

不同毛火程度绿茶的品质成分及感官风味比较

吴荣梅^{1,2}, 滑金杰¹, 袁海波¹, 叶浩³, 汪永奇^{1,2}, 余秀宏², 王近近^{1*}, 余书平^{1,2*}

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江杭州 310008) (2. 开化县农业特色产业发展中心, 浙江衢州 324300)
(3. 宁波市姚江源机械有限公司, 浙江余姚 315400)

摘要: 该研究以一芽二叶初展的“鸠坑”为原料进行绿茶加工, 通过毛火至 15%、20%、25% 的含水率获得重度、中度、轻度三个不同的毛火程度, 分析其对所制绿茶品质的影响, 明确绿茶毛火适度的含水率。结果表明, 毛火程度越高, 总黄酮苷、外形绿度值 S_a 、汤色绿度值 L_a 等越高 ($p < 0.05$), 甜度值、外形黄度与绿度的比值 S_b/S_a 等越低 ($p < 0.05$); 重度毛火较轻度毛火的甜度值、 S_b/S_a 值分别下降了 38.53%、78.88%, S_a 、 L_a 、总黄酮苷等值分别增加了 47.11%、11.02%、3.17%; 中度毛火处理 (20% 含水率) 的茶叶同时具有相对高的氨基酸、葡萄糖、甜度值、汤色黄度与绿度的比值 L_b/L_a 及相对低的酚氨比、总黄酮苷等, 具备了成为优质绿茶的基础, 其中 L_b/L_a 较重度和轻度毛火分别显著高出了 3.14%、4.25% ($p < 0.05$), 茶叶呈现出嫩绿明亮、嫩香、鲜醇的优异品质, 感官总分 92.2, 较重度和轻度毛火分别高出了 1.25 分、2.25 分; 不同毛火程度的茶叶品质差异的主要指标为 L_b/L_a 、 LL 、酯型儿茶素、山柰酚-3-O-芸香糖苷等。综上可知, 20% 毛火叶含水率可作为毛火适度的标准。

关键词: 绿茶; 毛火程度; 含水率; 品质

文章编号: 1673-9078(2022)09-298-307

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.9.1346

Comparison of Quality Components and Sensory Flavor of Green Tea with Different First-firing Degrees

WU Rongmei^{1,2}, HUA Jinjie¹, YUAN Haibo¹, YE Hao³, WANG Yongqi^{1,2}, YU Xiuhong², WANG Jinjin^{1*}, YU Shuping^{1,2*}

(1. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China)

(2. Kaihua County Agricultural characteristic Industry Development Center, Quzhou 324300, China)

(3. The Yuyao Yao Jiangyuan Tea Machinery Co. Ltd., Yuyao 315400, China)

Abstract: Two leaves and a bud of the Jiukeng tea variety were selected as the raw material to conduct trial production of green tea. Three different first-firing degrees, namely heavy, moderate, and mild, with a leaf water content of 15%, 20%, and 25%, respectively, were achieved through first-firing treatments. The effects of the three levels of first-firing on the biochemical components, the dry tea color parameters, the tea liquor color parameters, and the sensory quality of the tea samples were analyzed to determine the appropriate water content degree of first-firing green tea processing. The results showed that with a high first-firing degree, the total flavonoid glycosides, appearance greenness (S_a), and liquor greenness (L_a) were significantly high ($p < 0.05$), whereas the sweetness value and the S_b/S_a or yellowness to greenness ratio for appearance, was significantly low ($p < 0.05$). Furthermore, compared with mild first-firing, under heavy first-firing, the sweetness value and S_b/S_a value decreased by 38.53% and 78.88%, respectively, and the values of S_a , L_a , and total flavonoids increased by 47.11%, 11.02%, and 3.17%, respectively. Moderate first-firing treatment (20% moisture content) also led to relatively high amino acid, glucose, sweetness value, the ratio of yellowness to

引文格式:

吴荣梅,滑金杰,袁海波,等.不同毛火程度绿茶的品质成分及感官风味比较[J].现代食品科技,2022,38(9):298-307

WU Rongmei, HUA Jinjie, YUAN Haibo, et al. Comparison of quality components and sensory flavor of green tea with different first-firing degrees [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 298-307

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程专项 (GAAS-ASTIP-TRICAAS); 国家茶叶产业技术体系红茶加工岗位 (CARS-19)

作者简介: 吴荣梅 (1976-), 女, 本科, 高级农艺师, 研究方向: 茶叶生产加工技术推广, E-mail: 591457881@qq.com

通讯作者: 王近近 (1989-), 女, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 茶叶加工技术与工艺, E-mail: jinjinwangtkz@tricaas.com; 共同通讯作者: 余书平 (1969-), 男, 本科, 高级农艺师, 研究方向: 茶叶生产加工技术推广, E-mail: 2362691994@qq.com

greenness (Lb/La) of the liquor, and relatively low phenol-ammonia ratio, total catechin, and total flavonoid glycosides providing the material basis for high-quality green tea. This treatment resulted in improved light green and bright color, tender aroma, fresh and mellow taste quality of the green tea, and a total sensory score (92.2) of 1.25 and 2.25 points higher than those of heavy and mild first-firing treatments, respectively. In addition, the Lb/La value of moderate first-firing was significantly higher than that of heavy and mild first-firing green tea by 3.14% and 4.25%, respectively ($p < 0.05$). PLS-DA results showed that Lb/La , brightness of liquor color (LL), ester catechins, kaempferol-3-O-rutin glycoside, and phenol-ammonia ratio were the distinctive characteristic components of green tea under different first-firing degree conditions, and can serve as the control indexes for the drying process of green tea. In conclusion, a leaf moisture content of 20% could serve as the standard of moderate first-firing.

Key words: green tea; first-firing degree; water content; quality

茶是广受消费者喜爱的健康饮料,按照加工方式的不同分为绿茶、红茶、黄茶、白茶、黑茶、乌龙茶等,其中绿茶是中国茶产业的核心,其具有清汤绿叶的独特品质及抗菌、抗氧化、抗辐射等健康功效^[1,2]。绿茶为非发酵茶,加工工序主要包括摊放、杀青、揉捻(做形)、干燥,其中干燥可分为毛火和足火两个阶段。毛火是绿茶干燥的关键工序,通过毛火可有效散发多余的水分,减少茶叶的体积,固定茶叶外形,同时进行复杂的热化学反应,使在制品的物理特性和生化成分发生剧烈变化,形成绿茶特有的色、香、味、形等品质^[3,4]。

