陈静, 林馨颖, 阙玉林, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同年份福鼎栀子花白茶挥发性香气组分差异 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(6): 274−283. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010191
CHEN Jing, LIN Xinying, QUE Yulin, et al. Analysis of Volatile Aroma Component Differences in Fuding Gardenia-scented White Tea with Different Scenting Years Based on HS-SPME-GC-MS Technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(6): 274−283. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010191

· 分析检测 ·

基于 HS-SPME-GC-MS 技术分析不同年份福鼎栀子花白茶挥发性香气组分差异

陈　静[1], 林馨颖[1,+], 阙玉林[2,*], 黄先洲[1], 蔡吓强[1], 阙忠熠[3], 周思思[3]
（1.宁德职业技术学院茶学院, 福建福安 355000;
2.福鼎市乡村振兴服务中心, 福建福鼎 355200;
3.福鼎市鼎科农业开发有限公司, 福建福鼎 355200）

摘　要: 为探究福鼎栀子花白茶挥发性香气组分的年份差异，采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术（Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry，HS-SPME-GC-MS）、感官评价和相对气味活度值（Relative Odor Activity Value，ROAV）对窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶及不同窨制年份（2021 年、2023 年）香气成分进行测定并分析对比。结果显示，窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶挥发性成分共检测出 492 种，不同窨制年份栀子花白茶挥发性成分共检测出 378 种。以 VIP>1，P<0.05 为条件筛选出对栀子花白茶香气起决定性作用的香气成分共有 89 种，包含果实甜香型、花蜜甜香型、花香型、木质香、草本香、脂香的香气物质。窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶呈香成分（ROAV>10）主要为邻甲氨基苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、1-辛烯-3-酮等赋予栀子花白茶柑橘柠檬香甜果味，玫瑰花香甜味等方面的香气。结合 ROAV 分析不同窨制年份对比挥发性成分的差异，2021 年对比 2023 年栀子花白茶的差异关键挥发性成分共 19 种，其中可作为区分不同生产窨制年份的香气为苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、癸酸甲酯等赋予品质较好的 2023 年栀子花白茶花果甜香鲜灵持久的香气特征。研究结果以 VIP>1，P<0.05 为条件筛选出 10 种福鼎栀子花白茶的关键挥发性香气成分：苯甲酸甲酯、2-甲基丁酸 2-甲基丁酯、异戊酸苯乙酯、（E,E）-3,5-辛二烯-2-酮、反式-2,4-癸二烯醛、正壬醛、芳樟醇、β-紫罗兰酮，表现为窨制后栀子花白茶对比素茶坯，香气成分种类丰富且活性升高，2023 年栀子花白茶香气较之 2021 年香气活性升高，可作为判别新栀子花白茶品质佳的依据，以上结果可为福鼎栀子花白茶品质评价及综合开发利用提供了科学依据。

关键词: 福鼎栀子花白茶, 窨制年份, 相对气味活度值, 香气, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用
中图分类号: TS201.1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)06−0274−10　　本文网刊:
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025010191

Analysis of Volatile Aroma Component Differences in Fuding Gardenia-scented White Tea with Different Scenting Years Based on HS-SPME-GC-MS Technology

CHEN Jing[1], LIN Xinying[1,+], QUE Yulin[2,*], HUANG Xianzhou[1], CAI Xiaqiang[1], QUE Zhongyi[3], ZHOU Sisi[3]
（1.Ningde Vocational and Technical College, Fu'an 355000, China;
2.Fuding Rural Revitalization Service Center, Fuding 355200, China;

收稿日期: 2025−01−21　　+并列第一作者
基金项目: 2022 年福建省高职院校产业学院试点项目（闽教职成〔2022〕38 号）; 2024 年福建省级职业院校教师教学创新团队（闽教师〔2024〕17 号）; 2023 年度宁德市科技特派员后补助项目（宁市科〔2023〕56 号）。
作者简介: 陈静（1990−）, 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 茶叶综合利用与品质化学, 茶叶关键风味物质分析及调控, E-mail: 675962081@qq.com。
林馨颖（1996−）, 女, 硕士, 助教, 研究方向: 茶叶加工与品质化学, E-mail: 12565769@qq.com。
*** 通信作者:** 阙玉林（1966−）, 男, 本科, 高级农艺师, 研究方向: 园艺, E-mail: 228299068@qq.com。

3.Fuding Dingke Agricultural Development Co., Ltd., Fuding 355200, China）

Abstract: This study investigated the vintage variations in volatile aroma components of Fuding gardenia-scented white tea using HS-SPME-GC-MS, sensory evaluation, and ROAV analysis. Comparative analysis was conducted on unscented tea blanks, scented tea products, and teas from different production years (2021 and 2023). A total of 492 volatile compounds were identified in both unscented blanks and scented tea, while 378 compounds were detected across different production years. VIP analysis (VIP>1, P<0.05) identified 89 decisive aroma compounds categorized as: Fruity-sweet, floral-honey sweet, floral, woody, herbal, fatty notes. ROAV>10 components including methyl anthranilate, phenethyl isovalerate, and 1-octen-3-one contributed citrusy, sweet-fruity, and rosy floral characteristics. Comparative analysis revealed 19 key differential compounds between 2021 and 2023 vintages. Methyl benzoate, phenethyl isovalerate, and methyl decanoate were characteristic of the superior 2023 vintage, imparting more intense and persistent floral-fruity notes. Ten critical markers (VIP>1, P<0.05) were identified: Methyl benzoate, 2-methylbutyrate, phenethylisovalerate, (E,E)-3,5-octadien-2-one, nonanal, trans-2,4-decadienal, linalool, β-ionone. Post-scenting gardenia-white tea exhibited greater aroma diversity and higher odor activity compared to unscented tea blanks. The 2023 vintage showed enhanced aroma activity over the 2021 batch, serving as a marker for superior quality in newer productions. These findings provide a scientific basis for quality assessment and utilization of Fuding gardenia-scented white tea.

Key words: Fuding gardenia-scented white tea; scenting year; relative odor activity value; aroma; headspace solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS)

黄栀子（*Gardenia jasminoides* Ellis）属于茜草科栀子，为常绿灌木，其花与果实具有较高的经济开发价值。黄栀子为我国卫生健康委员会（原卫生部）第一批颁布的 87 种“药食同源”物质名单之列[1]，其味苦、性寒，其主要的药理作用包括清肺止咳、凉血止血，抗菌消炎[2−3]、护肝利胆[4−5]、降压镇静[6−7]、止血消炎[8−9] 等。其花纯白，芳香浓郁，历来广受喜爱，常用于食用、药用、妆用[8]。目前有关黄栀子的研究主要集中在系统分类学[10]、栽培养护[11−12]、化学成分分析[13−14]、药理作用[15]、色素提取[16] 等方面。

“福鼎栀子花”已获国家地理标志证明商标[17−18]，具有产量高、香气高、花期长等特点，目前，福鼎市栀子种植面积 6 万多亩，年产鲜花、鲜果 6 万多吨[19]，是国内栀子原料林面积最大、产量最多的栀子产区和栀子果交易集散地[20]。采用黄栀子鲜花与白茶窨制而成的栀子花白茶是花茶，属于再加工茶，现为福鼎特色的农产品。栀子花白茶的开发与利用对福鼎黄栀子特色农业产业链发展具有现实意义，同时，对于丰富我国花茶品类、增加茶农收入等具有重要意义[21−22]。前人在栀子花茶的窨制工艺，窨制方式，品类，等级，香气成分等方面进行了研究，而有关栀子花应用于窨制白茶的挥发性香气组分相关研究较少。刘先华[23]、王绍梅等[24]、阙玉林等[25] 先后报道了栀子绿茶，栀子花红茶，栀子花白茶的制作工艺，阐述了窨制过程的具体参数，对生产具有重要的借鉴意义，但未实现品质理化成分分析。袁林颖等[26] 利用针形茶坯窨制栀子花茶、发现采用连二窨间隔烘焙窨制的三段连窨一提（六窨一提）制成的栀子花茶品质最佳。汪松能等[27] 利用三窨一提，且采用箱窨的工艺制成栀子花茶成品茶品质优异。周颖等[28]、仇方方[29]、李丽霞等[30] 采用感官评价、主要品质成分评价分析，对宜昌市栀子花红茶及栀子花绿茶，宜宾市栀子花红茶进行品质分析，鉴定出关键香气成分物质，但未涉及栀子花茶产地及年份区分。对比不同年份栀子花白茶挥发性香气组分进行测定，并结合感官评价分析福鼎栀子花白茶香气特征，挖掘栀子花白茶中特有的挥发性香气成分，可为福鼎黄栀子植物资源的开发利用提供参考价值。因此，本研究利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱（HS-SPME-GC-MS）联用技术并结合多元统计分析（统计分析与单元统计分析）方法探究福鼎栀子花白茶原茶坯白牡丹与窨制后成茶的关键挥发性香气成分差异，分析比较不同年份栀子花白茶香气成分的动态变化，以期为福鼎栀子花白茶品质及综合开发利用提供理论支持。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

