
20	15.58	十一烷	Undecane	1 100	C ₁₁ H ₂₄	2.04	—	1.70	3.44
21	15.70	壬醛	Nonanal	1 104	C ₉ H ₁₈ O	0.80	—	—	—
22	15.93	苯乙醇	Phenylethyl alcohol	1 116	C ₈ H ₁₀ O	1.04	0.90	24.70	31.60
23	17.44	邻苯二甲醚	Benzene, 1,2-dimethoxy	1 148	C ₈ H ₁₀ O ₂	—	3.22	—	2.73
24	17.89	2-苯基丙烯醛	2-Phenylpropenal	1 150	C ₉ H ₈ O	—	—	0.03	—
25	18.22	苯甲酸	Benzoic acid	1 170	C ₇ H ₆ O ₂	—	—	0.19	—
26	19.17	萘	Naphthalene	1 182	C ₁₀ H ₈	0.28	3.48	0.38	6.40
27	19.64	水杨酸甲酯	Methyl salicylate	1 192	C ₈ H ₈ O ₃	23.78	6.59	7.51	21.24
28	20.18	十二烷	Dodecane	1 200	C ₁₂ H ₂₆	0.33	—	0.13	—
29	20.39	癸醛	Decanal	1 206	C ₁₀ H ₂₀ O	0.40	0.67	0.26	0.76
30	24.19	β-甲基萘	Naphthalene, 2-methyl-	1 298	C ₁₁ H ₁₀	—	—	—	0.41
31	24.80	十三烷	Tridecane	1 300	C ₁₃ H ₂₈	0.10	—	—	0.45
32	24.84	α-甲基萘	Naphthalene, 1-methyl-	1 307	C ₁₁ H ₁₀	—	—	—	0.19
33	25.70	癸酸甲酯	Decanoic acid, methyl ester	1 325	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	0.05	—	—	—
34	25.97	2-甲氧基苯甲酸甲酯	Benzoic acid, 2-methoxy-, methyl ester	1 341	C ₉ H ₁₀ O ₃	0.46	—	—	0.32
35	26.50	异丁酸辛酯	Propanoic acid, 2-methyl-, octyl ester	1 346	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.14	—	—	—
36	26.65	丁香酚	Eugenol	1 357	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	2.15	—	0.59	—
37	27.42	2-乙基-3-羟基己基2-甲基丙酸酯	Propanoic acid, 2-methyl-, 2-ethyl-3-hydroxyhexyl ester	1 373	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	0.34	—	—	—
38	27.65	醇酯-12	Component of texanol	1 380	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	—	—	—	0.30
39	28.54	十四烷	Tetradecane	1 400	C ₁₄ H ₃₀	0.35	—	—	—
40	28.94	异丁子香酚	Cis-Isoeugenol	1 408	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	—	—	0.16	—
41	28.79	十二醛	Dodecanal	1 409	C ₁₂ H ₂₄ O	0.12	—	—	—
42	29.89	异丁香酚	Cis-Isoeugenol	1 450	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	1.43	—	—	—
43	29.95	香叶基丙酮	Geranyl acetone	1 453	C ₁₃ H ₂₂ O	0.34	—	—	—
44	30.78	反式异丁香酚	Trans-Isoeugenol	1 454	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	—	—	0.48	—
45	31.60	正十五烷	Pentadecane	1 500	C ₁₅ H ₃₂	0.13	—	—	—
46	38.10	苯甲酸苄酯	Benzyl Benzoate	1 762	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	2.87	—	—	—
47	42.12	棕榈酸 acid	n-Hexadecanoic	1 968	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.12	—	—	—
48	46.00	硬脂酸	Octadecanoic acid	2 172	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	—	—	1.82	—

