

台湾连蕊茶不同花期及花器官挥发性成分分析

张子月^{1,2}, 赵文亮³, 范正琪², 李纪元², 刘伟鑫², 吴田^{1,①}

(1. 西南林业大学园林园艺学院, 云南 昆明 650224; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400;
3. 青州市自然资源和规划局, 山东 潍坊 261041)

摘要: 采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (SPME-GC-MS) 技术, 对台湾连蕊茶 (*Camellia lutchuensis* T. Ito) 不同花期及花器官的挥发性成分及其相对含量进行分析。结果表明: 台湾连蕊茶不同花期和花器官的主要挥发性成分均为醇类。台湾连蕊茶 5 个花期 (包括蕾初期、蕾后期、半开期、盛花期和衰败期) 花器官的挥发性成分分别有 42、38、33、37 和 28 种, 其中芳樟醇和苯乙醇的相对含量总体较高, 为主要香气成分。在花开放过程中, 芳樟醇相对含量呈先降低后升高的变化趋势, 在蕾初期最高 (61.27%); 苯乙醇相对含量呈先升高后降低的变化趋势, 在半开期最高 (59.40%)。花瓣和雄蕊的挥发性成分分别有 32 和 43 种, 其中花瓣中芳樟醇相对含量最高 (32.95%), 雄蕊中苯乙醇相对含量最高 (48.55%)。综上所述, 台湾连蕊茶花器官主要香气成分为醇类中的芳樟醇和苯乙醇。

关键词: 台湾连蕊茶; 挥发性成分; SPME-GC-MS; 花期; 花器官

中图分类号: Q946; S685.14 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)03-0117-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.03.13

Analyses on volatile components at different flowering stages and floral organs of *Camellia lutchuensis* ZHANG Ziyue^{1,2}, ZHAO Wenliang³, FAN Zhengqi², LI Jiyan², LIU Weixin², WU Tian^{1,①} (1. School of Landscape Architecture and Horticulture Sciences, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Research Institute of Subtropical Forest, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China; 3. Qingzhou Bureau of Natural Resources and Planning, Weifang 261041, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(3): 117-120

Abstract: The volatile components and their relative contents at different flowering stages and floral organs of *Camellia lutchuensis* T. Ito were analyzed by using solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) technology. The results show that the main volatile components at different flowering stages and floral organs of *C. lutchuensis* are all alcohols. There are 42, 38, 33, 37, and 28 kinds of volatile components in floral organ of *C. lutchuensis* at five flowering stages (namely early bud stage, late bud stage, half-opening stage, full-blooming stage, and withering stage), among which the relative contents of linalool and phenylethyl alcohol are relatively high in general, and they are the main aroma components. During the flowering process, the relative content of linalool shows a tendency to first decrease and then increase, and it is the highest (61.27%) at the early bud stage; the relative content of phenylethyl alcohol shows a tendency to first increase and then decrease, and it is the highest (59.40%) at the half-opening stage. There are 32 and 43 kinds of volatile components in petals and stamens, respectively, among which the relative content of linalool is the highest in petals (32.95%), while that of phenylethyl alcohol is the highest in stamens (48.55%). In conclusion, the main aroma components of floral organs of *C. lutchuensis* are linalool and phenylethyl alcohol in alcohols.

Key words: *Camellia lutchuensis* T. Ito; volatile component; SPME-GC-MS; flowering stage; floral organ

花香是花卉植物“形、色、香”3 个主要观赏要素之一, 是判断花卉品质和价值高低的重要依据, 被誉为“花卉的灵魂”。花香成分可作为信号分子参与植物的生长发育和胁迫响应等; 花香成分及其含量可随着环境条件和栽培技术的改变而发生变化^[1]。目前, 研究人员对花香进行了广泛的研究, 已有许多关于花香成分组成和变化规律的研究结果^[2]。

山茶属 (*Camellia* Linn.) 植物花型丰富 (包括单瓣、半重瓣、托桂、牡丹、玫瑰重瓣和完全重瓣), 花色多彩 (包括白、红、

黄、绿、紫、黑以及复色等), 但大部分山茶属植物花香较淡。作者所在研究组前期分析了连蕊茶组 (Sect. *Theopsis* Coh. St.) 22 个物种盛花期的花香成分, 发现了 4 个具有浓香的物种, 分别为小长尾连蕊茶 (*C. parvicaudata* Hung T. Chang)、台湾连蕊茶 (*C. lutchuensis* T. Ito)、岳麓连蕊茶 (*C. handelii* Sealy) 和黄杨叶连蕊茶 (*C. buxifolia* Hung T. Chang), 可作为研究山茶属植物花香的理想材料^[3]。其中, 台湾连蕊茶花型小巧优美, 香气极为浓郁, 以芳香闻名全球。

收稿日期: 2023-05-04

基金项目: 浙江省农业新品种重大专项花卉育种专项 (2021C02071-2)

作者简介: 张子月 (1998—), 女, 宁夏银川人, 硕士研究生, 主要从事山茶属植物观赏性状调控机制方面的研究。

①通信作者 E-mail: wutianpotato@swfu.edu.cn

引用格式: 张子月, 赵文亮, 范正琪, 等. 台湾连蕊茶不同花期及花器官挥发性成分分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(3): 117-120.