不同窨制年份的茶样　采集 2021 年、2023 年来自福建省福鼎市，由福鼎市鼎科农业发展有限公司与福鼎市农（茶）业科学研究所制作的栀子花白茶样品，所有的样品均为散茶（嫩度相同），且栀子花与茶青来自同一采收季节。

Agilent 8890-7000D GC-MS/MS、SPME Arrow 固相微萃取装置、Fiber Conditioning Station 萃取头老化装置　美国安捷伦公司；MM400 球磨仪、MS105DU 电子天平、SPME Arrow 固相微萃取装置　瑞士思特斯分析仪器有限公司。

1.2　实验方法

1.2.1　样品制作方法　采用 2021 年（BMDZ-2021），2023 年（BMDZ-2023）福鼎大白茶品种制作的白牡丹作为茶坯进行窨制，窨制工艺参照阙玉林等[25] 的方法，对照样为原茶坯白牡丹（BMD-CK），品种为福鼎大白茶，样品均设置 3 个生物学重复。

1.2.2　感官评价方法　按国家标准 GB/T 23776-

2018《茶叶感官审评方法》[31] 及 T/CSTEA 00039-2022《福鼎栀子花白茶》[32] 对样品进行感官评价综合评定。由具有评茶员资质(评茶员三级及以上)的 5 名专业人员(3 男, 2 女, 年龄 25~56 岁)对样品外形、汤色、香气、滋味和叶底进行评价。外形从形状、色泽和匀整度方面进行评价; 扦取 3 g 白茶茶坯样品, 用 150 mL 沸水冲泡 5 min, 对汤色、香气、滋味品质进行评价; 扦取 3 g 栀子花白茶样品, 用 150 mL 沸水冲泡 2 次, 第一次浸泡 3 min, 评汤色、香气(鲜灵度和纯度)、滋味; 第二次冲泡 5 min, 沥出茶汤, 依次审评汤色、香气(浓度和持久性)、滋味、叶底。结果两次冲泡综合评判。叶底放置于叶底盘进行评价。结果采用评语与评分形式展示, 并按照加权法进行评分。

1.2.3 HS-SPME 萃取 将液氮研磨后的 0.5 g 栀子花白茶样品加入含有饱和氯化钠溶液和 10 μL (50 μg/mL)3-己酮内标溶液于顶空样品瓶中, 置于 60 ℃ 恒温水浴锅加热 5 min, 将预先老化过的萃取头插入样品顶空瓶进行顶空萃取 15 min, 于 250 ℃ 下解析 5 min。

1.2.4 GC-MS 条件 色谱柱: DB-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 载气为高纯氦气(纯度: 99.999%); 恒流流速 1.2 mL/min; 进样口温度 250 ℃, 不分流进样; 程序升温: 初始温度 40 ℃ 保持 3.5 min, 然后以 10 ℃/min 升至 100 ℃, 再以 7 ℃/min 升至 180 ℃, 最后以 25 ℃/min 升至 280 ℃, 保持 5 min。

电子轰击离子源(EI), 离子源温度: 230 ℃, 四级杆温度: 150 ℃, 质谱接口温度: 280 ℃; 电子能量: 70 eV, 采用离子检测模式(SIM), 定性定量离子精准扫描。

1.3 数据处理

参照邵淑贤等[33] 的方法计算相对气味活性值(ROAV, μg/g)。ROAVi≈(Ci/Cmax)/(Tmax/Ti)×100 (式中: Ci 为茶叶组分的相对含量(%); Ti 为组分 i 在水中的香气阈值(μg/kg); Cmax 与 Tmax 为对样品总体风味贡献最大的组分的相对含量(%)和香气阈值(μg/kg))。使用 Excel、Origin 2019 软件进行数据整理和柱状图、折线图等图表绘制, 其中香气指数的计算公式为 $y=206.69e^{0.1747x}$, $R^2=0.9996$; 使用 SPSS 19.0 软件进行数据差异显著性分析; 使用 SIMCA14.1 软件对 ATD-GC-MS 数据进行 PCA 及 OPLS-DA 分析, 并以 $P<0.05$、VIP≥1 为条件筛选差异香气成分。使用 TBtools 软件绘制热图。

2 结果与分析

2.1 栀子花白茶感官评价结果

由图 1 与表 1 可知, 与原茶坯白牡丹(图 1(a))相比, 经栀子花窨制加工后(图 1(b)~图 1(c)), 成茶的外形形态呈现芽叶连枝, 2021 年与 2023 年成茶外形色泽出现绿欠亮及绿尚亮, 汤色变化较明显, 2021 年与 2023 年汤色色调基本一致, 以黄为主、明亮, 但深浅度不同, 说明不同年份的成品茶在干茶外形及茶汤的深浅度上具有明显的差异性。窨花后的 2 种栀子白茶具有较浓郁甜香持久的果香, 2023 年香气得分明显高于其茶坯。其中, 2023 年栀子花白茶整体得分较高, 香气品质较好, 滋味浓爽, 水含香, 而 2021 年栀子花白茶得分较之 2023 年总体得分较低, 尤其是香气评分差异大, 说明栀子花白茶香气的高低受年份影响较大, 芳香物质可能易受环境变化影响。

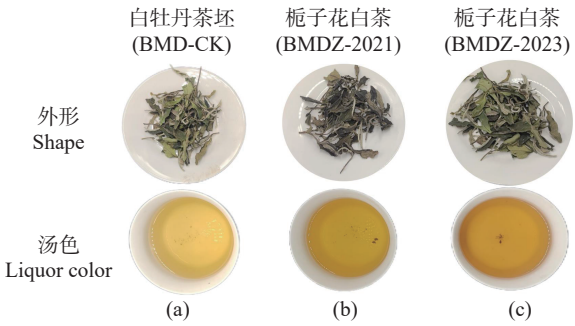


图 1 栀子花白茶外形与汤色

Fig.1 Appearance and soup color of gardenia white tea

2.2 栀子花白茶香气成分特征分析

2.2.1 原茶坯与栀子花白茶共有香气成分分析 基于 HS-SPME-GC-MS 技术, 对原茶坯及栀子花白茶的挥发性成分进行检测, 共 492 种(图 2), 分为 15 大类, 其中萜类占比 20%, 酯类占比 17%、烃类占比 10%、醇类占比 6.5%、酮类占比 7%、醛类占比 6.5%、芳烃占比 6%。其中共有香气成分 75 种, 酯类占比 24%、醛类占比 22%、醇类 7%、酮类占比 7%、芳烃 8%。栀子花白茶的香气以萜类与酯类为主, 其中芳樟醇、β-紫罗兰酮、苯甲酸甲酯、异戊酸苯

表 1 栀子花白茶窨制前后及不同年份栀子花白茶感官评价结果

Table 1 Sensory evaluation results of gardenia white tea before and after fermentation and in different years

