

郭丽, 胡晓俊, 胡文娇, 等. 金桂绿茶与金桂花的挥发性成分和香气特征比较 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 276–283. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080138

GUO Li, HU Xiaojun, HU Wenjiao, et al. Volatile Compounds and Aroma Characteristics of Jingui Green Tea and Jingui Flowers[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 276–283. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080138

· 分析检测 ·

金桂绿茶与金桂花的挥发性成分和香气特征比较

郭 丽¹, 胡晓俊², 胡文娇², 张 悦¹, 朱 荫¹, 戴伟东¹, 胡善树^{2,*}, 林 智^{1,*}

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江杭州 310008;

2. 三门绿毫茶叶专业合作社, 浙江三门 317103)

摘 要: 为探明金桂绿茶 (JGT) 与金桂花 (JG) 的香气化学特征差异, 采用感官审评法和 GC-MS 法分析金桂花和丹桂花 (DG) 的香气品质及挥发性成分, 再以金桂花窈制茶叶, 开展金桂绿茶的香气品质化学研究 (金桂花与原料绿茶为对照)。结果表明金桂花香气品质优于丹桂花, 挥发性成分总量较丹桂花高 22.7%, 较适于窈制桂花茶。金桂绿茶的清香、花香特征略逊金桂花, 优于原料绿茶 (GT); 窈制中吸附了金桂花的芳樟醇、 α -衣兰烯、1,1,5-三甲基-6-亚丁烯基-4-环己烯、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 1、 α -紫罗酮、二氢- β -紫罗兰醇、 γ -癸内酯和 4-羟基- β -紫罗酮等 8 个成分以及 3,4-二甲苯胺、红没药烯环氧化物、异戊酸香叶酯、紫罗烯、二氢- β -紫罗兰酮和乙酸植醇酯等 6 个新成分, 保留了原料绿茶的 10 个挥发性成分, 但挥发性成分总量仍较金桂花低 60.4%。综合可见, 金桂绿茶不仅保留了原料绿茶和金桂花的部分香气成分, 还吸附了窈制过程中产生的新成分, 故本研究结果可为花茶工艺优化及品质提升提供理论参考。

关键词: 桂花, 金桂, 丹桂, 绿茶, 金桂绿茶, 挥发性成分

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)09-0276-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080138



本文网刊:

Volatle Cmpounds and Aroma Characteristics of Jingui Green Tea and Jingui Flowers

GUO Li¹, HU Xiaojun², HU Wenjiao², ZHANG Yue¹, ZHU Yin¹, DAI Weidong¹, HU Shanshu^{2,*}, LIN Zhi^{1,*}

(1. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China;

2. Sanmen Lyuhao Tea Specialized Cooperatives, Sanmen 317103, China)

Abstract: To investigate the differences of aroma characteristics between Jingui green tea (JGT) and Jingui flowers, Jingui (JG) and Dangui (DG) flowers were analyzed the aroma quality and volatile compounds by the method of sense evaluation and GC-MS, respectively. JG flowers were selected to scent green tea and the aroma quality and chemical characteristics of Jingui green tea were further researched. The results showed that JG showed a more excellent aroma quality than that of DG, and its total content of volatile components was 22.7% higher than DG, so JG flowers was used to make flower tea and acted as a control like green tea (GT). Comparing the aroma characteristics of JGT, JG and GT, the fragrance and floral characteristics of JGT were slightly inferior to those of JG and higher than that of GT. JGT absorbed 8 ingredients such as linalool, α -ylangene, megastigma-4,6(E),8(E)-triene, cis-pyranoid linalool oxide 1, α -ionone, 2,6,6-tetramethyl-1-cyclohexene-1-propanol, γ -decalactone and 4-hydroxy- β -ionone from JG and 6 new components such as 3,4-dimethylaniline, trans-Z- α -bisabolene epoxide, geranyl isovalerate, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl-naphthalene, dihydro-beta-ionone and phytol

收稿日期: 2021-08-12

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2014-TRICAAS); 国家茶叶产业技术体系 (CARS-19)。

作者简介: 郭丽 (1981-), 女, 博士, 高级农艺师, 研究方向: 茶叶加工与质量控制, E-mail: guoli@tricaas.com。

* 通信作者: 胡善树 (1956-), 男, 高级技师, 研究方向: 茶叶加工技术, E-mail: 390582395@qq.com。

林智 (1965-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 茶叶加工与品质化学, E-mail: Linz@tricaas.com。

acetate formed during green tea scenting, and kept 10 common volatile components with green tea (control), but its volatile components was still 60.4% lower than that of JG. In summary, JGT obtained the parts of aroma components from JG and GT, and formed its unique components by scenting technology, so it was beneficial for technology optimization and quality improvement of flower tea.

Key words: *Osmanthus fragrans*; Jingui; Dangui; green tea; Jingui green tea; volatile compound

花茶又称熏花茶、香花茶、香片等,属再加工茶类,由毛茶加工的茶坯与茶用香花的鲜花拼和窈制而成。目前,我国花茶产销量较大的品类主要有茉莉花茶、桂花茶等。桂花茶产量虽不及茉莉花茶,但作为花源的桂花树是常见的绿化植物,具有一定的绿化、美化、香化作用^[1],遍植中国多个省市,为加工桂花茶提供了充足的、价廉的鲜花来源。

桂花的香气质量受桂花品种、花期、生长环境等多种因素的影响明显。研究表明不同品种桂花的香气成分构成存在较大差异^[2-4],主要表现在呈香组分的构成及配比上。 β -紫罗酮、顺式-呋喃型芳樟醇氧化物、反式-呋喃型芳樟醇氧化物及芳樟醇为桂花共有组分,(E)-2-己烯醛、(Z)-3-己烯醇、己醛等仅在个别品种中的含量较高^[5]。即便是同一品种,桂花所处花期不同,释放香气成分的能力也大不相同^[6]。桂花香气化合物的释放与积累,与遗传因素有关^[7],也受生长环境的影响^[3]。这些因素影响桂花开花吐香,进而影响其在茶叶上的附香效果,产生不同层次的桂花香。研究发现,1-辛烯-3-醇、正戊酸叶醇酯、丁酸苯乙酯等易吸附在红茶,使红茶附上桂花香^[8],但绿茶与红茶吸附香气成分的能力有一定的差异^[9],其吸附的香气化合物尚不明确。

