

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241117001

引用格式: 石悦, 左浩明, 郭书凝, 等. 窈制工艺对花果窈制红茶主要滋味物质及其品质特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(9): 289–300.

SHI Y, ZUO HM, GUO SN, *et al.* Effects of scenting technology on key flavor compounds and quality characteristics of flower-fruit-scented black tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(9): 289–300. (in Chinese with English abstract).

窈制工艺对花果窈制红茶主要滋味物质及其品质特性的影响

石悦^{1,2}, 左浩明^{1,2}, 郭书凝^{1,2}, 刘婷婷^{1,2}, 李鑫^{1,2}, 蓝利丽², 沈程文^{1,2*}

(1. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 长沙 410128;
2. 桂东县蓝老爹茶业开发有限公司, 桂东 423500)

摘要: **目的** 以夏季‘保靖黄金茶1号’直条红茶、茉莉鲜花、佛手柑鲜果皮为原料, 经过窈制加工制得具备甜味、果味、茶味于一体的花果窈制红茶。**方法** 本研究利用花茶感官审评与高效液相色谱及可见分光光度计研究窈制、干燥、提花等工序对花果窈制红茶主要滋味物质及其品质形成的影响。**结果** 花果窈制红茶在不同窈制工序各个茶样滋味强度差异显著($P<0.05$), 在窈制→干燥→提花工序中, 花果窈制红茶的滋味特征呈现动态演变, 酸味与苦涩味于窈制阶段显著增强($P<0.05$), 甜味则在干燥阶段开始转化并于提花阶段达到峰值。花果窈制红茶在窈制→干燥→提花工序中茶多酚呈“V”型变化, 而游离氨基酸和可溶性糖持续积累, 促进鲜甜味提升, 而水浸出物、黄酮类先下降后回升的变化趋势; 非酯型儿茶素、没食子酸及咖啡碱在提花样中显著降低, 协同降低苦涩强度; 酯型儿茶素总量在窈制阶段下降 16.89%, 后经干燥和提花处理有所回升, 其中没食子儿茶素没食子酸酯含量显著上升, 共增加了 55%, 而表儿茶素没食子酸酯呈先降后升趋势; 形成茶汤甜味的丝氨酸、苏氨酸、丙氨酸、脯氨酸、甘氨酸等物质总含量提升了 9.40%, 从而显著提升了茶汤的甜味; 花果窈制红茶窈制加工过程中, 茶黄素总量显著下降, 其中茶黄素-3-单没食子酸酯、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯等含量分别下降了 25.69%、27.28%、6.02%。结合滋味活性值结果, 呈现苦涩味的咖啡碱、没食子酸、表儿茶素没食子酸酯、儿茶素等滋味活性值均呈下降趋势。**结论** 本研究以茉莉鲜花和佛手柑鲜果皮混合与夏季‘保靖黄金茶1号’直条红茶窈制加工, 制得花果窈制红茶滋味主要表现为“香甜果味”品质特征、有效改善夏季红茶的苦味、涩味、酸味重等特点, 为花果茶的窈制工艺提供了理论依据。

关键词: 花果窈制红茶; 滋味成分; 茉莉花; 佛手柑; 滋味活性值

收稿日期: 2024-11-17

基金项目: 郴州国家可持续发展议程创新示范区建设专项(2022SFQ48); 国家重点研发计划项目(2022YFD1600801); 湖南省科技创新重大项目(2021NK1020); 湖南省现代农业产业技术体系项目(湘农函[2024]98号)

第一作者: 石悦(1996—), 女, 硕士, 主要研究方向为茶叶品质化学研究。E-mail: shiyue@stu.hunau.edu.cn

*通信作者: 沈程文(1969—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为茶树生物学与种质创新、茶叶品质化学与加工工程方向研究。E-mail: shencw@hunau.edu.cn

Effects of scenting technology on key flavor compounds and quality characteristics of flower-fruit-scented black tea

SHI Yue^{1,2}, ZUO Hao-Ming^{1,2}, GUO Shu-Ning^{1,2}, LIU Ting-Ting^{1,2}, LI Xin^{1,2},
LAN Li-Li², SHEN Cheng-Wen^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Tea Science of Ministry of Education, Hunan Agricultural University, National Research Center of Engineering & Technology for Utilization of Functional Ingredients from Botanicals, Changsha 410128, China;

2. Guidong County Blue Dad Tea Industry Development Co., Ltd., Guidong 423500, China)

ABSTRACT: Objective To use summer Baojing Huangjincha 1 straight black tea, jasmine flowers, and fresh Finger citron peel as raw materials, and the flower and fruit black tea with sweetness, fruitiness and tea flavor is made through processing. **Methods** In this study, the sensory evaluation of flower tea, high performance liquid chromatography and visible spectrophotometer were used to study the effects of kilning, drying, jacquard and other processes on the formation of the main taste substances and quality of black tea made from flowers and fruits. **Results** The taste intensity of floral-fruit-scented black tea showed significant differences ($P < 0.05$) across various processing stages. During the scenting → drying → flower removal sequence, the taste characteristics exhibited dynamic evolution: Sourness and bitterness significantly intensified during scenting ($P < 0.05$), while sweetness began transforming during drying and peaked at the flower removal stage. Key findings included: Tea polyphenols showed a “V”-shaped change pattern during processing, while free amino acids and soluble sugars accumulated continuously, enhancing umami and sweetness. Water extracts and flavonoids initially decreased before rebounding. Non-esterified catechins, gallic acid and caffeine decreased significantly in the final product, synergistically reducing astringency and bitterness. Total esterified catechin content decreased by 16.89% during scenting but partially recovered after drying and flower removal. Notably, gallocatechin gallate content increased remarkably by 55%, while epicatechin gallate showed an initial decrease followed by recovery. Sweetness-contributing amino acids (serine, threonine, alanine, proline and glycine) collectively increased by 9.40%, significantly enhancing tea sweetness. Total theaflavin content decreased significantly, with theaflavin-3-gallate, theaflavin-3'-gallate and theaflavin-3,3'-digallate decreasing by 25.69%, 27.28% and 6.02% respectively. Taste activity value analysis revealed decreasing trends for bitterness/astringency-related compounds including caffeine, gallic acid, ECG and catechins. **Conclusion** In this study, the mixture of jasmine flowers and fresh fruit peel of Finger citron and the processing of Baojing Huangjincha 1 straight strip black tea in summer show that the taste of black tea made from flowers and fruits mainly showed the quality characteristics of “sweet and fruity”, and effectively improved the bitterness, astringency and sourness of summer black tea, which provided a theoretical basis for the brewing process of flower and fruit tea.

KEY WORDS: floral and fruity black tea; taste ingredients; jasmine; Finger citron; taste activity value

0 引言

茉莉花 [*Jasminum sambac* (L.) Ait.] 是常绿型多年生灌木植物, 木樨科 (Oleaceae Hoffmanns. & Link) 素馨属 (*Jasminum* Linn.), 其花香淡雅清新, 是典型的气质花^[1]。茉莉花在一千多年前传入我国后, 现今广泛种植于我国福建、广西、云南等地区, 以广西横县最著名, 被誉为“中国茉莉花之乡”^[2]。佛手柑 (*Citrus medica* ‘Fingered’) 是属于芸香科 (Rutaceae) 柑橘属 (*Citrus* L.) 的一种芳香柑橘类水果, 瓜形似手掌合十, 像佛家祝福手势, 因此得名佛手。‘保靖

黄金茶 1 号’是从保靖黄金茶群体中选育的高氨基酸特早生品种^[3], 黄浩等^[4]对春、夏、秋 3 个季节的‘保靖黄金茶 1 号’制得工夫红茶, 发现春茶甜香纯正, 夏茶甜香尚高, 秋茶甜香带花香, 秋茶香气指数最高。夏季红茶的滋味比春季和秋季差, 夏茶经济效益低^[5], 为提供夏茶的利用率, 在茶叶生产中备受关注。随着生活水平的提高以及生活节奏的加快, 人们对茶叶产品的要求在保持传统风味的基础上, 逐渐向方便化、液化化、保健化方向发展。随着新式茶饮在市场上愈发受年轻人的青睐, 茶叶深加工也逐步产业化, 茶饮料、茶食品等不断涌现, 从而呈现出饮茶、吃

茶与玩茶并存的局面。目前市场上的花香果香红茶产品分两类, (1)茶树品种特有的品种香加工制成, 如金牡丹茶树品种制得花香红茶^[6]; (2)红茶与干花、干果拼配而成^[7], 其方法简单, 有花香和果香, 但协调性差, 茶香易被花香和果香覆盖, 且酸味明显, 而利用花果混合与茶叶窈制尚少。

