

# 客家炒青绿茶加工过程中品质成分的动态变化

周巧仪<sup>1</sup>, 钟永辉<sup>2</sup>, 郜礼阳<sup>1</sup>, 刘淑媚<sup>1</sup>, 廖秀环<sup>3</sup>, 张佳敏<sup>1</sup>, 邹映池<sup>4</sup>, 凌彩金<sup>1\*</sup>

(1. 广东省农业科学院茶叶研究所, 广东省茶树资源创新利用重点实验室, 广东广州 510640)

(2. 梅州市梅县区农业科学研究所, 广东梅州 514000) (3. 增城区农业农村局, 广东广州 511300)

(4. 东源县仙湖山农业发展有限公司, 广东河源 517500)

**摘要:** 为了研究客家炒青绿茶加工过程中的主要品质成分动态变化规律, 以广东客家小叶群体种-仙湖茶为原料, 按摊青、杀青、揉捻、炒青、辉干等工艺制作炒青绿茶, 对加工过程中的主要内含物成分及香气组成进行测定分析。结果显示, 随着加工的进程, 茶叶在制品含水率呈下降趋势, 以“炒青”工序最为显著, 含水率降至 4.74%, 降幅达 91.63%; 在“炒青”工序, 茶叶生化成分含量变化最大: 可溶性糖含量达到最大值 5.71%, 水浸出物含量达到最小值 35.85%, 氨基酸含量达到最小值 2.71%。加工过程中, 水浸出物、氨基酸、茶多酚及咖啡碱呈下降趋势, 儿茶素总量及酯型儿茶素含量的变化趋势与茶多酚一致。香气组分以醇类物质为主, 其中香叶醇、芳樟醇、二十八烷醇及叶绿醇等化合物在炒青绿茶不同阶段加工过程中占比较高且变化幅度较大。该研究揭示了客家炒青绿茶加工过程中的主要风味物质变化过程, 可为优化客家炒青绿茶加工工艺与品质良好风味的形成提供数据参考。

**关键词:** 客家炒青绿茶; 茶叶加工; 品质成分; 香气; 动态变化

文章编号: 1673-9078(2022)06-248-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.6.0562

## Dynamic Changes of Quality Components in Hakka Roasted Green Tea during Processing

ZHOU Qiaoyi<sup>1</sup>, ZHONG Yonghui<sup>2</sup>, GAO Liyang<sup>1</sup>, LIU Shumei<sup>1</sup>, LIAO Xiuhuan<sup>3</sup>, ZHANG Jiamin<sup>1</sup>, ZOU Yingchi<sup>4</sup>, LING Caijin<sup>1\*</sup>

(1. Tea Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of Tea

Plant Resources Innovation and Utilization, Guangzhou 510640, China) (2. Institute of Agricultural Sciences, Meixian

District, Meizhou 514000, China) (3. Agricultural and rural Bureau of Zengcheng District, Guangzhou 511300, China)

(4. Dongyuan County Hushan Agricultural Development Co. Ltd., Heyuan 517500, China)

**Abstract:** In order to study the dynamic changes of the main quality components in the processing of Hakka roasted green tea, Xianhu tea, the Hakka small-leaf group of Guangdong Province, was used as the raw material to make roasted green tea through spreading, killing, twisting, stir-frying and drying. The main contents and aroma components during the processing were determined and analyzed. The results showed that the moisture content of tea decreased as the process proceeded, with the decrease being the most significant at the "stir-frying" step (the moisture content decreased to 4.74%, with a reduction of 91.63%). During the "stir-frying" step, the contents of the biochemical components in tea changed the most: the content of soluble sugar reached the maximum (5.71%), the content of water extract reached the minimum (35.85%), the amino acid content reached the minimum value (2.71%). During the process, the water extract, amino acid, tea polyphenol and caffeine contents

引文格式:

周巧仪, 钟永辉, 郜礼阳, 等. 客家炒青绿茶加工过程中品质成分的动态变化[J]. 现代食品科技, 2022, 38(6): 248-256, +303

ZHOU Qiaoyi, ZHONG Yonghui, GAO Liyang, et al. Dynamic changes of quality components in hakka roasted green tea during processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(6): 248-256, +303

收稿日期: 2021-05-26

基金项目: 广东省农业科学院院长基金项目 (202032); 广州市科技计划项目 (202002020079); 广东省现代农业产业技术体系茶叶创新团队 (2020KJ120); 广东省茶树资源创新利用重点实验室创新基金 (2021CX03); 紫金茶产业园专家工作站 (2021 工作站 20); 国家 (广东) 农业基础性长期性科技工作监测项目 (2021KJ156); 广东省农业科研项目 and 农业技术推广项目 (2020440000021605008597)

作者简介: 周巧仪 (1991-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向: 茶叶品质化学及产地环境评价, E-mail: zhouqiyi@qq.com

通讯作者: 凌彩金 (1977-), 女, 研究员, 研究方向: 茶叶品质化学及产地环境评价, E-mail: lingcaijin@163.com

showed a downward trend, and the changing trends of the total catechin content and ester catechin content were in accordance with that of the tea polyphenols. The aroma components were mainly alcohols, among which, the compounds such as geraniol, linalool, octadecanol and chlorophenol accounted for higher proportions and underwent larger changes at different stages of roasted green tea processing. This study reveals the changes of the main flavor substances during the processing of Hakka roasted green tea, which can provide data reference for optimizing the process of roasted green tea and the formation of good quality flavor.

**Key words:** Hakka roasted green tea; tea processing; quality component; aroma; dynamic change

客家炒青绿茶是广东传统历史名茶之一, 俗称“客家炒茶”、“客家炒绿”、“客家绿茶”, 分布于广东梅州、河源、惠州、韶关、揭阳等客家人居住地。客家炒青绿茶属于长炒青绿茶, 是以广东省内客家地区种植的中小叶种茶树的芽、叶嫩茎为原料, 经过萎凋、杀青、揉捻、炒干等工艺加工制成的绿茶产品<sup>[1]</sup>。按品质特征的不同可将客家茶划分为“传统长炒青”型、“先烘后炒”型以及“现代清香型”3类<sup>[2]</sup>, 其中河源市东源县“仙湖茶”为传统长炒型绿茶之一, 因其具有“香、甘、醇、滑”四绝的品质特点, 深受河源市场及其客家人群的青睐。传统长炒青绿茶独特的品质特征形成于其加工过程中, 感官品质是其内含成分组成与比例的综合反映。茶叶中氨基酸、茶多酚、水浸出物、咖啡碱、可溶性糖等主要生化成分的含量是反映茶叶内在品质优劣的重要指标。

