霍华珍, 郭春雨, 蔡爱华, 等. 广西本地群体种选育的不同茶树品系绿茶适制性研究 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(13): 237−252. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100208

HUO Huazhen, GUO Chunyu, CAI Aihua, et al. Suitability of Different Strains of Locally Bred Tea Plant Populations in Guangxi for Green Tea Production[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(13): 237−252. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100208

· 分析检测 ·

广西本地群体种选育的不同茶树品系绿茶适制性研究

霍华珍[1], 郭春雨[2], 蔡爱华[1,*], 诸葛天秋[2,*], 谢运昌[1], 黄　龙[3,*], 蒙春群[1]

（1.广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西桂林 541006;
2.广西壮族自治区茶叶科学研究所, 广西茶树种质创新与资源利用重点实验室, 农业农村部作物种质资源桂林野外科学观测研究站, 桂林茶树资源广西野外科学观测研究站, 广西桂林 541004;
3.桂林三金日化健康产业有限公司, 广西桂林 541004）

摘　要: 为探究广西本地群体种选育的不同茶树品系的绿茶适制性，以 9 个新品系茶树鲜叶为原料加工成绿茶，福云 6 号为对照，分析其感官品质、主要生化成分和香气成分的差异。结果表明，9 个新品系所制绿茶的感官审评总分均在乙等以上，其中 H012、2018-11、2015-14、品-2 总分达到甲等并高于对照茶样，其滋味特征分别为醇爽、含香且醇尚厚、鲜醇、花香且浓醇尚厚，香气特征分别为浓郁嫩栗香、嫩香中带花香、花香浓郁持久、花香显；生化成分分析显示，9 个新品系所制绿茶的主要生化成分组成及含量差异显著，其中 2015-11、2018-10、2018-18、品-2 的水浸出物、黄酮、茶多酚含量、儿茶素总量均显著高于对照（P<0.05），H012、2018-10、2018-11、2015-14 的游离氨基酸含量较高，H012、2018-11、2015-14、2018-10 的酚氨比较低，品-2 的酚氨比偏高，相关性分析表明滋味得分与游离氨基酸含量呈极显著正相关（P<0.01），与茶多酚含量、酚氨比呈负相关，表明生化成分与感官评价一致。香气成分分析表明，不同品系和对照所制绿茶共检测出 193 个香气成分，主要为醇类、碳氢类、含氮类、醛类、酯类和酮类化合物，其中醇类化合物相对含量最高，基于所有样本的香气成分数据建立的 PLS-DA 模型，可有效区分 10 份绿茶样本，进一步结合相对气味活性值，筛选出 8 个关键差异香气成分。综上，9 个茶树新品系均适制绿茶，其中 H012、2018-11、2015-14、品-2 更具备开发名优绿茶的优势，各具特色。本研究为广西本地群体种茶树种质资源的开发利用、名优绿茶原料的选择提供科学依据。

关键词: 广西本地群体种, 不同茶树品系, 绿茶, 适制性评价

中图分类号: TS272.7　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)13−0237−16

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024100208

本文网刊:

Suitability of Different Strains of Locally Bred Tea Plant Populations in Guangxi for Green Tea Production

HUO Huazhen[1], GUO Chunyu[2], CAI Aihua[1,*], ZHUGE Tianqiu[2,*], XIE Yunchang[1], HUANG Long[3,*], MENG Chunqun[1]

（1.Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;

收稿日期: 2024−10−21

基金项目: 广西重点研发项目（桂科 AB23075148, 桂科 AB25069363）; 广西科技重大专项（桂科 AA20302018-4）; 国家现代农业产业技术体系广西茶叶创新团队首席（兼育种）岗位（nycytxgxcxtd-2024-18-01）; 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室开放基金（FPRU2023-4）; 桂林市创新平台和人才计划（20220124-13）。

作者简介: 霍华珍（1993−）, 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 植物资源开发与利用, E-mail: hhz5951@ foxmail.com。

*** 通信作者:** 诸葛天秋（1974−）, 女, 本科, 高级农业经济师, 研究方向: 茶树种质资源、品种选育、良种快速繁育, E-mail: 709042173@qq.com。
蔡爱华（1978−）, 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 植物资源开发与利用, E-mail: 356542930@qq.com。
黄龙（1974−）, 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 植物资源开发与利用, E-mail: 386391566@qq.com。

2.Guangxi Institute of Tea Science, Guangxi Key Laboratory of Tea Plant Germplasm Innovation and Resource Utilization, Guilin Field Scientific Observation and Research Station for Crop Germplasm Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China, Guangxi Field Scientific Observation and Research Station for Tea Resources, Guilin 541004, China;
3.Guilin Sanjin Daily Chemical Health Industry Co., Ltd., Guilin 541004, China）

Abstract: To investigate the suitability of different tea plant strains bred from local populations in Guangxi for green tea production, fresh leaves of nine new tea strains were used as raw materials to process green tea, with Fuyun No. 6 as a control. The differences in sensory quality, major biochemical components, and aroma components were analyzed. Results showed that all of the nine new tea strains produced green tea with overall sensory evaluation scores above class B. Among them, strains H012, 2018-11, 2015-14, and Pin-2 achieved class A scores, outperforming the control sample. Regarding taste profiles, the respective features were: brisk and mellow, aromatic with robust body, fresh and mellow, and floral with intense, well-rounded flavor. Aroma characteristics for these strains were identified as rich tender chestnut, tender with floral overtone, strong and persistent floral, and pronounced floral notes. Biochemical analyses revealed significant differences in major constituents and their contents across green teas from the nine new strains. Water extract, flavonoids, tea polyphenols and total catechin contents were also markedly higher in strains 2015-11, 2018-10, 2018-18, and Pin-2 relative to the control (P<0.05). Free amino acid content was elevated in strains H012, 2018-10, 2018-11, and 2015-14. A lower phenol-to-amino acid ratio was observed in strains H012, 2018-11, 2015-14, and 2018-10, while Pin-2 exhibited a higher ratio. The correlation analysis showed that the taste score was positively correlated with the content of free amino acids (P<0.01), and negatively correlated with the content of tea polyphenols and phenol-amine ratio. This suggested an alignment between biochemical composition and sensory assessment. Aroma component analysis detected 193 volatile compounds in green teas from the different strains and the control, primarily comprising alcohols, hydrocarbons, nitrogenous compounds, aldehydes, esters, and ketones. Among these classes, alcohols represented the highest relative abundance. A PLS-DA model constructed from aroma profile data effectively distinguished among the ten green tea samples. Incorporating relative odor activity values, eight key differential aroma constituents were identified. In summary, all nine new tea strains demonstrate suitability for green tea manufacturing. Among these, H012, 2018-11, 2015-14, and Pin-2 exhibit notable advantages for the development of premium specialty green teas, each with individual characteristics. This research provides a scientific foundation for the utilization of *Camellia sinensis* germplasm resources in Guangxi and the selection of high-quality raw materials for distinguished green tea production.

Key words: locally bred tea plant populations in Guangxi; different tea strains; green tea; adaptability evaluation

绿茶是我国六大茶类之一，属于非发酵茶，不仅风味优雅且口感和香气独特，还具有抗氧化[1]、抗癌[2]、抗动脉粥样硬化、抗炎等保健功效，受到全球消费者的青睐[3]。茶叶品质与其功效及销售额息息相关，因此茶叶品质评判至关重要。茶多酚、游离氨基酸、可溶性糖和咖啡碱等是绿茶中主要的化学成分，是评价茶汤滋味品质的重要指标[4]。香气是评价茶叶品质的关键因子之一，也是消费者选购茶叶的重要考虑因素[5−6]。众多研究表明，绿茶品质受环境、品种、栽培、加工工艺等影响较大，其中品种被认为是影响其色、香、味品质的关键因素[7−11]。由此可见，品种（系）的选择是加工优质绿茶的关键环节。

广西地理、气候条件优越，有利茶树生长，是我国茶叶主产区之一[12]。绿茶是广西主要加工茶类之一，同时也是广西打造“千亿元茶产业”计划中的重要部分[13]。广西茶树种质资源丰富度位居全国首位，吸引了众多科研人员开展研究[12,14]。当前，广西绿茶的研究主要集中在对外省茶树品种的引种及其适制性方面[15−17]，而对从本土茶树品种中选育良种及其适制性方面的研究力度薄弱，仅有罗莲凤等[18]、陈佳等[19]对从广西本地茶树品种选育的新品种进行了茶类适制性研究，然而因茶树良种选育能力薄弱，导致广西地区内茶树良种母本种质资源保有量规模偏小，进而造成茶园茶树品种更新缓慢、品种相对单一等一系列问题，严重阻碍了广西茶产业发展[13]。广西本地群体种为本土茶树品种，具有适应广西气候环境、抗逆性好的独特优势[13]，因此从广西本地群体种茶树种质资源中选育适制绿茶的新茶树良种对广西茶产业发展具有重要意义，但以往该茶树种质资源的选育主要集中于六堡茶的适制性研究。

无性系茶树品种具有性状整齐、产量高、品质好的优点，有利于稳定茶叶品质[13]，因此广西壮族自治区茶叶科学研究所前期已采用系统选育法从广西本地群体种选育了 9 个无性系茶树新品系。本研究以这 9 个茶树新品系（2015-7、2015-9、2015-11、2015-14、2018-10、2018-11、2018-18、H012、品-2）为研究对象，以广西名优绿茶的主栽品种（福云 6 号）[13] 为对照，鲜叶经统一的采制工艺制成绿茶，通过感官审评、生化与香气成分的比较分析，探讨茶树新品系的绿茶适制性，以期为广西本地群体种茶树种质资源的

开发利用、名优绿茶原料的选择提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

不同品系茶树鲜茶叶（*Camellia sinensis*）　均来自广西壮族自治区茶叶科学研究所试验茶园，于 2022 年 4 月按照一芽二叶标准进行采摘，经相同工艺（鲜叶→摊青→杀青→揉捻→烘干→成品茶）制成烘青绿茶，每个样品共计 400 g，平均分成两份，一份用于感官审评，一份粉碎过 100 目筛，于−20 ℃ 保存，用于生化成分及香气成分分析；对照品没食子酸（gallic acid, GA）、表儿茶素（epicatechin, EC）、表儿茶素没食子酸（epicatechingallate, ECG）、表没食子儿茶素（epigallate catechin, EGC）、表没食子儿茶素没食子酸酯（epigallo-catechin 3-gallate, EGCG）、儿茶素（catechin, C）、没食子儿茶素（gallate catechin, GC）、儿茶素没食子酸（catechingallate, CG）、没食子儿茶素没食子酸（gallate cateehin gallate, GCG）、咖啡碱（caffeine, CAF）　纯度均≥98%（HPLC），上海安谱璀世标准技术服务有限公司；芦丁　纯度≥98%（HPLC），上海源叶生物科技有限公司；福林酚、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、浓硫酸、水合茚三酮、氯化亚锡等　均为国产分析纯。

LC-2030C 岛津液相色谱仪　日本岛津公司；7890A-5975C 气质联用仪　美国 Agilent 公司；50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头　美国 Supelco 公司；TDZ4A-WS 低速台式离心机　长沙湘仪离心机仪器有限公司；DHG-9015A 电热鼓风干燥箱　上海一恒科学仪器有限公司；HH-2 型数显电子恒温水浴锅　常州市国华电器有限公司；2000C 型多功能粉碎机　永康市红太阳机电有限公司；XS205DV 型精密分析天平　瑞士 METTLEK TOLEDO 公司；T6 紫外可见分光光度计　北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2　实验方法

