

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80463

藤茶制备关键工艺优化及成品风味特征研究

邓建 唐政 万睿智 姚茂君 余佶

(吉首大学化学化工学院, 湖南 吉首 416000)

摘要: [目的] 优化藤茶制备关键工艺条件, 并确认其成品的风味特征。[方法] 以藤茶样品黄酮含量与感官评分为评价指标, 通过单因素试验与响应面试验分析藤茶杀青时间、杀青功率、发酵时间与发酵温度对藤茶品质的影响, 采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)法对优化工艺样品中的挥发性香气成分进行检测。[结果] 微波杀青最佳工艺条件为杀青时间 16 min、功率 490 W、发酵时间 7.8 h、温度 40 °C。从藤茶成品中共鉴定出 53 种挥发性成分, 包括 19 种烷类、13 种烯类、3 种醇类、6 种醛类、1 种酮类、5 种酯类、1 种酚类和 5 种环状化合物(萘、呋喃、苯), 其中烷烃类(33.40%)、烯烃类(30.27%)、醛类(11.24%)和酯类(10.57%)物质相对含量较高。[结论] 优化后的工艺条件可以在降低黄酮分解的同时保证藤茶的品质。

关键词: 藤茶; 微波; 杀青; HS-SPME-GC-MS; 黄酮

Key process optimization of vine tea and flavor characteristics of finished products

DENG Jian TANG Zheng WAN Ruizhi YAO Maojun YU Ji

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

Abstract: [Objective] To optimize the key process conditions for vine tea and confirm the flavor characteristics of its finished products. [Methods] The effect of de-enzyming time and power, as well as fermentation time and temperature on the quality of vine tea is analyzed through single-factor experiments and response surface experiments, with the flavonoid content and sensory score as evaluation indicators. The volatile aroma components in samples prepared by the optimized process are detected by the headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). [Results] The optimal process conditions for microwave de-enzyming are a de-enzyming time of 16 minutes, a power of 490 W, a fermentation time of 7.8 hours, and a temperature of 40 °C. In the finished products, 53 volatile components are identified, including 19 alkanes, 13 alkenes, 3 alcohols, 6 aldehydes, 1 ketone, 5 esters, 1 phenol, and 5 ring compounds (naphthalene, furan, and benzene). Among them, alkanes (33.40%), alkenes (30.27%), aldehydes (11.24%), and esters (10.57%) are relatively high in content. [Conclusion] With the optimized process conditions, the flavonoid decomposition can be reduced in the vine tea, while the quality can be ensured.

Keywords: vine tea; microwave; de-enzyming; HS-SPME-GC-MS; flavonoid

藤茶, 又名莓茶、雪茶、白茶等, 其表面布满白霜, 入口微苦、回甘明显, 以葡萄科蛇葡萄属显齿蛇葡萄 (*Ampelopsis grossedentata*) 的幼嫩叶加工而成。2013 年 12 月显齿蛇葡萄叶被列入新型食品材料名单^[1]。研究表

明, 藤茶富含黄酮类^[2]、酚类^[3]及萜烯类^[4]等多种成分, 其功效成分中黄酮类化合物占比约 45%, 具有抗氧化^[5]、抑菌消炎^[6]等作用, 对预防及治疗癌症^[7]、心脑血管疾^[8]、降血糖血脂^[9]有良好功效。

基金项目: 湖南省重点研发计划项目(编号: 2022NK2036); 吉首大学校企合作项目(编号: 2023431415000404); 洞庭实验室专项经费项目(编号: 2024-DTKF-008)

通信作者: 余佶(1980—), 男, 吉首大学讲师。E-mail: 76418505@qq.com

收稿日期: 2025-05-20 **改回日期:** 2025-07-27

引用格式: 邓建, 唐政, 万睿智, 等. 藤茶制备关键工艺优化及成品风味特征研究[J]. 食品与机械, 2025, 41(8): 155-163.

Citation: DENG Jian, TANG Zheng, WAN Ruizhi, et al. Key process optimization of vine tea and flavor characteristics of finished products [J]. Food & Machinery, 2025, 41(8): 155-163.

藤茶加工工序包括杀青、揉捻、发酵和避光干燥等主要加工流程,其中杀青和发酵为影响藤茶风味品质的重要工序^[10]。目前杀青方式主要有微波杀青、炒青、蒸青 3 种,其中微波杀青由于其加热均匀且对藤蔓损伤较小,逐渐成为藤茶大规模加工采用的工艺,微波杀青工艺相较于传统炒青工艺在综合感官品质上更佳^[11]。刘梦圆等^[12]研究发现,微波杀青能够有效提高绿茶中水浸出物、氨基酸和茶多酚的含量,同时降低酯型儿茶素与总儿茶素的比值,显著改善茶汤的鲜醇度和回甘性。尤秋爽等^[13]采用搅拌棒吸附萃取结合气相色谱—嗅闻—质谱技术分析发现,不同杀青工艺中微波杀青方法能够促进 β -紫罗酮、茶、芳樟醇等绿茶关键香味的形成,这也是藤茶关键香味的主要来源。此外,发酵工艺对藤茶的品质也有显著影响。刘威等^[14]通过对比不同加工工艺对代用刺槐花的香气影响,发现发酵处理有利于 1-辛烯-3-醇等特有香气的形成。刘巧芳等^[15]研究发现,发酵有利于藤茶内含成分的转化,以及游离氨基酸的生成,对藤茶滋味品质的形成具有重要影响。张锦程等^[16]结合 ROAV 分析对比不同茶类加工工艺对藤茶香气的影 响,发现发酵工序有利于促进藤茶香气形成。

研究拟探讨微波杀青及发酵工艺对藤茶品质的影响,采用响应面法优化藤茶关键加工工艺参数,并通过顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术分析成品藤茶挥发性香气成分,旨在为藤茶工业化生产提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料与试剂

芦丁:分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;
 甲醇:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;
 氯化铝:分析纯,天津市科欧密化学试剂有限公司;
 藤茶:葡萄科蛇葡萄属显齿蛇葡萄幼嫩叶,湘西玉龙生态农业科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

