

## 梅占红茶、白茶品质差异分析

林燕萍, 黄毅彪, 张 渤, 张见明, 陈荣冰

### Quality Difference Analysis of Meizhan Black Tea and Meizhan White Tea

LIN Yanping, HUANG Yibiao, ZHANG Bo, ZHANG Jianming, and CHEN Rongbing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050222>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 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

#### 贵州不同产区代表绿茶的品质特征及香气组分分析

Analysis of Quality Features and Aroma Components in Guizhou Representative Green Tea  
食品工业科技. 2021, 42(5): 78-84,92

#### 茶树新品系苦茶21-1主要品质成分分析

Analysis of main quality components of new tea strains of bitter tea 21-1  
食品工业科技. 2018, 39(12): 227-230

#### 做青工艺对夏季祁门红茶品质形成影响

Effect of green-making technique on the quality of summer Keemun black tea  
食品工业科技. 2017(08): 108-112

#### 不同热导介质干燥对绿茶品质成分及感官的影响

Effects of Different Thermal Conductive Medium Drying on Quality Components and Sensory of Green Tea  
食品工业科技. 2020, 41(2): 252-257,266

#### 外源纤维素酶对江华苦茶红茶品质的影响

Effects of Exogenous Cellulase on the Quality of Black Tea of JiangHua-KuCha  
食品工业科技. 2021, 42(17): 38-46



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

林燕萍, 黄毅彪, 张渤, 等. 梅占红茶、白茶品质差异分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 260–267. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050222

LIN Yanping, HUANG Yibiao, ZHANG Bo, et al. Quality Difference Analysis of Meizhan Black Tea and Meizhan White Tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 260–267. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050222

· 分析检测 ·

# 梅占红茶、白茶品质差异分析

林燕萍<sup>1</sup>, 黄毅彪<sup>1</sup>, 张渤<sup>1</sup>, 张见明<sup>2</sup>, 陈荣冰<sup>1,\*</sup>

(1. 武夷学院茶与食品学院, 福建武夷山 354300;

2. 武夷学院生态与资源工程学院, 福建武夷山 354300)

**摘要:** 为探究梅占红茶、梅占白茶的品质差异, 以梅占鲜叶为原料分别加工成红茶和白茶, 并进行感官品质审评与理化分析。结果表明: 梅占红茶香气呈甜花香, 滋味甜醇; 梅占白茶香气呈清花香, 滋味醇爽。梅占红茶茶黄素、茶红素、茶褐素含量显著高于梅占白茶; 梅占白茶茶多酚、游离氨基酸含量显著高于梅占红茶 ( $P < 0.05$ )。共鉴定出的 56 种香气成分, 其中醇类 12 种、内酯类 2 种、醛类 6 种、烃类 19 种、酮类 9 种、酯类 8 种。梅占红茶挥发性香气成分峰面积大于梅占白茶。梅占红茶与梅占白茶香气成分共存在 22 个显著差异代谢物, 其中梅占红茶 18 个香气代谢物显著高于梅占白茶。综上, 梅占红茶香气呈甜花香, 滋味甜醇; 茶黄素、茶红素、茶褐素含量显著高于梅占白茶; 挥发性香气成分峰面积大于梅占白茶。梅占白茶香气呈清花香, 滋味醇爽; 茶多酚、游离氨基酸含量显著高于梅占红茶。

**关键词:** 梅占红茶, 梅占白茶, 感官品质, 主要生化成分, 香气成分

中图分类号: TS272.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0260-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050222



本文网刊:

## Quality Difference Analysis of Meizhan Black Tea and Meizhan White Tea

LIN Yanping<sup>1</sup>, HUANG Yibiao<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>1</sup>, ZHANG Jianming<sup>2</sup>, CHEN Rongbing<sup>1,\*</sup>

(1. College of Tea and Food Science, Wuyi University, Wuyishan 354300, China;

2. College of Ecology and Resources Engineering, Wuyi University, Wuyishan 354300, China)

**Abstract:** In order to explore the quality differences between Meizhan black tea and Meizhan white tea, Meizhan fresh leaves were used as raw materials to process black tea and white tea, and sensory quality evaluation and physicochemical analysis were carried out. The results showed that the aroma of Meizhan black tea was sweet and flowery, the taste was sweet and mellow. The aroma of Meizhan white tea was floral, the taste was fresh and mellow. The contents of theaflavins, thearubins and theanines in Meizhan black tea were significantly higher than those in Meizhan white tea. The contents of polyphenols and free amino acids in Meizhan white tea were significantly higher than those in Meizhan black tea ( $P < 0.05$ ). 56 kinds of amora compounds were detected, including 12 kinds of alcohols, 2 kinds of lactones, 6 kinds of aldehydes, 19 kinds of hydrocarbons, 9 kinds of ketones and 8 kinds of esters. The peak area of volatile aroma components in Meizhan black tea was larger than that in Meizhan white tea. There were 22 significant metabolites of aroma components in Meizhan black tea and Meizhan white tea, and 18 metabolites of aroma components in Meizhan black tea were significantly higher than those in Meizhan white tea. In conclusion, the aroma of Meizhan black tea is sweet and flowery, the taste was sweet and mellow. The contents of theaflavins, thearubins and theanines in Meizhan black tea were significantly higher than those in Meizhan white tea. The peak area of volatile aroma components in Meizhan black tea was larger than that in Meizhan white tea. The aroma of Meizhan white tea was floral, the taste was fresh and mellow. The contents of polyphenols and free

收稿日期: 2021-05-26

基金项目: 福建省科技厅对外合作项目 (2019I0020); 福建省科技厅项目 (2016S0045); 中央引导地方科技发展专项 (2020L3031); 福建省科技厅科技创新平台项目 (2018N2004)。

作者简介: 林燕萍 (1985-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 茶叶栽培、加工与审评, E-mail: 93784063@qq.com。

\* 通信作者: 陈荣冰 (1950-), 男, 本科, 研究员, 研究方向: 茶树栽培与育种, E-mail: rb\_chen@163.com。

amino acids in Meizhan white tea were significantly higher than those in Meizhan black tea.