目前,市场上桂花窈制而成的花茶产品以桂花绿茶、桂花红茶、桂花乌龙等较为常见^[10],香气质量颇佳。然而,并非所有桂花都能窈制出高品质的花茶,制茶师往往选择金桂花作为花源,其中缘由至今尚未明晰。同时,桂花茶的相关研究取得一定的进展,可桂花茶与所用桂花的挥发性成分差异化合物仍未查明。因此,本研究选择种植较广泛的金桂和丹桂树种作为研究对象,比较金桂与丹桂鲜花的挥发性组分差异,查明金桂花在呈香组分上的独特性;再用其窈制绿茶,分析金桂绿茶和金桂花的香气化学特征及二者的差异化合物,探明窈制工艺对桂花茶香气特征的促成作用,旨在为花茶加工工艺的优化及新产品的

研发提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

桂花 于 2020 年 9 月 30 日采摘盛花期的金桂花和丹桂花并剔除杂物(浙江三门);原料绿茶(2020 年 4 月) 由一芽一二叶标准鲜叶按绿茶工艺制成(浙江三门);癸酸乙酯(色谱纯)、无水硫酸钠(分析纯) 上海源叶生物科技有限公司;二氯甲烷、乙醇(色谱纯) 上海麦克林生化科技有限公司。

5810R 离心机 Thermo 公司;FD5-10 冷冻干燥机 GOLD-SIM 公司;MTH-100 恒温混匀仪、NDK200-2N 氮吹仪 杭州米欧仪器有限公司;8890A 气相色谱仪、5977a 质谱仪 Agilent 公司;6CHX 提香机 福建佳友茶叶机械智能科技股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 桂花干制 新鲜的金桂花和丹桂花朵采用真空冷冻干燥方式固样,干燥至恒重后分别记作金桂花和丹桂花。

1.2.2 金桂绿茶的加工 金桂绿茶的加工工艺流程如图 1 所示。原料绿茶复焙后,冷却至室温,再与鲜金桂花拌和窈制(单窈法)。窈制 4 h 后进行通花 5 min,续窈 4 h。将桂花与茶叶分离后,再将窈制好的茶样真空冻干,即得金桂绿茶。

1.2.3 香气品质评价 桂花采用 GH/T 1117—2015 (桂花茶)方法进行感官品质分析,绿茶和金桂绿茶由 5 名高级评茶员采用 GB/T 23776—2018 方法(茶叶感官审评法)进行感官品质分析,香气因子总分均为 100 分。

1.2.4 挥发性成分测定 挥发性成分的制备:参照文献 [11] 的方法并进行改良。将 0.3 g 磨碎茶样放于具塞玻璃离心管,加入 8 mL 二氯甲烷和 10 μ L 的 4.25 μ g/mL 癸酸乙酯(内标)、混匀,避光振荡提取

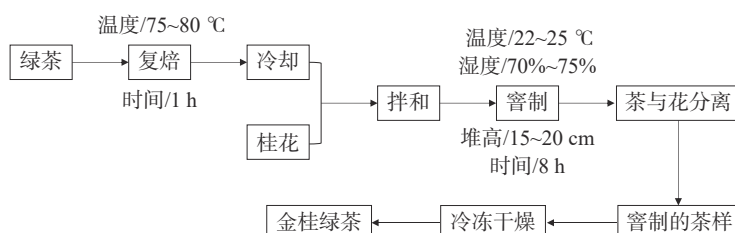


图 1 金桂绿茶的工艺流程

Fig.1 Process flow of Jingui green tea

14 h(转速为 300 r/min)。再加入 0.8 g 无水硫酸钠, 涡旋混匀; 在 1200×g 下离心 15 min, 取上清液到另一个离心管, 氮气吹干浓缩至 800 μ L, 经 0.22 μ m 针式过滤膜后进气相色谱-质谱联用仪分析。每个样品设 3 次重复。

气相色谱-质谱的分析条件: 色谱柱为 DB-5 (30 m×0.25 mm×0.25 μ m), 不分流进样, 进样量为 1 μ L, 进样口温度 280 $^{\circ}$ C, 载气 N_2 (纯度>99.999%) 的流速为 1 mL/min。柱温箱升温程序: 初始温度 50 $^{\circ}$ C, 保持 5 min; 以 3 $^{\circ}$ C/min 速率升至 210 $^{\circ}$ C 并保持 3 min; 最后以 15 $^{\circ}$ C/min 速率升至 330 $^{\circ}$ C, 保持 5 min。溶剂延迟 5 min, 离子源温度 260 $^{\circ}$ C, 扫描范围为 40~500 m/z。

1.2.5 茶样中挥发性成分的 OAV 分析 OAV 是指挥发性成分在茶样中含量与其阈值的比。OAV=茶样中挥发性化合物的浓度(Ci)/挥发性化合物在乙醇溶液中的嗅觉阈值(Oi), 其中, Ci 和 Oi 的单位为 μ g/g。

1.3 数据处理

茶样挥发性成分的定性分析依据 NIST14 数据库和相关文献, 定量分析采用内标法即以内标癸酸乙酯的添加量来计算茶样中挥发性成分的含量。每个样品数据表示为均值±偏差, 运用 IBM SPSS 20.0 进行 T-test 测验, 比较两种桂花挥发性成分的差异。

2 结果与分析

2.1 金桂花与丹桂花的香气质量及挥发性成分比较

两种供试桂花的香气评分均在 90 分以上, 说明二者的香气质量较佳(表 1), 但他们的香气特征存在

明显差异。金桂花的香气偏清香、持久性较佳, 丹桂花的香气偏甜、花香显, 因而二者得分相近。

表 1 金桂花和丹桂花的香气感官品质

Table 1 Aroma sensory quality of Jingui and Dangui flowers

茶样	香气评语	香气评分
金桂花	清甜、浓而长	92.3±0.3
丹桂花	甜香、浓郁	91.5±0.2

金桂花与丹桂花的挥发性组分构成及含量差异较为明显(表 2 和表 3), 醇类化合物含量最高, 其次是酸类化合物, 较低的是醛类和烃类化合物。金桂花中检出 40 个挥发性成分, 比丹桂花多了 11 个。金桂花中醇类化合物种类较丹桂花多 9 个, 占比也较大, 达到 59.8%; 酮类化合物有 5 个, 比含氮类化合物多 4 个, 但酮类、含氮类化合物占比与丹桂花相同; 酯类化合物的种类及占比胜于丹桂花, 且占比(7.5%)超出酮类化合物(占比为 6.9%); 烃类化合物仅 2 个, 占比最小, 仅为 0.8%。T-test 分析表明, 醇类、酮类、酯类、醛类、烃类和含氮类化合物在两种桂花中的含量差异达到显著水平($P<0.05$)。金桂花中醇类、酮类、酯类和含氮类化合物的含量分别比丹桂花高了 34.2%、22.2%、109.0% 和 22.9%, 酸类、醛类、烃类化合物的含量均较丹桂花低, 但金桂花的挥发性组分总量较丹桂花高了 22.7%。