紫外可见分光光度计: Carry 3500 UV-Vis 型,美国 Agilent 公司;
 萃取头: 65 μm CAR-PDMS 型,美国 Supelco 公司;
 固相微萃取装置: PC-420D 型,美国 Corning 公司;
 气质联用仪: Agilent 7890A-5975C 型,美国 Agilent 公司;
 云智烹微波炉: MW59025H-3 型,佛山市鸿瑾电子科技有限公司;
 生化培养箱: SPX-250B-Z 型,上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;
 反渗透超纯水机: CN-RO400 型,上海开能环保股份

有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

采摘藤茶→阴凉堆放→杀青→揉捻→发酵→避光干燥→精制→包装→成品^[17]

1.2.2 操作要点

(1) 采摘藤茶、阴凉堆放:人工采摘 5~10 cm 新鲜完整的藤茶芽尖,将采摘的藤茶芽尖平摊在竹箴上,放置在阴凉通风的地方风干表面的水分,使芽尖轻微萎凋。

(2) 杀青:杀青用具预热,将定量藤茶放入其中进行杀青,待藤茶青臭味减少香气增加,表面微黄且略带白霜即可。

(3) 揉捻:将藤茶进行适度揉捻,使其呈现条状,叶片表面出现雾白色浆液即可。

(4) 发酵、干燥:将藤茶放入发酵箱中进行发酵,发酵完成后于通风处风干除去多余水分即可,成品表面干燥且有明显的白霜,然后经精制和包装得到成品。

1.2.3 关键工艺优化单因素试验 以感官评分和黄酮含量为评价指标,以 500 g 藤茶样品为原料,固定基础制备关键加工工艺参数为:杀青时间 18 min、杀青功率 500 W、发酵时间 7 h、发酵温度 25 $^{\circ}\text{C}$ 。分别考察杀青时间(12, 14, 16, 18, 20, 22 min)、杀青功率(100, 300, 500, 800, 1 000 W)、发酵时间(6, 7, 8, 9, 10, 11 h)、发酵温度(20, 25, 30, 35, 40, 45 $^{\circ}\text{C}$)对藤茶样品的影响。

1.2.4 关键工艺优化响应面试验 在单因素试验基础上,采用 Box-Behnken 组合设计进行响应面试验,以杀青时间、杀青功率、发酵时间、发酵温度为自变量,以黄酮含量和感官评分为响应值,优化藤茶制备关键工艺条件。

1.2.5 样品黄酮含量测定 藤茶样品粉碎后采用四分法取样品(每份 1.0 g),置于索氏提取器中,加入 100 mL 体积分数 95% 的甲醇溶液,回流提取 1 h(从甲醇沸腾开始计算时间),得到甲醇提取液。将甲醇提取液移至 100 mL 容量瓶中,用体积分数 95% 的甲醇溶液定容,作为试样母液。吸取 2.0 mL 试样母液置于 50 mL 容量瓶中,用体积分数 95% 的甲醇溶液定容,得试样工作液。取 0.5 mL 试样工作液于 10 mL 容量瓶中,加入 3 mL 5 g/100 mL 的 AlCl_3 溶液后,用体积分数 95% 的甲醇溶液定容,摇匀,室温避光放置 40 min,用试剂空白液(3 mL 5 g/100 mL 的 AlCl_3 溶液+7 mL 体积分数 95% 的甲醇溶液)作参比,使用紫外可见分光光度计于 291 nm 处测定样品吸光度^[18]。

以芦丁作为标准品,以芦丁质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线(见图 1),得到线性回归方程: $y=1.855\ 29x+0.002\ 36$, $R^2=0.999\ 3$ 。通过线性回归方程计算求得样品稀释液中黄酮质量浓度,再按式(1)计算样品黄酮含量。

$$A = x \times 5\ 000, \quad (1)$$

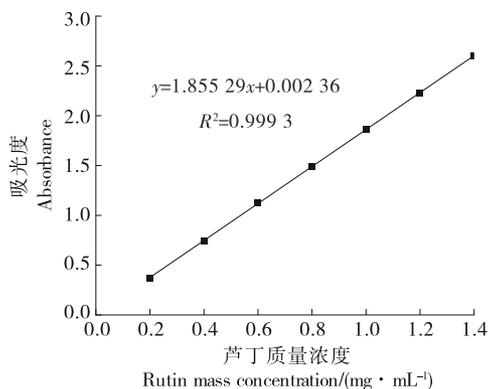


图1 芦丁质量浓度与吸光度标准曲线

Figure 1 Standard curve of rutin mass concentration and absorbance

式中:

x ——芦丁质量浓度, mg/mL;

A ——黄酮含量, mg/g。

1.2.6 样品挥发性香气成分测定 采用HS-SPME-GC-MS法^[19]。

(1) 样品处理: 预热固相微萃取仪器 45 min, 分别取 3 g 藤茶样品于研钵中碾碎后移入 15 mL 顶空瓶中, 放置于固相微萃取装置上, 选择萃取温度 60 °C, 平衡 10 min; 之后将手动 SPME 装置插入顶空瓶中, 推出萃取头(经老化处理), 吸附 65 min 后收回萃取头, 然后将手动 SPME

装置插入进样口, 于 230 °C 解吸附 8 min 进行 GC-MS 分析。

(2) 色谱条件: 色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 进样方式为手动进样; 升温程序: 初始温度 40 °C, 保持 2 min, 以 5 °C/min 升至 85 °C 保持 2 min, 以 2 °C/min 升至 110 °C 保持 2 min, 以 7 °C/min 升至 160 °C 保持 10 min, 以 7 °C/min 升至 220 °C 保持 8 min; 总运行时间为 51.21 min; 高纯氦气, 纯度 ≥99.999%; 进样口模式设置不分流; 柱温 40 °C; 进样口温度 230 °C; 色谱柱流量 1 mL/min; 溶剂延迟时间 3.0 min。

(3) 质谱条件: 离子源为 EI 源, 电子能量 70 eV; 接口温度 230 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 扫描方式为全扫描; 质量扫描范围 50~550 aum。

