

黄化茶树新品种‘茗冠’多茶类品质差异分析

游小妹, 韩奥迪, 李鑫磊, 孔祥瑞, 钟思彤, 郭玉琼, 单睿阳, 陈常颂

Analysis of Metabolites Difference of the Albino Tea Tree Variety 'Ming Guan'

YOU Xiaomei, HAN Aodi, LI Xinlei, KONG Xiangrui, ZHONG Sitong, GUO Yuqiong, SHAN Ruiyang, and CHEN Changsong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020051>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

白茶散茶与茶饼在色泽、滋味及香气组分上的差异研究

Study on the Differences of Color, Taste and Aroma Constituents in White Loose Tea and White Tea Pine

食品工业科技. 2019, 40(15): 207-214 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.15.034>

“周宁高山云雾茶”绿茶风味成分分析研究

Study on Flavor Components in “Zhouning Cloud-Mist Mountain Tea” Green Tea

食品工业科技. 2021, 42(3): 214-221, 229 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030375>

红茶中香气物质的形成及工艺对其影响的研究进展

Research Progress on the Formation of Aroma Substances and Its Influence of Processes in Black Tea

食品工业科技. 2019, 40(11): 351-357 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.057>

基于电子鼻分析提香工艺对红茶香气特征的影响

Effect of Aroma-improving Processing on Aroma Characteristics of Black Tea Based on Electronic Nose Analysis

食品工业科技. 2019, 40(18): 234-237, 242 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.18.038>

长江中下游产区红茶品质分析

Analysis of Quality Components in Black Tea from Middle and Lower Reaches of Yangtze River

食品工业科技. 2018, 39(23): 247-254 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.043>

不同香型襄阳绿茶主要化学成分的差异分析

Analysis on the Difference of Main Chemical Components of Different Aromatic Green Tea from Xiangyang

食品工业科技. 2021, 42(4): 252-258 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050112>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

游小妹, 韩奥迪, 李鑫磊, 等. 黄化茶树新品种‘茗冠’多茶类品质差异分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 287-297. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020051

YOU Xiaomei, HAN Aodi, LI Xinlei, et al. Analysis of Metabolites Difference of the Albino Tea Tree Variety 'Ming Guan'[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 287-297. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020051

· 分析检测 ·

黄化茶树新品种‘茗冠’多茶类品质差异分析

游小妹¹, 韩奥迪^{1,2}, 李鑫磊¹, 孔祥瑞¹, 钟思彤², 郭玉琼², 单睿阳¹, 陈常颂^{1,2,3,*}

(1.福建省农业科学院茶叶研究所/国家茶树改良中心福建分中心, 福建福州 350012;

2.福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002;

3.国家土壤质量福安观测实验站, 福建福安 355015)

摘要:‘茗冠’是从白鸡冠后代选育出的优良黄化茶树新品种, 为探究‘茗冠’多茶类的品质差异, 以茗冠鲜叶为原料, 按照绿茶、红茶、白茶加工方法制成相应茶类, 进行感官品质审评和香气、滋味分析。结果表明, 茗冠绿茶香气呈嫩香, 花果香显, 滋味醇厚; 茗冠红茶香气呈甜香, 花香显, 滋味甜醇; 茗冠白茶香气毫香, 花香馥郁, 滋味鲜爽, 不同工艺加工的茗冠茶各自带有独特的花香特征。在茗冠绿茶的香气成分中, 具有花香的萜类香气成分相对含量较大, 其次是具有果香的酯类香气成分, 对茗冠绿茶香气的形成具有重要作用。茗冠绿茶的代表性香气成分为己酸叶醇酯、己酸-3-己烯酯、己酸-2-己烯酯、橙花叔醇、丁酸叶醇酯、橄榄醇、 α -法呢烯, 代表性成分以具有果香的酯类物质和具有花果香的醇类物质为主, 造就了茗冠绿茶花果香显的品种特性; 在茗冠红茶的香气成分中, 具有花香的萜类香气和醇类香气成分相对含量较大, 对其香气的形成具有重要作用。茗冠红茶中代表性组分为二氢芳樟醇、 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮、 γ -杜松烯、十六酸甲酯、苯甲醛, 代表性成分以具有花香、甜香的萜类物质和醇类物质为主, 造就了茗冠红茶花香且带有甜香的品种特性; 在 MGB 的香气成分中, 具有花香的萜类香气成分和醇类香气成分相对含量较大, 对其香气的形成具有重要作用。茗冠白茶中代表性组分为香叶醇、月桂烯、3-萜烯、乙酸芳樟酯、芳樟醇, 代表性成分以具有花香的醇类和萜类物质为主。茗冠绿茶、茗冠红茶和茗冠白茶非挥发性组分整体差别较大, 茗冠绿茶中的儿茶素类化合物、花青素类和部分黄酮醇和黄酮糖苷类(槲皮素-3-O-半乳糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷等)等化合物相对含量总体高于茗冠红茶和茗冠白茶; 茗冠红茶中的茶黄素类、酚酸类和少部分黄酮醇和黄酮糖苷类化合物(牡荆素-2-O-半乳糖苷、牡荆素-2"-O-鼠李糖苷、芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷、芹菜素-6-C-葡萄糖苷等)及部分氨基酸类化合物(L-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-异亮氨酸、L-缬氨酸、L-天冬氨酸)等化合物相对含量高于茗冠绿茶和茗冠白茶; 茗冠白茶中的部分氨基酸类化合物(L-精氨酸、L-谷氨酰胺、L-赖氨酸、L-组氨酸、L-酪氨酸)相对含量高于茗冠绿茶和茗冠红茶。

关键词:黄化茶, 茗冠, 绿茶, 红茶, 白茶, 香气, 滋味

中图分类号: TS272.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)23-0287-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020051

本文网刊:



Analysis of Metabolites Difference of the Albino Tea Tree Variety 'Ming Guan'

YOU Xiaomei¹, HAN Aodi^{1,2}, LI Xinlei¹, KONG Xiangrui¹, ZHONG Sitong², GUO Yuqiong², SHAN Ruiyang¹, CHEN Changsong^{1,2,3,*}

(1. Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Fujian Branch, National Center for Tea Improvement, Fuzhou 350012, China;

收稿日期: 2023-02-07

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-19); 农业高质量发展超越“5511”协同创新工程 (XTCXGC2021004); 福建省自然科学基金 (2022J01476); 福建省农业科学院科技创新团队 (CXTD2021006-1); 福建省属公益类科研院所基本科研专项 (2021R1029007, 2022R1029004); 福建省农业科学院自由探索科技创新项目 (ZYTS202209); 2022 年福建省财政项目-玉琼茶配套技术研发与示范 (闽财指 [2021] 512 号); 2022 年福建省农业种质资源创新专项 (ZZZYCXZX0003)。

作者简介: 游小妹 (1971-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 茶树育种及配套技术, E-mail: yxm0593@163.com。

* **通信作者:** 陈常颂 (1973-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向: 茶树资源鉴定与新品种选育, E-mail: ccs6536597@163.com。

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

3.National Agricultural Experimental Station for Soil Quality, Fu'an 355015, China)

Abstract: ‘Ming guan’ is a new excellent albino tea variety bred from the descendants of Bai jiguan. In order to explore the quality difference of Ming guan multi tea processing, the fresh leaves of Ming guan were used as raw materials to make the corresponding tea types according to the processing methods of green tea, black tea and white tea, and sensory quality evaluation, aroma and taste analysis were conducted. The results showed that the aroma of Ming guan green tea was tender, floral and fruity, with a mellow taste, the aroma of Ming guan black tea was sweet, floral, with a sweet taste, the aroma of Ming guan white tea was millets, floral, with a fresh taste, and the different processes of Ming guan tea had their own unique floral characteristics. Among the aroma components of Ming guan green tea, terpene aroma components with floral aroma were relatively more abundant, followed by ester aroma components with fruit aroma, which played an important role in the formation of the aroma of Ming guan green tea. The representative aroma components of Ming guan green tea were leaf alcohol ester of foliol caproate, 3-hexenyl caproate, 2-hexenyl caproate, nerolidol, leaf alcohol ester of butyric acid, olivetol and α -farnesene, the representative components of which were mainly esters with fruity aroma and alcohols with floral and fruity aroma, creating the characteristic of Ming guan green tea floral and fruity varieties. The representative components of Ming guan black tea were dihydrolinalool, α -cephalene, β -Ionone, γ -cadinene, methyl hexadecanoic acid and benzaldehyde, which were mainly terpenes and alcohols with floral and sweet aromas, contributing to the floral and sweet aromatic characteristics of Ming guan black tea. The representative components of Ming guan white tea were geraniol, myrcene, 3-carene, linalyl acetate and linalool, and the representative components are mainly alcohols and terpenes with floral aroma. The non-volatile components of Ming guan green tea, Ming guan black tea and Ming guan white tea vary greatly overall. The content of catechins, anthocyanins, some flavonols and flavonoid glycosides (quercetin-3-O-galactoside, quercetin-3-O-glucoside, quercetin-3-O-glucoside 7-O-rhamnoside, etc.) in Ming guan green tea was generally higher than that in Ming guan black tea and Ming guan white tea. The contents of theaflavins, phenolic acids, a few flavonol and flavonoid glycoside compounds (vitexin-2-O-galactoside, vitexin-2-O-rhamnoside, apigenin-6,8-di-C-glucoside, apigenin-6-C-glucoside, etc.) and some amino acid compounds (L-phenylalanine, L-tryptophan, L-isoleucine, L-valine, L-aspartic acid) in Ming guan black tea were higher than those in Ming guan green tea and Ming guan white tea. The content of some amino acid compounds (L-arginine, L-glutamine, L-lysine, L-histidine, L-tyrosine) in Ming guan white tea was higher than that in Ming guan green tea and Ming guan black tea, which may be affected by different processing technologies. This study could provide a theoretical basis for a comprehensive understanding of the chemical basis and quality differences of Ming guan green tea, Ming guan black tea and Ming guan white tea.

