

不同嫩度和加工工艺龙团凤饼茶风味品质差异分析

袁雨薇¹, 柳紫琼¹, 项文懿², 张悌吉³, 叶乃兴¹, 金珊^{1*}

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002) (2. 建瓯市粟粒香茶叶研究所, 福建南平 353199)

(3. 福建省建瓯市科学技术协会, 福建南平 353199)

摘要: 该实验基于感官审评技术和非靶向代谢组学, 分析了不同嫩度和工艺龙团凤饼茶风味品质的差异。感官审评结果表明, 以单芽、一芽二三叶通过传统洗、蒸、榨、研、造、焙工艺制成的 SX-B 和 SX-L, 单芽省略“榨茶”工艺制得的 SX-B-BZ, 以及单芽通过烤箱干燥的样品 SX-B-KX, 前三者滋味和香气得分较高, 且点茶审评总分均高于第四个样品。香叶酸甲酯具有花香, 其含量在 SX-B、SX-B-BZ、SX-B-L 中无显著差异, 且皆显著高于 SX-KX。(Z)-3-己烯醇、异丁酸庚酯具有青香和花果香, 在 SX-L 中有较高的 ROAV 值。茴香脑和胡椒酮在 SX-B、SX-B-BZ、SX-B-KX 中的贡献作用较大, 凸显香料香的品质特征。因此, 龙团凤饼茶原料可拓展至一芽二三叶, SX-B-BZ 与 SX-B 无显著差异, 可省略“榨茶”工艺, 烤箱干燥具有火味, 故不建议采取此方式。此外, 黄酮醇或黄酮糖苷类等物质在龙团凤饼茶代谢物中占比较大, 可能是构成茶汤醇厚滋味的重要物质, 茶皂素类含量较高, 推测与沫饽品质的形成有关。本试验结果可为创新龙团凤饼茶的加工工艺提供一定的理论依据。

关键词: 龙团凤饼茶; 工艺创新; 感官审评; 风味品质; 非靶向代谢组学

文章编号: 1673-9078(2025)05-280-289

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.5.0240

Differences in Flavor Quality of Loong and Phoenix Tea Cake with Different Tenderness and Processing Technologies

YUAN Yuwei¹, LIU Ziqiong¹, XIANG Wenyi², ZHANG Tiji³, YE Naixing¹, JIN Shan^{1*}

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

(2. Jian'ou Sulixiang Tea Research Institute, Nanping 353199, China)

(3. Jian'ou Association for Science and Technology, Nanping 353199, China)

Abstract: In this experiment, Loong and Phoenix Tea Cakes, prepared from tea leaves with varying tenderness (i.e., harvested at the one-bud or one-bud and two-to-three-leaf stage) and subjected to different processing methods, were characterized by sensory evaluation and non-targeted metabolomics analysis to clarify their differences in flavor quality. The results of the sensory evaluation showed that SX-B (one-bud) and SX-L (one-bud and two-to-three-leaf) were prepared through a complete traditional process. SX-B-BZ (one-bud) was prepared through a modified traditional process (without

引文格式:

袁雨薇, 柳紫琼, 项文懿, 等. 不同嫩度和加工工艺龙团凤饼茶风味品质差异分析 [J]. 现代食品科技, 2025, 41(5): 280-289.

YUAN Yuwei, LIU Ziqiong, XIANG Wenyi, et al. Differences in flavor quality of Loong and Phoenix Tea Cake with different tenderness and processing technologies [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(5): 280-289.

收稿日期: 2024-02-29

基金项目: 建瓯市茶叶科技创新专项 (JO 2022001); 科技特派员后补助项目 (2022S2070); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金 (FJZTF01)

作者简介: 袁雨薇 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶化学品质, E-mail: yuanyuwei0301@163.com

通讯作者: 金珊 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 茶叶品质化学和茶叶质量安全研究, E-mail: jinshan0313@163.com

pressing), whereas SX-B-KX (one-bud) was prepared through a modified process (roasting in an oven instead of in a wok).. The results of the sensory evaluation showed that SX-B, SX-L, and SX-B-BZ scored higher than SX-B-KX in terms of taste, aroma, and overall score of whisked tea. SX-B, SX-B-BZ, and SX-B-L did not differ significantly in the content of methyl geranate (with a floral aroma), whereas their methyl geranate contents far exceeded that of SX-KX. SX-B, SX-B-BZ, and SX-B-L did not differ significantly in the content of methyl geranate (with a floral aroma), whereas their methyl geranate contents far exceeded that of SX-KX. SX-L had a high relative odor activity value for (Z)-3-hexenol and heptyl isobutyrate (with grassy, floral, and fruity aromas). Anethole and piperitone contribute more in SX-B, SX-B-BZ, and SX-B-KX, highlighting a spicy aroma. Therefore, the raw materials of Loong and Phoenix Tea Cakes can be extended to include tea leaves harvested in the one-bud and two-to-three-leaf stages. SX-B-BZ and SX-B had similar qualities, which allowed the pressing process to be omitted. However, oven roasting introduces an over-fired taste, which is not ideal. Flavonoids or flavonoid glycosides constitute a significant proportion of the flavor metabolites of Loong and Phoenix Tea Cakes, likely contributing to the mellow taste of the steeped tea. Additionally, the abundance of tea saponins may influence froth quality. These findings can serve as a theoretical guide for developing new processes for Loong and Phoenix Tea Cakes.

Key words: Loong and Phoenix Tea Cake; process innovation; sensory evaluation; flavor quality; non-targeted metabolomics

建茶御贡始于唐宋，兴于北宋，其中极具盛名的当属龙团凤饼。龙团凤饼茶是一种蒸青绿茶，因茶饼外形印有龙凤图案而得名。北宋期间，龙团凤饼茶不仅深受帝王喜爱，作为赠送官员的手礼，同时以该茶催生出的“茶百戏”点茶技艺也是文人雅士的一种文化与艺术交流。如今，随着人们对点茶技艺愈发了解与喜爱，龙团凤饼茶茶粉作为其原料，也逐渐流行于大众视野中。但由于当时龙团凤饼茶的制作工艺极为繁琐、元统治者不同的饮茶习俗等众多原因消亡以致失传^[1]。复原传统工艺并结合现代手段对其进行简化创新，对龙团凤饼茶和点茶技艺的传承于发展有着重要作用。