编号	品名	品类	外形		汤色		香气		滋味		叶底		总分
			评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	
1	白牡丹茶坯(BMD-CK)	白茶	芽叶连枝, 绿, 毫显	90	杏黄明亮清澈	92	清纯	90	清, 鲜爽	92	肥厚, 绿润	90	91
2	栀子花白茶(BMDZ-2021)	再加工茶	芽叶尚连枝, 绿欠亮, 毫显	89	深黄, 明	84	果香显, 尚鲜灵	87	醇厚, 微有涩味	84	肥厚, 绿匀尚亮	85	86
3	栀子花白茶(BMDZ-2023)		芽叶连枝, 绿尚亮, 毫显	90	浅黄, 明	90	果香浓甜, 鲜灵	95	浓爽, 水含香	96	肥厚, 绿匀	90	94

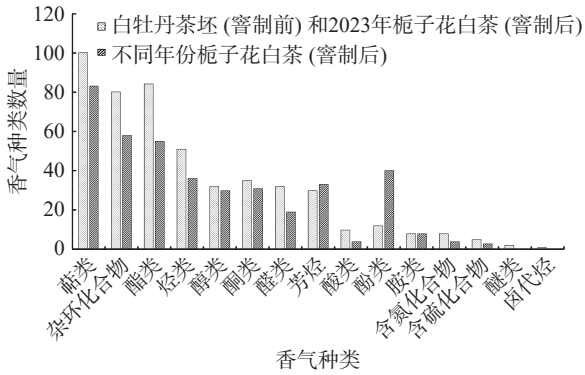


图 2　栀子花白茶香气成分种类数量图

Fig.2　Types of aroma components in gardenia white tea

乙酯物质含量均较高，常表现出栀子花茶具有幽雅的花香和甜果香的香气成分特征，这与香气感官评价结果基本一致。通过计算 ROAV，确定挥发性物质对样品风味的贡献。一般认为 ROAV≥1 的挥发性物质是样品中的关键风味物质，0.1<ROAV<1 的挥发性物质是对样品的总体风味起修饰作用[34−35]。结合表 2 中 ROAV 值贡献值与香气阈值得知，与原茶坯相比，栀子花白茶的关键香气成分数量较多，表现为香气呈现花香，甜果香的特征，且香气较为浓郁。主要是加工过程中栀子花鲜花香气赋予茶坯的香气，致使茶坯中的香气积累。其中栀子花茶主要贡献香气成分是苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、丁酸己酯、己酸丁酯、(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮。

2.2.2　不同年份窨制栀子花白茶香气成分分析　对不同年份窨制栀子花白茶挥发性成分，共检测出 378 种(图 2)，萜类 83 种、杂环化合物 58 种、酯 55 种、烃类 36 种、醇 30 种、酮 31 种、醛 19 种、芳烃 33 种、酸 4 种、酚 10 种、胺 8 种、含氮化合物 4 种、含硫化合物 3 种、卤代烃 2 种。其中共有香气成分 73 种，萜类 12 种、酯类 13 种、醛类 8 种、醛 8 种、杂环化合物 15 种，醇类 8 种、酮 5 种、芳烃 9 种、含氮化合物 1 种。

主成分分析(Principal Component Analysis，PCA)分析结果表明(图 3(a))，白牡丹(BMD-CK)、栀子花白茶(BMDZ-2021)和栀子花白茶(BMDZ-2023)的挥发性香气成分分布明显分离，说明 3 种样品在得分图上实现了良好的区分，窨制前后茶叶样品彼此分离，说明窨制前后其挥发性成分发生了显著变

表 2　栀子花白茶差异香气成分筛选及 ROAV 值

Table 2　Different aroma components screening and OAV values of gardenia white tea

编号	挥发性成分		CAS号	保留指数	香气阈值 (μg/g)	ROAV值			VIP	*P*值	香气描述
						BMD-CK	BMDZ-2021	BMDZ-2023			
1		丁位十二内酯	713-95-1	1720	0.008	4.92±1.01^{a}	1.93±0.47^{b}	1.31±0.06^{b}	1.353	0.01378	奶油香，椰子香，甜香
2		丙位辛内酯	104-50-7	1261	0.018	19.73±1.39^{a}	23.03±3.47^{a}	23.24±3.23^{a}	1.026	0.01259	椰子香，甜香
3		葫芦巴内酯	28664-35-9	1110	0.011	330.94±7.32^{c}	747.22±57.68^{b}	1456.72±14.07^{a}	1.233	0.00011	焦糖、咖啡
4		邻甲氨基苯甲酸甲酯	85-91-6	1408	0.020	2.84±0.13^{a}	0.08±0.004^{b}	0.14±0.002^{b}	1.246	0.00000	清香、果香
5		苯甲酸己酯	6789-88-4	1580	0.073	0.07±0.04^{b}	2.48±0.44^{b}	19.32±2.03^{a}	1.357	0.00005	木香、轻微的果香
6		苯甲酸甲酯	93-58-3	1098	0.001	2649.72±59.69^{b}	7624.14±2508.55^{b}	15066.52±132.01^{a}	1.203	0.03471	花果香、似依兰花香与樱桃果香
7		2-甲基丁酸2-甲基丁酯	2445-78-5	1105	0.075	1.49±0.12^{c}	4.49±0.28^{b}	9.33±0.16^{a}	1.271	0.00002	橘皮香、花香、甜果香
8		2-甲基丁酸异丁酯	2445-67-2	1004	0.043	2.17±0.12^{a}	1.19±0.19^{b}	1.77±0.14^{a}	1.301	0.00039	甜果香
9		2-甲基丁酸3-甲基丁酯	27625-35-0	1101	0.140	0.80±0.07^{c}	2.40±0.15^{b}	5.00±0.09^{a}	1.271	0.00002	果香
10		异戊酸己酯	10032-15-2	1236	0.022	0.30±0.09^{b}	43.50±2.45^{b}	230.15±39.58^{a}	1.334	0.00073	带刺激性的生果实气味
11	酯类	2-甲基丁酸丙酯	539-90-2	954	0.009	3.55±0.04^{a}	2.83±0.17^{b}	0.75±0.04^{c}	1.301	0.00004	带刺激性酒香、果味
12		异戊酸苯乙酯	140-26-1	1491	0.000	8946.60±1186.29^{c}	101405.89±9441.58^{b}	202957.38±9407.84^{a}	1.250	0.00002	花果味、似玫瑰花香与柑橘香
13		3-甲基丁酸苯甲酯	103-38-8	1395	0.010	1.07±0.38^{c}	5.51±0.23^{b}	12.99±0.24^{a}	1.155	0.00003	清香、果香似苹果和蓝干酪香气
14		丁酸己酯	2639-63-6	1190	0.203	0.17±0.01^{c}	1.19±0.07^{b}	1.92±0.05^{a}	1.172	0.00015	清香、强烈的混合水果香气和菠萝香味
15		癸酸甲酯	110-42-9	1326	0.004	1.46±0.07^{b}	3.53±1.91^{b}	54.11±1.03^{a}	1.268	0.00001	带刺激性酒香、花果香
16		2-甲基丁基己酸酯	2601-13-0	1247	0.032	12.11±0.09^{a}	8.27±1.87^{a}	2.77±0.35^{b}	1.327	0.00113	–
17		己酸丁酯	626-82-4	1189	0.700	0.10±0.004^{c}	0.59±0.03^{b}	1.49±0.04^{a}	1.323	0.00000	果香
18		己酸乙酯	123-66-0	999	0.005	7.33±0.29^{a}	4.02±0.44^{b}	5.04±0.37^{b}	1.383	0.00008	甜香、柑橘香(橙皮香)
19		异戊酸异丁酯	589-59-3	1005	0.034	2.75±0.15^{a}	1.50±0.24^{b}	2.24±0.18^{a}	1.301	0.00039	甜香、柑橘香(橙皮香)
20		异丁酸2-甲基丁酯	2445-69-4	1016	0.014	5.83±0.24^{a}	5.35±0.91^{a}	6.33±0.35^{a}	1.240	0.01148	热带果香
汇总		20种									