Key words: the albino tea; Ming guan; green tea; black tea; white tea; aroma; taste

中国拥有丰富的茶种资源,茶树的嫩芽被加工成茶叶,其中富含多酚、氨基酸、咖啡碱等次生代谢物^[1]。近年来,具有特定芽叶颜色(白色、黄色或紫色)的茶突变体由于其独特的表型和代谢产物,以及其良好的经济和研究价值,开始受到茶叶研究人员越来越多的关注^[2]。除了新梢的色泽与一般绿色芽叶的茶树有所不同外,叶色特异茶树还有其他方面的品质特点,比如紫芽茶树富含花青素,但儿茶素含量较低;白化茶树则含有较高量的氨基酸,但多酚的含量较低^[3]。因此,叶色特异茶树品种具有开发特色或健康茶产品的前景^[4]。这些年来,市场上出现了许多不同的叶色特异茶树品种,其中以叶色呈白(黄)色的茶树品种最为常见^[3]。其中,‘茗冠’是武夷山传统黄化品种白鸡冠自然杂交后代中采用单株育种法育成的黄化新品系,属于小乔木型、中叶类、早生种,适制绿茶、红茶、白茶等。

不同茶类由于其加工工艺的不同,导致其香气和滋味均存在差异^[5]。前人已经开展了许多不同加工工艺对茶叶品质影响的研究,比如李荣林等^[6]研究表明楮叶种制作的绿茶中茶表没食子儿茶素没食子酸酯含量高于红茶和黑茶,而黑茶中的表没食子儿茶

素和没食子儿茶素没食子酸酯含量高于红茶和绿茶。吴小清^[7]研究了栗峰秋季鲜叶加工而成的四种茶类的香气特征,结果显示绿茶呈现清香特征,红茶呈现花香、木香等特征,白茶呈现香气馥郁的特征。卢莉等^[8]的研究表明‘毛蟹’品种制绿茶、黄茶和白茶品质较好,‘矮脚乌龙’品种制红茶品质较好,‘丹桂’品种制白茶品质较好。目前,已有大量研究通过对红茶、绿茶、乌龙茶等的香气和滋味品质组分分析,得出不同茶类之间香气和滋味的品质差异^[9-11],然而,关于采用黄化品种茗冠鲜叶制成不同茶类的研究鲜有报道。因此本试验采用同一批次的茗冠鲜叶(一芽二叶)为原料,加工成绿茶、红茶和白茶,探究茗冠绿茶、茗冠红茶和茗冠白茶的感官品质、香气和滋味成分的差异,可为茗冠茶叶的加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茗冠品种茶树一芽二叶鲜叶、福鼎大白茶树一芽二叶鲜叶 于2022年4月采自福建省农业科学院茶叶研究所福安市社口茶叶基地;甲醇、乙腈、乙醇、癸酸乙酯 色谱纯,美国Sigma公司。

FD-56 真空冷冻干燥机 美国SIM; 5424R 离心

机 德国 Eppendorf; MM400 研磨机 德国 RETSCH; CBM30A 超高效液相色谱 日本岛津; 4500QTRAP 串联质谱(tandem mass spectrometry, MS/MS) 美国 SCIEX。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 茗冠品种茶树一芽二叶鲜叶根据绿茶(萎凋→杀青→揉捻→烘干)、红茶(萎凋→揉捻→发酵→烘干)、白茶(萎凋→烘干)的加工方法分别制成茗冠绿茶(MGL)、茗冠红茶(MGH)和茗冠白茶(MGB), 冻干、待测, 每个处理均取 3 份作为技术重复。

1.2.2 感官审评 根据 GB/T23776-2018《茶叶感官审评方法》中审评法, 由福建省茶叶质量监督检验站三名专业人员对茶样的外形、汤色、香气、滋味和叶底 5 项因子分别进行审评术语描述。

1.2.3 挥发性成分测定 样品的前处理: 样品取自 -80 °C 冰箱, 用于液氮研磨和涡流混合均匀。每个样品在顶空瓶中称重至约 1 g, 分别加入饱和 NaCl 溶液和 10 μ L 癸酸乙酯溶液, 全自动顶空固相微萃取 HS-SPME 进行样本萃取, 以供 GC-MS 分析。

仪器检测条件(GC-MS): 将 120 μ m DVB/CAR/PDMS 萃取头在 100 °C 下插入顶空瓶中振荡 5 min, 顶空萃取 15 min。样品在 250 °C 下解析 5 min。色谱条件: DB-5MS 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m), 载气为纯度不低于 99.999% 高纯氦气, 恒定流速 1.2 mL/min, 注射口温度 250 °C, 注射样品无分流, 延迟溶剂 3.5 min。程序升温: 在 40 °C 保持 3.5 min, 增加到 100 °C(10 °C/min), 增加到 180 °C(7 °C/min), 最后增加到 280 °C(25 °C/min), 保持 5 min。质谱条件: 电子轰击离子源(EI); 离子源温度为 230 °C, 四极杆温度为 150 °C, 质谱仪接口温度为 280 °C, 电子能量为 70 eV, 扫描模式为全扫描模式(scan), 质量扫描范围为 50~500 m/z。

定性、定量分析: 基于 MWGC 数据库, 对样本的代谢物进行了质谱定性定量分析。分析时样本的指纹质谱图与数据库中的参考质谱图进行匹配对比, 进行打分定性, 并且参考保留指数信息, 增加定性的准确度, 排除假阳性物质的干扰。用 Mass Hunter 定量软件处理样本下机质谱文件, 选择定量离子进行色谱峰的积分和校正工作。

1.2.4 非挥发性成分测定 样品的前处理: 将 3 g 茶叶样品放入 5 mL 离心管中, 在真空 0.02 mbar、-50 °C 的冷冻干燥机中冷冻干燥。冻干后的样品用研磨机磨成均匀的粉末, 称取 100 mg 粉末, 溶于 1.2 mL

70% 甲醇提取液中。每 30 min 抽吸 30 s, 重复 6 次, 然后在 25 °C 超声 20 min, 12000 r/min, 离心 10 min, 将上清转入离心管, 0.22 μ m 滤膜过滤, 保存于进样瓶中, 对三种茶样品进行三次采样, 制备后用超高效液相色谱-质谱联用技术进行分析。

仪器检测条件(UPLC-MS): 色谱柱: (Agilent SB-C₁₈ 1.8 μ m, 2.1 mm \times 100 mm); 流动相: A 相为超纯水, 超纯水添加 0.1% 甲酸, B 相为乙腈; 洗脱梯度: 0.00 min, B 相占比 5%, 9.00 min 内, B 相占比线性增加至 95%, 1 min 维持在 95%, 10.00~11.10 min, B 相占比下降至 5%, 5% 至 14 min 平衡; 流速 0.35 mL/min; 柱温 40 °C; 进样量 4 μ L。质谱条件: 离子源, 涡轮喷雾; 源温度为 550 °C; 离子喷雾电压(IS)为 5500 V(正离子模式)/-4500 V(负离子模式); 离子源气体 I(GSI)设置为 50 psi, 气体 II(GSII)设置为 60 psi 和帘气(CUR)设置为 25.0 psi, 并且碰撞诱导电离参数设置为高。在三重四级杆(triple quadrupole, QQQ)模式下使用 10 μ mol/L 聚乙二醇溶液进行仪器调谐和质量校准, 在线性离子阱(LIT)模式下使用 100 μ mol/L 聚乙二醇溶液进行仪器调谐和质量校准。QQQ 扫描采用三重四级杆质谱的多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式, 并设置中等碰撞气体(氮气)。通过去簇电压(declustering potential, DP)和碰撞能(collison energy, CE)优化, 完成各个 MRM 离子对的 DP 和 CE。根据洗脱在每个时期内的代谢物, 在每个时期监测一组特定的 MRM 离子对。

定性、定量分析: 通过比较离子碎片模式、保留时间和 m/z 值, 并通过迈维(武汉)生物技术有限公司自建数据库和公共数据库对代谢物进行鉴定。利用三重四级杆质谱的多反应监测模式(multiple reaction monitoring, MRM)对代谢物进行定量, 获得不同样本的代谢物质谱并对其进行峰面积积分, 最后不同样本的相同代谢物中的质谱出峰进行积分校正。

1.3 数据处理

各茶样香气成分的相对含量: 采用峰面积归一化定量方法, 将不同种类香气组分的峰面积进行归一化处理, 将香气组分峰面积除以总峰面积, 得到各种香气物质组分的相对含量。

采用 Graphpad prism8 软件进行柱状图绘制; 采用 SPSS 22.0、SIMCA-P 14.1 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 茗冠多茶类感官品质分析

由感官审评结果可见(表 1), 茗冠绿茶(MGL)的

表 1 MGL、MGH 和 MGB 的感官审评

Table 1 Sensory evaluation of MGL, MGH and MGB

茶样	外形	汤色	香气	滋味	叶底
MGL	外形条索卷曲, 嫩绿	嫩黄绿, 明亮	嫩香, 花果香显	醇厚, 花香显	嫩黄匀亮
MGH	外形条索卷曲紧结, 乌较润, 稍带锋苗, 匀净	浅橙红明亮	甜香, 花香较显	甜醇	芽叶连枝, 较匀齐
MGB	芽叶连枝, 色泛红褐间黄绿	浅橙黄明亮(偏青)	毫香, 花香馥郁	鲜爽, 有毫味	多芽, 肥壮, 黄稍暗

香气以嫩香、花果香为主;茗冠红茶(MGH)以甜香,花香为主;茗冠白茶(MGB)以毫香,花香为主。茗冠绿茶(MGL)的滋味以醇厚为主,茗冠红茶(MGH)滋味以清甜为主,茗冠白茶(MGB)滋味以鲜爽为主。