现有研究表明, 不同加工工艺对茶叶感官品质、生化成分含量等存在明显的差异。乔小燕等<sup>[3]</sup>以传统客家本土茶树品种-马图种为原料, 利用连续化生产线实时研究加工过程7个关键工序茶叶主要品质成分的变化趋势及对品质风格的影响, 结果发现“动态失水”和长炒青加工工艺与传统客家炒青绿茶形成“炒米甜香”及“浓强回甘”感官品质特征密切相关。目前, 关于客家炒青绿茶加工工艺对茶叶品质的研究报道较少。为了解传统加工工艺对客家炒青绿茶主要内含物质成分过程的影响, 本研究采用河源市当地群体种鲜叶为原料, 对客家炒青绿茶加工过程中的主要内含物成分及组成进行分析, 探讨主要品质成分茶多酚、氨基酸、咖啡碱、可溶性糖、儿茶素及香气组分等在加工过程中变化规律, 为客家炒青绿茶加工工艺优化和产品品质提升提供理论依据, 更好地挖掘与开发利用当地群体种茶树资源提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试茶样

试验茶树品种为广东省东源县地方群体种-仙湖茶, 茶样来源于东源县仙湖山农业发展有限公司。茶

叶采摘时间为2020年4月(春季), 采摘标准为以对夹二叶为主, 少量一芽二叶及对夹三叶。

#### 1.1.2 试剂和仪器

试剂: 磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、碱式醋酸铅、酒石酸钾钠、福林酚等均购自国药集团化学试剂有限公司。

仪器: AE 200 型分析天平, 上海梅特勒-托利多公司; 725N 型紫外分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; GC-MS QP2010SE 型气相色谱质谱联用仪, 岛津企业管理(中国)有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 客家炒青绿茶加工方法

鲜叶→摊青(摊青厚度10 cm, 时间为4 h)→杀青(在双锅式炒干机中进行, 锅温300℃, 历时20 min, 以抛炒为主)→揉捻(在55型揉捻机进行, 时间为10 min)→炒青(在双锅式炒干机中进行, 锅温前期200~220℃, 后期100~110℃, 时间为2 h, 以抛炒为主)→辉干(在双锅式炒干机中进行, 锅温前期100~110℃, 后期90~95℃, 时间为7 h)→成品

### 1.2.2 样品制备及采集

加工试验于2020年4月在东源县仙湖山农业发展有限公司茶厂进行。在加工过程中的鲜叶→摊青→杀青→揉捻→炒青→辉干等5个关键加工工序完成后立即取样, 每个工序3次重复取样, 所取样品分成两份, 一份采用微波杀青、烘箱烘干法固样并密闭封存, 供生化成分分析使用; 另一份样品用锡箔纸包好后立刻放入液氮中冷冻, 然后置于-80℃保存, 供香气成分分析使用。

### 1.2.3 理化成分测定

水分含量利用快速水分测定仪进行测定; 茶多酚含量测定采用福林酚法, 按GB/T 8313-2008执行; 游离氨基酸总量测定采用茚三酮比色法, 按GB/T 8314-2013执行; 咖啡碱采用紫外分光光度法, 按GB/T 8312-2013执行; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法; 水浸出物含量测定采用全量法, 按GB/T 8305-2013执行。

### 1.2.4 儿茶素组分测定

称取0.2 g均匀磨碎的茶样于10 mL离心管中,

加入 70 °C 水浴中预热过的 70% 甲醇溶液 5 mL, 充分混匀, 立即移入 70 °C 水浴中浸提 10 min, 浸提后冷却至室温, 3500 r/min 离心 10 min, 将上清液移入 10 mL 容量瓶。残渣重提一次。合并提取液, 定容至 10 mL, 摇匀, 取液用 0.22 μm 微孔滤膜过滤待测。采用高效液相色谱检测法, 色谱柱为 ZORBAX Elipse XDB-C18 柱 (5 μm, 250 mm×4.6 mm); 流动相: A 相为乙酸:乙腈:甲醇:水=0.5:1:2:96.5 (V:V:V:V); B 相为乙酸:乙腈:甲醇:水=0.5:10:20:69.5 (V:V:V:V); 紫外检测波长为 280 nm; 流速为 1 mL/min; 柱温为 30 °C; 进样量为 10 μL。梯度洗脱程序如下: 0

min~30 min, 27.5% B~80% B; 30 min~35 min, 80% B~7.5% B; 35 min~0 min, 27.5% B。

### 1.2.5 氨基酸组分测定

参照俞露婷等<sup>[4]</sup>方法进行氨基酸组分测定。取磨好的茶样 1.5 g 溶于沸水, 100 °C 水浴锅中浸提 45 min 后, 抽滤、冷却、定容至 250 mL, 用 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 待测。采用高效液相色谱法, 色谱柱为 AccQ-Tag 氨基酸 (15 mm×3.9 mm×4.6 mm); 流动相: A 相为 10% 磷酸, B 相为乙腈, C 相为超纯水; 荧光检测波长: Ex: 250 nm, Em: 395 nm; 流速为 1 mL/min; 柱温 37 °C; 进样量: 10 μL。梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱条件

Table 1 The mobile phase changes of gradient elution (%)

| 流动相 | 0 min | 17 min | 24 min | 32 min | 35 min | 38 min | 45 min |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| A   | 100.0 | 91.0   | 80.0   | 68.0   | 0.0    | 100.0  | 100.0  |
| B   | 0.0   | 5.4    | 17.0   | 20.0   | 60.0   | 0.0    | 0.0    |
| C   | 0.0   | 3.6    | 3.0    | 12.0   | 40.0   | 0.0    | 0.0    |

### 1.2.6 香气组分

参照 Gui 等<sup>[5]</sup>的方法进行分析测定。称取 1.00 g 茶粉, 用 2.5 mL 含有 5 nmol 癸酸乙酯作为内标的二氯甲烷在振荡器中于室温下萃取过夜。萃取液用无水硫酸钠干燥, 并用氮气流浓缩至 400 μL, 过滤待测。采用 SUPELCO Supelcowax-10 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm), 使用不分流模式, 不分流时间为 1 min, 载气为氦气, 进样口温度为 240 °C, 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 60 °C 保持 3 min, 以 4 °C/min 的速度升温至 240 °C, 然后在 240 °C 保持 20 min。质谱在全扫描模式下运行 (质量范围  $m/z$  40~200)。

香气化合物的定量分析采用内标法, 包括:

绝对定量, 采用内标标准曲线方法计算, 以每个化合物与内标峰面积比为纵坐标, 以各化合物与内标浓度之比为横坐标, 绘制标准曲线, 建立校正表, 从而计算香气化合物的含量。