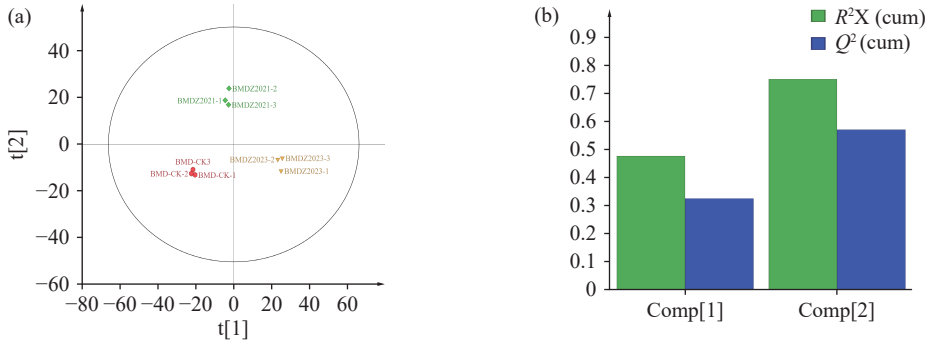
续表 2

编号	挥发性成分		CAS号	保留指数	香气阈值（μg/g）	ROAV值			VIP	*P*值	香气描述
						BMD-CK	BMDZ-2021	BMDZ-2023			
1	酮类	对甲基苯乙酮	122-00-9	1183	0.02	2.95±0.32^{ab}	3.77±0.49^{a}	1.35±0.52^{b}	1.012	0.00109	甜果香、坚果味似香草的香味
2		1-辛烯-3-酮	4312-99-6	976	0.00	10730.71±364.17^{b}	8655.56±481.09^{b}	13813.33±980.31^{a}	1.360	0.00060	–
3		(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮	488-10-8	1395	0.00	1599.87±21.65^{a}	356.68±57.05^{b}	42.23±5.30^{c}	1.407	0.00000	花香、似优雅的茉莉花香
4		甲基壬基甲酮	112-12-9	1295	0.01	6.81±0.33^{b}	7.33±0.48^{b}	100.14±1.07^{a}	1.228	0.00000	呈柑橘类、油脂和芸香似香气
5		(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	30086-02-3	1073	0.00	4764.31±149.44^{a}	1423.48±89.66^{b}	1778.50±24.71^{b}	1.366	0.00000	果香、草香
6		2,2-二甲基-3-己酮	5405-79-8	868	0.00	1.10±0.67^{c}	10.88±1.31^{b}	15.65±0.33^{a}	1.092	0.00012	–
7		4-甲基-3-戊烯-2-酮	141-79-7	798	0.20	1.73±0.02^{a}	1.46±0.15^{ab}	1.15±0.01^{b}	1.307	0.00176	似蜂蜜般的花蜜甜香
8		异佛尔酮	78-59-1	1123	0.01	5.61±0.27^{b}	12.42±1.06^{a}	1.28±0.72^{c}	1.008	0.00000	带刺激性的气味
汇总		8种				17113.09	10471.58	15753.63			
1	醛类	3,6-壬二烯醛	21944-83-2	1100	0.0001	38941.58±2734.63^{c}	113048.32±9165.24^{b}	225718.56±2196.92^{a}	1.2266	0.0002	清香
2		(S)-4-(1-甲基乙烯基)-1-环己烯-1-甲醛	18031-40-8	1207	0.0300	1.22±0.09^{b}	2.54±0.09^{b}	4.92±0.66^{a}	1.1561	0.0061	果香
3		反式-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	1320	0.0001	265.38±73.40^{c}	14430.33±1920.42^{b}	69099.04±379.66^{a}	1.3446	0.0000	果香
4		(Z)-癸-2-烯醛	2497-25-8	1252	0.0500	21.65±1.10^{a}	7.81±0.75^{b}	2.31±0.03^{c}	1.4090	0.0000	果香
5		5-甲基糠醛	620-02-0	965	0.5000	1.80±0.02^{ab}	1.94±0.02^{a}	1.70±0.09^{c}	1.2031	0.0003	花香
6		(Z)-3-己烯醛	6789-80-6	800	0.0040	25.29±0.71^{a}	6.28±0.80^{b}	6.64±0.25^{b}	1.3694	0.0000	果香
7		反-4-癸烯醛	65405-70-1	1198	0.0250	7.21±1.43^{b}	25.14±0.74^{b}	66.05±9.11^{a}	1.3019	0.0025	甜香、柑橘香
8		(4Z)-4-庚烯醛	62238-34-0	899	0.0042	13.79±0.45^{a}	5.88±0.77^{b}	6.30±0.30^{b}	1.3659	0.0002	甜香、柑橘香
9		顺-4-庚烯醛	6728-31-0	900	0.0000	3713.73±52.57^{a}	1602.81±224.48^{b}	1840.87±111.96^{b}	1.3518	0.0001	油脂味
10		(Z)-6-壬醛	2277-19-2	1104	0.0001	38965.82±716.96^{c}	85313.49±5540.75^{b}	175900.38±1655.52^{a}	1.2745	0.0000	–
11		苯甲醛	100-52-7	962	0.3500	15.63±0.76^{a}	11.51±0.79^{b}	4.03±0.32^{c}	1.3232	0.0001	焦糖、杏仁香
12		苯乙醛	122-78-1	x	0.0063	84.84±4.93^{c}	690.02±48.01^{b}	1317.94±108.49^{a}	1.2322	0.0002	高浓度时带强烈风信子花香、低浓度时有杏仁、樱桃果香
13		庚醛	111-71-7	901	0.0028	66.56±2.02^{a}	24.83±2.18^{c}	34.72±0.52^{b}	1.3410	0.0000	果香
14		己醛	66-25-1	800	0.0050	125.45±1.49^{a}	28.11±3.13^{b}	32.01±0.34^{b}	1.3595	0.0000	苹果香味、青草气
15		正壬醛	124-19-6	1105	0.0010	676.90±32.36^{c}	1635.09±58.30^{b}	3107.30±44.40^{a}	1.1914	0.0001	强烈甜橙香
汇总		15种				82926.84	216834.12	477142.76			
1	醇类	3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	29957-43-5	1107	0.11	8.25±0.11^{c}	42.66±1.41^{b}	72.02±1.49^{a}	1.18	0.00	草木香
2		1-庚醇	111-70-6	970	0.00	84.90±8.00^{a}	7.96±0.43^{b}	19.52±1.37^{b}	1.17	0.00	辛香、柑橘香
3		1-辛醇	111-87-5	1069	0.02	10.36±0.04^{a}	7.51±0.50^{b}	6.20±0.04^{c}	1.38	0.00	浓郁的花果香、似柑橘香、玫瑰香
4		反式-2-辛烯-1-醇	18409-17-1	1067	0.02	9.24±0.06^{b}	14.06±0.72^{a}	5.17±0.23^{c}	1.06	0.00	柑橘香
5		(Z)-3-己烯醇	928-96-1	856	0.05	37.97±3.75^{a}	18.63±4.49^{b}	15.44±0.40^{b}	1.34	0.01	似玫瑰花香、果甜香
6		3-辛醇	589-98-0	994	0.08	1.69±0.14^{a}	1.65±0.05^{a}	0.38±0.01^{b}	1.25	0.00	坚果香
7		脱氢芳樟醇	20053-88-7	1106	0.11	8.25±0.11^{c}	42.66±1.41^{b}	72.02±1.49^{a}	1.18	0.00	花香、清香、木质香
8		2-苯乙醇	60-12-8	1116	0.14	110.57±4.01^{a}	94.42±7.73^{a}	39.20±8.24^{b}	1.28	0.00	玫瑰花香
汇总		8种									
1	萜类	脱氢B-环柠檬醛	116-26-7	1205	0.00	32.94±4.01^{c}	155.75±11.22^{b}	304.94 ±97.73^{a}	1.22	0.00	天然的清香
2		胡萝卜醇	465-28-1	1594	0.01	0.25±0.09^{c}	0.80±0.13^{b}	1.67±0.07^{a}	1.03	0.01	
3		萜品油烯	586-62-9	1090	0.20	20.09±0.29^{a}	25.34±2.93^{a}	21.22±1.75^{a}	1.02	0.00	柑橘味
4		香叶醇	106-24-1	1255	0.01	547.33±26.79^{a}	185.29±16.87^{b}	149.48±10.34^{b}	1.42	0.00	花香、果香气味
5		芳樟醇	78-70-6	1100	0.01	1070.39±17.58^{c}	2432.26±178.36^{b}	4812.60±47.41^{a}	1.24	0.00	柑橘花香、甜玫瑰气味
6		*δ*-杜松烯	483-76-1	1524	0.00	52.24±2.76^{c}	145.11±24.53^{b}	228.65±1.43^{a}	1.05	0.00	木质香味
7		*β*-紫罗兰酮	79-77-6	1492	0.00	18093.81±275.54^{a}	12375.90±2576.97^{a}	3373.18±1965.11^{b}	1.23	0.00	木香和紫罗兰花香
8		*β*-罗勒烯	3779-61-1	1049	0.03	53.03±1.66^{c}	126.00±12.08^{b}	387.59±15.93^{a}	1.39	0.00	柑橘柠檬味
汇总		8种									
1	芳烃	1,2,4,5-四甲基苯	95-93-2	1115	0.09	3.08±0.31^{a}	3.51±0.27^{a}	2.83±0.20^{a}	1.13	0.00	甜香
2		1,2,4-三甲基苯	95-63-6	994	0.26	0.60±0.03^{b}	1.28±0.05^{b}	2.44±0.47^{a}	1.05	0.03	芳香
3		1,4-二氯苯	106-46-7	1021	0.03	17.60±1.58^{a}	9.13±0.44^{b}	8.17±1.10^{b}	1.39	0.00	芳香
4		1-甲基-4-硝基-苯	99-99-0	1212	0.00	39.20±3.28^{b}	67.19±3.81^{b}	192.26±28.54^{a}	1.34	0.01	杏仁香
5		4-烯丙基苯甲醚	140-67-0	1202	0.04	2.50±0.26^{ab}	3.15±0.16^{a}	1.82±0.30^{b}	1.10	0.00	草本香气

