

占鑫怡, 杨云, 陈彬, 等. 不同摇青程度春闽北乌龙茶品质差异分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 271–279. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060276

ZHAN Xinyi, YANG Yun, CHEN Bin, et al. Difference Analysis of Major Quality Components in Different Turning over Intensities of Chungui Oolong Tea in Northern Fujian[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 271–279. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060276

· 分析检测 ·

不同摇青程度春闽北乌龙茶品质差异分析

占鑫怡^{1,2}, 杨云^{1,2}, 陈彬^{1,2}, 黄慧清^{1,2}, 赵梦莹^{1,2}, 李鑫磊^{3,*}, 孙云^{1,2,*}

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002;

2. 茶学福建省高校重点实验室, 福建福州 350002;

3. 福建省农业科学院茶叶研究所, 福建福州 350012)

摘要:为探讨春闽品种加工闽北乌龙茶的工艺特点, 本文采用感官审评、生化分析、超高效液相色谱三重四级杆串联质谱 (UPLC-QqQ-MS) 及顶空固相微萃取法结合气相色谱-飞行时间质谱联用技术 (HS-SPME-GC-TOF-MS), 研究不同摇青程度春闽北乌龙茶在感官品质、理化品质、儿茶素组分、氨基酸组分、挥发性物质等方面的差异。结果表明: 轻摇处理外形紧结, 花香显, 滋味鲜爽, 感官品质总分 90.6; 重摇处理外形稍松, 花香显, 滋味浓醇, 感官总分 88.0。轻摇春闽各儿茶素组分均显著高于重摇 ($P<0.05$), 氨基酸含量总体高于重摇处理, 氨基酸组分含量中谷氨酰胺及精氨酸存在极显著差异 ($P<0.01$), 重摇处理后茶氨酸与谷氨酸含量降低较多。随着摇青程度的增加, 橙花叔醇、香叶醇、己酸叶醇酯、苯甲醇、己酸己酯含量显著增加 ($P<0.05$), 吲哚、 α -法呢烯、茉莉内酯、苯乙醇、二氢猕猴桃内酯及脱氢芳樟醇含量显著减少 ($P<0.05$)。综上, 春闽茶轻摇青处理, 茶汤滋味鲜爽, 收敛性强, 香气高扬且花果香显, 茶多酚、儿茶素及氨基酸含量高; 重摇青处理, 滋味浓醇回甘好, 香气层次丰富花香显, 黄酮含量高, 儿茶素与氨基酸含量明显下降。这可为闽北地区春闽乌龙茶加工定向品质调控提供理论依据。

关键词:春闽, 闽北乌龙茶, 摇青程度, 滋味, 香气

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)11-0271-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060276

本文网刊:



Difference Analysis of Major Quality Components in Different Turning over Intensities of Chungui Oolong Tea in Northern Fujian

ZHAN Xinyi^{1,2}, YANG Yun^{1,2}, CHEN Bin^{1,2}, HUANG Huiqing^{1,2}, ZHAO Mengying^{1,2}, LI Xinlei^{3,*}, SUN Yun^{1,2,*}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Key Laboratory of Tea Science in Universities, Fuzhou 350002, China;

3. Tea Research Institute of Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350012, China)

Abstract: In order to explore the processing technology characteristics of northern Fujian oolong tea processed by Chungui variety, sensory evaluation, biochemical analysis, ultra-performance liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry (UPLC-QqQ-MS) and headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-time of flight mass spectrometry (HS-SPME-GC-TOF-MS) were used to investigate the differences in sensory quality, physicochemical quality, catechin fraction, amino acid fraction and volatile substances of northern Fujian oolong tea at different turning over intensities. The results showed that the light turning over intensity treatment had tight shape, with a distinctive floral aroma and fresh taste, and the total score of sensory quality was 90.6, and heavy turning over intensity

收稿日期: 2022-06-28

基金项目: 国家现代农业 (茶叶) 产业技术体系建设专项 (CARS-19); 福建农林大学茶产业链科技创新与服务体系建设项目 (K1520005A06); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金 (FJZTF01)。

作者简介: 占鑫怡 (1994-) (ORCID: 0000-0002-0613-964X), 女, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶加工与品质, E-mail: zhanxinyi1210@126.com。

* 通信作者: 李鑫磊 (1992-) (ORCID: 0000-0001-7793-5654), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 茶树品种选育、茶树资源与利用等, E-mail: lxlafu@163.com。

孙云 (1964-) (ORCID: 0000-0002-3074-3468), 女, 博士, 教授, 研究方向: 茶叶加工与品质研究, E-mail: sunyun1125@126.com。

treatment had slightly loose shape, floral fragrance and a strong mellow taste, sensory score 88.0. The catechin components were all significantly higher in the light turning over intensity treatment of Chungui than heavy turning over intensity treatment ($P<0.05$). The amino acid content of the light turning over intensity treatment was generally higher than that of the heavy turning over intensity treatment, with highly significant differences in the content of glutamine and arginine ($P<0.01$), and a greater reduction in the content of theanine and glutamate. As the degree of turning over intensity increased, the contents of nerolidol, geraniol, caprylate, benzyl alcohol and caprylate increased significantly ($P<0.05$) and the contents of indole, α -farnesene, jasmonolactone, phenethyl alcohol, dihydrokiwiolactone and dehydrolinalool decreased significantly ($P<0.05$). In conclusion, the light turning over intensity treatment of Chungui tea, tea soup taste fresh, strong convergence, high aroma and flowers and fruits fragrance, tea polyphenols, catechins and amino acids content, the heavy turning over intensity treatment resulted in a rich and mellow taste with good sweetness, rich and floral aroma, high flavonoid content and a significant decrease in catechin and amino acid. This study can provide a theoretical basis for the processing oriented quality control of Chungui oolong tea in northern Fujian.

