

客家炒青绿茶品质成分及香气特征分析

周巧仪¹, 曾伟霞², 张建中³, 曾金莲², 张雪梅³, 曾立坤⁴, 凌彩金^{1*}

(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. 河源市秋月茗山农业科技发展有限公司, 广东河源 517000) (3. 河源市香车美人茶业有限公司, 广东河源

517000) (4. 河源市仙湖茗露茶业发展有限公司, 广东河源 517000)

摘要: 为了探索客家炒青绿茶品质的物质基础和主要香气成分, 采用顶空固相微萃取结合气质联用技术, 以广东客家地区代表性茶类-仙湖茶产品的主要品质成分及香气组分进行了比较分析。结果表明: 不同来源的客家炒青绿茶的茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、可溶性糖含量均差异显著, 且茶多酚、氨基酸、酚氨比与炒青绿茶品质审评得分的相关关系较大, 是造成炒青绿茶品质差异的主要影响因素。从客家炒青绿茶样品中共鉴定出 44 种香气物质, 包括醛类 (37.96%)、醇类 (28.47%)、烃类 (15.92%)、酮类 (10.38%)、酯类 (5.10%) 和其他 (2.17%), 香气化合物中壬醛、反式芳樟醇氧化物和芳樟醇的相对含量较高, 且 RVOA>1, 均呈现花香、果香, 推测是客家炒青绿茶香气的主要特征成分。

关键词: 客家炒青绿茶; 品质成分; 香气

文章编号: 1673-9078(2023)11-242-252

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.11.1482

Analysis of Quality Components and Aroma Characteristics of Hakka Roasted Green Tea

ZHOU Qiaoyi¹, ZENG Weixia², ZHANG Jianzhong³, ZENG Jinlian², ZHANG Xuemei³, ZENG Likun⁴, LING Caijin^{1*}

(1. Tea Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key Laboratory of Tea Plant Resources Innovation & Utilization, Guangzhou 510640, China) (2. Heyuan Qiuyue Mingshan Agricultural Technology Development Co. Ltd., Heyuan 517000, China) (3. Heyuan Xiangche Meiren Tea Co. Ltd., Heyuan 517000, China) (4. Heyuan Xianhu Minglu Tea Industry Development Co. Ltd., Heyuan 517000, China)

Abstract: In order to explore the material basis and main aroma components of Hakka roasted green tea, headspace solid-phase microextraction coupled with GC-MS was used to compare and analyze the main quality components and aroma components of Xianhu tea, a representative tea in the Guangdong Hakka area. The results showed that the contents of tea polyphenols, free amino acids, caffeine and soluble sugars in the Hakka roasted green tea from different sources differed significantly, and the tea polyphenols, amino acids and phenol-ammonia ratio were significantly correlated with the quality evaluation score of the roasted green teas, which was the main influencing factor for the quality difference of the roasted green teas. A total of 44 aroma compounds were identified from the Hakka green tea samples, including aldehydes (15.51%~30.84%), alcohols (20.82%~54.92%), esters (5.25%~11.83%), ketones (7.91%~23.91%) and hydrocarbons (9.62%). The relative contents of nonanal, trans-linalool oxide and linalool in all the aroma compounds were high with RVOA>1, exhibiting floral and

引文格式:

周巧仪, 曾伟霞, 张建中, 等. 客家炒青绿茶品质成分及香气特征分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(11): 242-252

ZHOU Qiaoyi, ZENG Weixia, ZHANG Jianzhong, et al. Analysis of quality components and aroma characteristics of hakka roasted green tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(11): 242-252

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 以农产品为单位的广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(茶叶)(2023KJ120); 客家炒青绿茶提质增效综合技术研究推广(2020440000021605008597); 河源市农村科技特派员服务“三农”项目(202201); 河源市科技计划项目(河科2021030); 梅州市科技计划项目(2021A0305008); 清远市科技计划项目(2022KJH065)

作者简介: 周巧仪(1991-), 女, 硕士, 助理研究员, 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

chestnut aromas. It is presumed that they are the main characteristic components of the aroma of Hakka Roasted Green Tea.

Key words: Hakka roasted green tea; quality components; aroma

在广东省,因茶叶种植、加工所在地为客家语系的原因,将其所生产的炒青绿茶称为客家炒青绿茶,又名“客家炒茶”、“客家炒绿”、“客家绿茶”,是客家地区的代表性特产^[1],客家绿茶以河源市东源县上莞镇的“仙湖茶”为代表,属于“传统长炒型”炒青绿茶。仙湖茶茶汤绿黄明亮,茶香浓郁,高火香明显持久,滋味醇厚,甘从喉起,具有甘、香、醇、滑的典型特征,是当地历史悠久的名优特色农产品,受到越来越多消费者的喜爱。

茶叶的色、香、味、形是评判茶叶品质的重要因素^[2]。为了解茶的香气特征,挥发性成分测定分析是目前研究热点。茶叶的挥发性成分与茶叶原料及加工方式有关,不同品种的茶鲜叶原料和加工方式,会导致茶叶芳香挥发物含量存在较大差异。目前,关于广东客家炒青绿茶产品品质及香气特征研究并不多见,主要集中在加工工艺研究方面。胡蝶等^[3]研究了高温长时辉干工艺对炒青绿茶香气品质的影响,研究发现3-糠醛和2-乙酰基吡咯被筛选为影响炒青绿茶香气特征的关键成分,且这2种化合物的含量均受到温度因素、时间因素和温度-时间交互因素的显著影响。乔小燕等^[4]通过研究“二炒”温度下传统长炒型客家炒青绿茶品质成分的变化,结果显示二炒温度升高,炒青绿茶中茶多酚、咖啡碱含量呈下降趋势,可溶性糖和游离氨基酸含量随着温度升高,呈先减后增的变化趋势。但目前对广东传统炒青绿茶产品品质研究还是相对较少,因此,进一步系统研究客家炒青绿茶的品质成分、香气组分和呈香特征,对指导客家炒青绿茶加工及品质提升具有重要作用。

本研究采用HS-SPME和GC-MS技术,以广东省河源市东源县仙湖茶等10个代表性产品的主要品质成分、香气组分及感官评价进行分析和鉴定,以期确定客家炒青绿茶香气的物质基础,促进客家炒青绿茶的品质提升提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究采用的材料,均为广东省河源市东源县上莞镇不同茶叶企业在春季生产的客家炒青绿茶,共10个代表性茶叶样品。

茶树鲜叶采摘后按照客家炒青绿茶的制作方法生产,茶树品种均为广东省东源县地方群体种。生产流

程如下:

鲜叶→摊青→杀青→揉捻→炒青→辉干→成品茶

1.2 试验仪器

FB233型自动内校电子分析天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;725N型紫外分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;GC-MS气相色谱质谱联用仪,Agilent 7890A/5975C;安捷伦1200型高效液相色谱仪,美国安捷伦公司。