本研究旨在利用夏季‘保靖黄金茶 1 号’直条红茶茶坯与茉莉鲜花和佛手柑鲜果皮拼合窈制, 制得花果窈制红茶, 通过采用可见分光光度计、高效液相色谱法分别测定茶叶理化成分、儿茶素、氨基酸、茶黄素(theaflavin, TF)等主要滋味成分在花果窈制红茶窈制加工过程中的动态变化, 并分析明确窈制工序对花果窈制红茶主要滋味物质和品质形成的影响, 以期为优化花果窈制红茶品质提供理论依据和参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 原 料

由湖南省湘西州农科院茶叶研究所提供 2022 年 6 月下旬 1 芽 1 叶夏季‘保靖黄金茶 1 号’直条红茶(CK), 作为花果窈制红茶的素坯原料; 茉莉鲜花于 2022 年 8 月下旬购自广西省横县、佛手柑鲜果(金黄色熟果)于 2022 年 8 月下旬采购自云南省曲靖县为窈制材料。

1.1.2 材料与试剂

三氯化铝、碳酸钙、福林酚、甲醇、浓硫酸、氯化亚锡、蒽酮、没食子酸(gallic acid, GA)、葡萄糖、谷氨酸、乙酸乙酯、草酸、正丁醇、咖啡碱(caffeine, CAF)(分析纯)、冰醋酸、茶氨酸、N,N-二甲基甲酰胺、乙晴(色谱纯)(中国上海医药集团试剂有限公司); 儿茶素、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表儿茶素(epicatechin, EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、儿茶素没食子酸酯(catechin gallate, CG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallatechingallate, GCG)、TF、茶黄素-3-单没食子酸酯(theaflavin-3- monogallate, TF-3-G)、茶黄素-3,3'-双没食子酸酯(theaflavin-3,3'-digallate, TFDG)、茶黄素-3'-单没食子酸酯(theaflavin-3'-monogallate, TF-3'-G)、天冬氨酸(L-aspartic acid, Asp)、丝氨酸(L-serine, Ser)、谷氨酸(L-glutamate, Glu)、甘氨酸(L-glycine, Gly)、组氨酸(L-histidine, His)、精氨酸(L-arginine, Arg)、苏氨酸(L-threonine, Thr)、丙氨酸(L-alanine, Ala)、脯氨酸(L-proline, Pro)、茶氨酸(L-theanine)、半胱氨酸(L-cysteine, Cys)、酪氨酸(L-tyrosine, Tyr)、缬氨酸(L-valine, Val)、蛋氨酸(L-methionine, Met)、赖氨酸(L-lysine, Lys)、异亮氨酸(L-isoleucine, Ile)、亮氨酸(L-leucine, Leu)、苯丙氨酸(L-phenylalanine, Phe)(以上所有标准品均为混合标准品)(美国 Sigma-Aldrich 试剂公司)。

1.1.3 仪器与设备

DL-6CHZ-9 型茶叶烘焙提香机(泉州得力农林机械有限公司); ICTOR 330 温湿度测量仪(深圳胜利龙仪器仪表有限公司); MB27 水分测量仪(常州奥豪斯仪器有限公司); Alpha1-4LSCplu 冷冻干燥机(德国 Christ 公司); MettlerAE240 电子天平(精度 0.001 g, 瑞士 Mettler 公司); LDP-350 高速粉碎仪(浙江永康红太阳有限公司); 101-3AB 电热恒温鼓风干燥箱(天津 TAISETE 有限公司); UV-1750 可见分光光度计(日本岛津公司); DK-S24 恒温水浴锅(上海精宏有限公司); Allegra X-22R 台式高速离心机(美国贝克曼公司); Agilent 1260LC 高效液相色谱仪、ACCQTagTM 色谱柱(3.9 mm×150 mm, 5 μm)(美国安捷伦公司)。

1.2 方 法

1.2.1 样品制备

CK 窈制前, 在 90 °C 茶叶烘焙提香机中烘干 10 min, 使 CK 含水量不高于 5%, 退火 3 d 待用; 茉莉鲜花窈制 6 h 前, 剔除青蕾、花蒂部分, 后堆花加速茉莉鲜花开放, 堆花通花反复几次至茉莉鲜花开放度达 90°, 开放率达 80%与 1~2 cm 厚度佛手柑鲜果皮混合(简称: 花果混合), 参考茉莉花茶新工艺^[8]: 素坯→茶花拌合窈制→起花→干燥→提花→起花制作; (1)配花果量相同、花果混合比例相同与 CK 窈制, 在不同温度下干燥制得样品 W1、W2、W3; (2)花果混合比例相同、干燥温度相同、配花果量不同制得样品 P1、P2、P3; (3)花果混合比例不同、配花果量相同、干燥温度相同与 CK 窈制制得样品 S1、S2、S3、S4、S5、F。各参数比例详情如表 1 所示, 制得所有样品参照 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》中茉莉花茶的审评方法对样品进行审评评分出最佳干燥温度、最佳配花果量、最佳花果窈制比例。

采用统一窈制时间(16 h)、最佳配花果量(90%)、最佳干燥温度(40 °C), 茉莉鲜花与佛手柑鲜果皮最佳比例 1:3 制得花果窈制红茶窈制样(G1)、干燥样(G2)、提花样(G3)等实验样, 以单一茉莉鲜花制得茉莉红茶窈制样(F1)、干燥样(F2)、提花样(F3)等为单因素对照样; 以及夏秋季‘保靖黄金茶 1 号’直条红茶空白对照(CK)样, 通过液氮固样、-80 °C 冻样、-20 °C 冷冻干燥直至检测分析。

1.2.2 花果窈制红茶审评方法

花果窈制红茶冲泡方法与评判标准参照 GB/T 23776—2018 制备, 由 5 位具有 10 年以上工作经验的审评员专家组进行审评。按先闻香后品茶顺序依次对外形(20%)、汤色(5%)、香气(35%)、滋味(30%)和叶底(10%)等 5 个感官因子进行描述分析, 采取 8 点强度尺度法进行评分, 其 1~2 为没有、3~4 为弱、5~6 为较强、7~8 为强烈。从 0(没有)到 8(强烈)不等, 各个样品审评 3 次, 取平均分为花果窈制红茶最终得分。

表 1 不同窈制工艺比例参数设计
Table 1 Design of proportional parameters of different kilning processes

样品	茉莉花/g	佛手柑/g	花果混合比例(g:g)	花果量/%	CK/g	窈制时间 ^[9] /h	干燥温度/°C	提花果量/%
W1	225.0	225.0	1:1	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
W2	225.0	225.0	1:1	90.0	500.0	16.0	70.0	10.0
W3	225.0	225.0	1:1	90.0	500.0	16.0	90.0	10.0
P1	175.0	175.0	1:1	70.0	500.0	16.0	40.0	10.0
P2	225.0	225.0	1:1	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
P3	325.0	325.0	1:1	130.0	500.0	16.0	40.0	10.0
S1	225.0	225.0	1:1	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
S2	150.0	300.0	1:2	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
S3	112.5	337.5	1:3	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
S4	90.0	360.0	1:4	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
S5	75.0	375.0	1:5	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0
F	450.0	0.0	1:0	90.0	500.0	16.0	40.0	10.0

1.2.3 理化成分分析

参照 GB/T 8304—2013《茶叶水分测定》测定水分含量；参照 GB/T 8305—2013《茶叶水浸出物测定》测定水浸出物含量；参照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》提取茶汤，加入 20%福林酚试剂和 7.5%碳酸钠溶液反应测定茶多酚含量；参照 GB/T 8314—2013《茶游离氨基酸总量测定》通过茚三酮比色法测定游离氨基酸总量；黄酮总量测定采用 AlCl_3 溶液稀释实验茶汤比色法；可溶性糖含量测定采用蒽酮-比色法。

1.2.4 高效液相色谱法分析儿茶素、没食子酸和咖啡碱

称取(1.5±0.001) g 研磨茶样于 250 mL 锥形瓶中，加 225 mL 蒸馏沸水，移入沸水浴中浸提 45 min，每 10 min 摇晃一次，浸提完成后脱脂棉过滤得到茶汤，冷却定容，滤纸过滤得待测液，用于进一步分析。

儿茶素和生物碱成分检测：高效液相色谱法参照 GB/T 8313—2018，色谱参数：ECOSIL₁₈ 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm)，以 N,N-二甲基甲酰胺、甲醇和冰醋酸的混合物(N,N-二甲基甲酰胺:甲醇:冰醋酸=39.5:2:1.5, V:V:V) 为流动相，检测波长 278 nm，流速 1.0 mL/min，进样量 10 μL，柱温 30 °C，分离过程梯度洗脱，流动相初始浓度为 9%，10 min 后增加到 14%，27 min 后增加到 36%，保持 4 min，32 min 时降至 9%，37 min 时结束。

1.2.5 高效液相色谱法分析氨基酸组分

采用高效液相色谱法测定氨基酸组分：根据用 GB/T 8314—2013 方法提取茶汤，过 0.45 μm 滤膜得待测液样品，取 10 μL 样品于液相瓶中，添加 70 μL AccQ-Fluor 硼酸盐缓冲液并旋转，后加入 20 μL AccQ-Fluor 试剂，旋涡 30 s，反应混合物在 55 °C 下加热 10 min，冷却后用高效液相色谱法分析氨基酸组分。本研究采用的色谱条件包括：Waters