相对量和内标的比值, 计算方式: 含量比=(某化合物的峰面积)/(癸酸乙酯的峰面积)。

### 1.2.7 数据处理

采用 Microsoft excel 软件和 SPSS 21.0 软件对试验数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 客家炒青绿茶加工过程中含水率变化

客家炒青绿茶加工过程含水率变化如图 1 所示。由图 1 可知, 茶树鲜叶中水分约占 78.33%, 随着加工过程的进行, 茶叶含水率呈下降趋势, 从摊青工序的

75.67% 下降到辉干工序的 3.97%。不同加工工序前后的含水率变化幅度明显不同, 其中炒青工序前后茶叶含水率下降幅度最大, 达到 52.44%, 杀青工序前后的含水率下降幅度达到 18.37%, 而在摊青、揉捻、辉干工序, 茶叶含水率降幅相对较小。由此可见, 炒青和杀青是客家炒青绿茶加工含水率下降的关键工序。

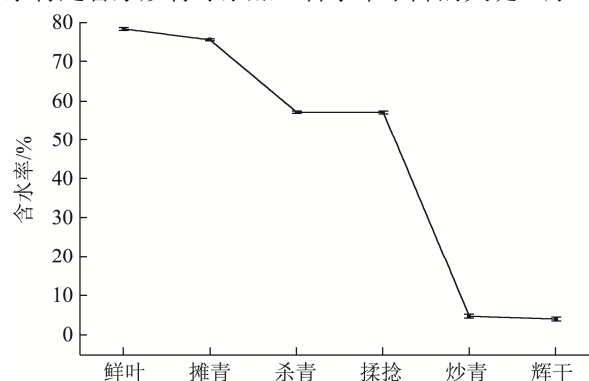


图 1 客家炒青绿茶加工过程含水率变化结果

Fig.1 Variation trend of water content in Hakka green tea during processing

### 2.2 客家炒青绿茶加工过程中品质成分变化分析

#### 2.2.1 主要品质成分变化分析

茶鲜叶作为茶叶加工的原料, 其质量直接关系到茶叶品质的优劣, 是形成茶叶品质的基础。鲜叶中水浸出物、茶多酚的含量较高, 酚氨比为 7.47, 生化成分含量丰富, 具有加工炒青绿茶的生化基础。

在茶叶加工过程中, 鲜叶内含生化成分会发生

一系列的化学变化,从而形成特定风格品质的茶叶<sup>[6]</sup>。其中多酚类、生物碱、氨基酸和可溶性糖对茶叶滋味品质影响较大,其含量随着加工过程的进行,也存在着不同的变化趋势。

本研究加工过程中客家炒青绿茶各工序品质成分含量的动态变化如图2所示。由图2可知,摊青过程中茶多酚及咖啡碱呈下降趋势,分别下降了13.53%及21.02%,具显著性( $p<0.05$ );氨基酸与可溶性糖含量总体呈升高趋势,分别增加了0.36%及22.19%,其中可溶性糖含量变化具显著性( $p<0.05$ )这与Ye等<sup>[7]</sup>及Qi等<sup>[8]</sup>结果一致。原因可能在于在摊青过程中鲜叶失水量不断增加导致细胞相对浓度增大,存在于鲜叶中的部分酶活性增强水解反应加剧,从而导致茶多酚、咖啡碱、儿茶素类组分与水浸出物的下降。同时经摊青后,促进了有机化合物的水解,提高了茶叶中水溶性有效成分的含量,可溶性糖含量因多糖的水解而持续积累,使可溶性糖含量逐渐升高。

杀青过程,高温破坏了鲜叶的组织结构及酶的活性,蒸发了部分水分,增加韧性,促进茶叶品质的形成<sup>[9]</sup>。本研究中客家炒青绿茶由于茶叶采摘标准以对夹叶为主,嫩度相对较老,因此采用了多闷炒,抛闷结合方式,达到茶青杀匀、杀透的目的。本研究中杀青前后茶叶水浸出物、茶多酚及咖啡碱含量分别降低了0.95%、1.27%及6.84%,氨基酸及可溶性糖含量分别增加了1.07%及3.63%,可降低茶叶中的苦涩味,提高了鲜爽滋味及甜味,促进茶品质的形成。刘跃云等<sup>[10]</sup>研究发现,重杀青处理(杀青后含水量约58%)的茶样外形、汤色、叶底、香气、滋味等均呈现更好的品质,水浸出物及氨基酸含量较高,并可促进内含物质充分降解和转化,低沸点的芳香物质挥发殆尽,具高香的高沸点芳香物质充分显露,有利于提升茶叶汤色、香气等品质。本研究中也是采用重杀青处理,经杀青工序后,茶叶含水量降至57.30%,可溶性糖及氨基酸含量均升高,与刘跃云等<sup>[10]</sup>研究结果一致。但重杀青时要严格掌握程度,以免因杀青过头而出现焦香或苦涩味。

炒青过程,现研究认为,炒青绿茶因工艺特点会有特别的炒制香味,从花香到栗香、炒米香,该工序中的干燥温度、时间、水分是影响绿茶风味品质形成主要因素<sup>[11]</sup>。本研究茶叶含水量在炒青工序中大幅度减少,是客家炒青绿茶加工过程中含水量明显下降的工序。由图2可知,炒青后茶叶中可溶性糖含量显著增加49.09%,茶多酚呈下降趋势,显著下降了13.72%( $p<0.05$ ),与乔小燕等<sup>[3]</sup>的研究结果一致。经炒青工

序后可溶性糖、氨基酸含量增加,茶多酚含量下降,可有效提高茶叶的甜味,降低茶叶中的苦涩味。

辉干过程,辉干后茶叶中的氨基酸及可溶性糖含量分别显著下降了4.06%及13.84%,茶多酚含量显著上升2.16%,咖啡碱含量无显著变化。此过程中,茶多酚含量上升,可溶性糖含量降低,可能是导致客家炒青绿茶呈现“回甘力强”的品质特点原因之一,有研究<sup>[12]</sup>表明,茶多酚和总糖含量与茶汤回甘滋味强度具有显著正相关,说明在一定浓度范围内,茶多酚和总糖都有助于提高茶汤的回甘滋味强度。而氨基酸和可溶性糖的降低可能与香气物质的形成有关,研究表明,氨基酸和可溶性糖的变化与茶叶香气的形成密切相关,干燥过程中氨基酸的脱羧、氧化可形成醇类、吡啶等具花香型物质,氨基酸与糖的缩合作用生成糖胺化合物,再转化成吡嗪、吡啶等具烘炒香型物质<sup>[13]</sup>。本研究中,辉干后茶样的氨基酸总量、可溶性糖含量下降,这可能会使糖胺化合物含量上升,从而有利于茶叶香气的进一步发展。