Key words: Chungui; northern Fujian oolong tea; turning over intensity; taste; aroma

乌龙茶原产于福建,是我国传统的六大茶类之一,属半发酵茶,以其馥郁花果香、醇厚回甘的滋味品质深受国内外消费者的喜爱。乌龙茶品质受茶树品种、产区环境、加工工艺等因素影响,其中茶树品种和加工工艺是影响乌龙茶香气类型与滋味品质的重要因素。

春闰茶树品种是由福建省农业科学院茶叶研究所从黄桫自然杂交后代中采用单株育种法培育而成的,制成的闽南乌龙茶具有特征茉莉花香^[1]。春闰与铁观音、福云 6 号制成的成茶相比,其特征香气组分中吲哚、橙花叔醇与 α -法呢烯等相对含量较高^[2-3]。

福建乌龙茶可分为闽南乌龙与闽北乌龙,闽北乌龙茶以武夷岩茶为代表,其主要加工工序为晒青、做青、杀青、揉捻、干燥、拣剔、筛分、匀堆、焙火^[4]。近年来,乌龙茶香气特征及其形成机理的研究不断增加,研究表明,乌龙茶中的特征香气组分为橙花叔醇、吲哚和茉莉内酯等,这些香气组分在乌龙茶做青过程的机械胁迫条件下大量形成,呈现花果香气^[5-6]。做青是乌龙茶特征风味品质形成的重要工序,其摇青环节使叶缘组织产生适度损伤,摇青过程影响茶叶香气物质的形成与积累^[7-9]、呈味物质的变化^[10]以及不同类型风味物质的种类与含量^[11],且做青条件对茶叶品质产生重要影响,如摇青强度^[12]、做青温度^[13]、光照强度^[6]等。前期研究表明,春闰品种适合制作“消青”风格的闽南乌龙茶,即延长杀青前的摊青时间^[14]。

截至目前,春闰品种配套闽北乌龙茶工艺研究尚少。本研究以春闰鲜叶为原料,设置轻摇和重摇两种做青程度,并分别制成毛茶,在感官审评基础上结合常规生化成分实验、超高效液相色谱-三重四级杆串联质谱技术(Ultra-performance liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry, UPLC-QqQ-MS)及顶空固相微萃取法结合气相色谱-飞行时间质谱联用技术(Headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry, HS-SPME-GC-TOF-MS)方法对样本常规生化成分含量、儿茶素组分、氨基酸组分和香气组分进行测定。本研究旨在明确高香乌龙

茶品种春闰制作闽北乌龙茶的适宜做青程度,为春闰在闽北地区进一步的推广与应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲜叶 2021 年 4 月 29 日采自武夷山市上梅乡无病虫害的一芽三四叶春闰品种鲜叶;儿茶素(Catechin, C)、表儿茶素(Epicatechin, EC)、表没食子儿茶素(Epigallocatechin, EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate, EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(Epicatechin gallate, ECG)、没食子儿茶素(Gallocatechin, GC)、儿茶素没食子酸酯(Catechin gallate, CG)、没食子儿茶素没食子酸酯(Gallocatechin gallate, GCG)、天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、谷氨酰胺、苏氨酸、丝氨酸、茶氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、 γ -氨基丁酸、赖氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸(纯度 $\geq 95\%$)、乙腈、甲酸(质谱级)、甲醇(色谱级) 美国 Sigma 公司。

JY-6CZQ-110 型综合做青机 福建佳友机械有限公司;JY-5430R 型台式高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司;Agilent 7890B GC-LECO Pegasus HT TOF/MS 高通量气相色谱质谱联用仪 美国安捷伦科技有限公司;L-8900 日立全自动氨基酸分析仪 日立高新技术公司;Waters 2695-2998 高效液相色谱仪 美国 Waters 公司;G560E 涡旋振荡器 美国 Industrial Industries 公司;KQ-300GDV 恒温数控超声波清洗器 昆山超声仪器公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 按照闽北乌龙茶加工工艺对鲜叶进行初制加工,工艺过程及取样节点表观叶态成像如图 1 所示,具体如下:春闰鲜叶经日光萎凋后,将萎凋叶转移至综合做青机进行做青处理,做青期间温度为 21~26 °C,设置不同摇青程度分别为轻摇(4T)、重摇(5T),做青总历时分别约为 11、13 h,做青后立即进行杀青、揉捻、干燥后得到轻摇毛茶(QM)及重摇毛茶(ZM)。

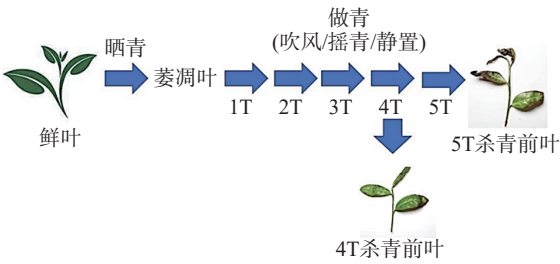


图 1 春闰加工过程中的表现叶态成像

Fig.1 The apparent imaging of primary manufacturing process of Chungui

注: 1T: 第一次摇青; 2T: 第二次摇青; 3T: 第三次摇青; 4T: 第四次摇青; 5T: 第五次摇青。

1.2.2 感官审评 根据 GB/T 23776-2018《茶叶感官审评方法》^[15] 中的乌龙茶审评方法, 采用百分加权评分法, 其权重按照外形、汤色、香气、滋味、叶底分别为 20%、5%、30%、35%、10% 进行打分。

1.2.3 常规生化成分含量测定 水浸出物含量的测定参照 GB/T 8305-2013^[16]; 茶多酚的测定参照 GB/T 8313-2018^[17]; 游离氨基酸的测定参照 GB/T 8314-2013^[18]; 黄酮类物质含量采用 AlCl_3 比色法进行测定^[19]; 咖啡碱的测定参照 GB/T 8303-2013^[20]; 茶红素、茶黄素、茶褐素的测定参照系统比色法^[21]。

1.2.4 氨基酸组分和儿茶素组分含量测定 称取研磨后的茶样 25 mg, 加入 1 mL 体积分数 70% 甲醇溶液, 充分振荡后室温超声 30 min, 在 12000 g 4 ℃ 条件下离心 10 min, 取上清液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后, 稀释至适当倍数, 供 UPLC-QqQ-MS 分析, 每个样品重复 3 次。同时等量混合每个样品制备质量控制样品, 在整个数据采集过程中, 每采集 5 个样品数据采集一个质量控制样品数据用于检测仪器稳定性。

儿茶素组分分析采用 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》方法^[17]; 氨基酸组分采用 GB/T 30987-2020《植物中游离氨基酸的测定》方法^[22]。

氨基酸、儿茶素标准曲线绘制: 根据已测批量待测物的峰面积与已知标准溶液质量浓度的峰面积进行比例换算, 估算待测物的质量浓度范围; 配制 5 个以上不同质量浓度的标准溶液, 以标准溶液质量浓度为横坐标(ng/mL), 峰面积为纵坐标(y), 绘制不同氨基酸、儿茶素组分的标准曲线, 得出回归方程, 然后根据标准曲线进行定量分析。