目前, 桂花各种群的鲜花均已在茶叶窰制上应用^[8,12], 生产上选择较多的是金桂花, 这与桂花的香气化学基础有关^[13-15]。金桂花的挥发性成分总量较丹

表 2 金桂花与丹桂花的挥发性成分

Table 2 Volatile components of Jingui and Dangui flowers

化合物中文名	化合物英文名	分子式	金桂花(μ g/g)	丹桂花(μ g/g)
(E)-呋喃型芳樟醇氧化物1	trans-Furanoid-linalool oxide 1	$C_{10}H_{18}O_2$	15.59±0.89	1.55±0.11
(E)-呋喃型芳樟醇氧化物2	trans-Furanoid-linalool oxide 2	$C_{10}H_{18}O_2$	31.19±1.44	5.65±0.39
芳樟醇	Linalool	$C_{10}H_{18}O$	9.41±0.33	3.15±0.05
2,3-蒎烷二醇	2,3-Pinenediol	$C_{10}H_{18}O_2$	ND	3.22±0.06
(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物1	cis-Furan linalool oxide1	$C_{10}H_{18}O_2$	6.40±0.33	0.76±0.04
(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物2	cis-Furan linalool oxide2	$C_{10}H_{18}O_2$	14.71±0.70	4.51±0.14
(E)-吡喃型芳樟醇氧化物1	trans-Pyranoid linalool oxide1	$C_{10}H_{18}O_2$	4.76±0.19	ND
(E)-吡喃型芳樟醇氧化物2	trans-Pyranoid linalool oxide2	$C_{10}H_{18}O_2$	5.39±0.23	ND
香叶醇	Geraniol	$C_{10}H_{18}O$	0.86±0.04	9.24±0.32
环芳樟醇氧化物1	Epoxy-linalooloxide 1	$C_{10}H_{18}O_3$	1.30±0.09	ND
环芳樟醇氧化物2	Epoxy-linalooloxide 2	$C_{10}H_{18}O_3$	2.59±0.15	ND
紫丁香醇A	Lilac alcohol A	$C_{10}H_{18}O_2$	0.91±0.06	0.91±0.03
紫丁香醇B	Lilac alcohol B	$C_{10}H_{18}O_2$	1.03±0.05	2.06±1.01
2,6-二甲基-2,7-辛二烯-1,6-二醇	2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-	$C_{10}H_{18}O_2$	1.50±0.30	2.65±0.18
对甲氧基苯乙醇	2-(4-Methoxyphenyl)ethanol	$C_9H_{12}O_2$	33.05±5.06	ND
(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物1	cis- Pyranoid linalool oxide 1	$C_{10}H_{18}O_2$	266.25±14.57	241.29±9.67
(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物2	cis- Pyranoid linalool oxide 2	$C_{10}H_{18}O_2$	134.70±6.24	125.65±5.18
对羟基苯乙醇	Benzeneethanol, 4-hydroxy-	$C_8H_{10}O_2$	1.60±0.12	8.17±0.03
二氢- β -紫罗兰醇	1-Cyclohexene-1-propanol, α ,2,6,6-tetramethyl-	$C_{13}H_{24}O$	1.18±0.03	ND
紫丁香醇氧化物	lilac alcohol epoxide	$C_{10}H_{18}O_2$	12.53±1.21	ND
3-环氧- α -紫罗兰醇	3-Oxo- α -ionol	$C_{13}H_{18}O$	1.13±0.14	ND

续表 2

化合物中文名	化合物英文名	分子式	金桂花(μg/g)	丹桂花(μg/g)
3-羟基-5,6-环氧-β-紫罗兰醇	6-(3-Hydroxy-but-1-enyl)-1,5,5-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ol	C ₁₃ H ₂₂ O ₃	1.09±0.05	ND
二氢-3-环氧-紫罗兰醇	Dihydro-3-oxo-β-ionol	C ₁₃ H ₂₄ O	1.52±0.45	ND
3,7-二甲基-2,6-辛二酸	2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, (E)-	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	ND	29.49±1.20
十六烷酸	n-Hexadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	114.37±5.35	48.63±2.15
亚油酸	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	10.29±0.87	103.81±4.00
亚麻酸	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	34.80±2.67	1.21±0.04
十八烷酸	Octadecanoic acid	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	10.39±0.72	ND
α-紫罗酮	α-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	4.34±0.29	ND
β-紫罗酮	β-Ionone	C ₁₃ H ₂₀ O	44.26±1.65	37.83±0.69
4-羟基-β-紫罗酮	4-Hydroxy-β-ionone	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	1.68±0.09	3.74±0.14
4-羟基-3,5,5-三甲基-4-(3-氧代-1-丁烯基)-2-环己烯-1-酮	2-Cyclohexen-1-one, 4-hydroxy-3,5,5-trimethyl-4-(3-oxo-1-butenyl)-	C ₁₃ H ₁₈ O ₃	4.00±0.28	5.48±0.37
六氢金合欢烯酰丙酮	Hexahydrofarnesyl acetone	C ₁₈ H ₃₆ O	8.79±0.32	4.58±0.04
四氢猕猴桃内酯	Tetrahydroactinidiolide	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	ND	1.78±0.05
γ-癸内酯	γ-Decalactone	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	24.54±0.77	17.49±0.24
甲酸橙花醇酯	Formic acid, 3,7,11-trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-yl ester	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	6.74±0.40	ND
十六烷酸甲酯	Hexadecanoic acid, methyl ester	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	17.55±0.77	15.52±0.26
亚麻酸甲酯	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	2.05±0.31	ND
E-8-甲基-9-十四碳烯-1-醇乙酸酯	E-8-Methyl-9-tetradecen-1-ol acetate	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	18.10±1.18	ND
壬醛	Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	12.07±0.47	12.96±0.01
β-环柠檬醛	β-Cyclocitral	C ₁₀ H ₁₆ O	ND	5.04±0.08
α-衣兰烯	α-ylangene	C ₁₅ H ₂₄	2.85±0.09	0.56±0.07
紫罗烯	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl-	C ₁₃ H ₁₈	ND	12.56±0.18
1,1,5-三甲基-6-亚丁烯基-4-环己烯	Megastigma-4,6(E),8(E)-triene	C ₁₃ H ₂₀	4.68±1.10	ND
N-甲基吡咯烷酮	2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	C ₅ H ₉ NO	48.07±1.87	39.10±1.04

