

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

余鹏辉^{1,2,3}, 陈盼², 黄浩¹, 赵熙¹, 钟妮^{1,2,3}, 刘姝娟¹, 郑红发^{1,*}, 龚雨顺^{2,3,*}

(1.湖南省农业科学院茶叶研究所, 湖南 长沙 410125; 2.湖南农业大学 茶学教育部重点实验室, 湖南 长沙 410128;

3.国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:以保靖黄金茶1号鲜叶为原料,研究工夫红茶萎凋、揉捻、发酵和干燥工序对主要滋味物质形成的影响。结果表明:萎凋工序对干茶中游离氨基酸的形成影响最大,占游离氨基酸总变化的比例为375%,对其他滋味物质的形成影响轻微。揉捻工序可降低茶叶中水浸出物、茶多酚、儿茶素、游离氨基酸和可溶性糖含量,对干茶中茶黄素和茶红素的形成影响大于其他工序,两者含量总变化的工序占比分别为260%和164%。发酵工序可增加茶叶中总黄酮、可溶性糖、没食子酸、茶红素和茶褐素含量,对干茶中可溶性糖和游离氨基酸总变化的工序占比分别为195%和183%。干燥工序可轻微增加茶叶中没食子酸、总黄酮和咖啡碱含量,对干茶中可溶性糖和茶黄素总变化的工序占比分别为148%和98%。

关键词:保靖黄金茶1号;工夫红茶;工序;滋味物质;总变化

Influence of Processing Steps on the Formation of Main Taste Compounds in Congou Black Tea Made from the Cultivar Baojing Huangjinchai 1

YU Penghui^{1,2,3}, CHEN Pan², HUANG Hao¹, ZHAO Xi¹, ZHONG Ni^{1,2,3}, LIU Shujuan¹, ZHENG Hongfa^{1,*}, GONG Yushun^{2,3,*}

(1. Tea Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China;

2. Key Laboratory of Tea Science, Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

3. National Research Center of Engineering Technology for Utilization of Functional Ingredients from Botanicals, Changsha 410128, China)

Abstract: Fresh tea leaves of the cultivar Baojing Huangjinchai 1 were used to manufacture Congou black tea by the sequential steps of withering, rolling, fermentation and drying. Our aim was to investigate the influence of these steps on the formation of main taste compounds. The results showed that withering had the greatest influence on the formation of free amino acids in tea, and the variation in total free amino acids after withering accounted for 375% of the total variation over the whole manufacturing process, whereas it had only a slight effect on the formation of other taste compounds. The contents of water extract, tea polyphenols, total catechins, soluble sugar, and free amino acids were decreased after rolling, which had greater effects than the other processing steps on the formation of theaflavins and thearubigins, and the variation in these two compounds after rolling accounted for 260% and 164% of the total variation, respectively. The fermentation process increased the contents of total flavones, soluble sugar, thearubigins, and theabrownins, and the variation in soluble sugar and total free amino acids accounted for 195% and 183% of the total variation, respectively. The drying process increased the contents of gallic acids, total flavones, and caffeine, and contributed 148% and 98% to the total variation of soluble sugar and theaflavins during the entire manufacturing process, respectively.

Keywords: Baojing Huangjinchai 1; Congou black tea; processing steps; taste compounds; total variation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190612-130

中图分类号: TS272

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 10-0185-07

收稿日期: 2019-06-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2017YFD0400802); 湖南省重点研发计划项目(2018NK2035);

国家自然科学基金面上项目(31270733); 湖南省农业科技创新资金项目(2018QN31)

第一作者简介: 余鹏辉(1988—)(ORCID: 0000-0002-4852-2209), 男, 助理研究员, 硕士, 研究方向为茶叶加工与功能成分化学。E-mail: yphuihui@163.com

*通信作者简介: 郑红发(1975—)(ORCID: 0000-0003-4201-3830), 男, 研究员, 学士, 研究方向为茶叶加工与综合利用。

E-mail: zhenghongfa111@163.com

龚雨顺(1974—)(ORCID: 0000-0002-9534-5719), 男, 教授, 博士, 研究方向为茶叶加工与功能成分化学。

E-mail: gongyushun@hunau.net

引文格式:

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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190612-130. <http://www.spkx.net.cn>

YU Penghui, CHEN Pan, HUANG Hao, 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. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190612-130. <http://www.spkx.net.cn>

滋味是茶叶品质的重要因子,其实质是茶汤中多种滋味物质的综合反映。滋味物质在形成过程中受产地、茶树品种^[1]、季节^[2]和加工工序^[3]等因素影响。在这些影响因素中,加工工序使茶叶中滋味物质发生差异变化,形成不同茶类。

工夫红茶是我国特有的茶类,其加工工序包括萎凋、揉捻、发酵和干燥。萎凋工序通过散失鲜叶中的水分,使鲜叶变得柔软以适合揉捻^[4];揉捻工序使叶片细胞破损,茶汁溢出,细胞中物质充分接触并发生酶促反应^[5],为发酵提供物质基础;发酵工序是红茶品质形成的关键工序,在适当的温湿度条件下,茶叶中儿茶素经酶促氧化形成红茶特征物质茶黄素等^[6];干燥工序使茶叶中水分进一步散失,增加茶叶温度,终止发酵^[7],同时也促使干茶香气、滋味和色泽形成。

不同工序条件和参数对工夫红茶品质形成的研究较多^[8-10],而加工过程中各工序对滋味物质形成的作用及其影响鲜有报道。本研究采用冷冻干燥方式对工夫红茶各工序后茶叶进行固样,通过检测主要滋味物质的含量,进一步分析各工序对滋味物质形成的调节作用及其影响程度,以期对工夫红茶加工工序参数优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜叶均采自湖南省茶叶研究所高桥试验基地茶园(湖南省长沙县),采摘时间为2018年7月上旬,品种为保靖黄金茶1号,鲜叶等级为1芽2叶。采用相关研究^[1,11]中工夫红茶加工工序制作,各加工工序参数为:鲜叶-萎凋(室内自然萎凋,鲜叶薄摊2~3 cm,平均气温24~28℃,至鲜叶含水量为62%~63%止)-揉捻(25型揉捻机,不加压10 min→轻压15 min→重压10 min→轻压15 min→重压10 min→轻压15 min,总时间75 min,随后解块)-发酵(人工气候箱,温度30℃,相对湿度95%以上,发酵时间4 h)-干燥(提香机,温度90℃,干燥时间90 min),取样方法为随机取样。

乙腈、甲醇(均为色谱纯),浓硫酸、蒽酮、酒石酸亚铁、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、水合茚三酮、三氯化铝(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;无水葡萄糖、谷氨酸、没食子酸、咖啡碱、儿茶素单体

标样 上海源叶生物科技有限公司;液氮 湖南省长沙县安沙镇时中化工原料经营部。

1.2 仪器与设备

6CR-25型茶叶揉捻机 浙江上洋机械有限公司; PRX-450D型人工气候箱 上海谷宁实业有限公司; JY-6CHZ-7B型茶叶烘焙提香机 福建佳友机械有限公司; MA35便携式水分测定仪 德国赛多利斯集团; FD5-6立式冷冻干燥机 美国西盟国际集团; LC-20AT型高效液相色谱仪 日本岛津公司; UV-1801紫外分光光度计 北京北分瑞利分析仪器有限公司; HH-2数显恒温水浴锅 北京市永光明医疗设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 茶叶冷冻固样

参照Wu Hualing等^[3]的固样方法,分别取鲜叶和各工序后茶叶100.00 g,放入液氮罐并带回实验室,经冷冻干燥处理48 h,茶样磨碎后置于一20℃冰箱以待检测。

1.3.2 主要成分检测

水分含量测定:参考GB/T 8304—2013《茶 水分测定》;水浸出物含量测定:参考GB/T 8305—2013《茶 水浸出物测定》;游离氨基酸总量测定:参考GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量测定》;茶多酚含量测定:参照酒石酸亚铁比色法;儿茶素组分、没食子酸和咖啡碱含量的测定:参照GB/T 8313—2008《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中高效液相色谱法;总黄酮含量测定:参照三氯化铝比色法;茶可溶性糖含量测定:参照蒽酮比色法;茶色素含量测定:参照系统分析法。