1.3 实验试剂

福林酚试剂、茚三酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、碳酸钠、蒽酮等均为分析纯;甲酸、甲醇、乙腈为色谱纯。

1.4 样品制备及采集

参照国家标准《GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法》的方法,称取茶叶样本3.0g置于评茶杯中,茶水比为1:50,注满沸水,加盖浸泡4min,滤出茶汤进行感官审评,成品茶样本进行生化成分及香气成分测定分析。

1.5 生化成分测定

水分含量利用快速水分测定仪测定;总灰分按GB/T 8306方法执行;水浸出物含量按GB/T 8305采用全量法测定;游离氨基酸总量按GB/T 8314采用茚三酮比色法测定;茶多酚含量按GB/T 8313采用福林酚法测定;咖啡碱按GB/T 8312采用紫外分光光度法测定;可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法测定。

1.6 儿茶素组分测定

采用HPLC检测法,色谱柱:ZORBAX Elipse XDB-C18柱(5 μ m,250mm \times 4.6mm);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);流量为1mL/min;柱温为30 $^{\circ}$ C;进样量为10 μ L;紫外检测波长为280nm。梯度洗脱程序如下:0min~30min,27.5B~80B;30min~35min,80B~7.5B;35min~0min,27.5B。

1.7 香气组分测定

香气提取方法:将10.0g样品置于500mL萃取

瓶中,加入一定量沸水,50℃水浴加热,让容器内的香气物质达到平衡,时间为5 min,插入萃取头吸附80 min,结束后进行GC-MS分析^[5]。

GC-MS条件:采用HP-5MS弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, ID 0.25 μm);温度设置程序参考Lv等^[6]的方法。进样后于230℃解吸5 min。MS电离方式为EI;离子源温度为230℃;电子能量为70 eV;扫描范围:50~650 u;载气为高纯He(纯度>99.999%),流速1 mL/min,不分流;电子倍增管电压为1 800 V,总离子流强度为100 mA。

定性与定量方法:利用Xcalibur工作站中NIST标准质谱库检索和相关文献对质谱图进行定性分析,以各组峰面积占总面积之比表示相对含量。

1.8 茶叶的感官审评

参照国家标准《GB/T 23776-2018 茶叶感官审评方法》的方法,对外形、汤色、香气、滋味和叶底进行品质审评,并按百分制进行打分。

1.9 基于ROAV分析的主体挥发性风味物质评定

利用相对气味活度值(Relative Odor Activity

Value, ROAV)定义对样品整体风味贡献最大的挥发性物质,即 $ROAV_{max}=100$,根据参考文献中各挥发性物质的香气阈值,按下式计算其他香气成分的ROAV。ROAV值越高对总体风味贡献越大^[7]。

$$A_i \approx \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100 \quad (1)$$

式中:

A_i —茶叶组分*i*的相对气味活度值(ROAV_{*i*});

C_i —茶叶组分*i*的相对含量,%;

T_i —组分*i*的香气阈值,μg/kg;

C_{max} —对样品总体风味贡献最大的组分的相对含量,%;

T_{max} —对样品总体风味贡献最大的组分的香气阈值,μg/kg。

1.10 数据处理

采用Microsoft Excel进行数据处理,SPSS 22.0进行统计分析,运用多重比较LSD法对不同处理进行显著性分析,OriginPro 2022进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 客家炒青绿茶感官评价

表1 客家炒青绿茶感官审评结果

Table 1 Sensory evaluation results of Hakka roasted green tea

编号	外形(20%)		汤色(10%)		香气(30%)		滋味(35%)		叶底(5%)		总得分
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
1号	较紧结、黄绿稍润、尚匀、尚净带黄片	85.2	黄、亮	87.8	花香、栗香、带青味	87.6	浓尚醇,回甘	85.7	黄绿、较软亮	86.6	86.43
2号	尚紧结、绿黄尚润、尚匀、尚净	87.8	黄、亮	88	花香、栗香、持久	94	浓鲜醇,回甘	89.3	绿、软尚亮	85.8	90.11
3号	稍紧结、褐黄稍润、稍匀、稍净带黄片	81.8	橙黄欠亮	78.8	高火香、尚持久	83	尚浓醇	83.4	绿、稍软亮、欠匀、欠净	77.2	82.19
4号	尚紧结、黄绿较润、尚匀、尚净	86.5	绿黄亮	90.2	花香、栗香、持久	89.5	尚鲜醇,回甘	88.1	绿、尚软亮	85.2	88.27
5号	尚紧结、黄绿稍润、稍匀、尚净带黄片	85.5	黄较亮	87.2	栗香持久	88	浓尚醇,回甘	87.6	黄绿、稍软	82.2	86.99
6号	稍紧结、黄绿尚润、稍匀、稍净、带黄片	81	黄稍亮	80	高火香持久	83.5	尚浓醇、稍涩	81.3	绿、稍软欠亮	77.7	81.59
7号	尚紧结、灰绿稍润、尚匀、稍净有末片	87.6	浅黄稍亮	80.6	高火香	81.6	尚浓、苦涩	80.8	青绿、尚软、欠亮	82.4	82.46
8号	粗松、绿黄稍润、欠匀黄片多	80.4	浅黄欠亮	77.3	高火香	82.1	淡、苦涩	80.1	绿、稍亮、欠软	78.7	80.41
9号	欠紧结、黄绿稍润、稍匀、尚净带黄片	85.4	浅黄稍亮	82	高火香	83	浓醇	85	黄绿、稍亮、欠软	83	84.08
10号	尚紧、黄绿尚润、尚匀、尚净	86	黄稍亮	83	高火香	81.4	浓尚醇、稍涩	84.7	黄绿、稍软亮	84.3	83.78

客家炒青绿茶的感官审评结果见表 1。结果显示, 1 号、2 号和 4 号茶样香气以花香、栗香为主, 茶汤滋味为浓鲜醇/尚醇和回甘; 5 号茶样香气以栗香为主, 香气持久, 茶汤滋味为浓尚醇; 3 号和 6 号茶样香气以高火香为主, 茶汤滋味以尚醇为主; 9 号茶样香气为高火香, 茶汤滋味为浓醇; 7 号、8 号和 10

