

白菲, 缪伊雯, 郑姝婷, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 探究压制及陈化对南川大树茶毛茶及其沱茶香气的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 279–289. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110274

BAI Fei, MIAO Yiwen, ZHENG Shuting, et al. Exploring the Effects of Compressing and Aging on the Aroma of *Camellia nanchuanica* Crude Tea and Its Tuo Tea Based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 279–289. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110274

· 分析检测 ·

基于 HS-SPME-GC-MS 探究压制及陈化对南川大树茶毛茶及其沱茶香气的影响

白菲¹, 缪伊雯¹, 郑姝婷¹, 王立磊¹, 崔俊峰¹, 魏昊¹, 闫敬娜^{1,2}, 童华荣^{1,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

2. 宜宾职业技术学院现代农业学院, 四川宜宾 644003)

摘要: 为探究南川大树茶毛茶压制前后香气成分的变化及陈化对其沱茶香气的影响, 本文采用传统感官评审结合顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪 (Headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 对茶样香气进行分析, 通过正交偏最小二乘法判别分析 (Orthogonal partial least squares discrimination analysis, OPLS-DA) 建立判别模型, 并基于变量投影重要性分析 (Variable importance in projection, VIP 值) 结合香气活度值 (Odor activity value, OAV) 筛选不同茶样中的特征香气。结果表明: 南川大树茶毛茶压制前后与沱茶陈化处理后其香气评分存在显著差异 ($P < 0.05$)。通过 HS-SPME-GC-MS 从 6 个茶样中共鉴定出 114 种香气成分, 与毛茶相比, 压制后沱茶的香气种类及含量均明显降低, 1-辛烯-3-醇等低沸点香气化合物损失较大; 通过陈化处理的沱茶香气种类更为丰富, 其中 1,2-二甲氧基苯为陈化处理后沱茶样品中的特有物质。基于 107 种共有香气成分建立的 OPLS-DA 可实现对不同茶样的有效区分, 以 VIP 值 > 1 与 OAV > 1 为标准共筛选出 23 种特征香气成分, 苯乙醇、(E)-2-庚烯醛等 17 种香气成分为大树茶毛茶样品中重要的香气成分, 反式-2-壬醛、反-2-辛烯醛等 6 种香气成分为大树茶沱茶样品中的重要香气成分。本研究为大树茶沱茶的加工贮藏提供参考。

关键词: 南川大树茶沱茶, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪, 香气, 压制, 陈化

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0279-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023110274



本文网刊:

Exploring the Effects of Compressing and Aging on the Aroma of *Camellia nanchuanica* Crude Tea and Its Tuo Tea Based on HS-SPME-GC-MS

BAI Fei¹, MIAO Yiwen¹, ZHENG Shuting¹, WANG Lilei¹, CUI Junfeng¹, WEI Hao¹, YAN Jingna^{1,2},
TONG Huarong^{1,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Modern Agriculture, Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644003, China)

Abstract: To investigate the changes in aroma components of *Camellia nanchuanica* crude tea before and after compression and the effects of aging on the aroma of Tuo tea, traditional sensory evaluation combined with headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was employed for aroma analysis of tea samples in this study. A discriminant model was established through orthogonal partial least squares discrimination analysis (OPLS-DA), and characteristic aromas in different tea samples were screened based on variable importance in projection (VIP values) and odor activity values (OAV). Results showed that there were obvious differences in the aroma

收稿日期: 2023-11-26

基金项目: 重庆市现代山地特色高效农业茶叶产业技术体系 (2022-8)。

作者简介: 白菲 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工及品质化学, E-mail: feifei111@email.swu.edu.cn。

* 通信作者: 童华荣 (1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶加工及品质化学, E-mail: huart@swu.edu.cn。

score of *Camellia nanchuanica* tea before and after compressing and aging at room temperature ($P < 0.05$). A total of 114 aroma components were identified by HS-SPME-GC-MS, and compared with crude tea, the aroma types and contents of Tuo tea were significantly reduced after the compressing process, the loss of low-boiling-point aroma compounds, such as 1-octen-3-one was significant while the aroma profile of Tuo tea exhibited increased diversity after undergoing the aging process, with the presence of 1,2-dimethoxybenzene being a distinct characteristic in the aged Tuo tea samples. OPLS-DA based on 107 common aroma components could effectively distinguish different tea samples, based on the double criteria of $VIP > 1$ and $OAV > 1$, a total of 23 characteristic aroma components were screened, seventeen aroma components, including phenethyl alcohol and (E)-2-heptenal were identified as important contributors to the aroma of *Camellia nanchuanica* crude tea samples, while six aroma components including (E)-2-nonenal and (E)-2-octenal were identified as significant contributors to the aroma of *Camellia nanchuanica* Tuo tea samples. This study would provide a reference for the processing and storage of *Camellia nanchuanica* Tuo tea.

Key words: *Camellia nanchuanica* Tuo tea; headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; aroma components; compressing; aging

南川大树茶(*Camellia nanchuanica*)是具有明显原始特征的乔木型茶树,为重庆市南川区特有的茶叶种质资源^[1]。相比于传统沱茶所采用的云南大叶种(*Camellia sinensis* var. *assamica*),南川大树茶甜香、果香更浓郁,整体品质更佳^[2]。南川大树茶产量高,内含物质丰富,成茶香味持久、滋味较浓^[3-4]。目前在生产上,南川大树茶可制备为红茶、绿茶。曾建明^[5]认为南川大树茶为一种适制性广且具有较高开发利用价值的独特品种资源。

沱茶为我国特有的紧压茶类,主产于我国云南和重庆两地,其由晒青毛茶经蒸制紧压加工而成^[6]。沱茶呈现圆锥窝头状、汤色橙黄明亮、香气陈香馥郁、滋味醇厚鲜爽^[7]。另外,据研究表明,沱茶具有降血压、抗氧化、减肥降脂等多种生理保健功能^[8],因而深受广大消费者的喜爱。

依据茶坯原料拼配的不同,可将沱茶分为云南沱茶和重庆沱茶,其中云南沱茶是以云南大叶种鲜叶加工的晒青绿茶为坯料,而重庆沱茶是以云南大叶种晒青、重庆中小叶种炒青和烘青毛茶为坯料,且传统重庆沱茶对外地原材料的依赖性较强^[9]。原料决定了沱茶的内含成分有所不同,而不同的加工工艺技术决定了内含成分氧化降解与形成程度以及保留程度的差异。其中干燥是沱茶加工的重要环节,也是目前研究较多的环节。罗红玉等^[9]以重庆本地鲜叶为加工原料,探究适宜重庆沱茶原料加工干燥新工艺。罗红玉等^[10]还探究了干燥工艺对于沱茶风味的影响,结果表明 60 ℃ 烘干更适于重庆沱茶加工。周才琼等^[11]认为干燥使得沱茶水分降低,有利于沱茶色香味品质的提升。压制工艺也是形成沱茶品质的重要工序,其可改善滋味和香气,提高沱茶品质^[12]。徐仲溪等^[13]认为沱茶的最佳压制参数是汽蒸时间 12~15 s、汽蒸料叶温度 85 ℃ 左右。此外,陈化是沱茶形成独特陈香与醇厚滋味的关键一步,周才琼^[14]认为在一定时间的自然贮藏陈化条件下能够使沱茶形成其独有的陈香及其醇厚的滋味。目前,对于沱茶的研究主要集中在其保健功能、营养价值等方面^[6,15-16],而有关南川大树茶所制沱茶的具体香气成

分的分析研究鲜有报道,关于压制及陈化工艺对于沱茶香气的影响尚未明晰。

本研究以 5、6 月份采摘制得的南川大树茶晒青毛茶及以毛茶为原料加工制得的沱茶为研究对象,采用感官审评、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(Headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)以及多元统计分析方法对毛茶及沱茶样品的香气成分进行分析,旨在明确不同茶样的香气成分及茶样间的差异,探究压制和陈化工艺对于南川大树茶的感官品质和香气的影响,以期为沱茶的加工贮藏提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南川大树茶鲜叶 2019 年 5、6 月采自重庆市南川区茶树村(E 107°14', N 28°53')大树茶(*Camellia nanchuanica*)鲜叶 1 芽 2、3 叶;癸酸乙酯 色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司;氯化钠(分析纯)、甲醇(色谱纯) 成都市科隆化学品有限公司。

QP 2010Plus 气相质谱联用仪 日本 Shimadzu 公司;EQ 7008/16 超纯水发生器 美国 Millipore 公司;FA 2004A 电子天平 上海精天电子仪器有限公司;50/30μm DVB/CAR/PDMS 萃取头及手动固相微萃取进样器 美国 Supelco 公司;DF 101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 河南予华仪器有限公司;SG 350C 茶叶粉碎机 北京瑞百利商贸有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 茶样制备 毛茶加工工艺流程:鲜叶→摊青→杀青→揉捻→晒干→拣剔。5、6 月份所采摘的大树茶鲜叶分别制成 5、6 月份大树茶晒青毛茶(分别记为 SJ1、SJ2)。沱茶加工工艺流程:毛茶→称料→蒸茶→揉捻→压制→定型→干燥。本实验所制茶样加工工艺及参数如表 1 所示。干燥的沱茶(分别记为 CK1、CK2)用铝箔袋密封包装,放置在-20 ℃ 贮藏,其他沱茶室温贮藏陈化 3 年(分别记为 TC1、TC2)。所有茶样用茶叶粉碎机粉碎,过 40 目筛后放