(4) 定性方法: 藤茶香气成分各色谱峰所对应质谱图, 通过与 NIST11.L 谱库进行比对来初步鉴定、定性。选择匹配度大于 80% 的物质。

(5) 定量方法: 香气成分相对含量以各成分峰面积与色谱图总有效峰面积比值表示, 运用峰面积归一法进行相对定量分析。

1.2.7 感官评定 选取经过相关感官培训的合格评价员 6 名组成评茶小组。按照 GB/T 23776—2018《茶叶感官评审方法》制定藤茶感官评价标准(见表 1), 感官评价指标及评分权重为外形(30%)、汤色(10%)、香气(25%)、滋味(25%)和叶底(10%)。

表 1 感官评分标准细则

Table 1 Detailed sensory scoring standards

指标	评分细则			
	优	良	中	差
外形(30%)	显白霜(覆盖面积 90%~100%), 条索卷曲紧致, 细腻均匀, 紧实光滑, 具有光泽感(30~22分)	多白霜(覆盖面积约 80%~90%), 条索卷曲较为细腻, 均匀紧实, 表面光泽感明显(21~15分)	有白霜(覆盖范围约 60%~80%), 条状物有缺陷, 较为紧凑完整(14~7分)	白霜较少(覆盖范围 0~60%), 松散零散, 叶片老化, 呈棕褐色(6~0分)
汤色(10%)	茶汤光亮且反射出良好光泽, 呈现鲜艳的黄色, 具有胶质感(10~7分)	茶汤比较明亮, 呈金黄色, 带有胶质感(6~5分)	茶汤相对较暗, 呈杏黄色, 且较为浑浊(4~2分)	茶汤较为黯淡, 呈暗黄色, 浑浊, 并含有不明杂质(1~0分)
香气(25%)	香气纯净, 持久的果香和花香(型)或木香及槟榔香(成叶型)显著, 无杂味(25~18分)	香气相对浓郁且持久, 果香和花香(型)或木香与槟榔香(成叶型)较为明显, 无杂味(17~12分)	香气浓郁, 有果香及花香(型)或木香及槟榔香(成叶型), 无杂味(11~6分)	无香味, 或存在明显的异味(5~0分)
滋味(25%)	滋味柔和, 苦涩均衡, 回甘甜润且持续性强, 生津作用明显, 入口顺滑, 无刺喉现象(25~18分)	品质纯正, 苦涩度适中, 回甘效果显著且持久, 生津作用明显, 口感顺滑, 无明显刺激性(17~12分)	滋味纯正度尚可, 苦涩感较为显著, 伴有轻微的粗糙与钝涩感, 回甘时间较长, 生津作用较为明显(11~6分)	苦涩味浓重, 口感粗糙且钝涩, 回甘时间短暂, 缺乏生津效果, 且伴有明显的刺喉感(5~0分)
叶底(10%)	藤条色泽鲜亮, 形态新鲜, 质地细嫩且匀净, 舒展柔韧, 无杂质混入(10~7分)	藤条色泽明亮, 质地较为细嫩且匀净, 柔软且舒展, 未见杂质(6~5分)	藤条色泽偏暗沉, 质地柔软且舒展, 但存在轻微杂质(4~2分)	藤条色泽暗沉, 柔软性不足, 杂质较为明显(1~0分)

1.2.8 数据处理 试验设计 3 个平行,结果以其平均值表示,采用 SPSS 24.0 软件进行统计和方差分析;采用 Origin 2021 进行绘图;采用 Design-Expert 13.0 进行响应面分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 杀青时间对藤茶品质的影响 由图 2 可见,随着藤茶微波杀青时间的增加,藤茶样品的黄酮含量逐渐升高,在 18 min 后逐渐下降,感官评分也出现先升高后降低的情况,当微波杀青时间为 18 min 时,藤茶样品黄酮含量和感官评分结果均相对较高。适当延长微波杀青时间有利于降低黄酮的损耗,提高藤茶样品感官评分,但微波杀青时间过长,藤茶样品黄酮含量降低,感官评分也急剧降低。因此,综合考虑选择微波杀青时间 16, 18, 20 min 作为后续响应面分析考察水平。

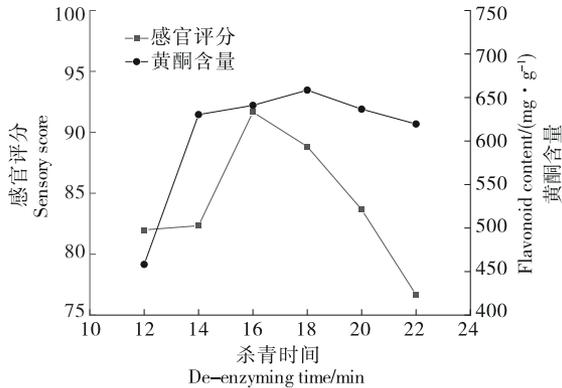


图 2 杀青时间对藤茶品质的影响

Figure 2 Effect of the de-enzyming time on the quality of vine tea

2.1.2 杀青功率对藤茶品质的影响 由图 3 可见,随着藤茶微波杀青功率的增加,藤茶样品黄酮含量和感官评分均出现先增加后减小的趋势,当微波杀青功率为 500 W 时,藤茶样品黄酮含量和感官评分相对较高。适当增加微波杀青功率有利于降低黄酮的损耗,提高藤茶样品感官评分,但微波杀青功率过大,藤茶样品黄酮含量降低、感官评分降低。因此,综合考虑选择微波杀青功率 300, 500, 800 W 作为后续响应面分析考察水平。

2.1.3 发酵时间对藤茶品质的影响 由图 4 可见,随着藤茶发酵时间的增加,藤茶样品黄酮含量和感官评分均出现先增加后减小的趋势,当发酵时间为 7 h 时,样品黄酮含量和感官评分相对较高。适当延长发酵时间有利于降低黄酮的损耗,提高藤茶样品感官评分,但发酵时间过长,藤茶样品黄酮含量降低、感官评分降低。因此,综合考虑选择发酵时间 6, 7, 8 h 作为后续响应面分析考察水平。