干燥工序的关键控制参数为温度和时间,其通过影响内含成分的转化使茶叶感官品质类型和强度发生不同程度的变化。现有研究中关于温度的研究较多,如陈根生等^[5]通过设置 90、100、110 °C 三个不同的烘焙温度发现 100 °C 为适宜针芽形绿茶加工的干燥温度,Donlao 等^[6]研究了 80、120、160 °C 等不同的干燥温度对绿茶及其茶汤中的品质成分的影响,结果表明 80 °C 的较低温度有利于绿茶品质的形成。毛火的干燥时间与毛火程度密切相关,毛火程度可通过毛火叶的含水率显示。水分是化学反应的介质,含水率是茶叶加工工序中的重要参数,如茶叶摊放时会根据在制品的含水率判断茶叶是否摊放适度^[7],杀青也可通过检测其含水率判断在制品的杀青状态^[8]。目前关于毛火的研究多集中于毛火设备的研发、毛火方式的比较,如微波干燥、远红外干燥、低温干燥、电磁滚筒变温/热风耦合干燥等设备和技术的研究^[9-11],另外,Zhu 等^[12]研究了远红外干燥和滚筒干燥方式下不同干燥程度的绿茶品质的变化。现有研究中关于毛火程度的报道较少。生产上经常通过观察叶色转暗、条索收紧、茶条略有刺手感、茶叶为七八成干等感官经验判断茶叶毛火的适度情况,缺少毛火工艺数字化的表征,不利于茶叶的自动化、智能化、无人化加工。

基于此,本研究以重度(15%含水率)、中度(20%

含水率)、轻度(25%含水率)等三种不同毛火程度的绿茶为研究对象,通过测定茶多酚、氨基酸、咖啡碱、儿茶素组分、可溶性糖组分、黄酮苷组分等品质成分的含量以及检测干茶色泽和汤色色泽属性,并结合感官审评,探究不同毛火含水率对绿茶品质成分的影响,并通过 PLS-DA 分析不同毛火程度间品质成分的差异性及关键差异化合物,以期为优质绿茶的标准化和智能化加工提供理论基础和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茶鲜叶 2020 年 4 月下旬采摘于浙江天台,品种为鸠坑,采摘标准为一芽二叶初展。

碳酸钠、茛三酮、氯化锡、福林酚等,均为分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;甲醇、乙腈、乙酸,均为色谱纯,购于德国默克公司;标准品,购于美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

YJY-20M 型号连续摊青萎凋机,余姚市姚江源茶叶茶机有限公司;6CR-55 型茶叶揉捻机,浙江上洋机械有限公司;YJY-GH4550-80 型电磁滚筒-热风耦合杀青机,中国农业科学院茶叶研究所与余姚姚江源茶叶茶机有限公司联合研制;25 型燃油式链板烘干机,余姚市姚江源茶叶茶机有限公司。

MA-150C 红外水分测定仪,德国赛多利斯公司;UV-2800 分光光度计,上海诚丽生物科技有限公司;XMTD-204 电加热恒温水浴锅,上海谷宁仪器有限公司;JGZX-9246MBE 热风鼓风干燥箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;Waters1525 型高效液相色谱仪,美国 Waters 公司;CM-5 型台式分光测色仪,CM-600d 型便携式分光测色仪,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 加工工艺

将采摘的鲜叶按照以下工序进行加工:

摊放(摊青机内进行,摊叶厚度 2~3 cm,设定温度 22~25 ℃,相对湿度 60%~70%,摊放 12 h,至含水率降至 70%左右)→滚筒式杀青(设置前段筒温 270 ℃,中段筒温 250 ℃,后段筒温 190 ℃,滚筒转速 22 r/min,杀青时间 150 s 左右,投叶量约 150 kg/h)→摊凉(1 h)→揉捻 35 min(空揉 10 min→轻揉 10 min→中揉 10 min→轻揉 5 min 进行)→毛火(100 ℃,热风风机转速 1 200 r/min,摊叶厚度 2 cm,至含水率分别降至 25%、20%、15%取样)→摊凉(30 min)→足火(将不同毛火程度的在制品分别进行足火:100 ℃,叶厚 2 cm,链板传动转速 750 r/min,热风风机转速 1 200 r/min,至含水率小于 7%)

其中毛火叶 15%、20%、25%的实测含水率分别为 14.74%~15.30%、18.82%~21.36%、25.13%~26.85%,分别记为处理 A、处理 B、处理 C,分别代表了重度毛火、中度毛火、轻度毛火。加工后的成品样均放置于-20 ℃冰箱待测。

1.3.2 生化成分的测定

氨基酸的测定参照茚三酮比色法(GB/T 8314-2013);咖啡碱的测定参照高效液相色谱法(GB/T 8313-2018);茶多酚和儿茶素的测定参照茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法(GB/T 8313-2018),并按照以下公式计算儿茶素相关指标:

$$TSC = EGC + GC + EC + C \quad (1)$$

$$TETC = EGCG + GCG + ECG + CG \quad (2)$$

$$TETS = \frac{TETC}{TSC} \quad (3)$$

$$TAC = TETC + TSC \quad (4)$$

式中:

TSC——简单儿茶素含量, %;

TETC——酯型儿茶素含量, %;

TETS——酯型儿茶素与简单儿茶素的比值;

TAC——总儿茶素含量, %;

EGC——表没食子儿茶素含量, %;

GC——表没食子儿茶素含量, %;

EC——表儿茶素含量, %;

C——儿茶素含量, %;

EGCG——表没食子儿茶素没食子酸酯含量, %;

CG——儿茶素没食子酸酯含量, %;

GCG——没食子儿茶素没食子酸酯含量, %;

ECG——表儿茶素没食子酸酯含量, %。

黄酮苷组分的测定参照刘阳等^[13]的检测方法。色

谱柱: C18 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)。流动相 A 相: 0.15%甲酸水溶液, B 相: 乙腈。流动相洗脱梯度: 0~2 min, 6%~17% B; 2~22 min, 17%~19% B; 22~23 min, 19%~30%; 23~25 min, 30% B; 25~26 min, 30%~6%; 26~30 min, 6%。流速为 1 mL/min, 柱温 35 ℃, 进样量 20 μL, 检测波长 360 nm。

可溶性糖组分的检测方法参照陈琦等^[14]方法进行。色谱柱: Waters X bridge BEH Amide Column(4.6×250 mm, 5 μm)。流动相: 0.02%氨水与乙腈按照 25%和 75%的比例混合。流速 0.5 mL/min, 柱温 40 ℃, 进样量 10 μL。雾化管加热动力: 60% (36 ℃), 漂移管温度: 70 ℃, 高纯氮气: 0.1724 MPa, 增益 6。并按照式(5)计算可溶性糖总量, 按照公式(2)计算甜度值^[15]。

$$T = SR + 1.75 \times FT + 0.7 \times GS \quad (5)$$

式中:

T——甜度值;

SR——蔗糖含量, %;

FT——果糖含量, %;