表 1 茶样加工工艺及参数
Table 1 Processing technology and parameters of the tea samples

工序	参数
摊青	室内自然摊青, 摊青厚度: 2 cm, 摊青时间: 2 h
杀青	滚筒杀青机, 杀青温度: 250 ℃, 杀青时间: 1 min
毛茶 揉捻	揉捻机, 程序: 轻压→重压→轻压, 揉捻时间: 10 min
晒干	晒至水分含量12%左右
拣剔	人工拣剔, 剔除梗、片和杂物
称料	准确称取对应毛茶100 g
蒸茶	将称好的毛茶倒入蒸茶桶内, 100~105 ℃高温蒸汽上蒸茶10 s
沱茶 揉捻	将蒸好的茶叶趁热倒入专用布袋, 手工揉捻, 适当揉紧
压制	置于压机模具中压制, 压制时间: 4 s
定型	冷却1.5 h后脱模, 于室温放置8 h
干燥	烘干温度: 45 ℃, 时间: 48 h, 烘至茶叶含水量低于9%

入铝箔袋密封并置于-40 ℃ 条件下存放用于后续分析。

1.2.2 感官审评 采用 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》^[17] 中紧压茶的审评方法对茶叶外形、汤色、香气、滋味、叶底五因子进行审评, 由 8 名专业茶叶评茶员对茶样感官特征进行评价, 8 名评茶员均为茶学专业, 具有 3~7 年的茶叶感官审评经验。

1.2.3 GC-MS 分析条件

1.2.3.1 样品的前处理 称取 1 g 茶粉和 2 g 氯化钠于 40 mL 萃取瓶中, 加入 10 mL 沸水充分混匀, 以 10 μL 癸酸乙酯(50 mg/g)作为内标。在 60 ℃ 恒温水浴条件下以转速 300 r/min 平衡 5 min, 萃取吸附 55 min。

1.2.3.2 GC 条件 使用 DB-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm); 升温程序: 起始温度为 40 ℃, 保持 2 min; 以 2 ℃/min 升至 80 ℃, 保持 2 min; 以 5 ℃/min 升至 150 ℃, 保持 1 min; 再以 4 ℃/min 升至 180 ℃, 保持 1 min; 最后以 10 ℃/min 升至 260 ℃, 保持 5 min; 载气为氦气(纯度>99.999%), 流速为 1.0 mL/min; 进样模式为不分流。

1.2.3.3 MS 条件 离子源温度 250 ℃; 电子能量 70 eV; 接口温度 250 ℃; 质量扫描范围 m/z 30~600, 溶剂延迟 4 min。

1.2.4 定性与定量 根据质谱信息、色谱保留时间,

同时比对 NIST 17 数据库对香气成分进行定性分析, 以匹配度>80% 为鉴定标准, 并参照 CAS 编号与相关文献进行比对, 最终确定香气成分^[18-19]。采用内标法对香气成分进行定量, 根据公式(1)计算。

某一香气成分的质量浓度(μg/g) =
$$\frac{\text{某一香气成分的色谱峰面积}}{\text{内标物的色谱峰面积}} \times \text{内标物的质量浓度}(\mu\text{g/g})$$
式 (1)

1.2.5 OAV 计算 气味活度值 (Odor active value, OAV) 是香气成分与其气味阈值的比值, 根据公式 (2) 计算^[20]。

$$\text{OAV} = \frac{C}{\text{OT}}$$
式 (2)

式中: C 为香气成分的质量浓度(μg/g); OT 为香气成分的气味阈值(mg/kg)。

1.3 数据处理

本试验结果均以“平均值±标准差”表示; 采用 Excel 进行数据归纳整理; 采用 IBM SPSS Statistics 24.0 软件进行单因素方差分析 (One-way analysis of variance, one-way ANOVA) 和邓肯多重比较 (Duncan multiple comparisons) 以检验样品组间显著性 ($P<0.05$); 采用 Origin 2023b 进行绘图; 采用 SIMCA 14.1 进行正交偏最小二乘法判别分析; 使用 TBtools 软件绘制热图。

2 结果与分析

2.1 南川大树茶毛茶及其沱茶的感官审评分析

茶叶感官审评主要采用术语与评分评价茶叶品质^[21], 是判断茶叶品质优劣的重要手段^[22]。由表 2 可知, 5、6 月份采摘制得的大树茶晒青毛茶在滋味、叶底两方面感官评分无显著差异性 ($P>0.05$), 其中 SJ1 的综合评分高于 SJ2, 这与王荣华^[23] 提出的 5 月所采摘制得的春茶较 6、7 月所制夏茶综合品质更佳的结论保持一致。从香气特征来看, SJ1 与 SJ2 香气得分存在显著差异 ($P<0.05$), 主要在于 SJ2 呈现较强日晒气, 而 SJ1 的日晒气较弱。沈培和^[24] 认为茶叶日晒气的呈现与日晒强度、温度高低等因素显著相关。因此, 推测 SJ1、SJ2 呈现不同强度的日晒气是由于日晒处理时光照强度、温度存在一定差异性。

表 2 茶样感官品质评价
Table 2 Sensory quality evaluation of tea samples

茶样	外形(20%)		汤色(10%)		香气(30%)		滋味(35%)		叶底(5%)		总分
	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	
SJ1	黄褐, 紧洁	90.16±0.29 ^a	浅黄明亮	89.17±0.29 ^d	日晒气强	89.83±0.62 ^c	清香, 微甜	89.00±0.82 ^b	尚匀整, 黄绿	90.33±0.58 ^a	89.50±0.41 ^b
SJ2	黄褐, 紧实	88.50±0.50 ^b	较浅黄明亮	87.00±0.50 ^e	日晒气较强	91.83±0.24 ^b	微甜	88.33±1.25 ^{bc}	匀整, 黄绿	91.17±0.29 ^a	89.17±0.24 ^b
CK1	松紧适度, 灰绿	90.33±0.58 ^a	杏黄明亮	90.00±0.00 ^c	甜香	87.50±0.41 ^d	醇和较涩	86.83±0.62 ^{cd}	尚软, 绿, 有红叶	87.70±0.57 ^b	88.50±0.41 ^{bc}
CK2	松紧适度, 黄褐	90.33±0.58 ^a	深黄透亮	91.17±0.58 ^b	谷物香	86.33±0.47 ^e	醇厚, 涩	86.50±0.41 ^d	尚软, 绿	88.17±0.29 ^b	87.83±0.62 ^c
TC1	松紧适度, 银白	90.33±0.58 ^a	深黄明亮	93.33±0.58 ^a	陈香	93.33±0.47 ^a	醇和, 回甘	91.83±0.62 ^a	尚软, 有红叶	85.50±0.50 ^c	91.33±0.47 ^a
TC2	松紧适度, 黑褐	90.33±0.58 ^a	橙黄明亮	90.67±0.58 ^{bc}	陈香较弱	89.33±0.47 ^c	醇厚较涩	88.17±0.24 ^{bcd}	尚软, 有红梗	86.00±1.00 ^e	89.00±0.41 ^b

注: 同一列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

与晒青毛茶相比,沱茶干茶色泽发生改变:CK1 呈现灰绿色、CK2 呈现黄褐色、TC1 呈现银白色、TC2 呈现黑褐色。与晒青毛茶相比,压制后同样在-20 ℃ 条件下贮藏的沱茶(CK1、CK2)综合得分都有所降低,主要表现为茶汤颜色黄度加深、日晒气消失、滋味变涩。常温陈化下的 TC1、TC2 呈现出明显的陈香味,这与周才琼^[14] 研究报道的沱茶常温贮藏超过 8 个月其陈香明显的结论一致。而未经陈化的 CK1、CK2 并未呈现陈香味,而是分别呈现出甜香、谷物香,这与 SHE 等^[25] 对于茶叶陈化的研究保持一致,即研究发现随着陈化时间延长,安茶的甜香逐渐变为木香。WANG 等^[26] 认为陈化会降低茶叶的清香、花香强度,而在一定程度上增强其陈香、木香强度。由 SJ1 所制得 CK1、TC1 综合得分均高

于由 SJ2 所制得的 CK2、TC2 样品,蒋容港等^[27] 认为在品种、加工工艺相同的情况下,原料质量是影响成茶品质的重要因素。研究表明,原料是决定沱茶滋味形成的物质基础,且不同原料所制沱茶理化特性存在较大差异^[12,28],故推测沱茶综合品质与其加工原料呈现密切相关。

2.2 南川大树茶毛茶及沱茶的香气结果分析

2.2.1 南川大树茶毛茶及其沱茶的香气种类分析
为对茶样进行进一步分析,采用 HS-SPME-GC-MS 技术对 6 个大树茶样品的香气成分及含量进行分析鉴定。由表 3 可知, SJ1、SJ2、CK1、CK2、TC1、TC2 中共检测出 114 种香气成分,包括酮类 22 种,酸类 3 种,醛类 18 种,醇类 36 种,烯类 16 种,酚类 2 种,酯类 14 种,其他杂环类化合物 3 种。