1.2.5 气相色谱-质谱联用测定挥发性物质 将制成后的春闰茶样碾碎过 40 目筛, 称取 2.00 g 碾碎茶样

于 20 mL 顶空瓶。固相萃取条件: 萃取头(PDMS/DVB, 23 Ga, plain, 65 μm , Supelco), 孵化温度 80 ℃, 孵化时间 30 min, 萃取时间 60 min, 解吸附时间 5 min^[23]。气相色谱条件: 色谱柱 Rxi®-5silMS(30 m×0.25 mm×0.25 μm , RESTEK), 进样口温度 250 ℃。程度升温: 50 ℃ 保持 5 min, 以 3 ℃/min 升到 210 ℃, 保持 3 min, 以 15 ℃/min 升到 230 ℃, 不分流模式。质谱条件: 离子源温度 250 ℃, 检测器电压 1600 V, 扫描范围 30~500 amu, 质谱数据采集时间 200 s。

挥发性成分数据处理: 采用 Chroma TOF 软件进行分析处理, 并通过峰面积归一化定量, 挥发性成分峰面积除以总峰面积得到各挥发性物质的相对含量, 依据质谱信息、色谱保留时间及 NIST 08 标准谱库比对结果相结合的方法进行定性分析。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理, Simca-p 进行正交偏最小二乘法判别分析, SPSS 25.0 软件进行描述性分析及显著性分析, 数据以平均值±标准差表示, Origin 软件进行离子图绘制, Graphpad Prism 9.0 软件进行柱状图绘制。

2 结果与分析

2.1 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶感官品质分析

对不同摇青程度制成的春闰毛茶进行感官审评, 其审评结果如表 1 所示, QM 审评综合评分 90.6, ZM 审评综合评分 88.0。QM 外形匀整紧结、青褐乌润、红点多; ZM 外形相对松散, 色泽青褐乌润。QM 汤色橙黄明亮, ZM 汤色深橙黄明亮。QM 香气有明显花香且持久, ZM 花香显, 两种处理在香气上均无明显青味。滋味上 QM 鲜爽度高, ZM 醇厚回甘显, QM 比 ZM 收敛性与苦涩度强。QM 叶底匀整明亮, ZM 叶底软嫩明亮红边多, 随着摇青程度的增加, 摇青叶发酵程度增加, 叶底呈现的柔软度有明显差异。可见, 不同摇青程度影响茶叶滋味物质及挥发性物质的种类及含量, 使茶叶呈现不同品质风味。其中, 摇青程度或半发酵程度对儿茶素、氨基酸及茶色素含量影响较大^[24], 通过测定主要的滋味物质, 可进一步验证做青程度对乌龙茶品质的影响。

2.2 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶生化成分分析

表 2 为不同摇青程度春闰毛茶的基础生化物质含量。不同摇青程度处理后, 黄酮、茶红素、茶黄素含量随着摇青程度的增加而增加, ZM 处理的黄酮含量比 QM 处理高 12.25%, 不同处理间的茶红素、茶黄素含量有极显著差异($P<0.01$); 水浸出物、茶多

表 1 不同摇青程度春闰毛茶感官审评结果

Table 1 Sensory evaluation of Chungui tea in different turning over intensity

名称	外形(20%)		汤色(5%)		香气(30%)		滋味(35%)		叶底(10%)		综合评分
	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数	评语	分数	
QM	匀整紧结、青褐乌润、红点多	95	橙黄明亮	95	花果香显	91	鲜爽收敛性强	88	匀整明亮带红边	87	90.6
ZM	壮结稍松、青褐乌润	90	深橙黄明亮	95	花香显	90	浓醇回甘显	88	软嫩明亮红边多	85	88.0

酚、氨基酸、咖啡碱及茶褐素含量呈下降趋势,其中茶多酚、茶褐素含量有显著差异($P<0.05$),氨基酸含量有极显著差异($P<0.01$)。结果表明,重摇青处理对春闰毛茶滋味浓强度与厚薄程度影响较大,其中氨基酸、黄酮、茶多酚三种物质含量与春闰茶汤滋味的醇度和浓度具有较强的相关性。茶红素、茶黄素及茶褐素是形成汤色差异的主要原因,重摇处理后茶红素及茶黄素极显著增加($P<0.01$),使茶汤颜色加深,与审评结果一致;茶多酚、氨基酸总量下降,黄酮含量增加,重摇春闰毛茶滋味浓醇,轻摇滋味鲜爽。

表 2 不同摇青程度春闰毛茶非挥发物含量

Table 2 Non-volatile components of Chungui tea in different turning over intensity

成分	QM	ZM
含水率(%)	5.88±0.00 ^A	4.69±0.02 ^B
水浸出物(%)	36.36±1.04	32.31±3.17
茶多酚(%)	14.36±0.01 ^a	13.71±0.10 ^b
氨基酸(%)	2.64±0.01 ^A	2.19±0.02 ^B
咖啡碱(%)	4.12±0.08	4.03±0.16
黄酮(mg/g)	11.02±0.55	12.37±0.42
茶红素(%)	0.87±0.03 ^B	1.23±0.02 ^A
茶黄素(%)	0.05±0.00 ^B	0.06±0.00 ^A
茶褐素(%)	2.14±0.05 ^a	1.89±0.01 ^b
酚氨比	5.45±0.02 ^B	6.28±0.02 ^A

注:同行不同小写字母代表差异显著($P<0.05$),同行不同大写字母代表差异极显著($P<0.01$),表3~表4同。

2.3 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶儿茶素组分及咖啡碱含量差异分析

从表3可以看出,不同摇青程度的春闰毛茶儿茶素含量有显著差异($P<0.05$),而咖啡碱含量无显著差异($P>0.05$)。两种摇青程度的春闰毛茶儿茶素组分中 ECG、EGC、EGCG 含量较高,酯型儿茶素总量均高于非酯型儿茶素总量。QM 和 ZM 之间具有强收敛性及苦涩滋味的酯型儿茶素有极显著差异($P<0.01$),ZM 的酯型儿茶素 ECG、EGCG、EGCG3"ME 分别比 QM 处理低 35.12%、34.66% 及 38.21%;非酯型儿茶素有显著差异($P<0.05$),ZM 的 EC、C、GC、EGC 分别比 QM 低 42.4%、25.49%、10.31% 及 26.5%。重摇可使摇青过程中叶片细胞破损多,茶叶中酶促反应用于酚类底物,酶类和底物的接触更充分,使茶叶中儿茶素的形态发生氧化或异构,含量降低,与前人的研究一致^[25-26],说明不同摇青程度对儿茶素含量产生重大影响。因此,在感官审评结果中 QM 呈现出较收敛苦涩的口感,而 ZM 滋味较为醇爽,这与 Liu 等^[27]的研究结果较一致,苦味的强度与总儿茶素和没食子儿茶素的浓度呈正相关,涩味强度与类黄酮浓度呈显著相关。另外,咖啡碱是茶汤滋味的主要风味物质,两种摇青程度下咖啡碱含量差异不显著($P>0.05$),含量均在 41 mg/g 以上,但摇青程度加重后含量有所下降,这可能是因为重摇青发酵时间较

