

基于ATD-GC-MS技术的不同品种白牡丹茶香气成分分析

邵淑贤, 王淑燕, 王 丽, 赵 峰, 陈潇敏, 吴秀秀, 叶乃兴

Analysis of Aroma Components of Different Cultivars of White Peony Tea Based on ATD-GC-MS

SHAO Shuxian, WANG Shuyan, WANG Li, ZHAO Feng, CHEN Xiaomin, WU Xiuxiu, and YE Naixing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030180>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于电子鼻和ATD-GC-MS技术分析茉莉花茶香气成分的产地差异

Origin Difference Analysis of Aroma Components in Jasmine Tea Based on Electronic Nose and ATD-GC-MS

食品工业科技. 2021, 42(15): 234-239

白茶散茶与茶饼在色泽、滋味及香气组分上的差异研究

Study on the Differences of Color, Taste and Aroma Constituents in White Loose Tea and White Tea Pine

食品工业科技. 2019, 40(15): 207-214

不同茶树品种龙井茶香气成分差异分析

Comparison of Differences in Aroma Constituents of Longjing Tea Produced from Different Tea Germplasms

食品工业科技. 2018, 39(23): 241-246, 254

基于UPLC-MS/MS同时分析福建乌龙茶和白茶中的儿茶素类物质

Simultaneous Analysis of Catechins in Several Fujian Oolong Tea and White Tea Products by UPLC-MS/MS

食品工业科技. 2020, 41(10): 254-258, 270

制茶工艺对白茶品质影响研究进展

Research Progress of Tea-making Technology on the Quality of White Tea

食品工业科技. 2021, 42(2): 333-337, 344

基于聚类分析的白茶高效液相色谱指纹图谱研究

HPLC Fingerprints of White Tea Based on Cluster Analysis

食品工业科技. 2021, 42(16): 255-262



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

邵淑贤,王淑燕,王丽,等. 基于 ATD-GC-MS 技术的不同品种白牡丹茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 261–268.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030180

SHAO Shuxian, WANG Shuyan, WANG Li, et al. Analysis of Aroma Components of Different Cultivars of White Peony Tea Based on ATD-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 261–268. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030180

· 分析检测 ·

基于 ATD-GC-MS 技术的不同品种白牡丹茶香气成分分析

邵淑贤¹,王淑燕¹,王 丽²,赵 峰³,陈潇敏¹,吴秀秀⁴,叶乃兴^{1,*}

(1.福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002;

2.武夷学院茶与食品学院, 福建南平 354300;

3.福建中医药大学药学院, 福建福州 350122;

4.福建水木年生态茶业有限公司, 福建南平 353600)

摘 要:采用自动热脱附-气相色谱-质谱联用仪 (automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry, ATD-GC-MS) 对不同品种牡丹制成的白牡丹茶进行香气检测分析, 探究其香气成分特征。结果显示, 5 个白牡丹品种茶中共鉴定出 50 种香气成分, 正己醛、壬醛、癸醛、苯甲醇、芳樟醇、1-戊醇和 β -紫罗兰酮是主要香气成分, 奠定了白茶的香气基础。有 44 种组分的香气成分含量, 经单因素分析达到显著差异水平 ($P<0.05$), 且香气活性值 (odor activity value, OAV) 在不同品种白牡丹茶间也存在差异, 其中, 政和大白茶含有较高的醛类和醇类化合物, 福鼎大毫茶含有较为丰富的醇类化合物, 福云 6 号含有较高的醛类和碳氢化合物, 九龙大白茶和福云 595 含有较高的醇类和碳氢化合物。本研究可为进一步探究白茶品种香型特征划分提供参考依据。

关键词:白茶, 白牡丹茶, 茶树品种, 香气, 自动热脱附-气相色谱-质谱联用仪 (ATD-GC-MS)

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)01-0261-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030180



本文网刊:

Analysis of Aroma Components of Different Cultivars of White Peony Tea Based on ATD-GC-MS

SHAO Shuxian¹, WANG Shuyan¹, WANG Li², ZHAO Feng³, CHEN Xiaomin¹, WU Xiuxiu⁴, YE Naixing^{1,*}

(1.College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2.College of Tea and Food Science, Wuyi University, Nanping 354300, China;

3.School of Pharmacy, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, China;

4.Fujian Shuimunianhua Tea Industry Co., Ltd., Nanping 353600, China)

Abstract: Automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry (ATD-GC-MS) was used to determine the aroma components of white peony tea from different tea cultivars. The characteristics of aroma among different tea cultivars were explored. A total of 50 volatile components were detected in five samples. Hexanal, nonanal, decanal, benzyl alcohol, linalool 1-pentanol and β -Ionone were the main aroma components, which laid the aroma foundation of white tea. A total of 44 kinds of aroma components were significantly different by univariate analysis ($P<0.05$). Moreover, the value of aroma activity (OAV) also differed among different cultivars of white peony tea. Aldehydes and alcohol compounds were the major aromatic components in Zhenghe Dabaicha. Fuding Dahaocha had a higher content of alcohol compounds. Aldehydes and hydrocarbons compounds were the major aromatic components in Fuyun 6. Alcohols and hydrocarbons compounds were the major aromatic components in Jiulong Dabaicha and Fuyun 595. This study can provide reference for

收稿日期: 2021-03-15

基金项目: 福建农林大学科技创新专项基金项目 (CXZX2017181); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金 (FJZTF01)。

作者简介: 邵淑贤 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶功能成分与品质化学研究, E-mail: 2625831366@qq.com。

* 通信作者: 叶乃兴 (1963-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 茶树栽培育种和品质化学研究, E-mail: ynxtea@126.com。

further exploring the classification of aroma types of white tea cultivars.

