

“狗牯脑2号”所制红茶“蜜兰香” 关键香气成分分析

马雪茗¹, 李海燕¹, 曾斌², 陈盛畅², 胡建辉¹, 张新富¹, 曲凤凤^{1*}

(1. 青岛农业大学园艺学院, 山东青岛 266109)(2. 遂川县茶科所, 江西吉安 343999)

摘要: 江西省新选育茶树品种“狗牯脑2号”所制红茶具有独特的品种香。为探究其香气组成, 该研究以江西省新品种狗牯脑2号(GGN)及其他主栽品种福鼎大白(FD)、迎霜(YS)和群体种(QTZ)所制红茶为材料, 通过感官审评、电子鼻、气相色谱-质谱(GC-MS)对其香气进行分析。感官审评结果表明, GGN红茶蜜兰香浓郁, 香气得分最高(95.33分), 其次是YS红茶(花香, 92.33分)、FD红茶(蜜薯香, 91.00分)、QTZ红茶(甜香, 89.33分)。电子鼻结果显示, 不同品种所制红茶香气特征存在差异。GC-MS分析表明, GGN红茶的挥发物总量、醇类、醛类、酯类、杂环化合物等均显著高于其他红茶, 与YS、QTZ和FD红茶分别有333、294、240个差异成分, 共有差异成分92个。气味活性值(OAV)分析发现, 葫芦巴内酯、1-辛烯-3-酮、水杨酸甲酯、(E,E)-2,4-壬二烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、辛烯-3-醇、2-戊基咪喃、对甲酚、己醛、苯甲醛是GGN红茶“蜜兰香”的重要贡献成分。该结果对于指导高品质江西红茶的生产具有重要意义。

关键词: 狗牯脑红茶; 茶树品种; 香气; 气相色谱-质谱法

文章编号: 1673-9078(2025)03-340-350

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.3.0008

Analysis of Key Odorants Responsible for Honey Orchid-like Aroma of Black Teas Processed from Tea Cultivar ‘Gougunao No. 2’

MA Xueming¹, LI Haiyan¹, ZENG Bin², CHEN Shengchang², HU Jianhui¹, ZHANG Xinfu¹, QU Fengfeng^{1*}

(1. School of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

(2. Tea Science Research Institute of Suichuan, Ji'an 343999, China)

Abstract: The black tea processed from ‘Gougunao No. 2’ (GGN), a new cultivar developed in Jiangxi Province, has a unique aroma. To clarify the aroma composition of this tea, the aromas of black teas processed from GGN and other main tea cultivars in Jiangxi province-including ‘Fudingdabai’ (FD), ‘Yingshuang’ (YS), and ‘Quntizhong’ (QTZ)-were analyzed through sensory evaluation, electronic nose, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The sensory evaluation data showed that GGN black tea, which possessed a rich honey- and orchid-like aroma, had the highest aroma

引文格式:

马雪茗,李海燕,曾斌,等.“狗牯脑2号”所制红茶“蜜兰香”关键香气成分分析[J].现代食品科技,2025,41(3): 340-350.

MA Xueming, LI Haiyan, ZENG Bin, et al. Analysis of key odorants responsible for honey orchid-like aroma of black teas processed from tea cultivar ‘Gougunao No. 2’ [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(3): 340-350.

收稿日期: 2024-01-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(32202537); 青岛农业大学博士基金(1120095); 青创团队(2021KJ103); 崂山茶产业创新团队(LSCG2023002132)

作者简介: 马雪茗(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶品质调控, E-mail: mxmteatea@163.com

通讯作者: 曲凤凤(1991-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 茶叶品质调控, E-mail: 201901153@qau.edu.cn

score (95.33), followed by YS black tea (floral aroma, 92.33), FD black tea (sweet potato-like aroma, 91.00), and QTZ black tea (sweet aroma, 89.33). The electronic nose identified aroma differences among the black teas processed from different cultivars. GC-MS analysis showed that the contents of total volatiles, alcohols, aldehydes, esters, and heterocyclic compounds in GGN black tea were significantly higher than those in other cultivars. Compared with GGN black tea, 333, 294, and 240 differential components were screened in YS, QTZ, and FD black tea, respectively, including 92 common differential components. As revealed by odor activity value analysis, 4,5-dimethyl-3-hydroxy-2,5-dihydrofuran-2-one, 1-octen-3-one, methyl salicylate, (*E,E*)-2,4-nonadienal, trans-2,4-decadienal, octen-3-ol, 2-pentylfuran, p-cresol, hexanal, and benzaldehyde contribute remarkably to the honey- and orchid-like aroma of GGN black tea. The results are of great significance for guiding the production of high-quality Jiangxi black tea.

Key words: black tea; tea cultivar; aroma; gas chromatography-mass spectrometry

红茶为中国六大茶类之一，其外形美观，色泽鲜艳，味道醇厚，香气持久，深受人们青睐。目前国内对于高品质红茶的需求不断增加。茶叶香气是评判茶叶品质的重要指标之一，GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》^[1]中规定，香气的评分系数占工夫红茶审评总分 25%。红茶的主要香气类型为甜香、蜜香和花香^[2]，主要香气组分为醛类、醇类、酯类、酮类和烷烃类等^[3]。