表 3 不同茶样的香气成分
Table 3 Aroma components of different tea samples

编号	化合物	CAS号	文献RI	香气含量(μg/g)						P值	VIP值
				SJ1	SJ2	CK1	CK2	TC1	TC2		
1	1-辛烯-3-酮	4312-99-6	943	—	—	0.02±0.01 ^b	0.06±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.00	0.94
2	己酸	142-62-1	950	—	—	—	0.30±0.06	—	—	0.00	—
3	(E)-2-庚烯醛	18829-55-5	970	0.04±0.01 ^b	0.05±0.00 ^a	0.02±0.00 ^{cd}	0.03±0.02 ^{bc}	0.01±0.00 ^d	0.01±0.00 ^d	0.00	1.13
4	苯甲醛	100-52-7	970	0.25±0.04 ^{bcd}	0.40±0.04 ^{bc}	0.13±0.05 ^d	0.71±0.29 ^a	0.22±0.04 ^{cd}	0.48±0.12 ^b	0.00	0.70
5	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	979	1.39±0.35 ^b	1.71±0.55 ^a	0.10±0.05 ^c	0.20±0.15 ^c	0.05±0.01 ^c	0.06±0.01 ^c	0.00	1.18
6	(E,E)-3,5,5-三甲基-2-己烯	26456-76-8	985	0.47±0.13 ^b	0.65±0.18 ^a	0.06±0.02 ^c	0.09±0.03 ^c	0.01±0.00 ^c	0.02±0.00 ^c	0.00	1.17
7	甲基庚烯酮	110-93-0	986	—	—	0.10±0.04 ^a	—	0.03±0.01 ^b	0.04±0.01 ^b	0.00	0.67
8	正辛醛	124-13-0	1006	0.08±0.02 ^b	0.14±0.02 ^a	0.06±0.03 ^b	0.14±0.07 ^a	—	—	0.00	0.95
9	(E,E)-2,4-庚二烯醛	4313-03-5	1008	0.07±0.01 ^c	0.15±0.04 ^{bc}	0.32±0.13 ^b	0.69±0.20 ^a	0.35±0.07 ^b	0.70±0.18 ^a	0.00	1.04
10	松油烯	99-86-5	1016	0.01±0.00 ^c	0.04±0.01 ^{ab}	0.02±0.01 ^{bc}	0.07±0.03 ^a	0.06±0.01 ^a	0.04±0.01 ^{abc}	0.01	0.85
11	2-乙基己醇	104-76-7	1030	0.42±0.13 ^b	0.93±0.26 ^a	0.20±0.04 ^{bc}	0.43±0.19 ^b	0.09±0.02 ^c	0.14±0.01 ^c	0.00	1.07
12	(-)-柠檬烯	5989-54-8	1031	0.05±0.01 ^b	0.10±0.03 ^a	0.06±0.03 ^b	0.09±0.02 ^{ab}	0.06±0.01 ^b	0.08±0.14 ^{ab}	0.07	0.70
13	反-2-辛烯醛	2548-87-0	1031	—	—	0.06±0.02 ^b	0.18±0.09 ^a	0.06±0.02 ^b	0.10±0.03 ^{ab}	0.00	1.05
14	苯甲醇	100-51-6	1034	0.47±0.08 ^b	0.74±0.11 ^a	0.04±0.02 ^c	0.08±0.04 ^c	0.02±0.01 ^c	0.03±0.01 ^c	0.00	1.17
15	甲基环戊烯醇酮	80-71-7	1036	0.08±0.01 ^b	0.12±0.02 ^a	—	—	0.03±0.01 ^c	0.02±0.00 ^c	0.00	1.14
16	2,2,6-三甲基环己酮	2408-37-9	1036	—	—	—	—	0.06±0.04 ^a	0.05±0.02 ^a	0.00	0.99
17	3-辛烯-2-酮	1669-44-9	1040	—	—	—	0.05±0.02 ^a	0.01±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b	0.00	0.86
18	苯乙醛	122-78-1	1043	—	—	0.03±0.01 ^b	0.09±0.03 ^a	0.03±0.01 ^b	0.08±0.02 ^a	0.00	1.04
19	乙基吡咯-2-甲醛	2167-14-8	1046	0.07±0.01 ^c	0.11±0.02 ^{bc}	0.13±0.05 ^{ab}	0.11±0.03 ^{bc}	0.17±0.04 ^a	0.06±0.01 ^c	0.01	0.27
20	邻甲酚	95-48-7	1072	0.01±0.00 ^a	0.02±0.01 ^b	—	—	—	—	0.00	1.16
21	正辛醇	111-87-5	1078	0.47±0.11 ^b	0.75±0.12 ^a	0.11±0.05 ^c	0.18±0.08 ^c	0.03±0.01 ^c	0.05±0.02 ^c	0.00	1.16
22	庚酸	111-14-8	1078	0.18±0.09 ^a	0.28±0.12 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
23	反式芳樟醇氧化物 (呋喃型)	34995-77-2	1087	0.64±0.16 ^b	1.25±0.27 ^a	0.34±0.14 ^{cd}	0.56±0.19 ^{bc}	0.23±0.05 ^d	0.23±0.05 ^d	0.00	0.27
24	2-壬酮	821-55-6	1090.28	0.02±0.00 ^a	—	0.02±0.01 ^a	—	0.00±0.00 ^b	—	0.00	0.81
25	反,反-3,5-辛二烯-2-酮	38284-27-4	1092	—	—	0.03±0.01 ^c	0.11±0.05 ^{ab}	0.07±0.01 ^{bc}	0.15±0.04 ^a	0.00	1.05
26	3,5-辛二烯-2-酮	30086-02-3	1098	—	—	—	0.94±0.32 ^a	—	0.57±0.15 ^b	0.00	0.84
27	壬醛	124-19-6	1102	0.42±0.07 ^b	0.74±0.11 ^a	0.30±0.09 ^{bc}	0.66±0.27 ^a	0.14±0.03 ^c	0.19±0.04 ^{bc}	0.00	0.95
28	二氢芳樟醇	29957-43-5	1110	0.27±0.06 ^c	0.35±0.05 ^c	0.17±0.09 ^c	1.09±0.43 ^a	0.55±0.12 ^{bc}	0.88±0.2 ^{ab}	0.00	0.89
29	芳樟醇	78-70-6	1110	0.48±0.10 ^{bc}	0.81±0.22 ^{ab}	1.22±0.60 ^a	0.50±0.2 ^{bc}	1.00±0.22 ^{ab}	0.18±0.03 ^c	0.00	1.10
30	4-甲基戊-4-烯-2-酮	3744-02-3	1110	0.09±0.01 ^b	0.16±0.03 ^a	0.04±0.02 ^c	0.06±0.03 ^{bc}	0.03±0.01 ^c	0.03±0.00 ^c	0.00	1.13
31	苯乙醇	60-12-8	1112	0.36±0.06 ^b	0.54±0.08 ^a	0.04±0.01 ^c	0.23±0.1 ^b	—	—	0.00	1.12
32	葑醇	1632-73-1	1119	—	0.03±0.02	—	—	—	—	0.00	—
33	异佛尔酮	78-59-1	1122	0.03±0.01 ^{bc}	0.03±0.02 ^{bc}	0.06±0.03 ^{ab}	0.08±0.02 ^a	0.02±0.01 ^c	0.02±0.01 ^c	0.01	0.87
34	3,4-二甲基环己醇	5715-23-1	112	0.06±0.05 ^a	0.02±0.00 ^{ab}	0.01±0.01 ^b	0.03±0.01 ^{ab}	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.07	0.69