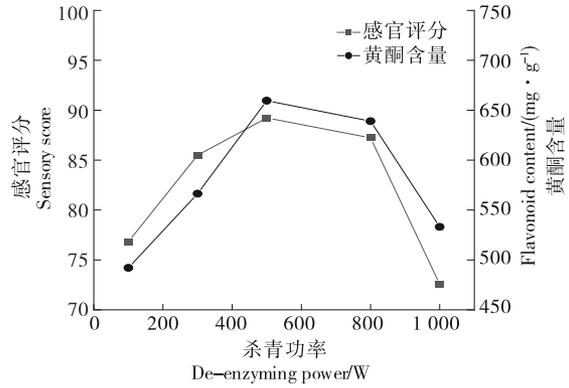


图 3 杀青功率对藤茶品质的影响

Figure 3 Effect of de-enzyming power on the quality of vine tea

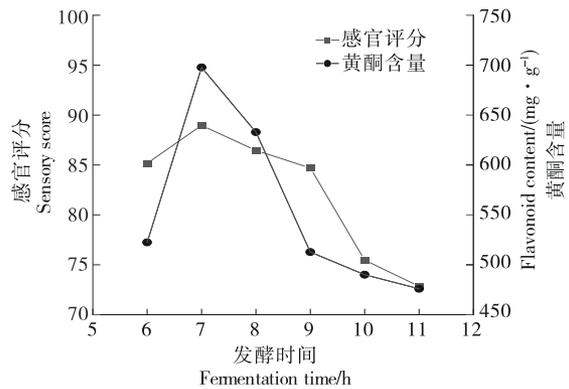


图 4 发酵时间对藤茶品质的影响

Figure 4 Effect of fermentation time on the quality of vine tea

2.1.4 发酵温度对藤茶品质的影响 由图 5 可见,随着藤茶发酵温度的增加,藤茶样品黄酮含量和感官评分均出现先增加后减小的趋势,当发酵温度为 35 °C 时,藤茶样品黄酮含量和感官评分相对较高。适当升高发酵温度有利于降低黄酮的损耗,提高藤茶样品感官评分,但发酵温度

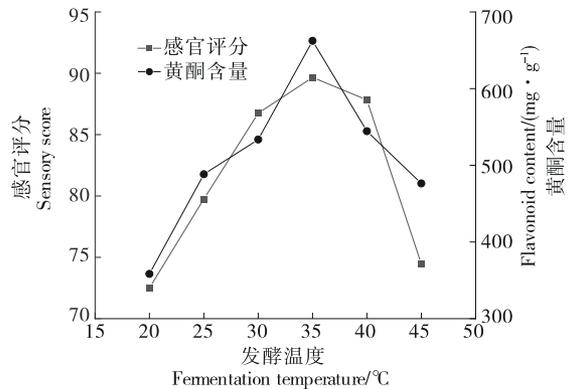


图 5 发酵温度对藤茶品质的影响

Figure 5 Effect of fermentation temperature on the quality of vine tea

过高,藤茶样品黄酮含量降低、感官评分降低。因此,综合考虑选择发酵温度 30,35,40 °C 作为后续响应面分析考察水平。

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面优化试验 在单因素试验的基础上,以杀青时间、杀青功率、发酵时间、发酵温度为自变量,以感官评分和黄酮含量为响应值设计响应面试验,各因素水平范围见表 2,试验结果见表 3。

表 2 关键工艺优化响应面试验的影响因素及水平编码

Table 2 Influencing factors and horizontal coding of response surface experiments for key process optimization

水平	A 杀青时间/min	B 杀青功率/W	C 发酵时间/h	D 发酵温度/°C
-1	16	300	6	30
0	18	500	7	35
1	20	800	8	40

2.2.2 响应面试验结果模型分析 经过 Design-Expert 13.0 软件拟合回归分析,方差分析结果见表 4、表 5。建立的感官评分和黄酮含量对杀青时间、杀青功率、发酵时间、发酵温度的四元二次方程:

$$E=664.87-88.81A-35.67B-54.77C-34.54D+133.12AB-155.64AC-82.64AD+79.87BC-120.69BD+123.41CD-111.02A^2-333.85B^2-99.90C^2-83.28D^2, \quad (2)$$

$$F=92.31-2.89A-1.33B-2.84C-1.78D+8.99AB-5.20AC-1.95AD+0.7679BC-5.28BD+2.33CD-3.64A^2-11.48B^2-2.53C^2-1.88D^2. \quad (3)$$

由表 4 可知,黄酮含量模型极显著 ($P<0.01$),失拟项不显著 ($P>0.05$),相关系数 $R^2=0.9418$,决定系数 $R^2_{Adj}=0.8936$,说明该模型可预测 89.37% 的响应值,模型拟合良好,具有统计学意义,能够有效反映因素对黄酮含量的影响,适用于该制备关键加工工艺的优化需求。一次项 A 和二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对黄酮含量影响为极显著 ($P<0.01$);一次项 C 和二次项 D^2 对因素黄酮含量影响为显著 ($P<0.05$);一次项 B、D 对黄酮含量影响不显著 ($P>0.05$);交互项中,除了 AD 和 BC 对黄酮含量影响为显著 ($P<0.05$) 之外,其余交互项 (AB、AC、BD、CD) 对黄酮含量影响为极显著 ($P<0.01$)。根据 F 值可知,各因素对黄酮含量的影响顺序为:杀青时间>发酵时间>杀青功率>发酵温度。

由表 5 可知,感官评分模型极显著 ($P<0.01$),失拟项不显著 ($P>0.05$),相关系数 $R^2=0.9834$,决定系数 $R^2_{Adj}=0.9668$,说明该模型可预测 96.68% 的响应值,模型拟合良好,具有统计学意义,能够有效反映因素对感官评分的影响,适用于该制备关键加工工艺的优化需求。一次项 (A、

表 3 关键工艺优化响应面试验设计及结果

Table 3 Design and results of response surface experiments for key process optimization

试验号	A	B	C	D	E 黄酮含量/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	F 感官 评分
1	1	0	1	0	104.89	72.20
2	0	1	1	0	249.51	72.80
3	0	0	0	0	559.17	90.80
4	0	-1	0	-1	133.95	76.80
5	0	1	0	1	113.39	71.50
6	0	0	0	0	634.24	92.40
7	0	-1	0	1	374.24	84.60
8	0	0	0	0	621.91	91.80
9	-1	0	-1	0	483.86	90.40
10	0	0	0	0	737.94	92.60
11	1	1	0	0	147.14	83.00
12	0	-1	-1	0	360.88	84.30
13	0	0	-1	-1	731.23	92.80
14	-1	0	0	1	593.52	90.60
15	0	1	-1	0	203.20	78.00
16	-1	-1	0	0	575.40	89.50
17	0	0	1	-1	298.40	84.20
18	1	-1	0	0	81.50	66.20
19	-1	0	1	0	703.03	94.10
20	0	1	0	-1	378.53	85.10
21	-1	1	0	0	91.89	70.50
22	1	0	0	-1	487.89	85.20
23	1	0	0	1	295.06	79.10
24	0	0	0	0	740.00	93.00
25	1	0	-1	0	508.29	89.30
26	0	0	1	1	474.49	87.50
27	0	0	-1	1	413.68	86.80
28	-1	0	0	-1	455.80	88.90
29	0	-1	1	0	85.77	75.50