**Key words:** Meizhan black tea; Meizhan white tea; sensory quality; main biochemical components; aroma components

红茶和白茶因具有独特的品质而深受广大消费者的喜爱<sup>[1-2]</sup>。梅占是一种茶树的名称,又名大叶梅占,高脚乌龙,无性系,小乔木型,中叶类,中生种,分枝密度中等。1985 年全国农作物品种审定委员会认定为国家品种,编号 GS13004-1985<sup>[3]</sup>。梅占主要用于制作乌龙茶、绿茶和红茶,由于目前白茶市场需求旺盛,也有部分茶企业、茶农将梅占制作成白茶,因此开展本研究可为梅占茶叶的加工提供理论依据。不同茶类因工艺不同,导致生化成分与感官品质存在差异<sup>[4-5]</sup>。红茶工艺主要包含萎凋、揉捻、发酵、干燥,其品质与加工工艺密切相关<sup>[6-8]</sup>。白茶加工工艺主要包括萎凋和干燥两道工序,萎凋工序作为白茶的关键工序,对其品质形成具有重要的贡献<sup>[9-10]</sup>。

目前科研工作者已经开展了不同加工工艺对茶叶生化成分与品质影响的研究。如李荣林等<sup>[11]</sup>的研究表明 3 种茶叶中绿茶表没食子儿茶素没食子酸酯含量最高,但黑茶中表没食子儿茶素和没食子儿茶素没食子酸酯含量高于红茶和绿茶。陈林等<sup>[12]</sup>对福建 4 种茶类及其鲜叶原料中的主要滋味和香气品质成分进行了检测分析,结果表明白茶与红茶的香气组成在种类和数量上存在一定的相似特征。杨伟丽等<sup>[13]</sup>的研究表明红茶水浸出物、茶多酚和儿茶素总量最低。氨基酸、黄酮和水溶性碳水化合物,则以白茶中含量最多,红茶中最少。吴小清<sup>[14]</sup>研究了栗峰秋季鲜叶加工成四种茶类的品质成分差异,发现白茶香气馥郁,红茶呈花香、木香等香气。张磊等<sup>[15]</sup>的研究结果表明茗科 1 号红茶蜜桃香显,主要香气成分为顺-橙花叔醇、橙花醇、顺-己酸-3-己烯酯、顺-茉莉酮、顺-氧化芳樟醇;茗科 1 号白茶有兰花香,主要香气成分为橙花醇、顺-氧化芳樟醇、水杨酸甲酯和  $\beta$ -芳樟醇。李鑫磊<sup>[16]</sup>的研究结果表明红茶经历发酵工序,香豆酰奎宁酸、没食子酸和茶黄素组分大量积累;白茶全程萎凋,黄酮或黄酮醇糖苷类物质保留量最多,酯型儿茶素组分、甲基化儿茶素组分也有一定程度保留。卢莉等<sup>[17]</sup>的研究表明‘毛蟹’制绿茶、黄茶和白茶品质均优,‘矮脚乌龙’制红茶品质优,‘丹桂’制白茶品质较优。

此外,科研工作者还开展了梅占茶叶的相关研究。刘婷婷等<sup>[18]</sup>的研究结果表明以名山 131 制作的功夫红茶汤色最好,福选 9 号香气最佳,梅占滋味最优。毕彩虹等<sup>[19]</sup>的研究结果表明梅占的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均高于福选 9 号,且差异显著。傅仙玉等<sup>[20]</sup>的研究结果表明在 80% 遮光处理下,梅占茶树能够获得最适宜生长的光强。卢莉等<sup>[21]</sup>的研究结果表明炭焙 18 h 后梅占水浸出物含量最高,梅占黄酮含量降幅最大。蔡烈伟等<sup>[22]</sup>的研究结果表明新工艺借鉴乌龙茶的晒青和摇青工艺,重萎

凋,延长发酵时间,提高乌龙茶品种制作的红茶品质。陈赶林等<sup>[23]</sup>的研究结果表明 8 种红茶种醇类相对含量分别 15.598%~25.863%(梅占相对含量最高,福云六号最低)。然而采用单芽梅占鲜叶制成红茶、白茶的研究尚未见报道。由于不同品种、鲜叶嫩度、生态环境等因素的茶叶生化成分存在差异,因此本试验采用同一批次的单芽梅占鲜叶为原料,加工成红茶和白茶。本文探究梅占红茶和梅占白茶的感官品质、主要生化成分、挥发性香气成分的差异,可为梅占茶叶的加工提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

梅占鲜叶 来自福建省政和县铁山镇,采摘标准为单芽,选用同一批次原料加工成梅占红茶(BT)和梅占白茶(WT);氯化钠、乙酸乙酯、甲醇、碳酸氢钠、碳酸钠、碱式乙酸铅、草酸、正丁醇、茚三酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、浓硫酸、氯化亚锡 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;福林酚试剂 生物试剂,国药集团化学试剂有限公司;正己烷 色谱纯,默克 Merck 公司。

7890B-7000D GC-MS/MS 气质联用仪 美国安捷伦有限公司;MM400 球磨仪 德国莱驰公司;UV-3200PC 紫外可见分光光度计 上海美谱达有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 梅占红茶和梅占白茶的加工 结合《制茶学》中红茶、白茶制作理论,在前期大量预实验的基础上设置以下工艺参数<sup>[24]</sup>。梅占红茶制作的具体步骤如下:萎凋温度 22~25 °C,相对湿度 65%~80%,萎凋时间 20 h;揉捻时间 65 min;发酵时间 5 h,温度 25~28 °C;初烘温度 120 °C,时间 15 min,摊晾时间 20 min;复烘温度 70 °C,时间 3 h。梅占白茶制作的具体步骤如下:萎凋温度 20~26 °C,相对湿度 65%~80%,萎凋时间 66 h;初烘温度 120 °C,时间 15 min,摊晾时间 20 min;复烘温度 70 °C,时间 3 h。

1.2.2 感官审评方法 由 3 名茶学专业一级评茶员按国家标准 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》<sup>[25]</sup>对梅占红茶和梅占白茶进行感官审评。