号茶样香气为高火香, 茶汤滋味为均带涩感。客家炒青绿茶样的汤色以黄、绿黄和浅黄为主。感官审评结果符合对客家炒青绿茶-仙湖茶“香、甘、醇、滑”的品质特点。

2.2 客家炒青绿茶生化成分含量

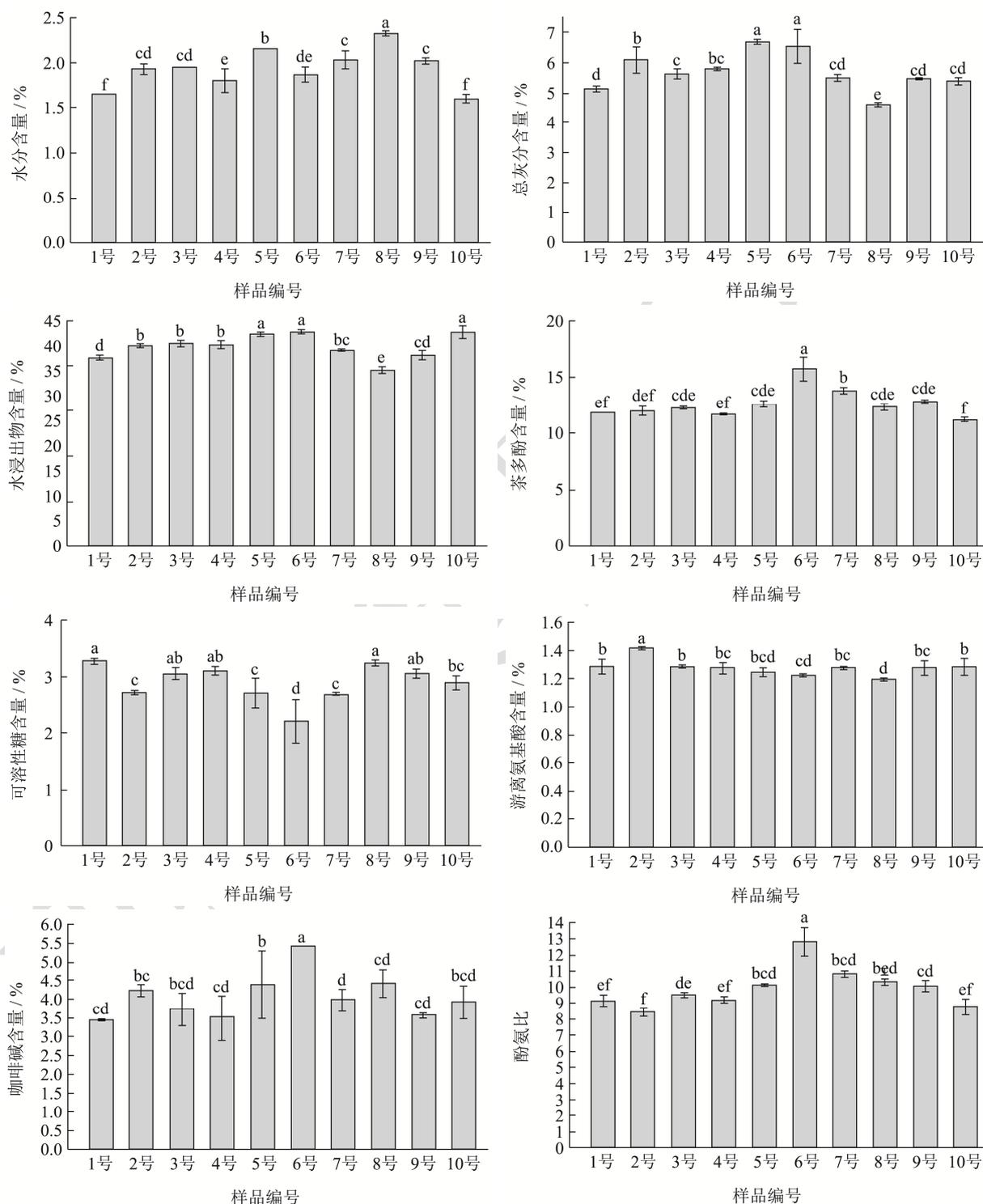


图 1 客家炒青绿茶主要生化成分含量

Fig.1 Content of main biochemical components of Hakka roasted green tea

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

表2 客家炒青绿茶简单儿茶素各组分及总含量

Table 2 Components and total content of simple catechin in Hakka roasted green tea (mg/g)

编号	GC	EGC	C	EC	简单儿茶素
1号	4.76±0.07 ^a	28.17±0.32 ^a	1.28±0.06 ^c	9.11±0.52 ^a	43.32±0.59 ^a
2号	5.54±1.7 ^a	30.78±11.08 ^a	1.8±0.31 ^{bc}	8.24±2.66 ^a	46.36±15.74 ^a
3号	4.9±1.12 ^a	36.63±9.63 ^a	1.74±0.34 ^{bc}	9.85±2.49 ^a	53.12±13.58 ^a
4号	4.51±0.76 ^a	32.54±6.1 ^a	1.63±0.22 ^{bc}	9.03±1.4 ^a	47.71±8.37 ^a
5号	4.3±0.24 ^a	22.81±3.46 ^a	1.69±0.09 ^{bc}	11.82±0.85 ^a	40.62±4 ^a
6号	3.52±0.95 ^a	26.43±4.85 ^a	4.04±0.37 ^a	8.35±2.27 ^a	42.34±8.35 ^a
7号	4.6±0.21 ^a	35.17±0.48 ^a	2.16±0.27 ^{bc}	10.81±0.26 ^a	52.74±0.3 ^a
8号	4.87±1.5 ^a	36.17±13.12 ^a	1.71±0.78 ^{bc}	11.85±3.93 ^a	54.6±19.33 ^a
9号	4.39±0.04 ^a	33.86±0.43 ^a	1.39±0.05 ^c	9.46±0.15 ^a	49.1±0.57 ^a
10号	4.24±0.47 ^a	25.89±2.97 ^a	1.87±0.24 ^{bc}	7.55±0.86 ^a	39.55±4.51 ^a
平均值±SD值	4.56±1.07	30.84±8.45	1.93±0.81	9.61±2.53	46.95±11.58

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

表3 客家炒青绿茶酯型儿茶素各组分及总含量

Table 3 Components and total content of ester catechin in Hakka roasted green tea (mg/g)