Key words: white tea; white peony tea; tea cultivars; aroma; automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry (ATD-GC-MS)

白茶制法独特,不炒不揉,主产于福建福鼎、政和、建阳和松溪等地,根据加工原料的嫩度等级,白茶可分为白毫银针、白牡丹、贡眉和寿眉 4 个品类,其中,白牡丹茶产量最大^[1]。茶树的品种、生长条件和加工方式不同,茶叶的品质也会有所差异。香气是评价茶叶品质的重要指标之一,也是决定茶叶香型的主要依据,茶叶香气的感官特征与香气成分密切相关^[2-3],傅海峰等^[4]使用 GC-MS 对 6 种不同香型白茶香气成分进行分析,结果表明不同香型白茶的特征香气成分存在差异。虽然茶叶中的香气含量仅占总干重的 0.01%,但其种类极其丰富且阈值低,对茶叶品质影响很大^[5]。

郭雯飞等^[6]采用同时蒸馏萃取法比较了白牡丹与白毫银针 2 个品类白茶的香气成分,共鉴定出己醇、苯甲醇、香叶醇、芳樟醇及其氧化物等 31 种香气成分。刘琳燕等^[7]对不同年代白茶的香气成分进行 GC-MS 分析,发现使白茶感官上具有清鲜毫香特征的物质基础包括芳樟醇及其氧化产物、香叶醇、水杨酸甲酯、苯甲醛和苯乙醇。陈志达等^[8]采用顶空固相微萃取和 GC-MS 技术对不同等级白茶样品进行检测,结果共检出 50 种主要香气成分,该研究通过香气成分可以识别不同等级白茶。晏祥文等^[9]采用全自动顶空固相微萃取和气相色谱-质谱对云南月光白茶和福建白毫银针白茶香气成分的对比研究,结果认为这 2 地白茶相同的加工工艺、不同的茶树品种和产地因素,使得它们在香气成分上具有相似和不同之处。目前关于白茶香气成分的研究主要集中于不同等级和不同年份之间的香气成分比较,然而,关于多个白茶品种香气成分比较的研究报道较少。

茶叶香气富集方法包括同时蒸馏萃取法 (SED)、固相微萃取法 (SPME)、顶空法 (HS)、加速溶剂萃取法 (ASE) 等。自动热解吸法作为一种新型的气相色谱的无溶剂萃取技术,具有操作简单、富集率高、重现性好和不使用有机溶剂等优点,也可以更加准确、真实地反映香气成分的组成状况^[10]。

本研究采用 ATD-GC-MS 技术分析了 5 个福建省适制白茶的主栽品种(福鼎大毫茶、福云 6 号、政和大白茶、九龙大白茶和福云 595),以探究不同茶树品种对白牡丹茶香气成分组成特点及其相对含量水平等的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

政和大白茶(B1)、九龙大白茶(B2)、福鼎大毫茶(B3)、福云 6 号(B4)、福云 595(B5)均为 2020 年白牡丹春茶。由福建水木年生态茶业有限公司提供,茶样于-20℃下保存;癸酸乙酯 纯度 99%,上海阿

拉丁生化科技股份有限公司。

QC-1S 大气采样仪 北京市科安劳保新技术有限公司;自动热脱附-解吸仪配有吸附管 成都科林分析技术有限公司;GCMS-TQ8040 日本岛津公司;HH-1 型数显恒温水浴锅 常州智博瑞仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理 参照 WANG 等^[10]的方法,将浓度为 100 ppm 的癸酸乙酯作为内标。取 3.0 g 干茶样品和 15 μL 癸酸乙酯到顶空瓶中并密封,随后将密封的顶空瓶放置于 55℃的水浴锅中平衡 20 min,在大气采样仪和顶空瓶之间用聚四氟乙烯管链接,并以 200 mL/min 的流速采集香气成分 30 min。采集结束后,用聚四氟乙烯盖封住吸附管两端,随后上机测试。

1.2.2 测定方法 参照王淑燕等^[11]的 ATD-GC-MS 方法对不同品种白茶进行香气测定。

1.2.2.1 自动热脱附-解吸仪条件 阀温度 200℃;传输温度 200℃;一级解吸温度 250℃;一级解吸时间 5 min;冷阱吸附温度 25℃;冷阱加热时间 3 min;二级解吸温度 300℃;进样时间 60 s;循环时间 50 min。

1.2.2.2 GC-MS 分析条件 a. 色谱条件:色谱柱:Rtx-5MS 毛细柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm);载气为 3 mL/min 的氦气,压力 49.5 kPa;分流比 5:1;柱箱温度 40℃,进样口温度 240℃,柱流量 1 mL/min;升温程序:起始温度 40℃,保持 3 min;以 5℃/min 升至 120℃,保持 5 min;以 30℃/min 升至 240℃,保持 8 min。

b. 质谱条件:质谱的电离模式为电子轰击离子源;接口温度 280℃;检测器电压 0.8 kV;离子源温度 230℃;质量扫描范围 28~500 m/z。

1.2.3 定性与定量分析

1.2.3.1 定性分析 在 ATD-GC-MS 条件下,测得白茶香气成分 GC-MS 总离子流色谱图。物质的定性则将质谱图 NIST 11.L 与质谱库 Wiley 7 相匹配,以匹配度大于 90% 为鉴定依据,并参照每种香气成分的 CAS 编号,再根据相关文献中的数据进行定性。

1.2.3.2 定量分析 物质的定量通过与内标物的峰面积比较,得到香气成分的相对含量,单位为 10 μg/kg,即:香气成分相对含量=(香气成分物质峰面积×内标物相对含量)/内标物峰面积之比。

1.2.4 热图分析 根据白牡丹茶香气成分的定性定量结果绘制热图。

1.2.5 OAV 值分析 参照 ZHU 等^[12]的方法计算香

气活性值(OAV),即:香气成分的含量与香气成分阈值之比。

1.3 数据分析

使用 SPSS 24.0 软件进行单因素分析;使用 TBtools 软件^[13]绘制热图;使用 SIMCA 14.1 软件进行主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 不同品种白牡丹茶香气成分的定性定量分析

在萎凋过程中,茶鲜叶中的醇和醛类物质逐步增加^[14],这可能是白牡丹茶具有丰富的醇类和醛类的原因。陈志达等^[8]对不同等级白茶香气成分的研究表明白牡丹茶具有相对含量较为丰富的醇类物质;王圣开^[15]采用气相色谱-质谱法测定白茶挥发成分的结果表明白茶主要香气成分是烃类和醇类;刘琳燕等^[7]研究也表明白牡丹茶中含有较高含量的碳氢化合物,这与本研究结果一致。如表 1 所示,在本研究参试的 5 个品种白牡丹茶中共检测出的 50 种香气成分,