目前，龙团凤饼茶文化传承和历史溯源方面已有大量研究，但是对龙团凤饼茶香气和滋味物质组成鲜有报道^[2-6]。金珍淑^[7]通过对茶饼的沫饽和茶汤的成分比较结果表明，二者在儿茶素组分上有差异，并且沫饽中的茶皂素浓度显著高于茶汤。梁爽等^[8]研究了红茶汁液态发酵时生成的泡沫组成成分，发现泡沫中拥有较多的茶叶品质成分。以上论文虽然能侧面反应茶叶沫饽中的物质组成，但是与传统工艺制作的龙团凤饼茶和点茶技艺制备的沫饽截然不同。何春梅等^[9]对水仙制成的研膏茶和散茶及研膏茶点茶沫饽和茶汤物质组成的差异进行了分析比较，发现点茶沫饽能够形成并较稳定地悬浮于茶汤上是由于磷脂酰胆碱类等脂质类物质大多呈网状结构，具有乳化作用和表面活性剂作用，该试验解释了沫饽的物质组成，但试验原料较单一。

为探索龙团凤饼茶的品质化学特点，分析影响

龙团凤饼茶品质的关键因素，本研究以建瓯市水仙茶树品种的不同嫩度鲜叶为原料，在传统工艺上进行创新和简化制得龙团凤饼茶，经点茶技艺获得点茶沫饽与茶汤，测定和比较其主要品质化学成分，并利用广泛靶向代谢组学技术检测对比不同嫩度和不同工艺中的代谢物，旨在找出不同工艺龙团凤饼茶风味品质形成的差异，以期龙团凤饼茶加工技术的创新提升及风味品质调控提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

1.1.1 试验材料

在建瓯北苑贡茶的传统加工工艺（采茶→洗茶→蒸茶→榨茶→研茶→造茶→过黄）的基础上，调整部分工艺参数制得供试材料如表1所列，“洗茶”具体为将鲜叶倒入水中，剔除其中的杂质；“蒸茶”是将鲜叶置于蒸笼中蒸至青气消失、散发薯香，时间大约为90 s；“榨茶”是用纱布包裹蒸青叶后，利用马榨将茶汁榨出；“研茶”是使用木杵在内壁有研槽的研盆中研磨茶黄；“过黄”则是通过焙火来完成茶黄成饼的过程，温度大概在60~70℃。SX-B是水仙品种的单芽为原料，按正常工艺加工制成的对照样品。SX-B-BZ是以水仙品种的单芽为原料，省略“榨茶”工序制成的处理样。SX-B-KX是以水仙品种的单芽为原料，以电烤箱代替茶叶干燥箱进行烘焙制成的处理样。SX-L是水仙品种的一芽一二叶为原料，按照正常工艺制成的对照样品。

表 1 供试样品信息表
Table 1 Information of the testing samples

样品编号	品种	嫩度	加工工艺
SX-B	水仙	单芽	采茶→洗茶→蒸茶→榨茶→研茶→造茶→过黄
SX-B-BZ		单芽	采茶→洗茶→蒸茶→研茶→造茶→过黄（省略“榨茶”工序）
SX-B-KX		单芽	采茶→洗茶→蒸茶→榨茶→研茶→造茶→过黄（使用烤箱干燥）
SX-L		一芽一二叶	采茶→洗茶→蒸茶→榨茶→研茶→造茶→过黄

表 2 龙团凤饼茶点茶感观品质评分表
Table 2 Sensory evaluation scores for the quality of Loong and Phoenix Tea Cake

因子	品质特征	得分/分
茶粉外观	香气纯正，色泽均匀，粉质细腻，不结块，洁净	90~99
	香气尚纯，色泽均匀，粉质细腻	80~89
	有异杂味，色泽花杂，粉质颗粒较粗，易结块，有杂质	70~79
沫饽状态	纯白为佳，保持的时间越长（超过 8 h）	90~99
	青白、灰白、黄白，保持时间相对较长（3~6 h）	80~89
	暗黄，保持时间相对短（2 h 内）	70~79
茶汤	香气清鲜淡雅，回甘快、饱满、爽滑、绵柔	90~99
	香气清香，滋味醇爽	80~89
	香气尚纯，滋味尚爽	70~79
滋味	入口醇厚而绵柔、饱满、回甘，口感浓郁，海苔味显，持久	90~99
	尚醇，带有海苔味	80~89
	带苦涩味，异杂味，口感青涩	70~79
盏底	饮完的茶盏底部留有少量泡沫和清淡茶香	90~99
	茶盏底部残留略微的茶粉	80~89
	残留较多的茶粉或杂物为次	70~79

1.1.2 主要仪器设备

Agilent 7890-5975C 气相色谱质谱联用仪、DB-5MS 毛细管柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm），美国安捷伦公司；SPME 手持萃取柄及 120 μm DVB/CWR/PDMS 萃取头，美国安捷伦公司；UPLC-TQS-MS，美国沃特斯公司；BSA224S-CW 精密天平，德国赛多利斯公司；DGG-9620A 型电热恒温鼓风干燥箱，上海齐欣科学仪器有限公司；5425R 台式高速冷冻离心机，德国艾本德公司；K42 电烤箱，格兰仕。

1.1.3 主要试剂

标准品儿茶素（≥99%）、表儿茶素（≥99%）、没食子儿茶素（≥98%）、儿茶素没食子酸酯（≥98%）、表没食子儿茶素（≥98%）、表没食子儿茶素没食子酸酯（≥99%）、表儿茶素没食子酸酯（≥98%）、咖啡因（≥99%）、没食子酸（≥98%）和 L-茶氨酸（≥98%），成都蒙斯特生物科技有限公司；色谱级甲醇、乙腈、甲酸，上海宜恩化学有

限公司；色谱纯、标准品，Sigma-Aldrich 公司；正己烷，德国默克；氯化钠，国药集团化学试剂有限公司；实验用纯水，杭州娃哈哈集团有限公司。

1.2 感官审评方法

1.2.1 冲泡法感官审评方法

将龙团凤饼茶饼研磨成细粉后，分别通过孔径为 0.15 mm 和 0.28 mm 的筛网，0.15 mm 颗粒大小的茶粉称取 0.6 g，0.28 mm 颗粒大小的茶粉称取 1.2 g，装入茶泡袋置于 150 mL 柱形杯，沸水冲泡 5 min 后出汤。