1.4 数据处理

采用Microsoft Office 2016软件进行数据分析,采用OriginPro 2017软件进行图片处理。实验重复2次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 加工工序对滋味物质含量的影响

水浸出物是工夫红茶中水溶性干物质的总量,影响茶汤滋味浓度。茶多酚包括黄烷醇类、黄酮/黄酮苷类、酚酸类等^[12],是工夫红茶重要的苦涩味物质^[13]。如图1所示,水浸出物质量分数由鲜叶中的47.11%降低至干茶的

37.38%，降幅为20.65%；茶多酚和儿茶素总量在萎凋工序有轻微升高，随后工序降低明显。茶多酚质量分数由鲜叶中的26.71%降低至干茶中13.65%，降幅为48.90%；儿茶素总量由鲜叶中的16.85%降低至干茶中1.04%，降幅最大，为93.83%。总黄酮含量在萎凋工序轻微降低了8.54%，干茶中增至1.57%，较鲜叶增幅为29.91%。游离氨基酸因其呈味特征可分为甜味、鲜味和苦味氨基酸^[14]。在加工过程中游离氨基酸质量分数由鲜叶中1.21%增至萎凋叶中3.24%，较鲜叶增加1.68倍，干燥后质量分数降至1.75%。可溶性糖能够缓解咖啡碱呈现的苦味，是红茶中的甜味物质^[14]。图1显示，工夫红茶加工过程中，咖啡碱含量在萎凋工序后略微增加，其他工序中可溶性糖和咖啡碱含量变化不明显。没食子酸与茶汤中酸味、涩味和回甘相关^[15]。没食子酸含量呈上升趋势，由鲜叶中0.02%增至干茶中0.37%。

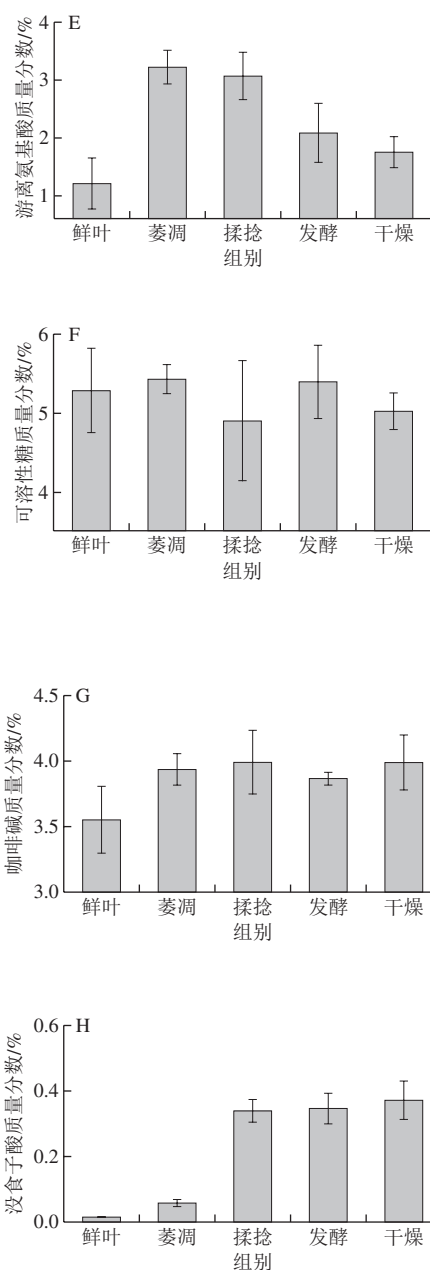
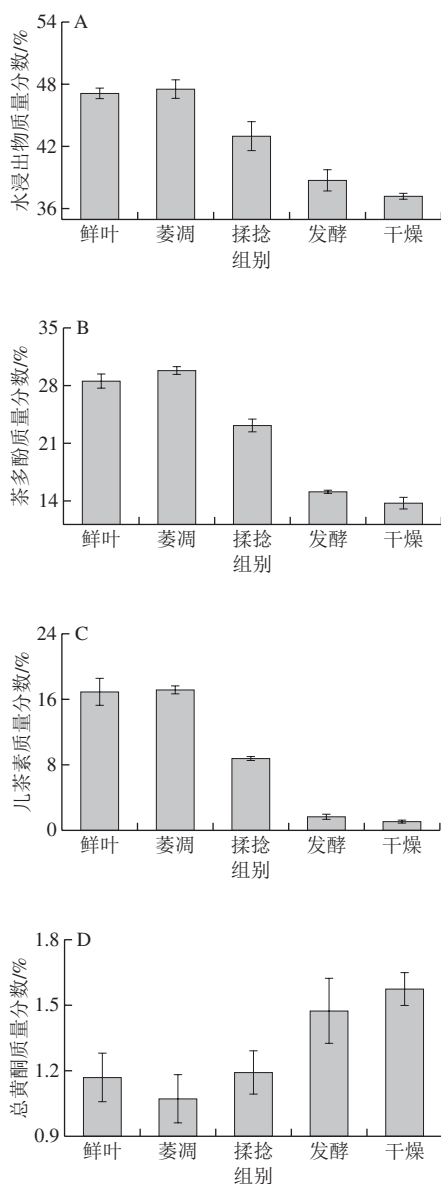
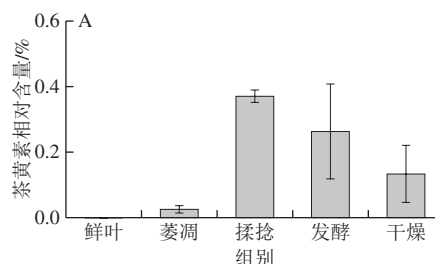
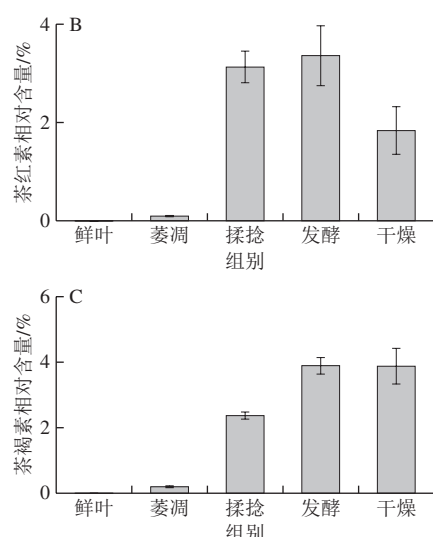