包括 10 个醛类、14 个醇类、23 个碳氢化合物和 3 个酮类。本研究中,政和大白茶、九龙大白茶、福鼎大毫茶、福云 6 号和福云 595 中的醛类占各个品种总香气成分的 5.13%~17.09%,醇类占各个品种总香气成分的 16.03%~38.37%,碳氢类化合物占各个品种总香气成分的 38.74%~66.61%,酮类占各个品种总香气成分的 8.02%~13.98%。在本实验茶样中检测出的碳氢类化合物含量较高,但是其中含量较高的烷烃类化合物对香气贡献不大。因此,醛类、醇类和酮类化合物对 5 个品种白牡丹茶的贡献较大,是白茶清鲜毫香的物质基础。王丽丽等^[16]的研究表明福鼎大毫茶以醇类和醛类为主,福云 6 号以醇类和酮类居多,但本研究中的福云 6 号却以醛类和碳氢化合物居多;俞少娟等^[17]研究认为白牡丹茶中的香叶醛、橙花醛与碳氢化合物含量较高,但本研究中并未检测出香叶醛和橙花醛,这可能是由于香气萃取方法、原料等的差别所致。

表 1 不同品种白牡丹茶的香气成分
Table 1 The aroma components of different varieties of white peony tea

香气成分	登录号CAS	相对含量(10 μg/kg)				
		政和大白茶	九龙大白茶	福鼎大毫茶	福云6号	福云595
异戊醛 3-Methyl-butanal	590-86-3	7.12±1.42 ^b	5.26±0.65 ^b	—	10.22±2.06 ^a	—
戊醛 Pentanal	110-62-3	16.26±3.67 ^b	13.23±1.95 ^{bc}	8.98±0.42 ^c	42.90±4.99 ^a	10.23±1.03 ^c
正己醛 Hexanal	66-25-1	33.08±5.39 ^b	14.09±2.01 ^c	11.91±0.44 ^c	104.53±7.67 ^a	10.20±0.80 ^c
反-2-己烯醛 Trans-2-Hexenal	6728-26-3	0.87±0.12 ^b	0.93±0.27 ^b	0.69±0.26 ^b	4.70±0.55 ^a	—
庚醛 Heptanal	111-71-7	7.81±1.98 ^a	3.44±0.61 ^c	1.76±0.10 ^d	6.26±0.53 ^b	2.49±0.31 ^d
苯甲醛 Benzaldehyde	100-52-7	20.29±1.66 ^a	14.91±3.17 ^b	15.72±2.57 ^b	13.82±1.10 ^{bc}	9.99±0.15 ^c
辛醛 Octanal	124-13-0	2.62±0.35 ^b	1.22±0.14 ^c	1.65±0.35 ^c	5.59±0.29 ^a	1.41±0.40 ^c
壬醛 Nonanal	124-19-6	13.64±0.67 ^b	9.61±1.20 ^c	6.10±0.34 ^d	18.66±1.44 ^a	7.78±0.57 ^{cd}
癸醛 Decanal	112-31-2	3.59±1.08 ^b	4.30±0.92 ^b	3.35±0.12 ^b	6.16±0.26 ^a	4.80±0.93 ^{ab}
β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	432-25-7	0.36±0.09 ^c	0.39±0.02 ^c	—	1.66±0.20 ^a	0.98±0.08 ^b
醛类 Aldehydes		105.64±12.55 ^b	67.38±7.60 ^c	50.15±3.24 ^c	214.51±18.18 ^a	47.87±2.18 ^c
1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	616-25-1	44.23±7.89 ^{cd}	58.16±9.77 ^b	71.74±3.50 ^a	38.70±4.41 ^d	56.25±4.55 ^{bc}
异戊醇 iso-Pentanol	123-51-3	1.66±0.79 ^a	2.36±0.22 ^a	1.80±0.39 ^a	2.09±0.48 ^a	2.50±0.17 ^a
1-戊醇 1-Pentanol	71-41-0	10.41±1.40 ^a	6.38±1.62 ^b	5.36±0.39 ^b	11.05±1.03 ^a	2.20±0.50 ^c
正己醇 Hexanol	111-27-3	2.85±0.24 ^b	1.7±0.83 ^b	—	31.04±5.36 ^a	—
2-乙基己醇 2-Ethylhexanol	104-76-7	77.73±9.57 ^a	67.74±10.57 ^{ab}	48.70±9.20 ^c	51.74±4.78 ^{bc}	52.90±5.58 ^{bc}
苯甲醇 Benzyl alcohol	100-51-6	27.55±5.50 ^a	27.20±4.91 ^a	8.04±3.72 ^b	10.37±1.86 ^b	10.68±1.91 ^b
顺式氧化芳樟醇 cis-Linalool oxide	5989-33-3	10.91±0.97 ^b	9.06±0.91 ^c	4.81±0.43 ^d	11.93±0.73 ^b	26.32±0.94 ^a
芳樟醇 Linalool	78-70-6	19.76±2.42 ^d	35.86±2.64 ^b	27.57±3.13 ^c	24.17±1.39 ^{cd}	97.35±5.71 ^a
苯乙醇 Phenylethyl alcohol	60-12-8	15.82±0.57 ^c	26.73±2.48 ^a	21.57±3.53 ^b	14.13±1.69 ^c	24.21±3.23 ^{ab}
香叶醇 Geraniol	106-24-1	9.02±0.11 ^a	2.63±0.29 ^c	2.51±0.42 ^c	5.58±0.29 ^b	6.12±0.56 ^b
2,6-二甲基环己醇 2,6-Dimethyl-cyclohexanol	5337-72-4	12.99±0.89 ^a	10.53±0.53 ^b	4.36±0.18 ^d	—	9.13±0.42 ^c
4-萜烯醇 Terpinen-4-ol	562-74-3	1.13±0.08 ^a	1.23±0.15 ^a	0.87±0.16 ^b	—	1.09±0.12 ^{ab}
正丁醇 1-Butanol	71-36-3	23.17±4.89 ^a	15.97±2.51 ^b	16.75±3.54 ^b	—	8.88±1.05 ^c
2-丁基辛醇 2-Butyl-1-octanol	3913-02-8	—	—	1.75±0.39 ^a	0.41±0.09 ^b	2.07±0.36 ^a
醇类 Alcohols		257.22±2.46 ^b	265.54±5.07 ^b	215.83±18.93 ^c	201.21±4.35 ^c	299.70±12.42 ^a
六甲基环三硅氧烷 Hexamethylcyclotrisiloxane	541-05-9	—	58.73±5.36 ^a	—	41.25±7.05 ^b	41.05±5.92 ^b
八甲基环四硅氧烷 Octamethyl cyclotetrasiloxane	556-67-2	—	95.46±7.64 ^a	—	88.63±3.87 ^a	85.27±9.31 ^a
十甲基环五硅氧烷 Decamethyl cyclopentasiloxane	541-02-6	—	49.71±4.75 ^a	—	50.91±9.36 ^a	49.53±11.16 ^a
戊基环戊烷 Pentyl cyclopentane	3741-00-2	1.34±0.13 ^c	2.26±0.13 ^b	1.40±0.87 ^c	3.02±0.18 ^a	1.48±0.17 ^c
十二甲基环六硅氧烷 Dodecamethyl cyclohexasiloxane	540-97-6	—	213.69±31.24 ^a	—	197.69±19.90 ^a	206.71±16.33 ^a
2-溴十二烷 2-Bromo dodecane	13187-99-0	—	4.06±0.26 ^a	2.68±0.24 ^c	3.26±0.28 ^b	4.07±0.26 ^a