GS——葡萄糖含量, %。

外形色泽测定: 采用测色仪进行三角测定即时色差 SL 、 Sa 、 Sb , 其中 SL 值表示茶叶外形的明亮程度, 以 Sa 和 Sb 表示茶叶外形的红绿和黄蓝程度, Sa 值在“-”时表示绿的程度, Sb 值在“+”时表示黄的程度, 值越大, 其彩度较高。 Sb/Sa 反映茶叶外形的黄绿色度, 绝对值越大, 表明茶叶越黄。汤色色泽测定: 称取 3.0 g 茶样, 150 mL 沸纯水在审评杯里浸提 4.0 min 后茶水分离, 茶汤降至室温后在 CM-5 型台式分光测色仪进行汤色色差 LL 、 La 、 Lb 的测定, 其中 LL 值表示茶叶汤色的明亮程度, 以 La 和 Lb 表示茶叶外形的红绿和黄蓝程度, La 值在“-”时表示绿的程度, Lb 值在“+”时表示黄的程度, 值越大, 其彩度较高。 Lb/La 反映茶叶汤色的黄绿色度, 绝对值越大, 表明茶叶越黄。

1.3.3 感官审评

由高级评茶员组成的 5 人审评小组参照 GB/T 23776-2018 中茶叶的审评方法进行评审。

1.3.4 数据处理

所有数据的检测均重复 3 次, 每次试验结果以 3 次重复的平均值表示, 采用 Excel 处理数据, 计算标准偏差。数据图片采用 Origin 8.0 软件绘制。数据差异显著性分析采用 SPSS 22.0 软件分析(Tukey 法, $p < 0.05$)。采用 SIMCA-P13.0 软件进行 PLS-DA 分析。

2 结果与分析

2.1 毛火程度对绿茶品质成分的影响

2.1.1 毛火程度对茶多酚、氨基酸、咖啡碱含量及酚氨比的影响

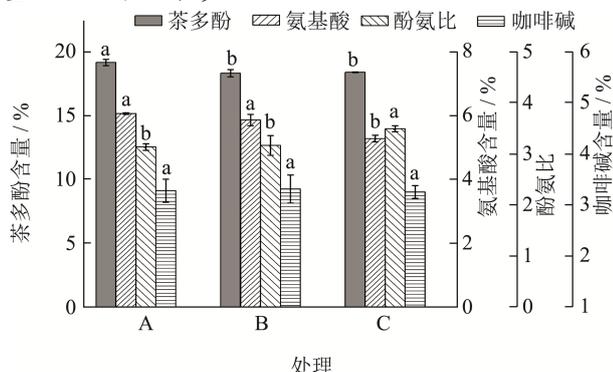


图1 不同毛火程度绿茶的茶多酚、氨基酸、酚氨比、咖啡碱等值的变化

Fig.1 Changes of values of tea polyphenols, amino acids, phenol-ammoniacal ratio and caffeine of green tea with different first-drying degree

注：字母“abc”表示不同毛火程度间的差异显著性 ($p < 0.05$)，下同。

茶多酚是影响茶汤滋味浓醇度和收敛性的重要物质，氨基酸是影响茶汤鲜爽度的主要品质成分。由图1可知，毛火程度越低，茶多酚和氨基酸含量越低。处理B和处理C的茶多酚含量显著较低 ($p < 0.05$)，分别比处理A降低了4.43%、4.01%，这可能是由于茶叶毛火后，茶坯中仍残余有热稳定性强的多酚氧化酶和过氧化物酶，毛火叶含水率较高时，使得茶多酚在湿热、高温、有氧条件下进一步氧化聚合而减少^[16]，同时，在湿热作用下，多酚类物质可与蛋白质结合为复合物而使可溶性多酚类物质减少^[17,18]。处理A和处理B的氨基酸含量显著高于处理C ($p < 0.05$)，且处理B相比处理C的氨基酸含量增加了11.00%，这可能是由于毛火程度增加的过程中经杀青变形的蛋白质结构中结合较弱的侧链发生水解和热解作用促使了游离氨基酸含量的增加，这与何春雷^[19]研究结果中低湿、高温处理会促使绿茶氨基酸含量增加的结果一致；另外，含水率较高的毛火叶足火时，受湿热的影响氨基酸在儿茶素氧化产物邻醌的催化作用下发生斯特勒克降解反应而降低^[20]。酚氨比是反应绿茶滋味品质的重要指标，酚氨比较低时，茶汤滋味较鲜爽，反之则苦涩。由图1可知，处理B的酚氨比最低，其次为处理A，且较处理C分别显著降低了10.25%、9.34% ($p < 0.05$)。可见毛火叶含水率较低的茶叶的酚氨比

也较低，即毛火程度较高有利于茶叶鲜爽品质的形成。咖啡碱是茶叶中的苦味物质，也可与黄酮类、氨基酸等缔合成具有鲜醇度的复合物。由图1可知，各处理条件下咖啡碱的平均含量为3.28%，不同处理间咖啡碱含量差异不显著 ($p > 0.05$)，即毛火程度对咖啡碱的影响较小，与伍洵等^[21]研究发现炒青绿茶在炒干的过程中咖啡碱平均含量为3.33%且无显著变化的结果一致，这可能与咖啡碱结构较为稳定有关^[22]。由以上可知，毛火程度会通过影响茶多酚、氨基酸的含量和比值而改变茶汤的鲜爽度，中度的毛火程度对滋味品质形成具有积极的作用。

2.1.2 毛火程度对可溶性糖组分含量的影响

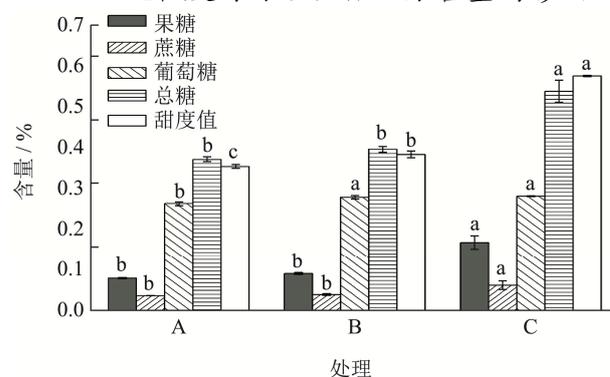


图2 不同毛火程度绿茶可溶性糖组分含量的变化

Fig.2 Changes of soluble sugar component contents of green tea with different first-drying degree

可溶性糖是茶汤中的主要甜味物质。本研究检测3种可溶性糖组分，即 β -D-呋喃果糖(以下简称果糖)、蔗糖、 α -D-葡萄糖(以下简称葡萄糖)，含量由大到小均依次为：葡萄糖、蔗糖、果糖。由图2可知，果糖、蔗糖、总糖等均为处理C的含量显著较高 ($p < 0.05$)，处理A和处理B差异较小 ($p > 0.05$)，其中处理C的总糖含量为0.54%，相比处理A和处理B分别高出了44.78%、35.83%；葡萄糖为处理B和处理C含量显著较高 ($p < 0.05$)，较处理A的增幅分别为5.96%、6.90%；甜度值随着毛火程度的增加而显著降低 ($p < 0.05$)，甜度值由大到小依次为：0.58、0.38、0.35。可见，可溶性糖随着毛火程度的增加而降低，这与徐奕鼎等^[23]研究结果中长时间毛火可降低茶叶可溶性糖含量的结果类似。这是由于毛火程度较高时，可溶性糖与氨基酸发生美拉德反应的时间延长而导致其消耗量增加，且10%~15%含水率的在制品在足火过程中会更容易发生褐变^[24]而导致葡萄糖、果糖、总量及甜度值降低；蔗糖为非还原性糖，不参与美拉德反应，但其可在蔗糖合成酶和转化酶催化下分解为果糖和葡萄糖^[25]用于参与美拉德反应而使其含量下降。综上所述可知，绿茶在毛火程度较高时会通过促进可溶性糖的消