图1 加工工序对水浸出物(A)、茶多酚(B)、儿茶素(C)、总黄酮(D)、游离氨基酸(E)、可溶性糖(F)、咖啡碱(G)、没食子酸(H)含量的影响

Fig. 1 Effect of processing steps on the contents of water extract (A), tea polyphenols (B), catechins (C), total flavones (D), free amino acids (E), soluble sugar (F), caffeine (G), and gallic acids (H)





茶色素相对含量=各工序后该物质含量-鲜叶中该物质含量。

图2 加工工序对茶黄素(A)、茶红素(B)、茶褐素(C)相对含量的影响

Fig. 2 Effect of processing steps on the relative contents of theaflavins (A), thearubigins (B), and theabrownins (C)

茶色素包括茶黄素、茶红素、茶褐素。茶黄素能够给舌头后部持续的涩味^[16]，是茶汤刺激性强烈的主要成分；茶红素影响茶汤亮度及滋味强度^[17]；茶褐素同样是红茶汤色和滋味形成的重要物质，与茶汤中苦味呈显著负相关^[18]。图2显示，茶黄素、茶红素和茶褐素呈先升后降趋势。茶黄素相对含量在揉捻后达最高值，为0.36%，茶红素和茶褐素相对含量在发酵工序后达最高值，分别为3.36%和3.89%。

由图3可知，儿茶素含量较高，且在工夫红茶加工过程中变化幅度较大。因此，本研究对儿茶素组分进一步分析。由图3可知，表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、(+)-儿茶素((+)-catechin, (+)-C)和表儿茶素(epicatechin, EC)含量在加工过程中呈降低趋势，干燥后三者含量(较鲜叶)分别降低了98.28%、91.24%和83.27%。没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)和表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)含量则在萎凋过程中略微增加，增幅分别为0.59%、2.93%、19.32%和8.48%，之后的加工过程呈降低趋势，从鲜叶到干茶降幅分别为97.0%、95.44%、100%和78.87%。

