

工夫红茶加工过程中主要非挥发性成分的动态变化

邓 明¹ 陈 亮¹ 刘 安¹ 魏东宁¹ 吴文亮² 武小芬¹ 齐 慧¹

(1. 湖南省农业科学院核农业与中药材研究所, 湖南 长沙 410125;

2. 湖南省农业科学院茶叶研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要: [目的] 研究加工过程中江华苦茶 21-3 工夫红茶主要非挥发性化学成分的动态变化规律。[方法] 以江华苦茶 21-3 秋茶的一芽二叶鲜叶为原料, 采用液氮预冻和冷冻干燥获得不同加工阶段样品, 测定其水浸出物、茶多酚、儿茶素、茶三素、咖啡碱、茶氨酸、游离氨基酸、可溶性糖等成分的质量分数, 并对不同发酵时间处理后工夫红茶进行感官审评。[结果] 江华苦茶 21-3 工夫红茶的水浸出物质量分数在加工过程中逐渐降低, 待干燥工序后降至 (39.19 ± 0.30) g/100 g。茶多酚、儿茶素、茶氨酸在加工过程中质量分数也逐渐降低, 揉捻和发酵前期下降迅速; 茶黄素 (TFs) 和茶红素 (TRs) 的质量分数在揉捻和发酵前期迅速升高, 分别在发酵 2, 6 h 时达到最大值, 分别为 (1.35 ± 0.02) , (7.22 ± 0.54) g/100 g。游离氨基酸的质量分数在发酵 3 h 时达到最大, 随后逐步下降; 咖啡碱在整个加工过程中的质量分数较为稳定。感官审评结果显示, 发酵时间对工夫红茶的外形影响较小, 对内质的影响较显著。发酵 3~4 h 时, 江华苦茶 21-3 工夫红茶醇厚爽口、汤色红明, 品质较优。[结论] 江华苦茶 21-3 工夫红茶的最适发酵时间应控制在 3~4 h。

关键词: 江华苦茶 21-3; 工夫红茶; 加工过程; 非挥发性成分; 感官审评

Dynamic changes of major non-volatile components during Gongfu black tea processing

Deng Ming¹ Chen Liang¹ Liu An¹ Wei Dongning¹ Wu Wenliang² Wu Xiaofen¹ Qi Hui¹

(1. Hunan Institute of Nuclear Agriculture Sciences and Chinese Herbal Medicines, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 2. Hunan Institute of Tea Research, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410125, China)

Abstract: [Objective] To investigate the dynamic changes in the major non-volatile chemical components during the processing of Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea. [Methods] Fresh one-bud-two-leaf autumn tea leaves of Jianghua Kucha 21-3 were used as raw materials. Samples at different processing stages were obtained by liquid nitrogen pre-freezing and freeze-drying. The mass fractions of water extract, tea polyphenols, catechins, theaflavins (TFs), thearubigins (TRs), theabrownins (TBs), caffeine, theanine, free amino acids, and soluble sugars were determined. Additionally, sensory evaluation was conducted on Gongfu black tea processed with different fermentation durations. [Results] During processing, the mass fraction of water extract in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea gradually decreased, reaching (39.19 ± 0.30) g/100 g after drying. The mass fractions of tea polyphenols, catechins, and theanine also decreased progressively, with rapid declines occurring during rolling and the early stage of fermentation. In contrast, the mass fractions of TFs and TRs increased sharply during rolling and early fermentation, reaching maximum values at 2 h and 6 h of fermentation, respectively, at (1.35 ± 0.02) and (7.22 ± 0.54) g/100 g, respectively. Free amino acid mass fraction reached its maximum at 3 h of fermentation and then gradually decreased. Caffeine mass fraction remained relatively stable throughout the processing. Sensory evaluation results showed that fermentation time had a small effect on the appearance of Gongfu black tea, but a significant effect on the quality. At 3~4 h of fermentation, Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea had a thick and refreshing taste and a bright red soup color, with better quality.

基金项目: 湖南省重点研发计划(编号: 2023NK2040-3); 湖南省农业科技创新资金项目(编号: 2021CX39, 2024CX122)

通信作者: 武小芬(1987—), 女, 湖南省农业科学院核农业与中药材研究所副研究员, 博士。E-mail: wxf334@163.com

齐慧(1988—), 女, 湖南省农业科学院核农业与中药材研究所副研究员, 硕士。E-mail: qh881206@126.com

收稿日期: 2025-06-23 **改回日期:** 2026-03-03

引用格式: 邓明, 陈亮, 刘安, 等. 工夫红茶加工过程中主要非挥发性成分的动态变化[J]. 食品与机械, 2026, 42(7): 145-152.

Citation: Deng Ming, Chen Liang, Liu An, et al. Dynamic changes of major non-volatile components during Gongfu black tea processing [J]. Food & Machinery, 2026, 42(7): 145-152.

0.02) g/100 g and (7.22 ± 0.54) g/100 g. The mass fraction of free amino acids reached its maximum at 3 h of fermentation and then gradually decreased, while the mass fraction of caffeine remained relatively stable throughout the processing. Sensory evaluation revealed that fermentation duration had little effect on the appearance of Gongfu black tea but significantly influenced its internal quality. When fermented for 3~4 h, Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea exhibited a mellow and brisk taste with a bright red liquor, indicating superior quality. [Conclusion] The optimal fermentation time for Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea should be controlled at 3~4 h.