编号	EGCG	CG	GCG	ECG	酯型儿茶素	儿茶素总量
1号	74.41±6.26 ^a	2.49±0.11 ^{bc}	2.07±0.18 ^b	0.19±0.03 ^c	79.17±6.52 ^a	122.49±6.9 ^a
2号	86.75±19.82 ^a	2.78±0.23 ^{abc}	2.46±0.47 ^{ab}	0.42±0.3 ^{ab}	92.4±20.44 ^a	138.76±36.16
3号	93.99±27.05 ^a	2.55±0.32 ^{bc}	2.52±0.72 ^{ab}	0.26±0.03 ^{bc}	99.32±28.12 ^a	152.44±41.64 ^a
4号	79.45±14.31 ^a	2.42±0.2 ^{bc}	2.13±0.4 ^b	0.23±0.1 ^{bc}	84.24±14.86 ^a	131.95±23.12 ^a
5号	83.72±1.26 ^a	2.36±0.21 ^{bc}	3.28±0.14 ^{ab}	0.34±0.31 ^{abc}	89.7±1.81 ^a	130.32±2.62 ^a
6号	110.5±19.64 ^a	2.48±0.22 ^{bc}	3.47±0.75 ^{ab}	0.3±0.03 ^{abc}	116.75±20.63 ^a	159.09±28.92 ^a
7号	100.94±4.22 ^a	2.3±0.11 ^{bc}	2.88±0.15 ^{ab}	0.36±0.02 ^{abc}	106.48±4.49 ^a	159.22±4.47 ^a
8号	99.09±37.91 ^a	2.59±0.29 ^{bc}	2.79±1.06 ^{ab}	0.51±0.06 ^a	104.97±39.2 ^a	159.57±58.5 ^a
9号	80.02±4.4 ^a	2.34±0.07 ^{bc}	2.08±0.14 ^{ab}	0.2±0.02 ^{bc}	84.64±4.59 ^a	133.74±4.25 ^a
10号	81.9±10.89 ^a	3.04±0.17 ^a	2.3±0.32 ^{ab}	0.35±0.05 ^{abc}	87.58±11.39 ^a	127.14±15.89 ^a
平均值±SD值	89.08±20.81	2.53±0.29	2.6±0.69	0.32±0.13	94.52±21.58	141.47±31.66

客家炒青绿茶主要生化成分含量结果见图1。多酚类、糖类、生物碱类、氨基酸类、有机酸类等物质与茶叶品质密切相关，是茶叶风味化学成分的主体^[8,9]。结果显示，10个客家炒青绿茶茶样的水浸出物、茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖、咖啡碱均存在显著差异 ($P<0.05$)。所有茶样的水分含量为1.60%~2.32%，远低于绿茶水分含量小于7%的标准^[10]，原因可能在于客家炒青绿茶是采取长炒青工艺，炒青时间普遍为5~7 h，从而使其水分含量较其他绿茶产品含量低。茶叶水浸出物是茶叶中能溶于热水的各种物质统称，包括多酚类、氨基酸、可溶性糖等多种水溶性成分，其主要含量及结构组成决定着茶叶品质^[11,12]。有研究表明，茶汤水浸出物浓度越大则浓感越强^[13]。客家炒青绿茶水浸出物含量为35.26%~42.91%，除了8号(35.26%)、1号(37.73%)样品外，其余8个茶样水浸出物含量高于名优绿茶水浸出物含量(>38%)

规定标准，说明客家炒青绿茶内含物质较丰富。

茶叶内含物的结构及含量决定了茶叶呈味物质。茶多酚主要是苦味和收敛性呈味物质；氨基酸主要呈鲜味；可溶性糖主要呈甜味，可增茶汤的浓度和“味厚”感；咖啡碱主要呈苦味，这些物质对茶汤品质形成具有重要作用^[14,15]。本研究数据显示，客家炒青绿茶内含物丰富，茶多酚含量11.28%~15.73%，可溶性糖含量2.21%~3.28%，游离氨基酸含量1.20%~1.42%，咖啡碱含量3.32%~5.41%，总灰分4.59%~6.69%。6号茶样茶多酚含量最高(15.73%)，可溶性糖含量最低(2.21%)且与其他茶样呈显著差异 ($P<0.05$)；2号茶样游离氨基酸含量最高(1.42%)且与其他茶样存在显著差异 ($P<0.05$)。梅双等^[16]在广东梅州分别采用生产线和传统单机制备客家炒青绿茶，结果显示，生产线制备的茶多酚(21.25%)和咖啡碱(4.63%)含量均比单机制备的炒青绿茶含量低。余方林^[17]采取

炒青的工艺加工颗粒型绿茶,品质成分测定结果显示,成品茶水浸出物占 40.4%、茶多酚占 19.0%,氨基酸占 4.61%,咖啡碱占 2.0%,儿茶素含量占 81.70 mg/g。与梅双等^[16]和余方林^[17]结果相比,本研究中炒青绿茶茶多酚的含量相对较低,水浸出物含量无明显差异,原因可能与茶树品种和工艺参数的差异有关。

酚氨比是茶叶滋味品质的重要参考指标,与醇度关系最为密切,在茶多酚有一定含量的基础上,氨基酸含量越高滋味越鲜醇^[18]。本研究中,茶样的酚氨比为 8.44~12.83,2 号酚氨比最低(8.44),游离氨基酸含量最高(1.42%),茶多酚含量为 12.0%。许勇泉等^[19]研究表明,茶多酚、总糖含量对茶汤“回甘”滋味存在影响,含量越高,回甘强度显著上升。基于此,推测这是导致 2 号茶汤呈现“浓鲜醇,回甘”的滋味特点原因之一。

客家炒青绿茶简单儿茶素、酯型儿茶素各组分及总儿茶素含量结果见表 2~3。儿茶素类是茶多酚类的主体物质,占茶多酚的 75%~80%,其主要呈苦涩味,是重要的绿茶风味物质^[20],但是含量过高会使绿茶茶汤收敛性增强,茶汤苦涩,其中酯型儿茶素是引起茶叶涩味的主要物质,贡献最大的为 EGCG^[21]。本研究结果显示,客家炒青绿茶的儿茶素总量含量为 122.49~159.57 mg/g,酯型儿茶素含量为 79.17 mg/g,EGCG 含量为 74.41~110.50 mg/g。与余方林^[17]结果相比,本研究中儿茶素总量、酯型儿茶素和 EGCG 含量均较高,而其中 6、7 及 8 号茶样酯型儿茶素含量相对较高,从而推测这是导致其茶汤滋味呈“苦、涩”的原因之一。

2.3 客家炒青绿茶相关性分析

茶汤滋味是多种成分共同作用的结果,为进一步

研究各成分对茶汤滋味贡献度,采用 SPSS 软件,对客家炒青绿茶感官审评、内含物品质成分含量进行相关性分析及显著性检验,结果见表 4。结果表明,炒青绿茶感官审评分数与总灰分、水浸出物、可溶性糖、游离氨基酸、咖啡碱成正相关,其中总灰分、游离氨基酸和品质得分成显著正相关($P<0.05$),说明了以上成分含量的增加有利于炒青绿茶品质的提升。水分、茶多酚、酚氨比、简单儿茶素、酯型儿茶素和儿茶素总量与感官审评分数呈负相关,其中茶多酚、酚氨比和品质得分呈显著负相关($P<0.05$)。儿茶素类化合物是茶多酚的主体成分,呈涩味,含量较高时不利于茶汤品质的提高^[22]。综上,总灰分、茶多酚、氨基酸、酚氨比与炒青绿茶品质得分的相关关系较大,内含物成分对炒青绿茶品质得分的贡献大小顺序依次为游离氨基酸、茶多酚、酯型儿茶素、儿茶素总量、简单儿茶素、可溶性糖、咖啡碱。