续表 3

编号	化合物	CAS号	文献RI	香气含量(μg/g)						P值	VIP值
				SJ1	SJ2	CK1	CK2	TC1	TC2		
35	3-壬烯-2-酮	14309-57-0	1135	—	—	—	—	—	0.02±0.00	0.00	—
36	4-氧代异佛尔酮	1125-21-9	1139	—	0.14±0.03 ^a	—	0.02±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.00	0.92
37	反式-3-壬烯-2-酮	18402-83-0	1144	—	—	—	—	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00	0.99
38	1,2-二甲氧基苯	91-16-7	1149	—	—	—	—	0.05±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.00	1.14
39	1,4-二甲基-4-乙酰基-1-环己烯	43219-68-7	1152	—	—	—	—	0.02±0.01 ^b	0.03±0.01 ^a	0.00	0.97
40	反式-2-壬醛	18829-56-6	1156	0.02±0.00 ^{bc}	0.02±0.01 ^{ab}	0.01±0.00 ^c	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^{abc}	0.03±0.01 ^a	0.03	1.00
41	2-异丙基-5-甲基-1-庚醇	91337-07-4	1165	0.03±0.01 ^{cd}	0.05±0.02 ^{bc}	0.06±0.02 ^{ab}	0.08±0.02 ^a	0.01±0.00 ^d	0.01±0.00 ^d	0.00	0.84
42	4-萜烯醇	562-74-3	1166.49	0.19±0.03 ^b	0.26±0.06 ^a	0.08±0.03 ^c	0.07±0.03 ^c	0.22±0.05 ^{ab}	0.05±0.01 ^c	0.00	0.93
43	3,5-二甲基苯甲醛	5779-95-3	1169	0.01±0.00 ^c	—	0.02±0.01 ^{ab}	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^c	0.01±0.00 ^{bc}	0.00	0.64
44	薄荷脑	1490-04-6	1171	0.11±0.02 ^b	0.32±0.11 ^a	—	—	—	—	0.00	1.12
45	(E)-芳樟醇氧化物 (吡喃类)	39028-58-5	1173	0.22±0.03 ^b	0.41±0.08 ^a	0.05±0.02 ^c	0.17±0.06 ^b	0.06±0.01 ^c	0.08±0.02 ^c	0.00	1.09
46	(Z)-芳樟醇氧化物 (吡喃类)	14009-71-3	1175	0.88±0.14 ^b	1.17±0.22 ^a	0.22±0.08 ^c	0.41±0.15 ^c	0.22±0.04 ^c	0.22±0.05 ^c	0.00	1.15
47	4'-甲基苯乙酮	122-00-9	1183	0.02±0.00 ^b	0.04±0.01 ^a	—	—	0.01±0.00 ^b	0.01±0.01 ^b	0.00	1.10
48	2-(4-甲基苯基)丙-2-醇	1197-01-9	1187	0.07±0.01 ^b	0.14±0.04 ^a	0.02±0.01 ^d	0.06±0.02 ^{bc}	0.03±0.01 ^{cd}	0.03±0.01 ^{cd}	0.00	1.08
49	顺-3-己烯基丁酯	16491-36-4	1188	—	0.06±0.02 ^b	—	0.09±0.02 ^a	—	—	0.00	0.78
50	水杨酸甲酯	119-36-8	1192	0.14±0.02 ^a	0.17±0.05 ^a	0.13±0.05 ^a	0.07±0.01 ^b	0.05±0.01 ^b	0.03±0.00 ^b	0.00	1.11
51	2-丙基-1-庚醇	10042-59-8	1194	0.05±0.01 ^b	0.08±0.02 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
52	α-松油醇	98-55-5	1195	0.97±0.28 ^{bc}	1.31±0.35 ^a	0.44±0.18 ^{cd}	0.37±0.32 ^d	1.15±0.21 ^b	0.21±0.04 ^d	0.00	0.90
53	藏红花醛	116-26-7	1197	0.18±0.04 ^b	0.32±0.07 ^a	0.10±0.04 ^b	0.19±0.08 ^b	0.14±0.03 ^b	0.13±0.03 ^b	0.00	1.02
54	癸醛	112-31-2	1207	0.13±0.01 ^b	0.25±0.02 ^{ab}	0.14±0.03 ^b	0.35±0.20 ^a	0.09±0.03 ^b	0.09±0.03 ^b	0.02	0.81
55	2-(戊氧基)乙酸乙酯	5312-09-4	1216	0.44±0.10 ^b	0.98±0.20 ^a	0.10±0.05 ^c	0.21±0.11 ^{bc}	—	—	0.00	1.13
56	β-环柠檬醛	432-25-7	1223	0.29±0.06 ^b	0.59±0.13 ^a	0.18±0.08 ^{bc}	0.33±0.14 ^b	0.16±0.03 ^{bc}	0.11±0.03 ^c	0.00	1.05
57	橙花醇	106-25-2	1228	0.02±0.01 ^c	0.05±0.01 ^a	0.02±0.01 ^c	0.03±0.01 ^{bc}	0.08±0.02 ^a	0.01±0.00 ^c	0.00	0.43
58	柠檬醛	5392-40-5	1240.5	0.05±0.02 ^b	0.08±0.01 ^a	0.03±0.01 ^{bc}	0.05±0.01 ^b	0.02±0.01 ^c	0.02±0.00 ^c	0.00	1.08
59	正己酸乙烯酯	3050-69-9	1244	0.10±0.02 ^b	0.15±0.02 ^a	0.06±0.02 ^{cd}	0.08±0.03 ^{bc}	0.04±0.01 ^d	0.03±0.00 ^d	0.00	1.13
60	香叶醇	106-24-1	1255	0.62±0.17 ^{ab}	0.93±0.17 ^a	0.14±0.06 ^c	0.23±0.08 ^{bc}	0.25±0.04 ^{abc}	0.07±0.02 ^c	0.00	1.15
61	乙酸芳樟酯	115-95-7	1257	0.01±0.01 ^b	0.03±0.01 ^a	—	—	—	—	0.00	1.12
62	2-癸烯-1-醇	18409-18-2	1273.3	0.98±0.20 ^a	0.97±0.32 ^a	—	—	—	—	0.00	1.15
63	2-丁基辛醇	3913-02-8	1277	0.03±0.00 ^b	0.06±0.01 ^a	0.03±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	0.01±0.00 ^c	0.01±0.00 ^c	0.00	0.96
64	壬酸	112-05-0	1278	0.18±0.06 ^b	0.24±0.05 ^a	—	0.04±0.01 ^c	—	—	0.00	1.16
65	反式-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	1317	—	—	—	—	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00	0.99
66	丙位壬内酯	104-61-0	1363	0.03±0.01 ^b	0.03±0.00 ^a	0.00±0.00 ^d	0.02±0.01 ^b	0.01±0.00 ^{bc}	0.01±0.00 ^c	0.00	1.00
67	反-2-十一烯醇	75039-84-8	1365	—	—	0.03±0.01 ^b	0.08±0.04 ^a	—	—	0.00	0.90
68	α-衣兰烯	14912-44-8	1373	0.10±0.02 ^a	0.11±0.05 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
69	2-乙基-3-羟基己基2-甲基 丙酸酯	74367-31-0	1373	0.05±0.01 ^{bc}	0.09±0.01 ^b	0.02±0.01 ^c	0.17±0.07 ^a	0.03±0.01 ^{bc}	0.06±0.01 ^{bc}	0.00	0.73
70	α-蒎烯	3856-25-5	1380	—	0.11±0.04	—	—	—	—	0.00	—
71	β-大马烯酮	23726-93-4	1384	0.03±0.01 ^b	0.04±0.02 ^{ab}	0.03±0.03 ^{ab}	0.17±0.18 ^a	0.05±0.01 ^{ab}	0.07±0.02 ^{ab}	0.29	0.85
72	β-荜澄茄油烯	13744-15-5	1392	0.05±0.01 ^b	0.06±0.00 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
73	茉莉酮	488-10-8	1394	0.44±0.06 ^a	0.47±0.11 ^a	0.04±0.01 ^b	0.07±0.03 ^b	0.04±0.01 ^b	0.04±0.01 ^b	0.00	1.16
74	α-柏木烯	469-61-4	1404	0.29±0.07 ^a	0.37±0.11 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
75	7,8-二氢紫罗兰酮	31499-72-6	1406	—	—	—	—	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.00	0.99
76	十二醛	112-54-9	1409	0.02±0.00 ^b	0.05±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b	0.04±0.02 ^{ab}	—	—	0.00	0.96
77	(-)-异丁香烯	118-65-0	1416	—	0.09±0.03 ^a	—	0.01±0.00 ^b	—	—	0.00	0.95
78	β-柏木烯	546-28-1	1418	0.20±0.04 ^b	0.26±0.07 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
79	β-石竹烯	87-44-5	1418	—	—	0.01±0.01 ^b	0.04±0.02 ^a	—	—	0.00	0.88
80	α-紫罗酮	127-41-3	1426	0.15±0.01 ^{ab}	0.19±0.05 ^a	0.12±0.04 ^{ab}	0.14±0.06 ^{ab}	0.17±0.02 ^{ab}	0.08±0.02 ^c	0.09	0.78
81	罗汉柏烯	470-40-6	1429	0.08±0.02 ^a	0.09±0.02 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
82	6,10-二甲基-5,9-十一双 烯-2-酮	689-67-8	1460	0.20±0.03 ^b	0.37±0.09 ^a	0.10±0.03 ^c	0.19±0.08 ^{bc}	0.12±0.01 ^{bc}	0.11±0.03 ^{bc}	0.00	1.07
83	(E)-β-金合欢烯	18794-84-8	1471	—	—	0.02±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	—	—	0.00	0.88