长,咖啡碱与茶黄素络合形成具有鲜爽味的化合物^[28],导致咖啡碱含量减少。

表 3 不同摇青程度春闰毛茶儿茶素组分及咖啡碱含量
Table 3 Catechin components and caffeine content of Chungui tea in different turning over intensity

类型	组分	QM(mg/g)	ZM(mg/g)
酯型儿茶素	EGCG	58.59±6.4 ^A	38.28±1.12 ^B
	ECG	16.83±1.97 ^A	10.92±0.3 ^B
	EGCG3"ME	3.35±0.45 ^A	2.07±0.04 ^B
	总计	78.77±8.82 ^A	51.27±1.46 ^B
	EC	5.67±0.38 ^a	3.26±1.06 ^b
非酯型儿茶素	C	0.51±0.04 ^a	0.38±0.00 ^b
	GC	0.97±0.14 ^a	0.87±0.00 ^b
	EGC	33.39±3.87 ^a	24.54±0.51 ^b
	总计	40.54±4.43 ^a	29.05±1.57 ^b
	咖啡碱	46.06±0.09	41.25±0.35

以上结果表明,摇青程度可影响酯型及非酯型儿茶素的含量,产生茶叶色泽和风味上的改变,重摇处理的春闰酯型儿茶素含量极显著降低($P<0.01$),使茶汤苦涩味降低,醇厚口感增强。

2.4 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶氨基酸组分含量分析

不同摇青程度对春闰毛茶呈味氨基酸含量的影响如图2所示,QM 的氨基酸总量比 ZM 高 26.29%,甜味类氨基酸含量上存在显著差异($P<0.05$)。不同摇青程度春闰毛茶氨基酸含量如表4所示,茶氨酸是茶叶中含量最高的游离氨基酸组分,滋味鲜爽带甜,含量与茶叶品质呈正相关,也是评价茶叶滋味品质的重要指标^[29],QM 与 ZM 的茶氨酸均占氨基酸总量的 25% 以上。鲜味类氨基酸中 QM 的茶氨酸、谷氨酸及天冬氨酸含量分别比 ZM 高 21.01%、39.44% 及 11.2%,但甘氨酸的变化趋势相反,QM 的甘氨酸含量比 ZM 低 35.29%。茶氨酸可同甘氨酸协同增强茶汤鲜味,降低苦涩味,对茶汤呈味品质有积极作用。甜味类氨基酸含量在不同摇青程度下差异显著,其可增加茶汤甜味,也是岩茶回甘的主要贡献者^[30]。苦味类氨基酸含量随着做青程度加强而减少,使茶汤的收敛性涩味降低。芳香类氨基酸含量随着摇青程

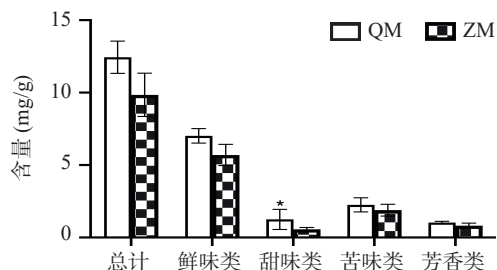


图2 不同摇青程度对春闰毛茶呈味氨基酸含量的影响

Fig.2 Effects of different turning over intensity on flavor amino acid of Chungui tea

注:*表示两个样本之间差异显著($P<0.05$),**表示两个样本之间差异极显著($P<0.01$),图4同。

度增加而减少,摇青工艺可促进部分氨基酸作为香气前体物质的转化^[31],其变化可能使春闰乌龙茶呈现出不同特征香气。由此可见,随着摇青程度增大,氨基酸组分含量大幅降低,其不同的成分含量使春闰毛茶滋味呈现不同风味特点,QM 滋味鲜爽且收敛性强,苦涩味高;ZM 滋味相比更加浓醇,回甘好。

表 4 不同摇青程度春闰毛茶氨基酸组分含量
Table 4 Amino acid components of Chungui tea in different turning over intensity

类型	组分	QM(mg/g)	ZM(mg/g)
苦味类	异亮氨酸	0.20±0.05	0.16±0.05
	色氨酸	0.44±0.11	0.40±0.08
	组氨酸	0.19±0.01 ^a	0.14±0.03 ^b
	苯丙氨酸	0.76±0.20	0.62±0.15
	丙氨酸	0.05±0.01 ^a	0.05±0.03 ^b
	亮氨酸	0.23±0.05	0.19±0.04
	缬氨酸	0.20±0.05	0.18±0.04
	γ-氨基丁酸	0.24±0.02	0.20±0.03
鲜味类	甘氨酸	0.11±0.06	0.17±0.05
	茶氨酸	3.11±0.29	2.57±0.23
	谷氨酸	1.98±0.11 ^a	1.42±0.27 ^b
	天冬酰胺	0.42±0.07	0.29±0.06
	天冬氨酸	1.39±0.15	1.25±0.47
甜味类	丝氨酸	0.82±0.06 ^a	0.56±0.24 ^b
	脯氨酸	0.24±0.03	0.18±0.03
	苏氨酸	0.02±0.00	0.01±0.00
	谷氨酰胺	0.02±0.00 ^A	0.01±0.00 ^B
	赖氨酸	0.23±0.02	0.18±0.06
芳香类	精氨酸	0.26±0.00 ^A	0.15±0.03 ^B
	酪氨酸	0.55±0.08	0.50±0.08
总计		12.44±1.11	9.85±1.49