1.2.2 点茶技艺感官审评方法

龙团凤饼茶磨成粉后，通过孔径为 0.075 mm 的筛网后，称取 0.5 g 置于建盏中，加入 5 mL 沸水，调成膏状，再加入 45 mL 沸水，使用打泡器固定深入搅打茶汤 7 min，直至在茶汤表面产生白色泡沫状（沫饽），再搅打沫饽 1 min，使之细腻，结束后对沫饽颜色、消泡时间、沫饽、茶汤的滋味和盏底

进行评价, 10 min 后观察泡沫消失的情况。

4 种龙团凤饼茶的感官评估由 3 名专业人员完成, 整个评估遵循茶叶感官审评标准 (GB/T 23776-2018) 制定的标准。感官审评参照 DB33/T 2279-2020《抹茶审评技术规范》,《点茶技艺规程》(T/MCYX 001-2021), 参考 GB/T 14487-2017《茶叶感官审评术语》^[10-12], 结合龙团凤饼茶样品的香气特征, 以茶粉外观、沫饬状态、滋味和盏底 4 项因子的综合评分作为样品品质的最终评分 (表 2)。

1.3 挥发性化合物测定

1.3.1 样品前处理

从 -80 °C 冰箱中取出样品进行液氮研磨, 涡旋混合均匀, 每个样本称取约 500 mg 于顶空瓶中; 分别加入饱和 NaCl 溶液, 20 μ L (10 μ g/mL) 内标溶液; 全自动顶空固相微萃取 HS-SPME 进行样本萃取, 以供 GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 分析。

1.3.2 HS-SPME萃取条件与进样

在 60 °C 恒温条件下, 震荡 5 min, 120 μ m DVB/CWR/PDMS 萃取头插入样品顶空瓶, 顶空萃取 15 min, 香气成分有效达到平衡, 于 250 °C 下解析 5 min, 然后进行 GC-MS 分离鉴定。采样前萃取头在 Fiber Conditioning Station 中 250 °C 下老化 5 min。

1.3.3 色谱条件

DB-5MS 毛细管柱, 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 °C, 不分流进样, 溶剂延迟 3.5 min。程序升温: 40 °C 保持 3.5 min, 以 10 °C/min 升至 100 °C, 再以 7 °C/min 升至 180 °C, 最后以 25 °C/min 升至 280 °C, 保持 5 min。

1.3.4 质谱条件

电子轰击离子源 (EI), 离子源温度 230 °C, 四级杆温度 150 °C, 质谱接口温度 280 °C, 电子能量 70 eV, 扫描方式为选择离子检测模式 (SIM)。

1.3.5 定性与定量方法

根据气相色谱 / 质谱联用 (GC-MS) 分析得到香气成分的总离子色谱图, 茶叶各香气组分质谱数据输入计算机库进行检索匹配, 对基峰、可信度和相对风度等方面进行分析。同时结合相对保留时间, 查阅相关文献资料, 对样品挥发性成分进行定性, 并用峰面积归一化法分析各香气组分相对含量。

1.3.6 ROAV计算方法

为更好地评估关键香气物质在整个茶叶香气品质中的贡献, 使用 ROAV 表示^[13]。

$$B_i = \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

式中:

B_i ——化合物 i 的相对气味活度值 (ROAV_i);

C_i ——化合物的相对含量, μ g/g;

T_i ——化合物的阈值, μ g/g。

1.4 非挥发性化合物测定

1.4.1 茶样前处理

非挥发性代谢物由采用超高效液相色谱 - 三重四极杆 - 质谱 (Ultra Performance Liquid Chromatography-Triple-Quadrupole-Mass Spectrometry, UPLC-Q-TOF-MS) 进行测定。在 2 mL EP 管中加入 30 mg 茶叶粉末和 1 mL 甲醇溶液, 充分震荡后超声 15 min, 最后离心 (4 °C, 12 000 r/min, 10 min), 转移上清液至离心管中, 稀释至适当倍数, 供 UPLC-TQS-MS 分析, 每个茶叶样本均有 3 个生物学重复。同时等量混合每个样品制备质量控制样品, 在整个数据采集过程中, 每采集 10 个样品数据采集一个质量控制样品数据用于检测仪器稳定性。

1.4.2 UPLC-Q-TOF-MS分析

色谱柱 BEHC18 (1.7 μ m, 2.1 mm $\times$ 100 mm, Waters, Wexford, Ireland)。洗脱程序: 0 min : 100% A, 0% B ; 2 min : 93% A, 7% B ; 13 min : 60% A, 40% B ; 18~19 min : 60% A, 40% B。A, 40% B ; 18~19 min : 0% A, 100% B ; 21~24 min : 100% A, 0% B。进样量为 1.0 μ L。检测模式: 毛细管电压为 2.80 kV ; 高能斜坡为 20~30 eV ; 扫描范围为 50~1 000 m/z ; 锥气 50 L/h ; 脱溶剂气 600 L/h。

1.4.3 物质鉴定

超高效液相色谱 - 四极杆飞行时间质谱原始数据利用 Waters MassLynx 采集, 采集到的数据再导入到 Progenesis QI 2.1 (Nonlinear Dynamics 公司) 软件中进行峰对齐、峰识别、归一化等数据前处理。差异化合物筛选条件: $P < 0.05$ 、VIP ≥ 1 、Fold Change > 1.5 , 再利用 SIMCA 13.0 (Sartorius 公司) 对筛选后的物质进行主成分分析以及载荷图绘制。比对 HMDB、Metlin、Massbank 等数据库、标准物质以及相关文献对筛选出物质进行鉴定。

表 3 龙团凤饼茶冲泡法感官审评结果

Table 3 The results of sensory evaluation of Loong and Phoenix Tea Cake

茶粉颗粒 及质量	样品名称	汤色		香气		滋味	
		评语	得分	评语	得分	评语	得分
茶粉颗粒 0.15 mm 0.6 g 茶粉	SX-B	黄绿, 明亮	90.50	香甜细悠, 嫩香	93.50	较甜, 柔顺	90.50
	SX-B-BZ	浅黄绿, 明亮	88.00	带香料味	87.00	醇, 带水味	89.00
	SX-B-KX	浅黄, 明亮	86.50	有烘烤香	83.50	带火味	86.00
	SX-L	橙黄, 明亮	84.00	香甜细悠, 有生地瓜香	90.00	甜, 醇	93.50
茶粉颗粒 0.28 mm 1.2 g 茶粉	SX-B	浅黄绿, 明亮	88.00	香气较浓, 嫩香, 甜香, 细悠	95.00	甜, 柔, 带香料味	92.50
	SX-B-BZ	浅黄, 明亮	86.50	细悠, 略带香料味	88.50	柔, 醇, 带水味	92.50
	SX-B-KX	浅嫩黄, 明亮	90.50	香气较浓, 有烘烤香	85.00	甜, 醇, 带火味	89.00
	SX-L	深黄	85.00	香气较浓, 甜香, 细悠, 有生地瓜香	92.50	甜, 醇, 有收敛感, 带生地瓜味	95.00