2.2 茗冠多茶类挥发性组分分析

HS-SPME 结合 GC-MS 技术分析 MGL、MGH 和 MGB 香气组分,茶样挥发性组分总离子流图见图 1,根据质谱数据、化合物保留时间、峰面积等方法共鉴定 327 种挥发性组分。按照不同挥发性成分的分类来看(图 2),萜类,醇类和酯类均是 MGL、MGH 和 MGB 的主要香气成分,酮类、酸类、醛类、酚类等相对含量较少,但对其香气形成同样有关键作用。对 MGL、MGH 和 MGB 的挥发性组分进行主成分分析可知(图 3),第一主成分为 46.24%,第二主成分为 36.79%,第一主成分与第二主成分一共占 83.03%,表明这两个主成分占茶样挥发物的绝大部分,可以代表茶样整体挥发物情况。可以看出,茗冠

绿茶、茗冠红茶和茗冠白茶之间得到较好的分离,茗冠白茶在第 1 主成分的正轴,第 2 主成分的负轴位置,茗冠绿茶在第 1 主成分的负轴,第 2 主成分的负轴,茗冠红茶在第 1 主成分正轴和负轴的交界轴线上,在第 2 主成分的正轴位置,说明茗冠白茶、茗冠绿茶和茗冠红茶在第 1 主成分上挥发性物质存在明显差异,而从第 2 主成分上看,茗冠红茶在第 2 主成分的正轴,茗冠绿茶和茗冠白茶在第 2 主成分的负轴,显示茗冠红茶挥发性组分在第 2 主成分中的独特性。

一般认为主成分载荷图里的化合物离起点越远,对样品聚类的影响越大,结合图 3 和图 4 可知,根据坐标轴位置可推测 MGL 中代表性组分为己酸叶醇酯、己酸-3-己烯酯、己酸-2-己烯酯、橙花叔醇、丁酸叶醇酯、橄榄醇、 α -法呢烯等;MGH 中代表性组分为二氢芳樟醇、 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮、 γ -杜松烯、十六酸甲酯、苯甲醛等;MGB 中代表性组分为香叶醇、月桂烯、3-萜烯、乙酸芳樟酯、芳樟醇等。

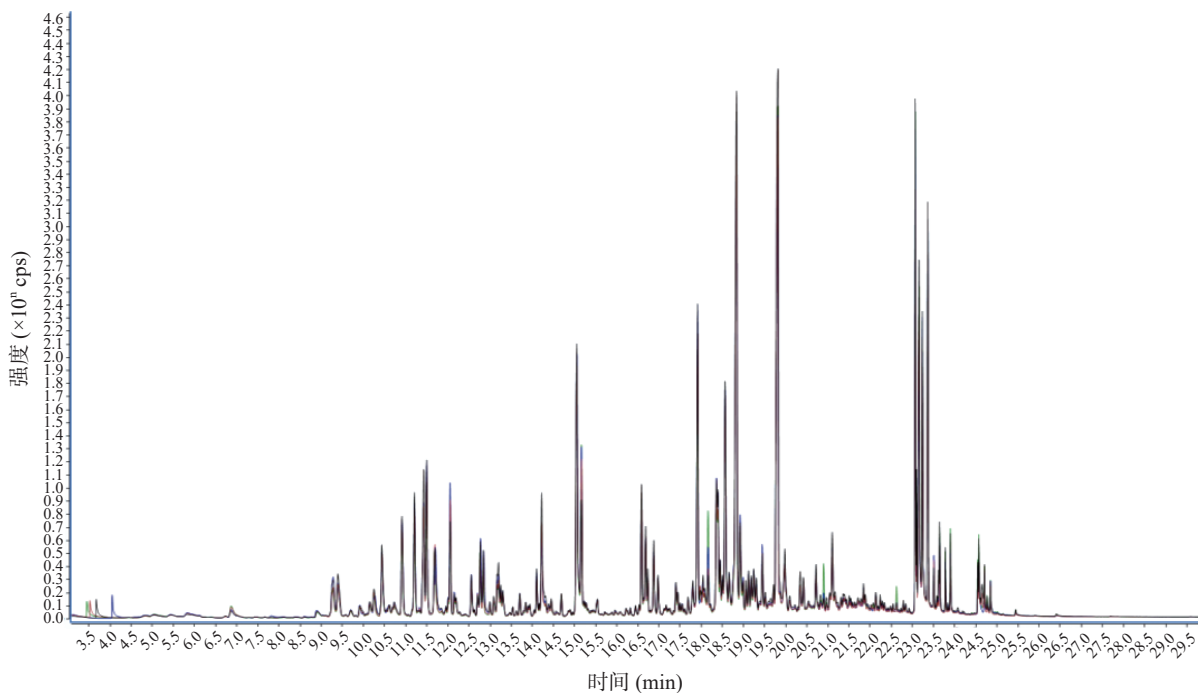


图 1 茶样挥发性组分总离子流色谱图

Fig.1 Total ion flow chromatogram of volatile fractions of tea samples

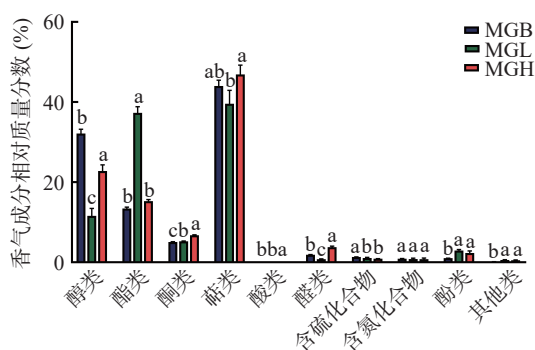


图 2 MGL、MGH 和 MGB 香气物质质量分数

Fig.2 Aroma compound contents in MGL, MGH and MGB

注:同一指标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

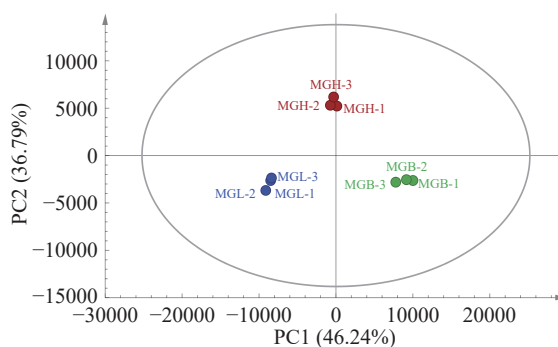


图 3 MGL、MGH 和 MGB 挥发性组分主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of volatile components of MGL, MGH and MGB

MGL, MGH and MGB

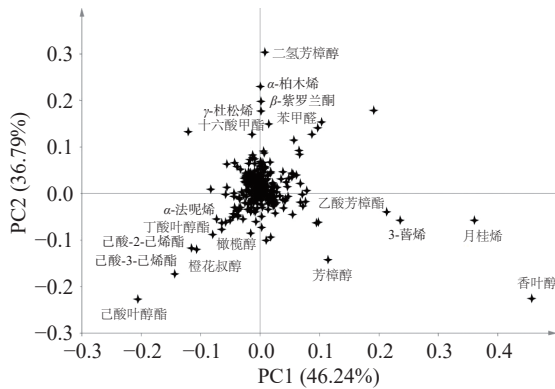


图 4 MGL、MGH 和 MGB 挥发性组分载荷图

Fig.4 Loading plots of MGL, MGH and MGB volatiles

2.3 茗冠多茶类主要挥发性组分相对含量差异分析

表 2 显示 MGL、MGH 和 MGB 之间的主要香气组分相对含量的差异, 在 MGL 的香气成分中, 具有花香的萜类香气成分相对含量较大, 其次是具有果香的酯类香气成分, 对茗冠绿茶香气的形成具有重要作用。MGL 的代表性香气成分为己酸叶醇酯、己酸-3-己烯酯、己酸-2-己烯酯、橙花叔醇、丁酸叶醇酯、橄榄醇、 α -法呢烯等。其中相对含量最高的化合物为己酸叶醇酯, 占香气成分总含量的 6.57%。其它一些香气成分己酸-3-己烯酯、己酸-2-己烯酯、橙花叔醇、丁酸叶醇酯、橄榄醇、 α -法呢烯相对含量均显著高于 MGH 和 MGB。在 MGL 代表性香气成分中, 醇类物质如橙花叔醇呈玫瑰及苹果香气^[12], 橄榄醇呈果香^[13]; 酯类物质己酸叶醇酯呈现强烈弥散性梨香^[14], 己酸-3-己烯酯是绿茶中常见的香气化合物, 具有玫瑰香、薄荷油香^[15]对绿茶品种香气形成具有重

要的贡献^[16], 己酸-2-己烯酯具有水果香^[15], 在整个 MGL 香气成分中相对含量最高, 丁酸叶醇酯具有玫瑰花香^[17], 萜类物质如带有清香 α -法呢烯^[18], 代表性成分以具有果香的酯类物质和具有花果香的醇类物质为主, 造就了 MGL 花果香显的品种特性。

在 MGH 的香气成分中, 具有花香的萜类香气和醇类香气成分相对含量较大, 对 MGH 香气的形成具有重要作用。MGH 中代表性组分为二氢芳樟醇、 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮、 γ -杜松烯、十六酸甲酯、苯甲醛等。其中相对含量最高的化合物为二氢芳樟醇, 占香气成分总含量的 4.37%。其它一些香气成分 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮、 γ -杜松烯、十六酸甲酯、苯甲醛显著高于 MGL 和 MGB。在 MGH 代表性香气成分中, 醇类物质如具有铃兰香的二氢芳樟醇^[19], 萜类物质如带有甜香的 α -柏木烯^[13], 草本、木本香气的 γ -杜松烯^[20], 木香、紫罗兰香气的 β -紫罗兰酮^[21], 酯类物质如具有油香和脂肪香的十六酸甲酯^[22], 醛类物质如具有苦杏仁香气的苯甲醛^[20], 代表性成分以具有花香、甜香的萜类物质和醇类物质为主, 施兆鹏^[23]认为苯甲醛、二氢芳樟醇及 β -紫罗兰酮等化合物能使红茶产生甜润花香, 这与本研究结果基本一致, 造就了 MGH 花香且带有甜香的品种特性。