ACCQTagTM 色谱柱(3.9 mm×150 mm, 5 μm)，检测波长为 248 nm，流动相 A 液为 10%的 AccQ-Fluor 液，流动相 B 液为 60%乙腈，流速为 1 mL/min，采用梯度洗脱法，B 相初始浓度为 2%，15 min 逐渐增加到 7%，19 min 增加到 10%，32 min 增加到 33%，34 min 达到 100%，保持 3 min，39 min 下降到 0%。

1.2.6 高效液相色谱法分析茶黄素组分

参照 GB/T 8313—2018，制得茶汤过 0.45 μm 滤膜，用于高效液相色谱法测定样液中的 TF 组分。

1.3 滋味活度值计算公式

滋味活度值(taste active value, TAV)是指各呈味物质在样品的浓度(C)与其他对应味道阈值(T)之比，计算如公式(1)所示：

$$TAV=C/T \times 1000 \quad (1)$$

式中：C 为滋味化合物浓度，%；T 为识别阈值，mg/kg。

1.4 数据处理

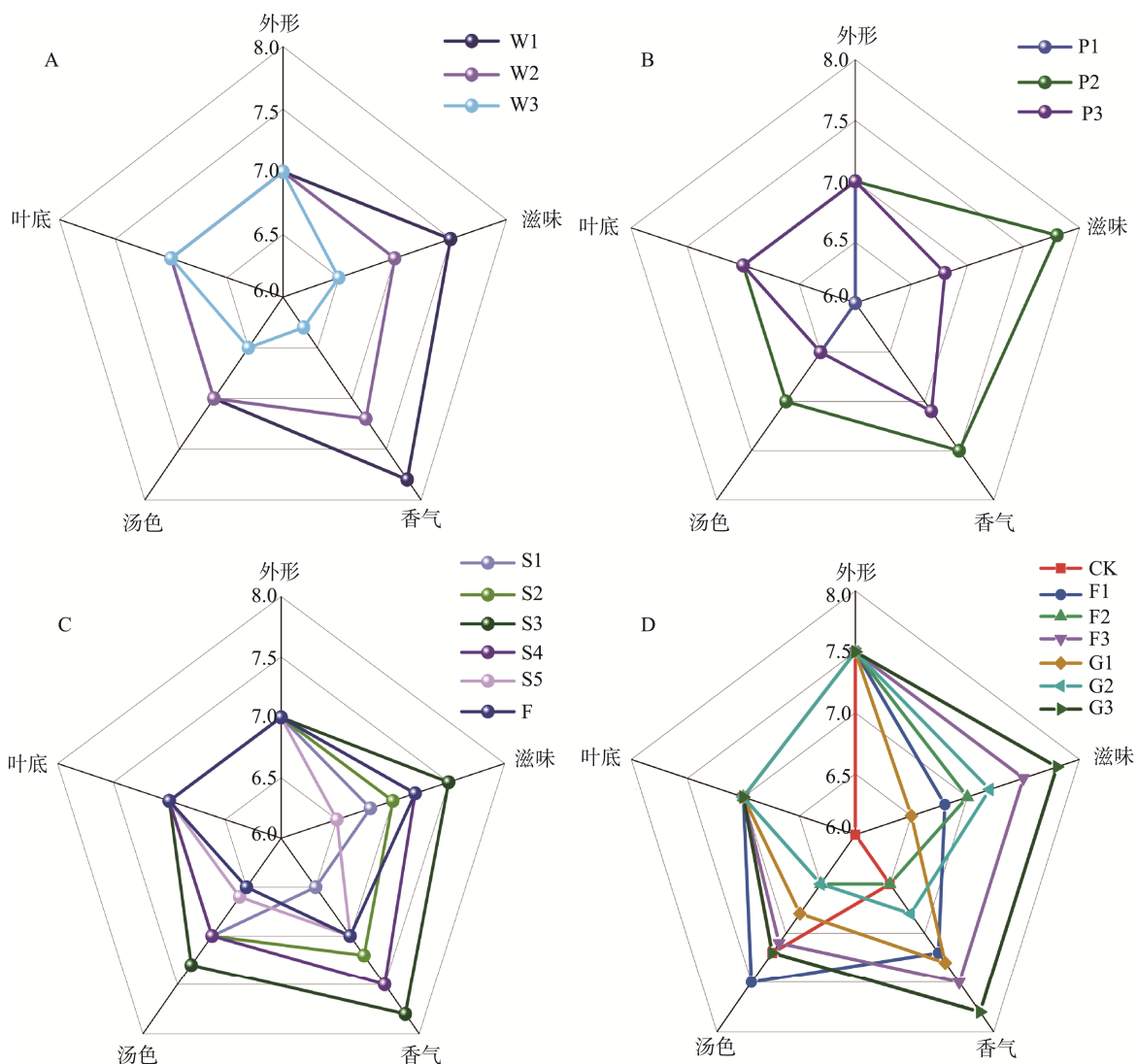
以上数据采用 3 次平行实验的平均值，运用 Excel 2021 进行数据统计分析，使用 SPSS 27.0 进行单因素方差分析，并采用 GraphPad prism9.5.1 进行相关性热图分析，使用 Origin 2021 绘制统计图，图像结果均使用 AI 2019 进行排列处理。

2 结果与分析

2.1 不同窈制工序加工花果窈制红茶感官品质的变化

2.1.1 对不同比例参数制得花果窈制红茶感官审评的结果分析

花果窈制红茶感官审评得分结果由图 1 所示，茉莉鲜花与佛手柑鲜果皮比例 1:1 与‘保靖黄金茶 1 号’直条红茶



注: A. 花果窈制红茶不同干燥温度下感官审评得分结果; B. 花果窈制红茶不同花果量感官审评得分结果; C. 花果窈制红茶不同混合比例感官审评得分结果; D. 不同窈制工序花果窈制红茶感官审评结果。

图 1 花果窈制红茶不同比例参数感官审评结果

Fig.1 Sensory evaluation results of different proportion parameters of black tea made from flowers and fruits

(CK)窈制, 在 W1、W2、W3 3 个不同温度下烘干处理, 由图 1A 结果得出, W1、W2、W3 评分结果主要在香气和滋味两个感官因子有区别, 香气得分分别为 7.8、7.2、6.3, 说明 W1 的香气纯正、花果香浓郁, W2、W3 有明显的高火香, 略带花香、果香, 整体表现不佳; W1 滋味得分为 7.5, 滋味表现为醇爽, W2、W3 得分结果分别为 7.0、6.5, 滋味表现为浓厚、回甘不明显, 因此认为花果窈制红茶最佳干燥温度为 W1。图 1B 所示, P1、P1、P3 3 种不同配花果量制得花果窈制红茶, 当配花果量为 P2 时, 香气、滋味得分最高, 主要表现为花香、果香、茶香 3 者最协调, 因此以花果量为 P2 时, 加工制得花果窈制红茶感官审评结果最好。茉莉鲜花与佛手柑鲜果皮按不同比例混合窈制制得 S1、S2、S3、S4、S5、F 6 组茶样, 据图 1C 所示, 当花果混合比例为 S3 时, 制得花果窈制红茶的香气、滋味、汤色

评分高于其他 5 组, S3 香气更持久、更馥郁; 滋味更醇爽。综上, 得到最佳花果窈制红茶工艺参数为: 茉莉鲜花与佛手柑鲜果皮混合最佳比例为 1:3, 最佳干燥温度为 40 °C, 最佳花果量为 90%。

2.1.2 不同窈制工序下花果窈制红茶的感官审评结果分析

经过 2.1.1 得出最佳窈制工艺参数, 窈制加工制得花果窈制红茶(G1、G2、G3)以及茉莉红茶(F1、F2、F3)。通过花茶感官审评获得每个样品的 5 个感官因子, 包括滋味、香气、汤色、外形、叶底的分数, 其结果如图 1D 所示, G3 的香气、滋味审评得分最高, 主要表现为红茶的甜香与茉莉花鲜灵馥郁、佛手柑清新柑橘香交织, 形成“花香-果香-茶香”, 3 层递进结构; 滋味层次明显, 入口茉莉甜香充盈, 红茶甘润随后, 尾韵佛手柑清凉回甘, 整体性协调。F3 的茉莉花香馥郁持久, 滋味微涩, 回甘不足。此外, G1 表现

为果香浓郁, 涩味、酸味显著, F1 花香浓郁, 茶香显弱, 协调性差。而 G2、F2 因干燥温度高, 果香、花香表现较弱, 焦糖香明显, 且滋味厚度高, 平衡性和协调性较差。