1.2.1　茶叶的感官审评方法　由 5 位具备敏锐嗅觉和味觉且具有扎实茶叶知识并经过专业训练的评茶员组成茶叶感官审评小组，参照 GB/T 23776-2018[20]，采用密码审评方式及百分制对茶样的五因子进行评分，其中外形（25%）、香气（25%）、汤色（10%）、滋味（30%）、叶底（10%），以加权评分法计算感官评定总分。

1.2.2　生化成分分析

1.2.2.1　水浸出物含量的测定　参照 GB/T 8305-2013《茶 水浸出物测定》[21]。

1.2.2.2　黄酮含量的测定　采用硝酸铝-亚硝酸钠 [$NaNO_2$-$Al(NO_3)_3$] 比色法[22]。

1.2.2.3　茶多酚含量的测定　采用 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中的福林酚比色法[23]。

1.2.2.4　游离氨基酸含量的测定　采用 GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》中的茚三酮比色法[24]。

1.2.2.5　可溶性糖含量的测定　采用 GB/T 40632-2021《竹叶中多糖的检测方法》中的苯酚硫酸法[25]。

1.2.2.6　没食子酸、8 种儿茶素、咖啡碱含量的测定　参考 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中的 HPLC 法[23] 并稍作优化，具体如下：分别将 50 mL 乙腈、20 mL 乙酸、2 mL EDTA-2Na 溶液（10 mg/mL）加入 1000 mL 容量瓶中，用水定容至刻度，摇匀，经 0.45 μm 有机微滤膜抽滤后得到流动相 A；分别将 800 mL 乙腈、20 mL 乙酸、2 mL EDTA-2Na 溶液（10 mg/mL）加入 1000 mL 容量瓶中，用水定容至刻度，摇匀，经 0.45 μm 有机微滤膜抽滤后得到流动相 B；色谱条件：色谱柱型号 CHRMCORE AQ-C_{18}（4.6×250 mm, 5 μm），梯度洗脱程序（0~20 min, 100%A; 20.01~55 min, 100%~75%A; 55.01~65 min, 100%A），色谱柱温度 35 ℃，流速 0.8 mL/min，进样体积 20 μL，紫外检测波长 278 nm。

1.2.2.7　酚氨比、糖咖比、儿茶素品质指数的计算　酚氨比、糖咖比是反映茶树品种特性的生化指标，计算方法如式（1）（2）。儿茶素品质指数是反映茶叶品质与儿茶素各组分含量间的相互关系的经验参数，是茶叶品质鉴定的生化指标之一，计算方法如式（3）。

$$\text{酚氨比} = \frac{\text{茶多酚(\%)}}{\text{游离氨基酸(\%)}} \quad \text{式（1）}$$

$$\text{糖咖比} = \frac{\text{可溶性糖(\%)}}{\text{咖啡碱(\%)}} \quad \text{式（2）}$$

$$\text{儿茶素品质指数} = \frac{\text{EGCG(\%)} + \text{ECG(\%)}}{\text{EGC(\%)}} \quad \text{式（3）}$$

1.2.3　香气成分分析　香气成分的测定参考 Li 等[26] 方法并稍作修改，具体如下。

1.2.3.1　香气成分提取　采用顶空固相微萃取法提取香气成分。称取 3.0 g 茶粉加入到 20 mL 顶空萃取瓶中，加入 12 mL 沸水，搅拌均匀，密封后于 60 ℃ 恒温箱中平衡 10 min，插入装有 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 纤维萃取头的手动进样手柄，推出萃取头，萃取 60 min 后，立刻插入 GC-MS 进样口中，250 ℃ 解吸 15 min，同时启动测定程序。

1.2.3.2　GC-MS 分析条件　采用配备 DB-5MS 石英毛细管柱（30 m×250 μm×0.25 μm）的 7890A-5975C 气质联用仪对香气成分进行分析，GC 条件：色谱柱升温程序：初始温度 40 ℃，保持3 min，以 3 ℃/min 升至 90 ℃，保持 5 min，然后以4 ℃/min 升至 200 ℃，以 15 ℃/min 升至 260 ℃，保持 10 min，溶剂延迟时间为 5 min；载气为高纯氦气（纯度>99.999%），载气流速 1 mL/min；进样模式为不分流；MS 条件：EI 离子源，离子源温度 230 ℃，电子能

量 70 eV, 发射电流 34.6 μA, 四极杆温度 150 ℃, 转接口温度 280 ℃, 电子倍增器电压 350 V, 质量扫描范围为 35~400 amu。

1.2.3.3 定性定量分析 各香气成分的相对含量采用面积归一化法进行确定, 定性方法为利用 MS 数据与美国国家标准与技术研究院 NIST05.L 数据库作比对, 选取匹配度≥80% 的化合物并结合 pubChem (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)数据库来确定, 香气类型参照文献及检索 chemicalbook(https://www.chemicalbook.com)数据库确定。

1.2.3.4 差异挥发性成分的相对气味活性值(relative odor activity value, ROAV)计算 在各种挥发性成分相对定量的基础上, 根据参考文献中各挥发性成分在水中的香气阈值, 按下式计算各差异成分的 ROAV[27]:

$$ROAV_i \approx \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

式中: C_i 为茶样组分的相对含量(%); T_i 为组分 i 在水中的香气阈值(μg/kg); C_{max} 与 T_{max} 为对样品总体风味贡献最大的组分的相对含量(%)和香气阈值(μg/kg)。ROAV≥1 的组分被确定为茶叶中的活性香气化合物, 0.1≤ROAV<1 的组分被认为对样品的总体风味具有重要的修饰作用。

1.3 数据处理

每组实验均重复测定 3 次, 采用 Office Excel 2019 软件对实验数据进行统计与柱状图绘制, 采用 IBM SPSS22.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较检验分析, 当 $P<0.05$ 时差异显著; 采用 Pearson 进行生化成分与滋味得分的相关性分析; 采用 SIMCA-P14.1 软件进行多元统计分析, 并基于变量投影重要性值(VIP)>1.0、$P<0.05$、ROAV≥1 筛选关键差异香气成分; 采用 TBtools 绘制热图。

2 结果与分析

2.1 不同茶树新品系绿茶感官品质分析

感官审评是评价茶叶品质优先等级不可或缺的重要方法[28], 其中滋味和香气是评价茶叶品质的关键因子[29]。9 个茶树新品系及对照茶树品种鲜叶所制绿茶的感官审评结果如表 1 所示。滋味方面, 2015-9、2015-14、2018-10、2018-11、H012、福云 6 号得分均大于 90 分, 达到甲级标准[20], 其中 H012 得分最高, 为 92.8 分, 表现为栗香、醇爽的品质特征, 其余品系的茶样滋味品质也较优, 达到乙级标准。香气方面, 所有茶样的香气均表现优异, 其中 H012(94.80 分)、福云 6 号(94.40 分)、2018-11(92.80 分)、2018-10(92.60 分)、2015-14(92.4 分)香气品质更为突出; 外形方面, 2018-11、H012、品-2 的外形得分均大于 94 分; 汤色方面, 除 2018-18 外, 其余品系的汤色均表现优异且得分显著高于对照(80 分)($P<0.05$), 其中 H012、2018-11 得分均大于 90 分; 叶底方面, 2015-14(94.60 分)和 2018-10(94.40 分)以嫩绿亮特征表现最佳。综合得分方面, 9 个茶树新品系鲜叶所制绿茶总分在 85.62~93.76 分, 均达到乙级标准以上, 其中 H012(93.76 分)、2018-11(92.47 分)、2015-14(91.34 分)、品-2(90.49 分)总分均达到甲级标准并且高于对照(90.26 分)。感官审评结果表明, 9 个茶树新品系均适制绿茶, 其中 H012、2018-11、2015-14、品-2 在名优绿茶品种选择方面更值得关注。

表 1 不同茶树新品系绿茶感官审评结果

Table 1 Results of sensory evaluation in green tea from different new tea strains

茶树品种(系)	外形		汤色		香气		滋味		叶底		总分
	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	评语	得分	
2015-7	墨绿、紧结	85.00±0.71^{f}	浅绿亮	85.20±0.84^{b}	甜香纯正	89.00±0.71^{d}	醇、尚厚	88.20±0.45^{e}	绿亮, 尚匀齐	85.40±0.55^{g}	87.02±0.13^{g}
2015-9	黄绿、紧实	86.40±0.55^{e}	绿黄亮	84.80±0.84^{b}	蜜香高	90.40±0.55^{cd}	含香、浓醇	90.40±0.55^{d}	肥嫩、匀亮	90.80±0.84^{d}	88.88±0.37^{f}
2015-11	深绿、紧结	91.40±0.55^{c}	绿黄亮	84.40±0.55^{b}	花香浓	91.00±0.71^{c}	含香、尚醇	89.20±0.45^{de}	肥、黄亮	89.60±0.55^{e}	89.76±0.11^{de}
2015-14	深绿、紧细	93.20±0.45^{b}	绿黄亮	84.20±0.45^{b}	花香浓郁持久	92.40±0.55^{b}	鲜醇	90.20±0.84^{d}	嫩绿匀亮	94.60±0.55^{a}	91.34±0.39^{c}
2018-10	黄绿、紧结	83.80±0.45^{g}	绿黄亮	84.40±0.55^{b}	花蜜香浓郁持久	92.60±0.55^{b}	含香浓郁、醇厚	91.40±0.55^{bc}	嫩绿亮	94.40±0.55^{a}	89.40±0.19^{ef}
2018-11	翠绿、紧细	94.60±0.55^{a}	绿明亮	92.60±0.55^{a}	嫩香、带花香	92.80±0.45^{b}	含香、醇尚厚	90.00±0.71^{d}	嫩、匀亮	93.60±0.55^{ab}	92.47±0.28^{b}
2018-18	黄绿、粗松	78.80±0.84^{h}	黄尚亮	78.40±0.55^{d}	纯正	90.00±0.71^{cd}	甜栗香、尚醇	89.20±0.84^{de}	匀、绿亮	88.20±0.84^{f}	85.62±0.58^{h}
H012	翠绿、紧细	94.40±0.55^{a}	绿明亮	93.20±0.84^{a}	嫩栗香、浓郁	94.80±0.84^{a}	栗香、醇爽	92.80±0.84^{a}	嫩、匀亮	93.00±1.00^{bc}	93.76±0.38^{a}
品-2	翠绿、紧细	94.80±0.84^{a}	黄绿尚亮	85.20±0.45^{b}	花香显	89.00±1.00^{d}	含花香、浓、醇尚厚	89.40±0.89^{de}	嫩黄、亮	92.00±0.71^{c}	90.49±0.50^{cd}
福云6号	黄绿、紧细	88.00±0.71^{d}	黄尚亮	80.00±0.71^{c}	栗香高	94.40±0.55^{ab}	鲜醇	92.40±0.55^{ab}	黄绿、亮	89.40±0.55^{ef}	90.26±0.35^{cd}

注: 同一指标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 表2同。

2.2　不同茶树新品系绿茶生化成分分析

2.2.1　水浸出物含量比较分析　水浸出物是茶叶中水溶性生化成分的总和，影响着茶汤滋味的浓醇度[28]，是评价茶叶品质优劣的重要指标之一[30]。由图 1 可知，10 个茶样的水浸出物含量在 46.54%~54.50% 之间，其中 9 个品系均显著高于对照（$P<0.05$），表明它们的内含物丰富，具备茶汤浓厚的物质基础。