在 MGB 的香气成分中, 具有花香的萜类香气成分和醇类香气成分相对含量较大, 对 MGB 香气的形成具有重要作用。MGB 中代表性组分为香叶醇、月桂烯、3-萜烯、乙酸芳樟酯、芳樟醇等。其中香气成分中相对含量最高的化合物为香叶醇, 占香气成分总含量的 18.4%, 而其它一些香气成分月桂烯、3-萜烯、乙酸芳樟酯、芳樟醇相对含量显著高于 MGL 和

表 2 MGL、MGH 和 MGB 中主要挥发性组分差异

Table 2 Differences of important volatile components in MGL, MGH and MGB

序号	差异物质名称	茗冠绿茶(MGL)		茗冠红茶(MGH)		茗冠白茶(MGB)		VIP值
		峰面积	相对含量(%)	峰面积	相对含量(%)	峰面积	相对含量(%)	
1	己酸叶醇酯	$6.96 \times 10^6 \pm 1.05 \times 10^6$	6.57 ^a	$1.92 \times 10^5 \pm 2.62 \times 10^4$	0.14 ^b	$4.89 \times 10^4 \pm 2.27 \times 10^4$	0.03 ^b	3.87
2	己酸-3-己烯酯	$3.62 \times 10^6 \pm 7.36 \times 10^5$	3.40 ^a	$8.51 \times 10^4 \pm 8.91 \times 10^3$	0.06 ^b	$1.55 \times 10^5 \pm 3.59 \times 10^4$	0.09 ^b	2.80
3	己酸-2-己烯酯	$2.15 \times 10^6 \pm 4.70 \times 10^5$	2.01 ^a	$1.53 \times 10^5 \pm 3.23 \times 10^4$	0.11 ^b	$2.07 \times 10^4 \pm 7.92 \times 10^3$	0.01 ^b	2.10
4	橙花叔醇	$2.19 \times 10^6 \pm 7.91 \times 10^5$	2.03 ^a	$2.98 \times 10^5 \pm 7.76 \times 10^4$	0.22 ^b	$2.55 \times 10^5 \pm 6.08 \times 10^4$	0.14 ^b	2.01
5	丁酸叶醇酯	$1.02 \times 10^6 \pm 1.70 \times 10^5$	0.96 ^a	$1.82 \times 10^4 \pm 2.42 \times 10^3$	0.01 ^b	$9.00 \times 10^0 \pm 0.00 \times 10^0$	0.00001 ^b	1.49
6	橄榄醇	$1.64 \times 10^6 \pm 4.76 \times 10^5$	1.53 ^a	$5.33 \times 10^5 \pm 8.72 \times 10^4$	0.39 ^b	$1.07 \times 10^6 \pm 9.88 \times 10^4$	0.60 ^{ab}	1.63
7	α -法呢烯	$9.83 \times 10^5 \pm 1.46 \times 10^5$	0.95 ^a	$2.88 \times 10^5 \pm 1.22 \times 10^4$	0.21 ^b	$1.53 \times 10^5 \pm 3.73 \times 10^4$	0.09 ^b	1.20
8	二氢芳樟醇	$2.44 \times 10^6 \pm 3.71 \times 10^5$	2.30 ^b	$5.94 \times 10^6 \pm 4.42 \times 10^5$	4.37 ^a	$2.73 \times 10^6 \pm 2.42 \times 10^5$	1.55 ^b	3.32
9	α -柏木烯	$1.35 \times 10^6 \pm 3.43 \times 10^4$	1.29 ^a	$3.36 \times 10^6 \pm 4.14 \times 10^5$	2.48 ^b	$1.40 \times 10^6 \pm 1.63 \times 10^5$	0.79 ^b	2.52
10	β -紫罗兰酮	$5.25 \times 10^4 \pm 4.62 \times 10^3$	0.05 ^a	$1.48 \times 10^6 \pm 2.74 \times 10^5$	1.08 ^b	$1.22 \times 10^5 \pm 2.51 \times 10^4$	0.07 ^b	2.16
11	γ -杜松烯	$4.78 \times 10^5 \pm 3.39 \times 10^4$	0.46 ^a	$1.40 \times 10^6 \pm 1.51 \times 10^5$	1.04 ^b	$6.63 \times 10^5 \pm 7.38 \times 10^4$	0.38 ^b	1.65
12	十六酸甲酯	$7.45 \times 10^5 \pm 2.21 \times 10^5$	0.70 ^b	$1.81 \times 10^6 \pm 4.27 \times 10^5$	1.32 ^a	$1.50 \times 10^6 \pm 2.29 \times 10^5$	0.85 ^a	1.49
13	苯甲醛	$1.63 \times 10^5 \pm 4.72 \times 10^4$	0.15 ^b	$2.41 \times 10^6 \pm 2.77 \times 10^5$	1.77 ^a	$2.07 \times 10^6 \pm 2.20 \times 10^5$	1.18 ^a	2.24
14	香叶醇	$3.31 \times 10^6 \pm 1.86 \times 10^6$	3.02 ^c	$1.02 \times 10^7 \pm 1.74 \times 10^6$	7.49 ^b	$3.25 \times 10^7 \pm 4.12 \times 10^6$	18.4 ^a	7.03
15	月桂烯	$1.89 \times 10^6 \pm 4.89 \times 10^5$	1.84 ^c	$8.93 \times 10^6 \pm 8.75 \times 10^5$	6.58 ^b	$1.96 \times 10^7 \pm 7.68 \times 10^5$	11.13 ^a	5.24
16	3-萜烯	$1.50 \times 10^6 \pm 1.74 \times 10^5$	1.43 ^c	$4.21 \times 10^6 \pm 5.36 \times 10^5$	3.11 ^b	$9.04 \times 10^6 \pm 3.89 \times 10^5$	5.14 ^a	3.45
17	乙酸芳樟酯	$6.53 \times 10^5 \pm 1.17 \times 10^5$	0.63 ^c	$3.01 \times 10^6 \pm 6.62 \times 10^5$	2.22 ^b	$6.74 \times 10^6 \pm 5.33 \times 10^5$	3.82 ^a	3.08
18	芳樟醇	$2.41 \times 10^6 \pm 4.55 \times 10^5$	2.26 ^b	$2.12 \times 10^6 \pm 2.64 \times 10^5$	1.56 ^b	$4.54 \times 10^6 \pm 6.20 \times 10^5$	2.57 ^a	2.26

注: 同一指标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

MGH。在 MGB 代表性香气成分中,醇类物质主要呈现花香^[24],其中,香叶醇具有典型玫瑰香、蔷薇香^[25],是主要的香气物质之一,芳樟醇具有花香^[26],香叶醇和芳樟醇具有相同的合成前体-香叶基焦磷酸酯^[10]。酯类化合物多呈果香,乙酸芳樟酯带有柑橘香和花香^[27]。萜类物质是构成茶叶花果香的重要来源之一,带有松木香 3-蒎烯^[28],带有柠檬香、木香、花香的月桂烯^[29],代表性成分以具有花香的醇类和萜类物质为主,郭雯飞等^[30]研究表明香叶醇、芳樟醇以及其氧化物 II 和 IV 是白茶显毫香的特征成分,在本研究中,香叶醇占比 18.4%,芳樟醇占比 2.57%,这与本研究结果相类似。综上,可以看出,MGL、MGH 和 MGB 均具较高含量的萜类物质,使茗冠绿茶、红茶、白茶具有独特的花香,但其花香构成成分均有所不同,茗冠绿茶是花香中带有果香,茗冠红茶中是花香中带有甜香,茗冠白茶则是花香馥郁。

2.4 茗冠多茶类非挥发性组分分析

通过 UPLC-MS/MS 技术检测,图 5 是质控样本分别在正、负离子检测模式下得到的质谱总离子流色谱图进行谱图叠加比较的结果,可见其谱图的重叠性很高,说明检测方法的信号稳定性好,得出的数据结果可靠。

在茗冠绿茶、茗冠红茶和茗冠白茶中共鉴定出 1140 个非挥发性物质,对上述组分进行主成分分析。如图 6,第 1 主成分的贡献率为 52.74%,第 2 主成分的贡献率为 35.31%,总和为 88.05%,包含不同茶类中大部分的物质信息。对上述非挥发性物质进行差异化合物筛选 $P < 0.05$ 、变量投影重要性 $VIP > 1$ 、倍数变化 $fold\ change \geq 2$ 或 $fold\ change \leq 0.5$ 进行筛选,共得到 55 种具有差异的非挥发性物质(表 3)。

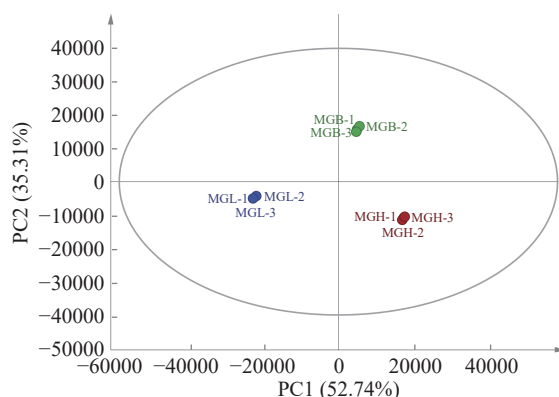


图 6 MGL、MGH 和 MGB 非挥发性组分主成分分析
Fig.6 Principle component analysis plots of MGL, MGH and MGB non-volatiles