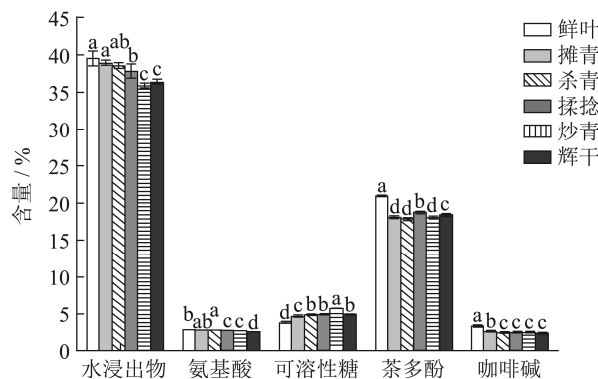


图2 客家炒青绿茶加工过程中茶叶主要生化成分动态变化

Fig.2 Dynamic change trend of main biochemical components in Hakka green tea during processing

注:图中数据为三次平行处理的平均值±SD,无字母或相同字母表示差异不显著( $p>0.05$ ),不同字母表示差异显著( $p<0.05$ )。

### 2.2.2 儿茶素组分变化分析

儿茶素约占茶多酚含量的75%~80%,是茶叶品质成分中重要的一种。本研究加工过程中客家炒青绿茶各工序儿茶素组分含量变化见表1。

由表1可以看出,在摊青过程中,与茶鲜叶相比,酯型儿茶素及总儿茶素含量呈下降趋势,分别下降了16.36%和3.07%;简单儿茶素呈上升趋势,含量增加了51.76%,结果与Ye等<sup>[7]</sup>及王丽丽等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。原因在于在摊青过程中,茶叶内的内含物发生水解、氧化反应,多酚类经酶促氧化,总量逐渐下降,儿茶素含量也逐渐减少,酯型儿茶素水解为简单儿茶素。从鲜叶到炒青,总儿茶素及酯型儿茶素含量呈下降趋势,降幅分别为17.51%和30.91%,

具显著性 ( $p < 0.05$ ); 简单儿茶素呈先上升后下降趋势。EGC、C、EC、GCG、CG 及 ECG 分别上升了 44.64%、15.53%、61.12%、110% 及 24.81%，增幅最大的是 EC 和 CG。GC、EGCG 及 GCG 分别下降了 12.65%、32.83% 及 35.57%，降幅最大的是 EGCG 和 GCG，这与乔小燕等<sup>[3]</sup>的研究结果相似。辉干后茶叶中茶多酚及酯型儿茶素含量分别显著上升了 2.16% 及 16.07%，部分酯型儿茶素 EGCG、GCG 等含量上升，其原因可能与辉干过程的温度和时间有关。刘珍珍<sup>[15]</sup>发现汉中绿茶（炒青绿茶）干燥阶段茶多酚的含量逐步上升，成品茶茶多酚含量最高；儿茶素在炒青绿茶加工过程中因温度

及外部环境的影响导致变化差异性不同，但总体含量均略有下降。毛阿静<sup>[16]</sup>发现绿茶焙火后，在 100 °C~120 °C 温度之间，茶多酚的含量有所增加，随着温度的继续升高，含量又逐渐下降。朱善良<sup>[17]</sup>发现太平猴魁在杀青及烘焙阶段，茶多酚会因加工温度的升高而逐步下降，儿茶素总量也呈下降的趋势。本试验认为，在炒青后儿茶素总量下降，原因可能在于温度的升高发生氧化、裂解等反应，导致含量降低，而辉干温度较炒青温度低，辉干后儿茶素总量及其组分含量上升，可能是由于温度的变化其化学分子发生异构化<sup>[16]</sup>，但具体原因需进一步研究分析。

表 1 客家炒青绿茶加工过程中茶叶中儿茶素组分动态变化

Table 1 Changes of catechins in Hakka roasted green tea during processing

| 序号 | 检测项目   | 鲜叶/(mg/g)                | 摊青/(mg/g)                 | 杀青/(mg/g)                | 揉捻/(mg/g)                 | 炒青/(mg/g)                | 辉干/(mg/g)                 |
|----|--------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1  | GC     | 4.98±0.08 <sup>a</sup>   | 1.97±0.05 <sup>e</sup>    | 2.65±0.05 <sup>d</sup>   | 2.77±0.04 <sup>c</sup>    | 4.35±0.04 <sup>b</sup>   | 2.76±0.04 <sup>c</sup>    |
| 2  | EGC    | 21.53±5.07 <sup>c</sup>  | 36.03±1.15 <sup>a</sup>   | 35.42±0.83 <sup>a</sup>  | 36.38±0.51 <sup>a</sup>   | 31.14±1.88 <sup>b</sup>  | 37.16±0.39 <sup>a</sup>   |
| 3  | C      | 1.61±0.88 <sup>a</sup>   | 1.62±0.03 <sup>a</sup>    | 1.67±0.02 <sup>a</sup>   | 1.62±0.04 <sup>a</sup>    | 1.86±0.06 <sup>a</sup>   | 1.64±0.1 <sup>a</sup>     |
| 4  | EGCG   | 119.89±0.77 <sup>a</sup> | 100.97±4.39 <sup>b</sup>  | 94.76±1.94 <sup>c</sup>  | 98.41±1.85 <sup>bc</sup>  | 80.53±0.69 <sup>d</sup>  | 96.80±1.56 <sup>bc</sup>  |
| 5  | EC     | 5.89±0.10 <sup>c</sup>   | 11.98±0.82 <sup>a</sup>   | 11.43±0.28 <sup>a</sup>  | 12.00±0.38 <sup>a</sup>   | 9.49±0.16 <sup>b</sup>   | 11.51±0.38 <sup>a</sup>   |
| 6  | CG     | 1.70±0.07 <sup>d</sup>   | 1.74± <sup>d</sup>        | 2.12±0.01 <sup>b</sup>   | 2.05±0.02 <sup>c</sup>    | 3.57±0.01 <sup>a</sup>   | 2.08±0.02 <sup>bc</sup>   |
| 7  | GCG    | 17.26±0.34 <sup>a</sup>  | 14.21±0.59 <sup>b</sup>   | 13.26±0.29 <sup>c</sup>  | 13.40±0.26 <sup>c</sup>   | 11.12±0.07 <sup>d</sup>  | 13.03±0.33 <sup>c</sup>   |
| 8  | ECG    | 1.29±0.55 <sup>a</sup>   | 0.29±0.01 <sup>b</sup>    | 0.52±0.06 <sup>b</sup>   | 0.44±0.01 <sup>b</sup>    | 1.61±0.03 <sup>a</sup>   | 0.47±0.03 <sup>b</sup>    |
| 9  | 酯型儿茶素  | 140.14±1.48 <sup>a</sup> | 117.21±4.97 <sup>b</sup>  | 110.65±2.27 <sup>c</sup> | 114.30±2.14 <sup>bc</sup> | 96.82±0.73 <sup>d</sup>  | 112.38±1.88 <sup>bc</sup> |
| 10 | 非酯性儿茶素 | 34.00±5.72 <sup>c</sup>  | 51.60±2.01 <sup>ab</sup>  | 51.17±0.99 <sup>ab</sup> | 52.77±0.53 <sup>a</sup>   | 46.84±1.77 <sup>b</sup>  | 53.08±0.06 <sup>a</sup>   |
| 11 | 儿茶素总量  | 174.15±4.29 <sup>a</sup> | 168.81±6.95 <sup>ab</sup> | 161.82±3.24 <sup>b</sup> | 167.07±2.59 <sup>ab</sup> | 143.66±1.20 <sup>e</sup> | 165.46±1.82 <sup>b</sup>  |