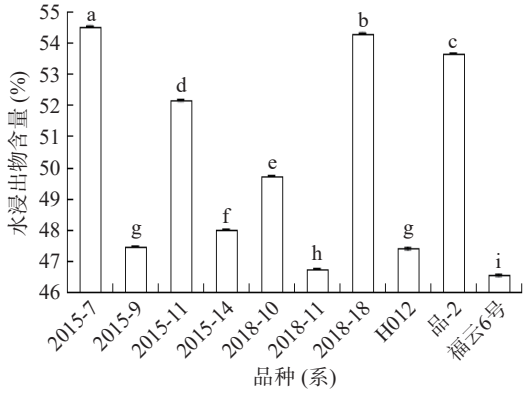


图 1　不同茶树品系绿茶水浸出物含量

Fig.1　Water extract contents of green tea in different tea strains

注：同一指标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），图 2~图 6 同。

2.2.2　黄酮含量比较分析　黄酮是绿茶茶汤黄绿明亮的主要物质[8]，同时对滋味、香气也有重要贡献[10]。由图 2 可知，10 个茶样的黄酮含量在 8.80%~22.50% 之间，除 H012 外，其余茶样均显著高于对照（$P<0.05$），2015-11（22.50%）和 2018-18（21.15%）较高，H012（8.80%）最低，对照为 9.70%。黄酮含量与汤色的黄绿程度基本呈正相关。

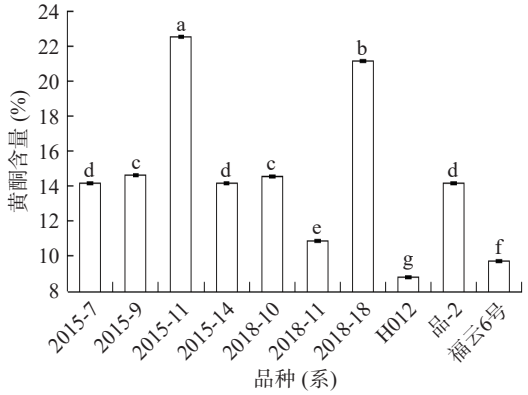


图 2　不同茶树品系绿茶黄酮含量

Fig.2　Flavonoids contents of green tea in different tea strains

2.2.3　茶多酚、游离氨基酸含量比较分析　茶多酚具有较强的收敛性，主要呈苦涩味，对绿茶的品质形成具有重要作用[31]。由图 3A 可知，10 个茶样的茶多酚含量在 14.58%~23.14% 之间，除 2018-11、H012 外，其余茶样均显著高于对照（$P<0.05$），其中品-2（23.14%）最高，H012（14.58%）最低。

游离氨基酸是构成茶汤鲜醇爽滋味的主体成分，同时也参与形成香气[29]。由图 3B 可知，10 个茶样的游离氨基酸含量在 2.36%~5.21% 之间，其中 H012（5.21%）最高，且显著高于对照（4.45%）（$P<0.05$），其余茶样均显著低于对照（$P<0.05$），其中 2018-10（4.15%）、2018-11（3.78%）、2015-14（3.64%）含量相对较高，品-2（2.36%）最低。该结果表明 H012、2018-10、2018-11、2015-14 等茶样的游离氨基酸含量高，绿茶滋味品质好。

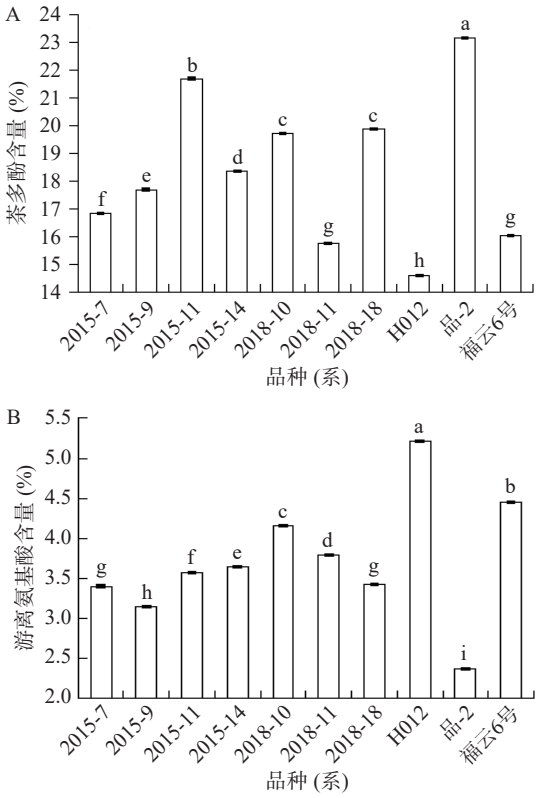


图 3　不同茶树品系绿茶茶多酚（A）和游离氨基酸（B）含量

Fig.3　Tea polyphenols (A) and free amino acid (B) contents of green tea from different tea strains

2.2.4　可溶性糖、咖啡碱含量比较分析　可溶性糖是茶汤甜味物质的重要组成成分，与茶叶的香气息息相关[29]。由图 4A 可知，10 个茶样的可溶性糖含量在 5.45%~8.51% 之间，其中 2015-7（8.51%）、2015-11（7.69%）显著高于对照（6.97%）（$P<0.05$）。

咖啡碱是茶叶重要的滋味物质，可与氨基酸、茶黄素缔合形成具有鲜爽味的滋味物质[30]。由图 4B 可知，10 个茶样的咖啡碱含量在 2.77%~4.65% 之间，2018-10（4.65%）含量最高，其次为 2015-14（4.18%）、品-2（4.14%）、2018-11（4.11%），含量较低的为 H012（3.50%）、2018-18（2.77%）。低咖啡碱含量的 H012、2018-18 品系绿茶适合于咖啡碱敏感人群饮用。

2.2.5　GA 含量比较分析　GA 具有良好的抗炎活性，同时对衡量茶叶品质也有重要影响[29,32]。由图 5 可知，10 个茶样的 GA 含量在 0.09%~0.71% 之间，且差异显著（$P<0.05$），其中 2015-9、2015-14、2018-10、品-2 含量显著高于对照（$P<0.05$）。

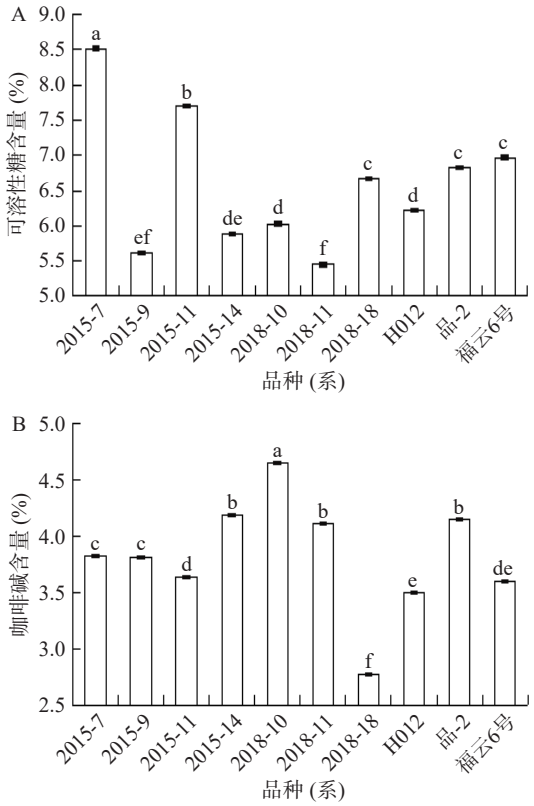


图 4 不同茶树品系绿茶可溶性糖(A)和咖啡碱(B)含量

Fig.4 Soluble sugar (A) and caffeine (B) contents of green tea from different tea strains

2.2.6 儿茶素组成及含量比较分析 茶叶中丰富的酯型和非酯型儿茶素是茶叶主要成分之一[29],酯型儿茶素有较强的苦涩味和收敛性且具有抗氧化、防癌抗癌、降血脂、除胆固醇、抑制细菌病毒、抗糖尿病等保健药用功效[33−34],是茶汤苦涩味的来源物质,亦是影响茶叶品质好坏的重要指标之一。非酯型儿茶素的苦涩味和收敛性较弱,回味清爽。茶叶中儿茶素

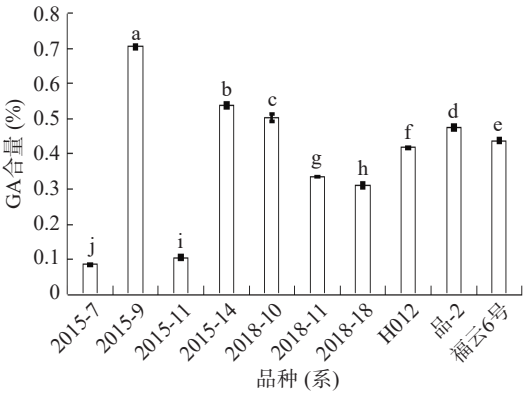


图 5 不同茶树品系绿茶 GA 含量

Fig.5 Gallic acid of green tea from different tea strains

主要由 C、EC、EGC、ECG、EGCG 组成。ECG、EGCG 是主要的酯型儿茶素,EGC、EC 和 C 是主要非酯型儿茶素,其中 EGCG 是茶叶功能性的关键因子之一,因此分析不同茶叶品种(系)儿茶素类型和含量至关重要[8]。

由表 2 可知,10 个茶样的儿茶素总量在 10.14%~18.39% 之间,除 2018-11、2015-14、H012、2015-7、2015-9 外,其余样品均显著高于对照(11.93)(P<0.05)。10 个茶样的非酯型儿茶素在儿茶素中占比均较小且差异显著(P<0.05),以 GC、EGC 为主;酯型儿茶素含量占比最大,为总儿茶素的 54.60%~84.65%,除 2018-18 以 ECG 含量最高外,其余样品均以 EGCG 含量最高,其次为 ECG、GCG,CG 含量最低;除 2018-10、品-2 的酯型儿茶素含量显著高于对照外(P<0.05),其余样品均显著低于对照(P<0.05)。10 个茶样的酯型儿茶素与非酯型儿茶素的比值在 1.20~5.52 之间且差异显著(P<0.05)。2015-9、2015-14、2018-10、2018-18、H012、品-2 品系绿

表 2 不同茶树新品系绿茶儿茶素组分及含量

Table 2 Catechin composition and content of green tea in different new tea strains