B、C、D) 和二次项 (A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2) 对感官评分影响均为极显著 ($P<0.01$);二次项中,BC 对感官评分影响不显著 ($P>0.05$),AD 对感官评分影响显著 ($P<0.05$),其余交互项 (AB、AC、BD、CD) 对感官评分影响为极显著 ($P<0.01$)。根据 F 值可知,各因素对感官评分的影响顺序为:杀青时间>发酵时间>发酵温度>杀青功率。

2.2.3 因素交互作用分析 由图 6 可知,交互项 AD、BC 的曲面变化平缓、等高线疏松,说明杀青功率与发酵时间的交互项对黄酮含量的影响较显著,与方差分析结果一致,交互项 AB、AC、BD、CD 的曲面均较陡峭、等高线密集,这些交互项对藤茶黄酮含量的影响均较为显著,与方

表 4 黄酮含量方差分析结果[†]

Table 4 ANOVA results of flavonoid content

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1.27E+06	14	90 730.87	16.18	<0.000 1**
A	89 977.56	1	89 977.56	16.05	0.001 3**
B	1 527.23	1	15 271.23	2.72	0.121 1
C	34 219.67	1	34 219.67	6.10	0.027 0*
D	13 612.71	1	13 612.71	2.43	0.141 5
AB	72 768.96	1	72 768.96	12.98	0.002 9**
AC	96 900.83	1	96 900.83	17.28	0.001 0**
AD	27 314.49	1	27 314.49	4.87	0.044 5*
BC	26 196.20	1	26 196.20	4.67	0.048 5*
BD	59 820.18	1	59 820.18	10.67	0.005 6**
CD	60 921.77	1	60 921.77	10.87	0.005 3**
A ²	79 954.21	1	79 954.21	14.26	0.002 0**
B ²	6.52E+05	1	6.52E+05	116.32	<0.000 1**
C ²	64 739.87	1	64 739.87	11.55	0.004 3**
D ²	44 992.07	1	44 992.07	8.02	0.013 3*
残差	78 495.15	14	5 606.80		
失拟项	53 748.73	10	5 374.87	0.868 8	0.612 2
纯误差	24 746.42	4	6 186.60		
总和	1.35E+06	28			

[†] *显著 ($P < 0.05$), **极显著 ($P < 0.01$); $R^2 = 0.941 8$, $R^2_{Adj} = 0.893 6$ 。

表 5 感官评分方差分析[†]

Table 5 ANOVA of sensory scores

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1 776.82	14	126.92	59.16	<0.000 1**
A	94.95	1	94.95	44.26	<0.000 1**
B	21.33	1	21.33	9.94	0.007 0**
C	91.96	1	91.96	42.87	<0.000 1**
D	36.12	1	36.12	16.84	0.001 1**
AB	331.68	1	331.68	154.62	<0.000 1**
AC	108.16	1	108.16	50.42	<0.000 1**
AD	15.21	1	15.21	7.09	0.018 6*
BC	2.42	1	2.42	1.13	0.306 0
BD	114.66	1	114.66	53.45	<0.000 1**
CD	21.62	1	21.62	10.08	0.006 7**
A ²	85.90	1	85.90	40.05	<0.000 1**
B ²	771.40	1	771.40	359.60	<0.000 1**
C ²	41.41	1	41.41	19.30	0.000 6**
D ²	22.84	1	22.84	10.65	0.005 7**
残差	30.03	14	2.15		
失拟项	27.10	10	2.71	3.70	0.109 4
纯误差	2.93	4	0.73		
总和	1 806.85	28			

[†] *显著 ($P < 0.05$), **极显著 ($P < 0.01$); $R^2 = 0.983 4$, $R^2_{Adj} = 0.966 8$ 。