2.4 客家炒青绿茶香气成分含量

客家炒青绿茶的香气成分相对含量及种类分析结果见表 5 及图 2。10 个样品中共检测到 44 个挥发性化合物,包括醛类 14 种、醇类 10 种、酮类 8 种、酯类 4 种、烃类 6 种和其它类 2 种。现有研究发现,醇、醛、酮类挥发性化合物在炒青绿茶香气品质形成起着较为关键的作用。Liu 等^[23]采用 HS-SPME 和 GC-MS 方法比较了珠状绿茶的挥发性化合物,发现醛类、醇类是珠状绿茶主要香气成分,其中,壬醛、癸醛、(E)-2-壬烯醛、 β -紫罗酮和 1-辛烯-3-酮是关键挥发性成分。Zhu 等^[24]鉴定了乙苯、庚醛、苯甲醛、2-戊基呋喃、(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮、芳樟醇、(Z)-3-己烯-1-己酸酯和反- β -紫罗酮是栗香绿茶的关键香气成分。

表 4 客家炒青绿茶滋味品质与内含成分相关性分析

Table 4 Correlation analysis of taste quality and content of Hakka roasted green tea

类型	审评分数	水分	总灰分	水浸出物	茶多酚	可溶性糖	氨基酸	咖啡碱	酚氨比	简单儿茶素	酯型儿茶素
水分	-0.108	1									
总灰分	0.044*	-0.833	1								
水浸出物	0.325	-0.026*	0.000**	1							
茶多酚	-0.013*	0.253	0.036*	0.238	1						
可溶性糖	0.753	0.905	-0.000*	-0.000**	-0.000**	1					
游离氨基酸	0.000**	-0.084	0.429	0.612	-0.091	-0.941	1				
咖啡碱	0.990	-0.627	0.000**	0.001**	0.002**	-0.000**	0.856	1			
酚氨比	-0.000**	0.116	0.165	0.425	0.000**	-0.000**	-0.000**	0.013*	1		
简单儿茶素	-0.333	0.222	-0.325	-0.045*	0.775	0.324	0.987	0.632	0.841	1	
酯型儿茶素	-0.055	0.280	0.589	0.966	0.015*	-0.172	-0.643	0.002**	0.029*	0.000**	1
儿茶素总量	-0.098	0.236	0.992	-0.459	0.085	0.576	0.757	0.030*	0.126	0.000**	0.000**

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。 **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表5 客家炒青绿茶的香气成分的相对含量

Table 5 Relative content of aroma components in Hakka roasted green tea

类型	名称	相对含量/%										平均值	总含量/%
		1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号	10号		
醇类	反式芳樟醇氧化物	6.39	13.31	16.86	28.51	23.18	20.08	13.74	15.47	7.80	5.63	15.10	28.47
	芳樟醇	3.44	5.71	4.59	5.96	3.90	5.22	4.97	6.40	6.32	5.33	5.18	
	1-月桂醇	1.24	0.98	1.05	0.77	1.02	0.90	0.66	1.01	0.76	1.12	0.95	
	顺式芳樟醇氧化物	1.11	0.98	0.65	2.06	2.52	0.83	5.12	1.51	1.44	0.92	1.71	
	反式香叶醇	1.02	2.16	1.71	2.83	3.24	3.85	3.02	2.78	2.13	2.49	2.52	
	1-己醇	0.67	0.73	0.59	0.70	0.80	0.44	1.55	0.42	0.23	0.63	0.68	
	橙花叔醇	0.33	0.49	0.38	0.39	0.10	0.43	0.95	0.50	1.40	0.68	0.56	
	4-松油醇	0.28	0.33	0.34	0.37	0.36	0.47	0.23	0.51	0.42	0.31	0.36	
	2,6-二甲基-环己醇	0.24	0.23	0.24	0.24	0.52	0.51	0.59	0.51	1.56	1.04	0.57	
	环氧芳樟醇	0.22	0.53	0.51	1.31	1.62	1.28	0.97	0.73	0.71	0.41	0.83	
醛类	壬醛	30.28	18.25	18.89	10.10	20.53	13.10	3.18	13.59	13.88	11.87	15.37	37.96
	己醛	5.04	3.07	1.48	4.49	0.93	0.71	3.24	0.60	1.18	5.01	2.58	
	辛醛	4.84	3.98	2.88	0.95	2.37	1.79	0.59	2.30	1.02	2.57	2.33	
	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	4.68	8.31	10.43	0.47	0.50	0.61	0.62	0.84	5.88	3.98	3.63	
	苯乙醛	3.50	3.88	4.33	2.96	3.76	5.38	3.47	4.38	5.07	3.08	3.98	
	癸醛	3.42	2.66	4.80	1.56	2.20	3.99	2.01	3.46	3.10	4.33	3.15	
	庚醛	1.49	1.22	0.73	0.13	0.34	0.55	0.49	0.53	0.62	0.37	0.65	
	藏花醛	1.24	1.18	0.39	1.46	1.22	1.59	0.68	1.12	3.14	3.51	1.55	
	2-甲基-丁醛	1.09	0.95	0.41	1.66	1.57	0.90	5.05	1.31	0.84	0.91	1.47	
	甲基-苯基-戊烯醛	0.82	1.23	0.89	1.32	1.37	1.37	1.38	0.23	1.44	1.27	1.13	
	2-己烯醛	0.67	0.72	0.53	0.33	0.30	0.46	1.29	0.72	0.44	0.88	0.63	
	2-癸烯醛	0.46	0.74	0.67	0.56	0.73	0.99	0.60	0.74	1.17	1.42	0.81	
	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-乙醛	0.28	0.35	0.25	0.71	0.21	0.19	0.59	0.87	0.30	0.19	0.39	
	乙基-苯甲醛	0.21	0.30	0.30	0.25	0.24	0.19	0.28	0.47	0.35	0.33	0.29	
酯类	水杨酸甲酯	2.60	2.48	2.52	2.65	3.00	3.06	2.84	5.04	2.74	1.62	2.85	5.10
	己酸甲酯	1.59	0.26	0.53	0.39	0.57	0.68	0.89	2.30	1.11	4.23	1.26	
	丙酸芳樟酯	0.21	0.26	0.25	0.38	0.28	0.48	0.30	0.68	0.92	0.66	0.44	
	二氢猕猴桃内酯	0.16	0.16	0.15	0.19	0.20	0.13	0.75	0.21	1.97	1.59	0.55	
酮类	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.67	1.71	2.42	2.16	1.52	1.61	2.97	2.46	3.92	6.67	2.71	10.38
	2,2,6-三甲基环己酮	1.48	1.83	1.68	0.38	0.43	0.63	2.56	2.26	3.76	5.01	2.00	
	β -紫罗兰酮	1.14	1.35	1.32	1.33	0.46	1.86	5.72	1.86	5.81	4.07	2.49	
	反式-香叶基丙酮	0.72	0.78	0.75	1.33	0.95	0.98	1.64	0.88	1.08	1.06	1.02	
	α -紫罗兰酮	0.44	0.64	0.50	0.84	0.77	1.12	1.40	0.82	1.15	0.84	0.85	
	2-庚酮	0.38	0.61	0.67	0.46	0.26	0.54	0.52	0.82	0.94	0.25	0.54	
	β -大马酮	0.25	0.18	0.23	0.21	0.43	0.34	0.24	0.22	0.19	0.15	0.24	
5-乙基-6-甲基-3E-庚烯-2-酮	0.13	0.24	0.24	0.63	0.99	0.73	0.22	0.29	0.60	1.17	0.52		
烃类	β -月桂烯	1.04	1.36	1.25	0.09	0.64	0.11	0.94	0.90	0.08	0.34	0.68	15.92
	1-柠檬烯	0.67	1.31	1.15	1.49	1.77	0.83	3.07	2.10	1.26	0.91	1.46	
	十四烷	9.75	9.35	8.37	13.73	10.71	15.98	11.92	12.66	7.47	7.49	10.74	
	十六烷	0.92	0.92	0.76	1.14	1.01	2.14	1.60	1.15	0.86	0.74	1.13	
	月桂烷	0.90	0.84	0.76	1.12	0.82	0.16	0.52	0.86	0.76	0.65	0.74	
	甲苯	0.75	1.34	0.88	0.75	0.68	0.90	1.88	1.29	1.66	1.65	1.18	
其他	3-苯基呋喃	1.95	1.76	1.34	0.22	0.51	0.75	4.33	1.85	2.34	2.19	1.72	2.17
	2,6-二叔丁基-对苯醌	0.30	0.36	0.33	0.41	0.51	1.15	0.43	0.37	0.23	0.42	0.45	