注：图中数据为三次平行处理的平均值±SD，无字母或相同字母表示差异不显著 ( $p > 0.05$ )，不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

### 2.2.3 氨基酸组分变化分析

氨基酸对于茶汤鲜爽度滋味品质具有重要影响。茶氨酸是茶叶中特有的游离氨基酸，也是茶叶中含量最高的氨基酸，约占游离氨基酸总量的 50%，具有甜味和鲜爽味。本研究加工过程中客家炒青绿茶各工序氨基酸组分含量变化见表 2。

由表 2 可知，鲜叶中检测到的氨基酸共有 16 种，其中必需氨基酸比例为 1.36%。茶氨酸在不同加工阶段中占比最高且变化幅度较大，且茶鲜叶中茶氨酸占比 70.89%，是客家炒青绿茶中的主要氨基酸组分之一。现有研究表明，茶氨酸是茶鲜叶最重要的氨基酸种类之一。陆锦时等<sup>[18]</sup>对 80 多种茶树品种春稍样进行氨基酸组分测定，发现茶氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸、精氨酸和丝氨酸等 5 种氨基酸约占氨基酸总量的 80% 以上，其中茶氨酸约占 5 种氨基酸的 68% 以上。方开星等<sup>[19]</sup>研究也发现，218 份资源一芽二叶氨基酸含量在 1.50%~8.98% 之间，茶氨酸是最重要的氨基酸种类之一，含量在 0%~4.03% 之间，茶氨酸占氨基酸含量的比值在 0~0.78 之间，与本研究结果一致。

摊青过程，氨基酸含量组分中丙氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸、茶氨酸、 $\beta$ -氨基异丁酸呈上升趋势，其余氨基酸组分无明显变化。摊青、杀青、揉捻、炒干前后茶氨酸变化幅度在 0.48%~8.23% 之间，但炒青前后，茶氨酸含量显著下降了 19.05%。可见，炒青是影响氨基酸组分含量变化的关键工序。

### 2.3 香气组分

加工过程中茶叶中挥发性物质的动态变化情况见表 3。茶叶挥发性成分的类型和含量是衡量茶叶内在品质的重要指标。香气在茶叶风味中起着重要作用，虽然这些化合物在茶叶中的绝对含量很少，一般只占干物质的 0.02%<sup>[20]</sup>，但是它们却是茶叶品质的重要组成部分。

由表 3 可知，客家炒青绿茶加工过程中共检测出挥发性成分 29 种，主要为醇类、酯类、烯类、杂环类、醛类、酮类等成分。鲜叶中检测到 26 种挥发性成分，以醇类为主，其中香叶醇、(Z)-3-己烯基乙酸酯含量相对较高，多具有花香、青香<sup>[21]</sup>。

表2 客家炒青绿茶加工过程中茶叶中氨基酸组分动态变化

Table 2 Dynamic changes of amino acids in Hakka roasted green tea during processing

| 序号        | 检测项目           | 鲜叶/(mg/g) | 摊青/(mg/g) | 杀青/(mg/g) | 揉捻/(mg/g) | 炒青/(mg/g) | 辉干/(mg/g) |
|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | 茶氨酸            | 10.40     | 10.45     | 9.59      | 9.71      | 7.86      | 8.03      |
| 2         | 谷氨酸            | 1.93      | 1.87      | 1.62      | 1.63      | 1.61      | 1.42      |
| 3         | 天冬氨酸           | 0.88      | 0.87      | 0.79      | 0.75      | 0.81      | 0.69      |
| 4         | 精氨酸            | 0.36      | 0.34      | 0.30      | 0.28      | 0.29      | 0.21      |
| 5         | 丝氨酸            | 0.26      | 0.24      | 0.25      | 0.25      | 0.19      | 0.21      |
| 6         | 缬氨酸            | 0.17      | 0.16      | 0.17      | 0.16      | 0.14      | 0.14      |
| 7         | $\beta$ -氨基异丁酸 | 0.16      | 0.18      | 0.11      | 0.11      | 0.12      | 0.09      |
| 8         | 丙氨酸            | 0.13      | 0.23      | 0.21      | 0.24      | 0.21      | 0.21      |
| 9         | 磷酸丝氨酸          | 0.09      | 0.09      | 0.10      | 0.10      | 0.15      | 0.10      |
| 10        | 磷乙醇胺           | 0.07      | -         | 0.06      | 0.06      | 0.07      | 0.06      |
| 11        | 苏氨酸            | 0.07      | 0.07      | 0.07      | 0.07      | 0.06      | 0.06      |
| 12        | 天冬酰胺           | 0.06      | -         | -         | -         | -         | -         |
| 13        | 赖氨酸            | 0.03      | 0.03      | 0.03      | 0.03      | 0.02      | 0.02      |
| 14        | $\gamma$ -氨基丁酸 | 0.03      | 0.20      | 0.14      | 0.18      | 0.16      | 0.15      |
| 15        | 脯氨酸            | 0.02      | 0.02      | 0.02      | 0.02      | 0.02      | 0.02      |
| 16        | 鸟氨酸            | 0.01      | -         | -         | -         | -         | -         |
| 17        | 牛磺酸            | -         | -         | 0.04      | 0.04      | 0.05      | 0.04      |
| 氨基酸组分总量   |                | 14.67     | 14.75     | 13.50     | 13.63     | 11.76     | 11.45     |
| 必需氨基酸总量   |                | 0.20      | 0.19      | 0.20      | 0.19      | 0.16      | 0.16      |
| 必需氨基酸总量比例 |                | 1.36      | 1.29      | 1.48      | 1.39      | 1.36      | 1.40      |