耗增加香气物质的形成,同时其含量下降可降低茶汤的鲜甜感。茶叶的品质是多种物质之间复杂的互作效应的体现,可溶性糖的变化对绿茶品质的影响需结合多种内含物及感官的结果进行综合分析。

2.1.3 毛火程度对没食子酸、儿茶素单体、总儿茶素等含量的影响

GA 在茶叶中为酸涩味觉属性的呈味成分^[26]。儿茶素是绿茶茶汤中的主要多酚类物质,是影响绿茶茶汤涩味和苦味的主要原因,增加儿茶素浓度会增强味觉强度,但也会导致味觉适口性下降^[27],其根据分子结构分为 TSC 和 TETC, TSC 由 C、EC、GC、EGC 等组成, TETC 由 CG、ECG、GCG、EGCG 等组成,酯型儿茶素与涩味和苦味密切相关,简单儿茶素主要与苦味有关,其中 EGC 和 EC 是茶汤回甘的主要成分^[28]。由表 1 可知,毛火程度越高,GA 含量越高,且处理 A 显著高于处理 C ($p < 0.05$),其余处理间差异较小,这与在热的作用下酯型儿茶素降解为 GA 有关。研究表明,GA 与绿茶的回甘程度正相关^[29],即相对高的毛火程度的茶汤回甘度可能会更高。本研究检测到的儿茶素单体整体上含量由大到小依次为:EGCG、ECG、EGC、EC、GCG、GC、C、CG。由下表可知,毛火程度越高,儿茶素单体含量越高,且 GC、GCG、CG 在三个处理间差异不显著 ($p > 0.05$),

其余儿茶素单体、TSC、TETC 均为处理 B 和处理 C 显著低于处理 A ($p < 0.05$),其中处理 B 的 TSC、TETC 较处理 A 降低了 6.10%、1.58%;处理 A 的 TAC 为 11.14%,显著高于处理 C 的 10.93%的 TAC ($p < 0.05$),其余处理间差异较小。由以上可知,毛火程度相对较高时,儿茶素含量相对较高,这与王近近等^[20]研究显示茶叶足火时间越长儿茶素含量越低的结果不同。这可能是由于毛火叶本身含水率高,毛火作用时间越长,水分散失的越多,酶活性抑制率更高,从而导致成品样儿茶素含量相对较高,反之儿茶素在湿热作用下含量降低,这与 2.2.1 中茶多酚的变化结果一致。TETS 随着毛火程度的降低先升后降,且处理 B 和处理 C 差异显著 ($p < 0.05$),其余处理间差异较小,即毛火叶的含水率不同,儿茶素组分的转化速率也不同。随着毛火程度的增加,简单儿茶素由于比酯型儿茶素更易氧化而发生氧化聚合反应从而使其比值升高,之后随着酯型儿茶素的异构化使得简单儿茶素含量有所升高而使其比值又有所降低^[30],即不同的毛火程度下,儿茶素通过氧化、聚合、异构化等使 TETS 比例不断发生变化。可见,增加毛火程度会通过提高 GA 保留率而增加茶汤的回甘度,同时相对较高的儿茶素保留率在增加茶汤浓度的同时可能也会增加茶汤的强度、涩度。

表 1 不同毛火程度绿茶没食子酸、儿茶素含量的变化 (%)

Table 1 Changes of gallic acid, catechins contents of green tea with different first-drying degree (%)

处理	GA	GC	EGC	C	EGCG	EC	GCG
A	0.06±0.00 ^a	0.19±0.01 ^a	1.10±0.01 ^a	0.14±0.00 ^a	8.35±0.01 ^a	0.56±0.00 ^a	0.19±0.02 ^a
B	0.06±0.00 ^{ab}	0.19±0.01 ^a	1.02±0.05 ^b	0.13±0.00 ^b	8.20±0.01 ^b	0.55±0.01 ^b	0.19±0.00 ^a
C	0.06±0.00 ^b	0.19±0.00 ^a	1.00±0.01 ^b	0.13±0.00 ^b	8.19±0.01 ^b	0.55±0.00 ^b	0.18±0.00 ^a

处理	ECG	CG	TETC	TSC	TAC	TETS
A	2.69±0.05 ^a	0.12±0.01 ^a	9.20±0.03 ^a	2.01±0.01 ^a	11.14±0.12 ^a	4.92±0.04 ^{ab}
B	2.49±0.04 ^b	0.12±0.01 ^a	9.05±0.01 ^b	1.89±0.07 ^b	10.94±0.08 ^{ab}	4.99±0.10 ^a
C	2.41±0.07 ^b	0.13±0.00 ^a	9.04±0.00 ^b	1.89±0.00 ^b	10.93±0.00 ^b	4.79±0.00 ^b

注: GA 为没食子酸, GC 为没食子儿茶素, EGC 为表没食子儿茶素, C 为儿茶素, EGCG 为表没食子儿茶素没食子酸酯, EC 为表儿茶素, GCG 为没食子儿茶素没食子酸, ECG 为表儿茶素没食子酸酯, CG 为儿茶素没食子酸酯, TSC 为简单儿茶素, TETC 为酯型儿茶素, TAC 为总儿茶素, TETS 为酯型儿茶素与简单儿茶素的比值; 同列数据右肩不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

表 2 不同毛火程度绿茶黄酮苷组分的变化 (%)

Table 2 Changes of flavonoid glycosides contents of green tea at different first-firing degree (%)

处理	Que-Glc-Gen	Myr-Gal	Vit-Glc	Vit-Rha	Rutin	Que-glc	Kae-Rut	Kae-Glc	Flvs
A	0.01±0.00 ^a	0.15±0.00 ^a	0.10±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.47±0.01 ^a	0.27±0.01 ^a	0.06±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	1.11±0.02 ^a
B	0.01±0.00 ^a	0.14±0.00 ^{ab}	0.10±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a	0.45±0.00 ^b	0.26±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	1.09±0.00 ^b
C	0.01±0.00 ^a	0.14±0.00 ^b	0.10±0.00 ^a	0.05±0.00 ^a	0.45±0.00 ^b	0.26±0.00 ^a	0.05±0.00 ^{ab}	0.02±0.00 ^a	1.07±0.01 ^c

注: Que-Glc-Gen 为槲皮素-3-O-β-D-龙胆双糖苷, Myr-Gal 为杨梅素-3-O-半乳糖苷, Vit-Glc 为牡荆素葡萄糖苷, Vit-Rha 为牡荆素鼠李糖苷, Rutin 为芦丁, Que-Glc 为槲皮素-3-O-葡萄糖苷, Kea-Rut 为山柰酚-3-O-芸香糖苷, Kea-Glc 为山柰酚-3-O-葡萄糖苷, FLVs 为总黄酮苷。