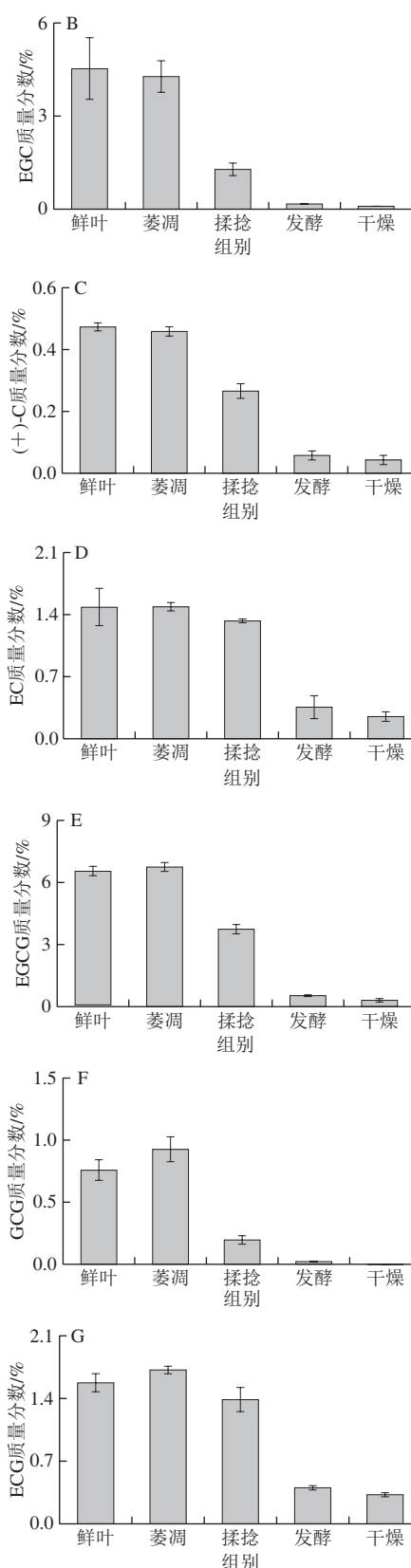
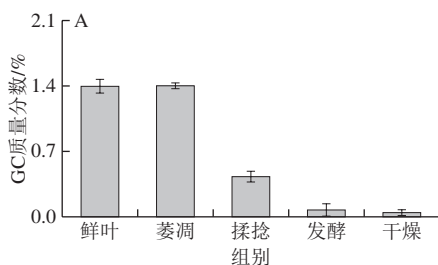


图3 加工工序对简单儿茶素(A~D)和酯型儿茶素(E~G)含量的影响

Fig. 3 Effect of processing steps on the contents of simple catechins (A-D) and ester catechins (E-G)

2.2 加工工序对滋味物质形成调节作用分析



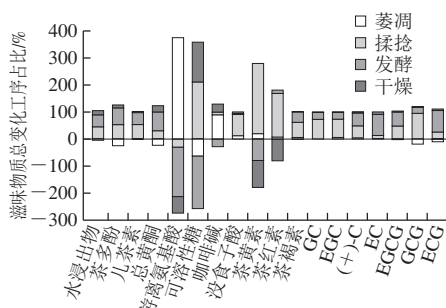
工序滋味物质含量=某工序后含量-某工序前含量, 灰色阴影 (正值) 表示增加作用, 白色阴影 (负值) 表示降低作用。

图4 加工工序对主要滋味物质的调节作用

Fig. 4 Regulatory effect of processing steps on the main taste compounds

由图4可知, 萎凋工序降低总黄酮、EGC、(+)-C和EC的含量, 增加其他主要滋味物质含量。揉捻工序降低水浸出物、茶多酚、儿茶素总量 (包括简单儿茶素和酯型儿茶素)、游离氨基酸和可溶性糖含量, 增加总黄酮、咖啡碱、没食子酸、茶黄素、茶红素和茶褐素的含量。发酵工序增加总黄酮、没食子酸、可溶性糖、茶红素和茶褐素含量, 降低其他主要滋味物质含量。干燥工序增加没食子酸、咖啡碱和总黄酮含量, 降低其他主要滋味物质含量。