研究表明，红茶香气的形成受茶树品种、采摘季节、制作工艺等多种因素的影响^[4-6]。其中，茶树品种是决定茶叶香气类型的重要因素^[7]。艾安涛等发现，金牡丹、金观音和小菜茶三个茶树品种制成的遵义红茶香气品质差异明显，其中金牡丹所制红茶花果香浓郁且持久，这与其水杨酸甲酯、香叶醇、新植二烯等花果香物质的质量分数高有关^[8]。汤海昆等发现，茶树品种与晒红茶的香气成分密切相关，清水 3 号、73-11、群体种、云抗 10 号、云茶普蕊、云抗 37 号和 73-8 中均以 β -紫罗酮为贡献度最高的香气成分；长叶白毫和云抗 14 号以 β -紫罗兰酮为贡献度最高的香气成分；云抗 43 号则以具有刺鼻酸味的 1-甲基萜为贡献度最高的香气成分。其中，清水 3 号、73-11、群体种的关键呈香物质不含 1-甲基萜且萜（刺激焦油味）的 ROAV 值均较低，因此更适合制作晒红茶^[9]。徐梦婷等利用五个茶树品种加工的工夫红茶兼具花香、果香和甜香，金牡丹的主要赋香物质包括癸醛、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛、壬醛、正辛醛、正己醛、戊醇和芳樟醇；金观音的主要赋香物质包括癸醛、 β -紫罗酮、芳樟醇、壬醛、3-萜烯等；紫玫瑰的关键呈香成分为癸醛和壬醛；梅占的主要赋香物质有壬醛、芳樟醇、癸醛和苯甲醇；福云 6 号的主要赋香物质是癸醛、 β -紫罗兰酮、香叶醇等^[10]。由此可见，不同茶树品种所制红茶关键赋香成分的差

异是导致茶叶具有“品种香”的主要原因。

遂川县位于江西省西南部，气候温和，降水充沛，土壤以红壤类为主，土层深厚肥沃，为茶树提供了良好的生长条件^[11]。目前，遂川县主要推广的茶树栽培品种有群体种、迎霜和福鼎大白等，茶树品种结构较为单一。采用单株选育从遂川戴家埔群体品种中成功选育出“狗牯脑 2 号”茶树品种，具有开采期早、发芽密度高、茶多酚、氨基酸含量高等特点。近年来，狗牯脑红茶因其外形匀细，芽披金毫，花香浓郁，滋味醇厚等特点深受消费者喜爱。然而，不同茶树品种所加工的狗牯脑红茶的香气类型是否有差异？“狗牯脑 2 号”新品种能否为狗牯脑红茶带来新的风味？尚未有研究报道。本研究选用遂川县当地的狗牯脑 2 号、群体种、福鼎大白和迎霜茶树的一芽二叶为原料，采用相同的工艺加工成狗牯脑红茶。通过感官审评快速对香气进行评价，然后结合电子鼻与 GC-MS 技术对茶叶香气中的挥发性化合物进行快速、准确地定性、定量分析^[12]，以解析不同茶树品种所制狗牯脑红茶香气品质的差异，为筛选高香狗牯脑红茶的适制品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

2022 年 7 月 6 日于江西省吉安市遂川县茶园分别采摘群体种、福鼎大白、迎霜和狗牯脑 2 号的一芽二叶；氯化钠（分析纯），国药集团有限公司；3-己酮（99.0%，色谱纯），Merck 公司。

AR124CN 电子天平，上海奥豪斯仪器有限公司；PEN3 便携式电子鼻，德国 Airsense 公司；8890-7000D GC-MS/MS、DB-5MS（30 m×0.25 mm×0.25 μ m）色谱柱和 120 μ m DVB/CWR/PDMS 萃取头，美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 材料处理

按照 DB36/T 1524-2021《狗牯脑红茶加工技术规程》，将采摘的鲜叶薄摊在萎凋帘上，每平方米萎凋帘摊叶 0.5 kg，室温 27 ℃ 自然萎凋 12 h 后，不加压揉捻 15 min，加压减压交替揉捻至 60 min，发酵机温度 26 ℃，相对湿度 90%，摊叶厚度 110 cm，发酵 4 h，毛火初烘，足火复烘，使其含水率达到 6%，制成狗牯脑红茶成茶^[13]。

1.2.2 感官审评

由 3 名国家职业认证的茶叶审评人员按照 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》对所制红茶样品进行感官审评^[1]。准确称取茶样 3 g 于审评杯中，按茶水比 1:50 注入沸水，加盖后冲泡 4 min，然后将茶汤滤出至审评碗中，叶底留于杯中。按汤色、香气、滋味、叶底的顺序进行感官审评。评审结果采用加权评分法，外形、汤色、香气、滋味、叶底分别按照 25%、10%、25%、30% 和 10% 的评分系数进行计算^[6]。

1.2.3 电子鼻评价方法

称取 3.0 g 红茶置于审评杯中，加入 150 mL 沸水进行冲泡，4 min 后倒掉茶汤并整理叶底，立即用电子鼻检测。电子鼻设置样品参数如下：传感器自动清洗时间为 200 s，传感器零点时间为 10 s，样品制备时间 5 s，分析采样时间为 120 s，采样间隔为 1 s，样品流量为 400 mL/min。每个样品做 3 次重复，选取香气平稳处 56~57 s 处进行分析^[12]。电子鼻传感器敏感物质见表 1。

表 1 电子鼻传感器敏感物质

Table 1 Electronic nose sensor sensitive substances

传感器序号	传感器	敏感物质
R1	W1C	芳香型化合物
R2	W5S	氮氧化合物
R3	W3C	氨、香气分子
R4	W6S	氢化物
R5	W5C	短链烷烃芳香成分
R6	W1S	烷类
R7	W1W	硫化物、萜烯类
R8	W2S	醇类、醛、酮类
R9	W2W	硫的有机化合物
R10	W3S	长链烷烃

1.2.4 GC-MS检测方法

1.2.4.1 茶叶香气采集

顶空固相微萃取法 (HS-SPME)：称取 500 mg 茶样于顶空瓶中，加入饱和 NaCl 溶液，10 μL 内标 (50 μg/mL 3-己酮) 溶液，在 60 ℃ 恒温条件下，震荡 5 min，120 μm DVB/CWR/PDMS 萃取头插入样品顶空瓶，顶空萃取 15 min，于 250 ℃ 下解析 5 min，然后进行 GC-MS 分离鉴定。