样品	非酯型儿茶素(%)					酯型儿茶素(%)					酯型儿茶素/非酯型儿茶素	儿茶素总量(%)	儿茶素品质指数
	GC	EGC	C	EC	总量	EGCG	GCG	ECG	CG	总量			
2015-7	1.39±0.04^{d}	1.25±0.02^{c}	0.49±0.01^{e}	0.85±0.04^{d}	3.97±0.07^{c}	4.41±0.04^{g}	1.45±0.05^{f}	1.51±0.07^{f}	0.29±0.01^{g}	7.65±0.17^{g}	1.93±0.04^{h}	11.63±0.21^{de}	476.95±13.31^{g}
2015-9	0.36±0.01^{j}	0.64±0.01^{e}	0.28±0.01^{h}	0.94±0.02^{c}	2.23±0.02^{h}	4.40±0.04^{g}	0.73±0.02^{i}	2.92±0.02^{b}	0.41±0.01^{d}	8.46±0.09^{e}	3.80±0.04^{e}	10.69±0.10^{f}	1140.89±24.84^{e}
2015-11	2.86±0.00^{a}	1.64±0.01^{a}	1.47±0.01^{b}	1.38±0.02^{a}	7.35±0.01^{a}	4.33±0.01^{g}	1.60±0.01^{e}	2.47±0.01^{d}	0.45±0.00^{c}	8.85±0.04^{d}	1.20±0.01^{i}	16.20±0.03^{b}	414.42±0.26^{h}
2015-14	1.44±0.02^{c}	0.39±0.01^{h}	0.62±0.01^{d}	0.46±0.02^{g}	2.92±0.02^{f}	4.81±0.10^{e}	1.08±0.05^{g}	2.31±0.10^{e}	0.34±0.01^{e}	8.55±0.27^{de}	2.92±0.08^{f}	11.47±0.28^{e}	1813.98±27.29^{b}
2018-10	0.57±0.02^{i}	0.34±0.00^{i}	0.75±0.02^{c}	0.46±0.02^{g}	2.11±0.04^{i}	6.16±0.15^{b}	2.40±0.06^{b}	2.64±0.07^{c}	0.44±0.01^{c}	11.63±0.29^{b}	5.52±0.04^{a}	13.74±0.33^{c}	2596.01±65.31^{a}
2018-11	0.89±0.00^{f}	1.30±0.00^{b}	0.36±0.00^{g}	0.74±0.00^{ue}	3.29±0.01^{d}	5.13±0.00^{d}	1.86±0.01^{d}	1.30±0.01^{g}	0.31±0.00^{f}	8.60±0.01^{de}	2.62±0.01^{g}	11.89±0.01^{d}	495.17±0.77^{g}
2018-18	1.54±0.02^{b}	0.43±0.01^{g}	1.66±0.02^{a}	1.10±0.05^{b}	4.73±0.09^{b}	2.88±0.12^{h}	0.87±0.03^{h}	4.28±0.17^{a}	0.81±0.03^{a}	8.85±0.34^{d}	1.87±0.05^{h}	13.57±0.42^{c}	1675.54±45.42^{c}
H012	0.64±0.02^{h}	0.57±0.02^{f}	0.34±0.00^{g}	0.45±0.00^{g}	2.00±0.00^{j}	4.59±0.03^{f}	2.05±0.02^{c}	1.16±0.01^{h}	0.34±0.00^{e}	8.14±0.07^{f}	4.07±0.03^{c}	10.14±0.07^{g}	1002.1±22.95^{e}
品-2	1.07±0.04^{e}	0.97±0.01^{d}	0.42±0.00^{f}	0.73±0.02^{e}	3.19±007^{e}	9.29±0.10^{a}	3.00±0.05^{a}	2.43±0.02^{de}	0.47±0.00^{b}	15.20±0.18^{a}	4.76±0.05^{b}	18.39±0.25^{a}	1210.32±10.28^{d}
福云6号	0.69±0.00^{g}	0.97±0.02^{d}	0.23±0.00^{i}	0.53±0.02^{f}	2.42±0.04^{g}	5.73±0.07^{c}	1.87±0.03^{d}	1.57±0.02^{f}	0.34±0.01^{e}	9.51±0.13^{c}	3.93±0.02^{d}	11.93±0.17^{d}	755.37±4.38^{f}

茶的儿茶素品质指数均显著高于对照（P<0.05），因此这些茶树品系可应用于低苦涩味且高儿茶素品质茶产品的开发。

2.2.7　不同茶树新品系的酚氨比、糖咖比分析　酚氨比是茶叶滋味品质的重要参考生化指标，与醇度关系最为密切[8]。由图 6A 可知，10 个茶样酚氨比在 2.8~9.8 之间，9 种品系绿茶的酚氨比均与对照差异显著（P<0.05），其中品-2（9.8）最高，H012（2.8）最低，对照为 3.6。

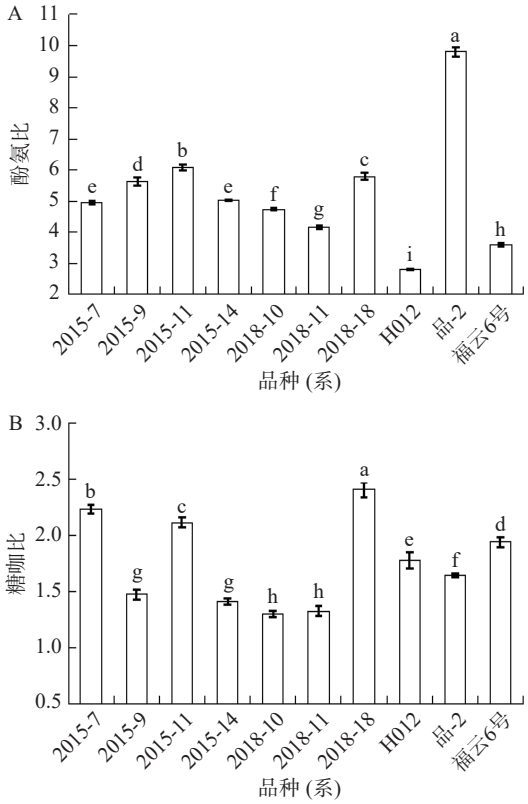


图 6　不同茶树品系绿茶酚氨比（A）和糖咖比（B）

Fig.6　Ammonia ratio (A) and sugar-to-coffee ratio (B) of green tea from different tea strains

由图 6B 可知，10 个茶样的糖咖比在 1.30~2.41 之间，其中 2018-18（2.41）最高，其次为 2015-7、2015-11、福云 6 号、H012，2018-10 最低。H012 的酚氨比低、糖咖比较高与其感官审评滋味醇爽相符。

2.2.8　生化成分与滋味得分的相关性分析　如图 7 所示，水浸出物、黄酮含量均与滋味得分呈显著负相关（P<0.05）；游离氨基酸含量与滋味得分呈极显著正相关（P<0.01），这与 CHEN 等[35] 的研究结果一致；茶多酚含量、酚氨比均与滋味得分呈较强负相关，这与王海利等[8] 的研究结果基本一致；GA 含量、酯型/非酯型儿茶素比值均与滋味得分呈较强正相关。

2.3　不同茶树品系绿茶香气成分分析

2.3.1　香气成分组成及含量分析　由表 3 所示，10 个样品共鉴定出 193 种香气成分，主要为醇类（38 种）、碳氢类（38 种）、含氮类（34 种）、醛类（23 种）、酯类（21 种）、酮类（20 种），其香气多为花香、水

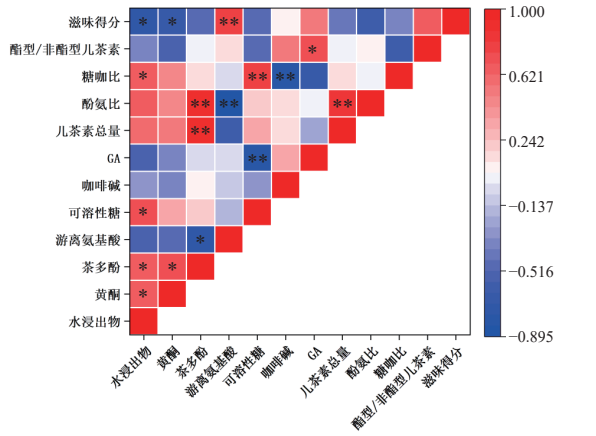


图 7　生化成分与滋味得分相关性热图

Fig.7　Heat map of correlation between biochemical components and taste scores

注：*在 0.05 水平（双侧）上显著相关，**在 0.01 水平（双侧）上显著相关。

果香、清香、木质香，并且醇类（25.48%~73.56%）化合物的相对含量均为最高，主要物质包括香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、叶醇、芳樟醇、顺-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇、2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-呋喃-3-醇，与前人研究结果基本一致[11,36]。

在半数以上品种（系）茶样中均检测到的挥发性成分为 17 种，分别为 1-戊醇、顺-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇、芳樟醇、苯乙醇、2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-呋喃-3-醇、正戊醛、正庚醛、苯甲醛、壬醛、顺茉莉酮、水杨酸甲酯、（Z）-丁酸-3-己烯酯、己酸叶醇酯、（+）-柠檬烯、beta-紫罗酮、香叶基丙酮、氟乙酰胺，其中呈花香、甜香、木香香气的芳樟醇[37] 在所有样品中均有分布，且为主要成分，另外，相对含量较高的共有成分为苯乙醇（玫瑰花香）、壬醛（蜡质气味、花香）、（+）柠檬烯（柑橘味、甜味），推测这些物质可能是 2015-7、2015-9、2015-11、2015-14、2018-10、2018-11、2018-18、品-2 呈甜香、蜜香、花香的重要物质基础。10 个样品中杏仁味的苯甲醛相对含量范围在 1.25%~4.05% 之间，其中福云 6 号为 4.05%，H012 为 2.40%。另外，福云 6 号（7.90%）、H012（9.15%）中芳樟醇的相对含量均低于其余品系。基于苯甲醛、芳樟醇是绿茶栗香形成的关键气味物质[38]，推测福云 6 号呈现栗香高、H012 呈现嫩栗香可能与这两种挥发性物质在茶样中较为合适的组成比例及与其他组分相互协同作用相关。

以上结果表明，9 种品系绿茶和对照的香气成分丰富多样，但在香气成分的数量和相对含量上差异明显，10 个样品中主要香气成分多为茶叶重要的呈香物质，构成了绿茶赋香的物质基础，由此可知在不同样本中，其挥发性物质含量、种类与构成上的差异是形成绿茶不同香气类型的内因[30,39]。

2.3.2　香气成分的判别分析与关键差异物的筛选　由图 8A 可知，基于 10 份绿茶样本香气成分的相

表 3 不同茶树新品系绿茶的香气组成及含量

Table 3 Aroma composition and content of green tea in different new tea strains

序号	香气成分	香气特征	CAS	相对含量(%)									
				2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
1	丙烯醇	–	107-18-6	–	0.01	0.01	–	0.20	–	–	–	–	–
2	乙硫醇	蒜味	75-08-1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.29
3	1-戊醇	杂醇油气味	71-41-0	–	0.41	3.03	0.56	0.75	–	1.01	–	0.20	–
4	3-己烯-1-醇	绿叶	544-12-7	–	–	–	1.64	–	–	–	–	–	–
5	(E)-4-己烯-1-醇	青草香、绿色	928-92-7	–	–	–	–	2.05	–	–	–	–	–
6	叶醇	青草香、绿叶	928-96-1	–	–	–	–	–	3.41	2.47	0.30	2.87	–
7	糠醇	–	98-00-0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.14
8	顺式-4-己烯-1-醇	绿色、草香	928-91-6	–	0.57	–	2.56	–	–	–	–	–	–
9	反-2-戊烯-1-醇	蘑菇	1576-96-1	–	0.14	–	0.52	–	–	–	–	–	–
10	1,7-庚二醇		629-30-1	–	–	0.90	–	–	–	–	–	–	–
11	2-乙基己基硫醇	–	7341-17-5	–	–	–	0.82	–	–	–	–	–	–
12	2-己炔-1-醇	–	764-60-3	0.31	–	–	–	0.09	–	–	–	–	–
13	顺-2-戊烯-1-醇	果香、酚醛、绿色	1576-95-0	–	–	0.60	–	–	–	–	–	–	–
14	1-辛烯-3-醇	蘑菇、土香	3391-86-4	–	–	–	1.19	–	–	–	0.97	–	–
15	1-壬烯-3-醇	土香、奶油味、蘑菇	21964-44-3	–	–	–	–	–	0.94	–	–	–	–
16	反式-2-庚烯-1-醇	刺激性、脂肪气息	33467-76-4	–	0.72	–	–	–	–	–	–	–	–
17	1,2-二苯-1,2-乙二醇		655-48-1	–	–	–	–	–	–	–	–	0.65	–
18	苯甲醇	花香	1 -51-6	–	1.40	–	–	1.92	15.51	–	7.10	–	–
19	S-(-)-苯乙醇	风信子、花香、草莓香	1445-91-6	–	–	–	–	–	1.12	–	–	–	–
20	3-氨基苯甲醇		1877-77-6	–	–	–	–	–	2.97	–	–	–	–
21	反-α,α-5-三甲基-5-乙烯基四氢化-2-呋喃甲醇	花香	34995-77-2	–	–	–	–	–	–	–	–	3.03	–
22	顺-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	土香、花香、甜木香	5989-33-3	3.43	–	8.09	6.44	2.12	3.20	2.60	1.83	–	2.66
23	芳樟醇	花香	78-70-6	22.22	65.51	27.69	9.65	12.34	12.17	9.34	9.15	12.86	7.90
24	3,5-二甲基己醇		5441-52-1	–	–	–	1.10	1.49	–	–	–	–	–
25	3,4-二甲基环己醇		5715-23-1	–	–	0.52	–	–	–	1.36	–	1.16	–
26	苯乙醇	玫瑰花香	60-12-8	–	1.31	–	7.10	4.45	3.00	–	14.96	10.07	1.88
27	3-甲基-1-己醇		13231-81-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.37
28	2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-呋喃-3-醇	花香、蜂蜜香	14049-11-7	–	2.16	0.16	3.12	–	3.12	11.65	2.54	5.11	0.88
29	alpha-松油醇	花香	10482-56-1	–	1.25	–	–	–	1.09	–	–	2.37	–
30	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇	木香、刺激性、土香	138-87-4	–	–	–	1.06	–	–	–	–	–	–
31	反式,顺式-2,6-壬二烯醇	绿色	28069-72-9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.88
32	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	花香	624-15-7	–	–	–	–	–	–	–	–	3.82	34.76
33	香叶醇	甜花香、果味、玫瑰香、柑橘	106-24-1	–	–	–	5.69	–	–	–	–	–	–
34	法尼醇	花香	4602-84-0	–	–	–	–	–	–	–	6.75	–	–
35	3-甲基-3-庚醇		5582-82-1	–	0.08	–	–	0.09	–	–	–	–	–
36	对氨基苯甲醇		623-04-1	–	–	–	–	–	–	–	0.89	–	–
37	(S)-(+)-5-甲基-1-己醇		57803-73-3	–	–	–	–	–	–	–	0.41	0.11	–
38	叶绿醇	花香	150-86-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.09
	醇类(38种)			25.95	73.56	41.00	41.45	25.48	46.52	28.44	44.91	42.23	51.85
39	乙醛	刺激性果味	75-07-0	–	–	0.52	–	–	0.01	–	–	–	–
40	3-甲基丁醛	醛味、巧克力、脂肪气息	590-86-3	0.80	–	–	0.03	0.06	–	–	–	–	–
41	正戊醛	坚果味、浆果、发酵	110-62-3	0.29	0.09	–	0.12	0.21	0.13	–	–	0.07	–
42	2-氟-4-(三氟甲基)苯甲醛		763-93-9	–	–	–	–	2.10	0.51	–	–	–	–
43	正己醛	刺激性	66-25-1	3.15	–	2.01	1.12	–	0.39	–	–	–	–
44	反式-2-己烯醛		6728-26-3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.42