2.3 加工工序对干茶中滋味物质形成作用占比



滋味物质总变化工序占比= (某工序后滋味物质含量-某工序前滋味物质含量) / (干茶中含量-鲜叶中含量); 正值表示与滋味物质含量变化方向 (鲜叶至干茶) 相同, 负值表示与滋味物质含量变化方向 (鲜叶至干茶) 相反。

图5 加工工序对主要滋味物质形成作用占比

Fig. 5 Contribution of processing steps to the formation of main taste compounds

某加工工序对干茶中主要滋味物质形成作用通过该工序对滋味物质总变化的占比表示。由图5可知, 萎凋工序对游离氨基酸的形成影响最大, 其含量总变化萎凋工序占比为375%。揉捻工序对茶黄素、可溶性糖、茶红素

的形成影响较大, 三者含量总变化揉捻工序占比分别为260%、211%和164%。发酵工序对可溶性糖、游离氨基酸形成影响较大, 两者含量总变化发酵工序占比分别为195%和183%, 对茶黄素、EGC和EC形成影响次之, 三者含量总变化发酵工序占比分别为81%、79%和78%。干燥工序对可溶性糖形成影响较大, 其含量总变化干燥工序占比为148%, 对茶黄素和茶红素的形成影响次之, 其含量总变化干燥工序占比分别为98%和81%。

3 结论与讨论

本实验研究工夫红茶加工工序对主要滋味物质形成的影响, 结果表明: 1) 萎凋工序可明显增加游离氨基酸含量, 对干茶中游离氨基酸形成的作用大于其他工序; 2) 揉捻工序可增加没食子酸、茶黄素、茶红素和茶褐素含量, 且对茶黄素和茶红素形成的作用大于其他工序; 3) 发酵工序可降低儿茶素总量、茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱和茶黄素含量, 且对游离氨基酸和可溶性糖形成的作用较大; 4) 干燥工序轻微增加茶叶中没食子酸、总黄酮和咖啡碱含量, 干茶中可溶性糖和茶黄素总变化的占比分别为148%和98%。

萎凋是工夫红茶加工的首道工序。已有研究表明, 萎凋可增加茶叶中游离氨基酸、咖啡碱、单糖和没食子酸含量, 降低茶多酚和儿茶素总量^[19]。尹军峰等^[20]检测到EGC、EGCG、EC和GCG含量在萎凋过程中逐渐降低, 而(+)-C和ECG含量逐渐增加。本研究中萎凋工序可略微降低总黄酮、EGC、EC和(+)-C的含量, 增加其他滋味物质含量, 包括略微增加茶多酚和酯型儿茶素含量。茶多酚和儿茶素组分结果与以往研究存在差异, 这可能与萎凋条件 (本研究中萎凋环境平均温度为24~28℃) 有关。潘玉华等^[21]通过人工调控萎凋温度为26℃, 相对湿度为(70±5)%, 发现鲜叶在萎凋12h和36h后, 茶多酚含量较鲜叶中含量均有所增加, 而调控萎凋温度为18℃和22℃, 鲜叶萎凋12h和36h后, 茶多酚含量则均有所降低。同样, Ye Yulong等^[22]研究表明萎凋温度、时间以及物质间相互作用能显著影响除儿茶素没食子酸酯以外的其他儿茶素组分含量, 而萎凋期间咖啡碱含量的增加与萎凋温度无关。本研究获得了类似的结果, 萎凋后咖啡碱含量略微增加, 但萎凋条件对滋味物质含量的影响有待进一步研究。萎凋工序对茶多酚含量和儿茶素组分的影响轻微, 而对游离氨基酸含量的影响明显。萎凋工序对干茶中游离氨基酸形成作用大于其他工序, 这可能是萎凋过程中大量蛋白质降解引起的^[23], 鉴于游离氨基酸在茶汤中主要表现为鲜甜的呈味特征^[24], 本研究认为萎凋工序可能是影响保靖黄金茶工夫红茶茶汤鲜甜味的关键工序。