1.2.4.2 色谱质谱条件

色谱条件：DB-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm)，载气为高纯氦气 (纯度不小于 99.999%)，恒流流量 1.2 mL/min，进样口温度 250 ℃，不分流进样，溶剂延迟 3.5 min。程序升温：40 ℃ 保持 3.5 min，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。质谱条件：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，扫描方式为选择离子检测模式 (SIM)，定性定量离子精准扫描^[6]。

1.2.4.3 挥发性成分的定性与定量

基于 NIST 数据库，根据相对保留时间 (RT) 和相对保留指数 (RI) 对茶叶挥发性成分进行定性。通过内标法对茶叶挥发性成分进行相对定量。

采用内标法进行定量分析。各组分计算方法见公式 (1)。

$$W_i = \frac{S_i \times M_{is}}{S_{is} \times M_i} \quad (1)$$

式中：

W_i ——每个挥发性成分的含量，μg/kg；

S_i ——挥发性成分的峰面积；

S_{is} ——内标的峰面积；

M_{is} ——内标的质量，μg；

M_i ——样品质量，kg。

1.2.5 OAV值分析

采用香气活性值 (OAV) 法，筛选对整个样本香气起主要作用的成分。OAV 是指挥发性成分的绝对浓度 (C) 与其感觉阈值 (T) 的比值，按照公式 (2) 计算。

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (2)$$

将最大 OAV 值的成分定义为 100，其他组分的 ROAV 值由公式 (3) 进行计算^[9]。

表 2 不同品种所制狗牯脑红茶感官审评结果

Table 2 Results of sensory evaluation of different varieties of Gougunao black tea

项目	QTZ 红茶	FD 红茶	YS 红茶	GGN 红茶	
外形	评语	条索紧较卷, 有金毫, 较匀整, 较乌尚润	条索紧卷, 有金毫, 较匀整, 较乌润	条索紧较卷, 有金毫, 较匀整, 较乌尚润	条索较紧卷, 有金毫, 较匀整, 乌较润
	评分	87.33 ± 1.15 ^a	88.00 ± 1.00 ^a	87.67 ± 0.58 ^a	88.00 ± 1.73 ^a
汤色	评语	橙红, 明亮	红, 明亮	较红, 明亮	橙黄, 明亮
	评分	89.67 ± 0.58 ^a	90.33 ± 2.08 ^a	89.67 ± 0.58 ^a	86.67 ± 1.53 ^b
香气	评语	甜香, 略带花香, 较持久	蜜薯香, 较持久	甜香, 有花香, 较持久	蜜兰香浓郁, 香气持久
	评分	89.33 ± 1.53 ^{cd}	91.00 ± 1.00 ^{bc}	92.33 ± 1.53 ^b	95.33 ± 0.58 ^a
滋味	评语	较甜醇, 较浓厚	甜醇, 较浓厚	甜醇滑, 较浓厚	甜爽, 浓较厚
	评分	86.67 ± 1.53 ^b	89.33 ± 1.15 ^b	89.00 ± 1.00 ^b	92.67 ± 2.08 ^a
叶底	评语	柔软, 较红明, 较匀齐	较柔软, 较红明, 较匀齐	柔软, 较红明, 较匀齐	较柔软, 红明, 较匀齐
	评分	86.67 ± 1.53 ^{bc}	84.33 ± 1.53 ^c	87.00 ± 1.73 ^b	90.33 ± 0.58 ^a
总分	87.80 ± 0.69 ^c	89.02 ± 0.81 ^{bc}	89.37 ± 0.56 ^b	91.33 ± 0.88 ^a	

注: QTZ, 群体种; FD, 福鼎大白; YS, 迎霜; GGN, 狗牯脑 2 号; 表中每个数值为平均值 ± 标准差 (n=3), 同一列数据的不同字母间差异达显著水平 (P<0.05)。

$$ROAV_i = \frac{C_i \times T_{max}}{C_{max} \times T_i} \times 100 \quad (3)$$

式中:

ROAV_i—某挥发性成分 i 的相对风味活度值;

C_i—各挥发性成分的相对含量, %;

T_i—各挥发性成分的感觉阈值, μg/L;

C_{max}—茶样香气贡献值最大的挥发性成分所对应的相对含量, %;

T_{max}—茶样香气贡献值最大的挥发性成分所对应的感觉阈值, μg/L。

1.3 数据处理

每个样品进行三次重复实验, 使用 SPSS 26.0 软件进行单因素分析, 数据以平均值 ± 标准差表示, 配合使用电子鼻 PEN3 配套软件 WinMuster 对数据进行处理并进行主成分分析 (PCA)、传感器区别贡献率分析 (Loadings) 和线性判别分析 (LDA), 依据挥发物的组成和相对含量采用 SIMCA-14.1 软件进行 PCA 和 OPLS-DA 分析, 热图采用 Metware Cloud 进行绘制, 其余数据处理后采用 GraphPad prism 6 和 Adobe Photoshop CS5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同茶树品种所制狗牯脑红茶的感官品质分析

不同茶树品种加工的狗牯脑红茶感官品质差异

明显 (表 2)。GGN 红茶的感官品质最佳 (91.33 分), 综合得分显著高于 YS 红茶 (89.37 分)、FD 红茶 (89.02 分) 和 QTZ 红茶 (87.80 分)。不同茶树品种所制狗牯脑红茶感官品质的差异主要表现在香气、滋味。在香气得分方面, GGN 红茶 (95.33 分) > YS 红茶 (92.33 分) > FD 红茶 (91.00 分) > QTZ 红茶 (89.33 分)。GGN 红茶香气较为独特, 表现为浓郁的蜜兰香, YS 红茶和 QTZ 红茶香气均表现为甜香, 但 YS 红茶的花香更明显些, FD 红茶的香气类型为蜜薯香。4 个红茶的滋味得分趋势与香气一致, 其中 GGN 红茶滋味具有甜爽的特点, 优于其他红茶的滋味。总的来说, 茶树品种对红茶的香气类型产生重要影响, “狗牯脑 2 号”新品种加工的红茶香气独特, 呈现浓郁的蜜兰香。