注: ND表示未检测出; (Z)-呋喃型芳樟醇氧化物1和氧化物2为异构体(由于分析条件限制, 不能进一步明确结构), 其他化合物也是如此。

表 3 桂花中挥发性组分的构成及占比

Table 3 The volatile composition and proportion of Guihua

化合物种类	金桂花			丹桂花			显著性
	种类(个)	占比(%)	含量(μg/g)	种类(个)	占比(%)	含量(μg/g)	
醇类	22	59.8	548.69±33.26	13	54.7	408.81±18.10	P<0.05
酸类	4	18.5	169.85±9.14	4	24.5	183.14±8.57	P>0.05
酮类	5	6.9	63.07±3.19	4	6.9	51.62±1.19	P<0.05
酯类	5	7.5	68.99±4.16	3	4.4	33.01±0.61	P<0.05
醛类	1	1.3	12.07±0.58	2	2.4	18.00±0.11	P<0.05
烃类	2	0.8	7.52±1.20	2	1.8	13.13±0.28	P<0.05
含氮类	1	5.2	48.07±2.29	1	5.2	39.10±1.27	P<0.05

注: P<0.05和P>0.05分别表示差异显著和不显著。

桂花高, 与丹桂花共有 25 个挥发性成分; 这些共有挥发性成分在金桂花和丹桂花中的占比分别达 89.3% 和 93.0%, 且亚油酸、壬醛、(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 1、十六烷酸甲酯、γ-癸内酯、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、亚麻酸、β-紫罗酮、N-甲基吡咯烷酮、十六烷酸、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 2、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 1 等共有成分在金桂花中的含量高于 10 μg/g, 而在丹桂花中(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 1、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 2 和亚麻酸等含量低于 10 μg/g。由此可见, 金桂花在香气品质、挥发性成分种类及含量上优于丹桂花, 具有较强的释香

能力^[16], 在窨制过程中更易使茶叶吸附花香, 用来窨制茶叶更具优势。

2.2 金桂绿茶的香气特征成分

2.2.1 金桂绿茶的香气组分构成及含量 金桂花的花香与原料绿茶的茶香融合效果较好, 金桂绿茶的香气感官评分在 90 分以上。分析金桂绿茶、金桂花、原料绿茶的挥发性成分, 共检测到 58 个化合物, 包括 26 个醇类、4 个酸类、6 个酮类、12 个酯类、2 个醛类、5 个烃类、2 个含氮类和 1 个酚类化合物(表 4)。金桂绿茶与原料绿茶的挥发性组分构成相同(图 2a), 比金桂花多了酚类化合物; 酯类、烃类、含氮类化合物种类较金桂花、原料绿茶多; 金桂绿茶的挥发性成