2.2 花果窰制红茶不同窰制工序下其滋味成分含量的变化

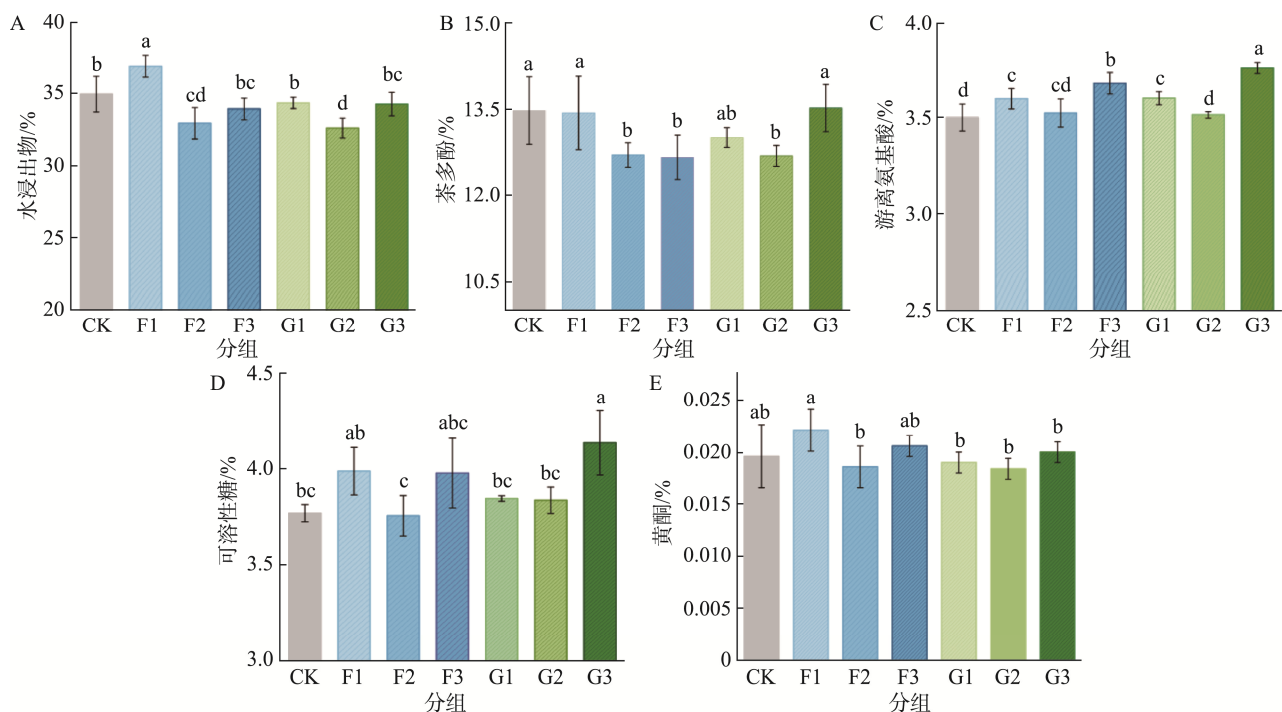
2.2.1 不同窰制工序中主要理化成分含量对花果窰制红茶滋味的形成

茶叶中化学成分的含量是花果窰制红茶口感感官品质的基础, 而窰制工艺、配花量以及配花种类等参数的变化对花果窰制红茶品质有显著的影响, 为此, 本研究检测了茉莉红茶与花果窰制红茶加工过程中不同阶段水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖及黄酮等含量变化。如图 2 所示, 茉莉红茶加工过程中 F1 (37.02%) 的水浸出物总量显著高于 F2 (33.03%) 和 F3 (34.02%), 而花果窰制红茶加工过程中 G1 (34.45%) 和 G3 (34.36%) 差异性较小 ($P>0.05$), 结果显示, 虽然茶坯在与茉莉花窰制后, 其水浸出物含量显著升高, 然而在 F2 中水浸出物含量下降趋势大于花果窰制红茶 G2 的水浸出物的下降趋势。此外, 本研究发现花果窰制红茶 G3 中可溶性糖含量 (4.13%) 高于 F3 可溶性糖含量 (3.97%) 和 CK 可溶性糖含量 (3.77%), 可溶性糖含量是提供茶汤甜度的重要成分^[10], 它可以抑制茶的苦味和涩味^[11], 在本研究的花茶感官审评结果中, G3 滋味回甘明显与 G3 可溶性糖含量高有紧密关联性。另外茶多酚是贡献茶叶滋味的

主体物质, 通常茶多酚在红茶加工过程中, 会经过多酚氧化酶氧化成茶黄素, 进一步氧化成茶红素和茶褐素^[12], 因此红茶中茶多酚含量少于其他茶类^[13], 在本研究中, 茉莉红茶加工过程中茶多酚含量逐渐呈下降趋势, $F3<G3$ ($P<0.05$), 而花果窰制红茶中 G3 茶多酚含量呈上升趋势, 与 F3 相反。游离氨基酸方面, 本研究通过检测得到花果窰制红茶中游离氨基酸总量在 3.51%~3.76% 之间, 而茉莉红茶中游离氨基酸含量为 3.52%~3.68%, 低于花果窰制红茶中总氨基酸含量。除此之外, 黄酮含量在花果窰制红茶和茉莉红茶变化趋势不一致, 黄酮含量变化跟佛手柑鲜果皮和茉莉鲜花含量有关, 由图 2E 所示, F1 黄酮含量略有上升, 而在 G1 中, 黄酮含量呈下降趋势, 经过干燥处理后, F2 的黄酮含量下降速度大于 G2, 后在提花阶段 F3、G3 均有升高。

2.2.2 不同窰制工序对花果窰制红茶各滋味成分含量的正交偏最小二乘判别分析

本研究采用高效液相色谱法, 测定佛手柑鲜果皮和不同含量的茉莉鲜花混合窰制加工制得不同香味的红茶样品, 并对各样品非挥发性代谢物进行正交偏最小二乘判别 (orthogonal partial least squares discrimination, OPLS-DA) 分析, 以 8 种儿茶素组分、咖啡碱、没食子酸、4 种 TF 组分和 18 种氨基酸组分为 X 变量, 以花果窰制红茶、茉莉红茶不同窰制工序为 Y 变量, 进行 OPLS-DA 分析。如图 3 所示, 本研究的模型拟合结果较优, 具有较优的累计解释度和预测效果



注: 图中柱子上方不同小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$), 组间未标注表示不存在显著性差异。CK. 红茶素坯; F1. 茉莉红茶窰制样; F2. 茉莉红茶干燥样; F3. 茉莉红茶提花样; G1. 花果窰制红茶窰制样; G2. 花果窰制红茶干燥样; G3. 花果窰制红茶提花样。图 4、6 同。

图 2 不同窰制工序花果窰制红茶理化成分含量的变化

Fig.2 Changes in the content of physical and chemical components of black tea made from flowers and fruits in different kilning processes

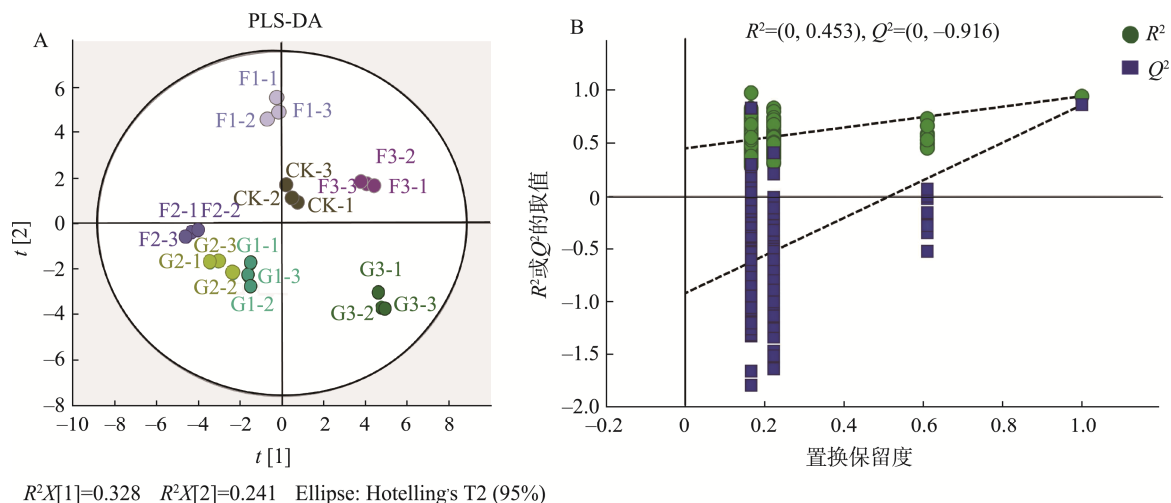


图3 不同窈制工序中主要滋味物质的 OPLS-DA 得分图(A)和置换检验图(B)

Fig.3 OPLS-DA score diagram (A) and displacement test diagram (B) of the main taste substances in different kilning processes