1.2.3 主要生化成分测定 水浸出物的测定:参照 GB/T 8305-2013《茶水浸出物测定》<sup>[26]</sup>。茶多酚的测定:参照 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量检测方法》<sup>[27]</sup>。氨基酸的测定:参照 GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》<sup>[28]</sup>。咖啡碱的测定:参照 GB/T 8312-2013《茶 咖啡碱测定》<sup>[29]</sup>。茶黄素、茶红素和茶褐素:参照文献<sup>[30]</sup>。挥发性香气成分的测定参考文献<sup>[31]</sup>。茶样挥发性化合物的定性分析

参考 NIST20 质谱数据库,保留相似度大于 80 的化合物进行鉴定确认;挥发性化合物定量采用的是相对定量法,通过检测出的峰面积进行对比寻找梅占红茶、白茶的差异代谢物,并采用归一化法分别计算各物质在梅占红茶和梅占白茶中的相对含量。

### 1.3 数据处理

每个样品生化成分、香气成分重复测定 3 次。含量采用 SPSS 21.0 进行统计分析。将香气成分数据导入到 SIMCA14.1,进行主成分分析((principal component analysis, PCA)、正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares discrimination analysis, OPLS-DA)。结合 t 检验的 P 值( $P < 0.05$ )、差异倍数(fold change, FC)( $FC > 1.50$  或  $< 0.67$ )和变量投影重要性指标(variable importance in the projection)值( $VIP \geq 1.00$ )筛选出差异代谢物。FC 值为梅占红茶香气成分峰面积/梅占白茶。采用 Origin 2018 绘制主成分得分图,采用 TTools 1\_09832 绘制热图。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官审评特征分析

梅占红茶和梅占白茶感官品质特征如表 1 所示。

梅占红茶条索细紧稍卷,乌褐带金毫;汤色红亮;香气呈甜花香;滋味甜醇;叶底细直明亮,古铜色。梅占白茶外形条索壮实,色泽灰绿显毫,匀整;汤色杏黄;香气呈清花香;滋味醇爽;叶底芽叶肥壮,嫩绿匀净。

### 2.2 主要生化成分分析

梅占红茶和梅占白茶水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、茶黄素、茶红素、茶褐素含量如表 2 所示。

由表 2 可知,梅占红茶、梅占白茶茶多酚、游离氨基酸、茶黄素、茶红素、茶褐素含量差异显著( $P < 0.05$ );水浸出物、咖啡碱含量差异不显著( $P > 0.05$ )。梅占红茶茶多酚含量低于梅占白茶,因红茶在发酵过程中茶多酚在氧化酶的作用下发生酶促氧化反应,转化成茶黄素、茶红素、茶褐素,这与孙世利等<sup>[32]</sup>的研究结果相一致。游离氨基酸味多鲜甜,对于提高茶汤的鲜爽度、缓解苦涩味具有重要作用。梅占白茶游离氨基酸含量高于梅占红茶,在滋味表现

为醇爽。HORANNI 等<sup>[33]</sup>研究指出,白茶的游离氨基酸总量为所有茶类中最高;ALCAZAR 等<sup>[34]</sup>的研究也得出类似的结论,与本研究结果相一致。可见,梅占红茶、梅占白茶茶多酚、氨基酸、茶黄素、茶红素、茶褐素含量差异显著。

### 2.3 香气成分分析

2.3.1 香气成分 PCA、OPLS-DA 分析 香气成分 PCA、OPLS-DA 主成分得分分如图 1 所示。

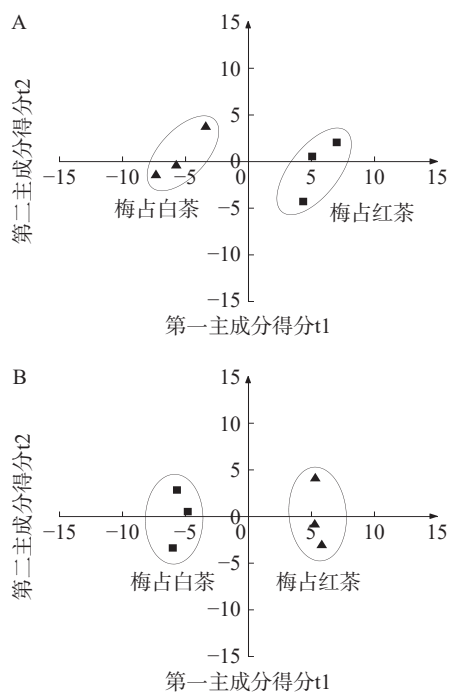


图 1 梅占红茶、梅占白茶主成分得分图  
Fig.1 Principal component scores of Meizhan black tea and Meizhan white tea  
注: A: PCA; B: OPLS-DA。

应用 GC-MS 检测梅占红茶、梅占白茶挥发性香气成分,以检测的挥发性成分峰面积值为指标进行 PCA(图 1A)、OPLS-DA 分析(图 1B),发现梅占红茶与梅占白茶各聚成一簇,区分明显,说明梅占红茶与梅占白茶挥发性香气成分存在明显差异。

2.3.2 香气成分分析 梅占红茶与梅占白茶香气成分峰面积如表 3 所示。

表 1 梅占红茶和梅占白茶感官品质特征

Table 1 Sensory quality characteristics of Meizhan black tea and Meizhan white tea

茶类	外形	汤色	香气	滋味	叶底
梅占红茶	条索细紧稍卷,乌褐带金毫	红亮	甜花香	甜醇	细直明亮,古铜色
梅占白茶	条索壮实,色泽灰绿显毫,匀整	杏黄	清花香	醇爽	芽叶肥壮,嫩绿匀净

表 2 梅占红茶、梅占白茶主要生化成分(mg/g)

Table 2 The main biochemical components of Meizhan black tea and Meizhan white tea(mg/g)

茶类	水浸出物	茶多酚	游离氨基酸	咖啡碱	茶黄素	茶红素	茶褐素
梅占红茶	436.28±32.15 <sup>a</sup>	159.82±22.43 <sup>b</sup>	39.83±2.21 <sup>b</sup>	33.25±1.27 <sup>a</sup>	3.21±0.35 <sup>a</sup>	30.39±1.94 <sup>a</sup>	47.13±1.95 <sup>a</sup>
梅占白茶	443.27±41.33 <sup>a</sup>	212.39±15.46 <sup>a</sup>	59.52±1.79 <sup>a</sup>	32.87±1.93 <sup>a</sup>	1.06±0.24 <sup>b</sup>	13.67±2.85 <sup>b</sup>	27.28±2.62 <sup>b</sup>