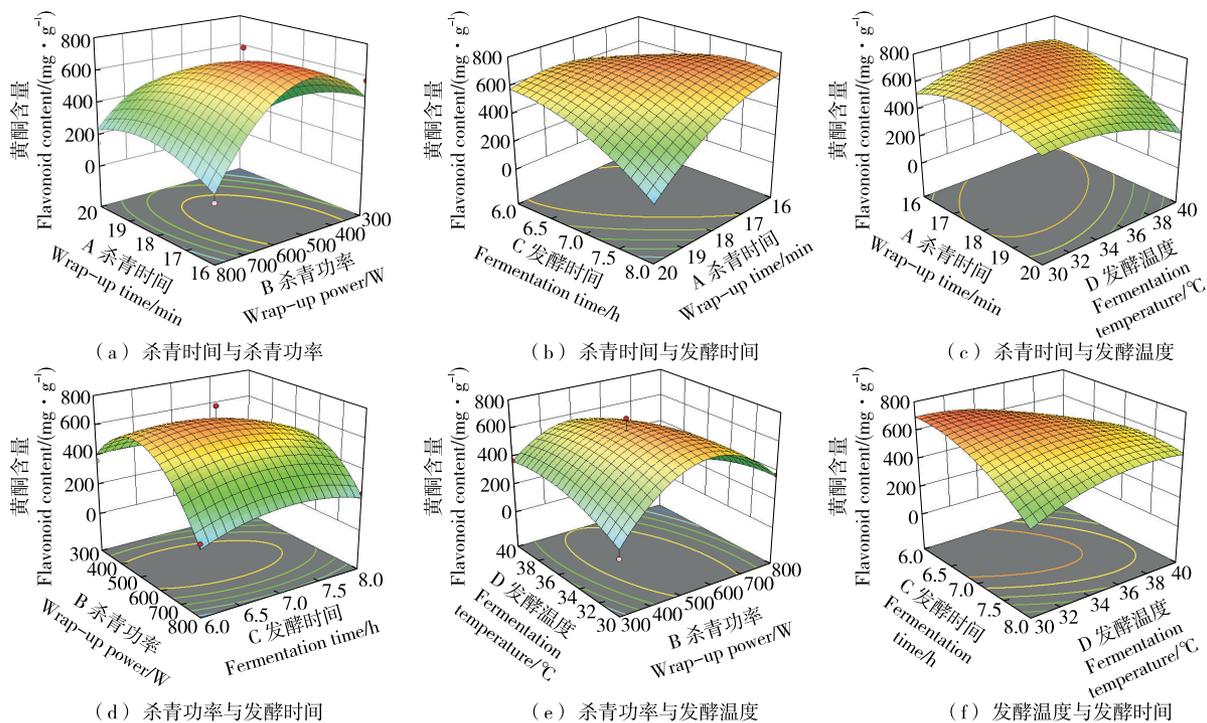


图 6 不同因素对藤茶黄酮含量影响的响应面图

Figure 6 Response surfaces of the effect of different factors on the flavonoid content in vine tea

差分析结果一致。

由图7可知,交互项BC曲面平缓、等高线稀疏,说明杀青功率与发酵时间的交互项对感官评分影响不显著,与方

差分析结果一致($P>0.05$);交互项AB、AC、AD、BD、CD的曲面均较陡峭、等高线密集,说明这些交互项对藤茶感官评分的影响均较为显著,与方差分析结果一致。

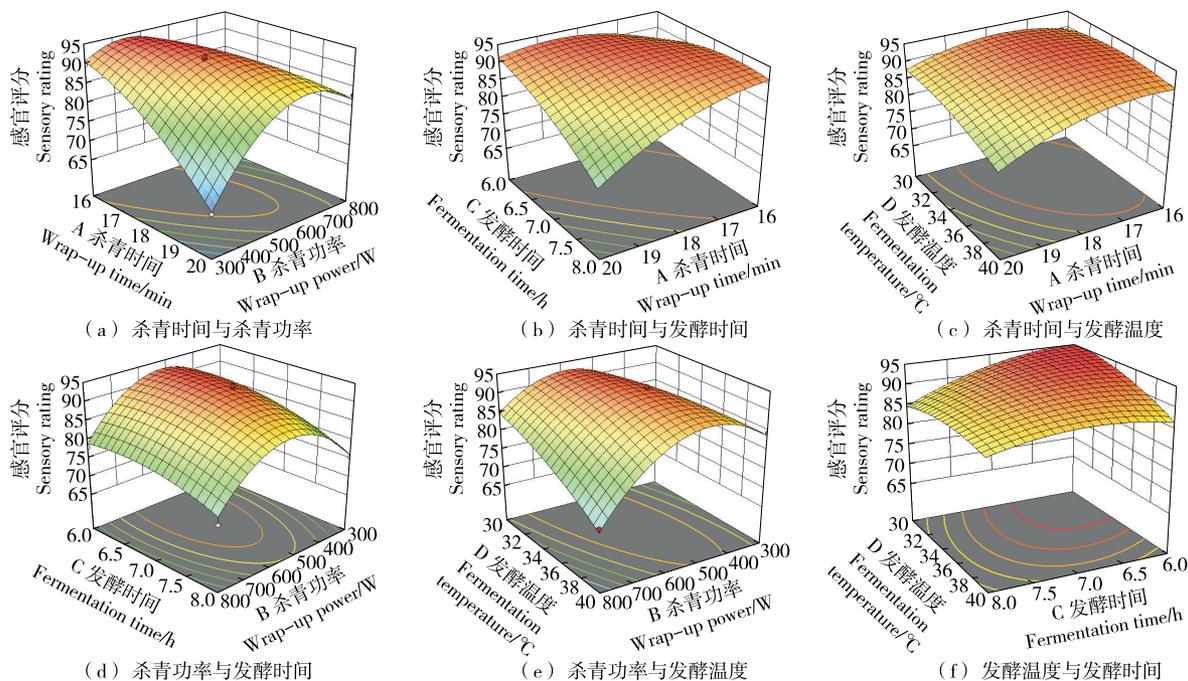


图7 不同因素对藤茶感官评分影响的响应面图

Figure 7 Response surfaces of the effect of different factors on the sensory scores of vine tea

2.2.4 验证实验 应用响应面模型分析结果,以感官评分和黄酮含量最大值为响应目标,预测最佳工艺为杀青时间16.191 min、杀青功率488.196 W、发酵时间7.819 h、发酵温度39.895 °C,感官评分95.181,黄酮含量748.892 mg/g。结合实际生产需求得到最佳工艺参数:杀青时间16 min、杀青功率490 W、发酵时间7.8 h、发酵温度40 °C。在该条件下,进行3次验证实验。验证实验的感官评分平均值为94.47,相对标准偏差为0.36%;黄酮含量为740.92 mg/g,相对标准偏差为0.21%。与预测工艺相差较小,说明该工艺条件稳定、重复性好,工艺参数可靠。

2.3 藤茶挥发性香气成分分析

对试验优化条件得到的藤茶样品进行HS-SPME-GC-MS检测(见图8),分析其香气特征,得到8大类共53种挥发性香气物质。其中烷类19种、烯类13种、醇类3种、醛类6种、酮类1种、酯类5种、酚类1种、环状化合物(萜、呋喃、苯)5种,样品平均相对含量分别为33.40%,30.27%,3.54%,11.24%,1.20%,10.57%,0.48%,9.30%。具体物质如表6所示。