续表 3

序号	香气成分	香气特征	CAS	相对含量(%)									
				2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
45	丙炔醛		624-67-9	–	0.39	–	–	–	–	–	–	0.24	–
46	正庚醛	草香、脂肪气息	111-71-7	1.32	–	1.14	1.03	0.42	–	1.21	0.26	0.70	–
47	(E)-2-庚烯醛	脂肪气息	18829-55-5	–	–	–	–	0.74	–	–	–	–	–
48	苯甲醛	杏仁味	1 -52-7	2.67	1.25	2.13	2.90	3.32	2.41	–	2.40	2.24	4.05
49	反式-2,4-庚二烯醛		4313-03-5	0.82	–	–	–	0.15	–	–	–	–	–
50	十二醛	醛香、油脂气息、甜花香	112-54-9	–	–	–	–	–	–	–	0.67	–	–
51	正辛醛	脂肪气息、橙子味	124-13-0	1.73	0.39	–	1.00	–	–	–	–	–	–
52	4-吡啶甲醛		872-85-5	–	1.04	–	–	–	–	–	–	–	–
53	壬醛	蜡质气味、花香	124-19-6	11.66	–	10.41	5.87	6.14	5.81	–	6.55	–	3.02
54	正十五碳醛		2765-11-9	–	–	–	–	–	–	1.43	–	–	–
55	藏红花醛	草香、迷迭香	116-26-7	1.54	–	–	–	–	0.44	0.83	–	–	–
56	癸醛	果香、脂肪气息	112-31-2	–	–	–	1.22	1.15	0.54	–	–	–	0.92
57	*β*-环柠檬醛	果味、清香	432-25-7	–	–	–	–	1.29	1.10	2.01	–	0.89	–
58	柠檬醛	柠檬味、柑橘	5392-40-5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.85
59	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	柑橘、柠檬味	141-27-5	–	–	–	–	–	–	–	0.91	–	–
60	2,3-二羟基苯甲醛		24677-78-9	–	–	–	–	–	–	1.97	–	–	–
61	2,6-二甲基-5-庚烯醛	甜味、绿色	106-72-9	–	–	–	–	0.60	0.71	–	0.27	–	–
	醛类(23种)			23.97	3.15	16.21	13.29	16.19	12.05	7.46	11.05	4.14	9.26
62	3-甲基-3-吡唑啉-5-酮		4344-87-0	–	–	–	–	–	0.36	–	0.45	–	–
63	4-甲基-3-戊烯-2-酮	薄荷味、蜂蜜味	141-79-7	–	0.21	2.60	0.21	–	–	2.98	–	–	–
64	2-氮杂环壬酮		935-30-8	6.41	–	–	–	–	–	–	–	–	–
65	2-庚酮		110-43-0	–	–	–	–	–	–	–	–	1.10	–
66	7-辛烯-2-酮		3664-60-6	–	–	–	3.52	–	–	–	–	–	–
67	甲基庚烯酮	柑橘、柠檬、苹果味	110-93-0	–	–	–	–	–	–	–	–	3.14	–
68	2,3-辛二酮	草药香、脂肪气息	585-25-1	–	1.60	–	–	–	–	–	–	–	–
69	环庚三烯酮		539-80-0	–	–	–	–	0.81	–	–	–	–	–
70	2,2,6-三甲基环己酮	辛辣味、蜂蜜味	2408-37-9	0.98	–	1.33	–	–	–	0.66	–	–	–
71	双环丙基酮		1121-37-5	2.02	–	–	–	–	–	–	–	–	–
72	2-噁唑烷酮		497-25-6	0.65	–	–	–	–	–	–	–	–	–
73	1-(1,4-二甲基-3-环己烯-1-基)乙酮	果味	43219-68-7	–	0.44	1.99	–	–	–	–	1.19	–	–
74	顺茉莉酮	花香、木质香	488-10-8	–	1.11	–	2.01	1.71	3.20	8.95	0.92	1.24	–
75	甲位紫罗兰酮		127-41-3	–	0.11	–	–	0.37	0.27	–	–	0.30	–
76	香叶基丙酮	玫瑰香、叶香、醛香、果香	3796-70-1	–	–	–	0.77	1.21	0.76	–	1.26	–	0.45
77	beta-紫罗酮	花香、木香	79-77-6	–	0.64	1.58	1.22	–	1.70	1.78	–	–	–
78	beta-紫罗兰酮	花香、木香、甜果味、浆果味	14901-07-6	1.08	–	–	–	2.07	–	–	1.70	1.07	–
79	4-羟基-3-甲氧基苯丙酮		2503-46-0	–	–	–	–	–	–	–	2.15	–	–
80	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	花香、草本	502-69-2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.80
81	1,3,7-三甲基-3,7-二氢-1H-嘌呤-2,6-二酮		58-08-2	–	–	–	0.96	–	–	–	–	–	–
	酮类(20种)			11.14	4.12	7.50	8.70	6.17	6.29	14.37	7.66	6.85	1.24
82	乙酸顺式-3-己烯酯	绿色、果味、青草味	3681-71-8	–	–	–	–	2.58	–	–	–	–	–
83	(Z)-丁酸-3-己烯酯	青苹果、果味、黄油味	16491-36-4	–	–	0.49	1.38	3.00	1.52	–	1.12	2.16	–
84	顺式-3-己烯醇碳酸甲酯	花香、紫罗兰、绿叶	67633-96-9	–	–	–	–	–	–	2.92	–	–	–
85	水杨酸甲酯	冬青油、草药香气	119-36-8	2.34	0.89	–	1.06	–	0.81	–	–	0.53	22.43
86	乙酸二氢香芹酯	花香、玫瑰、小茴香、甜薄荷味	20777-49-5	–	–	0.88	–	–	–	–	–	–	–
87	叔丁基乙酸乙酯		5340-78-3	–	–	–	0.97	–	–	3.29	–	–	–

续表 3

序号	香气成分	香气特征	CAS	相对含量(%)									
				2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
88	异硫氰酸环丙酯		56601-42-4	–	–	–	–	–	–	–	0.90	–	–
89	丙酮酸乙酯	果味、焦糖味	617-35-6	1.62	0.30	–	–	–	–	–	0.83	–	–
90	正己酸正戊酯		540-07-8	–	0.37	–	–	–	–	–	–	0.50	–
91	己酸乙烯基酯		3050-69-9	–	–	–	6.13	–	–	–	–	–	–
92	对己酸对硝基苯酯		956-75-2	–	–	–	–	–	–	–	10.66	–	–
93	丁位辛内酯		698-76-0	–	–	–	–	6.14	–	–	–	–	–
94	己酸叶醇酯	果味、绿色、热带草味、菠萝	031501-11-8	–	1.02	0.54	1.61	–	2.55	3.40	0.88	2.79	–
95	3,3-二甲基-4-戊烯酸甲酯		063721-05-1	–	–	0.24	–	–	–	–	–	0.16	–
96	苯甲酸己酯		6789-88-4	–	–	–	–	–	–	0.71	–	–	–
97	二氢猕猴桃内酯	果味、木香	15356-74-8	–	0.20	–	–	–	0.81	–	0.92	–	–
98	(E,Z)-2-己烯酸-3-己烯酯	青草味、果味、洋蓟味	53398-87-1	–	–	–	–	–	–	–	–	0.81	–
99	反-3-氧代-2-(顺-2-戊烯基)-环戊乙酸甲酯		1211-29-6	–	–	–	–	–	–	–	–	0.71	–
100	3,7-二甲基-6-辛烯-1-醇甲酸酯		105-85-1	–	–	0.20	–	0.22	–	–	–	–	–
101	(E)-9-十四碳烯-1-醇乙酸酯		023192-82-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.27
102	邻苯二甲酸二异丁酯	芳香味	084-69-5	3.41	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	酯类(21种)			7.37	2.78	2.34	11.15	11.93	5.70	10.32	15.31	7.67	22.70
103	1,5-己二炔		628-16-0	0.21	–	0.08	–	0.30	–	–	–	–	–
104	乙基环丙烷		1191-96-4	2.99	–	–	–	–	–	–	–	–	–
105	3-甲基-1,2-丁二烯		598-25-4	1.78	–	–	–	–	0.37	–	–	–	–
106	1-乙基-2-甲基乙炔		627-21-4	–	–	–	0.69	–	–	–	–	–	–
107	反式-3,4-二甲基-2-戊烯		4914-92-5	–	–	1.03	–	–	–	–	–	–	–
108	甲基环己烷		108-87-2	–	–	–	–	–	–	–	–	0.91	–
109	1,2-环氧基-5-己烯		10353-53-4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.92
110	2,2,3,4-四甲基戊烷		1186-53-4	–	–	–	–	–	–	1.23	–	–	–
111	左旋-beta-蒎烯	木质香、松木香、草香	18172-67-3	–	–	–	–	2.30	–	–	–	–	–
112	月桂烯	胡椒味、辛辣味	123-35-3	–	1.81	–	–	–	–	–	–	–	4.25
113	beta-蒎烯	草药香、木质香	127-91-3	–	–	1.89	2.03	–	–	–	2.19	–	–
114	1-甲基-4-戊二烯		592-45-0	–	–	–	–	–	0.63	–	–	–	–
115	1-辛炔		629-05-0	–	–	0.88	–	–	–	–	–	–	–
116	1-甲基-2-异丙基苯		527-84-4	1.24	–	1.53	0.79	1.31	–	–	–	–	–
117	双戊烯	柠檬气味	138-86-3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.96
118	(+)-柠檬烯	柑橘味、甜味	5989-27-5	5.73	2.84	7.20	3.93	6.22	4.29	12.40	5.32	6.96	–
119	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	花香、草香	3338-55-4	–	1.18	1.91	–	–	–	–	–	2.99	–
120	环庚三烯		544-25-2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3.66
121	3-亚甲基-6-(1-甲基乙基)环己烯	薄荷味	555-10-2	–	–	–	–	–	–	–	–	1.54	–
122	丙位松油烯	木质香、草香	99-85-4	–	–	–	1.13	–	–	1.62	–	–	–
123	左旋-alpha-蒎烯	松木气味	7785-26-4	–	–	–	–	–	0.80	–	0.87	–	–
124	间异丙基甲苯		535-77-3	–	–	–	–	–	0.84	–	0.99	–	–
125	2-茨烯		464-17-5	–	–	1.42	–	–	–	–	–	–	–
126	3-环戊基-1-丙炔		116279-08-4	–	–	–	–	10.43	–	–	–	–	–
127	苯		071-43-2	–	0.68	–	–	–	–	–	–	–	–
128	甲苯		108-88-3	–	2.24	–	–	–	–	–	–	–	–
129	1,1-二环戊烯		934-02-1	–	–	–	–	–	–	0.91	–	–	–
130	1,7-辛二炔		871-84-1	–	–	–	–	–	1.84	–	–	–	–
131	正十六烷		544-76-3	–	–	–	–	1.04	0.61	1.22	–	–	–
132	2-溴壬烷		2216-35-5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.30
133	7-甲基-1,6-辛二烯		42152-47-6	–	–	–	–	–	–	–	–	0.86	–
134	正十四烷		629-59-4	–	–	–	–	1.17	–	–	–	–	–