本研究采用固相萃取-气相色谱-质谱联用 (SPME-GC-MS) 技术^[4],对台湾连蕊茶不同花期及花器官的挥发性成分进行分析,以期对山茶属植物花香形成的机制和芳香新品种培育提供基础。

1 材料和方法

1.1 材料

供试台湾连蕊茶株龄 10 a 左右,种植于中国林业科学研究院亚热带林业研究所山茶种质资源库(东经 119°57'11"、北纬 30°03'35")。于 2021 年 3 月 23 日上午 10 点左右,分别采集同一株上分别处于蕾初期(第 1 个花芽开始分化,S1)、蕾后期(花芽变大,S2)、半开期(花瓣微张且雄蕊被花瓣包裹,S3)、盛花期(花瓣展开且花药成熟,S4)和衰败期(花瓣产生皱褶,质地变薄,花朵开始松散,S5)的整朵花样品,每个花期的样品大小基本一致,每个花期采集 3 株,混合后立即带回实验室进行挥发性成分测定。其中,盛花期另采集一组样品用于花瓣和雄蕊挥发性成分测定。

1.2 方法

1.2.1 挥发性成分提取 采用固相萃取技术,在温度 26 °C 条件下,使用 PDMS/DVB 萃取头(65 μm)(美国 Supelco 公司)萃取 30 min 后进行 GC-MS 分析^[5]。

1.2.2 GC-MS 分析条件 使用 6890N/5975B 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司)进行 GC-MS 分析。色谱条件:DB-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);进样口温度 230 °C。升温程序:起始柱温 50 °C,保持 2 min;以 3 °C·min⁻¹ 速率升温至 80 °C,保持 2 min;以 5 °C·min⁻¹ 速率升温至 180 °C,保持 1 min;以 10 °C·min⁻¹ 速率升温至 230 °C,保持 5 min;最后以 20 °C·min⁻¹ 速率升温至 250 °C,保持 4 min。

质谱条件:电离方式为电子电离(EI),电子能量 70 eV;四级杆温度 150 °C,离子源温度 230 °C,接口温度 250 °C;扫描方式为全扫描,质量扫描范围 m/z 50~600。

1.2.3 挥发性成分定性和定量分析 根据上述气相色谱-质谱联用仪的数据,利用 NIST08 标准谱库对台湾连蕊茶花器官的挥发性成分进行定性分析^[6],采用峰面积归一化法^[7]计算各挥发性成分的相对含量。

2 结果和分析

2.1 台湾连蕊茶不同花期花器官的挥发性成分分析

台湾连蕊茶不同花期花器官的挥发性成分包括醇类、醛类、酯类、酚类和其他(包括烯类、烷类和杂环类),其相对含量见表 1。结果显示:台湾连蕊茶不同花期花器官的挥发性成分中醇类化合物相对含量均较高,是台湾连蕊茶花器官挥发性成分的主要类型,在花开放过程中呈先降低后升高再降低的变化趋势;醛类化合物在衰败期的相对含量最高,为 8.94%;酯

表 1 台湾连蕊茶不同花期花器官的挥发性成分类型及相对含量¹⁾
Table 1 Types and relative contents of volatile components in floral organ of *Camellia lutchuensis* T. Ito at different flowering stages¹⁾

花期 Flowering stage	相对含量/% Relative content				
	醇类 Alcohols	醛类 Aldehydes	酯类 Esters	酚类 Phenols	其他 Others
S1	87.79	4.53	1.35	—	6.33
S2	82.32	3.48	10.61	1.78	1.81
S3	75.75	1.55	8.16	13.58	0.96
S4	79.05	2.94	8.86	7.34	1.81
S5	71.45	8.94	15.47	2.89	1.25

¹⁾ S1: 蕾初期 Early bud stage; S2: 蕾后期 Late bud stage; S3: 半开期 Half-opening stage; S4: 盛花期 Full-blooming stage; S5: 衰败期 Withering stage。—: 未检出 Undetected。