注:“—”为未检测出。下表同

反式-3-己烯-1-醇(1.72%)、 α -蒎烯(0.19%)、均三甲苯(0.42%)、1,2,4-三甲基苯(0.62%)、仲丁基苯(2.20%)、(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯(0.54%)、邻-异丙基苯(0.51%)、2-乙基己醇(0.11%)、5-乙基间二甲苯(0.38%)、1,2-二甲基-4-乙基苯(0.33%)、 β -甲基萘(0.41%)、 α -甲基萘(0.19%)、醇酯-12(0.30%)。

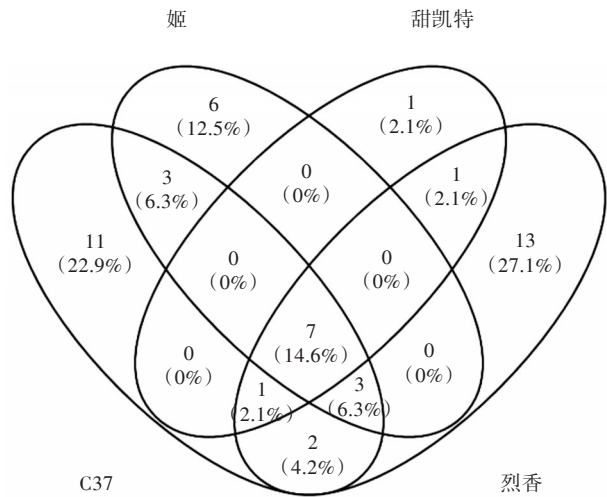


图 2 4种茶花品种花朵挥发物的维恩图

2.2 4种茶花品种花朵主体特征挥发物

表 2 列出了 4 种茶花品种花朵的挥发物，正己醇、苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛、苯甲酸甲酯、苯乙醇、萘、水杨酸甲酯为 4 种茶花品种主要的挥发物成分，这些化合物多数属于苯环类化合物，分别占 C37、甜凯特、姬、烈香总挥发物的 86.84%、90.32%、93.81%、82.20%，苯环类化合物为 4 种茶花品种主要花香成分^[6]，在 8 种化合物中，有 7 种为苯环类化合物（苯甲醛、苯甲醇、苯乙醛、苯甲酸甲酯、苯乙醇、萘、水杨酸甲酯）。其中，苯甲酸甲酯在 C37 和姬中相对含量最高，分别为 39.37% 和 42.00%；而苯乙醇在烈香中的相对含量最高，为 31.60%。与其他 3 个品种不同，甜凯特中主要的挥发物为非苯环类化合物（正己醇），相对含量为 70.22%。

表 2 4种茶花品种花朵主要挥发物及相对含量

保留时间 min	化合物	保留指数 (RI)	相对含量//%			
			C37	甜凯特	姬	烈香
6.12	正己醇	868				
9.41	苯甲醛	962				
12.41	苯甲醇	1 036				
12.84	苯乙醛	1 045				
15.19	苯甲酸甲酯	1 094	86.84	90.32	93.81	82.20
15.93	苯乙醇	1 116				
19.17	萘	1 182				
19.64	水杨酸甲酯	1 192				

2.3 4种茶花品种花朵挥发物分类

将 4 种茶花品种花朵挥发物分为醇类、酯类、醛类、芳香族化合物、酚类、醚类、萜类、酮类、烷烃类 9 类。如表 3 所示，C37 和姬中酯类化合物的相对含量最高，分别为 67.13% 和 51.33%；而甜凯特和烈香中醇类化合物的相对含量最高，分别为 74.05% 和 39.21%，其次为酯类，相对含量分别为 10.46%、32.40%。总体上看，4 种茶花品种花朵中酯类及醇类物质的相对含量远高于其他化合物，是茶花主要的挥发物。此外，烈香中芳香族化合物的相对含量（11.46%）远高于其他 3 个茶花品种。值得注意的是，烈香中检测到了少量的萜烯类化合物，而在其他 3 个茶花品种中没有检测到类似化合物。