Keywords: Jianghua Kucha 21-3; Gongfu black tea; processing; non-volatile chemical components; sensory evaluation

红茶作为六大茶类之一,是世界上消费量最大的茶类,红茶生产与消费贸易总量占世界茶叶消费量的 78%^[1-2]。工夫红茶是一种典型的中国红茶,其制作工艺精细、品质优异,具有外形条索紧结、色泽乌润,香气浓郁、滋味醇厚,汤色红艳明亮等特点,深受消费者喜爱。

加工是红茶品质形成的关键,加工工序或条件会直接影响茶叶的茶多酚、茶色素、茶氨酸、咖啡碱、挥发性成分以及微生物代谢产物等,这些成分共同参与调节红茶的色、香、味和品质^[3-4]。江华苦茶 21-3,也称潇湘红 21-3,制成红茶时水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱质量分数分别为 43.61%, 13.75%, 2.93%, 4.57%^[5]。储叶作为国家审定的无性系茶树良种,是中国红茶领域尤其是工夫红茶体系中的重要品质对照标杆。李赛君等^[6]研究发现,潇湘红 21-3 春夏秋茶中的氨基酸含量均与储叶齐相当,而茶多酚含量显著高于储叶齐。以夏季茶为例,1986—1989 年这 4 年潇湘红 21-3 夏季茶茶多酚质量分数的平均值比储叶齐高 5.17%,这些都证明了江华苦茶 21-3 具备典型的优质红茶品种特性。然而,关于江华苦茶 21-3 工夫红茶加工过程中各工序对其非挥发性化学成分的变化鲜有报道。研究拟以江华苦茶 21-3 一芽二叶秋茶鲜叶为原料,采用液氮预冻和冷冻干燥方式对加工过程中各阶段茶叶进行固样,并对其非挥发性化学成分的变化规律进行分析,以期为江华苦茶 21-3 工夫红茶加工的工艺参数优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

江华苦茶 21-3:一芽二叶,2020 年 9 月采摘自湖南省茶叶研究所高桥试验基地;

乙酸乙酯、浓硫酸、蒽酮、正丁醇、草酸、无水乙醇、碳酸钠、无水葡萄糖、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、水合茚三酮、碳酸氢钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

福林酚:上海源叶生物科技有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺、甲醇、乙腈:色谱纯,德国默克集团;

三氟乙酸:色谱纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

甲酸、冰乙酸:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

咖啡碱(CAF)、茶多酚(TPs)、没食子酸(GA)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表没食

子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、茶黄素(TFs)、茶红素(TRs)、茶褐素(TBs)、茶黄素单体(TF1)、茶黄素-3-没食子酸(TF2a)、茶黄素-3'-没食子酸酯(TF2b)、茶黄素-3,3'-没食子酸酯(TF3)标准品:纯度 $\geq 98\%$,成都曼斯特生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

揉捻机:CR-25 型,浙江上洋机械有限公司;

茶叶提香机:6CTH-6 型,浙江上洋机械有限公司;

培养箱:LRH-400-GSI 型,韶关市泰宏医疗器械有限公司;

茶叶烘干机:LY-6CHZ-8B 型,福建佳友茶叶机械智能科技有限公司;

离心机:TG16G 型,湖南凯达科学仪器有限公司;

超低温冰箱:MDF-86V34011 型,安徽中科都菱商用电器股份有限公司;

真空冷冻干燥机:SCIENTZ-10N 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:GZX-9240 型,上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;

紫外可见分光光度计:BlueStar A 型,北京莱伯泰科仪器股份有限公司;

高效液相色谱:UltiMate 3000 型,赛默飞世尔科技公司;

去离子水制备机:Eco-S15 型,上海和泰仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 红茶制作及液氮固样

(1) 红茶制作:红茶制作主要分为茶叶采样、萎凋、揉捻、发酵和干燥 5 个阶段。茶园采摘鲜叶,于竹筛上摊薄(厚度 2~3 cm)置于 21~24 °C 环境条件下自然萎凋至茶叶含水量为 62%~63%(约 20 h),采用揉捻机进行茶叶揉捻操作,按轻一重一轻的顺序,持续揉捻 60 min。揉捻完成后,在茶叶表面盖湿布,再放入人工气候箱中进行发酵,发酵室温度 30 °C,相对湿度 $> 95\%$,发酵时间 1~8 h。发酵完成后,茶叶先用茶叶提香机于 120 °C 下干燥 20 min,摊凉,再于茶叶烘干机中 90 °C 烘 50 min 至茶叶样足干。

(2) 液氮固样:分别取红茶加工过程中各工序(鲜叶采摘、萎凋、揉捻、发酵和干燥)完成后的茶叶样品 40~

50 g,立即置于液氮罐中,运回实验室后转移至超低温冰箱(-80°C)中贮藏备用48 h后,采用真空冷冻干燥机对各加工阶段茶叶样品进行冷冻干燥(冷阱温度 $<-45^{\circ}\text{C}$,真空度 $<15\text{ Pa}$,成品水分含量 $<5\%$),再采用研钵将各阶段样品磨碎,过40目筛,收集茶样粉末(粒径 $\leq 0.425\text{ mm}$),于 -80°C 下贮藏备用^[7]。

1.3.2 茶叶化学成分分析

- (1) 水分:按 GB 5009.3—2016 执行。
- (2) 水浸出物:按 GB/T 8305—2013 执行。
- (3) 茶多酚:按 GB/T 8313—2018 执行。
- (4) 没食子酸、咖啡碱、儿茶素:样品前处理按 GB/T 8313—2018 执行。样品检测参照卢丹敏等^[8]的方法。
- (5) 茶黄素:样品前处理按 GB/T 8313—2018 执行。样品检测参照 Wu 等^[9]的方法。
- (6) 茶红素和茶褐素:采用系统分析法^[10]。
- (7) 游离氨基酸总量:按 GB/T 8314—2013 执行。
- (8) 茶可溶性糖:采用蒽酮比色法^[11]。