1.5 数据处理

采用 SPSS 26 软件进行单因素方差分析, SIMCA 14.1 用于化学计量学分析, Origin 2021 及 Tbttools- II 用于绘图。

2 结果与讨论

2.1 龙团凤饼茶感官审评分析

2.1.1 冲泡法感官品质评价

不同颗粒大小和质量龙团凤饼茶冲泡后感官审评结果如表 3 和图 1 所示。颗粒大小为 0.15 mm, 质量为 0.6 g 的四个样品品质特征存在明显差异, 香气得分在 83.50~93.50 分之间, 滋味得分在 86.00~93.50 分之间。SX-B 具有嫩香, 滋味柔顺; SX-B-BZ 带香料味, 滋味较醇; SX-B-KX 有烘烤箱, 滋味带火味; SX-L 香甜细悠, 滋味甜醇。其中 SX-B 与 SX-L 总体品质较好, SX-B-BZ 与 SX-B-KX 次之。而颗粒大小为 0.28 mm, 质量为 1.2 g 的四个样品整体品质高于颗粒大小为 0.15 mm, 质量为 0.6 g 茶粉, 香气较为浓郁细悠, 更多的具有甜香, 得分在 88.50~95.00 分, 滋味上更加甜醇、柔顺, 得分在 89.00~95.00 分, SX-B、SX-B-BZ 和 SX-L 品质较好, SX-B-KX 欠佳。

2.1.2 点茶技艺法感官品质评价

四个龙团凤饼茶通过点茶技艺的感官品质差异较大(表 4 和图 2)。SX-B 粉质细腻, 沫饽纯白, 口感绵柔, 茶汤滋味略有生地瓜味, 盏底带有茶香; SX-B-BZ 茶粉色泽均匀, 呈黄绿色, 茶汤清香; SX-B-KX 茶汤滋味甜醇回甘, 盏底略微留有茶

粉; SX-L 粉质细腻, 沫饽纯白口感醇爽回甘, 盏底留有茶香。通过点茶技艺得到的茶汤和沫饽差异较为显著。SX-L 沫饽纯白, 滋味清香醇爽, 感官审评得分较高, 为 88.90 分, SX-B 和 SX-B-BZ 次之, 达 88.55 分和 87.50 分; SX-B-KX 得分最低, 茶粉色泽花杂, 盏底略微留有茶粉。整体上来看, SX-B 和 SX-L 品质较佳, SX-B-BZ 和 SX-B 次之。由于嫩度和工艺的不同, 导致制成的龙团凤饼茶滋味和香气物质有所不同。

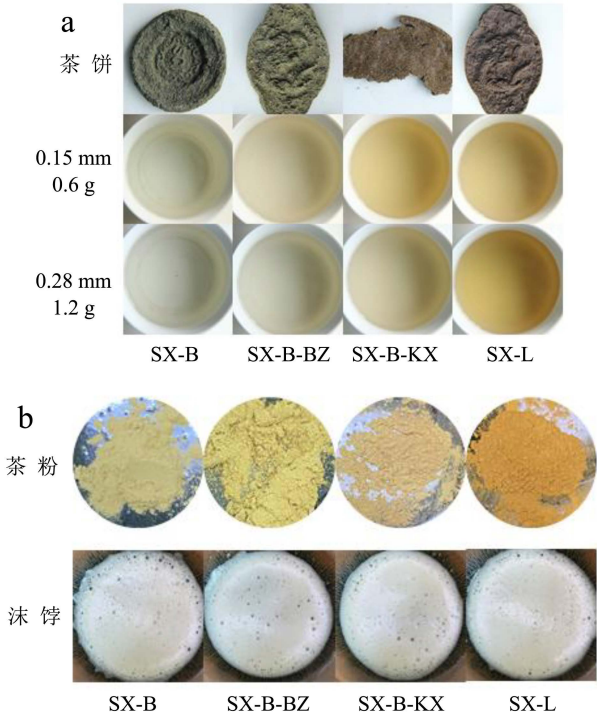


图 1 龙团凤饼茶冲泡法感官审评的干茶和茶汤

Fig.1 Sensory picture of Loong and Phoenix Tea Cake

注: a 图为龙团凤饼茶冲泡法感官审评的干茶和茶汤, b 图为龙团凤饼茶点茶法茶粉和沫饽。

表 4 龙团凤饼茶点茶法感官审评结果

Table 4 The results of sensory evaluation of Loong and Phoenix Tea Cake foam

样品 编号	观茶粉（15%）		赏泡沫（35%）		品风味（35%）					察盏底（15%）		总分
					茶汤（50%）		沫饽（50%）		总分			
	描述	得分	描述	得分	描述	得分	描述	得分		描述	得分	
SX-B	棕黄， 细腻	82.00	纯白，保持 时间相对 较短	90.00	较浓醇，略有 生地瓜味，较 爽，有甜感	90.00	绵柔， 细腻	86.00	88.00	盏底留有少 量泡沫和 清淡茶香	93.00	88.55
SX-B- BZ	黄绿， 色泽 均匀	85.00	青白，保持 时间相对 较短	88.00	清香，较醇爽， 较醇厚	88.00	柔和， 细腻	86.00	87.00	盏底留有 清淡茶香	93.00	87.50
SX-B- KX	深红棕， 色泽花杂	75.00	黄白，保持 时间相对 较短	83.00	甜醇，较爽， 有回甘	78.00	甜醇， 柔和	85.00	81.50	盏底残留 略微茶粉	88.00	82.03
SX-L	红棕， 细腻	80.00	纯白，保持 时间相对 较短	90.00	清香，醇爽， 有回甘，较甜	88.00	清香， 醇爽	90.00	89.00	盏底留有少 量泡沫和 清淡茶香	95.00	88.90