由表7可知,样品中的烷烃大多为长链烃,通常表现出相似的气味特征,无明显香味特征。样品中的烯烃以萜烯类为主,相对含量占比23.89%。其中右旋萜二烯

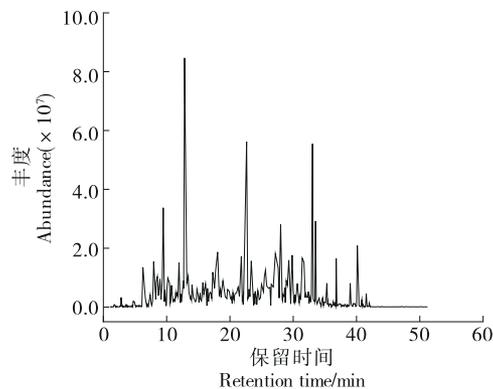


图8 藤茶总离子色谱图

Figure 8 Total ion chromatogram of vine tea

(7.82%)占比较大,右旋萜二烯有浓郁的木质香气,有时也带有香料香气;萜品油烯(3.48%)带有类似松树或带香料味的特征;蒎烯(1.60%)具有强烈的松香气;1-石竹烯(4.08%)带有温暖、木质和草本的气味,常用于香料和香水。醇类是藤茶芳香物质的主要来源之一,样品中壬羟基醇(2.07%)占比最大,是一种长链脂肪醇,通常有一种芳香的果香气味,略带蜡质感,类似于某些花香。样品中2-十二烯醛醇(1.05%)带有淡淡的果香。醛类物质中癸醛(4.32%)相对含量占比最大,癸醛带有坚果的香气;正

表 6 藤茶样品挥发性香气成分检测结果

Table 6 Test results of volatile aroma components in vine tea samples

香气成分	CAS 编号	保留时 间/min	相对含 量/%	香气成分	CAS 编号	保留时 间/min	相对含 量/%
十二烷	000112-40-3	17.74	2.87	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	003338-55-4	10.45	1.88
二十烷	000112-95-8	42.01	0.31	右旋萜二烯	005989-27-5	9.47	7.82
环十四烷	000295-17-0	24.54	0.99	蒎烯	007785-70-8	10.04	1.39
环十六烷	000295-65-8	36.42	0.21	2,6-二甲基-6-双环[3.1.1]庚-2-烯	017699-05-7	30.66	1.84
十六烷	000544-76-3	31.71	5.52	1,5,9,9-四甲基-,Z,Z,Z-1,4,7,-环	1000062-61-9	31.19	0.61
十八烷	000593-45-3	39.01	1.87	十一三烯			
正十三烷	000629-50-5	23.38	3.62	壬羟基醇	001454-84-8	28.91	2.07
十四烷	000629-59-4	23.30	3.69	2-十二烯醛醇	004826-62-4	15.59	1.05
十五烷	000629-62-9	32.88	0.96	3-甲基-3 <i>H</i> -萘[1,2- <i>e</i>]吡啶-10-醇	098033-21-7	35.49	0.42
十七烷	000629-78-7	37.29	0.21	庚醛	000111-71-7	2.80	0.75
3-甲基十一烷	001002-43-3	16.14	1.83	癸醛	000112-31-2	18.06	4.32
5-甲基十一烷	001632-70-8	11.67	1.10	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	000116-26-7	17.57	1.48
2,6,10,14-四甲基十五烷	001921-70-6	37.40	0.24	正辛醛	000124-13-0	8.54	2.40
壬基环戊烷	002882-98-6	31.13	0.66	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	000432-25-7	18.70	1.29
2,6,10-三甲基-十二烷	003891-98-3	28.02	6.49	反-2-辛烯醛	002548-87-0	10.88	0.99
8-己基-十五烷	013475-75-7	34.66	0.71	β -紫罗酮	014901-07-6	32.40	1.20
1-丁基-2-戊基-环戊烷	061142-52-7	24.24	0.17	酞酸二甲酯	000131-11-3	31.43	3.84
3-乙基顺式,反式双环[4.4.0]癸烷	066660-43-3	19.26	0.81	邻苯二甲酸二异丁酯	1000309-04-5	40.14	4.84
1,1,6,6-四甲基-螺[4.4]壬烷	074054-92-5	20.48	1.14	邻苯二甲酸二仲丁酯	1000373-65-4	40.85	0.58
1-石竹烯	000087-44-5	29.84	4.08	棕榈酸甲酯	000112-39-0	40.97	0.25
萜品烯	000099-85-4	10.77	1.71	邻苯二甲酸二丁酯	000084-74-2	41.55	1.06
α -萜品烯	000099-86-5	8.95	2.19	2,5-二叔丁基酚	005875-45-6	33.30	0.48
(3 <i>E</i> ,5 <i>E</i>)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	000460-01-5	14.01	1.75	甘菊蓝	000275-51-4	16.46	1.47
2-蒎烯	000464-17-5	19.13	1.28	邻异丙基甲苯	000527-84-4	9.31	2.25
alpha-柏木烯	000469-61-4	29.47	1.94	2-乙酰呋喃	001192-62-7	3.59	0.10
萜品油烯	000586-62-9	11.95	3.48	十氢-2,6-二甲基-萘	001618-22-0	15.50	1.29
1-十六烯	000629-73-2	39.14	0.30	2-甲基八环	1000376-72-8	27.18	4.20

辛醛(2.40%)具有清新的柑橘类气味。酮类物质只检出 β -紫罗酮(1.20%), β -紫罗酮的香气通常被描述为花香、果香和木质香的混合,带有一种淡淡的甘甜感^[20]。样品中的酯类主要是邻苯二甲酸二异丁酯(4.84%)、酞酸二甲酯(3.84%)、邻苯二甲酸二丁酯(1.06%)。酚类物质只检出2,5-二叔丁基酚(0.48%),2,5-二叔丁基酚气味相对较强,常被描述为有一种芳香的化学气味,可能带有轻微的甜香。样品中其他类物质主要是碳环类化合物,以甘菊蓝(1.47%)和邻异丙基甲苯(2.25%)为主。甘菊蓝有一种温和、草本的香,有些许甜味和辛香气;邻异丙基甲苯的气味一般是典型的芳香烃气味,强烈且略带甜味。

3 结论

以藤茶样品黄酮含量和感官评分为指标,针对影响藤茶品质的关键加工工艺参数进行了优化,结合实际生产需求得到最佳工艺参数:杀青时间 16 min、杀青功率

490 W、发酵时间 7.8 h、发酵温度 40 °C。成品通过顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术检测,共检出 53 种香气挥发性物质,其中香气物质烯类(30.27%)和醛类(11.24%)占比较高,赋予藤茶花香、果香,增进感官体验,在该工艺条件下验证得到的成品藤茶感官评分和黄酮含量与预测值相差较小(<0.40%),表明通过优化制备关键加工工艺可以有效提高藤茶品质。