注：“-”为该化合物未被检出。

摊青后，茶叶的挥发性成分与鲜叶相比，组成结构基本一致，大部分挥发性成分含量增加。萜烯醇类如香叶醇、芳樟醇、芳樟醇氧化物等化合物的含量增加，芳香族如苯乙醇等化合物含量也增加。但(Z)-3-己烯-1-醇、(Z)-3-己烯基乙酸酯及叶绿醇等部分挥发性成分含量降低，而且组分之间的相对比例上发生了一些变化，这使得摊放叶中的花香显露，本研究结果与李拥军等<sup>[22]</sup>研究结果相似。国内外均有研究表明，茶鲜叶中大部分香气挥发物的含量会随摊放时间的增长而逐步增多的，如青叶醇、青叶醛、香叶醇、芳樟醇及其氧化物等挥发物的含量与摊青时间呈高度正相关<sup>[23]</sup>，原因不仅在于香气前体物质的酶解，如萜烯类糖苷结合物被 $\beta$ -葡萄糖苷酶或 $\beta$ -樱草糖苷酶水解释放出游离态的单萜和倍半萜等，还在于采后有机体内芳香物质的生物合成反应<sup>[24-26]</sup>。

杀青后，杀青叶的挥发性成分含量及结构组成发生显著变化，部分挥发性成分含量大幅度降低。萜烯醇类化合物如香叶醇、芳樟醇及其氧化物、橙花叔醇等进一步散失，具有青味的(Z)-3-己烯-1-醇及水杨酸甲酯含量也下降。但杀青叶中部分脂肪族如叶绿醇、3-戊烯-2-醇化合物含量升高。萜烯类化合物鲨烯及十八

烯、棕榈酸等含量上升，这些化合物味炒青绿茶的形成和发展奠定了物质基础。有研究表明，在杀青过程中，随着温度的升高，绿茶中的青草味物质和天然的油脂如叶醇、水杨酸甲酯和甲酸庚酯消失，良好的芳香型物质如反式橙花叔醇、芳樟醇和 $\beta$ -紫罗兰酮增多<sup>[27]</sup>，与本研究结果不相似，原因可能与杀青工艺的时间、温度等因素不同有关。揉捻工序对挥发性成分的含量及组成结构影响较少，因而在本研究中揉捻阶段香气变化不大，这与李拥军等<sup>[22]</sup>结果相似。

炒青和辉干工序均属于干燥阶段，在干燥阶段，香气中萜烯类鲨烯含量逐步提高，此外还含有具有花香味的叶绿醇、香叶醇、芳樟醇、苯乙醇等，极大地丰富了成茶的香气组成。但干燥过程中并未检测出吡嗪、吡咯、糠醛类化合物，可能与炒青的温度及时间有关<sup>[28]</sup>。

从各主要香气化合物类型的变化来看，在加工过程中，醇类、萜烯类化合物起伏变化较大，特别是醇类物质，包括香叶醇、芳樟醇、二十八烷醇及叶绿醇，多具花香，在炒青绿茶不同阶段加工过程中占比较高且变化幅度较大，因而认为它们的变化可能对客家炒青绿茶香气的形成影响较大，这与庄楷杏等<sup>[29]</sup>研究结果相似。

但是香气组分的含量仅反映其对于产品感官品质贡献 还需结合关键成分的阈值进行综合评估<sup>[30]</sup>。的一个侧面,全面考察香气物质对产品整体香气的影响

表3 客家炒青绿茶加工过程中茶叶中香气组分动态变化

Table 3 Dynamic changes of aroma components in Hakka roasted green tea during processing