2.2 不同茶树品种所制狗牯脑红茶的电子鼻分析

图 1a 显示在 CORRELATION 相关性矩阵模式下, 第一主成分 PC1 的贡献率为 73.43%, 第二主成分 PC2 的贡献率为 16.71%, 总贡献率为 90.14%。LDA 分析 (图 1b) 发现, 群体种和迎霜所制红茶的香气组分最为接近, “狗牯脑 2 号”所制红茶的香气组分与群体种和迎霜之间有小部分重叠, 与福鼎大白完全分离, 说明 “狗牯脑 2 号”所制红茶的香气与群体种和迎霜有较大差异, 与福鼎大白差异最大。这与感官审评结果一致。Loadings 分析发现 (图 1c),

对第一主成分区分贡献率最大的传感器为 W1S (烷类), 其次为 W5S (氮氧化合物) 和 W2S (醇类、醛、酮类)。对第二主成分区分贡献率最大的是传感器 W3S (长链烷烃) 和 W6S (氢化物), 其次是传感器 W2W (硫的有机化合物)。结果表明, 在区分不同品种所制红茶的香气成分中, 烷类、氮氧化合物、氢化物、醇类、醛类、酮类和长链烷烃等化合物的贡献比较大。

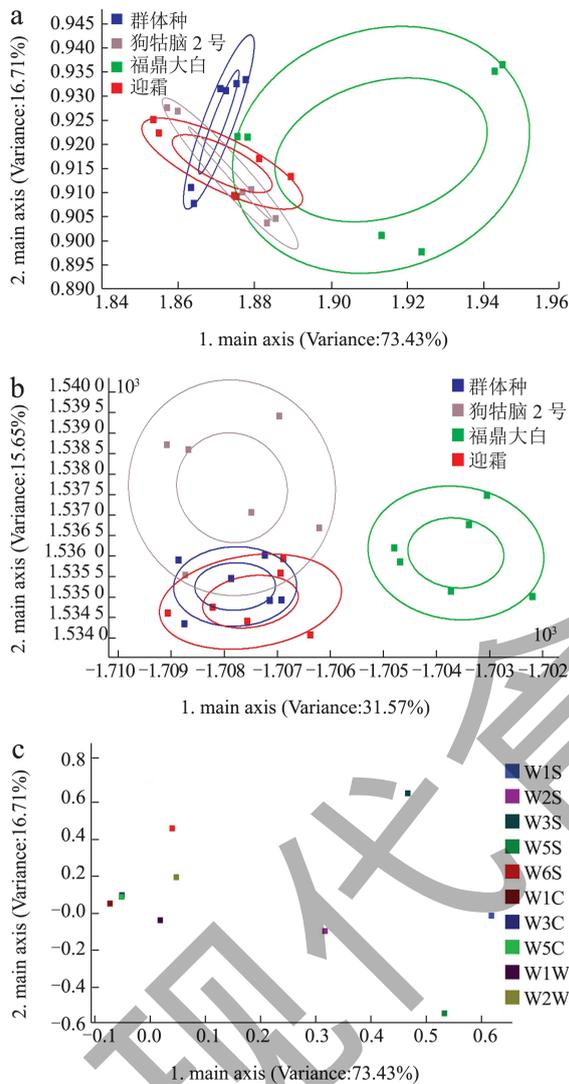


图 1 不同品种所制狗牯脑红茶电子鼻分析

Fig.1 Analysis of the electronic nose made of different varieties of Gougunao black tea

注: (a) PCA 分析; (b) LDA 分析; (c) Loadings 分析。

2.3 不同品种所制红茶GC-MS分析

2.3.1 不同品种所制狗牯脑红茶挥发物的定量分析

进一步通过 GC-MS 分析不同品种所制狗牯脑红茶的香气组分。四个品种所制的狗牯脑红茶中共

检测到 764 个挥发性成分, 包含醇类、碳氢化合物、杂环化合物、酯类、酮类、醛类及其他化合物, 其他化合物包括胺、醚、酚、含氮化合物、含硫化合物等。图 2 显示, 不同品种所制狗牯脑红茶在香气成分的组成与含量上均存在明显差异。在香气组成方面 (图 2a), QTZ、FD 和 YS 红茶的香气组成类似, 其中醇类的比例最高, 分别为 33.73%、33.52%、34.31%, 其次是碳氢化合物、杂环化合物、酯类、酮类、醛类及其他类。GGN 红茶的香气组成较为特殊, 以醇类的比例最高 (30.75%), 其次是酯类 (24.64%)、杂环化合物 (15.58%)、碳氢化合物 (13.10%)、酮类 (6.47%)、醛类 (5.97%) 及其他化合物。在香气总量方面 (图 2b), GGN 红茶 (660.92^a mg/kg) > QTZ 红茶 (520.63^b mg/kg) > YS 红茶 (442.66^c mg/kg) > FD 红茶 (379.22^d mg/kg)。此外, GGN 红茶中的醇类 (203.24 mg/kg)、酯类 (162.86 mg/kg)、杂环化合物 (102.94 mg/kg)、酮类 (42.73 mg/kg)、醛类 (39.43 mg/kg) 及其他化合物 (23.14 mg/kg) 的含量均显著高于其他品种, 可能是造成“狗牯脑 2 号”红茶特殊香气的重要原因。QTZ、YS 红茶中碳氢化合物含量显著高于 FD、GGN 红茶。QTZ 和 GGN 红茶中酮类含量显著高于 FD、YS 红茶。众多研究表明, 醇类、醛类、酯类、酮类等物质是构成高香红茶的重要组分^[14-19], GGN 红茶中的醇类、酯类、酮类及醛类等成分的含量显著高于其他品种, 可能是其香气突出的重要原因。