续表 2

编号	挥发性成分		CAS号	保留指数	香气阈值（μg/g）	ROAV值			VIP	*P*值	香气描述
						BMD-CK	BMDZ-2021	BMDZ-2023			
6		萘	91-20-3	1189	0.05	15.32±1.25^{b}	20.85±1.23^{a}	4.12±0.43^{c}	1.15	0.00	辛香
7		1,2,3,4-四氢萘	119-64-2	1155	0.05	1.81±0.14^{a}	1.94±0.11^{a}	0.77±0.09^{b}	1.21	0.00	薄荷香
汇总		7种									
1		桃醛	104-67-6	1577	0.00	0.85±0.04^{b}	0.91±0.06^{b}	9.71±0.64^{a}	1.23	0.00	果香、奶油香
2		5-乙基-2(5H)-呋喃酮	2407-43-4	966	0.01	91.23±0.91^{ab}	99.23±0.95^{a}	86.74±4.69^{b}	1.20	0.00	甜果香、焦糖枫味
3		5-乙基-3-羟基-4-甲基-2(5H)-呋喃酮	698-10-2	1195	0.00	136828.99±1786.28^{a}	130705.92±7308.64^{a}	190164.38±28181.72^{a}	1.13	0.04	甜果香、焦糖枫味
4		2-乙酰基1,4,5,6-四氢吡啶	25343-57-1	1061	0.00	253.00±6.74^{b}	330.24±16.39^{a}	206.27±14.03^{c}	1.08	0.00	焦糖味
5		2-乙酰基3,4,5,6-四氢吡啶	27300-27-2	1064	0.00	145.75±4.52^{a}	133.38±5.71^{a}	103.03±0.34^{b}	1.31	0.00	焦糖味、似烤面包
6		2-乙氧基-3-甲基吡嗪	32737-14-7	1065	0.00	2254.74±60.01^{a}	1849.68±158.48^{b}	1168.67±34.05^{b}	1.33	0.00	烤杏仁味
7		2-乙基-3-甲氧基吡嗪	25680-58-4	1054	0.01	5.75±0.05^{a}	5.96±0.27^{a}	2.44±0.10^{b}	1.23	0.00	坚果味
8		5-甲基-2-呋喃甲硫醇	59303-05-8	995	0.00	3034.78±102.24^{a}	3060.40±133.93^{a}	2448.15±183.44^{b}	1.23	0.00	烘焙咖啡味
9	杂环化合物	2-噻吩甲基硫醇	6258-63-5	1105	0.00	17711.13±456.24^{c}	39224.72±3360.60^{b}	74257.85±708.50^{a}	1.20	0.00	烘焙咖啡
10		四氢-6-甲基-2H-吡喃-2-酮	823-22-3	1095	0.03	14.72±0.21^{c}	32.80±2.02^{b}	65.61±0.58^{a}	1.25	0.00	–
11		3-甲氧基-2,5-二甲基吡嗪	19846-22-1	1057	0.00	574.90±5.31^{a}	595.87±27.26^{a}	243.62±9.60^{b}	1.23	0.00	–
12		苯并噻唑	95-16-9	1228	0.08	0.08±0.04^{c}	3.32±0.31^{b}	7.14±1.25^{a}	1.23	0.00	带刺激性的气味
13		2-乙酰基噻吩	88-15-3	1092	0.00	798.14±41.97^{c}	2236.11±219.2^{b}	4208.25±44.14^{a}	1.22	0.00	坚果味、似榛子、核桃味
14		2-戊基呋喃	3777-69-3	992	0.01	225.94±9.63^{a}	125.09±6.70^{b}	221.10±9.62^{a}	1.28	0.00	果味
15		吲哚	120-72-9	1298	0.04	0.30±0.11^{b}	5.61±2.12^{b}	355.86±14.75^{a}	1.38	0.00	花香
16		3-甲基-1H-吲哚	83-34-1	1391	0.00	2.56±0.12^{b}	2.75±0.18^{b}	30.05±2.42^{a}	1.22	0.00	–
17		2-乙基-3-甲基吡嗪	15707-23-0	1004	0.24	0.90±0.09^{c}	3.90±0.13^{b}	8.28±1.05^{a}	1.26	0.00	坚果味
18		2-乙基-5-甲基吡嗪	13360-64-0	1005	0.02	13.45±1.29^{c}	58.50±1.95^{b}	124.24±15.70^{a}	1.26	0.00	咖啡味
19		2-异丙基-3-甲氧基吡嗪	25773-40-4	1097	0.00	106247.95±36987.11^{c}	488905.74±53595.19^{b}	892602.56±8149.59^{a}	1.05	0.00	土豆味
汇总		19种				268205.14	667380.11	1166313.95			
1	酚类	子香酚	97-53-0	1362	0.00	6.47±4.98^{c}	33.56±8.46^{b}	73.12±3.22^{a}	1.27	0.00	花香
汇总		1种									
1	胺类	N,N-二甲基-苯胺	121-69-7	1101	0.01	15.77±0.37^{c}	35.45±3.64^{b}	64.76±0.60^{a}	1.17	0.00	–
汇总		1种				15.77	35.45	64.76			
1	含氮化合物	十二腈	2437-25-4	1490	0.00	1388.10±66.34^{a}	591.81±105.20^{b}	388.06±10.62^{b}	1.41	0.00	橘橙皮
汇总		1种									
1	含硫化合物	苯甲硫醇	100-53-8	1092	0.00	701817.87±17337.21^{c}	1619028.61±132454.04^{b}	3065890.36±31197.09^{a}	1.21	0.00	带刺激性混合气味
汇总		1种									

注：同行上标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）；–表示无数据；香气阈值及香气描述来源于文献[36−43]。



$R^2X[1]=0.476$　$R^2X[2]=0.273$　Ellipse: Hotelling's T2 (95%)

图 3　栀子花白茶各组样品与质控样品质谱数据的 PCA 图(a)和样本 R^2X 与 Q^2 分布图(b)

Fig.3　PCA score plot (a) and R^2X vs Q^2 score plot (b) of mass spectrometry data for each group of gardenia white tea samples and quality control samples