| 序号 | 测定方法      | 挥发性物质组分   | 加工工艺/(nmol/g) (FW) |       |       |       |       |       | 香型特征 <sup>[31-35]</sup> |
|----|-----------|---|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|
|    |           |   | 鲜叶                 | 摊青    | 杀青    | 揉捻    | 炒青    | 辉干    |                         |
| 1  |           | 香叶醇 Geraniol  | 25.23              | 34.03 | 6.15  | 12.26 | 4.89  | 1.33  | 玫瑰香                     |
| 2  |           | 芳樟醇 linalool  | 6.19               | 16.34 | 2.28  | 1.54  | -     | 0.47  | 花香                      |
| 3  |           | 苯乙醇 Phenylethyl Alcohol   | 5.87               | 20.05 | 1.62  | 1.54  | 0.32  | 0.36  | 花香                      |
| 4  |           | 反式-呋喃型芳樟醇氧化物 I trans-Linalool oxide (furanoid) I  | 1.98               | 5.22  | -     | -     | -     | -     | 花香、甜香                   |
| 5  | 绝对定量      | 反式-呋喃型芳樟醇氧化物 II trans-Linalool oxide (furanoid) II  | 3.28               | 8.08  | -     | -     | -     | -     | 花香、甜香                   |
| 6  |           | (Z)-3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol, (Z)-   | 1.82               | 1.77  | -     | -     | -     | -     | 青香                      |
| 7  |           | 橙花叔醇 nerolidol  | 0.26               | -     | -     | -     | -     | -     | 玫瑰香                     |
| 8  |           | (Z)-3-己烯基乙酸酯 3-Hexen-1-ol,acetate, (Z)-   | 31.11              | 17.85 | -     | -     | -     | -     | 花香型                     |
| 9  |           | 水杨酸甲酯 Methyl salicylate   | 9.53               | 17.50 | 1.36  | 1.48  | 0.73  | 0.46  | 冬青叶气味                   |
| 10 |           | 吲哚 indole   | 0.34               | 1.77  | 2.18  | 1.44  | 0.82  | 0.97  | 茉莉花香                    |
| 11 |           | 二十八烷醇 Octacosanol   | 17.23              | 2.96  | -     | -     | 0.14  | 6.87  |                         |
| 12 |           | 叶绿醇 Phytol  | 1.14               | 0.83  | 22.56 | 27.68 | 64.00 | 79.75 | 花香                      |
| 13 |           | 3-戊烯-2-醇 3-Penten-2-ol  | 0.97               | 6.45  | 13.30 | 15.91 | 5.94  | 0.05  |                         |
| 14 |           | 3,7,11,15-四甲基-2-十六烯-1-醇 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol  | 0.69               | 1.52  | 3.95  | 3.37  | 1.57  | 2.92  |                         |
| 15 |           | 6-表羟基丁醇 6-epi-shyobunol   | 0.48               | -     | -     | -     | 0.36  | 0.54  |                         |
| 16 |           | 3,7,11,15-四甲基-2-十六烯-1-醇 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol  | 0.47               | 0.93  | 2.22  | 1.98  | 0.95  | 1.97  |                         |
| 17 |           | (3,3-二甲基环氧乙烷基) 甲醇 (3,3-Dimethyloxiranyl) methanol   | 0.36               | 0.79  | 1.02  | 1.60  | 0.27  | 0.14  |                         |
| 18 |           | 正戊醇 1-Pentanol  | -                  | -     | -     | 0.75  | -     | -     | 苦味                      |
| 19 | 相对量和内标的比值 | 鲨烯 Supraene   | 3.89               | 8.25  | 35.37 | 25.96 | 23.30 | 51.71 |                         |
| 20 |           | 1-十八炔 1-Octadecyne  | 2.78               | 5.93  | 16.15 | 12.79 | 5.84  | 11.50 |                         |
| 21 |           | [R-[R*,R*-(E)]]-3,7,11,15-四甲基-2-十六碳烯 2-Hexadecene, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-                 | 0.10               | 0.25  | 1.27  | 0.56  | 0.09  | 0.22  |                         |
| 22 |           | 1,2,3-三甲基环丙烷 Cyclopropane, 1,2,3-trimethyl-   | 0.10               | 1.57  | 2.44  | 4.09  | 0.39  | 0.06  |                         |
| 23 |           | 棕榈酸 n-Hexadecanoic acid   | 2.50               | 3.28  | 12.93 | 13.79 | 8.16  | 11.42 | 油脂                      |
| 24 |           | 香叶酸 Geranic acid  | 0.44               | 0.42  | -     | -     | 0.16  | 0.47  | 油脂青气                    |
| 25 |           | 5-甲基-1,2,5,6-四氢吡啶-2-酮 1,2,5,6-Tetrahydropyridin-2-one, 5-methyl-  | 0.41               | 0.41  | -     | 0.43  | -     | 1.56  |                         |
| 26 |           | 异丙烯基甲基酮 I 3-Buten-2-one, 3-methyl-  | -                  | 0.48  | -     | 1.12  | -     | -     |                         |
| 27 |           | 异丙烯基甲基酮 II 3-Buten-2-one, 3-methyl-   | -                  | 0.34  | -     | 0.59  | -     | -     |                         |
| 28 |           | 五氟辛酸三糖酯 Tricosyl pentafluoropropionate  | 0.18               | 0.00  | 0.72  | 0.64  | 0.95  | 0.94  |                         |
| 29 |           | (2-羟基-2-苯基-N <sub>2</sub> -丁-2-亚苯基)-乙酰肼 Acetohydrazide, 2-hydroxy-2-phenyl-N <sub>2</sub> -but-2-enylideno- | 0.47               | 0.86  | 0.16  | 0.19  | 0.04  | 0.08  |                         |

注:“-”表示未检出挥发性成分。

### 3 结论

3.1 客家炒青绿茶的内含物成分与其外形、滋味、香气、汤色、叶底等品质特征存在密切关系。客家炒青绿茶主要品质成分含量丰富,从结果中可以看出,鲜叶中水浸出物、茶多酚的含量较高,茶多酚与游离氨基酸的含量及酚氨比值适中,茶叶主要生化成分含量丰富,具有加工炒青绿茶的生化基础。

3.2 对客家炒青绿茶鲜叶、摊晾、杀青、揉捻、炒青及辉干的加工过程不同阶段主要品质成分变化分析发现,摊青工序可降低咖啡碱、茶多酚及儿茶素组含量,提高可溶性糖、游离氨基酸及其组分含量,提高茶叶香气物质组成含量,从而改善客家炒青绿茶生化成分与组成。杀青工序采用重杀青处理,可提升可溶性糖及氨基酸含量,对香气含量及组成影响较大,因而需严格掌握杀青的程度,才能进一步提升品质。炒青及辉干阶段是品质及香气形成的关键工序,随炒青温度的升高,可溶性糖及氨基酸含量增加,茶多酚含量下降,而辉干后氨基酸含量及可溶性糖含量下降,茶多酚含量上升,原因可能与干燥的温度及时间有关。

3.3 客家炒青绿茶品质的形成受多种因素影响,包括鲜叶品种、杀青、干燥方式等。目前,广东客家地区通常采用单机加工,具有加工时间长、劳动强度大、品质质量不稳定等问题,很大程度上限制了炒青绿茶的规模化发展。本研究通过分析了传统单机加工工艺对主要品质成分及香气组分加工过程中的变化规律,有利于指导加工工艺的改良,为后期进行连续化、机械化生产提供工艺参数的选择数据参考,利用连续化机械化生产线,保留传统工艺品质,手工工艺随机因素影响大,而机械化连续生产工艺通过固定工艺参数后,能有效保证茶产品质量稳定,这可为客家炒青绿茶品牌产品突出品质特色奠定基础。