2.1.4 毛火程度对黄酮苷组分含量的影响

茶叶中的黄酮苷类化合物阈值极低，是茶汤涩味的主要贡献物质，同时，黄酮苷水溶液呈黄绿色，是影响绿茶汤色的关键因素^[31]。本研究共鉴定出 8 种黄酮苷组分，含量由大到小依次为 Rutin、Que-Glc、Myr-Gal、Vit-Glc、Vit-Rha、Kea-Rut、Kea-Glc、Que-Glc-Gen，FLVs 为总黄酮苷含量。由表 2 可知，不同黄酮苷组分间以 Rutin 的含量相对较高；整体上毛火程度越高，黄酮苷组分及 FLVs 含量越高，这是由于相对长时间的毛火作用下，结合态的黄酮苷水解为游离态的黄酮苷组分所致，这与刘阳等^[32]、王永军等^[33]研究绿茶干燥过程中黄酮苷类物质随着干燥时间和温度的增加而增加的结果一致；Myr-Gal、Rutin、Kae-rut 等含量均以处理 A 相对较高，处理 B 和处理 C 差异不显著 ($p>0.05$)，且处理 B 的 Rutin 相比处理 A 降低了 4.36%；Que-Glc-Gen、Vit-Glc、Vit-Rha、Que-glc、Kae-Glc 等含量在各处理间含量差异不显著 ($p>0.05$)；FLVs 含量在不同处理间差异显著 ($p<0.05$)，处理 A 为 1.11%，相比处理 B 和处理 C 分别增加了 1.48%、3.32%。黄酮苷在口中产生涩味的同时还可通过强化咖啡因的苦味增加茶汤的苦味^[34]，相对降低毛火程度会通过降低黄酮苷的含量而减轻茶叶的涩味，增加茶汤的醇和度，另外，黄酮苷作为绿茶汤色的重要组成因子，其含量亦不可过低，即适度的毛火程度对于绿茶滋味、汤色品质的形成具有重要的作用。

2.1.5 毛火程度对茶叶外形色泽和汤色品质的影响

茶叶外形和汤色色泽属性能综合反映茶叶的品质水平。由图 3a 可知，处理 A 的 *SL* 值为 28.34，较处理 C 显著高出 6.49% ($p<0.05$)，其余处理间 *SL* 值差异较小；不同处理对茶叶色泽 *Sa* 值、*Sb/Sa* 值影响显著 ($p<0.05$)，且 *Sa* 值由大到小的顺序为：处理 A、处理 B、处理 C，*Sb/Sa* 值则反之；各处理 *Sb* 值的范围为 10.91~11.51，不同处理间差异较小。即毛火程度相对越高时，有利于茶叶色泽亮度的提升；叶绿素、类胡萝卜素等脂溶性色素是影响茶叶干茶色泽的主要物质，蓝绿色的叶绿素 a 和黄绿色的叶绿素 b 在热过程中被分解、脱镁、置换为黑褐色的脱镁叶绿素，类胡萝卜素及其转化产物的黄色色泽会逐渐显露，同时相对长时间的干燥过程中叶抗坏血酸的褐变、美拉德反应的褐变等^[35,36]，使得茶叶外形的绿度下降；由 *Sb/Sa* 值的变化可知，以轻度毛火处理的外形绿度相对较高，其次为中度毛火处理，即毛火程度越高，干茶色泽越黄。绿茶的汤色指标上（图 3b），处理 A 和处理 B 的 *LL* 值显著 ($p<0.05$) 高于处理 C；不同处理对茶汤 *La* 值、*Lb* 值、*Lb/La* 影响显著 ($p<0.05$)，

且 *La* 值由大到小的顺序为：处理 A、处理 B、处理 C，*Lb* 值则反之，*Lb/La* 值由大到小的顺序为：处理 B、处理 A、处理 C，其中处理 B 的 *Lb/La* 值较处理 A 和处理 C 分别增加了 3.14%、4.25%。即毛火程度相对越高时，越有利于茶汤色泽亮度的提升；同时相对长时间的高温作用下茶叶中的黄酮醇、黄酮烷、花青素、儿茶素氧化产物、叶绿素等物质含量的相对变化，使茶叶汤色的绿度下降，黄度下降。由 *Lb/La* 值的变化可知中度毛火处理的茶汤绿度相对较高，轻度毛火处理的毛火叶含水率较高，湿热作用强烈，茶汤黄度相对较高，这与刘晓东等^[37]研究结果中通过减少干燥中的湿热作用可提高茶汤色泽品质的结果一致。潘顺顺等^[38]研究表茶汤翠绿与茶叶中叶绿素和黄酮苷含量之和正相关，黄酮苷越高，茶汤越偏黄。本研究中轻度毛火处理的茶叶由于湿热的作用导致叶绿素破坏严重^[37]而使茶汤的黄度相对增加，重度毛火处理的茶叶黄酮苷含量的增加（表 2）导致茶叶黄度也相对增加，关于茶叶中叶绿素的降解及转化对汤色品质的影响有待进一步的研究确定。由以上可知，相对高的毛火程度处理的茶叶干茶和茶汤的亮度较佳，中度毛火处理的茶叶的汤色绿度相对较佳。

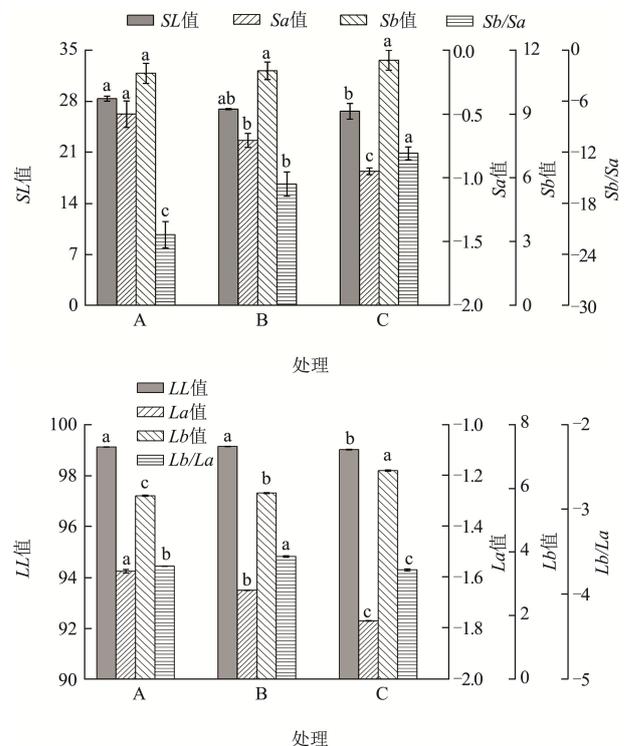


图3 不同毛火程度绿茶外形和汤色色泽指标的变化

Fig.3 Change of color attributes of green tea shape and soup with different first-firing degree