($R^2X=0.933$, $R^2Y=0.963$, $Q^2=0.873$)。根据图 3B, 200 置换检验表明, 截距 $R^2=(0.0, 0.453)$, $Q^2=(0.0, -0.916)$, Q^2 回归线与纵轴的相交点小于 0, 说明模型不存在过拟合, 模型验证有效。表明该结果可用于花果窈制红茶窈制过程中滋味成分含量的变化分析。其中, G3 分布在第四象限, G1 和 G2 分布在第三象限; F3 分布在第一象限, 而 F1 和 F2 分别分布在第二象限和第三象限; 另外, CK 分布在第一象限。综上所述, G1、G2、F2 的滋味成分含量差异较小, 而 G3、F1 的阶段滋味成分含量差异较大, 窈制工序中不同阶段的滋味物质得到较好的区分。

2.2.3 不同窈制工序加工过程中儿茶素、没食子酸咖啡碱组分含量的动态变化

儿茶素是组成茶多酚的主体成分^[14], 占茶多酚含量的 60%~80%^[15]。儿茶素、GA 和 CAF 等对茶汤滋味形成至关重要^[16-17]。儿茶素根据结构可分为非酯型儿茶素和酯型儿茶素^[18], 酯型儿茶素(EGCG、GCG、ECG)与茶汤的涩味有着密切关系^[19], 而非酯型儿茶素(EGC、儿茶素、EC)是形成茶汤苦味主要物质^[20], 由图 4 可知, 花果窈制红茶(G1、G2、G3)加工过程中, 总儿茶素比 CK 均呈现下降趋势, 共下降了 10.96%, 主要趋势为: G1 下降-G2 上升-G3 下降; 茉莉红茶下降了 4.42%, 然有趣的是茉莉红茶 F1 总儿茶素含量先上升了 10.88%, 后在 F2 阶段迅速下降 22.18%, 最后在 F3 结束后其含量恢复了 17.78%, 出现这种波动的原因可能是茉莉鲜花为茶坯提供的儿茶素类性质不稳定。花果窈制红茶的酯型儿茶素 EGCG、ECG 含量大多低于茉莉红茶和 CK, EGCG、ECG 在 G1 中先呈现下降, 后在 G2、G3 持续上升, 与茉莉红茶的变化趋势相反, 此外, GCG 在花果窈制红茶中呈平稳的上升趋势, 但在茉莉红茶中的变化明显。非酯型儿茶素总量在花果窈制红茶的变化为降-升-降趋势, 与茉莉红茶的趋势相反, 其中 EC 含量在 G1 下降了 7.47%, 在 F1 上升了 32.44%, EC 在茉莉红茶增加明显, 同样下降也明显,

在 F2 下降了 27.42%, 此外, EGC 没有显著差异, 儿茶素含量在花果窈制红茶和茉莉红茶都呈现下降趋势, 前者下降较平稳, 后者 F2 下降显著, 在 F3 略有上升, 非酯型儿茶素不仅对滋味有影响, 对茶红素的合成也至关重要, EGC 和 EC 分别与 GA 反应, 进而转化形成茶红素。GA 含量在茉莉红茶的 F1、F3 呈现增加趋势, 在 F2 略显下降, 相反, 在花果窈制红茶 G1 的 GA 含量最低, 经过 G2、G3 后持续上升, 但花果窈制红茶总 GA 含量低于 CK、茉莉红茶。CAF 在茶叶中占 2%~5%左右, 对中枢神经系统有刺激作用, 对茶汤的苦味起着关键作用, 也积极与儿茶素协同加剧茶汤苦涩味^[21-22], 花果窈制红茶总 CAF 含量少于茉莉红茶和 CK。

采用高效液相色谱技术对不同窈制比例的花果窈制红茶的儿茶素组分、TF 组分、没食子酸等 11 种滋味化合物进行定性定量分析。使用 SPSS 27.0 软件对样品 CK、茉莉红茶、花果窈制红茶的 11 种滋味化合物进行单因素方差分析, 分析样品间各物质含量是否存在显著性差异, 探究茉莉花、佛手柑等香科植物与‘保靖黄金茶 1 号’直条红茶窈制过程中各滋味物质含量的变化, 以便进一步了解花果窈制红茶化学成分与其滋味的关联性。

2.2.4 不同窈制工序加工过程中氨基酸组分含量差异性变化

氨基酸成分能抑制儿茶素形成的苦涩味。尤其是茶叶中的茶氨酸成分, 具有类似味精的鲜味, 能缓解茶的苦涩味, 增强茶汤的甜味^[23], 然而经研究发现不同氨基酸成分对茶叶滋味贡献不同, 主要呈鲜、甜、酸、苦、涩等 5 种味觉分类^[24], 本研究中, 根据图 5 所示, 在花果窈制红茶窈制加工过程中, 氨基酸总量呈现逐渐升高趋势, 由 1.55 mg/g (CK)增加到了 1.83 mg/g (G3); 茶氨酸、Asp、Glu 与茶叶的鲜味呈正相关($P<0.05$), 其中, 茶氨酸在 CK、F3、G3 等成品茶中无明显差异($P>0.05$), 而 Asp、Glu 含量在 F3、G3 有显著升高, 且 G3 含量高于 F3 含量。呈

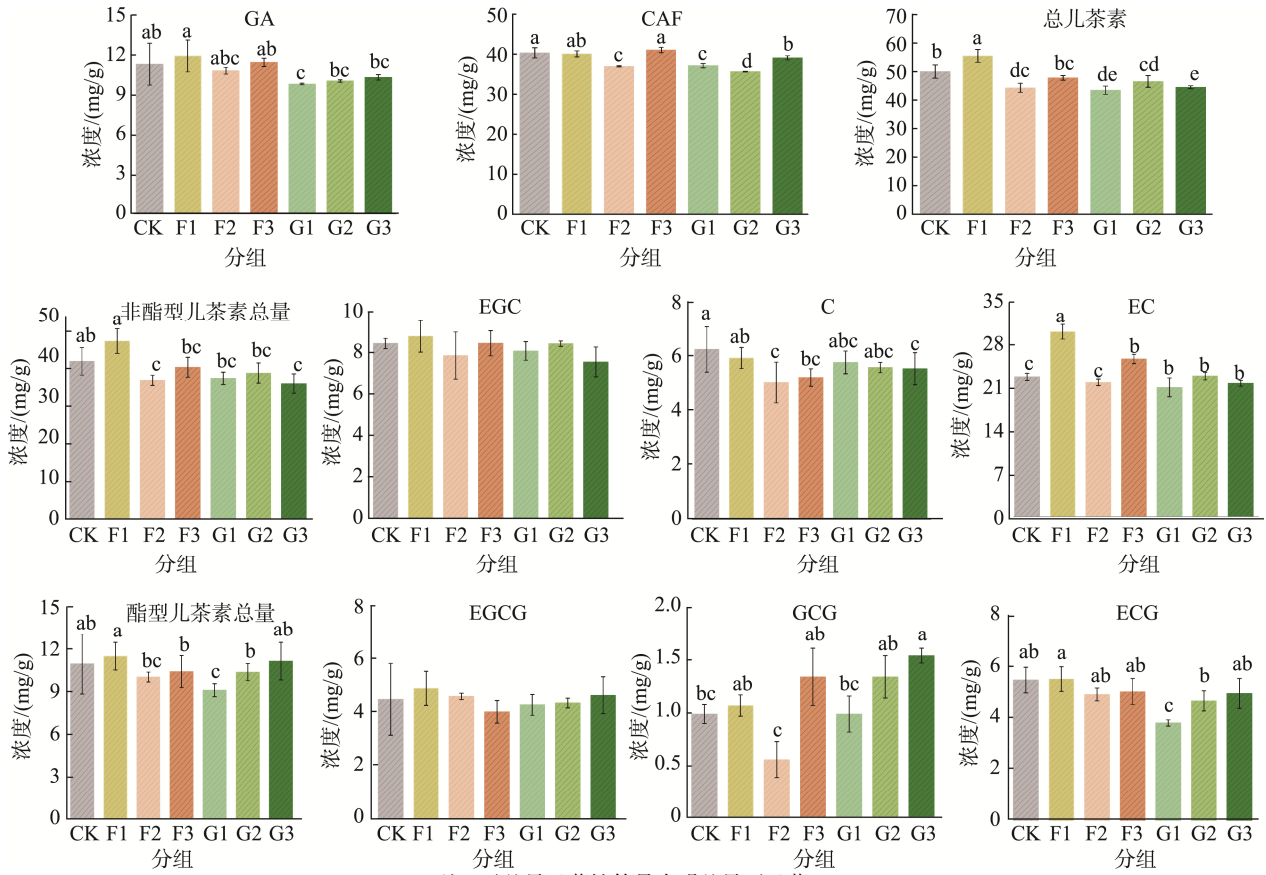


图 4 不同窈制工序加工过程中 GA、CAF、总儿茶素的含量变化

Fig.4 Dynamic changes in GA, CAF and total catechins during different scenting processes in flower-fruit-scented black tea production