2.3.2 PCA分析及OPLS-DA分析

对四个品种所制狗牯脑红茶的香气成分进行比较。PCA 分析 (图 3a) 总成分解释率为 91.19%, 第一主成分 PC1 的解释率为 45.26%, 第二主成分 PC2 的解释率为 35.09%, 第三主成分 PC3 的解释率为 10.84%。结果发现, GGN 红茶的香气组分与其他三个品种完全分离, QTZ、YS 和 FD 红茶的香气组分较为接近。OPLS-DA 分析 (图 3b) 总成分解释率为 57.00%, 第一主成分 PC1 的解释率为 18.50%, 第二主成分 PC2 的解释率为 38.50%。分析发现, QTZ 和 YS 红茶在第一象限, FD 红茶在第二象限, GGN 红茶在第三象限。以上结果表明, GGN 红茶的香气组分与其他三个品种所制红茶的香气组分差距明显。

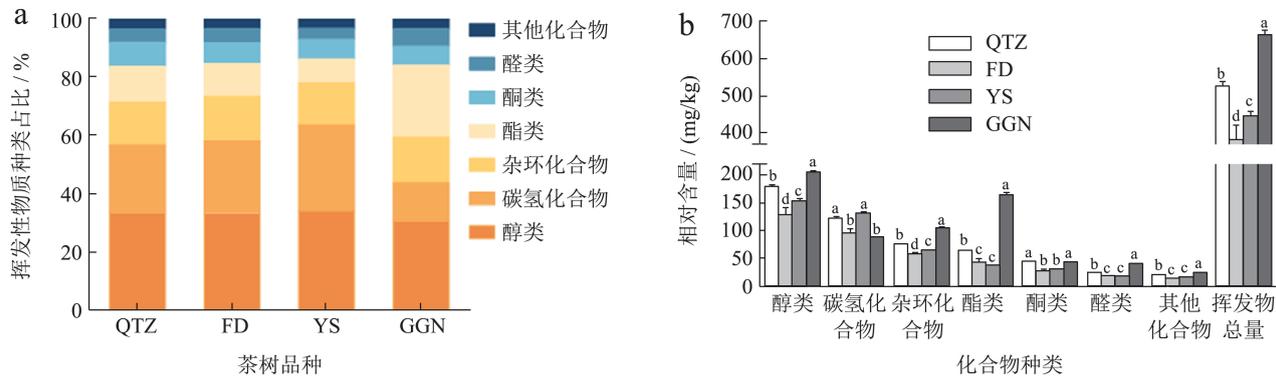


图2 不同品种所制狗牯脑红茶香气组分的相对含量

Fig.2 The relative content of aroma components in different varieties of Gougunao black tea

注:(a) 同一品种红茶不同组分的相对含量比较;(b) 不同品种红茶不同组分的相对含量比较;QTZ, 群体种;FD, 福鼎大白;YS, 迎霜;GGN, 狗牯脑2号。同种挥发性物质分类中不同小写字母间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

