

# 工夫红茶品质化学成分及加工工艺研究进展

薛金金<sup>1,2,3</sup>, 尹鹏<sup>2</sup>, 张建勇<sup>1</sup>, 王伟伟<sup>1</sup>, 陈琳<sup>1,3</sup>, 苏威<sup>1,3</sup>, 郭桂义<sup>2,\*</sup>, 江和源<sup>1,\*</sup>

(1. 中国农业科学院茶叶研究所 农业部茶树生物学与资源利用重点实验室, 浙江省茶叶加工工程重点实验室, 浙江 杭州 310008; 2. 信阳农林学院 河南省豫南茶树资源综合开发重点实验室, 河南 信阳 464000; 3. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

**摘要:**工夫红茶品质主要体现在香气和滋味两方面, 加工工艺对其品质的形成起着极其重要的作用。该文着重阐述工夫红茶品质化学成分及加工工艺对其品质形成影响的最新进展, 明确工夫红茶滋味、香气的特征成分, 以及传统加工工艺与做青新工艺对工夫红茶品质的影响, 旨在为工夫红茶品质提升和新产品开发提供理论依据。

**关键词:**工夫红茶; 品质; 滋味; 香气; 加工工艺

## Research Progress on Quality-related Chemical Components and Processing Technology of Congou Black Tea

XUE Jin-jin<sup>1,2,3</sup>, YIN Peng<sup>2</sup>, ZHANG Jian-yong<sup>1</sup>, WANG Wei-wei<sup>1</sup>, CHEN Lin<sup>1,3</sup>, SU Wei<sup>1,3</sup>, GUO Gui-yi<sup>2,\*</sup>, JIANG He-yuan<sup>1,\*</sup>

(1. Key Laboratory of Tea Plants Biology and Resources Utilization of Agriculture Ministry, Key Laboratory of Tea Processing Engineering of Zhejiang Province, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, Zhejiang, China; 2. Henan Key Laboratory of Tea Comprehensive Utilization in South Henan, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, Henan, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The quality of Congou black tea is mainly reflected in the aroma and taste, processing technology play an important role in the formation of its quality. This paper mainly described latest development of the quality-related chemical components and the influence of processing technology on the quality of Congou black tea. The characteristic components of the taste and aroma of Congou black tea, as well as the influence of traditional and turning-over technology on the quality of Congou black tea were determined. The purpose of this study was to provide a theoretical basis for quality improvement of Congou black tea and the development of new products.

**Key words:** Congou black tea; quality; taste; aroma; processing technology

引文格式:

薛金金, 尹鹏, 张建勇, 等. 工夫红茶品质化学成分及加工工艺研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 219-224

XUE Jinjin, YIN Peng, ZHANG Jianyong, et al. Research Progress on Quality-related Chemical Components and Processing Technology of Congou Black Tea[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 219-224

基金项目: 国家自然科学基金(31670692); 信阳农林学院河南省豫南茶树资源综合开发重点实验室开放基金资助项目(HNKLT0F2018004); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2017-TRICAAS)

作者简介: 薛金金(1987—), 女(汉), 博士研究生, 研究方向: 茶叶加工与品质控制。

\* 通信作者: 郭桂义(1963—), 男, 教授, 研究方向: 茶叶加工与品质化学; 江和源(1974—), 男(汉), 研究员, 博士, 研究方向: 茶叶化学与加工。

红茶因滋味甘甜醇厚,汤色红亮,香气优雅高长,内含物质丰富,品质独特,深受广大消费者的喜爱,其销量占全球茶叶销量的80%左右<sup>[1-3]</sup>。其中,工夫红茶是中国特有的传统茶类,包括滇红、祁红、宜红、宁红、川红、闽红、坦洋工夫、九曲红梅、英德红茶、金骏眉等。