1.3.3 工夫红茶感官评价 参照 GB/T 23776—2018 和 GB/T 13738.2—2017 对江华苦茶 21-3 工夫红茶进行感官评价。

(1) 外形评价:取代表性茶样 100~200 g,置于评茶盘中,双手握住茶盘对角,用回旋筛转法,使茶样按粗细、长短、大小、整碎顺序分层并顺势收于评茶盘中间呈圆馒头形,根据上层、中层、下层,按照条索、整碎、净度、色泽 4 大类审评内容,用目测、手感等方法,通过翻动茶叶、调换位置,反复察看比较外形。

(2) 内质评价:取代表性茶样 3.0 g,按照料液比 1:50 (g/mL) 进行冲泡,置于相应的评茶杯中,注满沸水、加盖,冲泡 5 min 后,滤出茶汤,留叶底于杯中按照汤色、香气、滋味、叶底的顺序逐项审评。

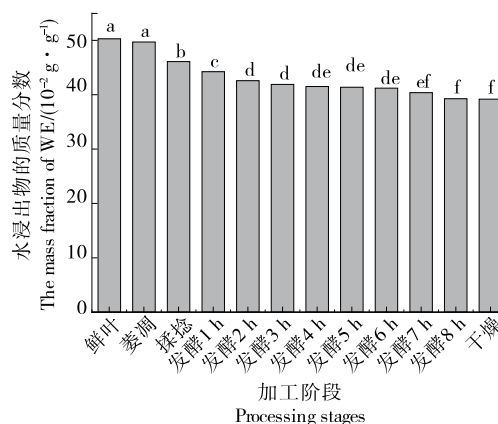
1.4 数据处理

所有试验均进行 3 次重复,采用 SPSS 23.0 进行单因素方差分析 (Duncan),采用 Microsoft Excel 2016 和 Origin 2019 进行数据处理和图表制作。

2 结果与分析

2.1 水浸出物质量分数的变化

江华苦茶 21-3 工夫红茶不同加工阶段茶样中水浸出物 (WE) 的质量分数如图 1 所示,其中鲜叶 WE 质量分数最高,为 $(50.29 \pm 0.70)\text{ g}/100\text{ g}$,萎凋处理后的茶样与鲜叶之间 WE 含量无显著差异。经揉捻处理后茶样中的 WE 质量分数较鲜叶显著下降,下降比例为 8.33%。随着发酵处理时间的延长,茶样中 WE 含量呈逐渐降低趋势,发酵 1~8 h,茶样 WE 的质量分数较鲜叶下降了 12.01%~21.92%。干燥处理后茶叶中 WE 质量分数为 $(39.19 \pm 0.30)\text{ g}/100\text{ g}$ (图 1),远高于 GB/T 13738.2—2017 中对中



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 江华苦茶 21-3 工夫红茶加工过程中加工阶段的水浸出物质量分数

Figure 1 Mass fractions of water extracts in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea during processing

小叶种工夫红茶特级、一级工夫红茶的 WE 质量分数 $\geq 32\text{ g}/100\text{ g}$ 的要求。

2.2 茶多酚及儿茶素质量分数的变化

工夫红茶加工过程中,多酚类物质的变化是形成红茶独特香气、滋味、色泽、营养和生物学特性的关键^[12],其中儿茶素类是 TP 的主体物质,也是红茶 TF 和 TR 的前体物质,直接影响红茶的汤色、滋味和香气^[13];GA 也参与红茶香气和滋味的形成,适量的 GA 可以赋予红茶醇厚、甘爽的口感^[14]。江华苦茶 21-3 工夫红茶加工过程中 GA、TP 和 6 种儿茶素变化如图 2 所示,从整体趋势来看,GA、TP 和儿茶素总量 (TAC) 的质量分数均呈先增加后降低的变化趋势,其中 GA 的质量分数在揉捻过程中急剧上升,发酵 1 h 时达到最大值 $(0.33 \pm 0.01)\text{ g}/100\text{ g}$ 。TPs、TAC、EGCG、GCG、ECG 以及酯型儿茶素总量 (TETC) 的质量分数均在萎凋处理后小幅上升。这与余鹏辉等^[15]对保靖黄金茶 1 号工夫红茶的研究结果相似,推测可能是由于萎凋后期细胞区室化功能改变,导致结合态多酚发生水解或游离所致^[16]。揉捻过程结束后,TAC、TETC、EGCG、ECG 的质量分数迅速下降,降幅分别达 33.99%, 35.61%, 38.62%, 28.35%, 原因是揉捻造成茶叶细胞壁和细胞膜的机械性损伤,导致儿茶素与胞内的多酚氧化酶等充分接触,在氧气的作用下催化儿茶素氧化或降解^[17]。随着发酵时间的延长,TPs、TAC、EGCG 和 ECG 的质量分数均呈逐渐降低趋势,待干燥处理后茶样中以上 4 种组分的质量分数分别较鲜叶下降 52.80%, 88.59%, 94.70%, 84.14%。3 种简单儿茶素 EGC、EC 和 C 的质量分数的变化趋势并不相同,其中 C 与 GA 的趋势基本一致,都是在揉捻和发酵前期呈升高趋势,随后逐渐降低,这也是由于揉捻过程中破坏了茶鲜叶细胞结构、胞内酶系与 C 充分