注: 同列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),结果以均值±标准差表示。

表 3 梅占红茶、梅占白茶香气成分峰面积

Table 3 Peak area of aroma components in Meizhan black tea and Meizhan white tea

物质	保留时间(min)	物质分类	梅占红茶		梅占白茶	
			峰面积	占比(%)	峰面积	占比(%)
芳樟醇	12.47	醇类	27701614.85±2348377.89	6.76	21754784.82±4454560.38	7.79
反式芳樟醇氧化物	12.05	醇类	16340928.29±1413878.77	3.99	9838322.66±1365619.06	3.52
香叶醇	16.79	醇类	49747610.40±3771702.12	12.14	40821408.50±8081979.32	14.61
反式橙花叔醇	24.68	醇类	114013.89±22662.42	0.03	16556.93±3851.00	0.01
苯甲醇	10.47	醇类	18754276.92±1164641.47	4.58	15170319.46±477653.95	5.43
橙花醇	16.02	醇类	1924882.88±228627.69	0.47	1187290.56±234382.13	0.42
苯乙醇	12.79	醇类	101805167.93±7234974.73	24.85	56317754.69±4721126.84	20.16
戊烯醇	2.55	醇类	622631.08±109973.01	0.15	1127597.48±185237.03	0.40
顺式芳樟醇氧化物	11.57	醇类	6920385.54±557816.07	1.69	5093928.54±271970.77	1.82
二氢芳樟醇	12.54	醇类	1697154.20±104168.01	0.41	1524579.91±120146.85	0.55
环戊醇	3.73	醇类	358453.83±24606.61	0.09	367167.65±11848.58	0.13
$\alpha$ -松油醇	15.18	醇类	1707687±164158.32	0.42	1112270.82±200357.64	0.40
茉莉内酯	22.89	内酯类	160669.09±23039.75	0.04	206865.68±53488.30	0.07
二氢猕猴桃内酯	23.82	内酯类	275125.88±29159.13	0.07	325169.80±40005.31	0.12
藏红花醛	15.27	醛类	257343.49±31037.98	0.06	348609.57±23018.25	0.12
2-甲基丁醛	2.38	醛类	359808.11±50784.41	0.09	220771.10±38614.62	0.08
己醛	4.28	醛类	67879.67±14557.25	0.02	150424.90±13249.75	0.05
苯甲醛	8.31	醛类	9537064.83±728694.62	2.33	11815810.19±867283.57	4.23
苯乙醛	10.71	醛类	5483410.20±664045.56	1.34	724007.11±20191.56	0.26
2,4-二甲基苯甲醛	15.73	醛类	209627.77±17926.65	0.05	175422.96±33783.08	0.06
3-萜烯	10.85	烃类	29803373.75±1541922.05	7.28	21925085.54±3518144.20	7.85
$\gamma$ -萜品烯	11.18	烃类	1748666.43±91235.35	0.43	1068163.17±243491.81	0.38
$\beta$ -法尼烯	22.07	烃类	155268.08±13796.90	0.04	18787.54±2580.52	0.01
柠檬烯	10.32	烃类	8194923.64±408099.93	2.00	5109966.75±742911.61	1.83
$\beta$ -红没药烯	23.43	烃类	23274.78±4978.06	0.01	0	0
$\alpha$ -法尼烯	23.34	烃类	180729.55±27725.25	0.04	53219.45±4408.34	0.02
去氢白菖烯	23.74	烃类	2890130.08±356013.47	0.71	1961161.46±162498.23	0.70
邻二甲苯	5.63	烃类	160235.05±35959.20	0.04	119896.30±20260.38	0.04
1,2-二氢-1,1,6-三甲基-萘	19.51	烃类	104160.42±19201.30	0.03	93863.91±6189.43	0.03
十四烷	20.78	烃类	177124.19±32179.33	0.04	241219.24±25167.54	0.09
十五烷	23.28	烃类	1867970.89±135129.46	0.46	2253839.59±313562.90	0.81
十六烷	25.63	烃类	262190.82±39507.83	0.06	272234.35±53253.68	0.10
十七烷	27.86	烃类	368283.24±17795.45	0.09	385146.53±69400.40	0.14
$\beta$ -蒎烯	9.17	烃类	55413535.45±2594989.42	13.53	43527599.36±6856912.91	15.58
对二甲苯	6.41	烃类	616194.19±87095.41	0.15	503761.27±92270.46	0.18
2-甲基-十七烷	28.79	烃类	146757.41±19588.53	0.04	154535.53±32238.77	0.06
五甲基环戊二烯	11.99	烃类	4425103.61±257031.49	1.08	3089991.78±613332.16	1.11
$\alpha$ -柏木烯	21.16	烃类	174846.94±10089.45	0.04	113731.65±19914.40	0.04
2-甲基-6-亚甲基-1,7-辛二烯	8.81	烃类	712237.50±28956.10	0.17	552921.22±153574.02	0.20
$\alpha$ -紫罗兰酮	21.27	酮类	262262.04±31396.45	0.06	390338.71±12267.17	0.14
$\beta$ -紫罗兰酮	22.69	酮类	2552787.18±292071.17	0.62	2605240.56±155321.51	0.93
植酮	30.82	酮类	71241.67±4914.20	0.02	137105.32±40465.14	0.05
4-甲基-3-戊烯-2-酮	4.21	酮类	167930.93±10494.66	0.04	208279.90±2710.86	0.07
2-庚酮	6.33	酮类	276073.31±26578.73	0.07	378931.19±51658.24	0.14
甲基异己烯基酮	9.00	酮类	1833061.08±256423.51	0.45	1980215.80±166635.06	0.71
苯乙酮	11.35	酮类	330587.53±51611.39	0.08	451071.25±13002.66	0.16
3,5-辛二烯-2-酮	11.50	酮类	629920.24±122709.70	0.15	3398566.93±122893.83	1.22
间甲基苯乙酮	14.87	酮类	62309.34±4808.44	0.02	56701.29±3519.08	0.02
乙酸己烯酯	2.19	酯类	70809.25±8054.40	0.02	61269.18±10992.50	0.02
苯甲酸甲酯	12.23	酯类	158612.46±18638.03	0.04	167137.29±6945.52	0.06
乙酸苯酯	14.21	酯类	485915.10±55991.37	0.12	320501.75±38132.09	0.11
辛酸乙酯	15.23	酯类	599722.98±34278.59	0.15	2511351.72±324453.53	0.90
水杨酸甲酯	15.09	酯类	49283320.14±4377761.76	12.03	16513286.69±2524331.27	5.91
顺-3-己烯己酸酯	20.21	酯类	78757.81±12833.65	0.02	39618.14±4403.85	0.01
棕榈酸甲酯	32.51	酯类	196251.59±15251.84	0.05	60489.91±10330.40	0.02
乙酸甲酯	5.28	酯类	1104534.01±153419.59	0.27	352667.38±30995.39	0.13