3 小结与讨论

植物花朵的花香物质是由一系列低分子量的挥发物组成，并形成其特有的特征。花香化合物主要由萜类、苯类/苯丙素类、脂肪酸衍生物和一些含氮或硫化物等组成^[17]。不同植物的香气挥发物差异较大，如大花梔子的主要香气挥发物为 α -法呢烯、3-蒎烯^[18]；刺槐的主要香气挥发物为 β -罗勒烯和芳樟醇^[19]；腊梅的主要香气挥发物则为罗勒烯、苯甲醇、乙酸苄酯、丁香酚等^[20]。不同茶花品种之间香气挥发物也存在巨大差异。如克瑞墨大牡丹中

表 3 4种茶花品种花朵主要挥发物的相对含量及种类

化合物	英文名	C37		甜凯特		姬		烈香	
		相对含量//%	种类//种	相对含量//%	种类//种	相对含量//%	种类//种	相对含量//%	种类//种
醇类	Alcohols	17.11	4	74.05	3	29.14	4	39.21	6
酯类	Esters	67.13	7	10.46	2	51.33	2	32.40	5
醛类	Aldehydes	8.61	6	8.79	3	15.90	5	10.12	3
芳香族化合物	Aromatic	0.28	1	3.48	1	0.57	2	11.46	9
酚类	phenols	3.58	2	—	—	1.23	3	—	—
醚类	Ethers	—	—	3.22	1	—	—	2.73	1
萜类	Terpenes	—	—	—	—	—	—	0.19	1
酮类	Ketones	0.34	1	—	—	—	—	—	—
烷烃类	Alkanes	2.95	5	—	—	1.83	2	3.89	2

的主要挥发物为芳樟醇、顺-芳樟醇氧化物、水杨酸甲酯等^[13]; α -萜品醇、L-芳樟醇为滇茶花的主要香气挥发物^[21]; 芳樟醇等是茶梅、茶花、油茶、茶树花朵的主要香气挥发物^[22,23]。而本研究中 C37、甜凯特、姬、烈香的主要香气挥发物分别为苯甲酸甲酯(39.37%)、正己醇(70.22%)、苯甲酸甲酯(42.00%)、苯乙醇(31.6%)。

不同山茶属植物花朵挥发物组分存在较大差异。醇类是西南红山茶(*Camellia Pitardii*)、怒江山茶(*Camellia saluenensis*)、滇山茶(*Camellia reticulata*)、红山茶(*Camellia japonica*)^[24]、茶梅冬星(*Camellia sasanqua Dongxing*)^[25]、茶梅冬玫瑰(*Camellia sasanqua Dongmeigui*)^[26]等山茶品种的主要挥发物。与前人研究结果类似, C37 和姬中酯类化合物的相对含量最高, 甜凯特和烈香中醇类化合物的相对含量最高, 分别为 74.05% 和 39.21%, 其次为酯类, 相对含量分别为 10.46%、32.40%。本研究仅检测了盛花期整花的挥发物, 如需进一步确认释香的花器官, 需要检测花器官不同部分释放的香气挥发物。

苯环类化合物作为苯丙素/苯环类挥发物三大类之一, 具有挥发性, 是植物花香的主要成分^[27]。苯环类化合物的生物合成途径在仙女扇^[28]、矮牵牛^[29]等植物中被相继报道。本研究中苯环类化合物在 4 种茶花中相对含量均较大, 说明苯环类化合物是茶花的重要挥发物。

香气阈值是香味物质在一定的介质中被人的感官所感受到的最低浓度值^[30]。在衡量某一挥发性组分的作用时应同时考虑其相对含量和该物质的阈值浓度。通过香气值确定特征香气成分, 香气值为某种化合物的浓度与该化合物香气阈值的比值, 香气值大于 1 的为特征香气成分^[31]。大量研究显示, 香气的影响因素除化合物的相对含量外, 也由该香气成分的阈值决定^[32,33]。因此, 4 种茶花的特征香气化合物还需进一步验证。