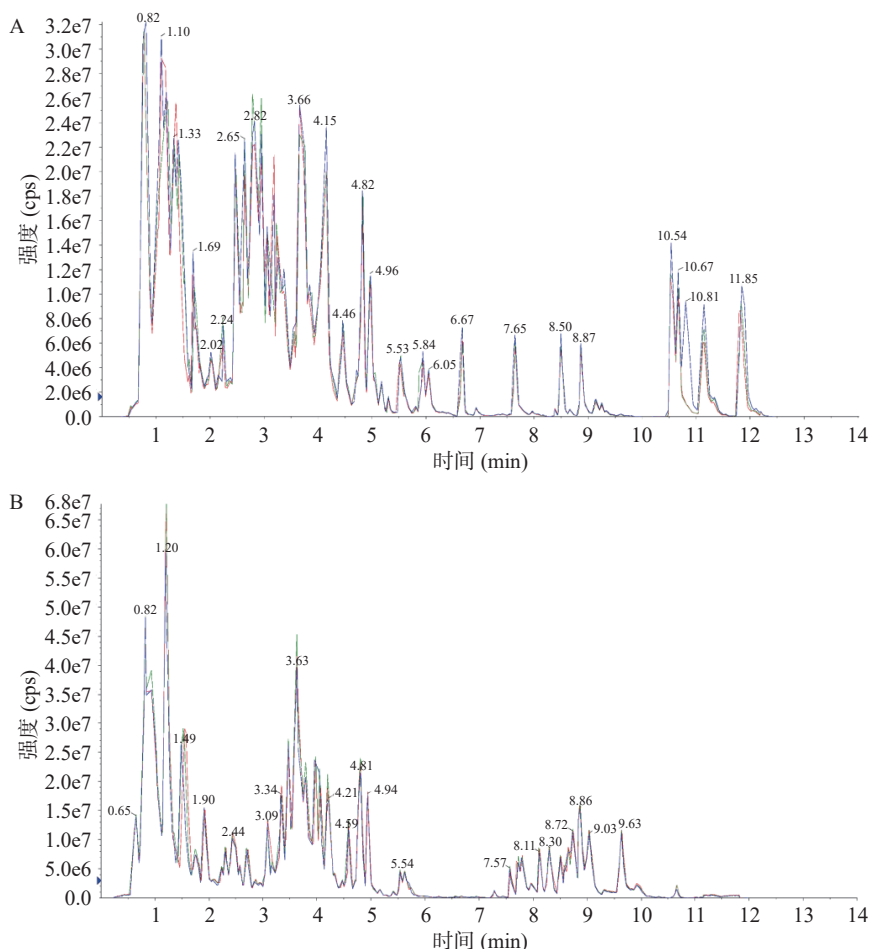


图 5 茶样非挥发性组分总离子流色谱图

Fig.5 Total ion flow chromatogram of non-volatile fractions of tea samples

注: A: 负离子模式; B: 正离子模式。

其中儿茶素与儿茶素二聚体 12 种, 黄酮醇或黄酮糖苷 27 种, 游离氨基酸 11 种, 酚酸 5 种。这些非挥发性物质在相对含量上的差异, 造就了 MGL、MGH 和 MGB 各不相同的滋味特征。

表 3 MGL、MGH 和 MGB 非挥发性组分差异物质

Table 3 MGL, MGH and MGB non-volatile differential substances

序号	差异物质名称	茗冠白茶(MGB)	茗冠绿茶(MGL)	茗冠红茶(MGH)	VIP值
		峰面积Aver±SD	峰面积Aver±SD	峰面积Aver±SD	
儿茶素与儿茶素二聚体					
1	儿茶素(C)	9.59×10 ⁶ ±8.65×10 ⁵	3.17×10 ⁷ ±2.01×10 ⁶	9.81×10 ⁵ ±9.94×10 ⁴	3.07
2	表儿茶素(EC)	2.33×10 ⁶ ±7.61×10 ⁴	7.77×10 ⁶ ±4.96×10 ⁵	5.21×10 ⁵ ±1.91×10 ⁴	1.50
3	没食子儿茶素(GC)	7.84×10 ⁵ ±3.32×10 ⁴	4.00×10 ⁶ ±2.08×10 ⁵	3.88×10 ⁴ ±3.81×10 ³	1.13
4	表没食子儿茶素(EGC)	1.87×10 ⁶ ±6.66×10 ⁴	6.62×10 ⁶ ±4.60×10 ⁵	1.02×10 ⁵ ±4.96×10 ³	1.42
5	表儿茶素没食子酸酯(ECG)	2.09×10 ⁷ ±1.36×10 ⁶	3.60×10 ⁷ ±3.15×10 ⁶	1.03×10 ⁷ ±5.05×10 ⁵	2.76
6	没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)	4.68×10 ⁶ ±3.97×10 ⁵	5.86×10 ⁶ ±7.72×10 ⁵	1.31×10 ⁶ ±1.35×10 ⁵	1.19
7	表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)	5.16×10 ⁶ ±2.62×10 ⁵	7.11×10 ⁶ ±4.83×10 ⁵	1.52×10 ⁶ ±2.09×10 ⁵	1.31
8	茶黄素(TF1)	3.86×10 ⁶ ±1.80×10 ⁵	1.49×10 ⁶ ±1.46×10 ⁴	5.23×10 ⁶ ±4.19×10 ⁴	1.06
9	茶黄素-3,3-双-O-没食子酸酯	8.10×10 ⁵ ±2.18×10 ⁴	2.78×10 ⁵ ±1.56×10 ⁴	4.35×10 ⁶ ±5.19×10 ⁴	1.18
10	茶黄素-3-没食子酸酯(TF-3-G)	1.41×10 ⁶ ±3.17×10 ⁴	4.54×10 ⁵ ±1.90×10 ⁴	6.27×10 ⁶ ±3.94×10 ⁵	1.39
11	茶黄素-3'-没食子酸酯(TF-3'-G)	1.70×10 ⁶ ±3.13×10 ⁴	4.99×10 ⁵ ±1.84×10 ⁴	7.44×10 ⁶ ±2.41×10 ⁵	1.52
12	没食子酰原花青素 B4	4.39×10 ⁶ ±4.96×10 ⁵	8.70×10 ⁶ ±5.42×10 ⁵	1.52×10 ⁶ ±1.22×10 ⁵	1.46
	总计	5.75×10 ⁷ ±3.82×10 ⁶	1.10×10 ⁸ ±8.19×10 ⁶	3.95×10 ⁷ ±1.83×10 ⁶	
黄酮醇糖苷类					
13	牡荆素-2-O-半乳糖苷	1.94×10 ⁷ ±2.68×10 ⁶	2.66×10 ⁷ ±7.46×10 ⁵	4.56×10 ⁷ ±1.83×10 ⁶	3.02
14	槲皮素-3-O-半乳糖苷	1.19×10 ⁷ ±1.06×10 ⁶	1.88×10 ⁷ ±9.30×10 ⁵	1.29×10 ⁷ ±1.42×10 ⁶	1.49
15	槲皮素-3-O-葡萄糖苷	9.13×10 ⁶ ±1.94×10 ⁵	1.29×10 ⁷ ±5.98×10 ⁵	1.01×10 ⁷ ±2.45×10 ⁵	1.12
16	槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷	2.79×10 ⁷ ±8.15×10 ⁵	3.12×10 ⁷ ±2.88×10 ⁵	2.63×10 ⁷ ±2.17×10 ⁶	1.14
17	槲皮素-3-O-鼠李糖苷	2.16×10 ⁶ ±6.27×10 ⁵	5.57×10 ⁶ ±6.75×10 ⁵	5.03×10 ⁶ ±2.42×10 ⁵	1.12
18	槲皮素-5-O-β-D-葡萄糖苷	1.28×10 ⁷ ±4.67×10 ⁵	2.30×10 ⁷ ±9.22×10 ⁵	1.82×10 ⁷ ±1.87×10 ⁶	1.85
19	牡荆素-2-O-鼠李糖苷	2.56×10 ⁷ ±4.23×10 ⁵	3.15×10 ⁷ ±4.71×10 ⁶	4.83×10 ⁷ ±2.54×10 ⁶	2.77
20	芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷	3.60×10 ⁶ ±3.05×10 ⁵	6.76×10 ⁶ ±7.96×10 ⁵	9.76×10 ⁶ ±5.90×10 ⁵	1.46
21	芹菜素-6-C-葡萄糖苷	1.86×10 ⁶ ±5.79×10 ⁴	2.49×10 ⁶ ±1.93×10 ⁵	4.98×10 ⁶ ±1.64×10 ⁵	1.04
22	芹菜素-6-C-阿拉伯糖苷	1.81×10 ⁷ ±1.49×10 ⁶	2.54×10 ⁷ ±1.78×10 ⁶	3.09×10 ⁷ ±1.74×10 ⁶	2.10
23	芹菜素-6-C-阿拉伯糖苷-8-C-葡萄糖苷	1.20×10 ⁷ ±5.24×10 ⁵	1.57×10 ⁷ ±9.70×10 ⁵	2.08×10 ⁷ ±1.67×10 ⁶	1.74
24	山奈酚-3-O-(2-O-乙酰)葡萄糖苷	2.87×10 ⁶ ±1.37×10 ⁵	8.99×10 ⁶ ±6.57×10 ⁵	3.59×10 ⁶ ±3.35×10 ⁵	1.44
25	山奈酚-3-O-(6-丙二酰)半乳糖苷	3.83×10 ⁶ ±3.44×10 ⁴	1.06×10 ⁷ ±4.40×10 ⁵	6.66×10 ⁶ ±1.98×10 ⁵	1.51
26	山奈酚-3-O-(6-对香豆酰)葡萄糖苷	6.04×10 ⁶ ±3.51×10 ⁵	1.41×10 ⁷ ±8.13×10 ⁵	7.68×10 ⁶ ±2.32×10 ⁵	1.64
27	山奈酚-3-O-(6-没食子酰)半乳糖苷	4.28×10 ⁶ ±2.20×10 ⁵	5.61×10 ⁶ ±7.41×10 ⁵	7.45×10 ⁶ ±3.52×10 ⁵	1.03
28	山奈酚-3-O-阿拉伯糖苷	1.92×10 ⁷ ±8.17×10 ⁵	4.54×10 ⁷ ±2.46×10 ⁶	3.68×10 ⁷ ±1.29×10 ⁶	3.05
29	山奈酚-3-O-半乳糖苷	6.57×10 ⁶ ±8.52×10 ⁴	1.56×10 ⁷ ±1.11×10 ⁶	7.71×10 ⁶ ±3.45×10 ⁵	1.75
30	山奈酚-3-O-葡萄糖苷	1.49×10 ⁷ ±4.03×10 ⁵	3.19×10 ⁷ ±1.62×10 ⁶	2.08×10 ⁷ ±6.32×10 ⁵	2.37
31	山奈酚-4-O-葡萄糖苷	9.63×10 ⁶ ±5.88×10 ⁵	2.10×10 ⁷ ±8.09×10 ⁵	1.28×10 ⁷ ±1.09×10 ⁶	1.94
32	山奈酚-7-O-葡萄糖苷	6.92×10 ⁶ ±3.97×10 ⁵	1.59×10 ⁷ ±1.44×10 ⁶	7.53×10 ⁶ ±2.68×10 ⁵	1.75
33	杨梅素-3-O-半乳糖苷	7.10×10 ⁶ ±1.28×10 ⁵	9.55×10 ⁶ ±3.53×10 ⁵	9.10×10 ⁵ ±6.95×10 ⁴	1.65
34	杨梅素-3-O-半乳糖苷-3-O-鼠李糖苷	6.14×10 ⁶ ±4.93×10 ⁵	6.72×10 ⁶ ±5.96×10 ⁵	7.05×10 ⁵ ±7.21×10 ⁴	1.44
35	杨梅素-3-O-葡萄糖苷	7.05×10 ⁶ ±2.26×10 ⁵	9.80×10 ⁶ ±3.90×10 ⁵	8.68×10 ⁵ ±8.41×10 ⁴	1.67
36	杨梅素-3-O-芸香糖苷	6.15×10 ⁶ ±2.64×10 ⁵	6.98×10 ⁶ ±3.33×10 ⁵	7.92×10 ⁵ ±7.03×10 ⁴	1.45
37	异牡荆素-2-O-鼠李糖苷	6.33×10 ⁶ ±3.09×10 ⁵	9.77×10 ⁶ ±7.45×10 ⁵	1.62×10 ⁷ ±6.90×10 ⁵	1.85
38	异牡荆素-4-O-葡萄糖苷	9.55×10 ⁶ ±3.68×10 ⁵	1.33×10 ⁷ ±5.52×10 ⁵	2.59×10 ⁷ ±1.47×10 ⁶	2.39
39	异牡荆素-7-O-葡萄糖苷	2.04×10 ⁶ ±1.05×10 ⁵	8.17×10 ⁶ ±5.02×10 ⁵	6.34×10 ⁶ ±4.23×10 ⁵	1.48
	总计	2.63×10 ⁸ ±1.36×10 ⁷	4.33×10 ⁸ ±2.62×10 ⁷	3.96×10 ⁸ ±2.21×10 ⁷	
酚酸类					
40	1-O-对香豆酰奎宁酸	1.39×10 ⁷ ±6.66×10 ⁴	1.76×10 ⁷ ±5.21×10 ⁵	2.33×10 ⁷ ±8.41×10 ⁵	1.81
41	3-O-甲基没食子酸	7.23×10 ⁶ ±4.65×10 ⁵	9.07×10 ⁵ ±5.61×10 ⁴	3.25×10 ⁷ ±3.15×10 ⁵	3.22
42	4-O-对香豆酰奎宁酸	7.65×10 ⁶ ±3.69×10 ⁵	6.20×10 ⁶ ±2.34×10 ⁵	9.61×10 ⁶ ±2.66×10 ⁵	1.01
43	绿原酸	1.84×10 ⁷ ±8.05×10 ⁵	3.21×10 ⁷ ±9.17×10 ⁵	3.92×10 ⁶ ±2.22×10 ⁵	2.90
44	没食子酸	6.53×10 ⁶ ±5.65×10 ⁵	2.37×10 ⁶ ±1.35×10 ⁵	1.18×10 ⁷ ±1.99×10 ⁵	1.68
	总计	5.37×10 ⁷ ±2.27×10 ⁶	5.92×10 ⁷ ±1.86×10 ⁶	8.11×10 ⁷ ±1.84×10 ⁶	