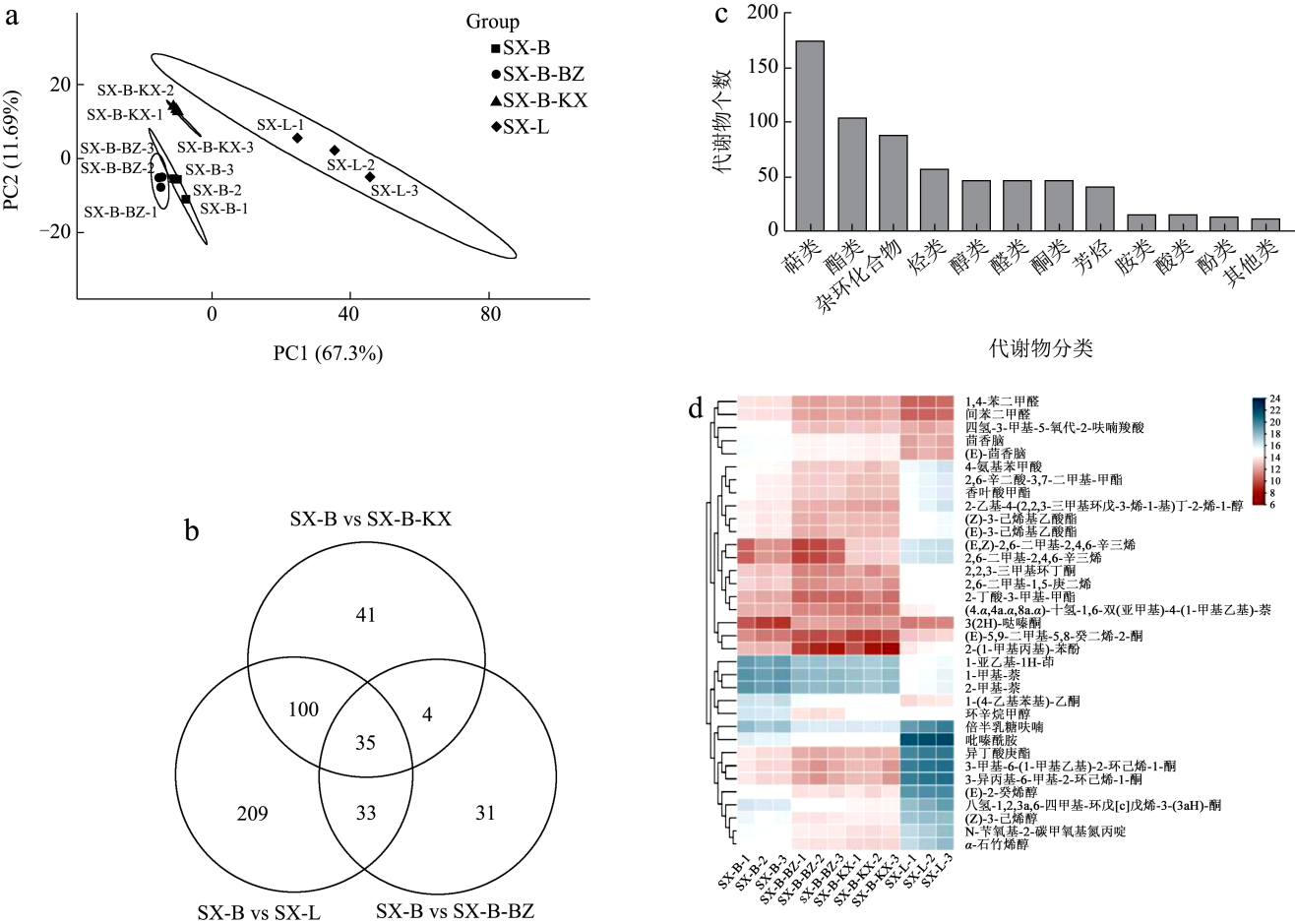


图 2 不同嫩度、不同工艺龙团凤饼茶挥发性代谢物分析

Fig.2 Analysis of volatile metabolites in Loong and Phoenix Tea Cake with different tenderness and different

注：a 为龙团凤饼茶挥发性代谢物 PCA 图，b 为挥发性代谢物物质分类图，c 为不同嫩度不同工艺龙团凤饼茶共有差异代谢物，d 为共有差异代谢物热图。

2.2 龙团凤饼茶挥发性组分分析

2.2.1 样本统计分析

主成分分析可反映样本中代谢丰度情况,样本之间位置越近则越相似,远则反之。如图 2a 所示,PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 67.30% 和 11.69%,累计方差贡献率达到 78.99%,表明该结果能充分反映龙团凤饼茶样品的总体特征。4 种龙团凤饼茶样品的香气成分具有较为显著的差异,其中 SX-L 与其他样品差异较大,不同工艺间 SX-B 和 SX-B-KX 香气成分差异最大,可见不同嫩度和工艺制成的龙团凤饼茶在香气成分含量上差异明显,对香气成分具有一定影响性。

对四个龙团凤饼茶样本中的香气化合物进行分析,结果表明,不同嫩度和工艺制作而成的龙团凤饼茶中共鉴定出 654 种香气成分(图 2b),包括萜类 176 种,酯类 101 种,杂环化合物 88 种,烃类 56 种,醇类 46 种,酮类 46 种,醛类 46 种,芳烃类 41 种,酸类 15 种,酚类 13 种和其他化合物 11 种。其中,萜类、酯类、杂环化合物物质相对含量较高,占比皆大于 10.0%。有研究表明,萜烯类化合物是由前提物质异戊二烯基焦磷酸和 3,3-二甲基烯丙基焦磷酸在相关酶的作用下合成的,可产生花香、甜香^[14],该类化合物含量在蒸青绿茶芳香物质中占比高,对蒸青绿茶香气形成具有重要影响^[15],因此推测萜烯类化合物也是构成龙团凤饼茶的花香重要的物质基础。

2.2.2 龙团凤饼茶差异香气成分

在以水仙单芽为原料的龙团凤饼茶样品 SX-B、SX-B-BZ 和 SX-B-KX 所测得的香气成分中,主要的醇类物质为苯甲醇、2-苯乙醇,反-2-十一烯醇、2,3-丁二醇、月桂醇,主要的醛类物质为(Z)-2-壬烯醛、苯甲醛、2-己烯醛、2,6-二甲基-5-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛,主要的酯类物质为 2-二甲氨基苯甲酸甲酯、3-己烯酸己酯、3-甲基丁酸苯甲酯、3-己烯酸丁酯、水杨酸甲酯。以水仙一芽二三叶为原料制成的龙团凤饼茶样品 SX-L 所测得的香气成分中,主要的醇类物质为苯甲醇、2-苯乙醇、4-苯基-1-丁烯-4-醇、反式-2-癸烯醇、3-环戊基-1-丙醇,主要的醛类物质为(Z)-癸-2-烯醛、苯乙醛、(Z)-2-壬烯醛、2-己烯醛、可可醛,主要的酯类物质水杨酸甲酯、(Z)-戊-2-烯丁酸丁酯、己酸异戊酯、苯乙酸乙酯、2-辛烯酸乙酯。通过以上结果发现,具有花果香的苯甲醇、甜果香的 2-苯乙醇和 3-甲基丁酸苯甲酯及水杨酸甲酯、青草气的(Z)-2-壬烯醛和 2-己烯醛在不同嫩度和不同