传统工夫红茶加工工序包括萎凋、揉捻、发酵、干燥,其中发酵是红茶加工的关键工序,其原理是以儿茶素为主的多酚类物质在多酚氧化酶的作用下发生氧化聚合形成茶黄素、茶红素、茶褐素、聚酯型儿茶素等<sup>[4-5]</sup>水溶性氧化产物。这些水溶性氧化产物与茶多酚、咖啡碱、氨基酸、可溶性糖等物质,共同构成了茶汤的滋味。在工夫红茶整个加工过程中,香气物质也发生了较大的变化。糖苷类香气物质在糖苷酶和糖苷转移酶等的作用下,发生水解释放出挥发性物质,形成具有花香的芳樟醇、橙花叔醇等<sup>[6]</sup>。类胡萝卜素发生酶促降解和光、热等引起的非酶促降解,形成具水果甜香的茶香螺酮、花果香的 $\beta$ -紫罗酮等<sup>[7-9]</sup>。脂肪酸在脂肪氧合酶等的作用下发生降解形成小分子的醛、酮等物质<sup>[10]</sup>,如呈现青草味和果香的己醛<sup>[11]</sup>、具茉莉花香的茉莉酸甲酯<sup>[10]</sup>等。糖类、氨基酸类物质,在热的作用下,参与焦糖化和美拉德反应,形成吡嗪类、吡咯类等具有烘烤香、坚果香的香气物质<sup>[12-13]</sup>。

本文主要对工夫红茶滋味和香气的品质化学成分及加工工艺进行阐述,并对近年来工夫红茶新工艺进行总结,以期为今后工夫红茶品质的提升与工艺改进提供参考。

## 1 工夫红茶滋味成分研究进展

滋味是茶叶的重要特征之一,茶叶中的呈味物质大致分为由儿茶素、黄酮类为主体的涩味<sup>[14-15]</sup>,由咖啡碱、花青素为主体的苦味<sup>[6]</sup>,由游离氨基酸及部分络合物为主体的鲜爽味<sup>[17]</sup>,呈甜味的可溶性糖及某些小分子氨基酸,呈酸味的可溶性酸及部分酸性氨基酸等,增加茶汤厚度的水溶性果胶及水浸出物<sup>[18]</sup>。这些呈味物质按不同的种类、含量、比例组合,使茶汤呈现不同的风味特征。

工夫红茶种类繁多,但其在理化成分方面却具有一定的共性,表现在多酚类物质及其氧化产物、可溶性糖、游离氨基酸、咖啡碱等含量方面有显著差异。这些物质受区域、茶树品种、季节、储藏条件等的影响。龚自明等<sup>[19]</sup>分析长江中下游区域红茶的品质特征,找出不同产区的滋味差异,湖南地区红茶汤色深红、滋味浓与其茶黄素、茶红素含量高有着直接关系;安徽和浙江地区红茶滋味甜醇的主要原因是氨基酸和可溶

性糖含量高;湖南地区红茶中咖啡碱含量高达5.16%,对其滋味浓厚贡献较大。易晓芹等<sup>[20]</sup>对国内外不同地区红茶的品质成分进行了分析,结果表明国外红茶的茶黄素含量均较高,而国内红茶的茶褐素含量较高。不同的茶树鲜叶原料制成的工夫红茶品质差异明显,汝城白毛茶红茶花香显,滋味浓强;保靖黄金茶红茶带花香,滋味醇和;楮叶齐品种红茶甜香明显,滋味浓强<sup>[21]</sup>。王昕等<sup>[22]</sup>对春、夏、秋3个季节汉中工夫红茶的氨基酸种类和含量进行了研究,红茶味觉氨基酸、必需氨基酸的平均含量分别为24.931、2.595 mg/g,氨基酸总量、必需氨基酸和味觉氨基酸均以夏季最高。陈冬等<sup>[23]</sup>对3个不同类型的祁门红茶进行了滋味特征方面的研究,结果表明,优质祁门工夫红茶具有较好的甜度、鲜爽度和回甘;同时综合分析理化成分和感官品质,发现咖啡碱与苦涩味正相关,游离氨基酸与鲜爽度呈正相关。在红茶储藏的1年时间里,其茶多酚、茶褐素、氨基酸、可溶性糖、咖啡碱、水浸出物均呈减少趋势;储藏结束时,茶黄素、茶红素含量差异不大;在储藏3个月时其感官品质达到最佳,而后呈下降趋势<sup>[24]</sup>。