参考文献:

- [1] PICHESKY E, DUDAREVA N. Scent engineering: Toward the goal of controlling how flowers smell[J]. Trends in biotechnology, 2007, 25(3): 105-110.
- [2] 邹晶晶, 蔡璇, 曾祥玲, 等. 桂花不同品种开花过程中香气活性物质的变化[J]. 园艺学报, 2017, 44(8): 1517-1534.
- [3] 林榕燕, 钟淮钦, 黄敏玲, 等. 晚香玉花香成分时空动态变化的研究[J]. 核农学报, 2017, 31(12): 2434-2442.
- [4] 李晋华, 晏慧君, 杨锦红, 等. 香水月季复合群(*Rosa odorata* Complex)花香成分分析[J]. 西南农业学报, 2018, 31(3): 587-591.
- [5] 郑冉冉, 吴景芝, 谷志佳, 等. 玫瑰香味玫红百合和橙香味紫红花滇百合的花香成分研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(1): 32-42.
- [6] KNUDSEN J T, ERIKSSON R, GERSHENZON J, et al. Diversity and distribution of floral scent[J]. The botanical review, 2006, 72(1): 1-120.
- [7] PELLMYR O, THIEN L B. Insect reproduction and floral fragrances—keys to the evolution of the angiosperms[J]. Taxon, 1986(35): 76-85.
- [8] WHITEHEAD D, MICHAEL L, PEAKAL L. Integrating floral scent, pollination ecology and population genetics[J]. Functional ecology, 2010, 23(5): 863-874.
- [9] HSIAO Y Y, PAN Z J, HSU C C, et al. Research on orchid biology and biotechnology[J]. Plant and cell physiology, 2011, 52(9): 1467-1486.
- [10] 樊玉花, 瞿素萍, 王珍珍, 等. 香味茶花远缘杂交亲本云南核果茶(*Pyrenaria yunnanensis* Hu)香气成分分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(2): 192-196.
- [11] JULLIEN F, GAO J, OREL G, et al. Analysis of tissue-specific emission of volatiles by the flowers of six *Camellia* species[J]. Flavour and fragrance journal, 2010, 23(2): 115-120.
- [12] HATTAN J I, SHINDO K, ITO T, et al. Identification of a novel hedyacryl synthase gene isolated from *Camellia brevistyla* flowers and floral scent of *Camellia cultivars*.[J]. Planta, 2016, 243(4): 959-972.
- [13] 范正琪, 李纪元, 李辛雷, 等. 基于 HS-SPME/GC-MS 分析山茶品种‘克瑞墨大牡丹’花器官香气成分[J]. 植物研究, 2014, 34(1): 136-142.
- [14] 王洁, 李辛雷, 范正琪, 等. 不同茶梅品种花朵挥发物研究[J]. 广西植物, 2018, 38(7): 934-942.
- [15] 傅劭, 陈宝林, 李清源, 等. 茶花良种‘烈香’[J]. 湖北林业科技, 2020, 49(2): 82-83.
- [16] 冯楠. 蜡梅花香挥发物测定及 2 个萜烯合酶基因功能初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [17] 孔滢, 孙明, 潘会堂, 等. 花香代谢与调控研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(2): 146-154.
- [18] 杨吉龙, 尹陈茜, 谭君, 等. 遮光处理对两种观赏栀子开花特性及挥发物的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(11): 1940-1950.
- [19] 韩丛聪, 苟守华, 姜天华, 等. 刺槐属 6 种材料鲜花芳香成分分析[J]. 园艺学报, 2017, 44(3): 557-565.
- [20] 钱晓慧, 陈龙清, 李彪, 等. 云南地区不同基因型蜡梅花香气成分分析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(4): 834-841.
- [21] 邱建生, 张念念, 刘童童, 等. 中华蜜蜂在滇山茶上的访花行为研究[J]. 生物资源, 2018, 40(1): 52-56.
- [22] 范正琪, 李纪元, 田敏, 等. 三个山茶花种(品种)香气成分初探[J]. 园艺学报, 2006(3): 592-596.
- [23] 甘秀海, 梁志远, 王道平, 等. 3 种山茶属花香气成分的 HS-SPME/GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 204-207.
- [24] 邱建生, 张彦雄, 陈菊艳, 等. 12 个山茶属植物花的挥发性物质研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 358-364.
- [25] 王洁, 李辛雷, 殷恒福, 等. 茶梅冬星不同花期及花器官挥发物[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(5): 904-910.
- [26] 王洁, 李辛雷, 殷恒福, 等. 茶梅品种‘冬玫瑰’不同花期及花器官的香气组成成分分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(1): 37-43.
- [27] DUDAREVA N, D AURIA J C, NAM K H, et al. Acetyl-CoA: Ben-