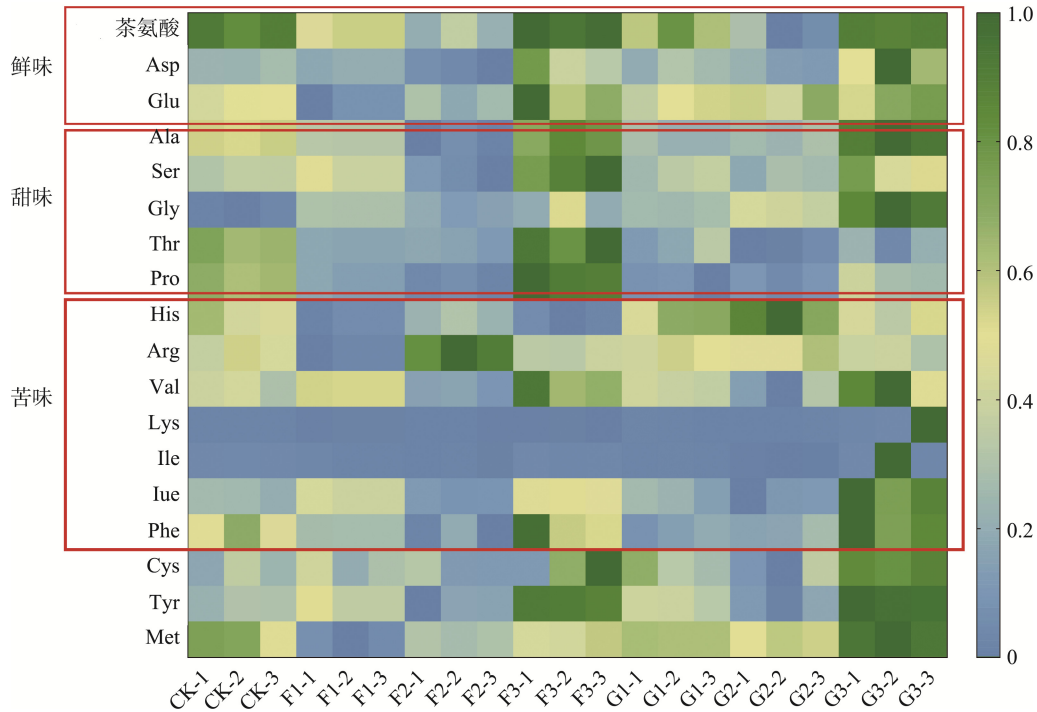


图 5 不同窈制工序氨基酸组分含量差异热图

Fig.5 Heat map of the difference in amino acid component content in different kilning processes

现甜味的 Ser、Thr、Gly、Ala、Pro 等在 G3 中含量最高, 其次是 F3, 而在 G1 和 G2 因为受到水分和温度的影响, 因此甜味氨基酸显著降低($P<0.05$)。此外, Val、Tyr、Phe 和 Iue、Ile、His 和 Arg 等苦味氨基酸含量表现为 $G3>F3>CK>F1>G1>F2>G2$, 虽然苦味氨基酸在 G3 中的含量最高, 但苦味氨基酸占 GC 总氨基酸的 21.6%、CK 总氨基酸的 22.2%和 F3 的 21.9%, 因此苦味氨基酸在花果窈制红茶中与对照组间没有明显差异($P>0.05$)。根据表 2 结果表明, 花果窈制红茶提花样品中甜味氨基酸含量最高, 鲜味氨基酸次之, 涩味氨基酸和苦味氨基酸相对含量较低, 这表明氨基酸组分对花果窈制红茶滋味可能主要表现在甜味和鲜味, 这与 SU 等^[25]研究一致。

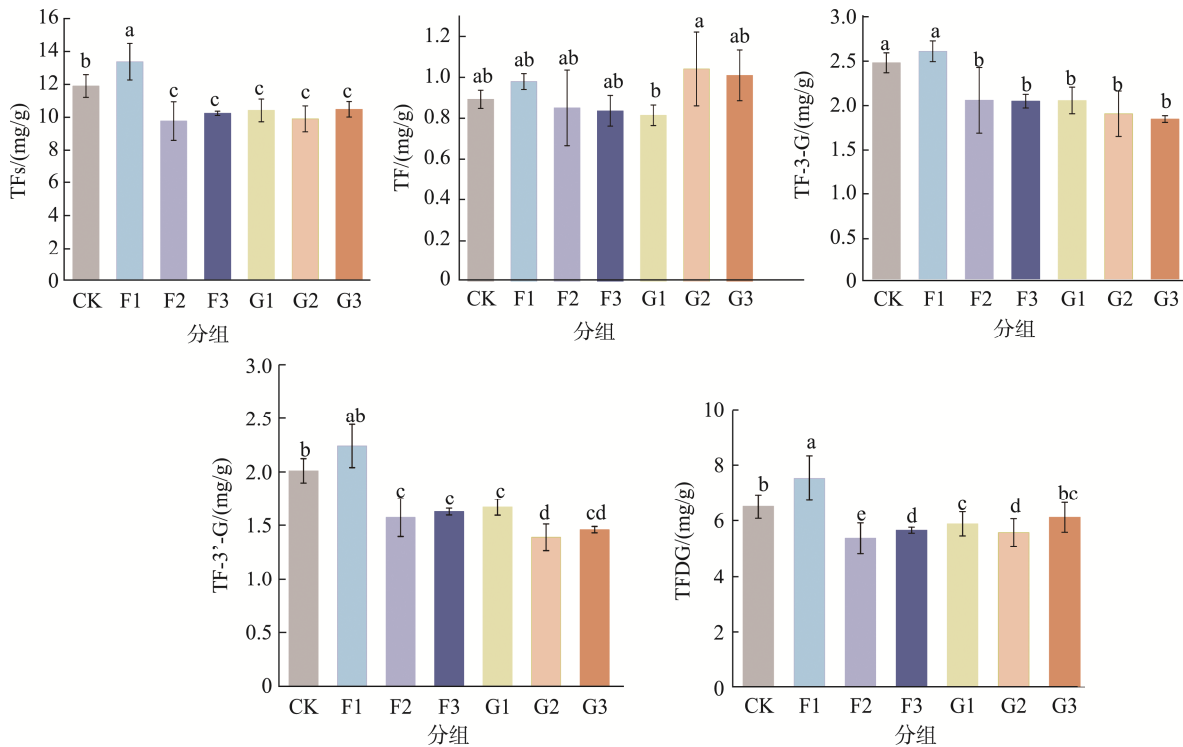
2.2.5 不同窈制工序加工过程中茶黄素组分含量动态变化

总茶黄素(TFs)主要存在于发酵茶中^[26], 是形成红茶汤色“金圈”的重要物质^[27], 如图 6 所示, TFs 在花果窈制红

茶和茉莉红茶两者都呈现下降的趋势, 花果窈制红茶加工过程中, TFs 从 CK 到 G3 下降了 1.42mg/g, 其中, 下降最明显的是 G2 阶段; 然而茉莉红茶 F1 的 TFs 含量增加了 1.47mg/g, 后在 F2 中下降了 2.13mg/g, 形成这趋势原因可能是茶叶受热后, TFs 进一步氧化生成茶红素, 造成 TFs 含量降低。TFs 的 4 个单体的变化趋势存在一定差异。TF-3-G、TF-3'-G 含量在花果窈制红茶加工过程中呈现下降的变化趋势, 而在茉莉红茶的加工过程中先增加后降低, 在 F1 中, TF-3-G、TF-3'-G 都呈上升趋势, 前者上升了 5.27%, 后者上升了 11.39%, 又在 F2 中显著下降, 到了 F3 后呈少量增加。与之相反的是, TF-3-G 含量在花果窈制红茶加工阶段持续下降, TF-3'-G 先下降后略有上升。TFDG 含量占 TF 总量的百分比最高, 在花果窈制红茶和茉莉红茶中呈下降趋势, 在茉莉红茶窈制加工过程中呈先升后降趋势, 在 F1

表 2 不同窈制工序制备花果窈制红茶主要呈味成分的 TAV
Table 2 TAV of the main flavor components of the black tea prepared by different kilning processes

滋味特性	滋味成分	阈值/(mg/L)	TAV						
			CK	F1	F2	F3	G1	G2	G3
苦味	EGCG	300	1.50	1.64	1.54	1.35	1.43	1.46	1.55
	ECG	200	2.76	2.78	2.48	2.54	1.93	2.36	2.50
	GCG	180	0.55	0.59	0.31	0.74	0.55	0.74	0.86
	儿茶素	290	2.16	2.05	1.74	1.80	1.99	1.93	1.91
	GA	140	8.01	8.45	7.66	8.11	6.95	7.11	7.31
	CAF	100	40.44	40.19	37.09	41.15	37.27	35.77	39.21
	Arg	4355	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Val	1950	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	His	7500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tyr	1090	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Lys	11700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ile	1190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Phe	2650	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
涩味	EGCG	600	0.75	0.82	0.77	0.67	0.71	0.72	0.77
	ECG	500	1.11	1.11	0.99	1.02	0.77	0.94	1.00
	GCG	180	0.55	0.59	0.31	0.74	0.55	0.74	0.85
	儿茶素	170	3.68	3.49	2.96	3.07	3.40	3.29	3.26
	茶氨酸	1050	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05
鲜味	Glu	147	0.07	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08
	茶氨酸	4200	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Asp	530	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
甜味	Ser	3150	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Thr	4760	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	Ala	710	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
酸味	GA	187	6.00	6.33	5.73	6.07	5.2	5.32	5.47
	Asp	530	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
	Glu	440	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.00	0.03