注：a：外形色差；b：汤色色差；*SL* 为外形亮度；*Sa* 为外形绿度；*Sb* 为外形黄度；*LL* 为汤色透亮度；*La* 为汤色绿度；*Lb* 为汤色黄度。

表 3 不同毛火程度绿茶的感官品质

Table 3 Sensory quality of green tea at different first-firing degree

处理	外形		汤色		香气		滋味		叶底		总分
	评语	分值	评语	分值	评语	分值	评语	分值	评语	分值	
A	条索弯曲较紧, 绿较润, 带黄	88	嫩绿明亮	93	嫩香高扬	93	尚鲜醇	91	绿润匀齐, 柔软	91	90.95
B	条索弯曲较紧, 绿较润	91	嫩绿明亮	94	嫩香	92	鲜醇	92.5	绿润匀齐, 柔软	93	92.2
C	条索弯曲较紧, 绿润	92	黄绿较亮	88	带嫩香	89	醇正带鲜	89	绿润匀齐, 柔软	92	89.95

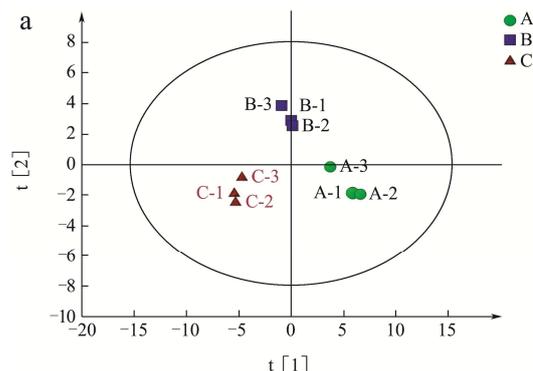
2.2 毛火程度对绿茶感官品质的影响

不同的毛火程度下, 绿茶的感官品质的变化如表 3 所示。外形品质上, 以处理 C 的品质较佳, 随着毛火程度的增加, 外形色泽由绿润转变为绿较润, 而后较黄, 外形得分由 92 分降至 88 分, 这与 2.1.5 中随着毛火叶含水率降低, 干茶黄度增加的结果相对应, 与贾玲燕等^[39]研究结果中湿热处理的茶叶外形品质更佳的结果一致。汤色品质上, 处理 B 具有较佳的嫩绿明亮的汤色品质, 其次为处理 A, 处理 C 的汤色品质相对较差, 为黄绿明亮, 较处理 B 下降了 6 分, 这与 2.1.5 中中度毛火处理的汤色绿度较佳, 轻度毛火处理的汤色黄度较高的结果一致; 香气品质上, 随着毛火程度的增加香气品质逐渐增加, 由带嫩香转变为嫩香, 而后嫩香高扬, 香气得分由 89 分增加至 93 分, 这可能是相对更长时间的加热作用下氨基酸脱氨脱羧反应、类胡萝卜素类的氧化反应、糖苷类化合物的脱苷反应等促进了脂肪酸类、酯类、烯类、芳香类、杂环类等化合物大量形成, 进而提升香气品质^[12], 另外, 美拉德反应的中间产物羰氨化合物作为茶叶香气的重要来源, 绿茶加工过程中茶叶含水率在 15%~21% 范围内时其含量较高^[40]从而呈现出较佳的香气品质。滋味品质上, 处理 B 滋味品质最佳, 其次为处理 A, 处理 C 则相对较差, 结合 2.1.1~2.1.4 的结果可知, 处理 B 同时具有相对低的茶多酚、儿茶素、黄酮苷、酚氨比等值以及相对较高的氨基酸、可溶性糖含量, 具有较佳的滋味物质基础, 从而形成了其鲜醇的优质滋味品质。叶底品质由大到小的顺序为: 处理 B、处理 C、处理 A。综合感官评分上, 处理 B 得分最高, 为 92.2 分, 相比处理 A 和处理 C 高出了 1.25 分、2.25 分。综上可知, 绿茶毛火工序干燥适度时毛火叶的含水率为 20%, 适度的毛火程度才可获得嫩绿明亮、嫩香鲜醇兼具色香味的高品质绿茶。

2.3 不同毛火程度绿茶品质成分的 PLS-DA 分析

为进一步的分析不同毛火程度对绿茶品质的影响

并获得差异化合物, 基于 2.1.1-2.1.5 中绿茶的 39 个品质指标, 运用偏最小二乘判别分析 (PLS-DA) 分析毛火程度与绿茶品质成分间的关系。由图 4a 的 PLS-DA 模型得分图可知, 三种不同的毛火程度可明显的区分, 其中处理 A 位于图的左下方, 处理 B 位于图的正上方, 处理 C 位于图的右下方, 即不同毛火程度可获得不同类型的绿茶品质。采用交叉验证法对模型进行验证, 共筛选出了 3 个主成分, 模型对自变量拟合指数 $R^2X(cum) = 0.852$, 说明 3 个主成分解释 85.2% 的 X 变量; 对因变量的拟合指数 $R^2Y(cum) = 0.986$, 说明 4 个主成分解释 98.6% Y 变量; 模型预测指数 $Q^2(cum) = 0.942$, 说明模型对不同毛火程度茶叶品质的预测能力为 94.2%, 表明该模型较稳定。为了获得 PLS-DA 模型下不同毛火程度间品质差异的贡献变量指标, 通过 PLS-DA 模型的 VIP (Variable Importance in Projection) 值进一步分析贡献变量指标。VIP 值表示变量对模型的贡献率, 值越大贡献越大。以 VIP 大于 1 为界限进行筛选, 可以得到 *Lb/La*、*LL*、*TETS*、*Kea-Rut*、*TPA*、*Lb*、*TPS*、*EGCG*、*C*、*TETC*、*EC*、*SR*、*TSC*、*AA* 等 14 个品质指标为不同毛火程度茶叶品质差异贡献度较大的指标 (图 4b), 即这些指标是导致不同毛火程度茶叶品质差异的潜在标志物, 同时 *Lb/La* 值在中度毛火处理的茶叶中显著最高 ($p < 0.05$)。在绿茶加工过程中可通过控制这些差异性物质获得优质绿茶, 这对绿茶毛火程度的判别及标准化加工具有指导意义。



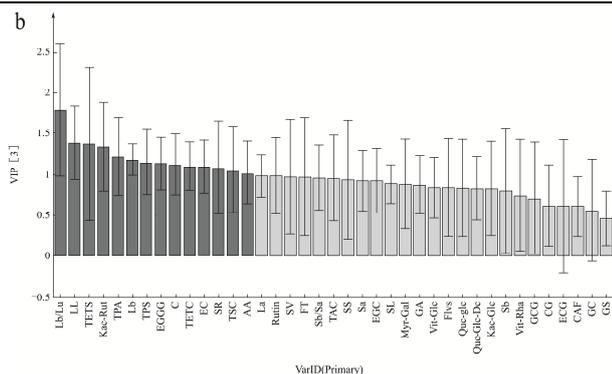


图4 不同毛火程度绿茶品质指标的 PLS-DA 模型得分图和 VIP 条形图

Fig.4 PLS-DA model score plot and Bar plot of VIP for green tea quality indexes with different first-firing degree