续表 3

序号	差异物质名称	茗冠白茶(MGB)	茗冠绿茶(MGL)	茗冠红茶(MGH)	VIP值
		峰面积Aver±SD	峰面积Aver±SD	峰面积Aver±SD	
氨基酸类					
45	L-精氨酸	8.89×10 ⁶ ±3.19×10 ⁵	6.64×10 ⁶ ±2.26×10 ⁵	5.13×10 ⁶ ±1.07×10 ⁵	1.16
46	L-谷氨酰胺	2.69×10 ⁷ ±2.32×10 ⁵	1.51×10 ⁷ ±4.06×10 ⁵	2.51×10 ⁷ ±7.16×10 ⁵	2.00
47	L-赖氨酸	3.10×10 ⁷ ±2.88×10 ⁵	1.74×10 ⁷ ±2.61×10 ⁵	2.80×10 ⁷ ±1.25×10 ⁶	2.13
48	L-谷氨酸	1.62×10 ⁷ ±5.97×10 ⁵	4.99×10 ⁷ ±1.70×10 ⁶	4.16×10 ⁷ ±8.10×10 ⁵	3.53
49	L-苯丙氨酸	3.10×10 ⁵ ±1.16×10 ⁴	2.75×10 ⁵ ±5.88×10 ⁴	3.38×10 ⁶ ±1.07×10 ⁵	1.07
50	L-色氨酸	2.01×10 ⁷ ±7.31×10 ⁵	1.53×10 ⁷ ±8.92×10 ⁵	2.14×10 ⁷ ±4.61×10 ⁵	1.37
51	L-异亮氨酸	4.70×10 ⁶ ±3.64×10 ⁵	2.17×10 ⁶ ±1.34×10 ⁵	5.68×10 ⁶ ±6.22×10 ⁵	1.03
52	L-缬氨酸	1.58×10 ⁸ ±6.55×10 ⁶	6.10×10 ⁷ ±2.88×10 ⁶	8.01×10 ⁵ ±1.18×10 ⁴	6.13
53	L-组氨酸	4.13×10 ⁶ ±2.98×10 ⁵	2.98×10 ⁶ ±1.98×10 ⁵	2.73×10 ⁷ ±3.05×10 ⁶	1.07
54	L-酪氨酸	6.60×10 ⁷ ±3.87×10 ⁶	2.56×10 ⁷ ±2.44×10 ⁶	2.73×10 ⁷ ±3.05×10 ⁶	4.06
55	L-天冬氨酸	1.82×10 ⁷ ±2.09×10 ⁵	1.17×10 ⁷ ±5.90×10 ⁵	2.28×10 ⁷ ±8.70×10 ⁵	1.83
	总计	3.55×10 ⁸ ±1.35×10 ⁷	2.08×10 ⁸ ±9.79×10 ⁶	3.58×10 ⁸ ±1.26×10 ⁷	

主成分载荷图反映样本中非挥发性物质在不同主成分中的分布,从图 7 主成分分析载荷图可看出,第 1 主成分负轴分布的物质主要为儿茶素和花青素组分,大部分黄酮醇或黄酮糖苷类物质,对应 MGL 样本位置;正轴为茶黄素、大部分酚酸及氨基酸类物质,对应 MGB 和 MGH。第 2 主成分正轴分布主要为酯型儿茶素组分、花青素组分和氨基酸组分,对应样品为 MGB,负轴主要分布着非酯型儿茶素组分、茶黄素组分,酚酸和大部分黄酮醇或黄酮糖苷类物质,对应样品 MGL 和 MGH。

对含量则最低,这与前人研究结果是一致的,可归因于儿茶素在特定组织中的合成和积累。其中 ECG、GCG、EGCG 属于酯型儿茶素,具有较强的收敛性和苦涩味;C、GC、EC、EGC 属于非酯型儿茶素,收敛性较小,味醇和不苦涩,味爽口^[33]。MGL 中的非酯型儿茶素(C、GC、EC、EGC)相对含量高于酯型儿茶素;MGB 和 MGH 中的非酯型儿茶素(C、GC、EC、EGC)相对含量均低于酯型儿茶素,这可能就造成了 MGL 茶汤口感会比 MGB 和 MGH 更加的醇厚,而 MGH 和 MGB 会更加的甜醇和鲜爽。

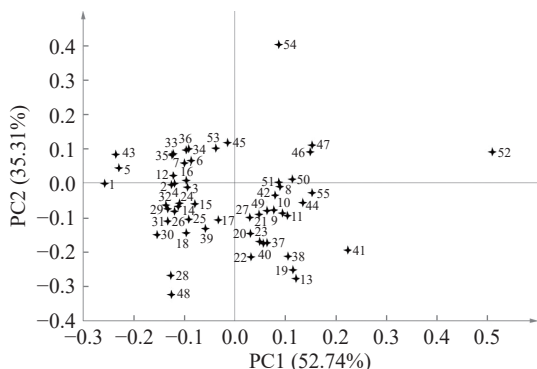


图 7 MGL、MGH 和 MGB 非挥发性组分载荷图
Fig.7 Loading plots of non-volatiles components of MGL, MGH and MGB

注: 图中数字为表 3 中差异物质序号。

2.5 茗冠多茶类主要非挥发性组分相对含量差异分析

儿茶素类属于黄烷醇类化合物,是茶多酚的主体物质,约占所有茶多酚的 60%~80%,因其能清除自由基,从而抑制氧化应激的能力而引起了研究者的极大兴趣^[31]。以往研究表明,在白茶、红茶和绿茶中,白茶中的儿茶素相对含量往往高于红茶,略低于绿茶^[32]。在本研究中,儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素(GC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表没食子儿茶素(EGC)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)在 MGL 中的相对含量较高, MGB 相对含量次之, MGH 中相