续表 1

香气成分	登录号CAS	相对含量(10 μg/kg)				
		政和大白茶	九龙大白茶	福鼎大毫茶	福云6号	福云595
十一烷 Undecane	1120-21-4	—	—	12.39±1.00 ^b	51.25±5.62 ^a	13.31±1.36 ^b
十四烷 Tetradecane	629-59-4	59.76±2.64 ^c	93.31±3.63 ^b	46.14±3.80 ^d	133.96±7.54 ^a	65.80±9.46 ^c
正二十烷 Eicosane	112-95-8	1.58±0.04 ^a	0.78±0.06 ^c	0.75±0.08 ^c	1.14±0.26 ^b	0.75±0.05 ^c
正二十一烷 Heneicosane	629-94-7	15.77±0.84 ^a	11.90±0.72 ^b	—	4.71±0.25 ^c	12.17±1.27 ^b
姥鲛烷 2,6,10,14-Tetramethyl-pentadecane	1921-70-6	2.17±0.29 ^a	2.13±0.16 ^a	2.15±0.52 ^a	2.27±0.49 ^a	1.98±0.32 ^a
2,6,10-三甲基十二烷 2,6,10-Trimethyl-dodecane	3891-98-3	—	1.68±0.17 ^a	1.35±0.09 ^a	1.97±0.73 ^a	—
十四甲基环七硅氧烷 Tetradecamethyl cycloheptasiloxane	107-50-6	—	43.90±6.29 ^a	—	45.89±3.53 ^a	49.20±4.98 ^a
正壬基环己烷 n-Nonylcyclohexane	2883-02-5	2.69±0.23 ^a	2.44±0.23 ^{ab}	2.69±0.28 ^a	2.50±0.16 ^{ab}	2.12±0.26 ^b
2,2,3,4-四甲基戊烷 2,2,3,4-Tetramethyl- pentane	1186-53-4	7.41±0.38 ^a	4.03±0.30 ^c	4.47±0.27 ^c	—	5.42±0.48 ^b
甲苯 Toluene	108-88-3	27.30±5.32 ^a	12.25±1.83 ^{bc}	17.36±4.69 ^b	10.45±1.76 ^c	10.51±0.79 ^c
对二甲苯 p-Xylene	106-42-3	13.86±1.48 ^a	9.50±0.15 ^c	—	13.08±1.88 ^{ab}	11.53±0.31 ^{bc}
邻二甲苯 m-Xylene	95-47-6	28.74±2.55 ^{ab}	19.86±0.20 ^c	17.15±0.88 ^c	30.01±3.11 ^a	25.15±0.96 ^b
蒎烯 Pinene	7785-70-8	116.59±19.02 ^a	84.96±7.77 ^b	30.04±4.12 ^c	—	—
桉烯 Junipene	3387-41-5	156.62±10.33 ^a	124.64±5.70 ^b	52.50±0.83 ^c	45.86±8.54 ^c	44.10±3.5 ^c
γ-松油烯 γ-Terpinene	99-85-4	40.37±2.01 ^a	38.35±5.55 ^a	23.72±3.60 ^b	24.75±0.87 ^b	24.99±2.01 ^b
A-柏木萜烯 (t)-alpha-funcbrene	50894-66-1	0.87±0.12 ^b	0.53±0.04 ^c	0.67±0.06 ^c	—	1.46±0.16 ^a
柠檬烯 Limonene	5989-27-5	—	—	2.43±0.23 ^b	2.73±0.39 ^{ab}	3.87±1.45 ^a
碳氢化合物 Hydrocarbons		475.07±21.12 ^d	874.16±47.33 ^a	217.89±2.36 ^c	755.33±11.25 ^b	660.47±50.95 ^c
异佛尔酮 Isophorone	78-59-1	107.10±8.74 ^a	98.53±16.83 ^{ab}	75.96±15.83 ^b	77.12±11.59 ^b	76.43±9.97 ^b
α-紫罗兰酮 α-Ionone	127-41-3	0.87±0.08 ^b	0.73±0.03 ^b	0.36±0.05 ^c	0.75±0.04 ^b	1.53±0.20 ^a
β-紫罗兰酮 β-Ionone	14901-07-6	4.42±0.77 ^c	6.02±0.37 ^b	2.30±0.19 ^c	6.02±0.11 ^b	8.05±1.04 ^a
酮类 Ketones		112.38±9.19 ^a	105.29±17.20 ^{ab}	78.63±16.04 ^b	83.90±11.68 ^b	86.01±11.13 ^{ab}
总含量 Total content		950.31±26.71 ^c	1312.37±56.29 ^a	562.50±35.61 ^d	1254.95±26.81 ^a	1094.05±71.97 ^b