注: TFs: 总茶黄素; TF: 茶黄素单体; TF-3-G: 茶黄素-3-没食子酸酯; TF-3'-G: 茶黄素-3'-没食子酸酯; TFDG: 茶黄素-3,3'-双没食子酸酯。

图 6 花果窰制红茶不同窰制工序 TF 组分含量的变化

Fig.6 Changes in TF content in different stages of black tea made from flowers and fruits

阶段上升了 15.72%，后在 F2 结束后下降了 24.01%，而 TFDG 含量在花果窰制红茶 G1、G2 中逐渐下降，后经过 G3 后少量的增加。另外，TF 含量在 CK 和茉莉红茶中无明显变化 ($P>0.05$)，但 TF 含量在花果窰制红茶加工过程变化显著，其中，G1 含量随着茶坯含水量的增加而减少，随后干燥处理下，TF 含量受温度的影响又逐渐增加。花果窰制红茶、茉莉红茶窰制加工过程不同 TF 单体的变化趋势不一致可能是由于茉莉鲜花和佛手柑鲜果皮为茶坯提供水分含量高导致茶坯在不同湿热条件下，氧化程度不同所导致。

2.3 主要滋味成分贡献分析

茶叶的口感不仅受内含物质成分含量的影响，还需考虑 TAV 对滋味成分含量的贡献度；当 $TAV>1$ 时，表示该物质对茶汤滋味品质有显著贡献，当 TAV 越大，该物质对滋味的贡献度越大^[28]。本研究基于不同窰制工序制得 7 个茶样，茶样的各化学成分含量浓度与该成分的呈味阈值^[29-30]之比，取得各样品滋味贡献度。如表 2 可知，对茶汤呈现苦味特性的有咖啡碱、没食子酸、ECG、儿茶素、EGCG 等 $TAV>1$ ，咖啡碱 TAV 值最高，其次是没食子酸，这些物质在花果窰制红茶和茉莉红茶各阶段差异，咖啡碱在两者变现一致，都是先下降后上升，但 $G3<CK<F3$ ，咖啡碱含量因为茉莉鲜花和佛手柑鲜果皮混合窰制后有效减低，此外，没食子酸也呈现苦味，其中，TAV 在 G1 下降，后在 G2、G3 阶段有增加，但所呈现贡献值不高于 CK、F3。

其次，GCG 的 TAV 介于 0.31~0.86 之间，在花果窰制红茶提花后较高，是贡献茶汤苦味的次要物质；C、ECG、GCG、EGCG、茶氨酸在决定茶汤涩味强度方面起着至关重要的作用，其中，C 在各个茶样中 $TAV>1$ ，但随着花果窰制红茶加工过程的变化而变化， $G3<G2<G1<CK$ ，是茶汤涩味主要贡献物质，ECG 在 CK、F1、F3、G3 中 $TAV\geq 1$ ，在 F2、G1、G2 中 $TAV<1$ ，ECG 的 TAV 在 CK 中最高。此外，EGCG、GCG 的 TAV 处于 0.3~1.00 之间，这些物质的 TAV 在 G3 有增加，前者先下降后上升，后者持续上升。茶氨酸虽也呈现出涩味，但在本研究中变化不大，根据 5 个涩味活性化合物的整体贡献程度，发现添加佛手柑鲜果皮窰制后，TAV 有效减少。除了苦涩味外，还有对茶汤贡献呈鲜味和甜味的物质，由表 2 结果可知，贡献甜味和鲜味的物质，其 TAV 均小于 1，但花果窰制红茶的甜味氨基酸和鲜味氨基酸的 TAV 略高于茉莉红茶和 CK，没食子酸、谷氨酸、天冬氨酸除了对茶汤苦味和鲜味有贡献外，还能呈现出酸味，其中没食子酸 $TAV>1$ ，其 TAV 在花果窰制红茶和茉莉红茶两组茶中呈现方式有显著差异，在 G1 迅速下降，后在 G2 和 G3 又逐渐增加，但增加趋势低于 CK 和茉莉红茶。而茉莉红茶 GA 的 TAV 在 F1 迅速上升，在 F2 显著下降，经过 F3 后又逐渐增加，且 TAV 大于 CK。谷氨酸和天冬氨酸在本研究中 $TAV<1$ ，谷氨酸在 CK、F3、G3 差异较小，天冬氨酸 TAV 略显增加。综上所述，根据 TAV

结果分析可知, 制得花果窈制红茶茶汤的苦味、酸味、涩味呈现下降趋势, 与感官评价的结果一致。

3 讨论与结论

本研究以夏季‘保靖黄金茶1号’直条红茶为基坯, 探究茉莉鲜花与佛手柑鲜果皮混合窈制工艺对茶汤口感的影响机制, 在花果窈制红茶的不同加工阶段, 茶坯内化学成分含量呈现显著差异, 物质成分占比发生改变, 品质随之发生变化。为深入研究茶饮中的味觉成分, 通过花茶感官审评、可见分光光度计、高效液相色谱法等技术对茶样的物质成分检测分析发现: 在窈制→干燥→提花工序中, 花果窈制红茶的滋味特征呈现动态演变, 酸味与苦涩味于窈制阶段显著增强($P<0.05$), 甜味则在干燥阶段开始转化并于提花阶段达到峰值。总儿茶素、没食子酸及咖啡碱含量在花果窈制红茶提花过程中显著下降, 其协同作用有效降低了茶汤苦涩强度; 茶多酚在花果窈制红茶加工阶段呈“V”型变化趋势、在窈制和干燥阶段先下降, 后在提花阶段回升, 而游离氨基酸和可溶性糖含量持续积累, 游离氨基酸、可溶性糖含量上升有助于茶汤鲜味、甜味增加。其中 Ser、Thr、Ala、Pro、Gly 等呈甜味氨基酸含量在花果窈制过程呈持续上升趋势, 其终产品(G3)含量较原茶坯(CK)提升了 9.4%; Val、Lyr、Phe、Iuc、Ile、His、Arg 等苦味氨基酸在花果窈制红茶中呈现差异化演变规律, 其中 Ile、His 含量下降, Val、Lyr、Phe、Iuc、Arg 含量上升, 茶氨酸、Glu、Asp 含量在花果窈制红茶中呈现典型的升-降-回升三阶段变化趋势。另外, 形成茶汤苦涩味的咖啡碱、没食子酸及非酯型儿茶素含量在花果窈制红茶。形成茶汤苦涩味的咖啡碱、没食子酸、非酯型儿茶素含量在花果窈制红茶提花后终产品(G3)中均呈显著降低趋势($P<0.05$, 降幅分别为 3.04%、9.86%和 14.04%)。与之形成对比的是, 茉莉红茶终产品(F3)中咖啡碱和没食子酸含量未呈现统计学显著差异($P>0.05$), 而非酯型儿茶素含量变化趋势与 G3 组一致, 同样呈现显著降低趋势(降幅达 3.75%), 与赵国飞^[31]茉莉单窈变化趋势一致。酯型儿茶素总量在提花阶段(G3)未出现显著变化, 但在花果窈制阶段(G1)呈现显著下降趋势, 降幅达 16.89%。后续经干燥(G1)和提花(G3)处理后, 其含量有所回升。其中, GCG 和 ECG 在加工过程中变化最为显著: GCG 含量在整个加工过程中持续上升, 而 ECG 含量则先下降, 后经干燥(G1)和提花(G3)工艺处理后逐步回升。值得注意的是, GCG 含量在花果窈制红茶加工过程中上升了 55%, 在茉莉红茶中上升了 35%。由于 GCG 在儿茶素中占比较低, 因此其对花果窈制红茶和茉莉红茶涩味的影响较弱, 使得成品茶口感更为醇和。茶黄素是形成红茶茶汤的“金圈”的主要物质^[32], 花果窈制红茶在提花阶段(G3)的 TFs 含量呈现显著下降趋势。其中, TF-3-G 和

TF-3'-G 含量下降最为显著, 降幅分别达到 25.69%和 27.28%; TFDG 的降幅相对较小, 仅为 6.02%。值得注意的是, 基础 TF 含量在 G3 阶段未观察到显著变化。结合 TAV 分析结果显示, 在花果窈制红茶加工过程中, 与苦涩味密切相关的咖啡碱、没食子酸、ECG、儿茶素等物质的 TAV 值均呈现逐渐下降趋势。