类化合物在蕾后期和衰败期的相对含量较高,分别为 10.61% 和 15.47%;酚类化合物在半开期的相对含量最高,为 13.58%。

台湾连蕊茶 5 个花期花器官分别有 42、38、33、37 和 28 种挥发性成分,主要挥发性成分(在至少 1 个花期的相对含量高于或等于 0.10%)见表 2。结果显示:台湾连蕊茶 5 个花期花器官中芳樟醇和苯乙醇的相对含量总体较高。其中,芳樟醇相对含量在花开放过程中呈先降低后升高的变化趋势,在蕾初期最高(61.27%);而苯乙醇相对含量在花开放过程中呈先升高后降低的变化趋势,在半开期达到峰值(59.40%)。反式-芳樟醇氧化物、顺式-芳樟醇氧化物、 α -松油醇和壬醛的相对含量在花开放过程中的变化趋势与芳樟醇相同。

表 2 台湾连蕊茶不同花期花器官的主要挥发性成分及其相对含量
Table 2 Main volatile components and their relative contents in floral organ of *Camellia lutchuensis* T. Ito at different flowering stages

保留 时间/min Retention time	化合物 Compound	在不同花期的相对含量/% ¹⁾ Relative content at different flowering stages ¹⁾				
		S1	S2	S3	S4	S5
9.021 3	octane	0.53	—	—	—	—
11.647 8	1,3-butanediol	—	0.20	—	—	—
12.579 6	styrene	—	—	—	0.26	—
14.793 2	ethyl tiglate	0.35	0.13	—	—	0.11
16.249 4	benzaldehyde	—	1.20	0.58	1.28	6.20
17.154 8	6-methyl-5-hepten-2-one	—	—	—	0.50	0.22
17.424 9	2-pentylfuran	0.34	0.25	—	0.19	0.46
18.076 3	trans-3-hexenyl acetate	0.62	0.25	—	—	0.10
18.828 3	1,1'-oxybis-2-propanol	—	0.88	—	—	—
19.537 8	benzyl alcohol	0.15	6.61	3.00	3.88	15.45
19.601 4	2,2'-oxybis-1-propanol	—	0.66	—	—	—
19.776 1	2-(2-hydroxypropoxy)-1-propanol	—	0.82	—	—	—
19.971 8	phenylacetaldehyde	0.45	0.53	0.13	0.37	—
21.078 7	trans-linaloloxide	6.55	4.19	0.68	0.75	2.13
21.730 1	cis-linaloloxide	14.61	11.52	1.71	1.79	5.40
22.090 2	methyl benzoate	—	0.42	0.24	0.28	0.43
22.201 4	linalool	61.27	37.05	10.14	21.20	35.65

续表 2 Table 2 (Continued)

保留时间/min Retention time	化合物 Compound	在不同花期的相对含量/% ¹⁾ Relative content at different flowering stages ¹⁾				
		S1	S2	S3	S4	S5
22.381 4	nonanal	3.55	1.75	0.84	1.29	2.44
22.699 1	2-methyl-6-methylene-1,7-octadien-3-one	0.86	—	—	—	0.26
22.958 6	phenylethyl alcohol	0.20	16.38	59.40	49.98	10.25
23.842 9	1,2-dimethoxybenzene	—	0.43	0.45	0.17	0.15
24.631 9	1,4-dimethoxybenzene	—	0.15	—	0.11	—
24.901 9	ethyl benzoate	0.11	6.92	4.96	6.38	12.49
25.029 1	linalool oxide B	1.10	1.24	0.20	0.22	—
25.749 2	methyl salicylate	0.13	0.71	0.74	0.60	0.44
25.818 0	α-terpineol	3.74	2.60	0.60	1.23	2.57
26.712 9	nerol	0.17	0.17	—	—	—
27.284 6	ethyl phenylacetate	0.10	—	—	0.15	—
28.216 8	ethyl salicylate	0.13	2.18	2.09	1.37	1.54
28.820 5	ethyl nonanoate	—	—	—	—	0.29
30.657 8	3-allyl-6-methoxyphenol	—	1.42	5.89	4.52	2.45
30.716 2	eugenol	—	0.36	7.61	2.77	0.34
32.760 2	caryophyllene	1.99	—	—	—	—
34.497 1	pentadecane	0.58	0.25	—	—	—
34.666 5	α-farnesene	0.54	—	—	—	—
38.479 1	6,9-heptadecadiene	0.21	—	—	—	—
38.616 8	8-heptadecene	0.19	—	—	—	—

¹⁾ S1: 蕾初期 Early bud stage; S2: 蕾后期 Late bud stage; S3: 半开期 Half-opening stage; S4: 盛花期 Full-blooming stage; S5: 衰败期 Withering stage. —: 未检出或相对含量低于 0.10% Undetected or the relative content is less than 0.10%.