注：“—”表示该成分未检测出；表中数值为平均值±标准差；同行不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)，表2同。

5 个品种白牡丹茶的共有香气成分共 28 种，这些共有的香气成分占不同品种白牡丹茶的 53.20%~86.05%，这 28 种香气成分相互结合形成了白牡丹茶的基本香气。5 个品种白牡丹茶共有且香气成分含量较多的有正己醛、苯甲醛、1-戊烯-3-醇、2-乙基己醇、苯甲醇、芳樟醇、苯乙醇、桉烯、γ-松油烯和异佛尔酮。张应根等^[18]研究认为反-2-己烯醛、苯甲醛、芳樟醇及其氧化产物、1-戊烯-3-醇、苯乙醇、苯甲醇和苯乙醛等是决定白茶香气品质的特征成分。

本研究的 5 个白牡丹茶的香气成分组成差异不大，却有 48 个香气成分含量差异达到显著水平($P<0.05$)。政和大白茶和福云 6 号仅 34 种共有香气成分，44 个香气成分含量差异达到显著水平($P<0.05$)；共有香气成分数量最多的两个品种为九龙大白茶和福云 595，达到 42 种，其中有 39 个香气成分含量差异达到显著水平($P<0.05$)。不同品种白牡丹茶香气特征，与香气组分及其含量上的差异具有密切联系。

2.2 不同品种白牡丹茶香气成分的热图分析

通过图 1 可直观看出，白牡丹茶的香气成分含量在不同品种间存在着明显差异。

政和大白茶(B1)中检测出 40 种香气成分，包括 10 个醛类、13 个醇类、14 个碳氢化合物和 3 个酮类。苯甲醛、庚醛、2-乙基己醇、香叶醇、2,6-二甲

基环己醇、桉烯、蒎烯、正二十烷、2,2,3,4-四甲基戊烷和异佛尔酮等的含量显著高于其他品种($P<0.05$)。

九龙大白茶(B2)中检测出 47 种香气成分，包括 10 个醛类、13 个醇类、21 个碳氢化合物和 3 个酮类。该品种的香气成分总含量较高，且碳氢化合物占到了总香气含量的 66.61%。碳氢化合物包括烷烃类化合物和烯烃类化合物。烷烃类化合物在感官上无特殊香气，它们可能对茶叶香气特征的影响性较低，或者与其他香气成分相互作用后才能间接参与香气的形成^[19]。所以，碳氢化合物中的不饱和烯烃对茶叶香气的贡献更大。与其他品种相比，有 4 个醇类化合物和 3 个烯烃类化合物在九龙大白茶中的含量较高。

福鼎大毫茶(B3)中鉴定出 40 种香气成分，包括 8 个醛类、13 个醇类、16 个碳氢化合物和 3 个酮类。福鼎大毫茶中含有较为丰富的醇类化合物，占总香气成分的 38.37%，有研究认为醇类化合物对白茶毫香显露有较大贡献^[20]。福鼎大毫茶总香气成分含量(5.63 mg/kg)和大部分香气组分低于其他品种的白牡丹茶。然而，1-戊烯-3-醇的含量(0.72 mg/kg)却显著高于其他品种($P<0.05$)，认为其是福鼎大毫茶的特征性成分。

福云 6 号(B4)中检测出 44 种香气成分，其中包括 10 个醛类、11 个醇类、20 个碳氢化合物和 3 个酮类。福云 6 号含有较丰富的醛类化合物(2.15 mg/kg)，

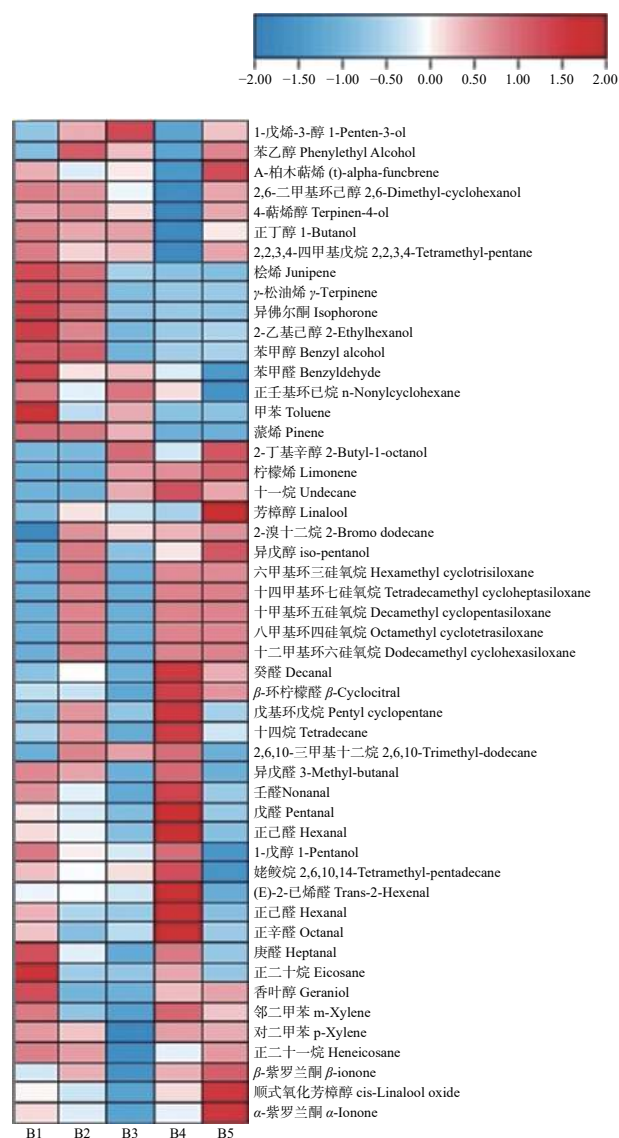


图 1 不同品种白牡丹茶香气成分含量的热图

Fig.1 Heat map of the contents of aroma components in different varieties of white peony tea