2.5 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶挥发性物质分析

2.5.1 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶总挥发性物质分析 茶叶香气是由性质不同的挥发性物质以不同浓度组合而成。对不同摇青程度的春闰茶进行 SPME-GC-TOF-MS 检测,并采用 NIST 库进行检索对比。共检出 933 种挥发性物质,其中已知物质 291 种,其相对含量占总检出全部挥发物的 94.96%,其中酯类 56 种,醇类 31 种,酮类 52 种,醛类 18 种,烯炔类化合物 29 种,烷烃类化合物 38 种,杂氧化合物 8 种,氮杂环化合物 12 种,酸类 9 种,其他化合物 38 种。图 3 为不同摇青程度春闰毛茶挥发性物质的总离子流图,可以看出两者挥发性物质种类大致相同,但含量存在一定差异。图 4 为不同摇青程度春闰茶挥发性物质的相对含量分析,图 4 中可以看出春闰茶挥发性物质主体成分为醇类、酯类及酮类,与目前现有的研究结果大致相同^[2]。在不同摇青程度春闰茶挥发性物质成分中,酮类、烯炔类及烷烃类随摇青程度增加而减少,醇类、酯类及酸类化合物随摇青程度增加而上升。

2.5.2 不同摇青程度春闰闽北乌龙茶特征挥发性物质差异分析 不同摇青程度春闰毛茶挥发性物质

OPLS-DA 得分图如图 5 所示。从图 5 中可以看出 ZM 与 QM 的挥发性物质在 95% 置信区间内可以明显区分,说明不同摇青处理后春闰茶香气组成与含量上有明显差异。第一主成分累计贡献率为 84.9%,第二主成分累计贡献率为 8.68%,累计贡献率 93.58%,说明前两个主成分充分反映了不同摇青程度春闰毛茶挥发性物质的整体数据信息。图 6 为主成分分析载荷图,在第一主成分负轴,由大到小依次为橙花叔醇、香叶醇、己酸叶醇酯、己酸己酯,对应 ZM;在第一主成分正轴,由大到小依次为吡嗪、α-法呢烯、茉莉内酯和二氢猕猴桃内酯,对应 QM。表明橙花叔

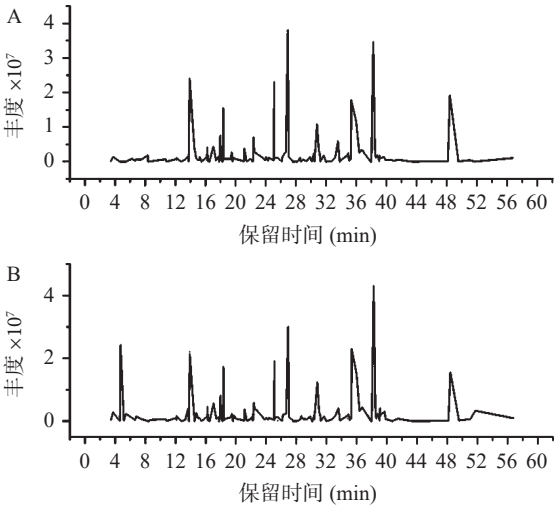


图 3 不同摇青程度春闰茶挥发性物质总离子图
Fig.3 Total ion chromatogram of volatile substances in Chungui tea at different turning over intensity
注: A: QM; B: ZM。

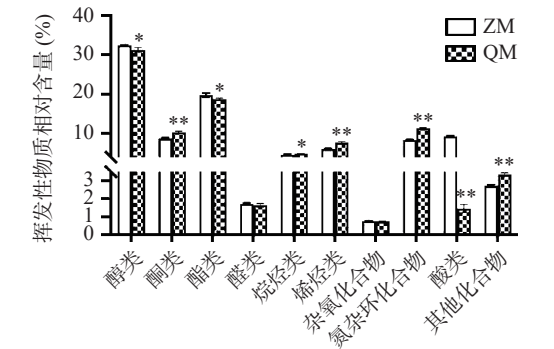


图 4 不同摇青程度对春闰茶挥发性物质分类的影响
Fig.4 Effects of different turning over intensity on the classification of volatile substances in Chungui tea

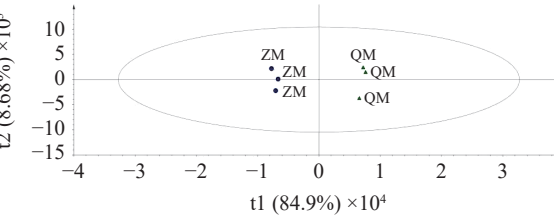


图 5 不同摇青程度春闰茶挥发性物质 PCA 得分图
Fig.5 PCA score of volatile components in Chungui tea at different turning over intensity

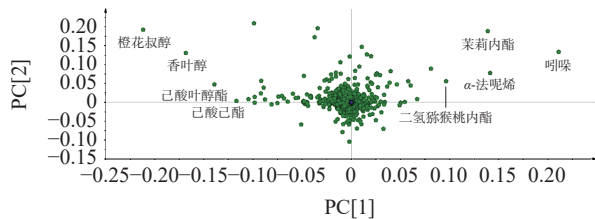


图6 不同摇青程度春闰茶挥发性物质分析载荷图

Fig.6 Loading plots of volatile components in Chungui tea at different turning over intensity

醇、香叶醇、己酸叶醇酯、己酸己酯和吡嗪、 α -法呢烯、茉莉内酯、二氢猕猴桃内酯是区别 QM 与 ZM 的主要差异挥发性物质。按 VIP 值从大到小排列,筛选出 VIP>1 且茶样间差异性显著($P<0.05$)的已知挥发性物质如表 5 所示。

不同摇青程度春闰毛茶主要挥发性物质为橙花叔醇、吡嗪、香叶醇、茉莉内酯、咖啡碱、苯乙醇、 α -法呢烯、己酸叶醇酯、脱氢芳樟醇,相对含量约为挥发性物质总量的 44%~50%,使两茶样均呈现出明显的花香。由表 5 可知,随着摇青程度的提高,酸类化合物相对含量极显著上升($P<0.01$),其中己酸含量大幅增加。己酸为脂肪族酸类,可促进己酸酯类物质形成,该类物质具备清新水果香^[37-38]。ZM 中己酸己酯、邻苯二甲酸二(1-己烯-5-基)酯、苯甲酸-顺-3-己烯酯、己酸-反-2-己烯酯、2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯、异戊酸己酯、顺-3-己烯基丁酯、丁酸苯乙酯、己酸叶醇酯及正戊酸叶醇酯等脂肪族酯类物质均高于 QM,说明在重摇处理后春闰毛茶产生更丰富的酯类香气物质。脂肪族酯类物质增加原因主要为叶片中脂肪酸可作为反应底物参与乌龙茶摇青过程中脂肪族类挥发性化合物的生成,做青过程中摇青程度增加对茶叶脂肪族类香气形成有促进作用,这与武清扬等、Chen 等的研究结果一致^[39-40]。