## 2 工夫红茶香气成分研究进展

香气是决定茶叶品质的重要因子。迄今为止,从各类茶叶中分离并鉴定的香气物质有700余种<sup>[25]</sup>。传统的感官评估主要依赖于人的主观判断,随着茶叶香气化学研究的进一步深入与各种香气检测技术的发展,茶叶香气的质量评价会愈加准确灵敏,且更具可靠性与重复性。

郑鹏程等<sup>[26]</sup>分析了湖北红茶的香气品质特征,结果显示茶叶香气以甜香为主,部分茶样带花果香、糖香、高火香;同时鉴定了93种香气物质,以醇类和醛类为主,芳樟醇、香叶醇、水杨酸甲酯等成分构成了其甜香、糖香的香气品质特征。长江中下游不同产区红茶香气品质的分析结果表明,江苏地区红茶是以芳樟醇为主,呈现糖香,浙江地区红茶中香叶醇占优势,其他地区红茶属于中间型,富含芳樟醇和香叶醇,表现出甜香、花香等<sup>[19]</sup>。李健权<sup>[27]</sup>分析结果表明,红茶香气物质主要是醇类、醛类物质,其含量占总挥发性物质的一半以上;祁门红茶、凤庆红茶和印度大吉岭红茶醇类含量高,信阳红、英红九号、石门怡红和锡兰红茶醛类含量高,而正山小种醇类、醛类含量接近;祁门红茶和正山小种的香气类型为香叶醇占优势,而其它红茶的香气属于芳樟醇占主导地位的香型。刘聪等<sup>[28]</sup>分析了玫瑰香型滇红茶和普通滇红茶的挥发性物质,结果

表明芳樟醇、苯乙醇等6种物质总含量差异是两者香型不同的原因。

红茶香气物质是评判其品质的重要因素,对红茶关键性香气成分的研究,可为今后红茶的品质鉴定和香气特征的研究提供借鉴。

### 3 工夫红茶加工工艺的研究进展

红茶属全发酵茶类,加工工艺对红茶品质的形成具有非常重要的作用。红茶品质的形成是各个工序中理化反应的综合结果。因此,探明红茶加工工艺对品质的影响对提升红茶品质具有一定的实践指导意义。

#### 3.1 萎凋对工夫红茶品质的影响

萎凋是工夫红茶加工的第一道工序,也是其品质形成的基础工序。鲜叶在萎凋过程中发生失水等物理变化,同时伴随着一系列内含物质的化学变化,为茶叶滋味物质和香气成分的形成奠定了一定的物质基础。在此过程中,随着水分的逐步散失,鲜叶生理结构和理化特性发生明显变化,细胞液浓度不断提高,部分氧化酶和水解酶活性增强,引起一系列生化反应,为茶叶滋味物质、芳香物质、呈色物质等的形成奠定基础。

萎凋受诸多因素的影响,包括萎凋方式、萎凋程度、光质、萎凋温度、萎凋湿度等。研究表明<sup>[29]</sup>,热风萎凋效率高,香气品质好,但涩味重;远红外加温萎凋滋味甜醇,但香气低;自然萎凋感官风味较好。乔小燕等<sup>[30]</sup>分析了不同萎凋方式对金萱红茶香气影响,结果表明日光萎凋花香明显,而鼓风萎凋则甜香明显,两者主要挥发性物质组成差异不大,但主要挥发性物质的相对含量差异明显,这是经不同的萎凋方式制成的金萱茶香型差异的原因。不同萎凋程度对红茶品质也有一定的影响,中度萎凋有利于泰顺红茶感官品质的形成<sup>[31]</sup>。Ai Z 等对不同光质在萎凋中的作用进行了研究,发现黄光、橙光和红光处理萎凋叶能显著改善成品茶的香气和滋味,使茶叶甜香明显、滋味醇和;其中黄光条件下儿茶素、茶黄素、氨基酸和香气成分含量最高;绿光不利于茶叶的滋味和香气的品质形成<sup>[32]</sup>。Owuor 等<sup>[33]</sup>研究了萎凋温度对红茶香气品质的影响,结果表明在10℃~25℃的萎凋温度下,茶叶香气指数高,有利于红茶香气品质的形成;继续提升萎凋温度,香气指数下降,红茶品质不佳。冷冻萎凋增加了细胞膜的透性,因而可以促进多酚类物质的酶促氧化,显著提升红茶滋味品质,但却降低了糖苷酶活性,对红茶香气品质产生了一定的负面作用<sup>[34]</sup>。仇方方等<sup>[35]</sup>比较了4种萎凋湿度(55%、65%、75%、85%)条件下,红茶品质的差