注: B1 为政和大白茶; B2 为九龙大白茶; B3 为福鼎大毫茶; B4 为福云 6 号; B5 为福云 595。

占总香气成分的 17.09%, 有研究发现醛类可能来源于氨基酸和脂肪酸的热氧化降解^[19]。与其他品种相比发现癸醛、 β -环柠檬醛、异戊醛、壬醛、戊醛、反-2-己烯醛、正辛醛、正己醛、正己醇、1-戊醇和烷烃类化合物的含量较高。其中, 正己醛被认为是含量最高的白茶香气成分之一^[17], 这与本研究结果一致。

福云 595(B5)中检测出 45 种香气成分, 其中包括 8 个醛类、13 个醇类、21 个碳氢化合物和 3 个酮类, 芳樟醇及其氧化产物、2-丁基辛醇、柠檬烯、A-柏木萜烯、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮的含量显著高于其他品种($P<0.05$)。

2.3 不同品种白牡丹茶香气成分的 OAV 值分析

刘菲等^[21]的研究发现不同茶树品种所制的白茶因在香气成分上具有差异而具有各自的“品种香”。茶叶众多的香气成分中, 仅有一部分起主导作用, 它

们之间相互作用构成了茶的香气特征。因此, 依据香气成分含量的高低不能够说明茶叶的特征香气。前人研究通过计算 OAV 值来评价单个香气组分对茶叶整体香气的贡献度, OAV 值 >1 时认为该香气组分对茶叶香气具有一定影响性, OAV 值 >10 时认为该香气组分对茶叶整体香气贡献极大^[22]。如表 2 所示, 本研究筛选出 19 个 OAV 值 >1 的香气成分, 且不同品种白牡丹茶香气成分的 OAV 值间存在显著差异($P<0.05$)。

政和与大白茶白牡丹茶(B1)中 OAV 值 >1 的香气成分有 17 种, 它们构成了政和与大白茶的基本香气特征。OAV 值 >50 的正己醛、辛醛、壬醛、癸醛、1-戊醇、苯甲醇、芳樟醇和 4-萜烯醇在感官上多具花果香, 可能对政和与大白茶的香气特征有较大贡献。与其他品种相比, 具有清香特征的庚醛和苯甲醛, 其 OAV 值较高, 可能使政和与大白茶的清香特征更加突出。有研究认为苯甲醛是白茶“清醇”特征的香气成分之一^[6], 其含量随着茶叶等级的下降而减少^[8]。

九龙大白茶白牡丹茶(B2)中 OAV 值 >1 的香气成分有 17 种, 被认为构成了九龙大白茶的基本香型。其中, 壬醛(玫瑰花香)、1-戊醇(果香)、芳樟醇(铃兰花香)和苯甲醇(果香、清香)的 OAV 值 >90 , 具有柑橘香的癸醛 OAV 值 >400 , 认为它们可能对赋予九龙大白茶香气特征有较大贡献。九龙大白茶和政和与大白茶中 OAV >1 的香气成分种类一致, 芳樟醇和正己醛在这两个品种之间的 OAV 值差异最为显著, 芳樟醇和正己醛可能是区分这两个品种的主要香气成分。

福鼎大毫茶白牡丹茶(B3)中大部分香气成分的 OAV 值, 与其他品种相比较低。具有花果香气特征的癸醛、壬醛、1-戊醇和芳樟醇的 OAV 值在福鼎大毫茶中较为突出。值得注意的是, 赋予花果香气息的 β -环柠檬醛的 OAV 值仅在该品种中无法计算, 且具有紫罗兰花香的 α -紫罗兰酮 OAV 值也仅在该品种中小于 1, 这两种香气成分对有效区分福鼎大毫茶和其他品种的香气特征可能有着积极作用。

对福云 6 号白牡丹茶香气形成有一定影响的香气成分有 16 种(OAV >1), 戊醛、正己醛、辛醛、壬醛、癸醛、1-戊醇和正己醇的 OAV 值显著高于其他品种($P<0.05$)。其中癸醛香气强度较高(OAV >500), 主要产生于美拉德反应, 被认为可能对铁观音清香味贡献较大^[20]。值得注意的是具有果香香气特征的戊醛、正己醛、辛醛、癸醛、1-戊醇和正己醇在福云 6 号中的 OAV 值较高, 且显著高于其他品种($P<0.05$), 这些香气成分可能构成福云 6 号的特征香气组分。具有胡椒气息的 4-萜烯醇在其他品种的 OAV 值均 >50 , 却在福云 6 号中无法计算。4-萜烯醇可作为区分福云 6 号和其他品种的香气成分。

福云 595 白牡丹茶(B5)中芳樟醇、柠檬烯、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮的 OAV 值显著高于其他品