由表3可知,梅占红茶和梅占白茶样品中共检出挥发性成分56种,其中醇类12种、内酯类2种、醛类6种、烃类19种、酮类9种、酯类8种,梅占白茶未检测出 $\beta$ -红没药烯。梅占红茶峰面积较大的成分有苯乙醇、 $\beta$ -蒎烯、香叶醇、水杨酸甲酯、3-萜烯、芳樟醇、苯甲醇、反式芳樟醇氧化物、苯甲醛、柠檬烯、顺式芳樟醇氧化物、苯乙醛、五甲基环戊二烯。梅占白茶峰面积较大的成分有苯乙醇、 $\beta$ -蒎烯、香叶醇、3-萜烯、芳樟醇、水杨酸甲酯、苯甲醇、苯甲醛、反式芳樟醇氧化物、柠檬烯、顺式芳樟醇氧化物、3,5-辛二烯-2-酮、五甲基环戊二烯。梅占红茶与梅占白茶香气成分峰面积和占比如图2所示。

经统计可知,梅占红茶与梅占白茶香气成分总峰面积为409634838.52、279376960.97。梅占红茶挥发性香气成分峰面积大于梅占白茶。由图2可知,梅占红茶和梅占白茶的醇类、烃类、酮类、酯类峰面积差异显著( $P<0.05$ ),内酯类、醛类差异不显著( $P>0.05$ )。梅占红茶峰面积最大的香气组分为醇类,占比达55.58%,其中,苯乙醇、香叶醇、芳樟醇、反式芳樟醇氧化物峰面积较大。峰面积第二的组分为烃类,达26.22%,其中 $\beta$ -蒎烯、3-萜烯、柠檬烯峰面积较大。峰面积第三的组分为酯类,达12.69%,其中水杨酸甲酯(12.03%)峰面积最大。研究发现<sup>[35-36]</sup>,在萎凋过程中,水杨酸羧基甲基转移酶与水杨酸能够生成水杨酸甲酯,作为释放花香的挥发性有机化合物之一,本研究中梅占红茶、梅占白茶水杨酸甲酯均较大分别为12.03%和5.91%。醛类峰面积为3.89%,其中苯甲醛、苯乙醛峰面积较大。酮类峰面积为1.51%,其中 $\beta$ -紫罗兰酮、甲基异己烯基酮峰面积较大。内

酯类峰面积为0.11%,茉莉内酯、二氢猕猴桃内酯峰面积分为0.04%、0.07%。梅占白茶峰面积最大的香气组分为醇类,达55.24%,其中苯乙醇、香叶醇、芳樟醇、苯甲醇峰面积较大。峰面积第二的组分为烃类,达29.15%,其中 $\beta$ -蒎烯、3-萜烯、柠檬烯峰面积较大。峰面积第三的组分为酯类,达12.69%,其中水杨酸甲酯、辛酸乙酯峰面积较大。醛类峰面积为4.81%,其中苯甲醛(4.23%)峰面积较大。酮类峰面积为3.44%,其中3,5-辛二烯-2-酮、 $\beta$ -紫罗兰酮峰面积较大。内酯类峰面积为0.19%,茉莉内酯、二氢猕猴桃内酯峰面积分为0.07%、0.12%。可见,梅占白茶挥发性香气成分峰面积大于梅占红茶。

2.3.3 梅占红茶与梅占白茶香气成分差异分析 香气成分显著差异化合物及其热图,如表4和图3所示。香气特点描述参考文献<sup>[37-39]</sup>

统计分析发现,梅占红茶与梅占白茶香气成分共存在22个显著代谢物( $VIP>1.00$ ,  $FC>1.50$  或  $<0.67$ ,  $P<0.05$ )。梅占红茶18个代谢物显著高于梅占白茶( $VIP>1.00$ ,  $FC>1.50$ ,  $P<0.05$ ),具体物质为反式芳樟醇氧化物、反式橙花叔醇、橙花醇、苯乙醇、 $\alpha$ -松油醇、2-甲基丁醛、苯乙醛、 $\gamma$ -萜品烯、 $\beta$ -法尼烯、柠檬烯、 $\beta$ -红没药烯、 $\alpha$ -法尼烯、 $\alpha$ -柏木烯、乙酸苜酯、水杨酸甲酯、顺-3-己烯己酸酯、棕榈酸甲酯、乙酸甲酰酯。梅占白茶4个代谢物显著高于梅占红茶( $VIP>1.00$ ,  $FC<0.67$ ,  $P<0.05$ ),具体物质为戊烯醇、