续表 3

序号	香气成分	香气特征	CAS	相对含量(%)									
				2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
135	二十二烷		629-97-0	–	–	–	–	–	–	–	–	1.00	–
136	正丁基环戊烷		2040-95-1	–	–	–	–	–	–	0.55	0.41	–	–
137	alpha-蒎烯	木质香、蜂蜜味	3856-25-5	–	–	–	–	–	–	–	1.11	–	–
138	十六烷		544-76-3	–	–	–	–	–	–	–	0.80	–	–
139	二十七烷		593-49-7	–	–	–	–	–	–	0.89	–	–	–
140	正十九烷		629-92-5	–	–	–	0.40	–	0.24	–	–	0.29	–
	碳氢类(38种)			11.96	8.76	15.93	8.96	22.77	9.62	18.83	11.70	14.54	11.09
141	3-苯甲酰丙酸		2051-95-8	–	–	–	–	–	–	0.96	–	–	–
142	环丙甲酸		1759-53-1	–	–	0.60	–	–	–	–	–	–	–
143	2-乙基丁酸	果味、浆果味	088-09-5	2.31	–	2.40	–	–	1.59	–	–	–	–
144	胍基乙酸		352-97-6	1.28	–	–	0.48	–	–	–	–	–	–
145	乙酰丙酸	甜味、焦糖、黄油味	123-76-2	–	–	1.41	–	–	–	1.78	–	–	–
	酸类(5种)			3.59	–	4.41	0.48	–	1.59	2.74	–	–	–
146	2-异丙基苯酚	酚醛	88-69-7	–	–	–	–	–	–	–	–	0.92	–
147	4-氨基-3-甲基苯酚		2835-99-6	–	–	–	–	1.18	–	–	–	–	–
	酚类(2种)			–	–	–	–	1.18	–	–	–	0.92	–
148	1-甲酰基吡咯烷		3760-54-1	–	–	–	–	–	–	–	1.00	–	–
149	杂氮环丁烷		503-29-7	0.75	–	–	–	–	–	–	–	–	–
150	羟基乙腈		107-16-4	–	0.04	0.09	–	–	–	–	–	0.04	–
151	氟乙酰胺		640-19-7	–	0.05	0.83	0.03	0.13	–	0.30	–	–	–
152	硫脲		62-56-6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.49
153	氮杂环壬烷		5661-71-2	–	–	–	–	–	–	1.67	–	–	–
154	左旋去甲麻黄碱		37577-28-9	–	–	–	1.71	–	–	–	–	–	–
155	4-溴-2,6-二氟苯胺		67567-26-4	–	–	–	1.24	–	–	–	–	–	–
156	3-环已烯-1-腈		1 -45-8	–	–	–	–	0.69	–	–	–	–	–
157	(苯基巯基)甲腈		5285-87-0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.08
158	2-氨基蒽		613-13-8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.91
159	2-氨基-3-甲基吡啶		1603-40-3	–	–	–	–	2.01	–	–	–	–	–
160	3,4-二甲基吡啶		583-58-4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.30
161	4-甲氨基吡啶		1121-58-0	–	–	–	–	0.49	–	–	–	0.56	–
162	2,6-二甲基-3-羟基吡啶		1122-43-6	–	–	–	–	–	–	1.70	–	–	–
163	二甲胺嗪		5214-29-9	–	–	–	–	4.32	–	–	–	–	–
164	苄基肼		555-96-4	–	0.42	–	–	–	–	0.24	–	–	–
165	异恶唑-5-胺		14678-05-8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.40
166	2-羟基-3-氰基吡啶		20577-27-9	–	–	–	–	–	–	1.02	–	–	–
167	二烯丙基胺	类似氨的气味	124-02-7	2.40	–	–	–	–	–	–	–	–	–
168	3,5-二氨基-1,2,4-三氮唑		503-88-8	–	–	–	–	0.73	–	–	–	–	–
169	5-甲基噻唑		3581-89-3	–	–	0.99	–	–	–	–	–	6.19	–
170	吲哚	花香	120-72-9	–	0.44	–	–	0.06	1.89	–	–	–	–
171	邻甲基苯腈		529-19-1	–	–	–	–	–	–	–	–	1.01	–
172	3-氨基苯乙炔		54060-30-9	–	–	–	–	–	–	2.30	–	–	–
173	2-甲基-5-氨基苯酚		2835-95-2	0.62	–	–	–	–	–	–	–	–	–
174	2-氨基-4,6-二甲基嘧啶		767-15-7	–	–	0.68	–	–	–	–	–	–	–
175	3-氟苄胺		1 -82-3	–	–	–	–	–	–	–	–	1.23	–
176	2-氟-4-甲基苯胺		452-80-2	–	–	–	–	–	–	3.02	–	–	–
177	N-甲基烯丙基胺		627-37-2	–	–	0.32	0.29	–	–	–	–	–	–
178	2-甲基四氢吡咯		765-38-8	–	–	–	0.14	0.19	–	–	–	–	–
179	5-氨基四氮唑		4418-61-5	0.20	–	–	–	–	0.04	–	–	–	–
180	丙酰胺		79-05-0	–	0.04	0.04	0.05	–	–	–	–	0.09	–
181	4-丁基-3-氨基硫脲		6610-31-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.32
	含氮类 (34种)			3.97	0.98	2.95	3.46	8.63	1.93	10.25	1.00	9.13	3.50
182	2,5-二甲基四氢呋喃		1 3-38-9	–	–	–	–	–	–	2.19	–	–	–
183	乙烯基甲醚		107-25-5	–	–	–	0.10	0.13	–	–	–	–	–

续表 3

序号	香气成分	香气特征	CAS	相对含量(%)									
				2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
184	4-异丙基甲苯	芳香味	99-87-6	–	–	–	–	–	–	2.73	–	1.50	–
185	1,2-环氧十二烷		2855-19-8	–	–	–	–	–	–	1.74	–	0.53	–
186	十四烷基环氧乙烷		7320-37-8	–	–	1.38	–	–	–	–	–	–	–
187	己酸酐		2051-49-2	–	–	–	–	–	6.59	–	–	–	–
188	2,5-二甲氧基-2,5-二氢呋喃		332-77-4	4.27	–	3.49	–	–	0.81	–	–	–	–
189	十八烷基乙烯基醚		930-02-9	–	0.05	0.24	0.30	–	0.43	–	–	–	–
190	正己基正辛醚		17071-54-4	–	–	–	0.17	–	–	0.66	–	0.02	–
191	1,3-二羟基-5-戊基苯		5 -66-3	–	–	–	1.16	–	–	–	–	–	–
192	环氧癸烷		2404-44-6	–	–	–	–	–	0.20	–	0.18	0.07	–
193	1,2-环氧十六烷		7320-37-8	–	–	–	0.05	–	–	0.26	–	0.05	–
其他类(12种)				4.27	0.05	5.12	1.79	0.13	8.04	7.57	0.18	2.17	–

注: “–”表示该成分未检出。

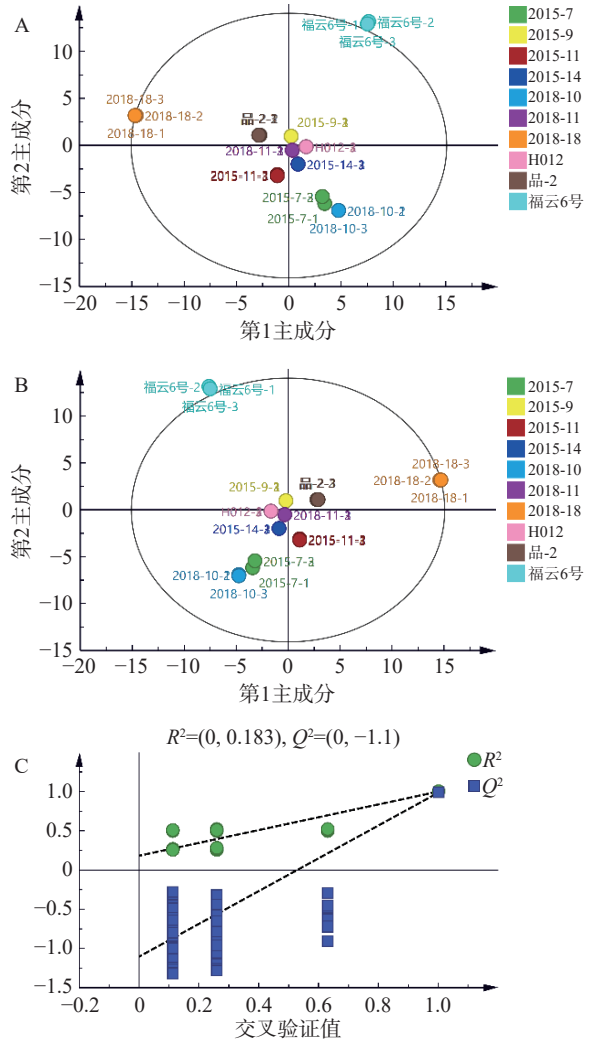


图 8 不同茶树品系绿茶香气成分的 PCA(A)、PLS-DA(B)与置换检验(C)

Fig.8 PCA (A), PLS-DA (B), and displacement test (C) of aroma components in green tea from different tea tree strains

对含量构建 PCA 模型(拟合参数: R^2_X=0.998, Q^2=0.985), 提取得到 9 个主成分, 其中主成分 1 和主成分 2 的方差贡献率分别为 16.6%、14.4%。由图 8B 可知, 基于 193 个香气成分建立的 PLS-DA 模型, 能够将 30 个绿茶样本按照品种(系)进行区分, R^2_X=0.998、R^2_Y=1、Q^2=0.999, 说明该模型对 10 份绿茶样本具有良好的稳定性和较好的预测能力。同时, 利用置换检验对该模型的建模效果进行考察, 结果如图 8C 所示, 经过 200 次交叉验证后, R^2=0.183, Q^2=−1.1, Q^2 为负值表明该模型可靠, 没有过拟合的现象。基于该模型, 为了进一步分析不同香气成分对区分不同品系绿茶的贡献率, 以 P<0.05 且 VIP>1 为标准, 筛选出 75 个差异香气成分(图 9)作为区分 10 份样本的标志差异香气成分。