续表 3

编号	化合物	CAS号	文献RI	香气含量(μg/g)						P值	VIP值
				SJ1	SJ2	CK1	CK2	TC1	TC2		
84	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二 环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯- 2-酮	23267-57-4	1473	0.31±0.03 ^b	0.65±0.14 ^a	0.21±0.05 ^b	0.50±0.17 ^a	0.14±0.02 ^b	0.17±0.05 ^b	0.00	0.96
85	反-2-十二烯-1-醇	69064-37-5	1473	0.08±0.01 ^a	—	0.07±0.02 ^b	—	—	—	0.00	0.82
86	β-蒎烯	17066-67-0	1476	0.06±0.02 ^b	0.18±0.07 ^a	—	—	—	—	0.00	1.12
87	β-紫罗酮	79-77-6	1477	0.43±0.07 ^b	0.87±0.18 ^a	0.27±0.11 ^b	0.80±0.34 ^a	0.35±0.05 ^b	0.35±0.10 ^b	0.00	0.86
88	2,4-二叔丁基苯酚	96-76-4	1502	1.10±0.07 ^b	2.19±0.81 ^a	0.74±0.14 ^{bc}	1.31±0.10 ^b	0.39±0.06 ^c	0.36±0.08 ^c	0.00	1.05
89	2-己基-1-癸醇	2425-77-6	1504	0.06±0.03	0.08±0.03 ^a	0.05±0.01 ^a	0.07±0.02 ^a	0.06±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.63	0.87
90	花侧柏烯	16982-00-6	1505	0.11±0.01 ^b	0.23±0.10 ^a	—	—	—	—	0.00	1.15
91	二氢猕猴桃内酯	17092-92-1	1520	0.30±0.05 ^{bc}	0.82±0.13 ^a	0.15±0.05 ^c	0.45±0.15 ^b	0.26±0.03 ^{bc}	0.31±0.12 ^{bc}	0.00	0.94
92	反式-橙花叔醇	40716-66-3	1534	0.23±0.04 ^b	0.32±0.07 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
93	雪松醇	77-53-2	1573	4.38±0.67 ^b	6.95±1.72 ^a	0.03±0.00 ^c	0.10±0.03 ^c	0.02±0.00 ^c	0.03±0.01 ^c	0.00	1.17
94	蓝桉醇	489-41-8	1580	0.17±0.03 ^b	0.59±0.16 ^a	—	—	—	—	0.00	1.10
95	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇 二异丁酸酯	6846-50-0	1587.5	0.12±0.02 ^{bc}	0.40±0.19 ^a	0.08±0.02 ^c	0.24±0.08 ^b	0.04±0.01 ^c	0.06±0.01 ^c	0.00	0.96
96	2-己基辛醇	19780-79-1	1591	0.02±0.00 ^{bc}	0.03±0.01 ^{ab}	—	0.03±0.01 ^a	0.02±0.00 ^c	0.01±0.00 ^c	0.00	0.72
97	绿花白千层醇	552-02-3	1593	0.05±0.01 ^b	0.24±0.11 ^a	—	—	—	—	0.00	1.07
98	十四烷醛	124-25-4	1611	—	—	—	0.09±0.02 ^a	—	0.02±0.00 ^b	0.00	0.84
99	环十二醇	1724-39-6	1627	—	—	—	—	0.02±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.00	0.99
100	T-杜松醇	5937-11-1	1640	0.14±0.02 ^b	0.22±0.05 ^a	—	—	—	0.02±0.01 ^c	0.00	1.16
101	α-菖蒲醇	28400-11-5	1648.5	0.04±0.02 ^b	0.07±0.08 ^a	—	—	—	—	0.09	1.17
102	α-毕橙茄醇	481-34-5	1653	0.14±0.06 ^b	0.29±0.13 ^a	—	0.15±0.00 ^b	—	0.02±0.00 ^c	0.00	1.04
103	合金欢醛	502-67-0	1730	—	—	0.01±0.01 ^a	—	0.02±0.01 ^a	—	0.00	0.59
104	乙酸柏木酯	77-54-3	1762	0.08±0.02 ^b	0.13±0.01 ^a	—	—	—	—	0.00	1.17
105	植酮	502-69-2	1801	0.15±0.01 ^{ab}	0.17±0.03 ^a	0.12±0.01 ^{bc}	0.16±0.02 ^{ab}	0.06±0.05 ^d	0.08±0.01 ^{cd}	0.00	1.01
106	肉豆蔻酸异丙酯	110-27-0	1812	—	—	0.01±0.00 ^a	—	0.00±0.00 ^{ab}	0.00±0.00 ^b	0.00	—
107	邻苯二甲酸二异丁酯	84-69-5	1847	0.19±0.04 ^b	0.62±0.24 ^a	0.10±0.02 ^b	0.10±0.00 ^b	0.06±0.05 ^b	0.10±0.02 ^b	0.00	1.05
108	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	1922	0.20±0.03 ^b	0.56±0.13 ^a	0.02±0.00 ^c	0.04±0.01 ^c	0.03±0.02 ^c	0.03±0.01 ^c	0.00	1.11
109	棕榈酸异丙酯	142-91-6	1981	0.02±0.00 ^b	0.03±0.00 ^a	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^{bc}	—	—	0.00	1.16
110	香叶基芳樟醇	1113-21-9	2020	—	—	—	0.08±0.02 ^a	—	0.01±0.00 ^b	0.00	0.83
111	植物醇	150-86-7	2103	0.01±0.00 ^{bc}	0.03±0.01 ^{ab}	0.02±0.01 ^{abc}	0.03±0.01 ^a	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00	0.88
112	N-乙基琥珀酰亚胺	2314-78-5		0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	—	—	0.02±0.00 ^b	0.01±0.00 ^c	0.00	1.03
113	(1R,2R,3S,5R)-(-)-2,3-蒎 烷二醇	22422-34-0	/	—	0.09±0.02	—	—	—	—	0.00	—
114	榄香烯	33880-83-0	/	—	0.04±0.02	—	—	—	—	0.00	—

注：“/”表示未找到文献RI；“—”表示未检测到该化合物；同一行中不同字母表示差异显著(P<0.05)。

从香气种类数量来看,不同茶样间香气种类数量存在一定差异(图 1)。SJ1、SJ2、CK1、CK2、TC1 和 TC2 分别检测出 84、89、69、76、74 和 78 种香气成分。与 SJ1 相比,CK1 除醛类、酮类化合物分别增加 3、1 种外,醇类、烯类、酚类、酸类、酯类化合物分别减少了 9、6、1、2、1 种,杂环类化合物数量保持不变;与 SJ2 相比,CK2 醛类、酮类化合物各增加了 4、1 种,醇类、烯类、酚类、杂环类、酯类化合物各减少 8、6、1、1、2 种,酸类化合物数量保持不变,推测造成这种变化的原因是沱茶高湿热的加工环境下,香气成分发生了氧化还原反应^[29]。与 CK 样品相比,常温陈化下的 TC 样品香气成分种类较为丰富,其中 1,2-二甲氧基苯为 TC 样品中特有的香气成分,这可能是因为在常温环境下微生物和茶叶的湿热协同作用使得氧基苯类香气成分增加^[30]。

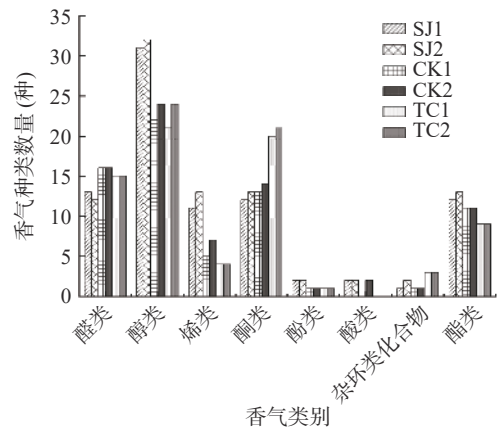


图 1 茶样香气种类数量

Fig.1 Types and quantities of aroma components in tea samples

2.2.2 南川大树茶毛茶及其沱茶的香气成分含量分析 不同时期南川大树茶晒青毛茶香气含量存在显著差异性 ($P<0.05$), SJ1、SJ2 的香气总量分别为 22.32、38.77 $\mu\text{g/g}$ 。晒青毛茶中的主要香气成分是醇类、杂环类香气化合物, SJ1 中醇类、杂环类化合物含量分别为 9.80、4.38 $\mu\text{g/g}$, 分别占总量的 43.92%、19.61%; SJ2 中醇类、杂环类化合物含量依次为 15.35、6.98 $\mu\text{g/g}$, 分别占总量的 39.60%、17.99% (图 2、图 3)。

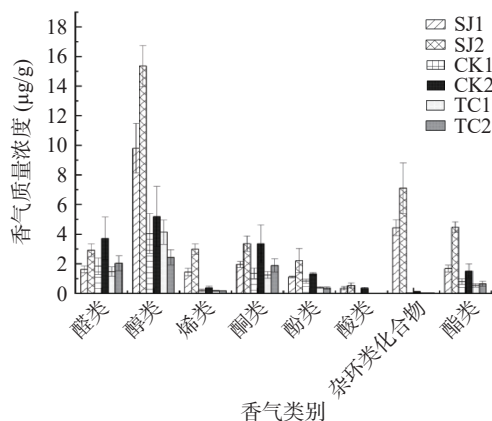


图 2 茶样香气含量

Fig.2 Aroma contents of tea samples

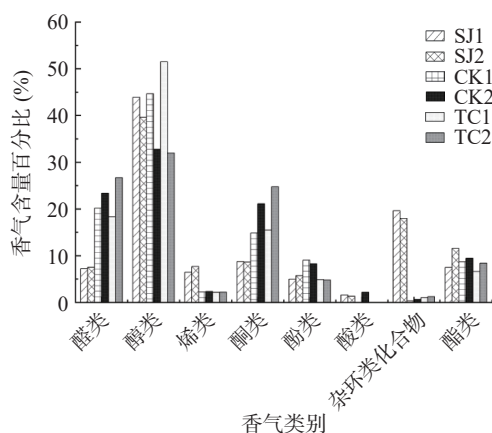


图 3 茶样香气含量百分比

Fig.3 Percentage of aroma contents of tea samples

与晒青毛茶(SJ1、SJ2)相比, 对照样(CK1、CK2)的醇类、烯类、杂环类、酯类化合物含量都呈现大幅度减少, CK1 分别减少 58.80%、86.06%、99.31%、52.96%; CK2 分别减少 66.17%、87.61%、98.56%、66.56%; 而醛类化合物呈现增加的趋势, CK1 较 SJ1 增加了 12.82%; CK2 较 SJ2 增加了 27.33%。一些低沸点的香气化合物如(E)-2-庚烯醛(青草气)、1-辛烯-3-醇(刺激青味)含量显著降低 ($P<0.05$)^[31], 推测是由于沱茶加工过程中的高温蒸茶压制环节使得低沸点香气成分损失。WANG 等^[32]认为醇类含量的减少可能是与醇类化合物的挥发有关。1-辛烯-3-酮(壤香、蘑菇香)^[33]、(E,E)-2,4-庚二烯醛(清香)、 β -石竹烯(木香)等呈现上调趋势, 这也与杨丽玲等^[34]

对于湖南紧压型黑茶与原料茶香气差异分析的研究保持一致。

从香气成分总量来看, CK1(9.04 $\mu\text{g/g}$)>TC1(8.01 $\mu\text{g/g}$); CK2(15.85 $\mu\text{g/g}$)>TC2(7.61 $\mu\text{g/g}$)。与对照样品相比较, 常温陈化下的沱茶样品香气总量降低、香气成分比例改变, 但其香气种类增加, 这与陈文品等^[35]提出的陈化条件下普洱茶香气变化趋势保持一致。1,2-二甲氧基苯为常温陈化沱茶样品中的特有物质, 多表现为陈香, 这与前文的感官审评结果保持一致。川上美智子等^[36]提出在陈化过程中, 芳香族化合物会在微生物作用下甲基化从而产生甲氧基苯类化合物, 而在未经陈化的对照样中并未发现甲氧基苯类化合物。张纪伟等^[37]认为普洱茶在常温条件下陈化, 不仅有晒青毛茶的香气与陈化过程中产生的陈香, 还有内含物质转换而形成的香气, 普洱生茶的加工原料及其加工工艺都与沱茶相似^[38], 由于两者的相似性, 推测沱茶的陈化过程香气组成类似。