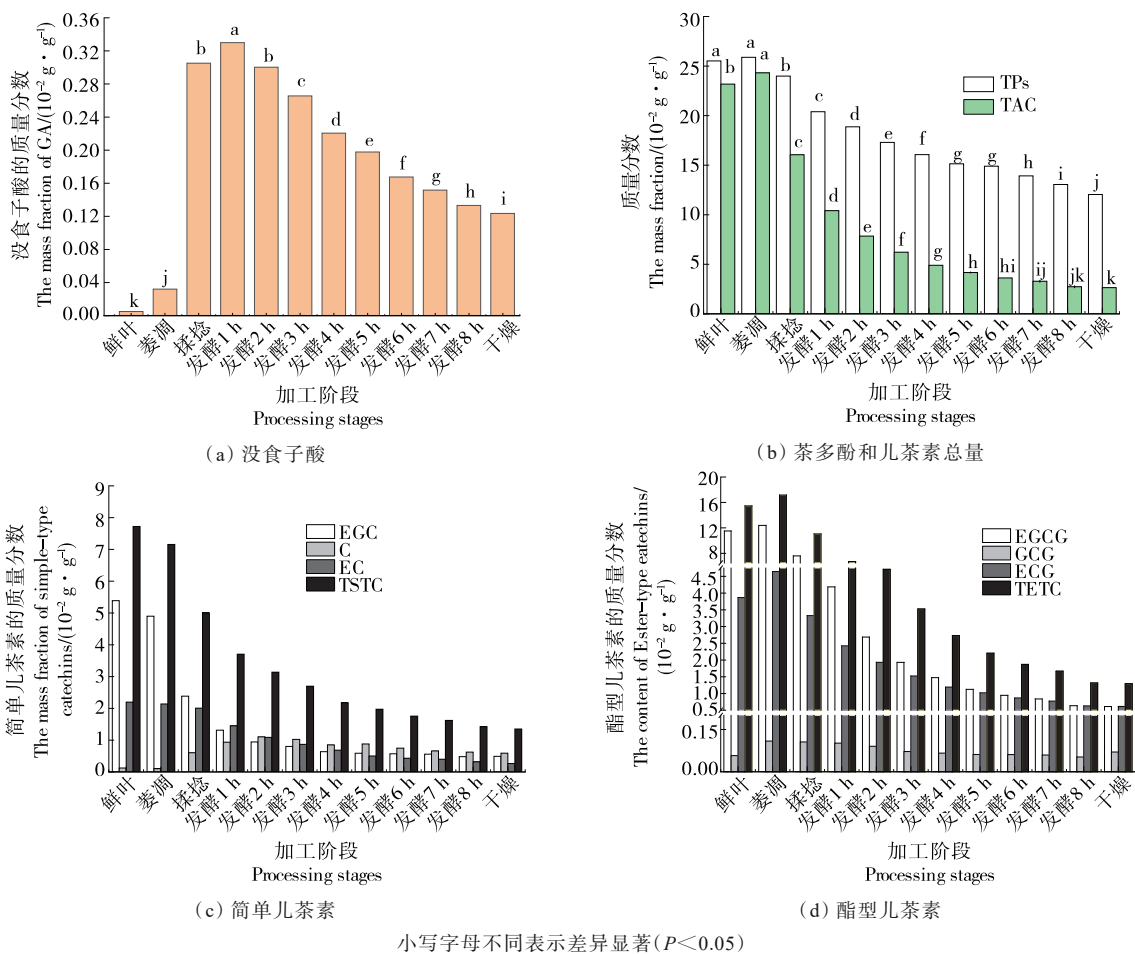


图2 江华苦茶21-3工夫红茶加工阶段的多酚类物质的质量分数

Figure 2 Mass fractions of polyphenols in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea during processing

接触;另外,酯型儿茶素EGCG和ECG氧化稳定性差,在揉捻和发酵前期迅速氧化释放没食子基团和C,使得GA和C的质量分数升高^[18-19]。C的质量分数在发酵2 h后达到峰值,为 (1.11 ± 0.02) g/100 g,较鲜叶增加了7.94倍。除C外,EGC、EC和简单型儿茶素总量(TSTC)的质量分数均在加工过程中减少,且随着加工步骤和发酵时间的延长而逐渐降低,其中萎凋和揉捻处理的影响最大,其原因是作为茶鲜叶中含量丰富的多酚类物质,C在多酚氧化酶和过氧化物酶的作用下会迅速氧化形成二聚体、低聚体和多聚物,从而导致其质量分数大幅降低^[20]。

2.3 茶色素质量分数的变化

茶色素是茶叶中一类重要的呈色物质,也是茶叶发挥健康功效的关键活性成分之一。茶色素主要指茶叶中的多酚类物质经过氧化聚合反应后形成的水溶性色素,伴随着发酵茶加工过程而产生和积累,主要包括成茶黄素、茶红素和茶褐素3类^[21]。江华苦茶21-3工夫红茶加工过程中茶色素类物质的变化如图3所示,由图3(a)可知,在工夫红茶加工过程中TFs的质量分数在揉捻阶段迅

速升高,在发酵2 h时达到最大值,为 (1.35 ± 0.02) g/100 g,随后呈逐渐降低趋势;TRs的质量分数在萎凋、揉捻至发酵前6 h呈逐渐增加趋势,发酵6 h茶样中TRs的质量分数达到最大值随后下降,干燥后茶叶中TRs的质量分数又有所增加;TBs的质量分数在整个加工过程中均呈增加趋势,干燥后的茶样中TBs的质量分数达到 (10.17 ± 0.10) g/100 g。江华苦茶21-3工夫红茶加工过程中茶色素类物质的变化规律与Stodt等^[22]的研究结果一致,即TFs的质量分数在工夫红茶加工初始阶段迅速升高,达到最大值后下降,TRs的质量分数达到最大值的时间相对较晚,TBs的质量分数则在发酵过程中一直呈增加趋势,可能是TFs和TRs作为工夫红茶加工的中间产物,随着发酵时间的延长会逐渐转化为TBs等高分子物质。因此,适度的加工是保证工夫红茶品质的关键^[23]。结合图2(b)和图3(a),发现在揉捻过程结束后,伴随着儿茶素总量质量分数的大幅下降,茶色素的质量分数呈现大幅提升,原因是儿茶素类是形成茶色素的重要前体物质,其在茶叶加工过程中通过包括酶促反应在内的一系列反应转化为茶色素^[20]。