表 2 不同品种白牡丹茶香气成分的 OAV 值

Table 2 OAV values of aroma components in different varieties of white peony tea

香气成分	香气阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$) ^[23-25]	OAV值					香气描述 ^[6,26-30]
		政和大白茶	九龙大白茶	福鼎大毫茶	福云6号	福云595	
异戊醛	9.0	7.92±1.58 ^b	5.84±0.72 ^b	—	11.36±2.29 ^a	—	果香
戊醛	12.0	13.55±3.06 ^b	11.03±1.62 ^{bc}	7.48±0.34 ^c	35.75±4.15 ^a	8.52±0.86 ^c	果香
正己醛	4.5	73.52±11.97 ^b	31.31±4.45 ^{bc}	26.48±0.97 ^c	232.29±17.04 ^a	22.67±1.78 ^c	果香
庚醛	10.0	7.81±1.98 ^a	3.43±0.61 ^b	1.75±0.10 ^b	6.26±0.54 ^a	2.49±0.30 ^b	清香
辛醛	0.5	52.34±7.01 ^b	24.38±2.80 ^c	32.95±7.07 ^c	111.91±5.87 ^a	28.19±7.90 ^c	果香
壬醛	1.0	136.43±6.72 ^b	96.08±12.04 ^c	60.97±3.40 ^c	186.56±14.42 ^a	77.77±5.64 ^c	玫瑰花香
癸醛	0.1	359.10±107.66 ^b	430.46±91.92 ^b	334.75±12.59 ^b	616.20±25.41 ^a	479.68±93.33 ^{ab}	柑橘香
β -环柠檬醛	5.0	0.72±0.17 ^c	0.77±0.03 ^c	—	3.33±0.40 ^a	1.96±0.16 ^b	花果香
1-戊烯-3-醇	400.0	1.11±0.20 ^d	1.45±0.24 ^b	1.79±0.09 ^a	0.97±0.11 ^d	1.41±0.11 ^{bc}	果香
1-戊醇	0.7	155.40±20.85 ^b	95.19±24.08 ^c	79.98±5.75 ^c	164.94±15.33 ^a	32.80±7.27 ^d	果香
正己醇	4.5	6.33±0.53 ^b	3.77±1.86 ^b	—	68.98±11.91 ^a	—	果香、脂肪香
苯甲醇	3.0	91.83±18.35 ^a	90.66±16.38 ^a	26.81±12.40 ^b	34.57±6.19 ^b	35.60±6.35 ^b	花香、清香
芳樟醇	3.8	52.00±6.36 ^d	94.37±6.96 ^b	72.56±8.25 ^c	63.60±3.64 ^c	256.19±15.02 ^a	铃兰花香
香叶醇	20.0	4.51±0.06 ^a	1.32±0.14 ^c	1.26±0.21 ^c	2.79±0.14 ^b	3.06±0.28 ^b	玫瑰花香
4-萜烯醇	0.2	56.49±3.63 ^a	61.47±7.70 ^a	43.37±7.77 ^b	—	54.38±6.06 ^{ab}	胡椒气息
蒎烯	140.0	8.33±1.36 ^a	6.07±0.55 ^b	2.15±0.29 ^c	—	—	松油香
柠檬烯	10.0	—	—	2.43±0.23 ^b	2.74±0.39 ^{ab}	3.87±1.45 ^a	柠檬香
α -紫罗兰酮	5.7	1.53±0.13 ^b	1.29±0.05 ^b	0.64±0.09 ^c	1.33±0.06 ^b	2.70±0.36 ^a	紫罗兰花香
β -紫罗兰酮	3.5	12.62±2.21 ^c	17.20±1.04 ^b	6.58±0.52 ^d	17.20±0.31 ^b	23.00±2.96 ^a	紫罗兰花香

注：“—”表示无法计算其OAV值。

种($P<0.05$),它们多具花香气息。其中,芳樟醇被认为是红茶、绿茶和普洱茶主要气味物质之一,是茶叶中花果香的主要来源^[23]。在该品种中芳樟醇的OAV值 >200 ,且显著高于其他品种($P<0.05$),对于有效区分福云595与其他品种的香气特征可能具有较大贡献。

2.4 不同品种白牡丹茶香气的主成分分析

主成分分析是一种可直观反映样本成分构成近似度的统计方法,样本间的相似度越高则距离越近。如图2所示,5个不同品种白牡丹茶的香气成分在得分散点图上实现了品种的分,九龙大白茶(B2)、福鼎大毫茶(B3)和福云595(B5)均分布在纵轴的正半

轴上,政和大白茶(B1)和福云6号(B4)均匀分布纵轴的负半轴上。主成分分析结果表明本次检测出的香气成分用于不同品种白牡丹茶的香气特征的分析具有可行性。

3 结论

本研究采用ATD-GC-MS技术从政和大白茶、九龙大白茶、福鼎大毫茶、福云6号和福云595制成的白牡丹茶中共鉴定出50种香气成分。这5个白牡丹品种茶中贡献度高的香气成分都以正己醛、壬醛、癸醛、苯甲醇、芳樟醇、1-戊醇和 β -紫罗兰酮为主,但在香气成分含量上仍存在较大差异,通过对鉴定出的香气成分进行定性定量分析,发现不同品种白牡丹茶在香气成分含量和香气阈值方面存在显著差异,导致其呈现出不同的香气特征。后续研究可结合高灵敏度的电子鼻等设备对不同品种白牡丹茶的香气成分特点进行分析,为进一步探究白牡丹茶品种香型的划分提供参考依据。

参考文献

- [1] 叶乃兴. 白茶科学·技术与市场[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010 [YE N X. White tea science and technology and market[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.]
- [2] HO C T, ZHENG X, LI S M. Tea aroma formation[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2015, 4(1): 9-27.
- [3] CHEN Q C, ZHU Y, YAN H, et al. Identification of aroma composition and key odorants contributing to aroma characteristics of white teas[J]. *Molecules*, 2020, 25(24): 6050.
- [4] 傅海峰, 林琼珍, 朱晨, 等. 6种不同香型白茶香气成分的GC-MS分析[J]. *食品与生物技术学报*, 2020, 39(10): 91-97.

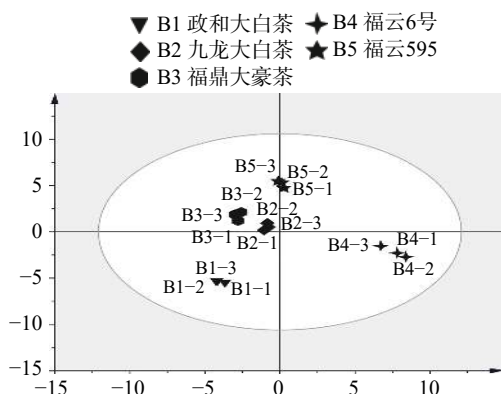


图2 不同品种白牡丹茶香气成分的主成分得分图

Fig.2 PCA score plot for aroma constituent of different varieties of white peony tea