2.2.3 南川大树茶毛茶及其沱茶香气成分的 OPLS-DA 及 VIP 值分析 OPLS-DA 可作为一种监督识别方法, 通过距离远近反映样品间的相似度, 距离越近样品相似度越高, 反之相似度越低^[39-40]。为了分析不同茶样之间的差异性, 以 107 种共有香气成分作为因变量建立 OPLS-DA 模型, 本模型累积解释度 (R^2X 、 R^2Y) 分别为 0.904、0.507, 累积预测度为 0.736, 以上数值均大于 0.5, 则可认为该模型可靠^[41]。在 OPLS-DA 得分图中(图 4), 可以实现对于 SJ、CK、TC 样品的良好区分, 说明茶样压制前后及经陈化处理后其香气含量与组成均发生了显著变化。采用置换检验的方法进行 200 次交叉检验(图 5), 其 R^2 为 0.760, Q^2 为 -0.522, Q^2 回归线与纵轴的相交点 <0 , 说明模型不存在过拟合现象, 模型有较高的拟合准确性, 模型验证有效^[42]。

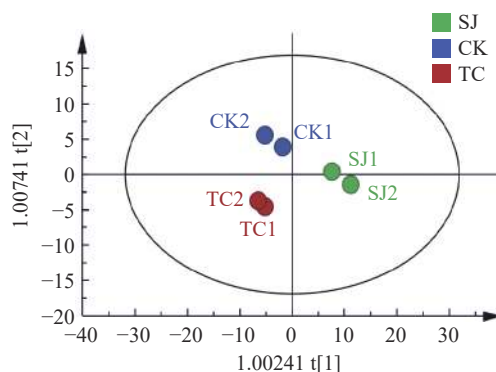


图 4 茶样香气成分含量的 OPLS-DA 图

Fig.4 OPLS-DA diagram of aroma component contents of tea samples

为了获得 OPLS-DA 模型下的关键香气成分, 对香气成分进行变量投影重要性分析。通常来说, VIP 值 >1 的香气成分被认为是导致组间差异的关键香气成分^[43], 共筛选出 58 种 VIP 值 >1 的香气成分

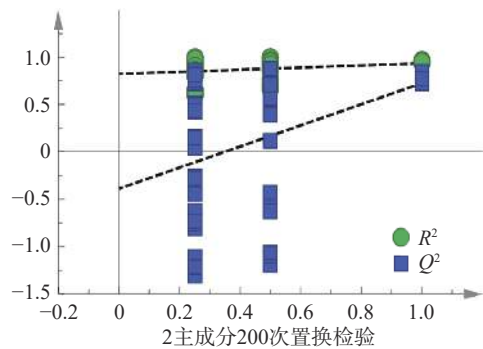


图 5 模型验证结果

Fig.5 Model verification results

(表 3)。进一步利用显著性差异 $P<0.05$ 筛选出 57 种差异香气成分,涵盖了酮类、醛类、醇类、烯类、酚类、酸类、酯类、杂环类等,包括 1-辛烯-3-醇、

苯甲醇、庚酸、罗汉柏烯、花侧柏烯、甲基环戊烯醇酮、1,2-二甲氧基苯、4'-甲基苯乙酮、苯乙醛、N-乙基琥珀酰亚胺等,上述香气成分可作为区别不同大树茶茶样的差异香气成分。

2.2.4 南川大树茶毛茶及其沱茶香气成分的 OAV 分析 OAV 表示香气质量浓度与其相应阈值的比值,常用于评价某香气成分对于茶样整体香气的贡献^[44]。OAV>1 的香气成分对于茶样的整体香气具有一定影响,而 OAV>10 的香气成分为重要香气成分,对于茶样整体香气的贡献较大^[45]。

对 6 个大树茶样品的 OAV 进行计算,共筛选出 45 种 OAV>1 的香气成分(表 4)。其中,SJ1、SJ2、CK1、CK2、TC1、TC2 分别筛选出 32、35、32、37、31、30 种香气成分。进一步筛选 OAV>10 的香气成

表 4 茶样 OAV>1 的香气成分

Table 4 Aroma compounds with OAV value>1 in tea samples

序号	香气成分	阈值 (mg/kg)	SJ1	SJ2	CK1	CK2	TC1	TC2
1	1-辛烯-3-酮	0.00004	—	—	500.00	1500.00	250.00	250.00
2	己酸	0.0048	—	—	—	62.50	—	—
3	(E)-2-庚烯醛	0.013	3.08	3.85	1.54	2.31	<1	<1
4	苯甲醛	0.32	<1	1.25	<1	2.22	<1	1.50
5	1-辛烯-3-醇	0.0015	926.67	780.00	113.33	133.33	33.33	40.00
6	甲基庚烯酮	0.068	—	—	1.47	—	<1	<1
7	正辛醛	0.00187	42.78	74.87	32.09	74.87	—	—
8	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.0154	4.55	9.74	20.78	44.81	22.72	45.46
9	2-乙基己醇	0.80	<1	1.16	<1	<1	<1	<1
10	(-)-柠檬烯	0.034	1.47	2.94	1.76	2.65	1.76	2.35
11	反-2-辛烯醛	0.003	—	—	20.00	60.00	20.00	33.33
12	3-辛烯-2-酮	0.0067	—	—	—	7.46	1.49	1.49
13	苯乙醛	0.004	—	—	7.50	22.50	7.50	20.00
14	乙基吡咯2-甲醛	0.037	1.89	2.97	3.51	2.97	4.59	1.62
15	邻甲酚	0.0012	8.33	16.67	—	—	—	—
16	正辛醇	0.027	17.41	27.78	4.07	6.67	1.11	1.85
17	反式芳樟醇氧化物(呋喃型)	0.006	106.67	208.33	56.67	93.33	38.33	38.33
18	反,反-3,5-辛二烯-2-酮	0.0015	—	—	20.00	73.33	46.67	100.00
19	3,5-辛二烯-2-酮	0.10	—	—	—	9.40	—	5.70
20	壬醛	0.0011	381.82	672.73	272.73	600.00	127.27	172.73
21	二氢芳樟醇	0.11	2.46	3.18	1.55	9.91	5.00	8.00
22	芳樟醇	0.0024	200.00	337.50	508.33	208.33	416.67	75.00
23	苯乙醇	0.009	40.00	60.00	4.44	25.56	—	—
24	异佛尔酮	0.0017	17.65	17.65	35.29	47.06	11.76	11.76
25	反式-2-壬醛	0.00019	105.26	105.26	52.63	157.89	105.26	157.89
26	(E)-芳樟醇氧化物(吡喃类)	0.25	<1	1.64	<1	<1	<1	<1
27	(Z)-芳樟醇氧化物(吡喃类)	0.25	3.52	4.68	<1	1.64	<1	<1
28	4'-甲基苯乙酮	0.011	1.82	3.64	—	—	<1	<1
29	水杨酸甲酯	0.04	3.50	4.25	3.25	1.75	1.25	<1
30	α -松油醇	0.314	3.09	4.17	1.40	1.18	3.66	<1
31	癸醛	0.0026	50.00	96.15	53.85	134.62	34.62	34.62
32	β -环柠檬醛	0.003	96.67	196.67	60.00	110.00	53.33	36.67
33	柠檬醛	0.50	100.00	160.00	60.00	100.00	40.00	40.00
34	香叶醇	0.60	1.03	1.55	<1	<1	<1	<1
35	反式-2,4-癸二烯醛	0.000027	—	—	—	—	370.37	370.37

续表 4

序号	香气成分	阈值 (mg/kg)	SJ1	SJ2	CK1	CK2	TC1	TC2
36	丙位壬内酯	0.0097	3.09	3.09	0.00	2.06	1.03	1.03
37	β -大马烯酮	0.000125	240.00	320.00	240.00	1360.00	400.00	560.00
38	十二醛	153.85	384.61	—	76.92	307.69	—	—
39	α -紫罗酮	0.00378	39.68	50.26	31.75	37.04	44.97	21.16
40	β -紫罗酮	0.012	35.83	72.50	22.50	66.67	29.17	29.17
41	2,4-二叔丁基苯酚	0.00512	214.84	427.73	144.53	255.86	76.17	70.31
42	雪松醇	0.005	876.00	1390.00	6.00	20.00	4.00	6.00
43	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.0005	240.00	800.00	160.00	480.00	80.00	120.00
44	藏红花醛	0.0007	257.14	457.14	142.86	271.43	200.00	185.74
45	α -蒎烯	0.006	—	10.00	—	—	—	—

注: “—”表示样品中未检出。

分, 1-辛烯-3-醇、反式芳樟醇氧化物(呋喃型)、壬醛、芳樟醇、异佛尔酮、反式-2-壬醛、癸醛、 β -环柠檬醛、柠檬醛、 α -紫罗酮、 β -紫罗酮、2,4-二叔丁基苯酚、 β -大马烯酮、2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯和藏红花醛在 6 个大树茶样品中 OAV 均大于 10。1-辛烯-3-酮、反-2-辛烯醛、反,反-3,5-辛二烯-2-酮仅在 4 个沱茶样品 OAV>10, 在毛茶样品中未检出, 这三种成分对于区分压制前后的大树茶样品可能有着积极作用。正辛醛、十二醛在 SJ 样品以及 CK 样品中 OAV>10。正辛醇、 α -蒎烯仅在 SJ 样品中 OAV>10。