异,认为萎凋湿度为55%、65%时,红茶甜香显,滋味鲜醇;当湿度为75%、85%时,红茶香气闷,滋味青涩,品质不佳。

#### 3.2 揉捻对工夫红茶品质的影响

揉捻是通过外力使茶叶细胞破碎,多酚氧化酶和多酚类物质接触,加速多酚类物质酶促氧化,是工夫红茶外形条索紧细和风味品质形成的重要工序。

朱宏凯等<sup>[36]</sup>分析了不同揉捻温度对工夫红茶品质的影响,认为20℃低温揉捻有利于红茶品质的提升,在该条件下,茶多酚、咖啡碱含量较低,茶黄素含量高,醛类、醇类和酮类等香气物质明显增加,尤其是苯乙醛、芳樟醇、紫罗酮等明显升高。蒋金星等<sup>[37]</sup>研究了不同揉捻温度对工夫红茶滋味品质的影响,结果表明,在10℃~25℃的揉捻温度下,口感较好,以16℃最好。揉捻程度对单芽红茶品质影响的研究表明,茶叶成条率随着揉捻程度的加重呈现逐渐增加的趋势,同时水浸出物、茶多酚、氨基酸的含量明显升高,可溶性糖有所减少,茶黄素先增加后下降,揉捻40min成品茶感官品质最好<sup>[38]</sup>。

#### 3.3 发酵对工夫红茶品质的影响

发酵是工夫红茶加工过程中的关键工序,对工夫红茶“红汤红叶、滋味甜醇、香气高长”品质特征形成具有重要的作用。在发酵过程中,多酚类物质在多酚氧化酶的作用下发生氧化聚合或与多糖、蛋白质等进一步聚合,形成茶黄素、聚酯型儿茶素、茶红素、茶褐素等对红茶品质具有重要影响的氧化产物。同时作为儿茶素氧化的中间产物,邻醌类物质引起一系列的偶联反应,包括氨基酸、胡萝卜素的氧化,为红茶香气品质的形成奠定一定的物质基础。感官表现为叶色由青绿色变为红色,香气由青气变为花果香、甜香。

影响发酵的因素包括发酵温度、湿度、通氧量、时间等。方世辉等<sup>[39]</sup>分析了4种发酵温度(16、22、28℃和34℃)对红茶品质的影响,结果显示,22、28℃发酵温度下制成的红茶品质较好;22℃发酵条件下,发酵时间以100min~140min为宜。曹冰冰等<sup>[40]</sup>采用先高后低的变温发酵方式,成品茶品质较好。红茶的发酵需要高湿的环境,一般要求相对湿度在90%以上,甚至95%以上<sup>[41]</sup>。通氧发酵能够加快发酵进程,缩短发酵时间,促进茶汤色泽和特征香气的形成<sup>[42]</sup>。宋晓东等<sup>[43]</sup>研究表明,在发酵温度24℃、95%湿度、摊叶厚度为7cm的条件下发酵3.0h,制成的宜红茶花香馥郁,滋味鲜甜。李霖林等<sup>[44]</sup>认为选用奇兰品种制作工夫红茶时,发酵温度控制在30℃,湿度为80%~90%,发酵4.5h,制成的红茶品质较好,花香浓郁、滋味醇厚。

一般情况下,发酵适度的判断主要对发酵叶叶色、香气等进行人为感官评价。为了克服人为评价中出现的偏差,近些年研究出采用色差法、嗅觉可视化传感器等技术对发酵适度进行判断。赵飞等<sup>[45]</sup>认为色差值 $\Delta E$ 值可以作为发酵适度的判断指标,当其接近0时,发酵适度,成品茶品质较好。陈琳等<sup>[46]</sup>采用嗅觉可视化传感器及气体检测系统来判别工夫红茶发酵程度,结果表明,Fisher判别函数对不同发酵程度的红茶可以进行100%分类。洪文娟<sup>[47]</sup>采用机器视觉技术对红茶发酵程度进行了研究,建立了3种红茶发酵适度的判别方法。