- incidence of viruses within germplasm, orchards and wild cherry trees in the Czech Republic[J]. *Annals of applied biology*, 2020, 176(2): 138–146.
- [14] YAEHASHI H, OYAMADA S, GOTO S, et al. Simultaneous infection of sweet cherry with eight virus species including a new fo-veavirus [J]. *Journal of general plant pathology*, 2020, 86(2): 134–142.
- [15] XU Y, GAO R, LI S, et al. Complete genome sequence of a divergent isolate of cherry virus A from *Prunus avium* in China[J]. *Microbiology resource announcements*, 2018, 7(16). DOI: 10.1128/MRA.01218–18.
- [16] WANG J, ZHAI Y, LIU W, et al. Structure and genome organization of cherry virus A (Capillovirus, Betaflexiviridae) from China using small RNA sequencing[J]. *Genome announcements*, 2016, 4(3). DOI: 10.1128/genomeA.00364–16.
- [17] ISOGAI M, AOYAGI J, NAKAGAWA M, et al. Molecular detection of five cherry viruses from sweet cherry trees in Japan [J]. *Journal of general plant pathology*, 2004, 70(5): 288–291.
- [18] NOORANI M S, AWASTHI P, SUKAPAKA M, et al. Immunodiagnosis for cherry virus A and cherry necrotic rusty mottle virus [J]. *Journal of plant biochemistry and biotechnology*, 2015, 24(1): 93–104.
- [19] 卢美光, 吴冰, 高蕊, 等. 我国部分地区樱桃病毒病害初步调查和病原检测[J]. *植物保护*, 2015, 41(1): 98–103.
- [20] 曲诚怀, 李振亭, 于维芹, 等. 甜樱桃病毒病发生情况调查及种类鉴定[J]. *落叶果树*, 2020, 52(5): 55–58.
- [21] NOORANI M S, AWASTHI P, SHARMA M P, et al. Simultaneous detection and identification of four cherry viruses by two step multiplex RT-PCR with an internal control of plant nad5 mRNA [J]. *Journal of virological methods*, 2013, 193(1): 103–107.
- [22] MARAIS A, FAURE C, SVANELLA-DUMAS L, et al. First Report of cherry virus A in *Prunus mume* in China [J]. *Plant disease*, 2008, 92(11): 1589–1589.
- [23] 赵志惠, 李丰, 朱天生, 等. 基于小RNA测序的甜樱桃病毒种类检测及鉴定[J]. *落叶果树*, 2022, 54(2): 9–13.
- [24] ZONG X, WANG W, WEI H, et al. Incidence of sweet cherry viruses in Shandong Province, China and a case study on multiple infection with five viruses [J]. *Journal of plant pathology*, 2015, 97(1): 61–68.
- [25] 高蕊. 樱桃病毒的检测及樱桃病毒A基因组序列分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [26] 陈立伟, 宗晓娟, 王文文, 等. 樱桃病毒A外壳蛋白基因克隆及其原核表达[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(13): 195–199.
- [27] 王文文, 宗晓娟, 王甲威, 等. 环渤海湾地区甜樱桃小果病毒及樱桃病毒A的鉴定与调查[J]. *植物保护*, 2013, 39(2): 128–133.
- [28] 郭颂, 张福兴, 怀晓, 等. 樱桃病毒A北京分离物外壳蛋白的原核表达及抗血清制备[J]. *植物病理学报*, 2010, 40(6): 568–573.
- [29] 周登攀. 石河子地区设施樱桃病毒病害调查及病原病毒种类鉴定与检测[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2017.
- [30] 陈玲, 段续伟, 张开春, 等. 基于重组酶聚合酶扩增(RPA)技术的樱桃病毒A(CVA)的检测方法[J]. *园艺学报*, 2020, 47(2): 390–398.
- [31] 刘欢, 米伟丽, 刘斐, 等. 猕猴桃植株中柑橘叶斑驳病毒实时荧光定量PCR检测技术的建立及应用[J]. *植物病理学报*, 2019, 49(2): 167–173.
- [32] OSMAN F, RWAHNIH M A, ROWHANI A. Real-time RT-qPCR detection of cherry rasp leaf virus, cherry green ring mottle virus, cherry necrotic rusty mottle virus, cherry virus A and apple chlorotic leaf spot virus in stone fruits [J]. *Journal of plant pathology*, 2016, 99(1): 279–285.
- [33] RAO W L, LI F, ZUO R J, et al. First report of little cherry virus 2 in flowering and sweet cherry trees in China [J]. *Plant disease*, 2011, 95(11): 1484–1484.
- [34] SONG S, LI Z, SONG W, et al. Complete genomic sequence of a sweet cherry isolate of prunus necrotic ringspot virus from China [J]. *Journal of plant pathology*, 2016, 98(1): 163–166.
- [35] LI R, MOCK R. An improved reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) assay for the detection of two cherry flexiviruses in *Prunus* spp. [J]. *Journal of virological methods*, 2005, 129(2): 162–169.
- [36] 刘欢. 常见蔬菜病毒病原鉴定及多重RT-PCR的建立与应用[D]. 陕西咸阳: 西北农林科技大学, 2016.
- [37] VALASEK M A, REPA J J. The power of real-time PCR [J]. *Advances in physiology education*, 2005, 29(3): 151–159.
- [38] ROUSSEL S, KUMMERT J, SALMON M, et al. Development of RT-PCR assays using fluorogenic 3' minor groove binder DNA probes for detection of fruit tree viruses [J]. *EPP0 bulletin*, 2005, 35(1): 105–108.