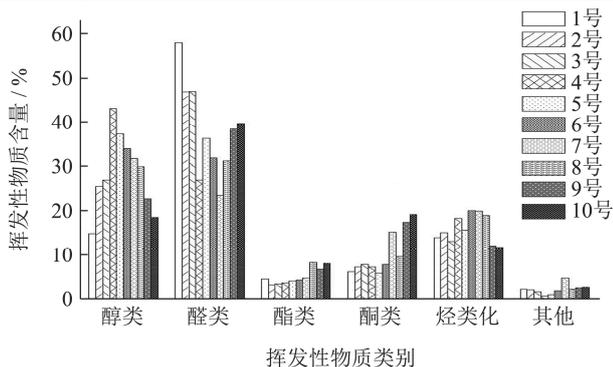


图2 客家炒青绿茶的香气成分种类及平均相对含量

Fig.2 Types and average relative contents of aroma components in Hakka roasted green tea

本研究中,醛类在客家炒青绿茶中相对含量最高,为 37.96%, 醛类化合物中含量较高的包括壬醛 (3.18%~30.28%)、苯乙醛 (2.96%~5.38%)、2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛 (0.47%~10.43%)、癸醛 (1.56%~4.80%) 等。现有研究数据显示,脂肪族醛类壬醛、2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛、2-甲基-丁醛、2-己烯醛的沸点低、阈值较小,具有花香、果香、甜香等香气^[25], 推测对客家炒青绿茶花香的贡献较大。

醇类化合物是茶叶香气中的主要化合物^[26], 其中芳樟醇、香叶醇、橙花叔醇等挥发性成分与茶叶香气品质形成密切相关, 有研究发现茶叶品质等级越高, 茶样中含有的香叶醇、橙花叔醇等含量越高^[27]。本研究中, 醇类化合物相对含量达 28.47%, 其中含量较高有芳樟醇氧化物、芳樟醇、反式香叶醇等。芳樟醇是绿茶关键香气成分之一, 主要呈清香^[28]和花香^[29,30]。本研究中, 芳樟醇在 4 号茶样的含量高于其他茶样, 可能是客家炒青绿茶 4 号与其他茶样花香强度的主要差异物质。

本研究中, 客家炒青绿茶的烃类化合物相对含量为 15.92%, 烃类化合物中含量较高有十四烷、1-柠檬烯、甲苯、十六烷等。十四烷在都匀毛尖绿茶中也有检测^[31]; 柠檬烯属于萜烯类化合物, 是茶叶中常见的香气成分, 是茶叶中果香风味的重要组成物质。此外, 酮类物质相对含量为 10.38%, 含量较高的是 6-甲基-5-庚烯-2-酮、 β -紫罗兰酮、2,2,6-三甲基环己酮, β -紫罗兰酮阈值极低, 可能是客家炒青绿茶中花香馥郁的特征物质。以上酮类化合物可能来源于类胡萝卜素的氧化和缩合反应及 β -胡萝卜素的氧化分解反应^[32]; 酯类相对含量为 5.10%, 其中水杨酸甲酯、己酸甲酯含量较高; 而其他类物质中 3-苯基呋喃的含量较高, 占 1.72%。

统计上述各茶样的主要挥发性成分发现, 壬醛、反式芳樟醇氧化物、十四烷、芳樟醇、等是客家炒青绿茶中共有的含量丰富的挥发性组分, 平均相对含量

均高于 5%。壬醛是茶叶中常见的挥发性成分, 在西湖龙井、黄山毛峰、信阳毛尖、安吉白茶等含量较高^[33], 同时壬醛也是红茶^[34]和黑茶^[35]的主要挥发性成分之一。芳樟醇及其氧化物属于萜烯醇类化合物及其衍生物, 存在于绿茶、红茶等多种茶类中, 芳樟醇是红茶^[32]、黑茶^[36]香气的主要成分。十四烷属于烷烃类化合物, 也是红茶挥发性成分组成之一^[37]。王华杰等^[38]发现了 β -紫罗酮、壬醛、香叶醇、芳樟醇、顺-3-己酸己烯酯、苯乙醛等是栗香绿茶的关键香气特征组份。刘珍珍等^[39]对汉中炒青绿茶香气成分进行分析研究, 也发现了 α -紫罗酮、芳樟醇、香叶醇、芳樟醇氧化物 II、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)呋喃酮的 OAV 值较高, 是汉中炒青绿茶的关键香气化合物。由此可见, 芳樟醇及其氧化物、壬醛在客家炒青绿茶中可能具有重要的风味贡献。