化。其中主成分 1(t[1])的贡献率为 47.6%，主成分　2(t[2])的贡献率为 27.3%，置信区间为 95%，从总体

上看组间存在明显差异，样本数据稳定性与可靠性高，可进行后续分析。R^2X 即累积解释率，Q^2 即累积预测率，可反映本次样品数据离散程度（图 3（b）），自动拟合模型获得主成分 1 的累积解释率 $R^2X(cum^1)$ 为 0.476，累积预测率 $Q^2(cum^1)$ 为 0.326，主成分 2 的累积解释率 $R^2X(cum^2)$ 为 0.750，累积预测率 $Q^2(cum^2)$ 为 0.571，累计贡献率达>0.70以上，反映本次样本数据解释变异高，可涵盖样本数据的主成分主要特征信息，数据质量可靠，可代表栀子花茶的香气的主体特征具有差异，其中苯甲酸己酯、苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、芳樟醇、β-罗勒烯表现出差异较大（表 2），可作为区分白茶素坯和栀子花茶的主要香气成分。这一结果表明，栀子花茶香气成分受环境因素的影响大。

2.3　栀子花白茶差异香气成分 OPLS-DA 分析

原茶坯及栀子花白茶差异香气成分 OPLS-DA 分析如图 4，采用监督分析方法即 OPLS-DA 评价模型探究原茶坯及不同年份的栀子花白茶之间的香气差异，发现组间差异明显，说明栀子花茶窨制前后及不同年份栀子花茶的香气成分组成具有明显差异，而不同组别组内差异较小，这可能反映了花茶在制作过程中环境因素的变化对芳香物质的影响较大。采用 200 次置换检验，通过预测参数 R^2X，R^2Y 和 Q^2，其中 R^2X 和 R^2Y 表示所建模型的预测能力。原茶坯与栀子花白茶 OPLS-DA 分析模型如图 5 所示得出预测参数 R^2X 为 0.749，R^2Y 为 0.992 和 Q^2 为 0.964。不同年份窨制栀子花白茶香气成分 OPLS-DA 分析模型如图 4 得出，P<0.005，R^2X 为 0.476，R^2Y 为 0.996 和 Q^2 为 1，原茶坯与栀子花白茶 OPLS-DA 分析模型如图 5 所示，得出预测参数 R^2X 为 0.71，R^2Y 为 0.992 和 Q^2 为 0.964。以上两个 OPLS-DA 分析模型的 R^2Y 和 Q^2 均接近于 1，该评价模式为出色的模型（Q^2>0.9）。

2.4　原茶坯及栀子花白茶差异香气成分差异代谢物的 ROAV 值分析

由 ROAV 分析结果表明（表 2），窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶（ROAV>10），起决定性作用的香气成分共有 15 种，其中异戊酸苯乙酯、1-辛烯-3-酮等赋予栀子花白茶柑橘柠檬香甜果味，玫瑰花香甜味等方面的香气；苯甲酸甲酯、3-甲基丁酸苯甲酯、(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮等赋予栀子花白茶幽雅的花蜜香等方面的香气。这些物质赋予栀子花白茶香气呈现果实型及花蜜型的甜香。其中苯甲酸已酯、苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、反式-2,4-癸二烯醛、正壬醛、脱氢芳樟醇、脱氢 B-环柠檬醛、芳樟醇其 ROAV 值上升 10 倍以上，而(Z)-3-甲基-2-

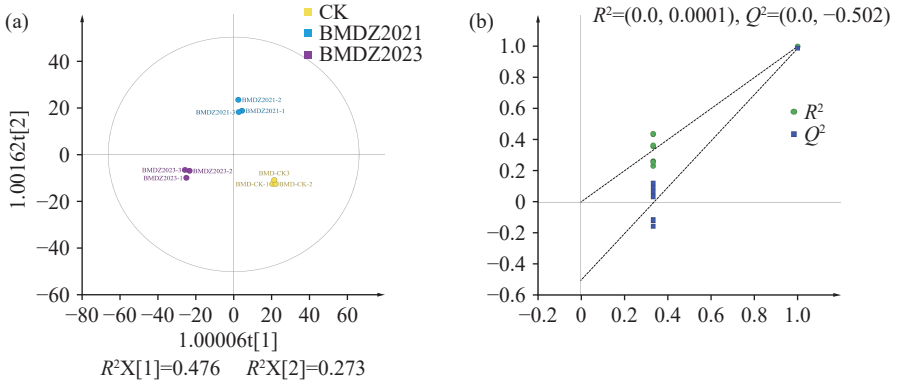


图 4　不同年份窨制栀子花白茶香气成分 OPLS-DA 分析

Fig.4　OPLS-DA analysis of aroma components in gardenia white tea aged in different years

注：(a)OPLS-DA 得分图；(b)OPLS-DA 验证图。

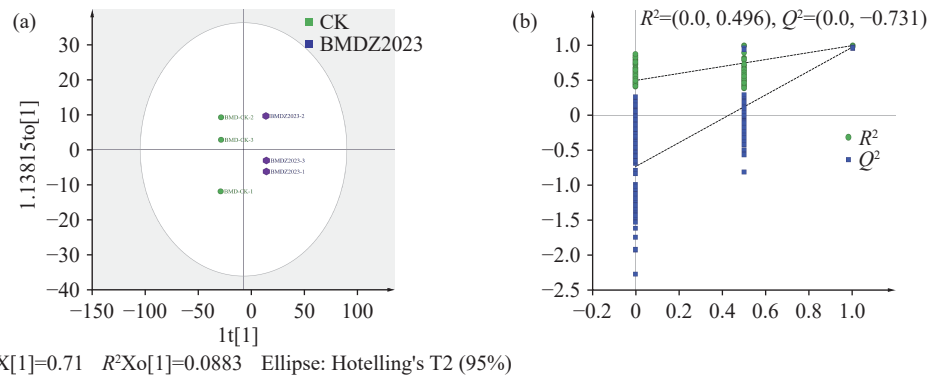


图 5　原茶坯及栀子花白茶差异香气成分 OPLS-DA 分析

Fig.5　OPLS-DA analysis of differences in aroma components between raw tea and gardenia white tea

注：(a)OPLS-DA 得分图；(b)OPLS-DA 验证图。

(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮、顺-4-庚烯醛、苯甲醛、庚醛、1-庚醇、2-苯乙醇、香叶醇、β-紫罗兰酮、1,4-二氯苯其 ROAV 值减少 5 倍以上，以上分析结果表明白茶经过窨花处理后，果实甜香与花蜜甜香强度增加，而木质香、清香、奶香强度下降，这可能与干燥方式有关，窨花处理有助于改善新白茶的青气，提高栀子花白茶香气的鲜灵度，形成甜香浓郁的品质特征。由此可知，苯甲酸已酯、苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、反式-2,4-癸二烯醛、正壬醛、脱氢芳樟醇等是构成栀子花白茶特征香气的主要香气成分。

2.5　不同年份窨制栀子花白茶香气差异代谢物的 ROAV 值分析

通过查阅相关文献及比较数据库中香气成分在水溶液的香气阈值，对不同年份窨制栀子花白茶的关键呈香物质(ROAV>10)的 ROAV 分析，结果如表 2 可知。对区分不同年份栀子花白茶香气共有 45 种，包含果实甜香型、花蜜甜香型、花香型、木质香、草本香、脂香的香气物质。其中 19 种 ROAV 大于 10，可作为区分不同年份栀子花白茶的差异香气成分，其中苯甲酸己酯、苯甲酸甲酯、2-甲基丁酸 2-甲基丁酯、异戊酸苯乙酯、异戊酸己酯、癸酸甲酯、3-甲基丁酸苯甲酯、癸酸甲酯、(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮、甲基壬基甲酮、反-2,4-癸二烯醛、反-4-癸烯醛、苯乙醛、庚醛、正壬醛、1-庚醇、脱氢芳樟醇、香叶醇、芳樟醇、β-紫罗兰酮等。这些香气与窨制前后的差异香气成分基本一致，ROAV 值变化基本相同，说明年份是影响花茶极易受到环境影响而导致香气品质下降。筛选得到的 7 种特征挥发性成分呈现有规律的变化，苯甲酸甲酯均值显著上升了 187.73% ~468.61%；异戊酸苯乙酯增加了 1033.46%~2168.54%；反式-2,4-癸二烯醛增加了 5337.61%~25937.77%；正壬醛增加了 141.56%~359.05%；芳樟醇增加了 127.23%~349.61%，而香叶醇减少了 66.14%~72.7%；β-紫罗兰酮减少了 31.59%~81.36%。