2.2 台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊的挥发性成分分析

台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊的挥发性成分类型及相对含量见表 3。结果显示:花瓣的挥发性成分主要为醇类化合物,相对含量为 73.56%;其次为酯类化合物,相对含量为 17.39%。雄蕊的挥发性成分中,醇类化合物相对含量最高(61.18%);酚类化合物相对含量次之(22.28%)。

表 3 台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊的挥发性成分类型及相对含量
Table 3 Types and relative contents of volatile components in petals and stamens of *Camellia lutchuensis* T. Ito at full-blooming stage

花器官 Flower organ	相对含量/% Relative content				
	醇类 Alcohols	醛类 Aldehydes	酯类 Esters	酚类 Phenols	其他 Others
花瓣 Petal	73.56	4.25	17.39	2.67	2.13
雄蕊 Stamen	61.18	9.41	5.10	22.28	2.03

台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊中分别有 32 和 43 种挥发性成分,主要挥发性成分(在至少 1 个花器官的相对含量高于或等于 0.10%)见表 4。结果显示:花瓣中芳樟醇、苯乙醇、苯甲醇和苯甲酸乙酯的相对含量较高,雄蕊中苯乙醇和 3-烯丙基-6-甲氧基苯酚的相对含量较高。

表 4 台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊的主要挥发性成分及其相对含量
Table 4 Main volatile components and their relative contents in petals and stamens of *Camellia lutchuensis* T. Ito at full-blooming stage

保留时间/min Retention time	化合物 Compound	在不同花器官的相对含量/% ¹⁾ Relative content in different floral organs ¹⁾	
		花瓣 Petal	雄蕊 Stamen
11.446 5	(1-methylbutyl)-oxirane	—	0.22
11.499 4	3-methylpentanal	—	0.25
12.579 6	styrene	0.81	0.23
14.793 2	ethyl tiglate	0.18	—
16.249 4	benzaldehyde	1.94	3.79
17.424 9	2-pentylfuran	0.10	0.23
19.315 3	limonene	0.18	—
19.537 8	benzyl alcohol	16.73	5.56
19.971 8	phenylacetaldehyde	—	0.92
20.994 0	1-octanol	—	0.11
21.078 7	trans-linaloloxide	0.92	0.28
21.730 1	cis-linaloloxide	1.53	0.46
22.090 2	methyl benzoate	0.86	0.26
22.201 4	linalool	32.95	5.72
22.381 4	nonanal	1.89	4.41
22.958 6	phenylethyl alcohol	20.04	48.55
23.842 9	1,2-dimethoxybenzene	0.30	0.20
23.959 2	pyranone	0.45	—
24.901 9	ethyl benzoate	12.68	3.08
25.643 3	ethyl caprylate	0.18	—
25.749 2	methyl salicylate	0.57	0.47
25.818 0	α-terpineol	1.27	0.39
26.061 7	decanal	0.22	—
26.712 9	nerol	0.12	0.11
27.284 6	ethyl phenylacetate	—	0.24
28.216 8	ethyl salicylate	2.46	0.89
28.820 5	ethyl nonanoate	0.37	—
30.657 8	3-allyl-6-methoxyphenol	—	21.28
30.716 2	eugenol	2.67	0.30
34.497 1	pentadecane	0.25	—

¹⁾ —: 未检出或相对含量低于 0.10% Undetected or the relative content is less than 0.10%.

3 讨论和结论

不同植物花器官的挥发性成分差异较大。蜡梅 [*Chimonanthus praecox* (Linn.) Link] 的主要香气成分由萜烯类和酯类组成^[8];兰科 (Orchidaceae) 卡特属 (*Cattleya* Lindl.) 植物卡特兰杂交种 (*Cattleya hybrida*) 香气相关的挥发性成分以烯类化合物为主^[9];毛药山茶 (*Camellia rensanxiangiae* C. X. Ye et X. Q. Zheng) 香气成分中倍半萜及其氧化物类化合物和烷烃类化合物的相对含量较高^[10]。本研究中,台湾连蕊茶不同花期花器官的挥发性成分以醇类为主,其中芳樟醇和苯乙醇的相对含量总体较高,苯乙醇具有梔子 (*Gardenia jasminoides* J. Ellis) 和紫丁香 (*Syringa oblata* Lindl.) 的花香,芳