注: a: PLS-DA 模型得分图, b: VIP 条形图; A、B、C 分别代表处理 A、处理 B、处理 C; TPS、TPA、SS、FT、SV、SR、GS、CAF、AA 分别代表茶多酚、酚氨比、可溶性糖、果糖、甜度值、蔗糖、葡萄糖、咖啡碱、氨基酸等值。

3 结论

通过对不同毛火程度所制绿茶的生化成分、色泽指标、感官品质等进行分析,发现毛火程度越高,甜度值、外形黄度与绿度的比值 Sb/Sa 等值越低,外形绿度值 Sa 、汤色绿度值 La 、总黄酮苷等值越高,且在不同的毛火程度间差异显著 ($p < 0.05$)。与轻度毛火相比,重度毛火的甜度值、 Sb/Sa 、 Sa 、 La 、总黄酮苷等值差异幅度分别达 38.53%、78.88%、47.11%、11.02%、3.17%。

毛火程度过高时,会降低茶汤的甜度、绿度及茶叶外形的绿度,增加茶汤的苦涩味、黄度,在感官品质上外形绿较润、带黄,滋味尚鲜醇,但其香气品质为较佳的嫩香高扬,整体感官得分 90.95 分;毛火程度过低时,茶汤的甜度增加,但其较高的酚氨比及较低的氨基酸会降低茶汤的鲜爽度,较低的 La/Lb 值会降低茶汤的色泽品质,整体上呈现出嫩绿带黄、嫩香、醇正带鲜的品质,感官得分低于重度毛火,为 89.95 分。可见,毛火程度过高过低都不利于茶叶综合优质品质的形成,在感官属性上均有瑕疵,相对而言,以重度毛火略优。

20%含水率处理即中度的毛火处理同时具有相对高的氨基酸、葡萄糖、甜度值、 Lb/La 及相对低的茶多酚、酚氨比、儿茶素、黄酮苷等,其中 Lb/La 为 3.55,较重度和轻度毛火分别显著高出了 3.14%、4.25% ($p < 0.05$),以上品质成分在保证茶叶鲜爽味、甜味的同时降低了茶叶的苦涩味,即兼具了优质绿茶的物质基础,感官品质上表现出具有相对较佳的嫩绿明

亮、嫩香、鲜醇等品质,综合感官评分为 92.2 分,分别比重度毛火和轻度毛火高出了 1.25 分、2.25 分。由以上可知,20%的毛火叶含水率为毛火适度的标准,可用于绿茶的标准化加工。

通过 PLS-DA 分析结果表明,三个不同的毛火程度可明显区分,模型预测能力为 94.2%,且汤色黄度和绿度的比值 Lb/La 、汤色亮度 LL 、酯型儿茶素、山柰酚-3-O-芸香糖苷、酚氨比等是导致不同毛火程度茶叶品质差异的主要指标和优质绿茶毛火工序的茶叶品质控制的关键参数,其中 Lb/La 在适度的毛火程度中显著较高 ($p < 0.05$),可作为毛火程度判断的潜在关联指标。该研究为绿茶的品质提升及标准化数字化加工提供了理论指导。

参考文献

- [1] Guo Z, Barimah A O, Shujat A, et al. Simultaneous quantification of active constituents and antioxidant capability of green tea using NIR spectroscopy coupled with swarm intelligence algorithm [J]. LWT- Food Science and Technology, 2020, 129: 109510
- [2] Ikbal A, Roy S, Pati K. Health benefits of green tea: A mini review [J]. Journal of Entomology And Zoology Studies, 2020, 8(1): 1424-143
- [3] Park J H, Lee J M, Cho Y J, et al. Effect of far-infrared heater on the physicochemical characteristics of green tea during processing [J]. Journal of Food Biochemistry, 2010, 33(2): 149-162
- [4] Wang H, Hua J, Yu Q, et al. Widely targeted metabolomic analysis reveals dynamic changes in non-volatile and volatile metabolites during green tea processing [J]. Food Chemistry, 2021, 363: 130131
- [5] 陈根生,袁海波,许勇泉,等.针芽形绿茶连续化生产线设计与工艺参数优化[J].茶叶科学,2016,36(2):139-148
CHEN Gensheng, YUAN Haibo, XU Yongquan, et al. Design and process optimization of a continuous production line on needle-type premium green tea [J]. Journal of Tea Science, 2016, 36(2): 139-148
- [6] Donlao N, Ogawa Y. The influence of processing conditions on catechin, caffeine and chlorophyll contents of green tea (*Camelia sinensis*) leaves and infusions [J]. LWT- Food Science and Technology, 2019, 116: 108567
- [7] Wang Y, Zheng P C, Liu P P, et al. Novel insight into the role of withering process in characteristic flavor formation of teas using transcriptome analysis and metabolite profiling [J]. Food Chemistry, 2019, 272(30): 313-322