表4 不同茶样的挥发性成分含量

Table 4 Volatile compounds of different tea samples

化合物中文名	化合物英文名	分子式	金桂绿茶 ($\mu\text{g/g}$)	原料绿茶 ($\mu\text{g/g}$)	金桂花 ($\mu\text{g/g}$)
(E)-呋喃型芳樟醇氧化物1	trans-Furanoid-linalool oxide 1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	3.67 $\pm$ 0.04	0.26 $\pm$ 0.01	15.59 $\pm$ 0.89
(E)-呋喃型芳樟醇氧化物2	trans-Furanoid-linalool oxide 2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	5.88 $\pm$ 0.05	0.28 $\pm$ 0.00	31.19 $\pm$ 1.44
芳樟醇	Linalool	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	1.51 $\pm$ 0.02	ND	9.41 $\pm$ 0.33
(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物1	cis-Furan linalool oxide1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	1.48 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01	6.40 $\pm$ 0.33
(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物2	cis-Furan linalool oxide2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	3.10 $\pm$ 0.03	0.22 $\pm$ 0.00	14.71 $\pm$ 0.70
2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	3,7-Octadiene-2,6-diol, 2,6-dimethyl-	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	1.42 $\pm$ 0.09	0.45 $\pm$ 0.02	ND
(E)-吡喃型芳樟醇氧化物1	trans-Pyranoid linalool oxide1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	ND	4.76 $\pm$ 0.19
(E)-吡喃型芳樟醇氧化物2	trans-Pyranoid linalool oxide2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	ND	5.39 $\pm$ 0.23
香叶醇	Geraniol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.42 $\pm$ 0.09	0.29 $\pm$ 0.03	0.86 $\pm$ 0.04
环芳樟醇氧化物1	Epoxy-linalooloxide 1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_3$	ND	ND	1.30 $\pm$ 0.09
环芳樟醇氧化物2	Epoxy-linalooloxide 2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_3$	ND	ND	2.59 $\pm$ 0.15
紫丁香醇A	Lilac alcohol A	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	ND	0.91 $\pm$ 0.06
紫丁香醇B	Lilac alcohol B	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	ND	1.03 $\pm$ 0.05
2,6-二甲基-2,7-辛二烯-1,6-二醇	2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	ND	1.50 $\pm$ 0.30
对甲氧基苯乙醇	2-(4-Methoxyphenyl)ethanol	$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$	ND	ND	33.05 $\pm$ 5.06
(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物1	cis-Pyranoid linalool oxide 1	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	1.51 $\pm$ 0.06		266.25 $\pm$ 14.57
(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物2	cis-Pyranoid linalool oxide 2	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	1.18 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.01	134.70 $\pm$ 6.24
对羟基苯乙醇	Benzeneethanol, 4-hydroxy-	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$	ND	ND	1.60 $\pm$ 0.12
二氢- β -紫罗兰醇	1-Cyclohexene-1-propanol, α ,2,6,6-tetramethyl-	$\text{C}_{13}\text{H}_{24}\text{O}$	0.81 $\pm$ 0.08	ND	1.18 $\pm$ 0.03
紫丁香醇氧化物	lilac alcohol epoxide	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	ND	0.52 $\pm$ 0.03	12.53 $\pm$ 1.21
3-环氧- α -紫罗兰醇	3-Oxo- α -ionol	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}$	ND	ND	1.13 $\pm$ 0.14
3-羟基-5,6-环氧- β -紫罗兰醇	6-(3-Hydroxy-but-1-enyl)-1,5,5-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ol	$\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{O}_3$	2.14 $\pm$ 0.01	3.34 $\pm$ 0.02	1.09 $\pm$ 0.05
二氢-3-环氧-紫罗兰醇	Dihydro-3-oxo- β -ionol	$\text{C}_{13}\text{H}_{24}\text{O}$	ND	ND	1.52 $\pm$ 0.45
植醇	Phytol	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}\text{O}_3$	188.69 $\pm$ 3.66	139.87 $\pm$ 0.90	ND
12-甲基-E,E-2,13-十八碳二烯-1-醇	12-Methyl-E,E-2,13-octadecadien-1-ol	$\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}$	0.41 $\pm$ 0.06	0.40 $\pm$ 0.03	ND
十六烷酸	n-Hexadecanoic acid	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	24.75 $\pm$ 0.61	4.67 $\pm$ 0.40	114.37 $\pm$ 5.35
亚油酸	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$	3.48 $\pm$ 0.41	1.63 $\pm$ 0.22	10.29 $\pm$ 0.87
亚麻酸	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	$\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$	10.13 $\pm$ 0.89	0.52 $\pm$ 0.05	34.80 $\pm$ 2.67
十八烷酸	Octadecanoic acid	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	ND	ND	10.39 $\pm$ 0.72
α -紫罗酮	α -Ionone	$\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}$	1.63 $\pm$ 0.07	ND	4.34 $\pm$ 0.29
二氢- β -紫罗兰酮	Dihydro- β -ionone	$\text{C}_{13}\text{H}_{22}\text{O}$	4.20 $\pm$ 0.10	ND	ND
β -紫罗酮	β -Ionone	$\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}$	41.93 $\pm$ 0.34	0.47 $\pm$ 0.02	44.26 $\pm$ 1.65
4-羟基- β -紫罗酮	4-Hydroxy- β -ionone	$\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}_2$	0.61 $\pm$ 0.17	ND	1.68 $\pm$ 0.09
4-羟基-3,5,5-三甲基-4-(3-氧代-1-丁烯基)-2-环己烯-1-酮	2-Cyclohexen-1-one, 4-hydroxy-3,5,5-trimethyl-4-(3-oxo-1-butenyl)-	$\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_3$	0.44 $\pm$ 0.14	0.22 $\pm$ 0.02	4.00 $\pm$ 0.28
六氢金合欢烯酰丙酮	Hexahydrofarnesyl acetone	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}$	ND	ND	8.79 $\pm$ 0.32
2-乙基丁酸烯丙酯	Allyl 2-ethyl butyrate	$\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_2$	ND	0.34 $\pm$ 0.01	ND
异戊酸香叶酯	Geranyl isovalerate	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}_2$	0.22 $\pm$ 0.08	ND	ND
γ -癸内酯	γ -Decalactone	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	0.97 $\pm$ 0.19	ND	24.54 $\pm$ 0.77
甲酸橙花醇酯	Formic acid, 3,7,11-trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-yl ester	$\text{C}_{16}\text{H}_{26}\text{O}_2$	ND	ND	6.74 $\pm$ 0.40
二氢猕猴桃内酯	Dihydroactinidiolide	$\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.81 $\pm$ 0.04	0.89 $\pm$ 0.05	ND
磷酸二壬酯	Phosphoric acid, dinonyl ethyl ester	$\text{C}_{20}\text{H}_{43}\text{O}_4\text{P}$	1.53 $\pm$ 0.01	2.09 $\pm$ 0.08	ND
乙酸植基酯	Phytyl Acetate	$\text{C}_{22}\text{H}_{42}\text{O}_2$	6.65 $\pm$ 0.06	ND	ND
Z-6-十四烯-1-醇乙酸酯	Z-6-Tetradecen-1-ol acetate	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$	ND	1.32 $\pm$ 0.08	ND
十六烷酸甲酯	Hexadecanoic acid, methyl ester	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	5.10 $\pm$ 0.09	6.04 $\pm$ 0.13	17.55 $\pm$ 0.77
亚油酸甲酯	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	$\text{C}_{19}\text{H}_{33}\text{O}_2$	2.82 $\pm$ 0.05	0.77 $\pm$ 0.02	ND
亚麻酸甲酯	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	$\text{C}_{19}\text{H}_{32}\text{O}_2$	0.25 $\pm$ 0.01	1.81 $\pm$ 0.06	2.05 $\pm$ 0.31
E-8-甲基-9-十四碳烯-1-醇乙酸酯	E-8-Methyl-9-tetradecen-1-ol acetate	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$	ND	ND	18.10 $\pm$ 1.18
壬醛	Nonanal	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	0.44 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.06	12.07 $\pm$ 0.47
β -环柠檬醛	β -Cyclocitral	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	0.32 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.00	ND
红没药烯环氧化物	trans-Z- α -Bisabolene epoxide	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.27 $\pm$ 0.07	ND	ND