根据主成分分析结果,结合表 5 可以看出,随着摇青程度的增加,橙花叔醇、香叶醇、己酸叶醇酯以及己酸己酯等挥发性物质含量增加; α -法呢烯、茉莉内酯、脱氢芳樟醇、苯乙醇以及反式- β -紫罗兰酮等挥发性物质含量减少,可见提高摇青程度对春闰毛茶的香气类型产生较大影响。QM 的吡嗪、 α -法呢烯、茉莉内酯、苯乙醇等相对含量较高,香气类型为清新花果香;ZM 中橙花叔醇、香叶醇、己酸叶醇酯等香气组分相对含量高,且 ZM 酯类香气组分相对含量更高,使得 ZM 整体香气更加丰富。Wang 等^[41]认为随着发酵程度增加,乌龙茶中吡嗪的含量急剧增加,但继续增加发酵程度,其含量又急剧减少,与本研究结果一致。Feng 等^[42]认为在乌龙茶中感知到的被描述为茉莉花和木兰状的香气组分,可以归因于茉莉酸酯等香气成分,这可能与春闰茶似“茉莉花”香的品种香有关。

橙花叔醇、吡嗪、香叶醇、茉莉内酯、苯乙醇、 α -法呢烯、己酸叶醇酯及己酸己酯是不同摇青程度处

表 5 不同摇青程度春闰毛茶主要差异挥发性物质
Table 5 Main differential volatile components of Chungui tea at different turning over intensity

类型	挥发性物质	香气特征 ^[32-36]	相对含量(%)	
			QM	ZM
酸类化合物	己酸	干酪气味	ND	5.84
	正戊酸	不愉快气味	ND	0.80
	香叶酸	油脂青香	ND	0.65
	庚酸	发酵香、果香	ND	0.56
	壬酸	油脂香、椰子香	0.45	0.98
	橙花叔醇	花香、木质香	10.88	11.61
	香叶醇	玫瑰香	4.95	5.53
	苯乙醇	蔷薇类柔和花香	4.29	4.17
	脱氢芳樟醇	花香、青草香、木香	3.01	2.97
	苯甲醇	似苹果香气	1.23	1.35
	顺式芳樟醇氧化物	甜香、花香、奶油香	0.96	1.06
	反式吡喃芳樟醇氧化物	木香	0.97	1.02
	糠醇	油脂香	0.26	0.30
	3-异丙基-4-甲基-1-戊炔-3-醇	—	0.29	0.34
	正戊醇	杂醇油气味	0.44	0.47
醇类化合物	己醇	清香、果香	0.12	0.19
	橙花醇	青甜玫瑰香	0.11	0.17
	反式芳樟醇氧化物(呋喃类)	木香	1.16	1.09
	4-甲基-3-戊烯-2-醇	—	0.70	0.52
	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2-醇	—	2.13	1.95
	芳樟醇	玫瑰花香、柠檬香	0.66	0.52
	己酸叶醇酯	清新果香	3.24	3.63
	茉莉内酯	花香	6.40	4.62
	己酸己酯	水果香	0.47	0.98
	苯甲酸己酯	花香	0.23	0.61
	邻苯二甲酸二(1-己烯-5-基)酯	—	ND	0.86
	二氢猕猴桃内酯	香豆素气味	1.63	1.00
	正戊酸叶醇酯	—	ND	0.36
	苯甲酸顺-3-己烯酯	—	0.78	1.01
	己酸-反-2-己烯酯	—	0.40	0.67
酯类化合物	2-甲基丁酸-顺-3-己烯酯	—	0.24	0.45
	丁酸苯乙酯	水果香,似玫瑰芳香	0.18	0.35
	丙酸壬内酯	似椰子香	0.31	0.41
	异戊酸己酯	有水果香味	0.03	0.12
	2-苯基乙基丙酸酯	—	0.05	0.14
	顺-3-己烯基丁酯	果香、青香、奶油香	0.16	0.22
	正己醛	青草香、叶香	0.36	0.40
	苯乙醛	甜香	0.20	0.24
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	甜香,柑橘香	0.33	0.18
	苯甲醛	苦杏仁、焦糖香	0.22	0.29
	十四烷	—	0.75	0.57
	广藿香烷	木香、樟脑香	0.39	0.17
	1-(苯基)-2-硝基乙烷	—	0.30	0.47
	6-氮杂双环[3.2.1]辛烷	—	0.76	0.77
	反式- β -紫罗兰酮	茉莉类甜醇花香	0.81	0.60
烷烃类化合物	6-甲基-5-庚烯-2-酮	柑橘、柠檬草	1.28	0.91
	4-甲基-3-戊烯-2-酮	似蜂蜜香	0.31	0.41
	4-[2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮	—	0.96	0.67
	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮	—	0.32	0.21
	香叶基丙酮	玫瑰香、叶香、醛香、果香	1.97	1.40
	3,5-二氢-3H-吡咯-2-酮	—	0.34	0.34
	α -法呢烯	花果香	5.36	3.75
	吡嗪	花香	11.98	8.12
	咖啡碱	—	6.74	5.10
	苯基腈	—	0.37	0.73
	6-甲基-3,6-二氢-2H-吡喃	—	0.39	0.44
	含氮杂氧化合物	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	—	—	—	—

注:“ND”表示该成分未检出。

理春闰毛茶的主要差异性挥发物, 含量差异决定了春闰毛茶两种不同风格类型品质呈现。随着做青程度增加, 春闰茶酯类物质相对含量显著增加($P<0.05$), 与 Hu 等^[43]的研究一致, 丰富且含量高的酯类物质可使茶叶香气产生愉悦感受^[44]。春闰在重摇处理后, 挥发性物质中酯类物质显著增加($P<0.05$), 使得 ZM 香气更加丰富, 这可能与该品种鲜叶脂肪酸底物含量较高有关, 后续或可通过检测春闰品种的脂肪酸含量进行验证, 为该茶树品种摇青程度与成茶品质的关系进一步提供参考依据。