陈化的 TC 样品和未经陈化的 CK 样品在 1-辛烯-3-酮、1-辛烯-3-醇、壬醛、2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯、2,4-二叔丁基苯酚等化合物中 OAV 差异明显, 推测以上化合物可能是区分沱茶是否陈化的重要香气成分。

石碧滢等^[46]利用 VIP 值>1 且 OAV>1 的关键

香气成分探究不同白牡丹茶香型的差异性; 邵淑贤等^[47]也认为 VIP 值>1 且 OAV>1 的差异香气成分对判别不同产地黄观音乌龙茶的香气特征具有重要作用。因而进一步筛选 VIP 值>1 且 OAV>1 的香气成分进行分析, 基于热图可视化层次聚类分析 23 种特征香气成分(图 6), 主要可以分为两大类, 一类是大树茶毛茶样品, 另外一类是大树茶沱茶样品, 大树茶毛茶样品的苯乙醇、(E)-2-庚烯醛、丙位壬内酯、水杨酸甲酯等香气含量均高于大树茶沱茶样品; 大树茶沱茶样品的反式-2-壬醛、反-2-辛烯醛、反,反-3,5-辛二烯-2-酮、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛香气含量较高。总体而言, 压制前后大树茶样品的香气成分存在显著差异, 芳樟醇(花果香、甜香)被认为是 CK1 中的特征香气成分; (E,E)-2,4-庚二烯醛(坚果味)、反-2-辛烯醛(谷物味)被确定为 CK2 中的关键香气成分, 以上结果与感官审评相一致。

3 结论

沱茶是我国独有的紧压茶, 而沱茶因其原料和地域的差异会展现出不同的风味特征。本实验以不同月份的南川大树茶晒青毛茶为原材料制得沱茶, 并将沱茶进行常温陈化处理, 以在冷藏条件下存放的干燥沱茶为对照, 探究压制及陈化处理对于沱茶风味的影响。从感官结果来看, 压制后各沱茶的香气呈现出不同程度的变化。其中, 常温陈化下的沱茶香气呈现陈香味, 而未经陈化的对照样分别呈现出甜香、谷物香。采用 GC-MS 结合 OPLS-DA、OAV 法分析 6 个大树茶样品的香气成分, 共检测出 114 种香气成分。基于 OPLS-DA 可实现对于不同茶样的有效区别, 并筛选出 58 种 VIP 值>1 的香气成分, 结合 OAV>1 的条件进一步筛选出 23 种特征香气成分。整体而言, 与毛茶相比, 压制后的大树茶香气成分具有较大差异, 其香气种类增加而香气总量减少; 而陈化处理能够使得香气转变为陈香。本研究为大树茶沱茶生产贮藏提供了一定理论和实践指导意义, 但仍需进一步解析压制和陈化条件下大树茶沱茶香气成分间的相互作用。

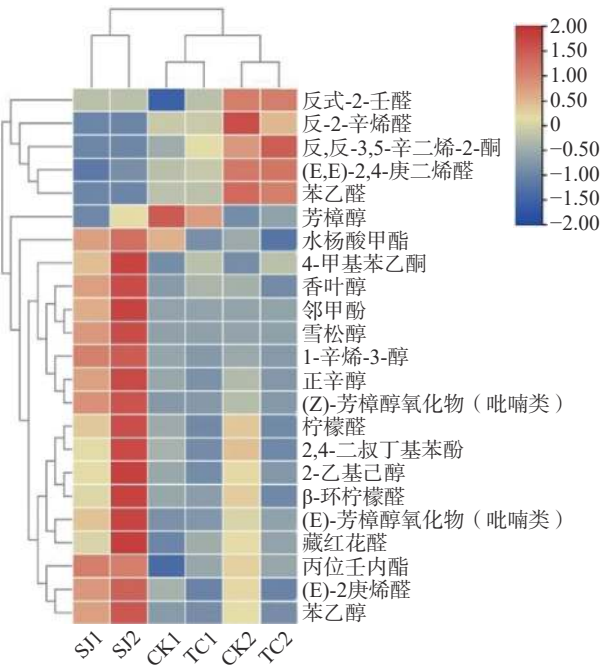


图 6 茶样特征香气成分热图

Fig.6 Tea characteristics aroma components heat map

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] WEI Fang, LUO Liyong, ZENG Liang. Characterization of key sweet taste compounds in *Camellia nanchuanica* black tea[J]. LWT, 2023, 182(3): 114858.
- [2] 李小恋, 李伟, 李久炎, 等. 南川大树茶红茶初制过程中品质特征分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(12): 15–23.
- [3] LI Xiaolian, LI Wei, LI Jiuyan, et al. Analysis of quality characteristics of *Camellia nanchuanica* during primary processing of Black Tea[J]. Journal Press of Southwest University, 2019, 41(12): 15–23.
- [4] 王蝶. 南川野生大茶树特征成分分析研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [5] WANG Die. Analysis of the characteristics of components of Wild tea camellia in Nanchuan[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [6] 张博闻. 南川大树茶红茶香气特征评价及其对应挥发性物质分析[D]. 重庆: 西南大学, 2023.
- [7] ZHANG Bowen. Evaluation of aroma characteristics and analysis of volatile compounds in Nanchuan black tea[D]. Chongqing: Southwest University, 2023.
- [8] 曾建明. 南川野生茶树[J]. 中国茶叶, 1999(1): 37.
- [9] ZENG Jianming. Nanchuan wild tea tree[J]. China Tea, 1999(1): 37.
- [10] 王睿, 赵欣. 下关生沱茶和熟沱茶成分分析和体外功能性效果比较研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(6): 150–154.
- [11] WANG Rui, ZHAO Xin. Comparative study on component analysis and *in vitro* functional effects of Xiaguan raw and ripe bowl tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(6): 150–154.
- [12] 杨雄, 汪迎, 李辉, 等. 广西六堡茶和重庆沱茶的微生物多样性分析[J]. 茶叶学报, 2019, 60(3): 93–98.
- [13] YANG Yazhuo, WANG Ying, LI Hui, et al. Microbial diversity of Guangxi Liubao and Chongqing bowl teas[J]. Acta Tea Sinica, 2019, 60(3): 93–98.
- [14] LIU Bihui, ZHANG Jing, SUN Peng, et al. Raw Bowl Tea (Tuocha) polyphenol prevention of nonalcoholic fatty liver disease by regulating intestinal function in mice[J]. Biomolecules, 2019, 9(9): 435.
- [15] 罗红玉, 王奕, 钟应富, 等. 干燥工艺对重庆沱茶原料茶贮藏品质的影响[J]. 南方农业, 2018, 12(34): 45–50.
- [16] LUO Hongyu, WANG Yi, ZHONG Yingfu, et al. Influence of drying process on storage quality of raw bowl tea in Chongqing[J]. South China Agriculture, 2018, 12(34): 45–50.
- [17] 罗红玉, 王奕, 谷雨, 等. 干燥工艺对重庆沱茶及其毛茶风味品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(22): 259–266.
- [18] LUO Hongyu, WANG Yi, GU Yu, et al. Effect of drying process on the flavor quality of Chongqing Tuo Tea and crude tea for making it[J]. Food Science, 2022, 43(22): 259–266.
- [19] 周才琼, 阳长敏. 沱茶加工工艺技术的研究[J]. 中国茶叶加工, 1994(3): 19–22.
- [20] ZHOU Caiqiong, YANG Changmin. Study on the processing technology of Tuo tea[J]. China Tea Processing, 1994(3): 19–22.
- [21] 常睿, 陈善敏, 罗红玉, 等. 不同类型沱茶品质与特征性成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3867–3874.
- [22] CHANG Rui, CHEN Shanmin, LUO Hongyu, et al. Quality and characteristic components of different types of Tuo tea[J]. Journal of Food Safety Quality, 2022, 13(12): 3867–3874.
- [23] 徐仲溪, 刘德华, 高代珍, 等. 压制工艺技术及原料成分对沱茶成型的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004(4): 332–335.
- [24] XU Zhongxi, LIU Dehua, GAO Daizhen, et al. Effect of compacting technology and raw material components on tuocha shaping[J]. Journal of Hunan Agricultural, 2004(4): 332–335.
- [25] 周才琼. 沱茶贮藏中品质变化分析[J]. 茶叶通讯, 1993(4): 9–11.
- [26] ZHOU Caiqiong. Analysis of quality change of Tuo tea in storage[J]. Journal of Tea Communication, 1993(4): 9–11.
- [27] 熊伟, 张晓娟, 杨飞, 等. 沱茶总黄酮的提取及含量测定[J]. 平顶山学院学报, 2015, 30(2): 69–72.
- [28] XIONG Wei, ZHANG Xiaojuan, YANG Fei, et al. Extraction and determination of total flavone in Tuo Tea[J]. Editorial Department of Journal of Pingdingshan University, 2015, 30(2): 69–72.
- [29] 赵振军, 刘勤晋. 下关小沱茶功能成分及其降血脂作用[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(6): 1334–1337.
- [30] ZHAO Zhenjun, LIU Qinjin. The functional constituents of xiaguan xiaotuocha and its hypolipidemic effect[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(6): 1334–1337.
- [31] 全国茶叶标准化技术委员会(SAC/TC 339). 茶叶感官审评方法: GB/T 23776-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [32] National Tea Standardization Technical Committee (SAC/TC 339). Method for sensory evaluation of tea: GB/T 23776-2018[S]. Beijing: China-Standards Publishing House, 2018.
- [33] 颜廷宇, 林洁鑫, 朱建新, 等. 电子鼻和 GC-MS 结合化学计量学应用于高香红茶与传统工夫红茶香气特征的研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 252–261.
- [34] YAN Yanyu, LIN Jiexin, ZHU Jianxin, et al. Analysis of E-nose and GC-MS combined with chemometrics applied to the aroma characteristics of high aroma black tea and traditional congou black tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 252–261.
- [35] LIU Nanfang, SHEN Shanshan, HUANG Lunfang, et al. Revelation of volatile contributions in green teas with different aroma types by GC-MS and GC-IMS[J]. Food Research International, 2023, 169: 112845.
- [36] ZHU Jiancai, NIU Yuwei, XIAO Zuobing. 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.
- [37] 刘奇, 欧阳建, 刘昌伟, 等. 茶叶品质评价技术研究进展[J]. 茶叶科学, 2022, 42(3): 316–330.
- [38] LIU Qi, OU Yangjian, LIU Changwei, et al. Research progress of tea quality evaluation technology[J]. Journal of Tea Science, 2022, 42(3): 316–330.
- [39] 朱艳, 胡腾飞, 黄甜, 等. 茯砖茶感官特征定量描述与风味轮构建[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(9): 1–9.
- [40] ZHU Yan, HU Tengfei, HUANG Tian, et al. Sensory characteristics of Fu brick tea by quantitative descriptive analysis and construction of flavor wheel[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(9): 1–9.
- [41] 王荣华. 春茶上市仔细挑[J]. 保健医苑, 2019(5): 53.
- [42] WANG Ronghua. Spring tea listed carefully selected[J]. Health Care, 2019(5): 53.
- [43] 沈培和. 茶叶日晒味的由来[J]. 茶叶, 1979(4): 40–41.
- [44] SHEN Peihe. The origin of the sun smell of tea[J]. Journal of Tea, 1979(4): 40–41.
- [45] SHE Xinsong, GAN Zhuoting, LI Kun, et al. Determination and difference analysis of aroma compounds in An-Tea with different aging time[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 358: 022065.