工艺的龙团凤饼茶中均被检测出,可能对龙团凤饼茶的香气具有一定的贡献,推测是形成龙团凤饼茶甜香、清香的重要物质^[16,17]。

2.2.3 龙团凤饼茶的特征香气及不同工艺龙团凤饼茶 ROAV 比较

茶叶的众多香气成分中,贡献率较高的仅是一部分,这一部分香气成分构成了不同茶类、不同品种的香气特征。为了进一步筛选构成龙团凤饼茶的关键香气成分,将筛选出的 35 种香气物质(图 2c、2d),结合香气浓度和感觉阈值计算不同嫩度、不同工艺龙团凤饼茶中相应物质的相对香气活度值(ROAV),通过评估不同香气成分对整体香气的贡献程度,进而确定关键香气成分^[18]。根据各样品挥发性成分质量分数,进一步计算 ROAV 值分析(表 5),共筛选出 12 种物质的 ROAV 值。当 $ROAV > 10.00$ 对茶叶香气形成有显著影响, $ROAV > 1.00$,通常认为该香气成分对茶样香气有贡献,为茶样的关键香气成分。当 $0.10 \leq ROAV < 1.00$ 时,表明其对茶样香气有重要修饰作用^[19]。

通过筛选发现, $ROAV > 1.00$ 的样品 SX-B 有 4 种、SX-B-BZ 有 3 种、SX-B-KX 有 5 种、SX-L 有 6 种,四组样品中 ROAV 值均大于 1 的有:异丁酸庚酯、乙酸叶醇酯、胡椒酮、别罗勒烯、茴香脑、(Z)-3-己烯醇。其中 SX-B 中 $ROAV > 10.00$ 香气活性成分有 1 种,呈甜香、花香和香料香的茴香脑;SX-L 中较高 ROAV 值的香气活性成分有 3 种,呈花果香的异丁酸庚酯、呈甜花香、青草香的别罗勒烯、(Z)-3-己烯醇。其中异丁酸庚酯在 SX-L 中具有较高的 ROAV 值,表现出甜花香,木质香的气味特征^[20],是以水仙单芽为原料制成的龙团凤饼茶 ROAV 最大香气成分。茴香脑在 SX-B、SX-B-BZ、SX-B-KX 样本种的香气贡献作用大于以水仙一芽二三叶为原料制成的龙团凤饼茶 SX-L,具体呈现甜花香和香料香。SX-B-KX 中的呈甜花香、草香的别罗勒烯 ROAV 值高于 SX-B。

杀青对绿茶香气形成有重要影响,鲜味中的青味物质向花香、甜香等物质转变,构成绿茶多样的香型。炒青、烘青、蒸青和晒青均表现出花香、果香、青气特征,其中,碳氢类物质多具有植物清香,醇类化合物常有清香或花果香,酯类化合物主要来源于脂肪酸降解的化合物,在浓度较低时表现出清香,而在浓度高时则散发出近似草味或青气^[21],这些物质间的相互作用使得茶叶呈现出丰富多样的香型,对茶叶的整体风味具有重大的影响。

表 5 特征香气物质ROAV值及香气描述
Table 5 Characteristic aroma substances ROAV and aroma description

序号	名称	气味 阈值	ROAV				香气描述 ^[27-30]
			SX-B	SX-B-BZ	SX-B-KX	SX-L	
1	异丁酸庚酯	0.01	5.04	1.94	2.29	403.39	甜香, 果香, 木质香
2	乙酸叶醇酯	0.03	2.42	0.89	1.00	5.77	果香
3	胡椒酮	0.68	0.08	0.03	0.04	8.55	薄荷气味
4	别罗勒烯	0.03	0.37	0.14	1.29	12.34	甜香、花香、青草气
5	茴香脑	0.02	14.06	5.79	5.41	1.43	花香、甜香、香料香
6	(Z)-3-己烯醇	0.05	3.96	1.37	1.58	19.41	甜香、花香、青草气

蒸汽杀青方式绿茶易带有水闷味^[22-25], 而龙团凤饼茶鲜叶经过蒸汽杀青后, 还需榨干蒸青叶中的茶汁, 造型后的茶饼进行烘焙, 除去其中的多余水分。因此, 经过焙火的龙团凤饼茶水闷味减少, 一些物质在一定温度下转化为具有清香、甜香的 (Z)-3-己烯醇、别罗勒烯等。但 SX-B-BZ 样品省略了“榨茶”步骤, 使其香气减弱。此外, 利用烤箱进行干燥的茶饼, 由于烤箱温度较高, 烘干时的美拉德反应会生成氮氧化合物及其衍生物, 使得烤箱干燥得到的龙团凤饼具有较浓郁的烘烤香^[26], 该结果与香气感官审评结果一致。

2.3 龙团凤饼茶的非挥发性组分分析

2.3.1 样本统计分析

基于 UPLC-MS 检测, 对全部样本进行主成分分析。主成分分析得分图 (图 3a) 所示, PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 65.35% 和 19.36%, 累计方差贡献率达到 84.71%, 表明该结果能充分反映龙团凤饼茶样品的总体特征。由水仙品种制成的不同嫩度和不同工艺的龙团凤饼茶样本有明显的分离趋势, 4 组样本间存在明显差异, 组内样品聚集在一起, 组内生物学重复较好。

2.3.2 龙团凤饼茶物种类及数量及差异分析

从 4 个龙团凤饼茶样本各 3 个重复种检测分析出大类 323 个代谢物质, SX-B、SX-B-BZ、SX-B-KX、SX-L 分别鉴定出 283、291、275、293 个代谢物质。经过标准样品、数据库和参考文献对比, 共鉴定出 57 个差异代谢物 (图 3b), 其中茶皂素类 16 个, 黄酮醇或黄酮糖苷类 14 个, 酚酸类 6 个, 水解单宁 5 个, 单体儿茶素 4 个, 花青素 4 个, 儿茶素衍