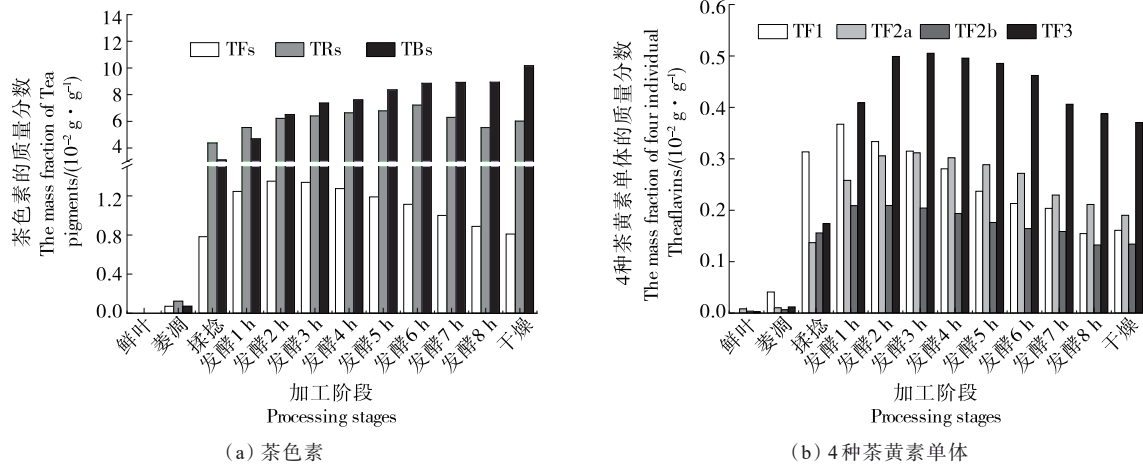


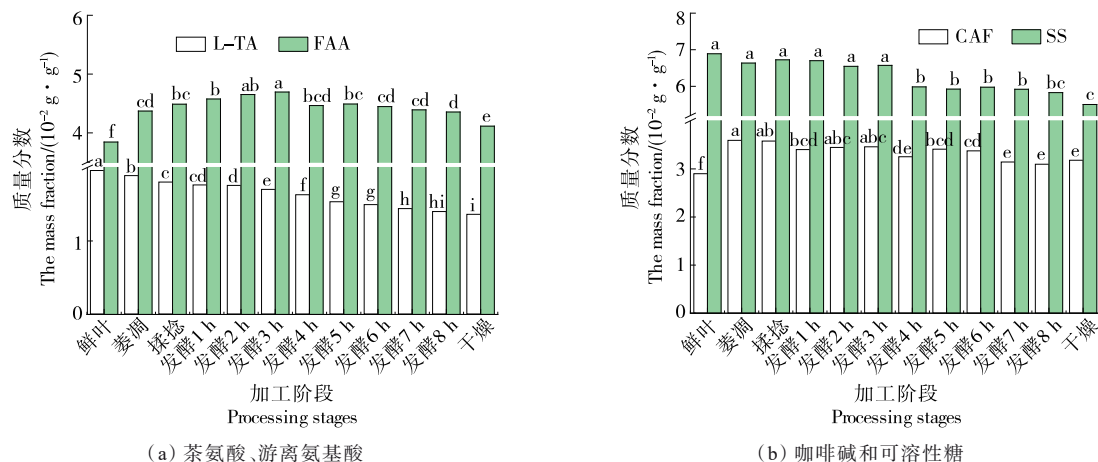
图3 江华苦茶21-3工夫红茶加工阶段的茶色素类物质的质量分数

Figure 3 Mass fractions of tea pigments in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea during processing

茶黄素类物质主要是由儿茶素及其衍生物在多酚氧化酶(PPO)的催化作用下氧化缩合而成,具有苯骞卓酚酮结构的一类化合物的总称^[24]。目前,红茶中已发现4种质量分数较高的茶黄素组分(即茶黄素单体物质),分别是TF1、TF2a、TF2b和TF3^[25]。江华苦茶21-3工夫红茶中4种茶黄素单体的质量分数变化如图3(b)所示,TF1、TF2a、TF2b和TF3的质量分数均呈先增加后降低的趋势,其中TF1的质量分数在发酵1h时达到最大值,为 $(0.37 \pm 0.01) \text{ g}/100 \text{ g}$;TF2b的质量分数在发酵2h时达到最大值,为 $(0.21 \pm 0.01) \text{ g}/100 \text{ g}$;TF2a和TF3的质量分数均在发酵3h达到最大值,分别为 (0.31 ± 0.02) , $(0.51 \pm 0.01) \text{ g}/100 \text{ g}$ 。蔡吓强等^[26]研究发现,茶黄素的质量分数与汤色审评得分之间存在显著相关性,特别是茶黄素单体TF1、TF2a和TF2b,其质量分数与汤色审评得分之间的相关系数均接近0.9。由此推断,发酵3~4h的江华苦茶21-3工夫红茶的汤色较优。