### 参考文献

- [1] T/GDADI 036-2020,河源炒青绿茶标准[S]  
T/GDADI 036-2020, Heyuan Fried Green Tea Standard [S]
- [2] 卓敏,王秋霜,操君喜,等.广东客家茶代表产品的主要品质成分比较研究[J].广东农业科学,2013,40(15):24-27  
ZHUO Min, WANG Qiushuang, CAO Junxi, et al. Comparison study of main quality elements in Cantonese Hakka tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(15): 24-27
- [3] 乔小燕,饶幸霞,黄国资,等.传统客家绿茶在连续化生产线加工过程中主要品质成分的变化趋势研究[J].江西农业学报, 2015,27(4):74-77  
QIAO Xiaoyan, RAO Xingxia, HUANG Guozi, et al. Research on changes in main quality components of traditional Hakka green tea in processing through continuous production line [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2015, 27(4): 74-77
- [4] 俞露婷,袁海波,王伟伟,等.光照强度对发酵叶主要生化成分动态变化的影响[J].茶叶科学,2016,36(2):149-159  
YU Luting, YUAN Haibo, WANG Weiwei, et al. Effect of light intensity on dynamic changes of main biochemical components of tea fermented leaves [J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(2): 149-159
- [5] Jiadong Gui, Xiumin Fu, Ying Zhou, et al. Does enzymatic hydrolysis of glycosidically bound volatile compounds really contribute to the formation of volatile compounds during the oolong tea manufacturing process [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(31): 6905-6914
- [6] 夏涛.制茶学(第三版)[M].中国农业出版社,2015  
XIA Tao. Tea Making (Third Edition) [M]. China Agricultural Press, 2015
- [7] YE Yulong, YAN Jingna, CUI Jilai, et al. Dynamic changes in amino acids, catechins, caffeine and gallic acid in green tea during withering [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2018, 66(1): 98-108
- [8] Qi Chen, Yamin Zhang, Mingmin Tao, et al. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of tea leaves (*Camellia sinensis*) to N<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> anaerobic treatment by a nontargeted metabolomics approach [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(36): 9565-9572
- [9] 范起业,李文萃,王家鹏,等.不同杀青温度对松阳香茶品质的影响研究[J].中国茶叶加工,2018,1:25-28  
FAN Qiye, LI Wencui, WANG Jiapeng, et al. Study on effects of different fixation temperature on the quality of Songyang fragrant tea [J]. Chinese Tea Processing, 2018, 1: 25-28
- [10] 刘跃云,王春梅,曾旭,等.杀青程度对炒青茶品质的影响[J].安徽农业科学,2017,45(12):89-91  
LIU Yueyun, WANG Chunmei, ZENG Xu, et al. Effect of fixing degrees on the quality of roasted green tea [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 89-91
- [11] 李艳.干热后处理改善绿茶风味品质的试验研究[D].雅安:四川农业大学,2016  
LI Yan. Study on improving the flavor quality of green tea by dry-heat post-treatment [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016
- [12] 许勇泉,刘栩,刘平,等.茶汤回甘滋味及其电子舌应用分析研究[C]//第十五届中国科协年会第20分会场:科技创新与茶产业发展论坛论文集.贵州贵阳:2013



- XU Yongquan, LIU Xu, LIU Ping, et al. Analysis and research on the taste of tea soup and the application of electronic tongue [C]// Guiyang, Guizhou, China: 2013
- [13] 张铭铭.干燥工艺对绿茶栗香形成的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2020
- ZHANG Mingming. Study on the effect of drying process on the formation of chestnut-like aroma of green tea [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020
- [14] 王丽丽,宋振硕,陈键,等.茶鲜叶萎凋过程中儿茶素和生物碱的动态变化规律[J].福建农业学报,2015,30(9):856-862
- WANG Lili, SONG Zhenshuo, CHEN Jian, et al. Changes of catechins and alkaloids in fresh tea leafs withering [J]. Fujian Journal of Agriculture Science, 2015, 30(9): 856-862
- [15] 刘珍珠.汉中绿茶加工过程中风味物质的形成与变化分析[D].汉中:陕西理工大学,2020
- LIU Zhenzhen. Analysis of the formation and change flavor substances in the process of Hanzhong green tea [D]. Hanzhong: Shaanxi University of Technology, 2020
- [16] 毛阿静.焙火工艺对茶叶营养及风味特征成分的影响[D].合肥:安徽农业大学,2018
- MAO Ajing. Effects of roasting treatment on nutrition and flavor characteristics of tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018
- [17] 朱善良.太平猴魁加工过程中主要化学品质成分变化规律的研究[D].合肥:安徽农业大学,2017
- ZHU Shanliang. Study on the changes of main chemical components during the processing of Taiping Houkui tea [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017
- [18] 陆锦时,魏芳华,李春华.茶树新梢中主要游离氨基酸含量及组成对茶树品种品质的影响[J].西南农业学报,1994,S1:13-16
- LU Jinshi, WEI Fanghua, LI Chunhua. Influence of content and composition of major free amino acids to the quality of tea varieties [J]. Journal of Southwest Agriculture, 1994, S1: 13-16
- [19] 方开星,姜晓辉,秦丹丹,等.高氨基酸和高茶氨酸茶树资源筛选[J].核农学报,2019,33(9):1724-1733
- FANG Kaixing, JIANG Xiaohui, QIN Dandan, et al. Selection of tea germplasm with high contents of amino acid and theanine [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(9): 1724-1733
- [20] 宛晓春.茶叶生物化学[M].北京:中国农业出版社,2003:49
- WAN Xiaochun. Tea Biochemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003: 49
- [21] 郭向阳,宛晓春.焙火程度对黄大茶挥发性香气成分的影响[J].现代食品科技,2019,35(10):235-245
- GUO Xiangyang, WAN Xiaochun. Effect of roasting degree on volatile aroma components of large-leaf yellow tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(10): 235-245
- [22] 李拥军,施兆鹏.炒青绿茶加工中香气的动态变化[J].茶叶科学,2001,2:124-129
- LI Yongjun, SHI Zhaopeng. Dynamic variation of tea aroma during the processing of roasted green tea [J]. Journal of Tea Science, 2001, 2: 124-129
- [23] 虞昕磊.鲜叶摊放方式对绿茶色、香、味品质成分代谢的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2020
- YU Xinlei. Effects of different withering methods on components metabolism related to color, aroma and taste quality in green tea [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020
- [24] HU Cijie, LI Da, MA Yixiao, et al. Formation mechanism of the oolong tea characteristic aroma during bruising and withering treatment [J]. Food Chemistry, 2018, 269: 202-211
- [25] Jilai Cui, Tsuyoshi Katsuno, Kojiro Totsuka, et al. Characteristic fluctuations in glycosidically bound volatiles during tea processing and identification of their unstable derivatives [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(5): 1151-1157
- [26] 张正竹,施兆鹏,宛晓春.萜类物质与茶叶香气(综述)[J].安徽农业大学学报,2000,1:53-56
- ZHANG Zhengzhu, SHI Zhaopeng, WAN Xiaochun. Terpenoids and tea aroma (review) [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000, 1: 53-56
- [27] 蒋建军,李臻峰,宋飞虎.基于气味在线检测的绿茶锅式杀青系统研究[J].食品与机械,2021,37(2):111-118
- JIANG Jianjun, LI Zhenfeng, SONG Feihu. Study on pot fixation process of green tea based on online flavor detection [J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 111-118
- [28] 邱太妹,傅财贤,赵磊,等.基于hs-spme/gc-ms方法研究绿茶香气特征及形成[J].食品工业科技,2017,38(18):269-274
- DI Taimei, FU Caixian, ZHAO Lei, et al. Study on characteristics and formation of aroma components in greentea based on hs-spme/gc-ms method [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 269-274
- [29] 庄楷杏.炒青绿茶和蒸青绿茶的香气分析对比[C]//“健康中国2030-健康食品的安全与创新”学术研讨会暨2018年广东省食品学会年会论文集.广东广州:2018
- ZHUANG Kaixing. Aroma analysis and comparison of fried green tea and steamed green tea[C]// Guangzhou, Guangdong, China, 2018