- [26] WANG Zhihui, LIANG Yilin, GAO Chenxi, et al. The flavor characteristics and antioxidant capability of aged Jinhua white tea and the mechanisms of its dynamic evolution during long-term aging[J]. *Food Chemistry*, 2024, 436: 137705–137705.
- [27] 蒋容港, 黄燕, 金友兰, 等. 不同原料等级黄茶特征香气成分分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 89–98. [JIANG Ronggang, HUANG Yan, JIN Youlan, et al. Analysis of characteristic aroma components of different grades of yellow tea[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 89–98.]
- [28] 徐仲溪, 王坤波, 高代珍, 等. 原料差异对沱茶品质形成的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2005(2): 180–182. [XU Zhongxi, WANG Kunbo, GAO Daizhen, et al. Effects of different raw material on Tuocha quality[J]. *Journal of Hunan Agricultural*, 2005(2): 180–182.]
- [29] 吕海鹏, 钟秋生, 王力, 等. 普洱茶加工过程中香气成分的变化规律研究[J]. *茶叶科学*, 2009, 29(2): 95–101. [LV Haipeng, ZHONG Qiusheng, WANG Li, et al. Study on the change of aroma constituents during Pu-erh Tea process[J]. *Journal of Tea Science*, 2009, 29(2): 95–101.]
- [30] 赵阳, 龚加顺, 王秋萍. 古树普洱茶生茶贮藏过程中香气成分的变化[J]. *食品科学*, 2022, 43(4): 241–248. [ZHAO Yang, GONG Jiashun, WANG Qiuping. Change in aroma components of raw Pu-erh Tea from ancient tea trees during storage[J]. *Food Science*, 2022, 43(4): 241–248.]
- [31] 郭伊娜, 韦藤幼, 韦世元, 等. 迷迭香叶油与花油成分的分析与比较[J]. *生物质化学工程*, 2007(3): 34–36. [GUO Yina, WEI Tengyou, WEI Shiyuan, et al. Analysis and comparison on composition of essential oils from rosemary leaf and flower[J]. *Biomass Chemical Engineering*, 2007(3): 34–36.]
- [32] WANG Zhihui, WANG Zhihua, DAI Haomin, et al. Identification of characteristic aroma and bacteria related to aroma evolution during long-term storage of compressed white tea[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 1092048.
- [33] 殷朝敏, 范秀芝, 史德芳, 等. HS-SPME-GC-MS 结合 HPLC 分析 5 种食用菌鲜品中的风味成分[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(3): 254–260. [YIN Chaomin, FAN Xiuzhi, SHI Defang, et al. Flavor compounds analysis of 5 fresh mushrooms using HS-SPME-GC-MS and HPLC[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(3): 254–260.]
- [34] 杨丽玲, 陈金华, 陈慧, 等. 湖南紧压型黑茶与原料茶香气差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(14): 305–312. [YANG Liling, CHEN Jinhua, CHEN Hui, et al. Analysis of aroma differences between Hunan compressed dark tea and raw dark tea[J]. *Food Science*, 2023, 44(14): 305–312.]
- [35] 陈文品, 许玫. 普洱茶“陈化生香”及其科学原理[J]. *广东茶业*, 2014(5): 6–9. [CHEN Wenpin, XU Mei. Pu-erh tea “aging and fragrance” and its scientific principle[J]. *Guangdong Tea Industry*, 2014(5): 6–9.]
- [36] 川上美智子, 小林彰夫, 山西贞. 堆积茶, 中国产砖茶の黑茶の香气特性[J]. *日本农芸化学会志*, 1987, 61(4): 457–465. [KAWAKAMI M, KOBAYASHI A, SHAN X. Stacked tea, Chinese brick tea black tea aroma characteristics[J]. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Chemistry*, 1987, 61(4): 457–465.]
- [37] 张纪伟, 沈雪梅, 张钊, 等. 不同产地和贮存年份普洱生茶香气和呈味物质变化的比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(9): 11–18. [ZHANG Jiwei, SHEN Xuemei, ZHANG qian, et al. Comparative study on changes of aroma and flavor components of raw Pu-erh Tea produced in different producing areas and storage years[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(9): 11–18.]
- [38] ZHU Jiayi, CHEN Le, CHEN Yue, et al. Effect of geographical origins and pile-fermentation on the multi-element profiles of ripen Pu-erh tea revealed by comprehensive elemental fingerprinting[J]. *Food Control*, 2023, 154: 109978.
- [39] KANG Chaodi, ZHANG Yingying, ZHANG Mingyue, et al. Screening of specific quantitative peptides of beef by LC-MS/MS coupled with OPLS-DA[J]. *Food Chemistry*, 2022, 387: 132932.
- [40] GAO Chenxi, HUANG Yan, LI Jing, et al. Relationship between the Grade and the Characteristic Flavor of PCT (Panyong Congou Black Tea)[J]. *Foods*, 2022, 11(18): 2815.
- [41] 王静, 朱广飞, 梁思予, 等. 干鱼腥草药材及饮片的指纹图谱建立、化学计量学分析及含量测定[J]. *中国药房*, 2022, 33(8): 923–929. [WANG Jing, ZHU Guangfei, LIANG Siyu, et al. Study on the fingerprint establishment, chemometrics analysis and content determination of dried Houttuynia cordata and its decoction pieces[J]. *China Pharmacy*, 2022, 33(8): 923–929.]
- [42] LIU Yijun, QIAN Yangyang, SHU Bing, et al. Effects of four drying methods on Ganoderma lucidum volatile organic compounds analyzed via headspace solid-phase microextraction and comprehensive two-dimensional chromatography-time-of-flight mass spectrometry[J]. *Microchemical Journal*, 2021, 166(2019): 106258.
- [43] HUANG Xiangwu, ZHAO Lihong, PANG Sheng, et al. Effects of varieties, cultivation methods, and origins of citrus sinensis 'Hongjiang' on volatile organic compounds; HS-SPME-GC/MS analysis coupled with OPLS-DA[J]. *Agriculture-Basel*, 2022, 12(10): 1725.
- [44] 陈倩莲, 刘仕章, 占仕权, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 和 OAV 鉴定 4 种武夷岩茶关键呈香物质[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(14): 296–303. [CHEN Qianlian, LIU Shizhang, ZHAN Shiquan, et al. Identification of four kind key aroma components of Wuyi rock tea based on HS-SPME-GC-MS and OAV[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(14): 296–303.]
- [45] GUO Xiangyang, WILFRIED S, TANG Hochi, et al. Characterization of the aroma profiles of oolong tea made from three tea cultivars by both GC-MS and GC-IMS[J]. *Food Chemistry*, 2022, 376: 131933.
- [46] 石碧滢, 周承哲, 田采云, 等. 不同贮藏时间白牡丹茶风味品质差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(14): 313–325. [SHI Biying, ZHOU Chengzhe, TIAN Caiyun, et al. Differences in flavor quality between white peony tea with different storage times[J]. *Food Science*, 2023, 44(14): 313–325.]
- [47] 邵淑贤, 徐梦婷, 林燕萍, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. *食品科学*, 2023, 44(4): 232–239. [SHAO Shuxian, XU Mengting, LIN Yanping, et al. Differential analysis of aroma components of Huangguanyin Oolong tea from different geographical origins using electronic nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2023, 44(4): 232–239.]