- [8] 宁井铭,孙磊,张正竹,等.基于近红外技术的绿茶杀青自动控制系统设计及试验[J].安徽农业大学学报,2013,40(6): 899-902
NING Jingming, SUN Lei, ZHANG Zhengzhu, et al. Design and experiment of automatic control in green tea firing process based on infrared spectroscopy [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2013, 40(6): 899-902
- [9] Demirhan E, Özbek B. Color change kinetics of tea leaves during microwave drying [J]. International Journal of Food Engineering, 2015, 11(2): 255-263
- [10] Handayani S U, Paramita V, Yulianto M E, et al. Low-temperature process for green tea drying using zeolite adsorption integrated fluidized bed dryer [J]. Journal of Physics Conference Series, 2020, 1524: 012029
- [11] 袁海波,滑金杰,王近近,等.电磁内热式绿茶毛火工艺参数优化与分析[J].农业工程学报,2018,34(3):265-272
YUAN Haibo, HUA Jinjie, WANG Jinjin, et al. Analysis and parameter optimization of first-drying process using chain plate dryer with electromagnetic heating for green tea [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 265-272
- [12] Zhu Y M, Dong J J, Jin J, et al. Roasting process shaping the chemical profile of roasted green tea and the association with aroma features [J]. Food Chemistry, 2021, 35(33): 129428
- [13] 刘阳,陈根生,许勇泉,等.冲泡过程中西湖龙井茶黄酮苷类浸出特性及滋味贡献分析[J].茶叶科学,2015,35(3):217-224
LIU Yang, CHEN Gensheng, XU Yongquan, et al. Extracting characteristics of flavone and flavonol glycosides in Xihulongjing tea under different brewing conditions and their contribution to tea taste [J]. Journal of Tea Science, 2015, 35(3): 217-224
- [14] 陈琦,李立,吴雪原,等.高效液相色谱-蒸发光检测器法检测茶叶中掺杂糖类物质[J].茶业通报,2015,37(1):26-29
CHEN Qi, LI Li, WU Xueyuan, et al. Determination of saccharides in tea by high performance liquid chromatography-evaporative light detector [J]. Journal of Tea Business, 2015, 37(1): 26-29
- [15] 贺璇,吕民松,姚入玉,等.‘灰枣’品系果实糖酸组分及风味研究[J].中国果树,2021,7:51-55
HE Xuan, LYU Minsong, YAO Ruyun, et al. Study on sugar and acid components and flavor of Fruit of 'Huizao' strain [J]. China Fruits, 2021, 7: 51-55
- [16] 丁勇,徐奕鼎,王焯军,等.祁门红茶初制中萎凋与初烘工艺研究[J].中国农学通报,2010,26(9):110-114
DING Yong, XU Yiding, WANG Yejun, et al. Study on withering and first drying technology at primary processing of Keemun black tea [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(9): 110-114
- [17] 夏涛.制茶学[M].北京:中国农业出版社,2019:20-21
XIA Tao. Tea Production [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019: 20-21
- [18] Bandyopadhyay P, Ghosh A K, Ghosh C, et al. Recent developments on polyphenol-protein interactions: effects on tea and coffee taste, antioxidant properties and the digestive system [J]. Food & Function, 2012, 3(6): 592-605
- [19] 何春雷.干热后处理改善绿茶风味品质的试验研究[D].四川:四川农业大学,2016
HE Chenlei. Study on improving flavor quality of green tea by dry-heat post-treatment [D]. Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2016
- [20] 王近近,袁海波,滑金杰,等.足火工艺参数对工夫红茶热风干燥特性和品质的影响[J].农业工程学报,2020,36(10):287-296
WANG Jinjin, YUAN Haibo, HUA Jinjie, et al. Effects of second-drying process parameters on the hot-air drying characteristics and quality of congou black tea [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(10): 287-296
- [21] 伍洵,刘飞,陈之威,等.基于计算机视觉的绿茶炒干中在制品理化变化研究[J].茶叶科学,2020,40(2):194-204
WU Xun, LIU Fei, CHEN Zhiwei, et al. Study on the changes of physical and chemical components during the frying process of green tea by computer vision [J]. Tea Science, 2020, 40(2): 194-204
- [22] 宛晓春.茶叶生物化学(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2003:36-39
WAN Xiaochun. Biochemistry of Tea Leaves (3rd Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 36-39
- [23] 徐奕鼎,丁勇,黄建琴,等.祁门红茶初制中的干燥工艺研究[J].中国农学通报,2013,29(27):204-209
XU Yiding, DING Yong, HUANG Jianqin, et al. Study on drying process at primary processing of Keemun black tea [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(27): 204-209
- [24] 祁岩龙,冯怀章,于洋,等.美拉德反应研究进展及在食品工业中的应用[J].食品工业,2018,3:248-252
QI Yanlong, FENG Huaizhang, YU Yang, et al. Research progress of maillard reaction and its application in food industry [J]. Food Industry, 2018, 3: 248-252
- [25] 占雷雷,朱国鹏,刘永华.4种蔗糖分解酶在甘薯块根品质形

- 成中的作用[J].热带作物学报,2019,40(9):1723-1728
- ZHAN Leilei, ZHU Guopeng, LIU Ronghua. Differential roles of four sucrose-degrading enzymes in the formation of qualities of the storage roots of sweet potato [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(9): 1723-1728
- [26] Chen L, Liu F, Yang Y, et al. Oxygen-enriched fermentation improves the taste of black tea by reducing the bitter and astringent metabolites [J]. Food Research International, 2021, 148: 110613
- [27] Narukawa M, Kimata H, Noga C, et al. Taste characterisation of green tea catechins [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(8): 1579-1585
- [28] Zhang Y N, Yin J F, Chen J X, et al. Improving the sweet aftertaste of green tea infusion with tannase [J]. Food Chem, 2016, 192: 470-476
- [29] Cao Q Q, Zou C, Zhang Y H, et al. Improving the taste of autumn green tea with tannase [J]. Food Chem, 2019, 277: 432-437
- [30] 夏益民,王近近,袁海波,等.后发酵工艺对夏秋红茶品质形成的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(13):180-189
- XIA Yimin, WANG Jinjin, YUAN Haibo, et al. Effect of post-fermentation process on the quality of summer-autumn black tea [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(13): 180-189
- [31] Bai W X, Wang C, Wang Y J, et al. Novel acylated flavonol tetraglycoside with inhibitory effect on lipid accumulation in 3t3-l1 cells from Lu'an guapian tea and quantification of flavonoid glycosides in six major processing types of tea [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(14): 2999-3005
- [32] 刘阳.龙井茶加工过程中黄酮苷动态变化及其浸出特性[D].北京:中国农业科学院,2015
- LIU Yang. Dynamic changes and leaching characteristics of flavonoid glycosides during longjing tea processing [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015
- [33] 王永军.不同烘干条件对桑叶绿茶品质影响的研究[J].西部皮革,2020,42(15):125-126
- WANG Yongjun. Effects of different drying conditions on quality of mulberry green tea [J]. West Leather, 2020, 42(15): 125-126
- [34] 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 & Food Chemistry, 2004, 52(11): 3498-3508
- [35] Shahabi M, Rafiee S, Mohtasebi S S, et al. Image analysis and green tea color change kinetics during thin-layer drying [J]. Food Science and Technology International=Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos Internacional 2014, 20(6): 465-476
- [36] 舒娜,汪蓓,欧阳珂,等.绿茶加工中主要脂溶性色素变化及其对茶叶色泽品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(10): 170-177
- SHU Na, WANG Bei, OUYANG Ke, et al. Variation of main lipophilic pigments and its influence on color quality during the process of green tea [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 170-177
- [37] 刘晓东,刘玉芳,杨春,等.低温真空干燥方法对名优绿茶色泽的影响[J].广东农业科学,2011,38(12):96-97
- LIU Xiaodong, LIU Yufang, YANG Chun, et al. Effects of low temperature vacuum drying on the color of famous green tea [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(12): 96-97
- [38] 潘顺顺,李家贤,孙世利,等.特色品种绿茶成分与茶汤色泽的相关性研究[J].华南农业大学学报,2012,33(3):307-310
- PAN Shunshun, LI Jiaxian, SUN Shili, et al. Study on correlation between constituents and liquor color of a distinctive green tea [J]. Journal of South China Agricultural University, 2012, 33(3): 307-310
- [39] 贾玲燕,徐元骏,刘晓慧,等.后湿热工艺对红茶品质的影响[J].中国食品学报,2016,16(7):176-183
- JIA Lingyan, XU Yuanjun, LIU Xiaohui, et al. Effects of later heat-moisture processing on quality of black tea [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(7): 176-183
- [40] 倪德江,陈玉琼,胡建程,等.炒青绿茶加工过程中糖胺化化合物的变化[J].华中农业大学学报,1995,4:401-407
- NI Dejiang, CHEN Yuqiong, HU Jiancheng, et al. Changes of glycosamine compounds in stir-fried green tea during processing [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1995, 4: 401-407