2.4 其他化学成分变化

除多酚类物质、茶色素外,红茶品质还与茶氨酸(L-TA)、游离氨基酸(FAA)、CAF及可溶性糖(SS)这类物质重要的滋味和活性物质有着紧密联系,L-TA能抑制苦味,改善红茶的口感;FAA使红茶呈现鲜甜味;CAF是红茶中苦味的重要呈味物质;SS能够缓解咖啡碱呈现的苦味^[27-28]。由图4(a)可知,江华苦茶21-3工夫红茶的鲜叶中L-TA质量分数为 $(1.96 \pm 0.02) \text{ g}/100 \text{ g}$,伴随着加工过程的进行而逐步降低,待干燥处理后降至 $(1.36 \pm 0.02) \text{ g}/100 \text{ g}$,降幅为30.54%,这主要归因于红茶加工过程中的酶促反应和物理损失^[29]。FAA的质量分数在萎凋、揉捻至发酵3h时均逐渐增加,发酵3h达到最大值 $(4.69 \pm 0.03) \text{ g}/100 \text{ g}$,随后其质量分数逐步下降。原因是在萎凋至发酵初期,蛋白质会发生降解,FAA的质量分数会增加,而随着发酵的进行和干燥处理,FAA会进一步分解、转化或挥发,导致其质量分数的下降^[30]。由图4(b)可知,整体来说,在江华苦



(a) 茶氨酸、游离氨基酸

(b) 咖啡碱和可溶性糖

图4 江华苦茶21-3工夫红茶加工阶段的其他非挥发性成分的质量分数

Figure 4 Mass fractions of other non-volatile components in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea during processing

茶 21-3 工夫红茶的加工过程中,CAF 的质量分数相对稳定,在鲜叶中的 CAF 的质量分数为 (2.90 ± 0.12) g/100 g,在干燥处理后茶叶中的 CAF 的质量分数为 (3.17 ± 0.08) g/100 g。SS 质量分数的变化分为两个阶段,在萎凋、揉捻和发酵前 3 h 差异不显著 $(6.55 \sim 6.88)$ g/100 g,发酵 4 h 后其质量分数显著降低,较鲜叶降低了 13.15%;但发酵 4 h 至干燥阶段 SS 的质量分数差异也较小 $(5.50 \sim 5.98)$ g/100 g。发酵时间为 3 h 时,FAA、SS 的质量分数处于较高水平,此为江华苦茶 21-3 工夫红茶鲜甜滋味的形成提供了有利的物质基础。

2.5 江华苦茶 21-3 工夫红茶加工过程中非挥发性化学成分变化规律

工夫红茶加工包括萎凋、揉捻、发酵和干燥 4 个工序,每个工序对红茶品质都有重要影响,是红茶品质形成的关键^[31]。红茶中的主要滋味物质在不同的加工工序发生

不同的变化,如图 5 所示,加工过程中江华苦茶 21-3 工夫红茶滋味物质主要变化规律可归纳为 3 类:第一类组分在加工过程中其质量分数先增加后又呈下降趋势,主要包括 TRs、TFs、TF1、TF2a、TF2b、TF3、FAA、GA、C、GCG、CAF;第二类物质在加工过程中其质量分数逐渐下降,主要有 WE、SS、TPs、TAC、TSTC、EC、EGC、TETC、ECG、EGCG;第三类物质 TBs 在加工过程中其质量分数逐渐增加。茶色素类物质,特别是 TFs 和 TRs 是评价工夫红茶品质的关键因子,从加工过程中主要非挥发性成分变化的热图分析发现,发酵时间控制在 3~4 h,此时茶样中 C 的氧化比较充分,氧化率达到 73.17%~79.77%,质量分数为 4.91~6.22 g/100 g。在此条件下,江华苦茶 21-3 工夫红茶中的 TFs、FAA 和 WE 的质量分数均维持在较高水平,分别为 1.27~1.34, 4.46~4.69, 41.52~41.90 g/100 g,此时,TRs 的质量分数为 6.40~6.64 g/100 g。

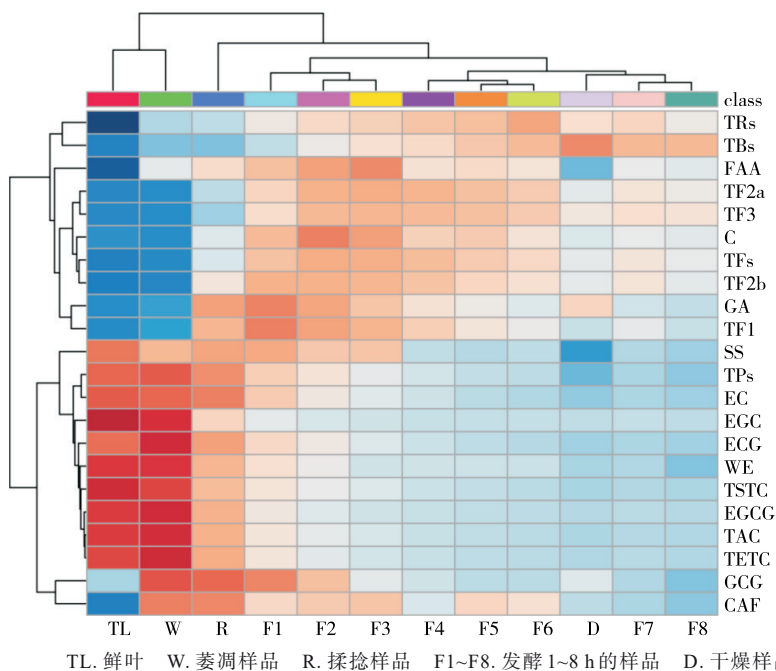


图 5 江华苦茶 21-3 工夫红茶加工阶段的主要非挥发性成分的质量分数变化热图分析

Figure 5 Heatmap analysis of mass fraction changes of main non-volatile components in Jianghua Kucha 21-3 Gongfu black tea during processing

2.6 发酵时间对江华苦茶 21-3 工夫红茶感官品质的影响

由表 1 可知,发酵时间对江华苦茶 21-3 工夫红茶的外形影响较小,原因在于工夫红茶的外形主要与制茶原材料、揉捻过程等直接相关。但是发酵时间对工夫红茶内质有较显著的影响,主要体现在汤色和滋味方面,综合内质评价的 4 个方面(香气、滋味、汤色和叶底),发酵时间为 3~4 h 时,江华苦茶 21-3 工夫红茶的品质最好,证实了 2.3 部分的推断。刘忠英等^[32]将茶叶滋味细分为 5 类,包括苦、涩、鲜、甜、酸。有研究^[10,33]表明,TFs 使红茶具有