表4 香气成分显著差异化合物

Table 4 Significant difference compounds of aroma components

编号	物质	P值	FC值	VIP	香气特点
1	反式芳樟醇氧化物	0.005	1.661	1.163	似甜花香、柠檬香、果香
2	反式橙花叔醇	0.015	6.886	1.190	花木香、果香
3	橙花醇	0.018	1.621	1.119	花果香
4	苯乙醇	0.002	1.808	1.215	玫瑰花香
5	戊烯醇	0.023	0.552	1.115	果香
6	$\alpha$ -松油醇	0.018	1.535	1.106	
7	2-甲基丁醛	0.022	1.630	1.103	甜香、坚果香
8	己醛	0.002	0.451	1.205	青草香
9	苯乙醛	0.006	7.574	1.216	花香
10	$\gamma$ -萜品烯	0.028	1.637	1.142	柑橘和柠檬香气
11	$\beta$ -法尼烯	0.003	8.264	1.222	橘香及青草香
12	柠檬烯	0.007	1.604	1.180	柠檬香
13	$\beta$ -红没药烯	0.015	$\infty$	1.195	香脂香气
14	$\alpha$ -法尼烯	0.014	3.396	1.199	青草香及萜香
15	$\alpha$ -柏木烯	0.018	1.537	1.132	木香
16	3,5-辛二烯-2-酮	0.000	0.185	1.237	水果、脂肪、蘑菇香气
17	乙酸苜酯	0.017	1.516	1.125	花果香
18	辛酸乙酯	0.009	0.239	1.210	水果、脂肪香气
19	水杨酸甲酯	0.001	2.984	1.216	冬青油香、薄荷香
20	顺-3-己烯己酸酯	0.024	1.988	1.132	果香
21	棕榈酸甲酯	0.000	3.244	1.218	
22	乙酸甲酰酯	0.011	3.132	1.198	

注:  $\infty$ 表示数字无穷大。

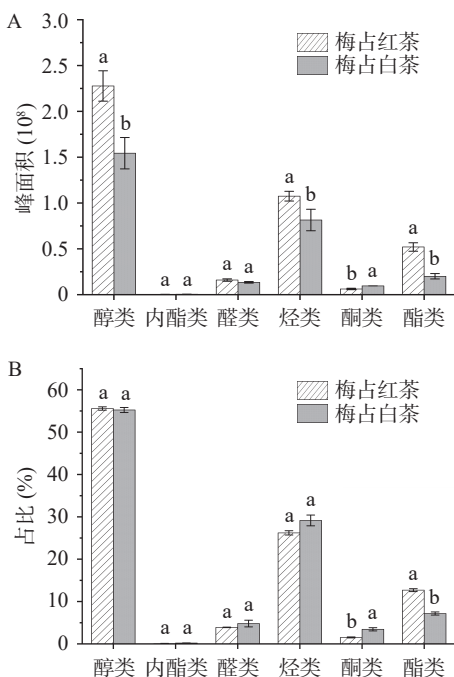


图2 香气成分的峰面积(A)和占比(B)

Fig.2 Peak area (A) and proportion (B) of aroma components

注: 同一指标不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

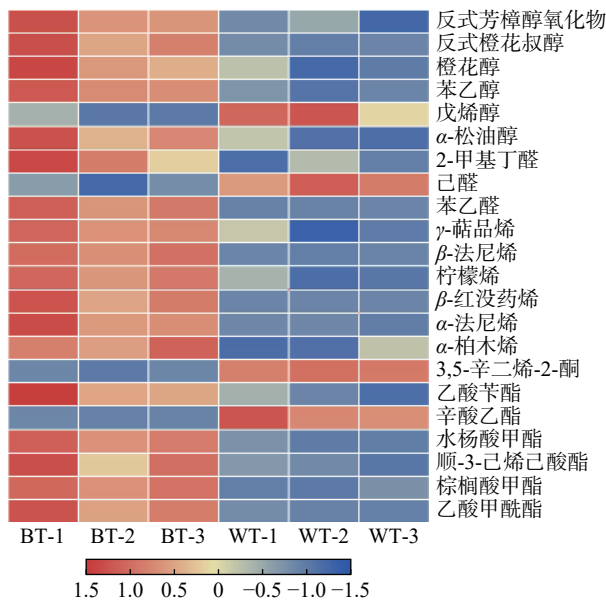


图 3 香气成分显著差异化合物的热图

Fig.3 Heatmap of compounds with significant differences in aroma components

注: BT 为梅占白茶; WT 为梅占红茶。

己醛、3,5-辛二烯-2-酮、辛酸乙酯。相关研究发现己醛、甲基庚烯酮、水杨酸甲酯、香叶醇等,被认为是新鲜白茶中的主要呈香物质<sup>[40]</sup>。梅占红茶香气甜花香,可能与反式芳樟醇氧化物、反式橙花叔醇、橙花醇、苯乙醇、 $\alpha$ -松油醇、苯乙醛、 $\gamma$ -萜品烯、柠檬烯、 $\alpha$ -柏木烯、乙酸苜酯、水杨酸甲酯成分具有花香或果香有关。其中峰面积较大的成分有:反式芳樟醇氧化物(3.99%)似甜花香、柠檬香、果香;苯乙醇(24.85%)呈玫瑰花香;苯乙醛(1.34%)呈花香;柠檬烯(2%)呈柠檬香;水杨酸甲酯(12.03%)呈冬青油香、薄荷香。郭丽等<sup>[41]</sup>的研究表明红茶工艺有利于芳樟醇、氧化芳樟醇、 $\beta$ -紫罗酮和水杨酸甲酯等物质的形成,与本研究结果相类似。OWUOR 等<sup>[42]</sup>认为苯甲醛、芳樟醇及其氧化物、苯乙醛、水杨酸甲酯、香叶醇、香叶酸、苯甲醇及 $\beta$ -紫罗兰酮等化合物能使红茶产生甜润化香,这与本研究结果基本一致。梅占白茶具有清花香,可能是因为具有花果香的香气成分峰面积相对梅占红茶较小,且具有青草香的己醛峰面积大于梅占红茶。郭雯飞等<sup>[43]</sup>研究表明香叶醇、芳樟醇及其氧化物 II 和 IV 是白茶显“毫香”的特征成分,苯甲醛、苯乙醛、苯甲醇和苯乙醇则代表“清醇”特征,而已醛、(E)-2-己烯醛、(Z)-3-己烯醇和 1-戊烯-3-醇是嫩香的特征成分。本研究中香叶醇占比 14.61%,芳樟醇占比 7.79%,反式芳樟醇氧化物占比 3.52%,苯甲醛占比 4.23%,苯乙醛占比 0.26%,苯甲醇占比 5.43%,苯乙醇占比 20.16%,己醛占比 0.05%,与郭雯飞等<sup>[43]</sup>的研究相类似。

### 3 结论

探究梅占品种制作的红茶和白茶的感官品质、主要生化成分、挥发性香气成分的差异。结果表明:

通过感官审评发现梅占红茶气味呈甜花香,滋味甜醇;梅占白茶香气呈清花香,滋味醇爽。梅占红茶和白茶茶多酚、氨基酸、茶黄素、茶红素、茶褐素含量差异显著。共鉴定出的 56 种成分,其中醇类 12 种、内酯类 2 种、醛类 6 种、烃类 19 种、酮类 9 种、酯类 8 种。梅占红茶挥发性香气成分峰面积大于梅占白茶。梅占红茶与梅占白茶香气成分共存在 22 个显著代谢物,其中梅占红茶 18 个代谢物显著高于梅占白茶。梅占红茶香气为甜花香,可能与反式芳樟醇氧化物、反式橙花叔醇、橙花醇、苯乙醇、 $\alpha$ -松油醇、苯乙醛、 $\gamma$ -萜品烯、柠檬烯、 $\alpha$ -柏木烯、乙酸苜酯、水杨酸甲酯等成分具有花香或果香有关。梅占白茶具有清花香,可能是因为具有花果香的香气成分峰面积相对梅占红茶较小,且具有青草香的己醛峰面积大于梅占红茶。

### 参考文献

- [1] SANLIER N, ATIK I, ATIK A. A mini review of effects of white tea consumption on diseases[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 82: 82-88.
- [2] YAN Z M, ZHONG Y Z, DUAN Y H, et al. Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits[J]. Animal Nutrition, 2020, 6(2): 115-123.
- [3] 陈常颂. 福建茶树品种图志[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 32. [CHEN C S. The map of tea varieties in Fujian Province[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2016: 32.]
- [4] FENG Z H, LI Y F, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. Food Chemistry, 2019, 285: 347-354.
- [5] YANG Y Q, HUA J J, DENG Y L, et al. Aroma dynamic characteristics during the process of variable-temperature final firing of congou black tea by electronic nose and comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry[J]. Food Research International, 2020, 137: 109656-109656.
- [6] AI Z Y, ZHANG B B, CHEN Y C, et al. Impact of light irradiation on black tea quality during withering[J]. Food Science and Technology International, 2017, 54(5): 1212-1227.
- [7] 张娅楠, 欧伊伶, 覃丽, 等. 红茶中香气物质的形成及工艺对其影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 351-357. [ZHANG Y N, OU YI L, QIN L, et al. Research progress on the formation of aroma substances and its influence of processes in black tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 351-357.]
- [8] YE Y T, DONG C W, LUO F, et al. Effects of withering on the main physical properties of withered tea leaves and the sensory quality of congou black tea[J]. Journal of Texture Studies, 2019, 51(3): 542-553.
- [9] CHEN Q C, ZHU Y, DA W D, et al. Aroma formation and dynamic changes during white tea processing[J]. Food Chemistry, 2019, 274: 915-924.
- [10] 邓仕彬, 林国荣, 周凤超. 制茶工艺对白茶品质影响研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 333-337,344. [DENG S B, LIN G R, ZHOU F C, et al. Research progress of tea-making techno-

- logy on the quality of white tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(2): 333-337,344. ]
- [ 11 ] 李荣林, 艾仄宜, 穆兵, 等. 槠叶种制成的不同茶类品质特性和抗氧化功能[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(21): 7806-7815. [ LI R L, AI Z Y, MU B, et al. Quality characteristics and antioxidant function of different tea species made from *C. sinensis* var. Zhuye[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(21): 7806-7815. ]
- [ 12 ] 陈林, 陈键, 陈泉宾, 等. 不同工艺制法对茶叶风味品质化学轮廓的影响[J]. *核农学报*, 2016, 30(11): 2196-2203. [ CHEN L, CHEN J, CHEN Q B, et al. Effects of different processing methods on chemical profiles of tea in relation to flavor quality[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(11): 2196-2203. ]
- [ 13 ] 杨伟丽, 肖文军, 邓克尼. 加工工艺对不同茶类主要生化成分的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2001(5): 384-386. [ YANG W L, XIAO W J, DENG K N. Effects of processing technology of different teas on the main biochemistry components[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2001(5): 384-386. ]
- [ 14 ] 吴小清. 茶树品种‘栗峰’的生化成分和加工品质特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020. [ WU X Q. Biochemical and quality characters of ‘Lifeng’ cultivar using different tea processing methods[D]. Hanzhou: Zhejiang University, 2020. ]
- [ 15 ] 张磊, 杨如兴, 陈芝芝, 等. 不同茶类加工工艺对茗科1号香气成分的影响[J]. *福建农业学报*, 2013, 28(12): 1257-1262. [ ZHANG L, YANG R X, CHEN Z Z, et al. Effect of tea processing techniques on aromatic components of Mingke 1[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 28(12): 1257-1262. ]
- [ 16 ] 李鑫磊. 不同茶类代谢产物差异及其水提取物、差异代谢物对神经细胞保护作用与机制[D]. 福州: 福建农林大学, 2020. [ LI X L. Study of the different metabolites of different tea types and their water extracts and differential metabolites neuronal cell protective effects and mechanism[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020. ]
- [ 17 ] 卢莉, 程曦, 叶国盛, 等. 4种乌龙茶树鲜叶适制绿茶、黄茶、白茶、红茶可行性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 33-38. [ LU L, CHEN X, YE G S, et al. Feasibility of green tea, yellow tea, white tea and black tea made from the fresh leaves of four oolong tea varieties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(2): 33-38. ]
- [ 18 ] 刘婷婷, 齐桂年. 6个茶树品种的红茶适制性研究[J]. *食品科学技术学报*, 2015, 33(2): 58-61. [ LIU T T, QI G N. Study on suitability of 6 tea cultivars for manufacture of black tea[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 33(2): 58-61. ]
- [ 19 ] 毕彩虹, 范开业, 谭建平, 等. 梅占、福选9号两个茶树品种的叶绿素组成及色泽比较[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(31): 22-29. [ BI C H, FAN K Y, TAN J P, et al. Comparison of chlorophyll composition and color between Meizhan and Fuxuan 9 tea varieties[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2015, 43(31): 22-29. ]
- [ 20 ] 傅仙玉, 陈江飞, 张杰, 等. 不同遮光处理对夏秋季梅占茶树生化品质的影响[J]. *宜春学院学报*, 2018, 40(12): 97-100. [ FU X Y, CHEN J F, ZHANG J, et al. Effects of different shading treatments on biochemical quality of tea plants meizhan in summer and autumn[J]. *Journal of Yichun University*, 2018, 40(12): 97-100. ]
- [ 21 ] 卢莉, 王飞权, 林秀国, 等. 传统炭焙工艺过程中武夷岩茶品质变化规律研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 77-82. [ LU L, WANG F Q, LIN X G, et al. The change of quality during Wuyi rock tea traditional charcoal baking process[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(5): 77-82. ]
- [ 22 ] 蔡烈伟, 周炎花, 杨双旭, 等. 不同乌龙茶品种加工红茶的品质比较[J]. *食品科技*, 2016, 41(6): 46-50. [ CAI L W, ZHOU Y H, YANG S X, et al. Quality of black tea processed from different oolong tea cultivars[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(6): 46-50. ]
- [ 23 ] 陈赶林, 郑凤锦, 董文斌, 等. 贺州市8种红茶香气成分分析[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(12): 2532-2538. [ CHEN G L, ZHENG F J, DONG W B, et al. Aroma components of eight black teas from Hezhou[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(12): 2532-2538. ]
- [ 24 ] 夏涛. 制茶学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 194-235. [ XIA T. Tea processing[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2016: 194-235. ]
- [ 25 ] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院. GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [ Hangzhou Tea Research Institute of all China Federation of Supply and Marketing Cooperation. GB/T 23776-2018 Methodology for sensory evaluation of tea[S]. Beijing: China Standards Press, 2018. ]
- [ 26 ] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院. GB/T 8305-2013 茶水浸出物测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [ Hangzhou Tea Research Institute of all China Federation of Supply and Marketing Cooperation. GB/T 8305-2013 Tea-determination of water extracts content[S]. Beijing: China Standards Press, 2013. ]
- [ 27 ] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院. GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [ Hangzhou Tea Research Institute of all China Federation of Supply and Marketing Cooperation. GB/T 8313-2018 Determination of total polyphenols and catechins content in tea[S]. Beijing: China Standards Press, 2018. ]
- [ 28 ] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院. GB/T 8314-2013 茶游离氨基酸总量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [ Hangzhou Tea Research Institute of all China Federation of Supply and Marketing Cooperation. GB/T 8314-2013 Tea-determination of free amino acids content[S]. Beijing: China Standards Press, 2013. ]
- [ 29 ] 中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院. GB/T 8312-2013 茶咖啡碱测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [ Hangzhou Tea Research Institute of all China Federation of Supply and Marketing Cooperation. GB/T 8312-2013 Tea-determination of caffeine content[S]. Beijing: China Standards Press, 2013. ]
- [ 30 ] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 30-70. [ ZHANG Z Z. Experimental course of tea biochemistry[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2009: 30-70. ]
- [ 31 ] 黄毅彪, 林燕萍, 刘宝顺, 等. 武夷岩茶“肉桂”与其副产品黄片香气品质差异分析[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(6):