关键香气成分对茶叶香气的贡献度并不能单独以含量作为评判依据, 通常影响茶叶香气特征是具有较高 ROAV 的香气成分[40]。根据已报道的香气成分香气阈值可计算 31 种差异香气成分的 ROAV, 以阈值较低(0.22 μg/kg)且相对含量较高的芳樟醇 ROAV 为 100, 进行差异香气成分 ROAV 的比较分析。关键香气成分(ROAV≥1)决定一个香气体系的大部分风味, 在一定范围内, ROAV 越大则该成分对总体香气的贡献度越大。如表 4 所示, 在 10 份绿茶样本的差异成分中筛选出 ROAV≥0.1 的差异香气成分 18 种, 其中 ROAV>1 的香气成分有 8 种, 分别为 1-戊醇、3-己烯-1-醇、1-辛烯-3-醇、苯甲醇、芳樟醇、香叶醇、十二醛、beta-紫罗兰酮, 表明这些香气成分是不同品系绿茶中的关键差异成分。芳樟醇在各品系绿茶样本的 ROAV 均为 100, 表明该成分对茶叶香气的影响最大, 且其香气特征为花香、甜香, 与绿茶香气评语中均含有花香或甜香相印证。十二醛(8.817)、beta-紫罗兰酮(14.541)、苯甲醇(4.782)等重要香气物质在 H012 中的 ROAV 普遍高于其他品系, 这可能对 H012 嫩栗香的形成有重要贡献及有助于提高香气得分。花香、青草香的 1-戊醇在 2015-9、2015-11、2015-14、2018-10、2018-18、品-2 中均被检测出, 且在 2015-11、2015-14、2018-10、2018-18 中 ROAV>1, 这可能是这部分品系绿茶香气得分较高的重要原因之一。2018-11 中苯甲醇(花香)ROAV(11.039)为所有品系中最高, 可能是 2018-11 嫩香、带花香的重要呈香物质, 亦是 2018-11 香气

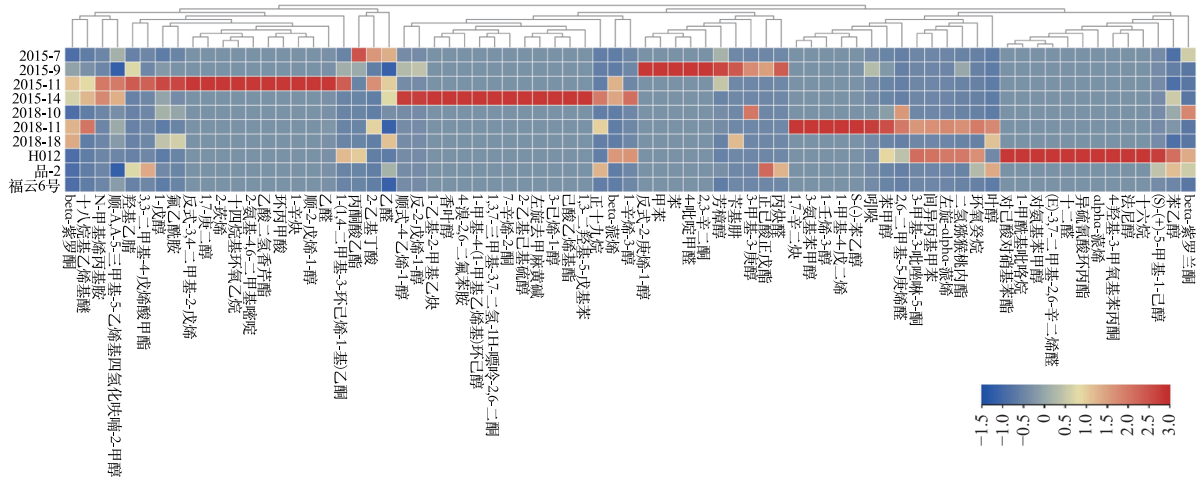


图 9　不同茶树品系绿茶的差异香气成分聚类热图

Fig.9　Clustering heat map of different aroma components of green tea from different tea strains

表 4　不同茶树品系绿茶的差异香气成分的 ROAV

Table 4　ROAVs of different aroma components of green tea from different tea strains

香气成分	香气特征	香气阈值[11,41−44]（μg/kg）	ROAV									
			2015-7	2015-9	2015-11	2015-14	2018-10	2018-11	2018-18	H012	品-2	福云6号
1-戊醇	花香、青草香	0.7	−	0.197	3.439	1.824	1.910	−	3.399	−	0.489	−
3-己烯-1-醇	绿叶	1.63	−	−	−	2.294	−	−	−	−	−	−
叶醇	青草香、绿叶	50	−	−	−	−	−	0.123	0.116	0.010	0.098	−
1-辛烯-3-醇	蘑菇、土香	1	−	−	−	2.713	−	−	−	1.659	−	−
苯甲醇	花香	2.54	−	0.185	−	−	1.348	11.039	−	4.782	−	−
顺-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	土香、花香、甜木香	100	0.034	−	0.064	0.147	0.038	0.058	0.061	0.031	−	0.074
芳樟醇	花香、甜香	0.22	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
苯乙醇	玫瑰花香	86	−	0.005	−	0.188	0.092	0.063	−	0.298	0.200	0.061
1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇	木香、刺激性、土香	6	−	−	−	0.403	−	−	−	−	−	−
香叶醇	甜花香、果味、玫瑰香、柑橘	6.6	−	−	−	1.965	−	−	−	−	−	−
法尼醇	花香	20	−	−	−	−	−	−	−	0.577	−	−
丙炔醛		2.8	−	0.047	−	−	−	−	−	−	0.147	−
正庚醛	草香、脂肪气息	3	0.436	−	0.302	0.783	0.250	−	0.950	0.148	0.399	−
十二醛	强烈脂肪香气	0.13	−	−	−	−	−	−	−	8.817	−	−
beta-紫罗酮	花香、木香	8.4	−	0.026	0.149	0.331	−	0.366	0.499	−	−	−
beta-紫罗兰酮	花香、木香、甜果味、浆果味	0.2	5.347	−	−	−	18.452	−	−	14.541	9.152	−
alpha-蒎烯	木质香、蜂蜜味	6	−	−	−	−	−	−	−	0.316	−	−
吲哚	花香	11	−	0.013	−	−	0.010	0.311	−	−	−	−

注：“−”表示无法计算ROAV值。

得分较高的重要原因。3-己烯-1-醇和香叶醇只在 2015-14 中被检测到，而且 ROAV>1，表明这两种挥发性物质对 2015-14 的香气具有重要贡献而且可能作为区别于其他品系的标志成分。感官审评中 2015-7、品-2 的香气得分最低的原因可能是气味较杂的正庚醛[41]（ROAV=0.436、0.399）在一定程度上影响了整体香气的协调性。

3　讨论

广西本地群体种选育的不同品系茶树鲜叶按同一工艺所制的绿茶感官品质特征各具特色，均适制绿茶，其中 H012、2018-11、2015-14、品-2 品系所制绿茶的感官审评总分均高于对照，表明这 4 个品系的整体感官品质更优，其滋味特征分别为醇爽、含香且醇尚厚、鲜醇、花香且浓醇尚厚，香气特征分别为浓郁嫩栗香、嫩香中带花香、花香浓郁持久、花香显，其中 2018-11、2015-14、品-2 品系在嫩香或花香型名优绿茶的开发方面值得关注，尤其值得注意的是基于栗香被广泛认为是名优绿茶的重要指标[5]，H012 在名优绿茶品种的筛选方面更值得关注。

茶叶的汤色与滋味品质是茶汤中茶多酚及其氧

化产物、氨基酸、黄酮、可溶性糖和生物碱等水溶性呈色、呈味物质对人体感官综合作用的结果，这些水溶性成分的含量与组成不同，则会表现出不同汤色、滋味等品质特征[37]。生化成分分析表明，不同茶树品种（系）鲜叶所制绿茶在生化成分的含量与组成上存在显著差异（P<0.05），且含量及其组成比例的高低排序在不同品系间表现不同，从而共同协调茶汤的整体滋味口感。例如 H012 的游离氨基酸含量突出，儿茶素品质指数也较高，可溶性糖、咖啡碱、水浸出物含量与酚氨比值适中，茶多酚、儿茶素总量、黄酮含量较低，从而形成汤色绿明亮、滋味醇爽含栗香的优异品质；品-2 则因茶多酚、咖啡碱、水浸出物含量与酚氨比值偏高、游离氨基酸含量偏低，形成滋味浓醇尚厚的品质特点。相关性分析表明滋味得分与游离氨基酸含量呈极显著正相关（P<0.01），而与茶多酚含量、酚氨比呈负相关，进一步表明了生化成分与感官品质的一致性。虽然相关性分析结果表明游离氨基酸含量与滋味得分呈极显著正相关，但关键呈味氨基酸尚未明确，有待进一步对不同品系茶树所制绿茶的氨基酸组成、含量进行测定，并结合味道强度值进行深入分析，明确关键呈味氨基酸。另外，H012 的酚氨比显著低于其余品系及对照（P<0.05），原因可能是茶树群体种为有性繁殖，在这个过程中出现了性状分化及不同子代株系之间内含物的差异。

香气成分分析结果表明，不同品系绿茶香气成分丰富多样，主要香气成分有芳樟醇、顺-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇、2,2,6-三甲基-6-乙烯基四氢-2H-呋喃-3-醇、苯乙醇、苯甲醛、壬醛、顺茉莉酮、beta-紫罗酮、水杨酸甲酯、(Z)-丁酸-3-己烯酯、己酸叶醇酯、(+)-柠檬烯等 12 种，具有栗香、花香、蜜香、木香等特征，构成了不同绿茶赋香的挥发性物质基础，该结果与感官审评结果较为一致，与已有文献[11,44] 报道的研究结果也基本一致，表明茶树品系具有形成茶叶香气品质的物质基础。不同品系绿茶香气成分的组成和含量差异明显，表明不同品系茶树所含的形成香气的前体物质基础及其含量可能不同。建立的 PLS-DA 模型能够将绿茶本进行有效区分，同时筛选出 75 个差异香气成分，结合 ROAV≥1，得到 8 个关键差异成分，这 8 个香气成分在不同绿茶样本中的 ROAV 均不同，促使绿茶形成不同的香气类型。然而差异成分中仍有 44 个未查询到水中的香气阈值，这些成分对不同品系绿茶香气的形成是否存在影响，有待进一步研究。

4 结论

本研究显示广西本地群体种选育的 9 个不同新品系茶树均适制绿茶，其中 H012、2018-11、2015-14、品-2 综合品质更优，感官审评均达到甲级标准且各具特色，具有开发不同风味名优绿茶的优势，结果能为广西本地群体种茶树种质资源的开发利用、名优绿茶原料的选择提供科学依据。基于绿茶品质还受茶树栽培模式、栽培环境及茶叶加工工艺等因素的影响，为更好地促进以上 4 个优势茶树品系资源的规模化推广应用，需进一步对这些茶树品系的宜栽地区、栽培模式、加工工艺等进行筛选和优化，以进一步稳定并提升其绿茶品质，实现名优绿茶的开发。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] KC Y, PARAJULI A, KHATRI B B, et al. Phytochemicals and quality of green and black teas from different clones of tea plant [J]. Journal of Food Quality, 2020, 2020(1): 8874271.