3 结论

不同摇青程度的春闰闽北乌龙茶在茶汤滋味方面, 轻摇处理茶汤鲜爽, 收敛性强, 其叶片损伤与发酵程度低, 儿茶素组分、茶多酚总量(14.36%)、氨基酸组分保留量较高, 故其水浸出物含量(36.36%)较高; 重摇处理滋味浓醇回甘好, 其叶片损伤与发酵程度较高, 茶黄素(0.06%)和黄酮(12.37 mg/g)含量明显升高。在香气方面, 轻摇处理香气高扬且花果香显, 其挥发性物质中吲哚(11.98%, 花香)、 α -法呢烯(5.36%, 花果香)、茉莉内酯(6.40%, 花香)、苯乙醇(4.29%, 蔷薇类柔和花香)、二氢猕猴桃内酯(1.63%, 香豆素气味)及脱氢芳樟醇(3.01%, 花香、青草香、木香)含量较高; 重摇处理香气层次丰富花香显, 橙花叔醇(11.61%, 花香、木质香)、香叶醇(5.53%, 玫瑰香)、己酸叶醇酯(3.63%, 清新果香)、苯甲醇(1.35%, 似苹果香气)、己酸己酯(0.98%, 水果香)含量较高。综上所述, 摇青程度对春闰闽北乌龙茶品质形成具有重要作用, 该研究结果可为今后春闰茶树品种生产实际应用提供理论依据。

参考文献

- [1] 王秀萍, 钟秋生, 陈常颂, 等. 高香茶树新品种春闰的选育与品质鉴定[J]. 福建农业学报, 2017, 32(6): 593-601. [WANG X P, ZHONG Q S, CHEN C S, et al. Breeding and characterization of a new highly aromatic tea cultivar, Chungui[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2017, 32(6): 593-601.]
- [2] 钟秋生, 李鑫磊, 林郑和, 等. ‘春闰’乌龙茶加工过程中香气成分的变化研究[J]. 茶业通报, 2021, 43(1): 21-31. [ZHONG Q S, LI X L, LIN Z H, et al. Study on the changes of aroma components in Oolong tea during processing[J]. Journal of Tea Business, 2021, 43(1): 21-31.]
- [3] 李鑫磊, 邓慧莉, 钟秋生, 等. ‘春闰’与‘福云 6 号’乌龙茶香气组分差异研究[J]. 茶叶学报, 2021, 62(3): 112-116. [LI X L, DENG H L, ZHONG Q S, et al. Aromatic differentiations of Oolong teas[J]. Acta Tea Sinica, 2021, 62(3): 112-116.]
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地理标志产品武夷岩茶. GB/T 18745-2006[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2006. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Product of geographical indication-Wuyi rock-essence tea GB/T 18745-2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.]
- [5] ZENG L, ZHOU Y, FU X, et al. Biosynthesis of jasmine lactone in tea (*Camellia sinensis*) leaves and its formation in response to multiple stresses[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(15): 3899-3909.
- [6] 陈寿松, 金心怡, 游芳宁, 等. 多次间歇 LED 光照射对铁观音风味组分的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(2): 308-314. [CHEN S S, JIN X Y, YOU F N, et al. Influence of multi intermittence radiation by LED on flavor components in Tieguanyin tea[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(2): 308-314.]
- [7] 胡清财, 郑玉成, 杨云, 等. 茶树 *COII* 基因家族的鉴定及其在乌龙茶加工中的表达[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(6): 1496-1502. [HU Q C, ZHENG Y C, YANG Y, et al. Identification and expression of *COII* gene family in *Camellia sinensis* and its expression in Oolong tea processing[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2022, 28(6): 1496-1502.]
- [8] 吴晴阳, 周子维, 武清扬, 等. 乌龙茶加工过程中 α -法呢烯的形成关键调控基因的筛选与表达分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 135-142. [WU Q Y, ZHOU Z W, WU Q Y, et al. Screening and expression analysis of key regulator gene associated with α -farnesene formation during manufacturing process of oolong tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 135-142.]
- [9] 周子维, 刘宝顺, 武清扬, 等. 基于 LOX-HPL 途径的武夷肉桂加工中香气物质的形成与调控[J]. 食品与生物技术学报, 2021, 40(1): 100-111. [ZHOU Z W, LIU B S, WU Q Y, et al. Formation and regulation of aroma-related volatiles during the manufacturing process of Wuyi Rougui tea via LOX-HPL pathway[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(1): 100-111.]
- [10] 杨云, 刘彬彬, 周子维, 等. 新品系‘606’乌龙茶加工过程中呈味物质的变化与品质分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(23): 311-318. [YANG Y, LIU B B, ZHOU Z W, et al. Changes of taste compounds and quality analysis during the manufacturing process of a new tea line ‘606’ Oolong tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(23): 311-318.]
- [11] 唐邦明, 吴阳风, 陈迪, 等. 基于广泛靶向代谢组学的乌龙茶加工过程中差异代谢物分析[J]. 食品科技, 2021, 46(11): 81-89. [TANG B M, WU Y F, CHEN D, et al. Analysis on differential metabolites of the samples from Oolong tea production based on widely-targeted metabolomic approach[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(11): 81-89.]
- [12] 周子维, 游芳宁, 刘彬彬, 等. 摇青机械力对乌龙茶脂肪族类香气形成的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 52-59. [ZHOU Z W, YOU F N, LIU B B, et al. Effect of mechanical force during turning-over on the formation of aliphatic aroma in Oolong tea[J]. Food Science, 2019, 40(13): 52-59.]
- [13] 邓慧莉, 李鑫磊, 毛贻帆, 等. 不同做青温度对乌龙茶滋味与香气品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(14): 5766-5771. [DENG H L, LI X L, MAO Y F, et al. Effect of different turning-over temperatures on the taste and aroma quality of Oolong tea[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(14): 5766-5771.]
- [14] 陈常颂, 余文权, 单睿阳, 等. 不同时间杀青对“春闰”闽南乌龙茶感官品质的影响[J]. 中国茶叶, 2015, 37(1): 24-25. [CHEN C S, YU W Q, SHAN R Y, et al. Effect of different de-enzyme time on sensory quality of ‘Chungui’ Minnan Oolong tea[J]. China Tea, 2015, 37(1): 24-25.]
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶叶感官审评方法. GB/T 23776-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