上述化合物主要是萜烯类化合物, 研究表明, 萜烯类化合物是由前体物质异戊二烯基焦磷酸和 3,3-二甲基丙烯基焦磷酸在相关酶的作用下合成的^[40], 大部分都可产生花香、甜香, 在各类茶中具有重要风味贡献^[41], 而栗香绿茶中萜烯醇类化合物种类较为丰富, 是绿茶栗香、花果香风味形成的主要原因^[27]。因此, 推测萜烯类化合物也是构成仙湖炒青绿茶花香与栗香重要的物质基础。

2.5 客家炒青绿茶关键香气成分分析

客家炒青绿茶挥发性成分复杂, 为进一步探明客家炒青绿茶挥发性成分中对香气起作用的成分, 本研究采用相对气味活度值 (ROAV) 进一步筛选挥发性成分中的香气关键成分。根据文献中的香气阈值, 计算出各组分的相对气味活度值, 结果见表 6。结果显示, 反式芳樟醇氧化物的平均相对含量为 15.10%, 阈值为 1.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 分析发现其对总香气贡献最大, 因此定义反式芳樟醇氧化物的 ROAV 为 100%, 然后计算其他组分的相对气味活度值。

如表 6 所示, ROAV>1 的组分包括芳樟醇、芳樟醇氧化物、环氧芳樟醇、壬醛、3-苯基呋喃、癸醛、苯乙醛、 β -紫罗兰酮等, 表明这些物质对客家炒青绿茶的香气形成具有重要贡献, 是关键香气化合物。ROAV>1 的组分中, 芳樟醇氧化物、芳樟醇、环氧芳樟醇、壬醛、2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛、苯乙醛、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、反式香叶醇、 β -大马酮都具有花香, 这些成分含量高且阈值低, 推测是客家炒青绿茶中花香的主要来源物质。2-己烯醛 (果香)、2-甲基-丁醛 (甜香, 微带果香)、3-苯基呋喃 (芳香)、癸醛 (青草气), 这些物质共同构成了客家炒青绿茶的香气主体。

表6 客家炒青绿茶主要挥发性成分的阈值及ROAV分析

Table 6 Threshold and ROAV analysis of main volatile components of Hakka roasted green tea

序号	类型	成分	平均相对含量/%	香气阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ROAV	香气 ^[25,42,43]
1		反式芳樟醇氧化物	15.10	1.5	100.00	花香
2		芳樟醇	5.18	1.5	34.33	花香
3		1-月桂醇	0.95	66	0.14	花香
4		顺式芳樟醇氧化物	1.71	1.5	11.35	花香
5	醇类	反式香叶醇	2.52	7.5	3.34	甜, 玫瑰香
6		1-己醇	0.68	500	0.01	果香, 甜香
7		橙花叔醇	0.56	1.0×10^4	0.00	木香、花香
8		4-松油醇	0.36	300	0.01	辛香、花香、木香
9		2,6-二甲基-环己醇	0.57	1.0×10^6	0.00	苦味
10		环氧芳樟醇	0.83	1.5	5.49	甜香、木香和花香香气
11		壬醛	15.37	3.5	43.63	甜橙味, 油脂和花香
12		己醛	2.58	210	0.12	呈生的油脂和青草气及苹果香味
13		辛醛	2.33	47	0.49	水果香
14		2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-甲醛	3.63	1	36.08	花果香
15		苯乙醛	3.98	9	4.39	花果香
16		癸醛	3.15	5	6.26	青草气
17	醛类	庚醛	0.65	31	0.21	具有油脂气味略带果香
18		藏花醛	1.55	300	0.05	木香、辛香、药香、粉香
19		2-甲基-丁醛	1.47	0.8	18.23	甜香, 微带果香
20		甲基-苯基-戊烯醛	1.13	150	0.07	可可香味
21		2-己烯醛	0.63	0.25	25.14	果香
22		2-癸烯醛	0.81	710	0.01	柑橘味、脂肪油脂味
23		2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-乙醛	0.39	170	0.02	nf
24		乙基-苯甲醛	0.29	300	0.01	杏仁气味
25	酯类	水杨酸甲酯	2.85	60	0.47	薄荷、冬青味
26		己酸甲酯	1.26	75	0.17	菠萝似香气
27		丙酸芳樟酯	0.44	100	0.04	花香、甜香、果气
28		二氢猕猴桃内酯	0.55	500	0.01	带有香豆素样香气
29		6-甲基-5-庚烯-2-酮	2.71	5×10^4	0.00	青香、柑橘香
30		2,2,6-三甲基环己酮	2.00	9.8×10^5	0.00	木香
31		β -紫罗兰酮	2.49	7	3.54	紫罗兰, 花香和覆盆子香
32	酮类	反式-香叶基丙酮	1.02	100	0.10	木兰香
33		α -紫罗兰酮	0.85	5.7	1.48	花香、甜果香
34		2-庚酮	0.54	680	0.01	果香
35		β -大马酮	0.24	2	1.22	玫瑰香
36		5-乙基-6-甲基-3E-庚烯-2-酮	0.52	nf	/	nf
37		β -月桂烯	0.68	16.6	0.40	香脂香气
38		1-柠檬烯	1.46	34	0.43	柑橘果香
39	烃类	十四烷	10.74	4.0×10^5	0.00	烷烃味
40		十六烷	1.13	4.0×10^5	0.00	烷烃味
41		月桂烷(十二烷)	0.74	4.0×10^5	0.00	烷烃味
42		甲苯	1.18	140	0.08	特殊芳香味
43	其他	3-苯基呋喃	1.72	0.82	20.87	芳香气味的
44		2,6-二叔丁基-对苯醌	0.45	nf	/	nf

注: nf表示未找到相关数据。

研究认为, ROAV 值介于 0.1 和 1 之间的香气成分对总体香气具有修饰作用, 本研究发现客家炒青绿茶中 ROAV 介于 0.1 和 1 之间的成分依次为辛醛(果香)、水杨酸甲酯(冬青味)、1-柠檬烯(果香)、 β -月桂烯(香脂香气)、庚醛(油脂)、己酸甲酯(果香)、1-月桂醇(花香)、己醛(油脂和青草气)、反式-香叶基丙酮(花香), 这些物质对客家炒青绿茶的香气具有修饰作用, 增加了香气的层次感。