茉莉鲜花和佛手柑鲜果皮混合与夏秋季‘保靖黄金茶1号’直条红茶窈制加工, 制得花果窈制红茶滋味成分的变化有效增加了茶汤甜味, 抑制了夏季红茶的苦味、涩味、酸味的强度, 在特定的窈制工艺加工制得“香甜果味”的新式茶饮特征。本研究后续将通过气相色谱联用仪和压汞技术对花果窈制红茶及窈制过程的样品进行检测, 探讨香气成分与茶坯孔隙的相关性, 以期为花果茶的窈制工艺提供理论依据。

参考文献

- [1] WANG PJ, GU MY, YANG WW, *et al.* High-resolution transcriptome and volatile assays provide insights into flower development and aroma formation in single-and double-petal jasmines (*Jasminum sambac*) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2022, 189: 115846.
- [2] 方秋萍. 茉莉在中国的传播及其影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2023.
FANG QP. A study of the spread of jasmine in China and its impact [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2023.
- [3] 钟兴刚, 宁静, 刘淑娟, 等. 保靖黄金茶主要化学成分初步分析研究[J]. *茶叶通讯*, 2008, 35(4): 27-29, 32.
ZHONG XG, NING J, LIU SJ, *et al.* Preliminary analysis of main chemical components of Baojing golden tea [J]. *Tea Communication*, 2008, 35(4): 27-29, 32.
- [4] 黄浩, 余鹏辉, 赵熙, 等. 不同季节‘保靖黄金茶1号’工夫红茶挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(12): 188-196.
HUANG H, YU PH, ZHAO X, *et al.* HS-SPME-GC-MS analysis of volatile components of ‘Baojing Golden Tea No.1’ Congfu black tea in different seasons [J]. *Food Science*, 2020, 41(12): 188-196.
- [5] 刘建军, 张金玉, 彭叶, 等. 不同光质摊青对夏秋茶树鲜叶挥发性物质及其绿茶品质影响研究[J]. *茶叶科学*, 2022, 42(4): 500-514.
LIU JJ, ZHANG JY, PENG Y, *et al.* Effect of different light quality on volatile compounds and green tea quality in fresh leaves of summer and autumn tea trees [J]. *Journal of Tea Science*, 2022, 42(4): 500-514.
- [6] 徐梦婷, 谷梦雅, 陈静, 等. 基于代谢组学的‘金牡丹’和‘金观音’高香红茶风味品质解析[J]. *食品科学*, 2024, 45(19): 150-161.
XU MT, GU MY, CHEN J, *et al.* Analysis of flavor quality of ‘Golden Peony’ and ‘Golden Guanyin’ aroma black tea based on metabolomics [J]. *Food Science*, 2024, 45(19): 150-161.
- [7] WANG J, ZHU Y, SHI J, *et al.* Discrimination and identification of aroma profiles and characterized odorants in citrus blend black tea with different citrus species [J]. *Molecules*, 2020, 25(18): 4208.
- [8] AN HM, OU XC, ZHANG YB, *et al.* Study on the key volatile compounds and aroma quality of jasmine tea with different scenting technology [J]. *Food Chemistry*, 2022, 385: 132718.

- [9] 安会敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶特征香气成分研究[J]. 茶叶科学, 2020, 40(2): 225–237.
AN HM, OU XC, XIONG YF, *et al.* Study on characteristic aroma components of jasmine tea [J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(2): 225–237.
- [10] 刘芷珊, 石玉涛, 肖银月, 等. 茶多糖研究进展与展望[J]. 中国茶叶加工, 2023(4): 65–73.
LIU ZS, SHI YT, XIAO KY, *et al.* Research progress and prospect of tea polysaccharides [J]. China Tea Processing, 2023(4): 65–73.
- [11] 郑淑琳, 羽观华, 罗盛财, 等. 不同武夷名丛鲜叶茶多糖组成分析及体外抗氧化活性比较研究[J]. 中国茶叶, 2024, 46(2): 19–27.
ZHENG SL, YU GH, LUO SC, *et al.* Composition analysis of polysaccharides and comparative antioxidant activity of different Wuyi mingcong fresh leaf tea [J]. China Tea, 2024, 46(2): 19–27.
- [12] LI M, DONG Y, KANG MJ, *et al.* Potential anti-hyperglycemic activity of black tea theaflavins through inhibiting α -amylase [J]. Food Chemistry: X, 2024, 22: 101296.
- [13] QU FF, ZHU XI, AI ZY, *et al.* Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 99: 112–118.
- [14] WANG K, XIAO Y, XIE N, *et al.* Effect of leaf grade on taste and aroma of shaken Hunan black tea [J]. Foods, 2023, 13(1): 42.
- [15] LIU C, LI J, LI H, *et al.* Differences in the quality of black tea (*Camellia sinensis* var. Yinghong No. 9) in different seasons and the underlying factors [J]. Food Chemistry: X, 2023, 20: 100998.
- [16] 胡静, 段波, 何至伟, 等. 川红工夫红茶加工工序对主要滋味物质及其品质形成的影响[J/OL]. 食品工业科技, 1-18. [2024-11-14]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024030102>
HU J, DUAN B, HE ZW, *et al.* Effect of chuanhong gongfu black tea processing process on the formation of main taste substances and their quality [J/OL]. Science and Technology of Food Industry, 1-18. [2024-12-23]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024030102>
- [17] HUANG R, XU CM. An overview of the perception and mitigation of astringency associated with phenolic compounds [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(1): 1036–1074.
- [18] LIN YS, WU SS, LIN JK, *et al.* Determination of tea polyphenols and caffeine in tea flowers (*Camellia sinensis*) and their hydroxyl radical scavenging and nitric oxide suppressing effects [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(4): 975–980.
- [19] HUANG D, CHEN X, TAN R, *et al.* A comprehensive metabolomics analysis of volatile and non-volatile compounds in matcha processed from different tea varieties [J]. Food Chemistry: X, 2024, 21: 101234.
- [20] BONGAERTS JHH, WANTLING E, STOKES JR, *et al.* Astringency of tea catechins: More than an oral lubrication tactile percept [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(4): 1984–1992.
- [21] ZHANG L, CAO Q, GRANATO D, *et al.* Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 101: 139–149.
- [22] WANG HJ, OU YW, YU Y, *et al.* Analysis of non-volatile and volatile metabolites reveals the influence of second-drying heat transfer methods on green tea quality [J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100354.
- [23] 陆宁, 宛晓春, 潘冬, 等. 茉莉花茶香气成分与品质之间关系的初步研究[J]. 食品科学, 2004(6): 93–97.
LU N, YUAN XC, PAN D, *et al.* A preliminary study on the relationship between aroma components and quality of jasmine tea [J]. Food Science, 2004(6): 93–97.
- [24] WANG K, XIAO YB, XIE NC, *et al.* Effect of leaf grade on taste and aroma of shaken Hunan black tea [J]. Foods, 2023, 13(1): 42.
- [25] SU S, LONG P, ZHANG Q, *et al.* Chemical sensory and biological variations of black tea under different drying temperatures [J]. Food Chemistry, 2024, 446: 138827.
- [26] 邵陈禹. 夏秋季遮阴影响茶叶品质的机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
SHAO CY. Study on the mechanism of shading in summer and autumn on tea quality [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.
- [27] 鲁倩, 熊梦钊, 周艳珠, 等. 5种不同干燥方式对云南工夫红茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6772–6780.
LU Q, XIONG MF, ZHOU YZ, *et al.* Effect of five different drying methods on the quality of Yunnan Gongfu black tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(20): 6772–6780.
- [28] 刘忠英, 杨婷, 戴宇樵, 等. 基于分子感官科学的茶叶滋味研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 337–345.
LIU ZY, YANG T, DAI YQ, *et al.* Research progress on tea taste based on molecular sensory science [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 337–345.
- [29] 许皓, 肖虹菲, 林家威, 等. 现代工艺六堡茶渥堆过程中茶汤色泽及主要滋味品质成分动态变化[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(11): 317–326.
XU H, XIAO HF, LING JW, *et al.* Dynamic changes of tea soup color and main taste quality components in the process of Liubao tea Wudui in modern technology [J]. Food and Fermentation Industry, 2024, 50(11): 317–326.
- [30] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
VAN GEMERT LJ. Compound fragrance threshold compilation (Second Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [31] 赵国飞. 茉莉红茶窈制工艺及其品质特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
ZHAO GF. Study on the making process and quality characteristics of jasmine black tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2016.
- [32] 王华杰, 滑金杰, 江用文, 等. 足火热传递方式对工夫红茶品质成分及色泽、滋味的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 148–157.
WANG HJ, HUA JJ, JIANG YW, *et al.* Effect of full heat transmission mode on quality components, color and taste of Gongfu black tea [J]. Food Science, 2020, 41(15): 148–157.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)