樟醇则具有铃兰 (*Convallaria keiskei* Miq.) 的花香^[11], 为台湾连蕊茶花器官的主要香气成分, 这与山茶属其他植物的研究结果一致, 例如: 山茶品种‘克瑞墨大牡丹’ (*Camellia japonica* ‘Kramer’s supreme’) 花器官香气成分中芳樟醇相对含量最高^[12]; 茶梅品种‘冬星’ (*Camellia sasanqua* ‘Dongxing’) 花器官挥发性成分中芳樟醇相对含量也较高^[7]; 岳麓连蕊茶花器官的主要挥发性成分为苯乙醇^[13]。已有研究结果显示: 苯乙醇在茶树 [*Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze] 花朵挥发性成分中较为常见^[11], 其相对含量在‘冬星’等茶梅品种中较高^[14], 但在台湾连蕊茶花器官的挥发性成分中相对含量很低, 有待于后续进行进一步的研究。

在大多数植物中, 花瓣是花香的主要释放部位, 但目前研究发现花部其他器官也可以散发香气。还亮草 (*Delphinium anthriscifolium* Hance) 的花瓣和雄蕊对整朵花的花香具有同样重要的贡献^[15]; 范正琪等^[16]认为山茶品种‘克瑞墨大牡丹’的花瓣和雄蕊同样影响花香; 李辛雷等^[5]认为杜鹃红山茶 (*Camellia azalea* C. F. Wei) 的花瓣和雄蕊是释放香气的重要部位。本研究中, 台湾连蕊茶盛花期花瓣和雄蕊中挥发性成分分别有 32 和 43 种, 芳樟醇在花瓣中的相对含量最高, 苯乙醇在雄蕊中的相对含量最高。

综上所述, 台湾连蕊茶作为山茶属中少数具有浓郁花香的物种之一, 其花器官的挥发性成分中芳樟醇和苯乙醇的相对含量较高, 为主要香气成分, 其中, 芳樟醇相对含量在蕾初期最高, 苯乙醇相对含量在半开期最高。台湾连蕊茶花瓣中芳樟醇相对含量较高, 雄蕊中苯乙醇相对含量较高。本文仅研究了台湾连蕊茶花器官的挥发性成分, 但其形成过程中哪些基因参与作用, 其调控网络如何, 有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张强, 田彦彦, 孟月娥, 等. 植物花香基因工程研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2009, 28(1): 159-166.
- [2] 金蕾, 张大生, 刘卓星, 等. 植物花香产生的代谢途径和分子机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(23): 51-59.
- [3] FAN Z, LI J, LI X, et al. The aroma component of flowers of Sect. *Theopsis* in genus *Camellia* [C]. [S.l.]: Proceedings of 2016 Dali International Camellia Congress, 2016: 376-383.
- [4] 陈美航, 陈大明, 陈先富. 固相微萃取法-气质联用法分析石阶苔茶香气成分[J]. 铜仁学院学报, 2017, 19(6): 11-14.
- [5] 李辛雷, 孙振元, 李纪元, 等. 气相色谱-质谱联用分析杜鹃红山茶挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 130-136.
- [6] 沈鑫, 陈艳敏, 李永红, 等. 基于固相微萃取技术探究花叶艳山姜的挥发性成分及变化规律[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(4): 769-779.
- [7] 王洁, 李辛雷, 殷恒福, 等. 茶梅冬星不同花期及花器官挥发性成分[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2018, 33(5): 904-910.
- [8] 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.
- [9] 郑宝强, 赵志国, 任建武, 等. 卡特兰不同花期的香气成分及其变化[J]. 林业科学研究, 2014, 27(5): 651-656.
- [10] 宋晓虹, 彭力, 石祥刚, 等. 顶空固相微萃取法分析毛药山茶花香气成分[J]. 广西植物, 2009, 29(4): 561-563.
- [11] 甘秀海, 梁志远, 王道平, 等. 3种山茶属花香成分的 HS-SPME/GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 204-207.
- [12] 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.
- [13] 杨敏, 李清源, 向琮琳, 等. 岳麓连蕊茶与单体红山茶不同花期及器官香气挥发性成分的分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2023, 57(4): 539-547, 560.
- [14] 王洁, 李辛雷, 范正琪, 等. 不同茶梅品种花朵挥发性成分研究[J]. 广西植物, 2018, 38(7): 934-942.
- [15] ZHANG W G, LIU Y G, NIE T J, et al. Floral ontogeny of *Delphinium anthriscifolium* (Ranunculaceae) and development of intrafloral and symmetrical resupinated organs[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2022, 198(1): 86-98.
- [16] 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, 33(3): 592-596.

(责任编辑: 张明霞)