该研究未阐明不同杀青加工工艺对藤茶香气成分组成的影响,后续将通过对比分析不同杀青方法对藤茶香气成分的影响,从而进一步筛选出藤茶最佳制备关键加工工艺。

参考文献

[1] 冉京燕,方建国,谢雪佳,等.藤茶的本草资源学研究概况[J].中草药,2016,47(20):3728-3735.
RAN J Y, FANG J G, XIE X J, et al. Scientific research on

- herbal resource of vine tea[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2016, 47(20): 3 728-3 735.
- [2] 张典典, 高家东, 戴影言, 等. 藤茶的食用历史及安全性[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 363-368.
ZHANG D D, GAO J D, DAI Z Y, et al. History and safety of *Ampelopsis grossedentata* consumption[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 363-368.
- [3] 熊伟, 李雄辉, 胡居吾, 等. 藤茶活性成分同步提取分离研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(10): 183-186.
XIONG W, LI X H, HU J W, et al. Study on synchronous extraction and isolation of bioactive compounds from *Ampelopsis grossedentata*[J]. Food Research and Development, 2011, 32(10): 183-186.
- [4] 阳晓雪, 李鑫, 李雨喜, 等. 藤茶植物饮料指纹图谱建立及主要成分含量测定[J]. 中南药学, 2024, 22(9): 2 420-2 423.
YANG X X, LI X, LI Y X, et al. Fingerprints and determination of major components in *Garcinia cambogia* plant beverage[J]. Central South Pharmacy, 2024, 22(9): 2 420-2 423.
- [5] ZHENG X J, XIAO H, ZENG Z, et al. Composition and serum antioxidation of the main flavonoids from fermented vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) [J]. Journal of Functional Foods, 2014, 9: 290-294.
- [6] TANG N N, MA J, WANG K S, et al. Dihydromyricetin suppresses TNF- α -induced NF- κ B activation and target gene expression[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2016, 422 (1/2): 11-20.
- [7] 周防震. 藤茶活性成分DMY对乳腺癌细胞增殖、凋亡和侵袭转移的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 108-109.
ZHOU F Z. Effect of dihydromyricetin Isolated from *Ampelopsis grossedentata* on the proliferation, apoptosis and invasion metastasis of breast cancer cells[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012: 108-109.
- [8] LIU T T, ZENG Y, TANG K, et al. Dihydromyricetin ameliorates atherosclerosis in LDL receptor deficient mice[J]. Atherosclerosis, 2017, 262: 39-50.
- [9] 逯凤肖, 郁建平, 秦焱, 等. 藤茶中二氢杨梅素对糖尿病小鼠血糖和血脂的影响[J]. 山地农业生物学报, 2015, 34(6): 89-92.
LU F X, YU J P, QIN T, et al. Effect of dihydromyricetin from *Ampelopsis grossedentata* on blood glucose and lipids in diabetic mice[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2015, 34(6): 89-92.
- [10] JIAO Y F. Microwave processing effects on vine tea quality: a comparative study[J]. Molecules, 2023, 28(3): 1 079.
- [11] 马佳丽, 张厅, 赵文慧, 等. 不同杀青方式对多花黄精嫩芽茶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 275-284.
MA J L, ZHANG T, ZHAO W H, et al. Effects of different fixation methods on the quality of *Polygonatum cyrtoneuma* tender bud tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 275-284.
- [12] 刘梦圆, 崔丹丹, 项希, 等. 微波杀青工艺对秋季绿茶的保绿降苦作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2 151-2 157.
LIU M Y, CUI L D, XIANG X, et al. Effects of microwave fixation process on preserving green color and reducing bitterness in autumn green tea[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(7): 2 151-2 157.
- [13] 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.
YOU Q S, SHI Y L, ZHU Y, et al. Effect of different processing technologies on the key aroma-active compounds of green tea[J]. Food Science, 2023, 44(8): 194-200.
- [14] 刘威, 张永瑞, 鲁静, 等. 不同加工工艺刺槐花代用茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 250-256.
LIU W, ZHANG Y R, LU J, et al. Analysis of aroma components of alternative tea for acacia *Robinia pseudoacacia* flowers in different processing techniques[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 250-256.
- [15] 刘巧芳, 蒋阿婷, 肖娟娟, 等. 不同加工工艺的莓茶风味品质差异分析[J]. 食品科学, 2024, 45(19): 162-171.
LIU Q F, JIANG A T, XIAO J J, et al. Differences in flavor quality of vine teas processed by different techniques[J]. Food Science, 2024, 45(19): 162-171.
- [16] 张锦程, 余佶, 麻成金, 等. GC-MS结合ROAV分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 20-25, 31.
ZHANG J C, YU J, MA C J, et al. Analysis of volatile aroma components of *Ampelopsis grossedentata* with different processing technology based on GC-MS combined with ROAV [J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 20-25, 31.
- [17] 张敏, 余佶, 王琪琰, 等. 藤茶感官特征定量描述分析与风味轮构建[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 134-139.
ZHANG M, YU J, WANG Q Y, et al. The quantitative analysis of the sensory characteristics of vine tea and the construction of flavor wheel[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47 (8): 134-139.
- [18] 王丽丽, 林清霞, 宋振硕, 等. 分光光度法测定茶叶中总黄酮含量[J]. 茶叶学报, 2021, 62(1): 1-6.
WANG L L, LIN Q X, SONG Z S, et al. Spectrophotometric determination of total flavonoids in tea[J]. Acta Tea Sinica, 2021, 62(1): 1-6.
- [19] 邓文连, 邓建, 翦林, 等. 藤茶传统炒青工艺条件优化及其香气成分HS-SPME-GC-MS分析[J]. 农产品加工, 2024(21): 109-114.
DENG W L, DENG J, JIAN L, et al. Optimization of traditional stir-frying process of vine tea and analysis of its aroma components by HS-SPME-GC-MS[J]. Farm Products Processing, 2024(21): 109-114.
- [20] 张敏. 藤茶品质评价方法与体系建立及其应用研究[D]. 吉首: 吉首大学, 2021: 52-53.
ZHANG M. Establishment and application of quality evaluation method and system for vine tea[D]. Jishou: Jishou University, 2021: 52-53.