鲜、爽、涩的味道,影响茶汤的亮度;TRs 是红茶味浓、味强的主要成分,使茶汤呈现红色;TBs 会使茶汤呈深棕色,口感平淡。结合图 3(a)的结果,TRs 的质量分数随着发酵时间的延长呈先增加后降低的趋势,在发酵 6 h 时达到最大;TFs 的质量分数在发酵 2 h 达到峰值;TBs 的质量分数伴随发酵时间的延长持续增加,在三者的共同作用下,发酵 3~4 h 时,TFs、TRs 和 TBs 三者的比例最适宜,此时江华苦茶 21-3 工夫红茶的滋味、汤色较其他发酵时间更佳。

表 1 不同发酵时间下江华苦茶 21-3 工夫红茶的感官品质

Table 1 Sensory quality of Jianghua Kuchha 21-3 Gongou black tea under different fermentation durations

项目	发酵时间				
	2 h	3 h	4 h	6 h	8 h
条索	紧细有锋苗	紧细有锋苗	紧细有锋苗	紧细有锋苗	紧细有锋苗
整碎	匀整	匀整	匀整	匀整	匀整
净度	净稍含嫩茎	净稍含嫩茎	净稍含嫩茎	净稍含嫩茎	净稍含嫩茎
色泽	乌润尚	乌润尚	乌润尚	乌润尚	乌润尚
香气	甜香	甜香	甜香	甜香	纯正
滋味	醇和	醇厚爽口	醇厚爽口	醇和尚爽	醇和
汤色	尚红	红明	红明	红尚明	暗红
叶底	尚匀尚红	嫩匀红尚亮	嫩匀红尚亮	嫩匀红尚亮	尚匀尚红

3 结论

江华苦茶 21-3 工夫红茶主要非挥发性化学成分在加工过程中变化各异,水浸出物、可溶性糖、茶多酚、儿茶素总量、表儿茶素、表没食子儿茶素、表儿茶素没食子酸酯和表没食子儿茶素没食子酸酯的质量分数在加工过程中逐渐降低,没食子酸、儿茶素、游离氨基酸的质量分数在揉捻和发酵前期呈升高趋势随后逐渐降低。茶黄素的质量分数在揉捻阶段迅速升高,发酵 2 h 达到最大值 1.35 g/100 g,茶红素的质量分数在发酵 6 h 达到最大值 7.22 g/100 g,茶褐素的质量分数随着加工过程延伸而逐渐增加,在干燥处理后达最大值 10.17 g/100 g。分析江华苦茶 21-3 工夫红茶加工过程中主要非挥发性成分变化规律,结合感官审评结果,建议江华苦茶 21-3 工夫红茶发酵时间控制在 3~4 h,此时影响江华苦茶 21-3 工夫红茶品质的关键因子(如茶黄素、茶红素、游离氨基酸、可溶性糖等)均处于较好的水平。

参考文献

[1] Yu P H, Huang H, Zhao X, et al. Dynamic variation of amino acid content during black tea processing: a review[J]. Food Reviews International, 2023, 39(7): 3 970-3 983.

[2] Hayat K, Iqbal H, Malik U, et al. Tea and its consumption: benefits and risks[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(7): 939-954.

[3] Aaqil M, Peng C X, Kamal A, et al. Tea harvesting and processing techniques and its effect on phytochemical profile and final quality of black tea: a review[J]. Foods, 2023, 12(24): 4 467.

[4] Lu L, Liu J X, Zhang W N, et al. Key factors of quality formation in Wuyi black tea during processing timing[J]. Foods, 2024, 13(9): 1 373.

[5] 黎娜, 黄怀生, 钟兴刚, 等. 改进工艺条件下茶树品种潇湘红 21-3 的制茶品质分析[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(3): 427-432.

Li N, Huang H S, Zhong X G, et al. Analysis of tea quality of Xiaoxianghong 21-3 under the condition of improved technology[J]. Tea Communication, 2020, 47(3): 427-432.

[6] 李赛君, 郑红发, 罗意, 等. 优质抗寒红茶新品种——潇湘红 21-3 选育研究报告[J]. 茶叶通讯, 2012, 39(1): 3-8.

Li S J, Zhneg H F, Luo Y, et al. The breeding of new anti-cold black tea cultivar—Xiao Xiang Hong 21-3[J]. Tea Communication, 2012, 39(1): 3-8.

[7] Wu H L, Huang W J, Chen Z J, et al. GC-MS-based metabolomic study reveals dynamic changes of chemical compositions during black tea processing[J]. Food Research International, 2019, 120: 330-338.

[8] 卢丹敏, 欧阳建, 熊一帆, 等. 湖南红茶品质特征分析及其等级判别模型的构建[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 255-260.

Lu D M, Ouyang J, Xiong Y F, et al. Analysis of the quality characteristics of Hunan black tea and the establishment of its grade discrimination model[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 255-260.

[9] Wu X F, Ozawa T, Li Y H, et al. Effect of fermentation time and temperature on the of polyphenol compounds change of different Congou black tea[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45: e15844.

[10] 滑金杰, 袁海波, 姚月凤, 等. 温度对茶发酵叶色泽及茶色素含量的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 300-308.

Hua J J, Yuan H B, Yao Y F, et al. Effect of temperature on color and tea pigment content of fermented tea leaves[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(12): 300-308.