揉捻过程中茶叶细胞破损, 内含物质充分接触并发生剧烈变化。蒋金星^[25]认为揉捻可降低儿茶素总量, 增加没食子酸含量, 本研究得到了类似的结果, 但本研究还发现揉捻对茶黄素和茶红素形成的作用大于其他工序, 这可能与揉捻条件和时间有关。实际上, 揉捻过程中茶叶已经开始发酵, 揉捻时间越长, 在此阶段因发酵引起的物质变化则越大。前期工夫红茶加工实践发现, 在揉捻工序后, 保靖黄金茶鲜叶比同等揉捻条件下的楠叶齐和碧香早品种鲜叶红条率更高。因此, 揉捻工序(包括此阶段发酵过程)或将是影响保靖黄金茶工夫红茶特征滋味物质形成的关键工序。

在发酵工序(指定温湿度环境)中, 部分游离氨基酸结合茶多酚、糖类形成聚合物, 致使其含量下降^[24]。茶黄素和茶红素在此阶段大量形成并存在峰值, 茶褐素则随着发酵时间的延长而增加^[10]。本研究中发酵工序对干茶中游离氨基酸和可溶性糖的形成作用较大, 对茶黄素、茶红素形成作用小于揉捻工序, 这有可能是由于茶红素和茶黄素含量的峰值已过。因此, 针对特定品种, 发酵时间对茶色素形成的影响有待进一步研究。

干燥是工夫红茶品质形成的最后工序, 在此阶段, 羰基化合物和氨基化合物会发生反应(包括斯特雷克降解反应)^[24], 导致游离氨基酸和可溶性糖含量下降。王贵芳^[26]研究显示工夫红茶干燥过程中, 茶红素进一步转化为茶褐素, 茶红素含量降低。尹杰等^[27]发现茶红素和茶褐素在发酵后的做形和干燥阶段呈下降趋势。本研究获得类似的结果, 干燥工序轻微降低游离氨基酸、可溶性糖、茶黄素、茶红素和茶褐素的含量, 但本研究还发现黄酮含量在干燥后明显增加, 这可能与黄酮苷受热分解有关^[28]。此外, 各加工工序对可溶性糖作用均较大, 这可能与其在鲜叶和干茶中含量相差较小有关, 然鲜叶和干茶中可溶性糖组成差异有待进一步研究。

本研究从调节作用及其影响大小分析了各加工工序对主要滋味物质形成的重要性, 发现萎凋工序或将是工夫红茶茶汤鲜甜味的关键工序; 揉捻工序(包括此阶段的发酵过程)或将是工夫红茶特征滋味物质形成的关键工序。然而, 本研究仅分析了各加工工序对主要滋味物质形成的影响, 有必要结合代谢组学方法系统研究加工工序对其他滋味物质形成的影响。鉴于滋味是工夫红茶品质评判的重要因子, 本研究将有助于工夫红茶工序参数优化及品质提升。

参考文献:

- [1] JIANG Y W, HUA J J, WANG B, et al. Effects of variety, season, and region on theaflavins content of fermented Chinese Congou black tea[J]. Journal of Food Quality, 2018(1): 1-9. DOI:10.1155/2018/5427302.
- [2] DAI W, QI D, YANG T, et al. Nontargeted analysis using ultraperformance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry uncovers the effects of harvest season on the metabolites and taste quality of tea (*Camellia sinensis* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(44): 9869-9878. DOI:10.1021/acs.jafc.5b03967.
- [3] 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. DOI:10.1016/j.foodres.2019.02.039.
- [4] JABEEN S, ALAM S, SALEEM M, et al. Withering timings affect the total free amino acids and mineral contents of tea leaves during black tea manufacturing[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2015, 12(8): 2411-2417. DOI:10.1016/j.arabjc.2015.03.011.
- [5] ZENG L, WATANABE N, YANG Z. Understanding the biosyntheses and stress response mechanisms of aroma compounds in tea (*Camellia sinensis*) to safely and effectively improve tea aroma[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(14): 2321-2334. DOI:10.1080/10408398.2018.1506907.
- [6] TAN J, DAI W, LU M, 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. DOI:10.1016/j.foodres.2015.11.018.
- [7] TEMPLE S J, TEMPLE C M, BOXTEL A, et al. The effect of drying on black tea quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(8): 764-772. DOI:10.1002/jsfa.881.
- [8] QU F, ZHU X, AI Z, et al. Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea[J]. LWT, 2019, 99: 112-118. DOI:10.1016/j.lwt.2018.09.036.
- [9] SARI F, VELIOGLU Y S. Changes in theanine and caffeine contents of black tea with different rolling methods and processing stages[J]. European Food Research and Technology, 2013, 237(2): 229-236. DOI:10.1007/s00217-013-1984-z.
- [10] MUTHUMANI T, KUMAR R S. Influence of fermentation time on the development of compounds responsible for quality in black tea[J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 98-102. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.01.008.
- [11] 谭婷, 周颖, 高静, 等. 保靖黄金茶红茶发酵工艺研究[J]. 湖南农业科学, 2016(1): 77-80. DOI:10.16498/j.cnki.hnnykx.2016.01.022.
- [12] TOUNEKTI T, JOUBERT E, HERNÁNDEZ I, et al. Improving the polyphenol content of tea[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2013, 32(3): 192-215. DOI:10.1080/07352689.2012.747384.
- [13] SCHARBERT S, HOLZMANN N, HOFMANN T. Identification of the astringent taste compounds in black tea infusions by combining instrumental analysis and human bioresponse[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(11): 3498-3508. DOI:10.1021/jf049802u.
- [14] 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. DOI:10.1021/jf050294d.
- [15] CAO Q Q, ZOU C, ZHANG Y H, et al. Improving the taste of autumn green tea with tannase[J]. Food Chemistry, 2019, 277: 432-437. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.10.146.
- [16] SCHARBERT S, JEZUSSEK M, HOFMANN T. Evaluation of the taste contribution of theaflavins in black tea infusions using the taste activity concept[J]. European Food Research and Technology, 2004, 218(5): 442-447. DOI:10.1007/s00217-004-0888-3.

- [17] SAHA P, GHORAI S, TUDU B, et al. Feature fusion for prediction of theaflavin and thearubigin in tea using electronic tongue[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2017, 66(7): 1703-1710. DOI:10.1109/TIM.2017.2672458.
- [18] WANG K, CHEN Q, LIN Y, et al. Comparison of phenolic compounds and taste of Chinese black tea[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(3): 639-646. DOI:10.3136/fstr.20.639.
- [19] DEB S, POUL K J. A review of withering in the processing of black tea[J]. Journal of Biosystems Engineering, 2016, 41(4): 365-372. DOI:10.5307/JBE.2016.41.4.365.
- [20] 尹军峰, 闵航, 许勇泉, 等. 摊放环境对名优绿茶鲜叶茶多酚及儿茶素组成的影响[J]. 茶叶科学, 2008, 28(1): 22-27. DOI:10.13305/j.cnki.jts.2008.01.002.
- [21] 潘玉华, 黄先洲, 周寒松. 人工调控萎凋室温湿度的白茶加工工艺探究[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(5): 1144-1148. DOI:10.3969/j.issn.0439-8114.2013.05.043.
- [22] YE Y L, YAN J N, CUI J L, 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: 98-108. DOI:10.1016/j.jfca.2017.12.008.
- [23] YAO L, LIU X, JIANG Y, et al. Compositional analysis of teas from Australian supermarkets[J]. Food Chemistry, 2006, 94(1): 115-122. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.11.009.
- [24] YANG Z, YANG Z Y. Understanding different regulatory mechanisms of proteinaceous and non-proteinaceous amino acid formation in tea (*Camellia sinensis*) provides new insights into the safe and effective alteration of tea flavor and function[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 60(5): 844-858. DOI:10.1080/10408398.2018.1552245.
- [25] 蒋金星. 揉捻温度对工夫红茶品质的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 34-36.
- [26] 王贵芳. 丹桂在四茶类加工中主要生化成分的变化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008: 51-53.
- [27] 尹杰, 范仕胜, 宋勤飞, 等. 工夫红茶加工过程中的品质变化[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(21): 5279-5282. DOI:10.3969/j.issn.0439-8114.2013.21.046.
- [28] LI P, ZHU Y, LU M, et al. Variation patterns in the content of glycosides during green tea manufacturing by a modification-specific metabolomics approach: enzymatic reaction promoting an increase in the glycosidically bound volatiles at the pan firing stage[J]. Food Chemistry, 2019, 279: 80-87. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.11.148.