### 3.4 干燥对工夫红茶品质的影响

干燥是工夫红茶加工的最后一步,多酚氧化酶经过高温失去活性,酶促反应停止。在这个过程中,低沸点的青草气挥发损耗,高沸点的芳香物质得到保留,同时糖、氨基酸在高温作用下,发生的焦糖化、美拉德反应等,是红茶香气优雅高长的物质基础。

陈义等<sup>[48]</sup>探索了炭火低温长焙对信阳红品质的影响,结果表明:低温长焙可以提升茶叶香气,减少涩味,改善信阳红夏茶品质。“普洱晒红”的干燥方式为晒干,而“云南滇红”的干燥方式为烘干,前者的滋味更为醇和,甜香显,后者滋味“浓、强”<sup>[49]</sup>。Qiu等<sup>[50]</sup>发现滇红经焙火,其醇类、醛类、酯类和酮类含量增加,烷烃、酸类和含氮化合物变化不大,这些成分的差异是其香型发生变化的原因。杜红等<sup>[51]</sup>采用湿热后处理方式来提升红茶品质,结果表明,红茶经处理后感官品质明显提升,甜香浓郁、滋味醇厚;茶多酚、酯型儿茶素含量减少,茶红素增加;青草气和异味挥发性物质含量降低,甜香、花果香增加。

### 3.5 工夫红茶加工新工艺

“做青”是乌龙茶加工过程中的关键工序,对乌龙茶品质的形成起到重要的作用。做青过程中,鲜叶碰撞致使边缘损伤,多酚类物质在多酚氧化酶的作用下氧化,并引起一系列偶联反应,形成乌龙茶花香馥郁,滋味醇厚的品质特征。随着茶叶工作者的不断创新和突破,将乌龙茶做青工艺引入红茶加工中,创新性的研制出了同时具有传统红茶风格和独特花果香的优质红茶。萎凋叶经做青处理,茶叶香气明显提高,“显带自然兰花香”。花果香型工夫红茶因其花果香浓郁,汤色红亮,滋味醇厚鲜爽,受到广大消费者的青睐。

陈凤月等<sup>[52]</sup>将乌龙茶做青技术融入传统坦洋工夫红茶中,采用晒青-回青-做青-摊青的萎凋技术,制成香气馥郁的花香型坦洋工夫红茶。与传统工夫红茶相比较,花果香型坦洋工夫既保留了红茶的风格,又具有

岩茶的风韵。罗莲凤等<sup>[53]</sup>研究了做青工艺对黄观音红茶品质的影响,结果显示轻做青制成的红茶花香显。阳景阳等<sup>[54]</sup>以黄观音鲜叶为原料,结合做青工艺制成红茶,该茶花香显、滋味醇甜。与传统工艺茶样比较,新工艺红茶氨基酸、茶多酚、咖啡碱、(E)-呋喃芳樟醇氧化物、顺- $\alpha$ , $\alpha$ -5-三甲基-5-乙烷基四氢化呋喃-2-甲醇、苯乙醇和香叶醇含量均较高。赖兆祥等<sup>[55]</sup>结合乌龙茶工艺制作红茶,并研究了轻度、中度和重度3种不同做青程度下花香型红茶红螺春的品质,结果表明,轻度做青红茶花香馥郁,滋味鲜醇。周颖等<sup>[56]</sup>将摇青工艺引入工夫红茶加工工艺中,制成的红茶栀子花香浓郁。曹冰冰等<sup>[40]</sup>研究表明,花香工夫红茶主要香气物质为橙花叔醇、 $\beta$ -芳樟醇、己酸-顺-3-己烯酯、香叶醇等。雷攀登等<sup>[57]</sup>将做青工艺引入到祁门红茶的加工中,发现轻做青能够显著减少醇类物质,增加醛类、酯类、酸类和酮类香气的含量,从而改善茶叶香气、滋味品质。林馥茗<sup>[58]</sup>研究了摇青工艺对八仙红茶品质的影响,结果表明,摇青3次,总转数30条件下,茶叶氨基酸、可溶性糖含量增加,茶多酚、儿茶素总含量和酯型儿茶素含量降低,成茶带花香。涂云飞等<sup>[59]</sup>的研究表明,做青过程中儿茶素含量下降明显,茶黄素含量增加。儿茶素含量的下降有利于减少红茶的苦涩味,茶黄素含量的增加有利于红茶汤色和滋味的提升。传统工夫红茶滋味醇和、香气纯正,在传统加工工艺中引入乌龙茶的做青工序,能够减少儿茶素、酯型儿茶素含量,增加茶黄素、橙花叔醇、香叶醇等物质的含量,使得制成的新工艺红茶滋味纯正、带花香。可知,新工艺有利于提高茶叶香气,同时对口感也具有一定的改善作用。