[11] Qu F F, Zeng W C, Tong X, et al. The new insight into the influence of fermentation temperature on quality and bioactivities of black tea[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 117: 108646.

[12] Truong V L, Jeong W S. Cellular defensive mechanisms of tea polyphenols: structure-activity relationship[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(17): 9 109.

- [13] Yang C S, Jiao L Z, Dong C W, et al. Long-range infrared absorption spectroscopy and fast mass spectrometry for rapid online measurements of volatile organic compounds from black tea fermentation[J]. Food Chemistry, 2024, 449: 139211.
- [14] Aaqil M, Kamil M, Kamal A, et al. Metabolomics reveals a differential attitude in phytochemical profile of black tea (*Camellia Sinensis* Var. *assamica*) during processing[J]. Food Chemistry: X, 2024, 24: 101899.
- [15] 余鹏辉, 陈盼, 黄浩, 等. 保靖黄金茶 1 号工夫红茶加工工序对主要滋味物质形成的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 185-191.
- Yu P H, Chen P, Huang H, et al. Influence of processing steps on the formation of main taste compounds in congou black tea made from the cultivar Baojing Huangjinchai 1[J]. Food Science, 2020, 41(10): 185-191.
- [16] 滑金杰, 袁海波, 江用文, 等. 萎凋通氧量对鲜叶品质生化成分和酶活性动态变化规律的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(4): 72-79.
- Hua J J, Yuan H B, Jiang Y W, et al. Effect of withering oxygen concentration on dynamic change of main biochemical components and enzymatic activity of tea fresh leaves[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(4): 72-79.
- [17] Hu J L, Feng X Y, Song H Z, et al. Enzymatic reactions throughout cultivation, processing, storage and post-processing: progressive sculpture of tea quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 143: 104294.
- [18] Jiang H, Yu F, Qin L, et al. Dynamic change in amino acids, catechins, alkaloids, and gallic acid in six types of tea processed from the same batch of fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, 77: 28-38.
- [19] Hua J J, Xu Q, Yuan H B, et al. Effects of novel fermentation method on the biochemical components change and quality formation of Congou black tea[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 96: 103751.
- [20] Tan J F, Dai W D, Lu M L, et al. Study of the dynamic changes in the non-volatile chemical constituents of black tea during fermentation processing by a non-targeted metabolomics approach[J]. Food Research International, 2016, 79: 106-113.
- [21] Zhou J T, Yu X L, He C, et al. Withering degree affects flavor and biological activity of black tea: a nontargeted metabolomics approach[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130: 109535.
- [22] Stodt U W, Blauth N, Niemann S, et al. Investigation of processes in black tea manufacture through model fermentation (oxidation) experiments[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(31): 7 854-7 861.
- [23] Owuor P O, Obanda M. Comparative responses in plain black tea quality parameters of different tea clones to fermentation temperature and duration[J]. Food Chemistry, 2001, 72(3): 319-327.
- [24] Abudurehman B, Yu X C, Fang D D, et al. Enzymatic oxidation of tea catechins and its mechanism[J]. Molecules, 2022, 27(3): 942.
- [25] Girardi D M, Pacífico J P M, Guedes De Amorim F P L, et al. Immunotherapy and targeted therapy for hepatocellular carcinoma: a literature review and treatment perspectives[J]. Pharmaceuticals, 2021, 14(1): 28.
- [26] 蔡吓强, 黄先洲, 陈建平, 等. 不同“做青”工艺对坦洋工夫红茶茶黄素含量及其感官品质的影响[J]. 茶叶学报, 2024, 65(6): 31-36.
- Cai X Q, Huang X Z, Chen J P, et al. Effects of shaking operation on sensory quality and theaflavins in Tanyang gongfu black tea[J]. Acta Tea Sinica, 2024, 65(6): 31-36.
- [27] 余鹏辉, 黄浩, 赵熙, 等. 黄金茶工夫红茶的甜味量化及其与主要滋味物质相关性分析[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 192-197.
- Yu P H, Huang H, Zhao X, et al. Quantification of sweetness and correlation with the main taste compounds of Huangjinchai congou black tea[J]. Food Science, 2021, 42(8): 192-197.
- [28] Narukawa M, Sasaki S, Kimata H, et al. Suppression of sourness by theanine[J]. Food Science and Technology Research, 2010, 16(5): 487-492.
- [29] Tuan H Q, Tahinh N D, Tu N T M. Amino acid composition as precursor flavors changes in tea leaves (*Camellia Sinensis*) during orthodox black tea manufacturing[J]. Vietnam Journal of Science and Technology, 2017, 55(1): 1.
- [30] Chen Y Y, Zeng L T, Liao Y Y, et al. Enzymatic reaction-related protein degradation and proteinaceous amino acid metabolism during the black tea (*Camellia Sinensis*) during manufacturing process[J]. Foods, 2020, 9(1): 66.
- [31] 黄维, 胡秀, 廖金梅, 等. 加工工艺对工夫红茶品质特点影响的研究进展[J]. 茶业通报, 2021, 43(1): 32-36.
- Huang W, Hu X, Liao J M, et al. Research progress on the influence of processing techniques on the quality characteristics of congou black tea[J]. Journal of Tea Business, 2021, 43(1): 32-36.
- [32] 刘忠英, 冉乾松, 张拓, 等. 基于电子舌与人工感官的茶叶滋味属性参考物呈味强度相关性分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 40-45.
- Liu Z Y, Ran Q S, Zhang T, et al. Correlation analysis of taste intensity of tea flavor attribute reference based on electronic tongue and artificial senses[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 40-45.
- [33] Hou Z W, Wang Y J, Xu S S, et al. Effects of dynamic and static withering technology on volatile and nonvolatile components of Keemun black tea using GC-MS and HPLC combined with chemometrics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130: 109547.