注: 得分散点图($R^2X1=0.357$; $R^2X2=0.274$)。

- [FU H F, LIN Q Z, ZHU C, et al. GC-MS analysis of aroma components of white tea with six different aroma types[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2020, 39(10): 91–97.]
- [5] RAWAT R, GULATI A, BABU G D K, et al. Characterization of volatile components of Kangra orthodox black tea by gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(1): 229–235.
- [6] 郭雯飞, 孟小环, 罗永此, 等. 白牡丹与白毫银针香气成分的研究[J]. *茶叶*, 2007(2): 78–81. [GUO W F, MENG X H, LUO Y C, et al. Analysis of the volatile constituents in the Baimudan tea and Baihaoyinzen tea[J]. *Journal of Tea*, 2007(2): 78–81.]
- [7] 刘琳燕, 周子维, 邓慧莉, 等. 不同年份白茶的香气成分[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2015, 44(1): 27–33. [LIU L Y, ZHOU Z W, DENG H L, et al. Analysis of the aromatic components in white tea produced in different years[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2015, 44(1): 27–33.]
- [8] 陈志达, 温欣黎, 陈兴华, 等. 不同等级福鼎白茶香气成分研究[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2019, 45(6): 715–722. [CHEN Z D, WEN X L, CHEN X H, et al. Research on aroma components in different grades of Fuding white tea[J]. *Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences)*, 2019, 45(6): 715–722.]
- [9] 晏祥文, 钟一平, 吕世懂, 等. 云南月光白茶和福建白毫银针白茶香气成分的对比研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(13): 171–177. [YAN X W, ZHONG Y P, DONG S D, et al. A comparative study of aroma components in Yunnan Yueguang white tea and Fujian Baihaoyinzen white tea[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(13): 171–177.]
- [10] 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.
- [11] 王淑燕, 赵峰, 饶耿慧, 等. 基于电子鼻和 ATD-GC-MS 技术分析茉莉花茶香气成分的产地差异[J/OL]. *食品工业科技*: 1–10 [2021-03-10]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080064>. [WANG S Y, ZHAO F, RAO G H, et al. Origin difference analysis of aroma components in jasmine tea based on electronic nose and ATD-GC-MS[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*, 1–10 [2021-03-10]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080064>.]
- [12] ZHU J C, NIU Y W, XIAO Z B. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour activity value(OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry(GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry(GC×GC-qMS)[J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 128136.
- [13] CHEN C J, CHEN H, ZHANG Y, et al. TBtools: An integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data[J]. *Molecular Plant*, 2020, 13(8): 1194–1202.
- [14] CHEN Q C, ZHU Y, DAI W D, et al. Aroma formation and dynamic changes during white tea processing[J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 915–924.
- [15] 王圣开. 气相色谱-质谱法测定白茶挥发成分[J]. *现代食品*, 2020(12): 194–197. [WANG S K. Determination of volatile components in white tea by GC-MS[J]. *Modern Food*, 2020(12): 194–197.]
- [16] 王丽丽, 张应根, 杨军国, 等. 顶空固相微萃取/气相色谱—质谱联用法分析绿茶和白茶香气物质[J]. *茶叶学报*, 2017, 58(1): 1–7. [WANG L L, ZHANG Y G, YANG J G, et al. Analysis of aroma components in green and white teas using headspace solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Acta Tea Sinica*, 2017, 58(1): 1–7.]
- [17] 俞少娟, 李鑫磊, 王婷婷, 等. 白茶香气及萎凋工艺对其形成影响的研究进展[J]. *茶叶通讯*, 2015, 42(4): 14–18. [YU S J, LI X L, WANG T T, et al. Research progress on white tea flavor and its withering processing[J]. *Journal of Tea Communication*, 2015, 42(4): 14–18.]
- [18] 张应根, 陈林, 陈泉宾, 等. 基于特征香气的白茶香气品质评价模型构建初探[J]. *茶叶学报*, 2017, 58(4): 149–156. [ZHANG Y G, CHEN L, CHEN Q B, et al. Aromatics-based model for quality evaluation of white teas[J]. *Acta Tea Sinica*, 2017, 58(4): 149–156.]
- [19] TEIXEIRA B, MARQUES A, RAMOS C, et al. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils[J]. *Industrial Crops & Products*, 2013, 43(5): 587–595.
- [20] ELENA N, ELENA G, LAURA V, et al. Volatile composition of functional ‘a la Piedra’ turrón with propolis[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 45(3): 569–577.
- [21] 刘菲, 孙威江. 白茶品质研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 365–368. [LIU F, SUN W J. Research progress in quality of the white tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(10): 365–368.]
- [22] 王奕, 罗红玉, 袁林颖, 等. 不同干燥方式对夏季绿茶香气品质的影响[J/OL]. *食品工业科技*: 1–15 [2021-03-12]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040284>. [WANG Y, LUO H Y, YUAN L Y, et al. Effects of drying methods on volatile components of summer green tea[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*, 1–15 [2021-03-12]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040284>.]
- [23] WANG C, ZHANG C X, KONG Y W, et al. A comparative study of volatile components in Dianhong teas from fresh leaves of four tea cultivars by using chromatography-mass spectrometry, multivariate data analysis, and descriptive sensory analysis[J]. *Food Research International*, 2017, 100: 267–275.
- [24] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. “清香”绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(22): 219–228. [WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of green teas with fresh scent flavor[J]. *Food Science*, 2019, 40(22): 219–228.]
- [25] 金友兰, 黄甜, 蒋容港, 等. 不同类型发花砖茶特征香气成分研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(3): 188–196. [JIN Y L, HUANG T, JIANG R G, et al. Characteristic volatile components of different types of fermented brick tea[J]. *Food Research and Development*

opment, 2021, 47(3): 188–196.]

[26] 刘晔, 葛丽琴, 王远兴. 3个产地不同等级庐山云雾茶挥发性成分主成分分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 206–214. [LIU Y, GE L Q, WANG Y X. Principal component analysis of volatile compounds in different grades of Lu Mountain Clouds-Mist tea from three regions[J]. *Food Science*, 2018, 39(10): 206–214.]

[27] 朱荫, 杨婷, 施江, 等. 西湖龙井茶香气成分的全二维气相色谱-飞行时间质谱分析[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(20): 4120–4146. [ZHU Y, YANG T, SHI J, et al. Analysis of aroma components in Xihu Longjing tea by comprehensive two-dimensional gas chromatography time-of-flight mass spectrometry[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(20): 4120–4146.]

[28] 马士成, 王梦琪, 刘春梅, 等. 六堡茶挥发性成分中关键香气成分分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(20): 191–197. [MA S C,

WANG M Q, LIU C M, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of Liupao tea[J]. *Food Science*, 2020, 41(20): 191–197.]

[29] 林燕萍, 张见明, 陈泉宾, 等. 有机白茶和常规白茶品质差异分析[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(19): 151–156. [LIN Y P, ZHANG J M, CHEN Q B, et al. Analysis of quality differences between organic white tea and conventional white tea[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(19): 151–156.]

[30] DU L, LI J, LI W, et al. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Research International*, 2014, 57: 61–70.