[2] MAO Xiangbing, XIAO Xiangjun, CHEN Daiwen, et al. Tea and its components prevent cancer: A review of the redox-related mechanism[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(21): 5249.

[3] XU Chunhui, LIANG Lu, LI Yuhao, et al. Studies of quality development and major chemical composition of green tea processed from tea with different shoot maturity[J]. LWT, 2021, 142: 111055.

[4] 李再兵. 绿茶主要品质成分的浸出动态及其与滋味感官评分的相关性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002. [LI Zaibing. Studies on the dynamic changes of the main quality components in green tea during brewing and the correlation between the components and the organolepeic evaluation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.]

[5] 尹洪旭, 杨艳芹, 姚月凤, 等. 基于气相色谱-质谱技术与多元统计分析对不同栗香特征绿茶判别分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 192−198. [YIN Hongxu, YANG Yanqin, YAO Yuefeng, et al. Discrimination of different characteristics of chestnut-like green tea based on gas chromatography-mass spectrometry and multivariate statistical data analysis[J]. Food Science, 2019, 40(4): 192−198.]

[6] LIN Yanping, WANG Ying, HUANG Yibiao, et al. Aroma identification and classification in 18 kinds of teas (*Camellia sinensis*) by sensory evaluation, HS-SPME-GC-IMS/GC×GC-MS, and chemometrics[J]. Foods, 2023, 12(13): 1−3.

[7] 李翔, 许彦, 冯婷婷, 等. 基于滋味品质的万州区主栽茶树品种绿茶差异分析[J]. 食品科学, 2024, 45(16): 131−139. [LI Xiang, XU Yan, FENG Tingting, et al. Differences in taste quality among green teas made from major cultivars in Wanzhou District, Chongqing[J]. Food Science, 2024, 45(16): 131−139.]

[8] 王海利, 杨秀芳, 孔俊豪, 等. 不同品种名优绿茶理化品质及挥发性成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 217−223. [WANG Haili, YANG Xiufang, KONG Junhao, et al. Analysis of physical and chemical indicators and aroma components of different green tea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(18): 217−223.]

[9] LI Jia, WANG Jiaqin, YAO Yuefeng, et al. Phytochemical comparison of different tea (*Camellia sinensis*) cultivars and its association with sensory quality of finished tea[J]. LWT, 2020, 117: 108595.

[10] CHEN Dan, SUN Zhen, GAO Jianjian, et al. Metabolomics combined with proteomics provides a novel interpretation of the compound differences among Chinese tea cultivars (*Camellia sinen-*

sis var. *sinensis*) with different manufacturing suitabilities[J]. Food Chemistry, 2022, 377: 131976.
[11] LI Yuchuan, RAN Wei, HE Chang, et al. Effects of different tea tree varieties on the color, aroma, and taste of Chinese Enshi green tea[J]. Food Chemistry: X, 2022, 14: 100289.
[12] 吴潜华, 庞月兰, 张凌云, 等. “十三五”以来广西茶叶产业发展概况及建议[J]. 南方农业, 2022, 16(15): 133−137. [WU Qianhua, PANG Yuelan, ZHANG Lingyun, et al. General situation and suggestions on the development of Guangxi tea industry since the "13th Five-Year Plan"[J]. South China Agriculture, 2022, 16(15): 133−137.]
[13] 秦春玲. 广西茶叶产业发展现状与对策[J]. 广西农学报, 2014, 29(1): 72−75. [QIN Chunling. Present situation and countermeasures of tea industry development in Guangxi[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2014, 29(1): 72−75.]
[14] 杨世雄. 广西的茶树资源[J]. 广西林业科学, 2021, 50(4): 414−416. [YANG Shixiong. Tea-plant (*Camellia* sect. *Thea*) in Guangxi, China[J]. Guangxi Forestry Science, 2021, 50(4): 414−416.]
[15] 苏锦兴. 福云 6 号等四个无性系茶树良种在广西推广 10 万亩[J]. 茶叶科学技术, 2000, 41(4): 6−7. [SU Jinxing. Four tea improved varieties of asex-ual generation have been extended one hundred thousand mus in Guangxi Province[J]. Tea Science and Technology, 2000, 41(4): 6−7.]
[16] 龚明寿, 陆超丽, 谢茂成, 等. 广西昭平县黄金茶 1 号引种适应性及适制性研究[J]. 世界热带农业信息, 2021(6): 35−39. [GONG Mingshou, LU Chaoli, XIE Maocheng, et al. Study on adaptability and adaptability of introduction of Huangjincha 1 in Zhaoping County, Guangxi[J]. World Tropical Agriculture Information, 2021(6): 35−39.]
[17] 乔明明, 张丽霞, 田月月, 等. 台湾金萱茶树品种引种及利用研究进展[J]. 中国茶叶, 2016, 38(11): 18−20. [QIAO Mingming, ZHANG Lixia, TIAN Yueyue, et al. Research progress on introduction and utilization of Jinxuan tea varieties in Taiwan, China[J]. China Tea, 2016, 38(11): 18−20.]
[18] 罗莲凤, 梁光志, 蓝庆江, 等. 茶树新品种桂热 2 号适制性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5): 239−241. [LUO Lianfeng, LIANG Guangzhi, LAN Qingjiang, et al. Study on adaptability of new tea variety Guire No. 2[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(5): 239−241.]
[19] 陈佳, 覃秀菊, 赖兆荣, 等. 桂香 18 号茶树新品种不同茶类适制性中试研究[J]. 广西农学报, 2014, 29(2): 21−24. [CHEN Jia, QIN Xiuju, LAI Zhaorong, et al. Pilotscale study of a new tea variety-"Guixiang No. 18" on its suitability for making different tea types[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2014, 29(2): 21−24.]
[20] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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, Standardization Administration of the People's Republic of China. Methodology for sensory evaluation of tea: GB/T 23776-2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
[21] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 茶 水浸出物测定: GB/T 8305-2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Tea-Determination of water extracts content: GB/T 8305-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.]
[22] 霍华珍, 蔡爱华, 郭春雨, 等. 不同品种毛茶水浸出物成分及抗氧化、降血糖活性研究[J]. 广西植物, 2023, 43(6): 1145−1154. [HUO Huazhen, CAI Aihua, GUO Chunyu, et al. Components, antioxidant and hypoglycemic activities of water extracts from different varieties of raw tea[J]. Guihaia, 2023, 43(6): 1145−1154.]
[23] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 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. [State Administration for Market Regulation, Standardization Administration 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.]
[24] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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, 2014. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Tea-Determination of free amino acids content: GB/T 8314-2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.]
[25] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 竹叶中多糖的检测方法: GB/T 40632-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. The determination for polysaccharides in bamboo leaves: GB/T 40632-2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.]
[26] LI Qin, HONG Xin, ZHENG Xuexue, et al. Characterization of key aroma compounds and core functional microorganisms in different aroma types of Liupao tea[J]. Food Research International, 2022, 152: 110925.
[27] 马士成, 王梦琪, 刘春梅, 等. 六堡茶挥发性成分中关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 191−197. [MA Shicheng, WANG Mengqi, LIU Chunmei, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of Liupao tea[J]. Food Science, 2020, 41(20): 191−197.]
[28] 缪伊雯, 周静芸, 杨春明, 等. 不同茶树品种寿眉白茶品质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(15): 283−294. [MIAO Yiwen, ZHOU Jingyun, YANG Chunming, et al. Analysis of quality in Shoumei white tea from different tea plant varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(15): 283−294.]
[29] 李家锋, 李国萍, 欧阳建, 等. 盈江大理种芽孢茶感官品质及滋味化学成分分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(16): 339−347. [LI Jiafeng, LI Guoping, OUYANG Jian, et al. Analysis on the sensory quality and taste's chemical composition of spore tea of Yingjiang *Camellia taliensis*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(16): 339−347.]
[30] 冯花, 王飞权, 陈荣冰, 等. 不同茶树新品系的武夷岩茶适制性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 173−184. [FENG Hua, WANG Feiquan, CHEN Rongbing, et al. Identification of suitability for Wuyi rock tea of different tea plant lines[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(23): 173−184.]
[31] 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 & Technology, 2023, 39(11): 242−252.]
[32] 刁佳雯, 徐慧, 马新月, 等. 没食子酸对脂多糖诱导的人 THP1 巨噬细胞炎症反应的抑制作用[J]. 中国比较医学杂志, 2024, 34(4): 41−53. [DIAO Jiawen, XU Hui, MA Xinyue, et al. Inhibition of lipopolysaccharide-induced inflammatory response by gallic

acid in human THP1 macrophages[J]. Chinese Journal of Comparative Medicine, 2024, 34(4): 41−53.]

[33] KOONYOSYING P, KONGKARNKA S, UTHAIPIBULL C, et al. Green tea extract modulates oxidative tissue injury in beta-thalassemic mice by chelation of redox iron and inhibition of lipid peroxidation[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 108: 1694−1702.

[34] ZAGURY Y, KAZIR M, LIVNEY Y D. Improved antioxidant activity, bioaccessibility and bioavailability of EGCG by delivery in *β*-lactoglobulin particles[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 52: 121−130.

[35] CHEN D Q, JI W B, GRANATO D, et al. Effects of dynamic extraction conditions on the chemical composition and sensory quality traits of green tea[J]. LWT, 2022, 169: 113972.

[36] ZHONG Ni, ZHAO Xi, YU Penghui, et al. Characterization of the sensory properties and quality components of Huangjin green tea based on molecular sensory-omics[J]. Foods, 2023, 12(17): 3234.

[37] 郑琳, 刘盼盼, 金孝芳, 等. 不同茶树品种(系)黄大茶的品质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 310−318. [ZHENG Lin, LIU Panpan, JIN Xiaofang, et al. Quality analysis of large-leaf yellow tea made from different tea cultivars(strains)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 310−318.]

[38] ZHU Yin, LÜ Haipeng, SHAO Chenyang, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. Food Research International, 2018, 108: 74−82.

[39] SUN Lingli, WEN Shuai, ZHANG Suwan, et al. Study on flavor quality formation in green and yellow tea processing by means of UPLC-MS approach[J]. Food Chemistry: X, 2024, 22: 101342.

[40] 邵淑贤, 徐梦婷, 林燕萍, 等. 基于电子鼻与 HS-SPME-GC-MS 技术对不同产地黄观音乌龙茶香气差异分析[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 232−239. [SHAO Shuxian, XU Mengting, LIN Yanping, et al. Differential analysis of aroma components of Huangguanyin Oolong tea from different geographical origins using electronic nose and headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2023, 44(4): 232−239.]

[41] 王欢欢, 秦慕雪, 胡兴明, 等. 不同品种鲜叶原料对恩施玉露茶品质的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(24): 161−169. [WANG Huanhuan, QIN Muxue, HU Xingming, et al. Effects of different tea varieties on the quality of Enshi Yulu tea[J]. Food Science, 2024, 45(24): 161−169.]

[42] GEMERT L J V. Odour thresholds[M]. Houten: Karaat Grafimedia Bv, 2011: 1−486.

[43] 张磊, 俞滢, 梁子钧, 等. 茶树新品系‘福黄 1 号’白茶的特征香气成分及其在加工过程中的动态变化[J]. 食品科学, 2024, 45(22): 134−145. [ZHANG Lei, YU Ying, LIANG Zijun, et al. Characteristic aroma compounds of white tea made from 'Fuhuang 1', a new tea strain, and their dynamic changes during processing[J]. Food Science, 2024, 45(22): 134−145.]

[44] YANG Hui, SHEN Lan, LI Yuren, et al. Non-targeted metabolomic analysis reveals the mechanism of quality formation of *Citrus* flower-green tea[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(10): 5807−5815.