对本研究中,鉴定出具有差异的儿茶素二聚体有 5 个,分别为茶黄素(TF1)、茶黄素-3,3-双-O-没食子酸酯、茶黄素-3-没食子酸酯(TF-3-G)、茶黄素-3'-没食子酸酯(TF-3'-G)、没食子酰原花青素 B4,原花青素是黄烷-3-醇的二聚或低聚物,具有良好的抗氧化活性和清除羰基的能力^[34],在本次实验中,没食子酰原花青素 B4 在 MGL 中最高,其次为 MGB 和 MGH,这可能会赋予 MGL 良好的抗氧化活性和清除自由基的能力。茶黄素组分是由儿茶素类物质在发酵过程中氧化聚合形成的^[35],对茶汤的颜色和口感有很大的影响。从表 3 可以看出, MGH 所有的茶黄素组分均高于 MGB 和 MGL,而 MGB 茶黄素相对含量介于 MGH 和 MGL 之间, MGL 由于发酵程度最低,其茶黄素组分均低于 MGH 和 MGB。

黄酮醇或黄酮糖苷是茶叶中重要的黄酮类化合物,占茶叶干重的 2%~3%,具有良好的抗氧化活性^[36]。在本研究中,鉴定出具有差异的黄酮醇或黄酮糖苷 27 种,其中有 18 个非挥发性物质在 MGL 中相对含量最高,分别为槲皮素-3-O-半乳糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷、槲皮素-3-O-鼠李糖苷、槲皮素-5-O-β-D-葡萄糖苷、山奈酚-3-O-(2-O-乙酰)葡萄糖苷、山奈酚-3-O-(6-丙二酰)半乳糖苷、山奈酚-3-O-(6-对香豆酰)葡萄糖苷、山奈酚-3-O-阿拉伯糖苷、山奈酚-3-O-半乳糖苷、山奈酚-3-O-葡萄糖苷、山奈酚-4-O-葡萄糖苷、山奈酚-

7-O-葡萄糖苷、杨梅素-3-O-半乳糖苷、杨梅素-3-O-半乳糖苷-3-O-鼠李糖苷、杨梅素-3-O-葡萄糖苷、杨梅素-3-O-芸香糖苷、异牡荆素-7-O-葡萄糖苷;有 9 个非挥发性物质在 MGH 中相对含量最高,分别为牡荆素-2-O-半乳糖苷、牡荆素-2-O-鼠李糖苷、芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷、芹菜素-6-C-葡萄糖苷、芹菜素-6-C-阿拉伯糖苷、芹菜素-6-C-阿拉伯糖苷-8-C-葡萄糖苷、山奈酚-3-O-(6-没食子酰)半乳糖苷、异牡荆素-2-O-鼠李糖苷、异牡荆素-4-O-葡萄糖苷。从表 3 可以看出, MGL 中大部分黄酮醇或黄酮糖苷均高于 MGH 和 MGB, 显示 MGL 加工工艺可能有利于黄酮醇或黄酮糖苷类物质的保留和积累。不同苷元的黄酮糖苷相对含量的变化也不相同, 槲皮素苷、山奈酚苷和杨梅素在 MGL 中相对含量较高; 大部分芹菜素在 MGH 中相对含量较高; 整体来说, 绝大部分黄酮醇或黄酮糖苷类化合物在 MGL 中的相对含量高于 MGH 和 MGB。

氨基酸是茶叶中含有氨基和羧基的有机化合物, 是茶叶中的主要化学成分之一^[37]。它使茶叶具有一定的鲜味和香味, 使茶汤更加的鲜爽醇和^[38-39]。在本研究中, 三种茶叶的氨基酸相对含量有很大的差异(表 3), L-精氨酸、L-谷氨酰胺、L-赖氨酸、L-组氨酸、L-酪氨酸在 MGB 中相对含量相对较高, L-精氨酸、L-赖氨酸、L-组氨酸、L-酪氨酸都是苦味氨基酸, 其中 L-精氨酸、L-赖氨酸可产生苦味和甜味^[40], L-谷氨酰胺则呈甜味; 而 L-组氨酸可以作为神经递质前体, 在人体生理活动中有着重要作用^[41]。L-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-异亮氨酸、L-缬氨酸、L-天冬氨酸在 MGH 中相对含量相对较高, 其中, L-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-异亮氨酸、L-缬氨酸呈苦味, L-天冬氨酸呈鲜味, 而 L-苯丙氨酸是重要的甜味剂阿斯巴甜的主原料, 其甜度是蔗糖的 200 倍^[42]; L-谷氨酸在 MGL 中相对含量相对较高, L-谷氨酸是鲜味氨基酸, 其中, L-谷氨酸可以产生类似鲜花的香气^[40], 有助于提高茶叶的芳香质量, 为绿茶提供强烈的“鲜味”^[43]。因此, 以上这些氨基酸物质的相互作用可能是形成 MGB、MGH 和 MGL 优良品质和滋味特征的原因。

酚酸是指在一个苯环上有多个酚羟基取代的芳香羧酸类化合物, 在茶叶风味方面起着重要作用^[44]。在本研究中, 差异酚酸组分为 1-O-对香豆酰奎宁酸、3-O-甲基没食子酸、4-O-对香豆酰奎宁酸、绿原酸、没食子酸。其中, 1-O-对香豆酰奎宁酸、3-O-甲基没食子酸、4-O-对香豆酰奎宁酸、没食子酸在 MGH 中相对含量较高; 而绿原酸在 MGL 中相对含量较高。

3 结论

探究‘茗冠’品种制作的绿茶、红茶和白茶的感官品质, 香气和滋味成分的差异, 结果表明, 茗冠绿茶香气呈嫩香, 花果香显, 滋味醇厚; 茗冠红茶香气呈甜香, 花香显, 滋味清甜尚醇; 茗冠白茶香气毫香, 花香馥郁, 滋味鲜爽。在 MGL 的香气成分中, 具有花香

的萜类香气成分相对含量较大, 其次是具有果香的酯类香气成分, 对茗冠绿茶香气的形成具有重要作用。MGL 的代表性香气成分为己酸叶醇酯、己酸-3-己烯酯、己酸-2-己烯酯、橙花叔醇、丁酸叶醇酯、橄榄醇、 α -法呢烯等, 代表性成分以具有果香的酯类物质和具有花果香的醇类物质为主, 造就了 MGL 花果香显的品种特性; 在 MGH 的香气成分中, 具有花香的萜类香气和醇类香气成分相对含量较大, 对 MGH 香气的形成具有重要作用。MGH 中代表性组分为二氢芳樟醇、 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮、 γ -杜松烯、十六酸甲酯、苯甲醛等, 代表性成分以具有花香、甜香的萜类物质和醇类物质为主, 造就了 MGH 花香且带有甜香的品种特性; 在 MGB 的香气成分中, 具有花香的萜类香气成分和醇类香气成分相对含量较大, 对 MGB 香气的形成具有重要作用。MGB 中代表性组分为香叶醇、月桂烯、3-萜烯、乙酸芳樟酯、芳樟醇等, 代表性成分以具有花香的醇类和萜类物质为主。综上, 可以看出, MGL、MGH 和 MGB 均具较高含量的萜类物质, 使茗冠绿茶、红茶、白茶具有独特的花香, 但其花香构成成分均有所不同。

非挥发性组分相对含量和比例与茶汤的滋味品质密切相关, 儿茶素与儿茶素二聚体、黄酮醇或黄酮糖苷、游离氨基酸组分、酚酸等物质的相对含量的高低直接影响着绿茶滋味的醇度、回甘等特征。对茗冠绿茶、茗冠红茶和茗冠白茶的非挥发物进行进一步分析, 结果显示, 内含成分具有较为明显的差异, 茗冠绿茶中的儿茶素类化合物(C、EC、GC、EGC、ECCG、GCG、EGCG)、花青素类和部分黄酮醇和黄酮糖苷类(槲皮素-3-O-半乳糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷、槲皮素-3-O-葡萄糖苷-7-O-鼠李糖苷等)等化合物相对含量总体高于茗冠红茶和茗冠白茶; 茗冠红茶中的茶黄素类、酚酸类和少部分黄酮醇和黄酮糖苷类化合物(牡荆素-2-O-半乳糖苷、牡荆素-2'-O-鼠李糖苷、芹菜素-6,8-二-C-葡萄糖苷、芹菜素-6-C-葡萄糖苷等)及部分氨基酸类化合物(L-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-异亮氨酸、L-缬氨酸、L-天冬氨酸)等化合物相对含量高于茗冠绿茶和茗冠白茶; 茗冠白茶中的部分氨基酸类化合物(L-精氨酸、L-谷氨酰胺、L-赖氨酸、L-组氨酸、L-酪氨酸)相对含量高于茗冠绿茶和茗冠红茶, 可能是因为加工工艺不同的影响。探明这些内含成分差异及其变化规律, 可以为全面认识茗冠多茶类的品质差异提供理论依据。

参考文献

- [1] WEI C L, HUA Y, WANG S B, et al. Draft genome sequence of *Camellia sinensis* var. *sinensis* provides insights into the evolution of the tea genome and tea quality[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115 (18): E4151-E4158.
- [2] FANG D, ZENG L T. Differential accumulation of aroma compounds in normal green and albino-induced yellow tea (*Camellia sinensis*) leaves[J]. Molecules (Basel, Switzerland) 2018. 20