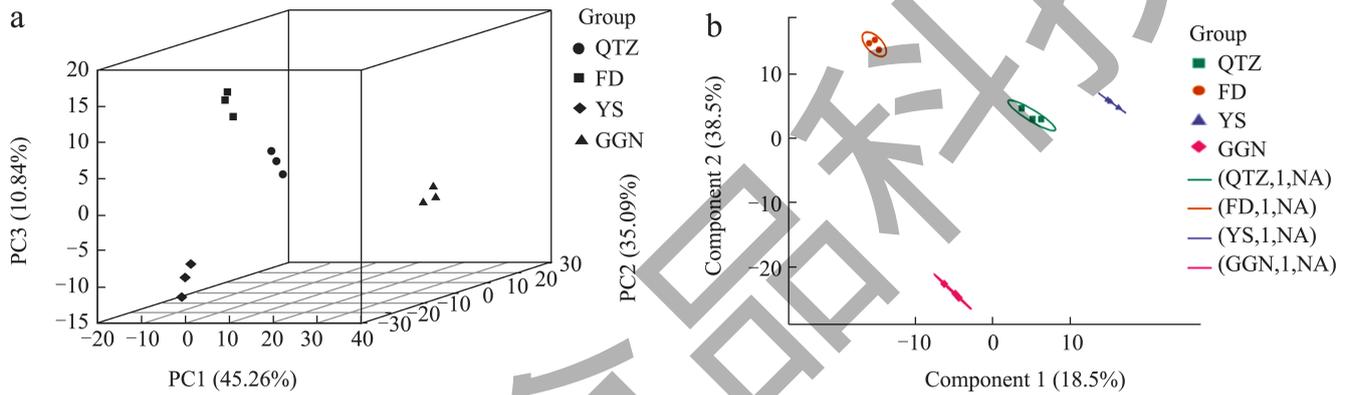


图3 不同品种所制狗牯脑红茶的香气差异分析

Fig.3 Analysis of aroma differences in different varieties of Gougunao black tea

注:(a) PCA 分析;(b) OPLS-DA 分析。QTZ, 群体种;FD, 福鼎大白;YS, 迎霜;GGN, 狗牯脑2号。

2.3.3 差异化合物筛选

本研究首先通过 $VIP > 1$ 和 $Fold\ change > 2$ 及 $Fold\ change < 0.05$ 初步筛选出不同品种所制狗牯脑红茶的差异化合物。结果显示,FD 红茶与 GGN 红茶共有 240 个差异代谢物,包括 184 个上调,56 个下调(图 4a)。QTZ 红茶和 GGN 红茶共有 294 个差异代谢物,包括 95 个上调,199 个下调(图 4b)。YS 红茶与 GGN 红茶共有 333 个差异代谢物,包括 270 个上调,63 个下调(图 4b)。由此看来,GGN 红茶与 YS 红茶的香气成分差异最大,其次为 QTZ、FD 红茶。进一步分析发现,在三组红茶的差异成分中,共同的有 92 种,包括 16 个醇类、15 个酯类、15 个杂环化合物、14 个酮类、10 个碳氢化合物、9 个醛类及 13 个其他化合物。GGN 红茶中含量最高的有水杨酸甲酯 (136.63 mg/kg)、2,6-二甲基-环己醇 (31.23 mg/kg)、2-甲基丙基吡嗪 (18.23 mg/kg)、苯甲醛 (17.72 mg/kg)、2,6-二

甲基-7-辛烯-2-醇 (14.97 mg/kg)、顺- α,α -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇 (14.94 mg/kg)、5-二甲基-5-乙烯基四氢- α -2-呋喃甲醇 (13.61 mg/kg)、(2R,5R)-2-甲基-5-丙烷-2-基双环[3.1.0]己烷-2-醇 (13.61 mg/kg)、2-异丙烯基-3-亚甲基环己醇 (5.04 mg/kg)、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮 (3.40 mg/kg) 等。以上结果表明,“狗牯脑2号”所制红茶香气组分与其他品种差异显著,使其“品种香”尤为突出。

2.3.4 狗牯脑2号所制红茶主要贡献香气组分

茶叶香气的呈现是由挥发性香气成分的浓度及其感觉阈值共同决定的。气味活性值 (OAV) 能够从浓度和阈值两个维度揭示香气成分对茶叶香气体系的贡献。OAV > 1.00 表示该香气成分是构成整个香气体系的关键成分,且 OAV 值越高,贡献越大^[20]。结合现有挥发性成分的阈值,最终在 GGN 红茶中共鉴定出 15 个 OAV > 1 的成分,分别是葫芦巴内酯 (25 127.14)、1-辛烯-3-酮 (21 027.24)、水杨酸

甲酯 (3 415.69)、(E,E)-2,4-壬二烯醛 (2 180.85)、反式-2,4-癸二烯醛 (671.60)、辛烯-3-醇 (436.33)、2-戊基呋喃 (368.29)、对甲酚 (143.47)、己醛 (238.08)、苯甲醛 (50.63)、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮 (22.70)、硝基苯 (19.92)、2-羟基-3,4-二甲基-2-环戊烯-1-酮 (2.88)、己醇 (2.48)、2-庚酮 (1.55)、2-甲基-苯甲醛 (1.00)。相对气味活性值 (ROAV) 可用来判断各挥发性组分对整体香气的贡献度。ROAV ≥ 1.00 的香气组分被认为是影响整个香气体系的主要组分, 而 $0.10 \leq \text{ROAV} < 1.00$ 的香气组分对于改善整个香气体系发挥重要作用^[10]。结合 ROAV 值分析, 结果发现, 具有焦糖香的葫芦巴内酯 (100)、药草香和蘑菇香的 1-辛烯-3-酮 (83.683)、冬青香和薄荷香的水杨酸甲酯 (13.594)、花香和油脂香的 (E,E)-2,4-壬二烯醛 (8.679)、脂香的

反式-2,4-癸二烯醛 (2.673)、薰衣草香、玫瑰香和蘑菇香的辛烯-3-醇 (1.736) 和具有果甜香的 2-戊基呋喃 (1.466) 是 GGN 红茶“蜜兰香”的主要组分, 而具有花香的对甲酚 (0.571)、清香、木香和水果香的己醛 (0.947)、甜香和杏仁香的苯甲醛 (0.202) 是修饰 GGN 红茶“蜜兰香”的重要组分。研究发现, 葫芦巴内酯的香气表现多样, 低质量浓度时表现出焦糖的香气特征, 是构成葡萄酒、黄酒、陈年日本清酒、咖啡、酱油、糖浆等香气特征的关键香气化合物^[21-23]。本研究发现葫芦巴内酯是 GGN 红茶香气中的重要组分, 可能是 GGN 红茶蜜香的主要来源。此外, 具有花香和果香特征的水杨酸甲酯、苯甲醛、己醛、烯-3-醇、(E,E)-2,4-壬二烯醛等均已被证明是工夫红茶的重要香气组分^[3,5,24]。

表 3 狗牯脑2号所制狗牯脑红茶关键香气成分及其OAV和ROAV值

Table 3 Key aroma components, OAV and ROAV value of Gougunao black tea prepared by Gougunao No.2

成分	分子式	RI	CAS	香气特征	香气阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	ROAV	文献
葫芦巴内酯	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$	1 110	28664-35-9	焦糖香	0.10	25 127.14	100.00	[25]
1-辛烯-3-酮	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	976	4312-99-6	药草香、蘑菇香	0.003	21 027.24	83.683	[26]
水杨酸甲酯	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$	1 192	119-36-8	冬青香, 薄荷香	40.00	3 415.69	13.594	[10]
(E,E)-2,4-壬二烯醛	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	1 216	5910-87-2	花果, 油脂香	0.16	2 180.85	8.679	[10]
反式-2,4-癸二烯醛	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	1 317	25152-84-5	脂香	0.5	671.60	2.673	[27]
辛烯-3-醇	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	982	3391-86-4	薰衣草香、玫瑰香、蘑菇香	1.00	436.33	1.736	[10]
2-戊基呋喃	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$	830	3777-69-3	果甜香	4.80	368.29	1.466	[25]
对甲酚	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	1 077	106-44-5	花香	3.9	143.47	0.571	[28]
己醛	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	801	66-25-1	清香、木香、水果香	4.50	238.08	0.947	[10]
苯甲醛	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	960	100-52-7	甜香、杏仁香	350	50.63	0.202	[29]
(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}$	1 073	30086-02-3	金属味	150	22.70	0.090	[30]
硝基苯	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	1 080	98-95-3	杏仁香	62	19.92	0.079	[31]
2-羟基-3,4-二甲基-2-环戊烯-1-酮	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}_2$	1 075	21835-00-7	甘草香 ^a	17	2.88	0.011	
己醇	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	868	111-27-3	树脂、花香	400	2.48	0.010	[32]
2-庚酮	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	895	110-43-0	果香	70	1.55	0.006	[32]
2-甲基-苯甲醛	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	1 064	529-20-4	果香	240	1.00	0.004	[31]