生物类 3 个, 茶黄素类 3 个, 其他物质 2 个。

为进一步找出不同工艺龙团凤饼茶的关键滋味品质贡献物质, 通过正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA) 方法, 将主成分分析中不相关的差异信息进一步摒弃, 后将差异物进行筛选。根据 $VIP \geq 1$ 且 $P < 0.05$ 的代谢物筛选龙团凤饼茶组间差异代谢物。将筛选出的差异代谢物数据归一化处理, 绘制成聚类热图 (图 3c), 以便观察筛选出的差异代谢物的变化规律。从图可以看出, 茶皂素类、黄酮醇或黄酮糖苷类一级酚酸类等物质占比较大。其中, 表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、表儿茶素 3-O-没食子酸酯、表没食子儿茶素 (EGC)、表儿茶素 (EC) 和原花青素 B2 的丰度在 SX-B、SX-B-BZ 和 SX-B-KX 中较高, 表儿茶素 3-O-没食子酸酯、茶黄素-3,3'-双没食子酸、EGCG、茶氨酸和 1,3,6-三没食子酰葡萄糖异构体在 SX-L 中丰度较高。推测表儿茶素 3-O-没食子酸酯、EGCG 等多酚类物质是构成龙团凤饼茶汤醇厚味的重要物质。

儿茶素及多酚类化合物氧化聚合会形成茶黄素^[31], 对比不同嫩度龙团凤饼茶, SX-B 中黄豆苷元二葡萄糖苷酸、8-C-抗坏血酸基-EGCG 和 3-对香豆酰奎宁酸显著高于 SX-L, 但茶黄素和茶黄素-3,3'-双没食子酸在 SX-L 中显著高于 SX-B。SX-B-KX 中的 3-没食子儿茶素和没食子素显著高于 SX-B。SX-B-BZ 中茶皂素类物质含量较 SX-B 高, 其余差异代谢物无显著差异, 推测在加工过程中省略榨茶工艺对龙团凤饼茶滋味品质无明显影响。龙团凤饼茶经过较长时间干燥, 多酚类物质进一步氧化后会导致其含量减少, 苦涩味降低, 醇度增加, 并且 EGCG、GC 等苦、涩味物质与酸味物质协同可能会构成绿茶滋味尚鲜爽的品质特征^[32,33]。

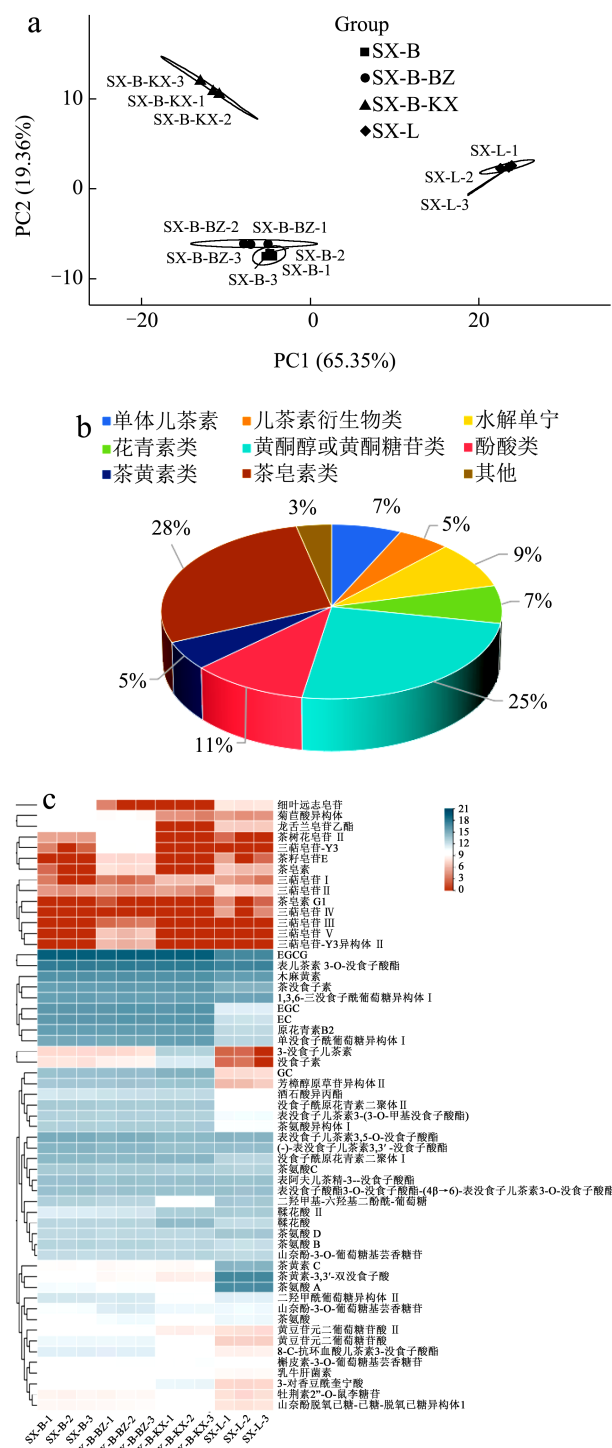


图3 不同嫩度、不同工艺龙团凤饼茶非挥发性代谢物分析

Fig.3 Analysis of non-volatile metabolites in Loong and Phoenix Tea Cake with different tenderness and different processes