- [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Methodology for sensory evaluation of tea GB/T 23776-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶水浸出物测定. GB/T 8305-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea-Determination of water extracts content GB/T 8305-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.]
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法. GB/T 8313-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of total polyphenols and catechins content in tea GB/T 8313-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶游离氨基酸总量的测定. GB/T 8314-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea-Determination of free amino acids content GB/T 8314-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.]
- [19] 何书美, 刘敬兰. 茶叶中总黄酮含量测定方法的研究[J]. 分析化学, 2007(9): 1365-1368. [HE S M, LIU J L. Study on the determination method of total flavonoids in tea[J]. Chinese Journal of analytical Chemistry, 2007(9): 1365-1368.]
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 茶磨碎试样的制备及其干物质含量测定. GB/T 8303-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Tea-Preparation of ground sample and determination of dry matter content GB/T 8303-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.]
- [21] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 中国农业出版社, 2009. [ZHANG Z Z. Tea biochemistry experiment course[M]. China Agriculture Press, 2009.]
- [22] 国家市场监督管理总局. 植物中游离氨基酸的测定. GB/T 30987—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of free amino acids in plant GB/T 30987-2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.]
- [23] 魏子淳, 庄加耘, 孙志琳, 等. 不同摊叶厚度晾青对武夷岩茶品质的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1-15 [2022-10-19]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060109. [WEI Z C, ZHUANG J Y, SUN Z L, et al. Effects on the quality of Wuyi rock tea with different airing thicknesses[J]. Science and Technology of Food Industry, 1-15 [2022-10-19]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060109.]
- [24] 蒋丹, 杨清, 边金霖, 等. 四川乌龙茶做青程度对品质形成的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 66-71. [JIANG D, YANG Q, BIAN J L, et al. Effects of tossing on quality formation of Sichuan Oolong tea[J]. Food Science, 2014, 35(11): 66-71.]
- [25] ASTILL C, BIRCH M R, DACOMBE C, et al. Factors affecting the caffeine and polyphenol contents of black and green tea infusions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(11): 5340-5347.
- [26] 刘洪林, 曾艺涛, 赵欣. 乌龙茶加工过程中儿茶素的稳定性及化学变化[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 69-74. [LIU H L, ZENG Y T, ZHAO X. Stability and chemical changes of catechins during Oolong tea processing[J]. Food Science, 2019, 40(16): 69-74.]
- [27] 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.
- [28] 宛晓春, 李大祥, 张正竹, 等. 茶叶生物化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(1): 1-10. [WAN X C, LI D X, ZHANG Z Z, et al. Research progress in tea biochemistry[J]. Tea Sci, 2015, 35(1): 1-10.]
- [29] 李平. 茶叶深加工(四)——茶氨酸[J]. 茶业通报, 2005(3): 142-143. [LI P. Deep processing of tea (IV)-Theanine[J]. Journal of Tea Business, 2005(3): 142-143.]
- [30] JIA X, YE J, WANG H, et al. Characteristic amino acids in tea leaves as quality indicator for evaluation of Wuyi rock tea in different cultured tegions[J]. Journal of Applied Botany and Food Quality, 2018, 91: 187-193.
- [31] YANG Z, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 585-599.
- [32] 何洛强. 经典花香的演绎[C]//第十届中国香料香精学术研讨会论文集, 2014. [HE L Q. Deduction of classic floral note[C]// Proceedings of the 10th China Spices Symposium, 2014.]
- [33] 王丽丽, 张应根, 杨军国, 等. 顶空固相微萃取/气相色谱——质谱联用法分析绿茶和白茶香气物质[J]. 茶叶学报, 2017, 58(1): 1-7. [WANG L L, ZHANG Y G, YANG J G, et al. Analysis of aroma components in green and white teas using headspace solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Acta Tea Sinica, 2017, 58(1): 1-7.]
- [34] 刘晔, 葛丽琴, 王远兴. 3个产地不同等级庐山云雾茶挥发性成分主成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 206-214. [LIU Y, GE L Q, WANG Y X. Principal component analysis of volatile compounds in different grades of Lu Mountain Clouds-Mist tea from three regions[J]. Food Science, 2018, 39(10): 206-214.]
- [35] 肖凌. 十种香型凤凰单丛茶香气成分分析[D]. 重庆: 西南大学, 2018. [LIN X. Study on aroma components of ten types of Fenghuang Dancong tea[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.]
- [36] 蒋青香, 李慧雪, 李利君, 等. 基于感官检验和气相色谱-质谱联用对白芽奇兰茶叶香气分级[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 98-106. [JIANG Q X, LI H X, LI L J, et al. Aroma classification of Baiyaqilan tea by sensory test and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2021, 42(20): 98-106.]
- [37] 任道群, 唐玉明, 姚万春, 等. 酯化酶动力学研究[J]. 酿酒科技, 2006(6): 39-40. [REN D Q, TANG Y M, YAO W C, et al. Research on the kinetics of esterifying enzyme[J]. Liquor-making Science & Technology, 2006(6): 39-40.]
- [38] 张钰乾. 菠萝芳香物质组成及其影响因子研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013. [ZHANG Y Q. Research on aroma components of pineapple fruit (*Ananas comosus*) and their influencing factors[D]. Nanning: Guangxi University, 2013.]
- [39] 武清扬, 周子维, 倪子鑫, 等. 茶树品种及摇青强度对乌龙茶脂肪酸含量的影响[J]. 南方农业学报, 2021, 52(10): 2834-2841. [WU Q Y, ZHOU Z W, NI Z X, et al. Effects of tea varieties and turning over intensity on fatty acid content in Oolong tea[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(10): 2834-2841.]
- [40] CHEN S, LIU H, ZHAO X, et al. Non-targeted metabolomics analysis reveals dynamic changes of volatile and non-volatile

metabolites during Oolong tea manufacture[J]. Food Research International, 2020, 128(C): 108778.

[41] WANG L, LEE J, CHUNG J, et al. Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 196–206.

[42] FENG Z, LI M, LI Y, et al. Characterization of the Orchid-like aroma contributors in selected premium tea leaves[J]. Food Research International, 2020, 129(C): 108841.

[43] HU C, LI D, MA Y, et al. Formation mechanism of the Oolong tea characteristic aroma during bruising and withering treatment[J]. Food Chemistry, 2018, 269(15): 202–211.

[44] 廉明, 吕世懂, 吴远双, 等. 三种不同发酵程度的台湾乌龙茶香气成分对比研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 297–302.

[LIAN M, LÜ S D, WU Y S, et al. Comparative analysis of aroma characteristics of three kinds of Taiwan Oolong tea from different fermentation degree[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(3): 297–302.]