注: a 数据来源于公开网站: OdorantDB (leibniz-lsb.de), 且该阈值为空气中阈值。

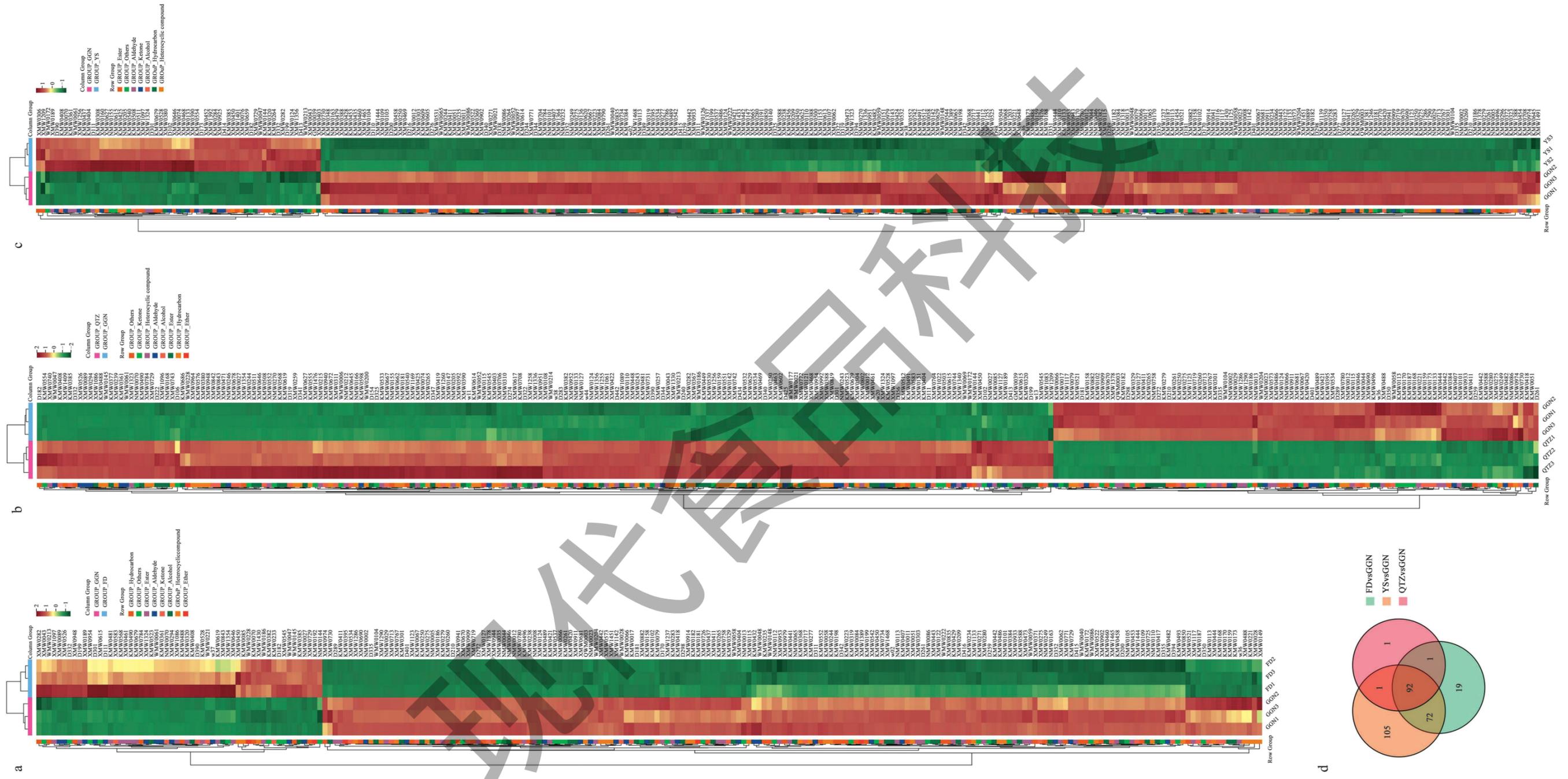


图4 差异化合物聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of differential compounds

注：A, GGN vs FD；B, GGN vs QTZ；C, GGG vs YS；D, 差异化合物韦恩图。QTZ, 群体种；FD, 福鼎大白；YS, 迎霜；GGN, 狗牯脑2号。

3 结论

本研究以江西省新品种狗牯脑2号及其他主栽茶树品种所加工的狗牯脑红茶为材料,重点解析了“狗牯脑2号”所制红茶的香气特征。福鼎大白所制红茶具有蜜薯香,群体种和迎霜所制红茶表现为甜香,“狗牯脑2号”所制红茶的“品种香”突出,表现为浓郁的“蜜兰香”。“狗牯脑2号”所制红茶的挥发物总量、醇类、酯类、杂环化合物、酮类、醛类及其他化合物含量均显著高于群体种、福鼎大白、迎霜,且与迎霜所制红茶的香气组成差异最大。从“狗牯脑2号”所制红茶中共筛选出92个关键成分显著高于其他品种,并从这些成分中筛选出9个对狗牯脑红茶“蜜兰香”具有重要贡献的香气组分,分别为葫芦巴内酯、1-辛烯-3-酮、水杨酸甲酯、(E,E)-2,4-壬二烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、辛烯-3-醇、2-戊基呋喃、对甲酚、己醛、苯甲醛。