3　讨论与结论

香气是窨制型花茶的重要影响因子，是衡量评价茶叶品质优劣的重要指标[36]。近年，对栀子花植物的研究多数在活体上进行检测香气，对于离体栀子花香气对茶坯的影响较少，但通过前人的研究发现，窨制型花茶，如茉莉花茶，桂花茶呈现出不同的花果类香气成分，可能和其它香气物质间有互作效应导致的结果[37]。本研究对栀子花白茶窨制前的茶坯与窨制后的花茶，不同生产窨制年份的栀子花白茶进行挥发性成分的对比，发现香气成分含量上差异明显。结合正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)和相对气味活度值(ROAV)筛选出栀子花白茶中 45 种挥发性成分，发现品质好的栀子花茶中苯甲酸甲酯、2-甲基丁酸 2-甲基丁酯、异戊酸苯乙酯、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮、反式-2,4-癸二烯醛、芳樟醇、β-紫罗兰酮的 ROAV 值较高，这 9 种香气成分是栀子花白茶的特征呈香物质成分。而窨制前的白茶素坯与窨制后的栀子花白茶，不同年份的栀子花白茶筛选出共有的香气挥发性成分共有 89 种，其中以萜类成分最多，酯类次之，但酯类成分由于 ROAV 值与香气阈值均大于萜类，构成栀子花白茶主要香气贡献成分，这与 Run 等[44]、Agnieszka 等[45] 等研究结果一致，研究结果显示离体栀子花以酯类物质为主要挥发性成分，这些化合物多表现为甜果香及花香，构成了栀子花鲜花香气的物质基础，说明栀子花茶的特征香气成分主要来源于窨制过程中白茶茶坯吸收栀子花鲜花的香气。对比白牡丹素坯，苯甲酸甲酯、异戊酸苯乙酯、1-辛烯-3-酮、苯甲酸甲酯、3-甲基丁酸苯甲酯、(Z)-3-甲基-2-(2-戊烯基)-2-环戊烯-1-酮这 6 种挥发性成分，其活性值在栀子花茶中成倍数增加，呈现浓郁的“花果香”的香气特征，这在一定程度上影响栀子花白茶香气浓度。而脱氢 B-环柠檬醛、邻甲氨基苯甲酸甲酯、丁酸己酯、3,6-壬二烯醛这 4 种挥发性成分呈现“清香”的香气特征，影响栀子花白茶香气鲜灵度。

本研究基于 HS-SPME-GC-MS 技术结合 ROAV 值分析窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶挥发性成分，及栀子花白茶不同年份的动态变化，结果表明窨制前茶坯及窨制后栀子花白茶挥发性成分共检测出 492 种，不同年份窨制栀子花白茶挥发性成分共检测出 378 种，其中酯类是栀子花白茶的主要的挥发性成分，比如苯甲酸甲酯(花果香、似依兰花香与樱桃果香)、异戊酸苯乙酯(花果味、似玫瑰花香与柑橘香)、反式-2,4-癸二烯醛(果香)、芳樟醇(柑橘花香甜玫瑰气味)、β-紫罗兰酮(花香、木质香)等；通过建立的 PLS-DA 模型，筛选出 79 种共有特征挥发性物质(VIP>1)，发现这些特征性物质在窨制后相对活性值呈现规律性增加的变化。

本实验结果丰富了花茶香气品质化学的理论基础，有助于为花茶香气品质的科学评价、质量等级判别以及加工品质调控等提供依据，为栀子花白茶风味品质进行量化评价及品质提升提供了参考依据。花香的形成依靠各种挥发物的相互作用，茶坯与栀子花不同种间的主要香气物质存在较大差异，这些差异可作为区分花香类型的依据，但栀子花茶品质不仅受茶坯质地、鲜花质量、窨制工艺的影响，还受干燥方式及保存条件等多种因素的综合作用。因此，有必要进一步开展茶坯吸附机理研究、窨制工艺研究、干燥方式创新等系统研究，全方面多角度分析栀子花茶香气品质，为栀子花茶工艺创新和品质提升提供科学支撑。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典一部：2020 年版