3 结论

客家炒青绿茶因其长炒青工艺形成其“甘、香、醇、滑”的品质特点。本研究对客家炒青绿茶代表性茶样—仙湖茶进行了品质成分及香气特征分析。品质成分分析结果表明, 不同来源的客家炒青绿茶的茶多酚、游离氨基酸、咖啡碱、可溶性糖含量均差异显著, 且茶多酚、氨基酸、酚氨比与客家炒青绿茶品质审评得分的相关关系较大, 是造成炒青绿茶品质差异的主要影响因素。不同客家炒青绿茶挥发物组分含量比例存在差异, 壬醛、反式芳樟醇氧化物和芳樟醇推测是客家炒青绿茶香气的关键香气化合物。本研究分析了主要品质成分及香气组分在客家炒青绿茶中的差异, 可为客家炒青绿茶加工工艺与独特茶叶品质的形成提供生产参考和理论指导。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Zheng X, Li Q, Xiang L, et al. Recent advances in volatiles of teas [J]. *Molecules*, 2016, 21(3).
- [3] 胡蝶,陈维,马成英,等.高温长时辉干工艺对广东炒青绿茶香气组分的影响[J].食品科学,2022,43(8):255-261.
- [4] 乔小燕,黄秀新,黄国资,等.“二炒”温度对传统客家炒青绿茶品质特征的影响[J].广东农业科学,2015,42(1):96-99.
- [5] 王秋霜,凌彩金,乔小燕,等.萎凋及发酵时间对广东丹霞红茶香气及品质的影响[J].茶叶科学,2019,39(3):342-354.
- [6] Lv H, Zhong Q, Lin Z, et al. Aroma characterisation of pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry [J]. *Food Chemistry*, 2012, 4(130): 1074-1081.
- [7] 刘登勇,周光宏,徐幸莲.确定食品关键风味化合物的一种新方法:“ROAV”法[J].食品科学,2008,7:370-374.
- [8] 张英娜,嵇伟彬,许勇泉,等.儿茶素呈味特性及其感官分析方法研究进展[J].茶叶科学,2017,37(1):1-9.
- [9] 张英娜.绿茶茶汤主要儿茶素呈味特性研究[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [10] GBT 14456.1-2017,绿茶 第1部分:基本要求[S].
- [11] 府慧君.茶叶水浸出物含量与品质关系的初步研究[J].茶叶,1957,3:23-25.
- [12] 周红杰,吴建丽,周玲.云龙绿茶品质形成因素分析[J].茶叶机械杂志,2001,2:17-19.
- [13] 徐准盾,龚淑英.茶汤浓度对绿茶水浸出物含量及其感官审评的影响[J].茶叶,2005,3:166-169.
- [14] 蒲晓亚,袁毅君,王廷璞,等.茶叶的主要呈味物质综述[J].天水师范学院学报,2011,31(2):40-44.
- [15] 施兆鹏.茶叶审评与检验[Z].北京:中国农业出版社,2010.
- [16] 梅双,乔小燕,陈维,等.半连续化生产线和传统单机加工客家炒青绿茶主要品质成分比较分析[J].广东农业科学,2019,46(11):127-133.
- [17] 余方林.颗粒型绿茶加工工艺优化及其品质形成研究[D].杭州:浙江工商大学,2016.
- [18] 程启坤.茶叶品种适制性的生化指标-酚氨比[J].中国茶叶,1983,1:38.
- [19] 许勇泉,刘翔,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.中国贵州贵阳:114-123.
- [20] Susanne S, Thomas H. 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).
- [21] 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).
- [22] 王胜鹏,龚自明,郑鹏程,等.青砖茶茶汤滋味成分分析及品质评价模型建立[J].食品科学,2019,40(10):214-219.
- [23] Liu P, Zheng P, Gong Z, et al. Comparing characteristic aroma components of bead-shaped green teas from different regions using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry combined with chemometrics [J]. *European Food Research and Technology*, 2020.
- [24] Zhu Y, Lv H, Shao C, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas [J]. *Food Research International*, 2018, 108.
- [25] 奥·范海默特.化合物香味阈值汇编(原书第二版)[Z].北京:科学出版社,2015.
- [26] Xinghe W K L F. Comparison of catechins and volatile compounds among different types of tea using high performance liquid chromatograph and gas chromatograph mass spectrometer [J]. *International Journal of Food Science &*

- Technology, 2011, 46(7).
- [27] 张红梅,张义俊,王显锋,等.不同等级信阳毛尖茶香气成分分析[J].江苏农业科学,2014,42(12):329-332.
- [28] 王梦琪,朱荫,张悦,等.“清香”绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J].食品科学,2019,40(22):219-228.
- [29] 何郁菲,曹冰冰,梁敏敏,等.花香绿茶加工过程中的香气变化研究[J].中国茶叶加工,2016,2:51-56.
- [30] 张铭铭,尹洪旭,邓余良,等.基于HS-SPME/GC×GC-TOFMS/OAV不同栗香特征绿茶关键香气组分分析[J].食品科学,2020,41(2):244-252.
- [31] 朱楠,陶晨,任竹君,等.SPME-GC/MS分析都匀毛尖茶挥发性成分[J].云南大学学报(自然科学版),2016,38(1):116-126.
- [32] Chen X, Sun H, Qu D, et al. Identification and characterization of key aroma compounds in Chinese high altitude and northernmost black tea (*Camellia sinensis*) using distillation extraction and sensory analysis methods [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2020, 35(6).
- [33] 龙立梅,宋沙沙,李柰,等.3种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J].食品科学,2015,36(2):114-119.
- [34] 张翔,王聪明,聂枫宁,等.川红和祁红香气特征分析及成分比较[J].热带作物学报,2020,41(7):1440-1449.
- [35] Nie C, Zhong X, He L, et al. Comparison of different aroma-active compounds of Sichuan dark brick tea (*Camellia sinensis*) and Sichuan Fuzhuan brick tea using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and aroma descriptive profile tests [J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(9).
- [36] 谭文涵,毛静春,满红平,等.普洱大叶种红茶和熟茶中20种挥发性组分对比研究[J].食品安全质量检测学报,2020,11(10):3141-3148.
- [37] 刘亚文,王凯茜,于飞,等.高温加速陈化贮藏模型中工夫红茶挥发性成分的变化规律[J].中国茶叶加工,2020,4:52-59.
- [38] 王华杰,滑金杰,余勤艳,等.基于IRAE-HS-SPME/GC-MS分析杀青方式对绿茶栗香形成的影响[J].食品科学,2021,42(14):209-217.
- [39] 刘珍珍,苏莹,李会宁,等.汉中炒青绿茶香气成分及香气特征分析[J].湖南农业科学,2019,9:78-84.
- [40] 张冬桃,孙君,叶乃兴,等.茶树萜烯类香气物质合成相关酶研究进展[J].茶叶学报,2015,56(2):68-79.
- [41] 王梦琪,朱荫,张悦,等.茶叶挥发性成分中关键呈香成分研究进展[J].食品科学,2019,40(23):341-349.
- [42] 陈颖,李凯,杨丽维,等.‘雪花’梨香气成分研究[J].中国果树,2017,6:15-19.
- [43] 肖凌,毛世红,童华荣.3种香型凤凰单丛茶挥发性成分分析[J].食品科学,2018,39(20):233-239.