随着科学的进步以及气相色谱-嗅闻仪(gas chromatography-olfactometry, GC-O)<sup>[60]</sup>、全二维气相色谱-飞行时间质谱(two-dimensional gas chromatography-time-of-flight-mass spectrometry, GC $\times$ GC-TOF-MS)<sup>[61]</sup>、反应飞行时间质谱仪(proton transfer reaction time-of-flight mass spectrometry, PTR-TOF-MS)<sup>[62]</sup>仪器分析手段的改进,红茶风味品质成分将会得到进一步研究,风味物质对品质的贡献及其相互作用将会进一步明确,不同风味类型红茶物质基础将会被揭示,这将为开发特色优质红茶产品提供理论依据。此外,花果香型工夫红茶品质形成机理的探究还不够深入,与品质相关的生化成分、香气成分、酶活性等在加工过程中的变化研究报道不多。不同品种相应的加工工艺,应用做青工艺后萎凋、发酵程度的掌握等还需在今后做进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] Shevchuk A, Jayasinghe L, Kuhnert N. Differentiation of black tea infusions according to origin, processing and botanical varieties using multivariate statistical analysis of LC-MS data[J]. Food research international, 2018, 109: 387-402
- [2] Yassin G H, Koek J H, Kuhnert N. Model system-based mechanistic studies of black tea thearubigin formation[J]. Food chemistry, 2015, 180: 272-279
- [3] Imran A, Butt M S, Arshad M S, et al. Exploring the potential of black tea based flavonoids against hyperlipidemia related disorders[J]. Lipids in health and disease, 2018, 17(1): 57
- [4] Yoshida, Kumi. Recent advances in polyphenol research [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016:67
- [5] Xu L, Xia G, Luo Z, et al. UHPLC analysis of major functional components in six types of Chinese teas: Constituent profile and origin consideration[J]. LWT, 2019, 102: 52-57
- [6] Ohgami S, Ono E, Horikawa M, et al. Volatile glycosylation in tea plants: sequential glycosylations for the biosynthesis of aroma  $\beta$ -primeverosides are catalyzed by two *Camellia sinensis* glycosyltransferases[J]. Plant physiology, 2015, 168(2): 464-477
- [7] Ho C T, Zheng X, Li S. Tea aroma formation [J]. Food Science and Human Wellness, 2015, 4(1): 9-27
- [8] Jeon D B, Hong Y S, Lee G H, et al. Determination of volatile organic compounds, catechins, caffeine and theanine in Jukro tea at three growth stages by chromatographic and spectrometric methods [J]. Food chemistry, 2017, 219: 443-452
- [9] Eneh F U, Igbokwe G E, Amuzie N G, et al. Chromatographic profiling and physicochemical properties of the essential oils from the aerial parts of *Lantana camara* Linn., *Hyptis suaveolens* Linn., and *Cleome viscosa* Linn [J]. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, 2015, 6(1): 7-11
- [10] Yang Z, Baldermann S, Watanabe N. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. Food Research International, 2013, 53 (2): 585-599
- [11] Zhu Y, Lv H P, Shao C Y, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. Food Research International, 2018, 108: 74-82