续表 4

化合物中文名	化合物英文名	分子式	金桂绿茶 (μg/g)	原料绿茶 (μg/g)	金桂花 (μg/g)
α-衣兰烯	α-ylangene	C ₁₅ H ₂₄	0.24±0.07	ND	2.85±0.09
1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	Naphthalene, 1,2-dihydro-1,1,6-trimethyl-	C ₁₃ H ₁₆	0.37±0.06	0.50±0.04	ND
紫罗烯	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl-	C ₁₃ H ₁₈	1.07±0.18	ND	ND
1,1,5-三甲基-6-亚丁烯基-4-环己烯	Megastigma-4,6(E),8(E)-triene	C ₁₃ H ₂₀	0.18±0.01	ND	4.68±1.10
3,4-二甲基-3-吡咯啉-2-酮	3,4-Dimethyl-3-pyrrolin-2-one	C ₆ H ₉ NO	1.67±0.04	1.20±0.02	ND
N-甲基吡咯烷酮	2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	C ₅ H ₉ NO	0.32±0.03	13.96±0.64	48.07±1.87
3,4-二甲基苯胺	Benzenamine, 3,4-dimethyl-	C ₆ H ₁₁ N	3.41±0.19	ND	ND
丁羟基甲苯	Butylated Hydroxytoluene	C ₁₅ H ₂₄ O	12.62±0.23	3.31±0.08	ND

注: ND表示未检测出。

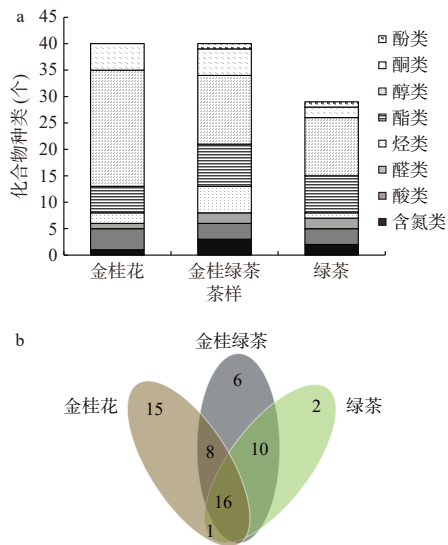


图 2 不同茶样中挥发性成分分布

Fig.2 The volatile distribution of different tea samples

分总量比金桂花低 60.4%, 较原料绿茶高 74.6%。

金桂绿茶挥发性成分中植醇含量最高, 其次是β-紫罗酮和十六烷酸。这三种化合物分别由叶绿素、类胡萝卜素、脂肪酸衍生而成^[16], 均是脂类代谢产物, 在金桂绿茶中的含量明显高于原料绿茶, 说明花茶工艺促进了脂类化合物的降解, 但不同化合物对加工工艺的响应程度有差异^[17]。十六烷酸, 又名软脂酸、棕榈酸, 在原料绿茶中含量远低于金桂花及金桂绿茶, 因而推测, 金桂绿茶的十六烷酸主要是通过窈制工艺从金桂花中获得的, 但在茉莉花茶窈制过程样中未检测到十六烷酸^[18-19], 可能与挥发性提取方法有关。

由表 4 可知, 金桂绿茶所含植醇、β-紫罗酮、十六烷酸、丁羟基甲苯、亚麻酸、乙酸植醇酯、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、十六烷酸甲酯等化合物的含量较高, 而在原料绿茶中含量较高的挥发性成分却是植醇、N-甲基吡咯烷酮和十六烷酸甲酯, 说明窈制工艺明显改变了原料绿茶挥发性成分的组成特征^[20-22], 为其引入了金桂花挥发性成分, 有助于金桂绿茶花香特征的形成。为更好地解析金桂绿茶的香气化学基础, 将其挥发性成分划分为四个类型: 类型 I: 金桂绿茶及金桂花和原料绿茶中三者均有的成分; 类型 II: 金

桂绿茶与金桂花两者的共有成分; 类型 III: 金桂绿茶与原料绿茶两者共有成分; 类型 IV: 金桂绿茶中存在而金桂花和原料绿茶中均没有的成分, 即窈制工艺产生的新成分。

2.2.2 金桂绿茶、金桂花与原料绿茶共有的挥发性成分 金桂绿茶、金桂花及原料绿茶共有的挥发性成分有 16 种(表 4 和图 2b), 分别是 N-甲基吡咯烷酮、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 1、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、壬醛、(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物 1、(Z)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、香叶醇、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 2、β-紫罗酮、3-羟基-5,6-环氧-β-紫罗兰醇、1-羟基-4-酮-2-紫罗兰酮、十六烷酸甲酯、十六烷酸、亚麻酸甲酯、亚油酸和亚麻酸。这 16 种化合物在金桂绿茶中的含量达 104.71 μg/g, 较金桂花(264.42 μg/g)低了 60.4%, 比原料绿茶(59.97 μg/g)高了 74.6%, 说明金桂花通过吸附-解吸附作用将部分挥发性成分传于原料绿茶, 有助于原料绿茶着上花香; N-甲基吡咯烷酮、(E)-呋喃型芳樟醇氧化物 2、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 2、β-紫罗酮、十六烷酸、亚麻酸等的含量较高。但是, N-甲基吡咯烷酮、壬醛、3-羟基-5,6-环氧-β-紫罗兰醇和十六烷酸甲酯在金桂绿茶中的含量低于原料绿茶, 且 N-甲基吡咯烷酮的下降幅度较大。由此可见, 金桂绿茶、金桂花及原料绿茶共有挥发性成分的含量存在明显差异。

2.2.3 金桂绿茶与金桂花共有的挥发性成分 金桂绿茶与金桂花及原料绿茶共有的 16 种挥发性成分除外, 其与金桂花存在 8 个共有挥发性成分(图 2b), 分别是芳樟醇、α-衣兰烯、1,1,5-三甲基-6-亚丁烯基-4-环己烯、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 1、α-紫罗酮、二氢-β-紫罗兰醇、γ-癸内酯和 4-羟基-β-紫罗酮(表 5)。茶类、花类及窈制工艺的不同, 原料茶吸附的挥发性成分也有差异^[27-28]。原料绿茶从金桂花上吸附的这些挥发性成分有别于原料红茶^[8], 其含量占金桂绿茶挥发性成分总量的 2.0%; α-紫罗酮的含量较高, 但远低于具有花香气息的 β-紫罗酮^[16]; 二氢-β-紫罗兰醇、γ-癸内酯和 4-羟基-β-紫罗酮也是类胡萝卜素的降解产物, 但他们含量均低于 1 μg/g。芳樟醇、α-紫罗酮、γ-癸内酯的 OAV 值大于 1(表 5), 为