(上接第142页)

- zylalcohol acetyltransferase—an enzyme involved in floral scent production in *Clarkia breweri* [J]. *The plant journal*, 1998, 14(3): 297–304.
- [28] JULIAN C V, RIC D V, HARRIE A V, et al. Regulation of floral scent production in petunia revealed by targeted metabolomics [J]. *Phytochemistry*, 2003, 62(6): 997–1008.
- [29] 毛多斌, 陈欢, 杨靖, 等. 阈值测定在食品特征香气分析中的应用综述[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2012, 27(4): 52–55.
- [30] 尹燕雷, 苑兆和, 冯立娟, 等. 不同栽培条件下凯特杏果实发育过程中香气成分的GC/MS分析[J]. *林业科学*, 2010, 46(7): 92–98.
- [31] 陈薇薇, 孙海艳, 蒋赞, 等. 枇杷香气成分固相萃取条件的正交试验优化[J]. *食品科学*, 2015, 36(24): 35–39.
- [32] 肖文芳, 李佐, 陈和明, 等. 基于HS-SPME-GC-MS的4种不同蝴蝶兰种质资源花朵挥发物比较分析[J]. *中国农业大学学报*, 2021, 26(3): 38–52.
- [33] 李晓颖, 武军凯, 王海静, 等. 欧李果实发育期内挥发物变化特征[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9): 1964–198.