参考文献

- [1] GB/T 23776-2018,茶叶感官审评方法[S].
- [2] KENJI K, YOSHIYUKI W, HIDEKI M. Characterization of epoxydecenal isomers as potent odorants in black tea (*Dimbula*) infusion [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(13): 4795-4801.
- [3] KANG S, YAN H, ZHU Y, et al. Identification and quantification of key odorants in the world's four most famous black teas [J]. *Food Research International*, 2019, 121: 73-83.
- [4] WANG B, CHEN H, QU F, et al. Identification of aroma-active components in black teas produced by six Chinese tea cultivars in high-latitude region by GC-MS and GC-O analysis [J]. *European Food Research and Technology*, 2022, 248(3): 647-657.
- [5] LIU H, XU Y, WU J, et al. GC-IMS and olfactometry analysis on the tea aroma of Yingde black teas harvested in different seasons [J]. *Food Research International*, 2021, 150: 110784.
- [6] WANG B, QU F, WANG P, et al. Characterization analysis of flavor compounds in green teas at different drying temperature [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 161: 113394.
- [7] WANG C, ZHANG C, KONG Y, 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.
- [8] 艾安涛,陈曦,李燕丽,等.不同品种“遵义红”红茶香气成分分析[J]. *食品与生物技术学报*,2023,42(4):103-111.
- [9] 汤海昆,杨方慧,张艳梅,等.基于HS-SPME-GC-MS分析不同茶树品种晒红茶的香气成分[J]. *食品工业科技*,2023, 44(7):260-268.
- [10] 徐梦婷,邵淑贤,陈静,等.不同茶树品种工夫红茶挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. *现代食品科技*,2023, 39(1):281-290.
- [11] 郭玉香,何征.红色文化元素在狗牯脑茶叶包装上的运用设计[J]. *福建茶叶*,2023,45(4):85-87.
- [12] 王宝怡,王培强,李晓晗,等.基于电子鼻技术对不同季节山东绿茶香气的分析[J]. *现代食品科技*,2020,36(10):284-289,259.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.DB36T 1524-2021,狗牯脑红茶加工技术规程[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [14] 梅双,陈维,马成英,等.广东花香型红茶与单丛茶挥发性成分比较分析[J]. *现代食品科技*,2020,36(1):242-252.
- [15] 廉明,吕世懂,吴远双,等.我国4种红茶的挥发性成分分析[J]. *热带亚热带植物学报*,2015,23(3):301-309.
- [16] 赵丹,吕才有.红茶香气研究进展[J]. *安徽农业科学*,2016, 44(23):45-46,83.
- [17] QU F, ZENG W, TONG X, et al. The new insight into the influence of fermentation temperature on quality and bioactivities of black tea [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 117: 108646.
- [18] VILMA K, EBRU P, CESARETTIN A. Volatile compounds and sensory characteristics of various instant teas produced from black tea [J]. *Food Chemistry*, 2016,194: 864-872.
- [19] 张韵,李蕙蕙,周圣弘.基于OAV对3种高香种工夫红茶的香气特征分析[J]. *食品研究与开发*,2020,41(21):184-191.
- [20] 黄宇杏,方炜聪,徐纯伟,等.GC-MS-O结合OAV鉴定花生油特征香气成分[J]. *现代食品科技*,2023,39(4):278-288.
- [21] ALEXANDRE P, VALÉRIE L, YANNICK L, et al. Identification of a sotolon pathway in dry white wines [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(12): 7273-9.
- [22] SHU K, KENJI K, OSAMU N. Studies on the key aroma compounds in raw (unheated) and heated Japanese soy sauce [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(14): 3396-3402.
- [23] 王程成,陈双,王栋,等.黄酒中“焦糖香”特征香气物质葫芦巴内酯的检测及风味贡献研究[J]. *食品与发酵工业*, 2018,44(8):246-251.
- [24] 岳翠男,秦丹丹,李文金,等.基于HS-SPME-GC-MS和OAV鉴定浮梁红茶关键呈香物质[J]. *食品工业科技*,2022,

- 43(9):251-258.
- [25] 张晨.汉中红茶和绿茶中风味物质研究[D].汉中:陕西理工大学,2019.
- [26] 彭凯雄,唐群勇,郑钰涵,等.基于HS-SPME-GC-TOFMS分析不同品种酿酒大米的挥发性成分差异[J].江苏农业学报,2023,39(3):622-635.
- [27] ZHOU J, HE C, QIN M, et al. Characterizing and decoding the effects of different fermentation levels on key aroma substances of Congou black tea by sensomics [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(40): 14706-14719.
- [28] 杨平.武夷岩茶焙火过程中关键Maillard反应香气成分及形成途径研究[D].北京:北京工商大学,2022.
- [29] 孙京格,王孟阳,李思诺,等.玫瑰茄中增甜香气成分分析及含量测定[J].食品研究与开发,2023,44(22):134-140.
- [30] 裴子莹,赫桂影,刘彧辰,等.黄大茶特征“锅巴香”的关键呈香物质鉴定[J].食品科学,2023,44(12):289-297.
- [31] 里奥·范海默特,刘强(译).化合物香味阈值汇编[M].北京:科学出版社,2015.
- [32] 肖作兵,王红玲,牛云蔚,等.基于OAV和AEDA对工夫红茶的PLSR分析[J].食品科学,2018,39(10):242-249.