- [12] Sasaki T, Koshi E, Take H, et al. Characterisation of odorants in roasted stem tea using gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry analysis[J]. Food chemistry, 2017, 220: 177-183
- [13] Zapata J, Londoño V, Naranjo M, et al. Characterization of aroma compounds present in an industrial recovery concentrate of coffee flavour[J]. CyTA-Journal of Food, 2018, 16(1): 367-372
- [14] Zhang H, Li Y, Lv Y, et al. Influence of brewing conditions on taste components in Fuding white tea infusions[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(9): 2826-2833
- [15] Liu P P, Yin J F, Chen G S, et al. Flavor characteristics and chemical compositions of oolong tea processed using different semi-fermentation times[J]. Journal of food science and technology, 2018, 55 (3): 1185-1195
- [16] Scharbert S, Hofmann T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2005, 53 (13): 5377-5384
- [17] Wang K, Ruan J. Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas[J]. International journal of food science & technology, 2009, 44(12): 2476-2484
- [18] 范捷,王秋霜,秦丹丹,等.红茶品质及其相关生化因子研究进展[J].食品科学,2020,41(3):246-253
- [19] 龚自明,刘盼盼,郑鹏程,等.长江中下游产区红茶品质分析[J].食品工业科技,2018,39(23):247-254
- [20] 易晓芹,周原也,贺麟,等.不同产地红茶主要品质成分分析[J].茶叶通讯,2017,44(2):30-33
- [21] 黄怀生,粟本文,钟兴刚,等.湖南3种特色资源(品种)工夫红茶品质比较分析[J].茶叶通讯,2016,43(4):9-15
- [22] 王昕,李新生,陈小玲,等.汉中工夫红茶氨基酸种类和含量的分析与评价研究[J].食品研究与开发,2017,38(5):162-168
- [23] 陈冬,马涛,伞惟林,等.优质祁门红茶滋味特征分析[J].食品科学,2017,38(18):168-174
- [24] 杨娟,钟应富,罗红玉,等.红茶贮藏过程中主要内含成分及感官品质变化的研究[J].中国茶叶加工,2017(2):16-20,27
- [25] Baldermann S, Yang Z, Katsuno T, et al. Discrimination of green, oolong, and black teas by GC-MS analysis of characteristic volatile flavor compounds[J]. American Journal of Analytical Chemistry, 2014, 5(9): 620
- [26] 郑鹏程,刘盼盼,龚自明,等.湖北红茶特征性香气成分分析[J].茶叶科学,2017,37(5):465-475
- [27] 李健权.不同产地红茶香气成分的测定及分析[J].湖南农业科学,2017(8):85-92,97
- [28] 刘聪,张文杰,严亮,等.顶空固相微萃取结合 GC/MS 分析玫瑰香型滇红茶香气成分[J].食品科技,2017,42(8):300-305
- [29] 陈键,王丽丽,杨军国,等.不同萎凋方式工夫红茶工艺与品质的比较[J].茶叶学报,2016,57(4):200-204
- [30] 乔小燕,操君喜,吴华玲,等.不同萎凋方式和碰青工艺对红茶挥发性成分的影响[J].热带作物学报,2017,38(8):1572-1577
- [31] 王伟伟,杨刘艳,江和源,等.萎凋程度对泰顺红茶品质和儿茶素氧化的影响[J].中国农学通报,2017,33(11):59-63
- [32] Ai Z, Zhang B, Chen Y, et al. Impact of light irradiation on black tea quality during withering[J]. Journal of food science and technology, 2017, 54(5): 1212-1227
- [33] Owuor P O, Obanda M. The impact of withering temperature on black tea quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 70(3): 288-292
- [34] 黄建琴,王文杰,丁勇,等.冷冻萎凋对工夫红茶品质的影响[J].中国茶叶,2005(2):18-19
- [35] 仇方方,余志,艾仄宜,等.萎凋温度、湿度及风速对红茶品质的影响[J].中国茶叶,2014,36(11):22-25
- [36] 朱宏凯,何华锋,叶阳,等.温度对工夫红茶揉捻理化品质的影