- 155–161. [HUANG Y B, LIN Y P, LIU B S, et al. Difference analysis of aroma quality between Wuyi rock tea "Rougui" and its byproduct old leaves[J]. Food Research and Development, 2021, 42(6): 155–161.]
- [32] 孙世利, 郭芸彤, 陈海强, 等. 英红九号六大茶类生化成分分析及体外活性评价[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 159–164. [SUN S L, GUO Y T, CHEN H Q, et al. Analysis of biochemical components and evaluation of the *in vitro* activity of six categories of tea made of Yinghong no. 9[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 159–164.]
- [33] HORANNI R, ENGELHARDT U H. Determination of amino acids in white, green, black, oolong, Pu-erh teas and tea products[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2013, 31(1): 94–100.
- [34] ALCAZAR A, BALLESTEROS O, JURADO J M, et al. Differentiation of green, white, black, oolong, and Pu-erh teas according to their free amino acids content[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(15): 5960–5965.
- [35] DENG W W, WANG R X, YANG T Y, et al. Functional characterization of salicylic acid carboxyl methyltransferase from *Camellia sinensis*, providing the aroma compound of methyl salicylate during the withering process of white tea[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(50): 11036–11045.
- [36] MOON J K, WATANABE N, IJIMA Y, et al. Cis- and trans-linalool 3, 7-oxides and methyl salicylate glycosides and (z)-3-hexenyl  $\beta$ -D-glucopyranoside as aroma precursors from tea leaves for oolong tea[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2014, 60(11): 1815–1819.
- [37] 张丽, 张蕾, 罗理勇, 等. 焙火工艺对武夷岩茶挥发性组分和品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(7): 186–193.
- [ZHANG L, ZHANG L, LUO L Y, et al. Effects of baking techniques on the volatile components and aroma characteristics of Wuyi mountain tea[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(7): 186–193.]
- [38] 念波, 焦文文, 和明珠, 等. 花果香与陈香型普洱茶生化成分与香气物质的比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 241–248.
- [NIAN B, JIAO W W, HE M Y Z, et al. Determination and comparison of biochemical components and aroma substances in the Pu-erh teas with mellow flavor and floral-fruity aroma[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2020, 36(2): 241–248.]
- [39] TERRY A, HEINRICH A. Flavournet and human odor space [EB/OL]. <http://www.flavournet.org/flavournet.html>.
- [40] 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): 6050–6050.
- [41] 郭丽, 杜正花, 姚丽鸿, 等. 铁观音乌龙茶和红茶的香气化学特征分析[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 255–261. [GUO L, DU Z H, YAO L H, et al. Chemical characterization of the aroma of Tie-guanyin Oolong Tea and Black Tea[J]. *Food Science*, 2021, 42(10): 255–261.]
- [42] 施兆鹏. 茶叶审评与检验 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 39. [SHI Z P. Tea tasting and inspection[M]. Beijing: Agricultural Press of China, 2010: 39.]
- [43] 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, 33(2): 78–81. [GUO W F, MENG X H, LUO Y C, et al. Analysis of the volatile constituents in the baimudan tea and baihaoyinzhen tea[J]. *Journal of Tea*, 2007, 33(2): 78–81.]