表 5 原料绿茶窖制中吸附的呈香新成分

Table 5 New aroma compounds produced during green tea material

化合物名称	含量($\mu\text{g/g}$)	阈值($\mu\text{g/g}$)	OAV值	气味特征描述
芳樟醇	1.51	1.08	>1	花香、熏衣草香 ^[23]
α -衣兰烯	0.24	NF	ND	清鲜花香
1,1,5-三甲基-6-亚丁烯基-4-环己烯	0.18	NF	ND	NF
(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物1	1.51	50.80	<1	花香 ^[23]
α -紫罗酮	1.63	0.11	>1	紫罗兰香 ^[23]
二氢- β -紫罗兰醇	0.81	NF	ND	木香、花香
γ -癸内酯	0.97	0.08	>1	桃子香、脂香 ^[24]
4-羟基- β -紫罗酮	0.61	NF	ND	果香 ^[25]
3,4-二甲基苯胺	3.41	NF	ND	NF
红没药烯环氧化物	0.27	NF	ND	NF
异戊酸香叶酯	0.22	NF	ND	似苹果、香蕉的果香
紫罗烯	1.07	NF	ND	NF
二氢- β -紫罗兰酮	4.20	1.00	>1	木香、花香、果香 ^[26]
乙酸植基酯	6.65	NF	ND	NF

注: NF、ND分别表示“未找到”和“未检出”。

金桂绿茶香气特征呈现的重要成分。

2.2.4 金桂绿茶与原料绿茶共有的挥发性成分 金桂绿茶与原料绿茶的共有挥发性成分有 10 个(图 2), 其中, 植醇、丁羟基甲苯、亚油酸甲酯等化合物的含量较高。植醇是茶样中含量最高的醇类化合物, 在金桂绿茶中的含量达 $(188.69 \pm 3.66) \mu\text{g/g}$, 比原料绿茶的高 34.9%, 说明窖制中叶绿素发生了降解反应^[29]。丁羟基甲苯是茶样中检出的唯一挥发性酚类化合物, 在金桂绿茶中的含量为 $12.62 \mu\text{g/g}$, 比原料绿茶高 281.4%。亚油酸甲酯在金桂绿茶中的含量也高于原料绿茶, 但其含量比十六烷酸甲酯低了 44.7%。

2.2.5 窖制工艺新生成的成分 与金桂花、原料绿茶对比发现, 金桂绿茶中存在而原料中不存在的挥发性成分如 3,4-二甲基苯胺、红没药烯环氧化物、异戊酸香叶酯、紫罗烯、二氢- β -紫罗兰酮和乙酸植基酯等(表 5), 说明金桂绿茶不是金桂花与原料绿茶的简单混和物^[30]。这些新成分是窖制中形成的, 占金桂绿茶挥发性成分总量的 4.2%。乙酸植基酯的含量较高, 达到 $6.65 \mu\text{g/g}$, 为叶绿素衍生物, 说明原料绿茶窖制过程中叶绿素降解明显; 二氢- β -紫罗兰酮为类胡萝卜素的降解产物, 仅在金桂绿茶检出, 含量低于乙酸植基酯, 达到 $4.20 \mu\text{g/g}$, 但尚不能确定其来源。异戊酸香叶酯、二氢- β -紫罗兰酮具有花香或果香特征, 并且二氢- β -紫罗兰酮的 OAV 值大于 1, 对金桂绿茶的香气特征呈现起支撑作用。

3 结论

金桂花在挥发性成分的含量与种类上比丹桂花更有优势, 更适于用作花茶的香源。由金桂花窖制而成的金桂绿茶具有清香、花香等特征, 挥发性成分的组成特征与金桂花、原料绿茶的差异明显。原料绿茶在窖制中吸附的 14 个新成分中异戊酸香叶酯、二氢- β -紫罗兰酮、芳樟醇、 α -衣兰烯、(Z)-吡喃型芳樟醇氧化物 1、 α -紫罗酮、二氢- β -紫罗兰醇、 γ -癸内酯

和 4-羟基- β -紫罗酮具有花香或果香特征, 是金桂绿茶独特香气品质形成的重要物质基础。

参考文献

- [1] 狄飞达, 张驰松, 郑亭, 等. 桂花功能性成分提取及加工应用进展[J]. 农产品加工, 2019, 491(21): 81-83. [DI Feida, ZHANG Chisong, ZHENG Ting, et al. Research progress on active ingredients and extraction technologies of *Osmanthus fragrans*[J]. Farm Products Processing, 2019, 491(21): 81-83.]
- [2] CAI X, MAI R Z, ZOU J J, et al. Analysis of aroma-active compounds in three sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars by GC-olfactometry and GC-MS[J]. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine and Biotechnology)*, 2014, 15(7): 638-648.
- [3] FU J X, HOU D, ZHANG C, et al. The emission of the floral scent of four *Osmanthus fragrans* cultivars in response to different temperatures[J]. *Molecules*, 2017, 22(3): 430.
- [4] 夏科, 蒋柏生, 赵志国, 等. 桂林地区不同桂花品种花香成分比较分析[J]. *广西植物*, 2018, 38(11): 1493-1504. [XIA Ke, JIANG Baisheng, ZHAO Zhiguo, et al. Comparative analysis of aromatic components from different cultivars of *Osmanthus fragrans* in Guilin[J]. *Guihaia*, 2018, 38(11): 1493-1504.]
- [5] XIN H P, WU B H, ZHANG H H, et al. Characterization of volatile compounds in flowers from four groups of sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2013, 93: 923-931.
- [6] 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. [ZOU Jingjing, CAI Xuan, ZENG Xiangling, et al. Changes of aroma-active compounds in different cultivars of *Osmanthus fragrans* during flowering[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, 44(8): 1517-1534.]
- [7] ZENG X L, LIU C, ZHENG R R, et al. Emission and accumulation of monoterpene and the key terpene synthase (TPS) associated with monoterpene biosynthesis in *Osmanthus fragrans* Lour[J]. *Frontier Plant Science*, 2016, 6: 1232.
- [8] 陈慧敏, 石知钢, 邱太妹, 等. 桂花红茶窖制技术及香气成分 HS-SPME/GC-O-MS 分析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 243-