注：a 为龙团凤饼茶非挥发性代谢物 PCA 图；b 为差异代谢物物质分类图；c 为差异代谢物热图。

3 结论

本研究运用感官品质评价、GC-MS、非靶向代谢组学等分析手段，通过对不同嫩度鲜叶、不同加工工艺制作而成的龙团凤饼茶的感官品质和风味化学物质进行对比分析。结果表明，不同嫩度和不同工艺的龙团凤饼茶风味品质差异较大。感官品质方面，茶粉冲泡法和点茶技艺法得到的审评结果皆为SX-B、SX-B-BZ 和 SX-L 较好，滋味和香气方面的得分均较高；SX-B-KX 次之，带烘烤香和火味。苯甲醇、2-苯乙醇、3-甲基丁酸苯甲酯、水杨酸甲酯、(Z)-2-壬烯醛和 2-己烯醛是构成四种水仙原料制成的龙团凤饼茶中甜香、花果香和青草气属性的共有贡献物质。茴香脑、异丁酸庚酯、别罗勒烯、(Z)-3-己烯醇等主要构成了龙团凤饼茶甜香，嫩香、带香料香的感官品质。香叶酸甲酯具有花香，其含量在SX-B、SX-B-BZ、SX-B-L 中无显著差异，且皆显著高于 SX-KX。(Z)-3-己烯醇、异丁酸庚酯具有青香和花果香，在 SX-L 中有较高的 ROAV 值。茴香脑和胡椒酮在 SX-B、SX-B-BZ、SX-B-KX 中的贡献作用较大，使其更加凸显香料香的品质特征。因此，龙团凤饼茶原料可拓展至一芽二三叶，SX-B-BZ 与 SX-B 无显著差异，可省略“榨茶”工艺，烤箱干燥具有火味，故不建议采取此方式。此外，茶皂素类、黄酮醇或黄酮糖苷类以及酚酸类等物质在龙团分饼茶滋味代谢物中占比较大，表儿茶素 3-O-没食子酸酯、EGCG 等多酚类物质是构成茶汤醇厚滋味的重要物质，茶皂素类含量占比较高，推测其对点茶技艺产生的沫饽品质的形成有关。本试验结果可为龙团凤饼茶风味品质的建立和进一步完善龙团凤饼茶的加工工艺提供一定的理论支撑。

参考文献

[1] 张一洁.中国末茶文化研究[D].上海:华东师范大学,2014.
[2] 蔡定益.明代茶书研究[D].合肥:安徽大学,2016.
[3] 刘焱瑶.《茶经》饮道研究[D].武汉:华中师范大学,2018.
[4] 周茹奕.宋代文人生活美学观念探究——以“四雅”为例[J].艺术研究,2023,3:7-10.
[5] 周倩,李宁馨,石宝岩.非物质文化遗产传承方式创新与发展研究——以宋代点茶项目为例[J].今古文创,2023,19:131-133.

- [6] 罗昊.浅谈宋代茶诗中的北苑贡茶[J].中国茶叶,2023,45(4):69-74.
- [7] 金珍淑.关于陆羽《茶经》中饮茶观点的研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [8] 梁爽,傅燕青,尹军峰,等.红茶汁液态发酵生成的泡沫组成分析与调控[J].食品科学,2022,43(8):238-246.
- [9] 何春梅,曾柔,林进龙,等.北苑贡茶品质成分测定及其点茶沫物质组成分析[J].热带作物学报,2023,44(8):1723-1733.
- [10] DB 33/T 2279-2020,《抹茶审评技术规范》[S].
- [11] T/MCYX 001-2021,《点茶技艺规程》[S].
- [12] GB/T 14487-2017,《茶叶感官审评术语》[S].
- [13] HUANG W J, FANG S M, WANG J, et al. Sensomics analysis of the effect of the withering method on the aroma components of Keemun black tea [J]. Food Chemistry, 2022, 395: 133549.
- [14] 周巧仪,曾伟霞,张建中,等.客家炒青绿茶品质成分及香气特征分析[J].现代食品科技,2023,39(11):242-252.
- [15] 孙慕芳,郭桂义,张洁.蒸青绿茶和炒青信阳毛尖绿茶香气品质的GC-MS分析[J].食品科学,2014,35(12):151-155.
- [16] 朱雨梦.烘焙工艺对蒸青绿茶品质成分的影响[D].杭州:浙江大学,2021.
- [17] 郑芳玲,甘诗雅,赵蕾,等.基于GC-MS/GC-O的不同地区红茶特征香气及分子感官分析[J].食品科学,2023,44(24):262-268.
- [18] FENG Z H, LI M, LI Y F, et al. Characterization of the key aroma compounds in infusions of four white teas by the sensomics approach [J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(5): 1299-1309.
- [19] SU D, HE J J, ZHOU Y Z, et al. Aroma effects of key volatile compounds in Keemun black tea at different grades: HS-SPME-GC-MS, sensory evaluation, and chemometrics [J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131587.
- [20] 王兴奎,夏兵,孙达.杀青方式对绿茶加工过程中品质的影响[J].现代农业科技,2014,22:271-272.
- [21] 徐丽丽,王佳童,朱荫,等.蜜桃乌龙复合茶中“桃香”关键挥发性成分分析[J].茶叶科学,2023,43(2):237-249.
- [22] 宋宪颖,黄艳梅,崔俪丹,等.杀青方法对紫色芽叶加工绿茶品质的影响[J].食品与机械,2021,37(11):19-27.
- [23] 汪蓓,舒娜,陆安霞,等.不同杀青温度对绿茶香型形成的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(4):197-203.
- [24] CHENG H, CHEN J, CHEN S, et al. Characterization of aroma active volatiles in three Chinese bayberry (*Myrica rubra*) cultivars using GC-MS-olfactometry and an electronic nose combined with principal component analysis [J]. Food Research International, 2015, 72: 8-15.
- [25] 尤秋爽,石亚丽,朱荫,等.加工工艺对绿茶关键呈香成分的影响[J].食品科学,2023,44(8):194-200.
- [26] 边金霖.产地与加工过程中绿茶香气物质的变化规律研究[D].杭州:浙江大学,2014.
- [27] 陈小爱,蔡惠钿,刘静宜,等.基于电子鼻、GC-MS和GC-IMS技术分析老香黄发酵期间的挥发性成分变化[J].食品工业科技,2021,42(12):70-80.
- [28] HATTORI S, TAKAGAKI H, FUJIMORI T. Identification of volatile compounds which enhanced odor notes in Japanese green tea using the OASIS (original aroma simultaneously input to the sniffing port) method [J]. Food Science and Technology Research, 2005, 11(2): 171-174.
- [29] 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.
- [30] 蒲丹丹,孟瑞馨,曹博雅,等.SAFE结合GC-MS/O分离分析29种淡香型天然香辛料香气活性成分[J].精细化工,2025,42(1):135-148.
- [31] 徐邢燕,陈思,俞晓敏,等.不同烘焙程度与等级武夷肉桂茶品质差异分析[J].食品科学,2020,41(13):22-28.
- [32] 毛阿静.焙火工艺对茶叶营养及风味特征成分的影响[D].合肥:安徽农业大学,2018.
- [33] 许勇泉,汪洁琼,曹青青,等.基于非靶向代谢组学的不同类型炒青绿茶风味品质差异分析[J].茶叶通讯,2023,50(4):419-436.