- (5): 80-81.
- [3] 王丽鸳, 赵容波, 成浩, 等. 叶色特异茶树品种选育现状[J]. 中国茶叶, 2020, 42(1): 15-19. [WANG L Y, ZHAO R B, CHENG H, et al. Current status of selection and breeding of tea tree varieties with specific leaf colour[J]. China Tea, 2020, 42(1): 15-19.]
- [4] 田军, 吕海鹏, 马婉君, 等. 基于SBSE-GC-MS的紫芽茶挥发性成分分析[J]. 中国茶叶, 2021, 43(6): 46-53, 58. [TIAN J, LÜ H P, MA W J, et al. Analysis of volatile components of purple bud tea based on SBSE-GC-MS [J]. China Tea, 2021, 43(6): 46-53, 58.]
- [5] FENG Z H, LI Y F, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. Food Chemistry, 2019, 285: 347-354.
- [6] 李荣林, 艾仄宜, 穆兵, 等. 糖叶种制成的不同茶类品质特性和抗氧化功能[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7806-7815. [LI R L, AI Z Y, MU B, et al. Quality characteristics and antioxidant function of different teas made from *Castanopsis carlesii* [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2020, 11(21): 7806-7815.]
- [7] 吴小清. 茶树品种‘栗峰’的生化成分和加工品质特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020. [WU X Q. Study on biochemical constituents and processing quality characteristics of tea variety 'Li Feng' [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.]
- [8] 卢莉, 程曦, 叶国盛, 等. 4种乌龙茶树鲜叶适制绿茶、黄茶、白茶、红茶可行性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(2): 33-38. [LU L, CHENG X, YE G S, et al. Feasibility study on green tea, yellow tea, white tea and black tea suitable for fresh leaves of four oolong tea trees[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(2): 33-38.]
- [9] 陈林, 林清霞, 张应根, 等. 不同风味类型铁观音乌龙茶香气组成化学模式识别研究[J]. 茶叶科学, 2018, 38(3): 253-262. [CHEN L, LIN Q X, ZHANG Y G, et al. Study on chemical pattern recognition of aroma composition of Tie guanyin oolong tea with different flavor types[J]. Journal of Tea Science, 2018, 38(3): 253-262.]
- [10] YANG Z Y, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 585-599.
- [11] 张翔, 陈学娟, 杜晓, 等. 蒙顶甘露茶滋味特征及主要呈味成分贡献率分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 783-791. [ZHANG X, CHEN X J, DU X, et al. Analysis on the taste characteristics and contribution rate of main flavor components of Mengding mandew tea[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2020, 42(4): 783-791.]
- [12] 徐春晖, 王远兴. 基于UPLC-QTOF-MS结合非靶向组学鉴别3种江西名茶[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 316-323. [XU C H, WANG Y X. Non-targeted metabolomics based on ultra-high performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry for discrimination of three Jiangxi famous teas[J]. Food Science, 2022, 43(2): 316-323.]
- [13] 陈慧, 杨丽玲, 陈金华, 等. 控温渥堆对黑毛茶香气品质的影响[J]. 茶叶科学, 2022, 42(5): 717-730. [CHEN H, YANG L L, CHEN J H, et al. Effect of temperature control on aroma quality of dark wool tea[J]. Journal of Tea Science, 2022, 42(5): 717-730.]
- [14] NISHIMURA T, KATO H, TO H. Food reviews international taste of free amino acids and peptides taste of free amino acids and peptides[J]. Food Reviews International, 1988, 32(5): 175-194.
- [15] 郭丽, 杜正花, 姚丽鸿, 等. 铁观音乌龙茶和红茶的香气化学特征分析[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 255-261. [GUO L, DU Z H, YAO L H, et al. Analysis of aroma chemical characteristics of Tie guanyin oolong tea and black tea[J]. Food Science, 2021, 42(10): 255-261.]
- [16] 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. [LONG L M, SONG S S, LI N, et al. Comparison and species discriminant analysis of aroma components of three famous green teas[J]. Food Science, 2015, 36(2): 114-119.]
- [17] LINGCJFF C. Analysis of aroma components of Hainan passionfruit[J]. Flavour Fragrance Cosmetics, 2001(5): 1-4.
- [18] 安会敏, 欧行畅, 熊一帆, 等. 茉莉花茶特征香气成分研究[J]. 茶叶科学, 2020, 40(2): 225-237. [AN H M, OU X C, XIONG Y F, et al. Study on characteristic aroma components of jasmine tea[J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(2): 225-237.]
- [19] FENG Y Z, SU G W, ZHAO H F, et al. Characterisation of aroma profiles of commercial soy sauce by odour activity value and omission test[J]. Food Chemistry, 2015, 167: 220-228.
- [20] 李俊, 祝愿, 方舒婷, 等. 基于固相微萃取气质联用对贵州红茶香气成分特征的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 304-316. [LI J, ZHU Y, FANG S T, et al. Study on aroma components of Guizhou black tea based on solid phase microextraction[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 304-316.]
- [21] 阳景阳, 梁光志, 李子平, 等. 基于气味活度值法的凌云白毫发酵茶香气特征分析[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 336-343. [YANG J Y, LIANG G Z, LI Z P, et al. Analysis of aroma characteristics of ling yun Pekoe Fermented tea based on odor activity value method[J]. Food Science, 2023, 44(14): 336-343.]
- [22] 巢瑾, 周令欣, 银飞燕, 等. 基于香气指纹图谱和多元化学计量法对黄金茶2号等级的判别分析[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 321-328. [CHAO J, ZHOU L X, YIN F Y, et al. Discriminant analysis of gold tea no.2 grade based on aroma fingerprint and multivariate chemical measurement method[J]. Food Science, 2023, 44(4): 321-328.]
- [23] 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 39. [SHI Z P. Tea evaluation and inspection [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 39.]
- [24] 丁立孝, 刘丹霞, 梁青, 等. 日照白毫乌龙茶香气成分的研究[J]. 食品科技, 2015, 40(4): 141-145. [DING L X, LIU R X, LIANG Q, et al. Aroma constituents of Rizhao pekoe oolong tea[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(4): 141-145.]
- [25] 贺群, 黄旦益, 卢翠, 等. 适制绿茶与红绿茶兼宜品种挥发性香气组分及其相对含量差异研究[J]. 西北农业学报, 2017, 26(9): 1363-1378. [HE Q, HUANG D Y, LU C, et al. Comparative analysis on the difference of volatile aroma components and its relative content difference in fresh leaves among tea varieties suitable for green tea and for both black tea and green tea[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica., 2017, 26(9): 1363-1378.]
- [26] XU Y Q, LIU P P, SHI J, et al. Quality development and main chemical components of Tie guanyin oolong teas processed from different parts of fresh shoots[J]. Food Chemistry, 2018, 249: 176-183.
- [27] 沈强, 张小琴, 刘晓霞, 等. 不同阶段性返白过程正安白茶香气成分分析[J]. 食品科技, 2021, 46(3): 276-282. [SHEN Q, ZHANG X Q, LIU X X, et al. Analysis of aroma components of Zheng'an white tea in different stages of whitening process[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(3): 276-282.]
- [28] 冯花, 王飞权, 张渤, 等. 不同茶树品种白牡丹茶香气成分的HS-SPME-GC-MS分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 252-264. [FENG H, WANG F Q, ZHANG B, et al. Analysis of aroma components of white peony tea by hs-spme-gc-ms[J]. Modern Food

- Science and Technology, 2021, 37(12): 252–264.]
- [29] 刘盼盼, 郑鹏程, 龚自明, 等. 橘红茶香气特征及风味成分分析[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 198–205. [LIU P P, ZHENG P C, GONG Z M, et al. Analysis of aroma characteristics and volatile components of Juhong tea, manufactured from black tea with added citrus peel [J]. Food Science, 2021, 42(8): 198–205.]
- [30] 郭雯飞, 孟小环, 罗永此, 等. 白牡丹与白毫银针香气成分的研究[J]. 茶叶, 2007(2): 78–81. [GUO W F, MENG X H, LUO Y C, et al. Study on aroma components of white peony and silver needle pekoe[J]. Tea, 2007(2): 78–81.]
- [31] YANG C, HU Z Y, LU M L, et al. Application of metabolomics profiling in the analysis of metabolites and taste quality in different subtypes of white tea[J]. Food Research International, 2018, 106: 909–919.
- [32] DAI W D, XIE D C, LU M L, et al. Characterization of white tea metabolome: Comparison against green and black tea by a non-targeted metabolomics approach[J]. Food Research International, 2017, 96: 40–45.
- [33] 常睿, 陈善敏, 罗红玉, 等. 不同类型沱茶品质与特征性成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3867–3874. [CHANG R, CHEN S M, LUO H Y, et al. Analysis on quality and characteristic components of different Tuo tea types[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2022, 13(12): 3867–3874.]
- [34] 刘腾飞, 陆皓茜, 李军, 等. 莲中原花青素的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 307–315. [LIU T F, LU H X, LI J, et al. Research progress of proanthocyanidins in lotus[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(12): 307–315.]
- [35] SANG S M, LAMBERT J D, HO C T, et al. The chemistry and biotransformation of tea constituents[J]. Pharmacological Research, 2011, 64(2): 87–99.
- [36] 钟秋生, 彭佳堃, 戴伟东, 等. 基于 UHPLC-Q-Exactive/MS 的不同烘焙处理岩茶化学成分差异分析[J/OL]. 食品科学: 1–20 [2023-09-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230308.1315.050.html>. [ZHONG Q S, PENG J K, DAI W D, et al. Differential analysis of chemical composition of rock tea with different roasting treatments based on UHPLC-Q-Exactive/MS[J]. Food Science: 1–20 [2023-09-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230308.1315.050.html>.]
- [37] 张悦, 朱茵, 叶火香, 等. 不同产地香茶的主要化学成分含量的差异分析[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 184–191. [ZHANG Y, ZHU Y, YE H X, et al. Analysis on the content difference of main chemical components of fragrant tea from different producing areas [J]. Food Science, 2017, 38(22): 184–191.]
- [38] 陈丹, 赵燕妮, 彭佳方, 等. 基于代谢组学的不同年份晒青红茶化学成分分析[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 150–159. [CHEN D, ZHAO Y N, PENG J F, et al. Chemical composition analysis of sungreen black tea in different years based on metabolomics[J]. Food Science, 2022, 43(4): 150–159.]
- [39] 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, 2019, 12(8): 2411–2417.
- [40] YU Z M, 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, 2020, 60(5): 844–858.
- [41] WU T, ZOU R, PU D, et al. Non-targeted and targeted metabolomics profiling of tea plants (*Camellia sinensis*) in response to its intercropping with Chinese chestnut[J]. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 55.
- [42] LEANM E J, HANKEY C R. Aspartame and its effects on health[J]. BMJ-British Medical Journal, 2004, 329(7469): 755–756.
- [43] GALL G L, COLQUHOUN I J, DEFERNEZM J J O A, et al. Metabolite profiling using ¹H NMR spectroscopy for quality assessment of green tea, *Camellia sinensis* (L.) [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(4): 692–700.
- [44] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea[J]. 2006, 54(7): 2688–2694.