254. [CHEN Huimin, SHI Zhigang, DI Taimei, et al. The scenting technology and aroma analysis by HS-SPME/GC-O-MS for osmanthus black tea[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(11): 243–254.]
- [9] 赵国飞. 茉莉红茶窈制工艺及其品质特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016: 77–87. [ZHAO Guofei. Research on the scenting technology and quality characteristic of jasmine black tea[D]. Chongqing: Southwest University, 2016: 77–87.]
- [10] 李双伶. 特种花茶窈制的花香吸附及技术优化研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2009: 13–20. [LI Shuangling. The research on the aroma adsorption and technical optimization of characteristic scented tea[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2009: 13–20.]
- [11] CHEN S, LIU H H, ZHAO X M, et al. Non-targeted metabolomics analysis reveals dynamic changes of volatile and non-volatile metabolites during oolong tea manufacture[J]. Food Research International, 2020, 128: 108778.
- [12] 陈学林. 不同品种桂花鲜花与桂花花茶品质关系的研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 40–42. [CHEN Xuelin. Study of the relationships between different kinds of sweet-scented osmanthus fresh flowers and osmanthus tea[J]. Food Research and Development, 2005, 26(5): 40–42.]
- [13] 金荷仙, 郑华, 金幼菊, 等. 杭州满院桂雨公园 4 个桂花品种香气组分的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 612–615. [JIN Hexian, ZHENG Hua, JIN Youju, et al. research on major volatile components of 4 osmanthus fragrance cultivars in Hangzhou Manlong Guiyu Park[J]. Forest Research, 2006, 19(5): 612–615.]
- [14] 施婷婷, 杨秀莲, 王良桂. 3 个桂花品种花香组分动态特征及花被片结构解剖学观测[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 12–20. [SHI Tingting, YANG Xiulian, WANG Lianggui. Dynamic characteristics of floral components and anatomical observation of petals in three cultivars of *Osmanthus fragrans*[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2020, 44(4): 12–20.]
- [15] 蔡宙霏. 4 个桂花品种群释放 VOCs 成分及其光合特性的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017: 17–27. [CAI Zhoufei. The research of volatile organic compounds release from four *Osmanthus fragrans* cultivar groups and photosynthetic characteristics [D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2017: 17–27.]
- [16] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版)[M]. 中国农业出版社, 2007: 289–290. [WAN Xiaochun. Tea biochemistry (The third edition)[M]. China Agricultural Machinery Press, 2007: 289–290.]
- [17] 郭丽, 吕海鹏, 陈明杰, 等. 福建乌龙茶脂肪酸含量及差异性分析[J]. 茶叶科学, 2019, 39(5): 611–618. [GUO Li, LYU Haipeng, CHEN Mingjie, et al. Analysis of fatty acid compositions and contents in oolong tea from Fujian Province[J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(5): 611–618.]
- [18] 安会敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶挥发性成分在窈制过程中的变化研究[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(1): 67–74. [AN Huimin, OU Xingchang, XIONG Yifan, et al. Study on the changes of volatile components in jasmine tea during the scenting process[J]. Journal of Tea Communication, 2020, 47(1): 67–74.]
- [19] WANG S Y, ZHAO F, WU W X, et al. Comparison of volatiles in different jasmine tea grade samples using electronic nose and automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry followed by multivariate statistical analysis[J]. Molecules, 2020, 25(2): 380.
- [20] 姚珊珊, 郭雯飞. 桂花龙井茶和柚子花茶的香气成分[J]. 茶叶, 2005, 31(4): 228–232. [YAO Shanshan, GUO Wenfei. Volatiles in osmanthus scented longjing tea and citrus flower scented green tea[J]. Journal of Tea, 2005, 31(4): 228–232.]
- [21] 马静. 茉莉花茶窈制过程香气及其它理化因子变化规律的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001: 21–24. [MA Jing. Study on changes of aroma and other physical and chemical factors during scenting processes of jasmine tea[J]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2001: 21–24.]
- [22] 安会敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶特征香气成分研究[J]. 茶叶科学, 2020, 40(2): 225–237. [AN Huimin, OU Xingchang, XIONG Yifan, et al. Study on the characteristic aroma components of jasmine tea[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(2): 225–237.]
- [23] CHEN M J, GUO L, ZHOU H W, et al. Absolute quantitative volatile measurement from fresh tea leaves and the derived teas revealed contributions of postharvest synthesis of endogenous volatiles for the aroma quality of made teas[J]. Appl Sci, 2021, 11(2): 613.
- [24] 王玲, 尹克林. ‘达赛莱克特’草莓果实发育成熟过程中香气物质的变化及其特征成分的确定[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 433–441. [WANG Ling, YIN Kelin. Changes in aroma of ‘Darselect’ strawberry during development and characterization of the key aroma components[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(4): 433–441.]
- [25] XU X D, XU R, JIA Q, et al. Identification of dihydro- β -ionone as a key aroma compound in addition to C8 ketones and alcohols in *Volvariella volvacea* mushroom[J]. Food Chemistry, 2019, 293: 333–339.
- [26] MORE G P, BHAT S V. Facile lipase catalysed syntheses of (S)-(+)-4-hydroxy- β -ionone and (S)-(+)-4-hydroxy- β -damascone: Chiral flavorants and synthons[J]. Tetrahedron Letters, 2013, 54(32): 4148–4149.
- [27] 卢健, 王东, 朱建杰, 等. 茉莉花茶隔离窈制中主要影响因素对挥发性组分的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 71–80. [LU Jian, WANG Dong, ZHU Jianjie, et al. Effects of main factors on the volatile compounds of jasmine scented tea during the isolated scenting process[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 71–80.]
- [28] 陆修闽, 刘用敏, 王镇民, 等. 茉莉花茶增湿窈制新工艺的效果[J]. 茶叶科学, 1993, 13(2): 69–74. [LU Xiumin, LIU Yongmin, WANG Zhenmin, et al. A new scenting technology for jasmine tea[J]. Journal of Tea Science, 1993, 13(2): 69–74.]
- [29] 张伟, 王文欣. 蜡梅花茶窈制研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2012, 25(3): 309–313. [ZHANG Wei, WANG Wenxin. Study on chimonanthus tea scenting[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Sciences Edition), 2012, 25(3): 309–313.]
- [30] HU C D, LIANG Y Z, GUO F Q, et al. Determination of essential oil composition from *Osmanthus fragrans* tea by GC-MS combined with a chemometric resolution method[J]. Molecules, 2010, 15: 3683–3693.