[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 1−2. [Pharmacopoeia Commission of the People's Republic of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, Volume I: 2020 Edition[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 1−2.]
[2] DONG X, LIU J, GUO S, et al. Metabolomics comparison of chemical components and metabolic regulations in different parts of *Eucommia ulmoides* Oliv[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2022, 15(12): 104304.
[3] SHAN M Q, YU S, YAN H, et al. A review on the phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of geniposide, a natural product[J]. Molecules, 2017, 22(10): 1689.
[4] BAI Y, GU Y W, LIU S Z, et al. Flavonoids metabolism and physiological response to ultraviolet treatments in *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 926197.
[5] 陈萍, 李朋, 张浩. 栀子黄色素与栀子苷降血脂和体内抗氧化作用的比较[J]. 华西药学杂志, 2016, 31(3): 254−256. [CHEN P, LI P, ZHANG H. Comparison of hypolipidemic and antioxidant effects of Gardenia yellow pigment and ia glycoside *in vivo*[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2016, 31(3): 254−256.]
[6] LÜ C H, LIU X, CHEN S Y, et al. Extract of *Gardenia jasminoides* Ellis attenuates high-fat diet-induced glycolipid metabolism disorder in rats by targeting gut microbiota and TLR4/Myd88/NF-*κ*B pathway[J]. Antioxidants, 2024, 13(3): 293.
[7] YIN S P, NIU L Q, ZHANG J, et al. Gardenia yellow pigment: Extraction methods, biological activities, current trends, and future prospects[J]. Food Research International, 2024, 179: 113981.
[8] HOU Z Y, SUN L, JIANG Z Y, et al. Neuropharmacological insights into *Gardenia jasminoides* Ellis: Harnessing therapeutic potential for central nervous system disorders[J]. Phytomedicine, 2024, 125: 155374.
[9] 杜少严, 王意浓, 康皓博, 等. 栀子的药用与保健价值及其应用研究进展[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(8): 60−63. [DU S Y, WANG Y N, KANG H B, et al. Research progress on the medicinal and health-care value and its of *Gardenia jasminoides* Ellis[J]. China Food and Nutrition, 2020, 26(8): 60−63.]
[10] 陈雅林. 栀子属资源概况及栀子本草学研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2018. [CHEN Y L. Overview of *Gardenia jasminoides* resources and the botanical research of Gardenia[D]. Beijing: Peking Union College, 2018.]
[11] 陈炬烽, 孔悦平, 贺肇东, 等. 栀子低产林改造及施肥试验[J]. 福建林业科技, 2024, 51(1): 69−72. [CHEN J F, KONG Y P, HE Z D, et al. Transformation and fertilization trial of low-yield gardenia forest[J]. Fujian Journal of Forestry Science and Technology, 2024, 51(1): 69−72.]
[12] 张梅坤, 孔悦平. 黄栀子丰产栽培技术研究[J]. 现代农业科技, 2014(24): 91−93. [ZHANG M K, KONG Y P. Research on high-yield cultivation technology of *Gardenia jasminoides* Ellis[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(24): 91−93.]
[13] LIU H, LIANG S C, ZHU M X, et al. A fused hybrid enzyme of 8-hydroxygeraniol oxidoreductase (8HGO) from *Gardenia jasminoides* and iridoid synthase (ISY) from *Catharanthus roseus* significantly enhances nepetalactol and iridoid production[J]. Planta, 2024, 259(3): 62.
[14] THINH B B, CHAC L D, THIN D B. Chemical constituents of essential oil from *Garcinia gaudichaudii* and its antimicrobial activity[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2024, 60(2): 350−352.
[15] LI K Q, GAO L Q, YANG X L, et al. Genome-wide resequencing reveals genetic relationships between main *Gardenia jasminoides* Ellis cultivars[J]. Horticulturae, 2023, 9(7): 754.
[16] 卢路路. 栀子花功效成分及生物活性探索研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2021. [LU L L. Exploration and research on the efficacy components and biological activity of *Gardenia jasminoides* Ellis[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2021.]
[17] 林茂阳. 福建福鼎: 发展栀子产业助推乡村振兴[N]. 中国商报, 2023-06-16(007). [LIN M Y. Fuding, Fujian: Developing gardenia industry to boost rural revitalization[N]. China Business, 2023-06-16(007).]
[18] 单志强, 王婷婷. 栀子花开产业兴[N]. 福建日报, 2023-06-16(002). [SHAN Z Q, WANG T T. The blooming cape jasmine flowers thrive the industry[N]. Fujian Daily, 2023-06-16(002).]
[19] 李程勋, 吴思逢, 徐晓俞, 等. 栀子的应用价值及在福鼎的应用前景分析[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(11): 119−120,123. [LI C X, WU S F, XU X Y, et al. Application value of *Gardenia jasminoid Ellis* and its application prospects in Fuding[J]. Anhui Agricultural Science, 2020, 48(11): 119−120,123.]
[20] 张彬彬. 福鼎市栀子产业发展现状及对策分析[J]. 山西农经, 2022(22): 102−104. [ZHANG B B. Current situation and policy analysis of gardenia industry in Fuding city[J]. Shanxi Agricultural Economy, 2022(22): 102−104.]
[21] 王煜. 福鼎黄栀子特色农业产业化发展及其影响因素研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2020. [WANG Y. Research on the characteristic agricultural industrialization development of fuding yellow gardenia and its influencing factors[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020.]
[22] 夏淑蓉. 黄栀子不同栽培品种苗木及幼树结果状况分析[J]. 福建林业科技, 2013, 40(3): 100−105. [XIA S R. Analysis of the fruit-bearing condition of seedlings and young trees of different cultivars of yellow gardenia[J]. Fujian Journal of Forestry Science and Technology, 2013, 40(3): 100−105.]
[23] 刘先华. 栀子花茶的制作工艺[J]. 南方农业(园林花卉版), 2010, 4(6): 59−60. [LIU X H. The production process of gardenia tea[J]. Southern Agriculture (Garden and Flower Edition), 2010, 4(6): 59−60.]
[24] 王绍梅, 邹瑶. 栀子花红茶窖制工艺初探[J]. 茶叶科学技术, 2012(2): 1−5. [WANG S M, ZOU Y. A preliminary study on the fermentation technology of gardenia red tea[J]. Journal Tea Science and Technology, 2012(2): 1−5.]
[25] 阙玉林, 阙忠熠. 一种栀子花香白茶的制作技术[J]. 农业与技术, 2020, 40(23): 45−48. [QUE Y L, QUE Z Y. A production technology of jasmine-scented white tea[J]. Agriculture and Technology, 2020, 40(23): 45−48.]
[26] 袁林颖, 周正科, 钟映富, 等. 针形栀子花茶窖制工艺研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004(5): 659−661. [YUAN L Y, ZHOU Z K, ZHONG Y F, et al. Study on the processing technology of needle-shapedia tea[J]. Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science Edition), 2004(5): 659−661.]
[27] 汪松能, 黄永发. 栀子花茶窖制试验[J]. 中国茶叶, 2009, 31(12): 28−29. [WANG S N, HUANG Y F. Jasmine flower tea fermentation experiment[J]. China Tea, 2009, 31(12): 28−29.]
[28] 周颖, 仇方方, 褚飞洋, 等. 宜昌市栀子花茶香气成分分析[J]. 中国茶叶加工, 2024(4): 26−32. [ZHOU Y, QIU F F, ZHU F Y, et al. Analysis of aroma components of garden jasminoides ellis tea in Yichang city[J]. China Tea Processing, 2024(4): 26−32.]
[29] 仇方方, 周颖, 褚飞洋, 等. 宜昌市栀子花茶品质分析[J]. 中国茶叶, 2025, 47(2): 46−53. [QIU F F, ZHOU Y, ZHU F Y, et

al. Quality analysis of gardenia tea in Yichang city[J]. China Tea, 2025, 47(2): 46−53.]
[30] 李丽霞, 罗学平, 敬廷桃, 等. SPME-GC-MS 联用法分析栀子红茶香气成分[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 302−307. [LI L X, LUO X P, JING T T, et al. Analysis of the aroma components of Gardenia tea by SPME-GC-MS combined method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(17): 302−307.]
[31] 全国茶叶标准化技术委员会(SAC/TC 339). 茶叶感官审评方法: GB/T 23776-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [National Technical Committee 339 on Tea of Standardization Administration of China (SAC/TC339). Method for sensory evaluation of tea: GB/T 23776-2018 [S]. Beijing: China Standards Press, 2018.]
[32] 海峡两岸茶业交流协会. 福鼎栀子花白茶: T/CSTEA 00039-2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022. [Cross-Strait Tea Industry Exchange Association. Gardenia White Tea of Fuding: T/CSTEA 00039-2022 [S]. Beijing: China Standards Press, 2022.]
[33] 邵淑贤, 徐梦婷, 林燕萍, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 232−239. [SHAO S X, XU M T, LIN Y P, et al. Analysis of the difference in aroma of different regional Huguihua Wulong tea based on electronic nose and HS-SPME-GC-MS technology[J]. Food Science, 2023, 44(4): 232−239.]
[34] 成传香, 王鹏旭, 贾蒙, 等. 基于 GC-MS 结合多元统计方法分析不同种类柑橘汁中香气物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 236−243. [CHENG C X, WANG P X, JIA M, et al. Analysis of aroma substances in different varieties of citrus based on GC-MS combined with multivariate statistical methods[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(21): 236−243.]
[35] XU K, TIAN C Y, ZHOU C Z, et al. Non-targeted metabolomics analysis revealed the characteristic non-volatile and volatile metabolites in the Rougui Wuyi rock tea(*Camellia sinensis*) from different culturing regions[J]. Foods, 2022, 11(12): 1694.
[36] 舒心, 高彦祥. 茶叶挥发性成分提取及其香气特征分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 469−480. [SHU X, GAO Y X. Research progress in the extraction of volatile components from tea and the analysis of its flavor characteristics[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(15): 469−480.]
[37] 朱建才. 花果类香气成分协同作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 3−10. [ZHU J C. Research on the synergistic effect of aroma components of flower and fruit[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 3−10.]
[38] GONZÁLEZ-MAS M C, RAMBLA J L, LÓPEZ-GRESA M P, et al. Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review[J]. Frontiers in plant science 2019, 10: 433929.
[39] CAO Q Q, FU Y Q, WANG J Q, et al. Sensory and chemical characteristics of Tieguanyin oolong tea after roasting[J]. Food Chemistry: X, 12: 100178.
[40] ZENG Lin, FU Yanqing, HUANG Jinshui, et al. Comparative analysis of volatile compounds in tieguanyin with different types based on HS–SPME–GC–MS[J]. Foods, 2022, 11(11): 1530.
[41] LI Zhangwei, WANG Juhong. Identification and similarity analysis of aroma substances in main types of Fenghuang Dancong tea[J]. PLoS One, 2020, 15(12): e0244224.
[42] YUE Chuan, CAO Hongli, ZHANG Shaorong, et al. Aroma characteristics of Wuyi rock tea prepared from 16 different tea plant varieties[J]. Food Chemistry: X, 2023, 17: 100586.
[43] YU Zhenming, YANG Ziyin. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2020, 60(5): 844−858.
[44] RUN Y, YUE L, DUN S, et al. Identification, quantitative and bioactivity analyses of aroma and alcohol-soluble components in flowers of *Gardenia jasminoides* and its variety during different drying processes[J]. Food Chemistry, 2023, 420: 135846.
[45] AGNIESZKA N, AARTI B, PRINCE C, et al. Assessment of anti-inflammatory and antimicrobial potential of ethanolic extract of *Woodfordia fruticosa* flowers: GC-MS analysis[J]. Molecules, 2021, 26(23): 7193.