- 响[J].现代食品科技,2017,33(5):168-175
- [37] 蒋金星,何华锋,褚飞洋,等.揉捻温度对工夫红茶滋味品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(7):90-95
- [38] 俞乐安,刘少群,段莹.不同揉捻程度对单芽红茶生化成分与品质的影响[J].广东茶业,2016(Z1):41-44
- [39] 方世辉,王先锋,汪惜生.不同发酵温度和程度对工夫红茶品质的影响[J].中国茶叶加工,2004(2):19-21
- [40] 曹冰冰,杨亚,周小露,等.用铁香茶树鲜叶加工高茶黄素花香红茶的工艺[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2018,44(2):162-166
- [41] 王领昌.影响红茶茶红素含量的因素及其成因研究[D].长沙:湖南农业大学,2017
- [42] 潘科,沈强,申东,等.红茶通氧发酵过程中发酵叶相变化分析[J].食品科学,2014,35(15):198-201
- [43] 宋晓东,赵瑶,罗晓英,等.发酵处理对宜红茶品质影响的研究[J].中国茶叶加工,2017(Z2):44-47
- [44] 李霖林,邱丽玲.发酵中主要控制因素对工夫红茶品质的影响[J].福建茶叶,2014,36(2):7-9
- [45] 赵飞,马圣洲,吴琴燕,等.色差法监测红茶发酵适度技术[J].江苏农业科学,2017,45(10):157-160
- [46] 陈琳,叶阳,董春旺,等.基于嗅觉可视化技术的工夫红茶发酵程度判定方法[J].茶叶科学,2017,37(3):258-265
- [47] 洪文娟.基于机器视觉的红茶发酵适度性研究[D].杭州:中国计量大学,2015
- [48] 陈义,张洁.炭火低温长焙对信阳红夏茶品质的影响[J].食品研究与开发,2017,38(19):5-8
- [49] 潘永斌.普洱晒红茶创新加工工艺[J].蚕桑茶叶通讯,2017(5):34-35
- [50] Qiu X, Wang J, Yu X, et al. Aroma formation in Dianhong black tea: Effects of baking [J]. International journal of food properties,2017, 20(11): 2724-2735
- [51] 杜红,李艳,冀翼,等.湿热后处理改善红茶风味品质的工艺优化及效果评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(3):340-346
- [52] 陈凤月,潘玉华,黄先洲.花香型坦洋工夫红茶萎凋技术[J].农产品加工(创新版),2012(9):68-70,74
- [53] 罗莲凤,梁光志,莫小燕,等.做青工艺对花香型工夫红茶黄观音感官品质的影响[J].中国热带农业,2016(6):77-78,66
- [54] 阳景阳,冯红钰,何文,等.花香型黄观音红茶加工技术及内含物分析[J].安徽农业科学,2018,46(34):155-157
- [55] 赖兆祥,苗爱清,孙世利,等.花香型红茶红螺春加工新技术研究[J].广东农业科学,2010,37(10):120-121
- [56] 周颖,谭婷,罗勇,等.不同加工处理对工夫红茶呈味成分的影响[J].茶叶通讯,2015,42(2):29-34
- [57] 雷攀登,周汉琛,吴琼,等.做青工艺对夏季祁门红茶品质形成影响[J].食品工业科技,2017,38(8):108-112,117
- [58] 林馥茗.提高八仙红茶品质的加工工艺研究[D].福州:福建农林大学,2011
- [59] 涂云飞,毛志方,周卫龙,等.做青中儿茶素与茶黄素变化研究[J].中国茶叶加工,2007(4):13-15
- [60] Niu Y, Wang P, Xiao Z, et al. Evaluation of the perceptual interaction among ester aroma compounds in cherry wines by GC-MS, GC-O, odor threshold and sensory analysis: An insight at the molecular level[J]. Food chemistry, 2019, 275: 143-153
- [61] Lukić I, Carlin S, Horvat I, et al. Combined targeted and untargeted profiling of volatile aroma compounds with comprehensive two-dimensional gas chromatography for differentiation of virgin olive oils according to variety and geographical origin [J]. Food chemistry, 2019, 270: 403-414
- [62] Deucher Z, Andriot I, Sémon E, et al. Volatile compounds profiling by using proton transfer reaction-time of flight-mass spectrometry (PTR-ToF-MS). The case study of dark chocolates organoleptic differences[J]. Journal of Mass Spectrometry, 2019, 54(1): 92-119

收稿日期:2019-09-26

高举中国特色社会主义伟大旗帜，

为决胜全面小康社会实现中国梦而奋斗。