



白化和黄化茶树品种绿茶游离氨基酸、儿茶素类及咖啡碱差异分析

徐玉婕, 戴晓晶, 吴纪忠, 刘亚芹, 周汉琛, 杨霁虹, 王辉, 黄建琴, 丁勇, 雷攀登

引用本文:

徐玉婕,戴晓晶,吴纪忠,刘亚芹,周汉琛,杨霁虹,王辉,黄建琴,丁勇,雷攀登. 白化和黄化茶树品种绿茶游离氨基酸、儿茶素类及咖啡碱差异分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(5): 643–652.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4642>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

白茶对弹性蛋白酶活性的抑制研究

Studies on Anti-elastase Activity of White Tea

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 293–300 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4282>

'柿大茶'品系间芳香类物质、儿茶素及游离氨基酸差异分析

Analysis of Aromatics, Catechins and Free Amino Acids in Different Strains of 'Shida Tea'

热带亚热带植物学报. 2018, 26(3): 302–308 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3809>

油茶砧和茶穗嫁接后苗期叶片形态和次级代谢物含量的变化

Changes in Morphological Characters and Secondary Metabolite Contents in Leaves of Grafting Seedlings with *Camellia sinensis* as Scions and *C. oleifera* as Stocks

热带亚热带植物学报. 2017, 25(1): 35–42 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3641>

43个福建省茶树品种指纹图谱构建及遗传多样性分析

Constructing Fingerprints and Analyzing Genetic Diversity of 43 Tea Cultivars in Fujian Province

热带亚热带植物学报. 2017, 25(6): 579–586 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3743>

升振山姜茎的黄酮类成分

Flavonoids from the Stems of *Alpinia hainanensis* 'Shengzhen'

热带亚热带植物学报. 2017, 25(5): 517–522 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3736>

向下翻页，浏览PDF全文

白化和黄化茶树品种绿茶游离氨基酸、儿茶素类及咖啡碱差异分析

徐玉婕¹, 戴晓晶², 吴纪忠², 刘亚芹¹, 周汉琛¹, 杨霁虹¹, 王辉¹,
黄建琴¹, 丁勇¹, 雷攀登^{1*}

(1. 安徽省农业科学院茶叶研究所, 安徽 黄山 245000; 2. 广德市农业农村局, 安徽 宣城 242200)

摘要: 为探究以白化和黄化茶树品种鲜叶为原料制成的绿茶滋味品质和代谢物差异, 对广德市 6 个白化品种绿茶(奶白茶)和 14 个黄化品种绿茶(黄金芽茶)进行感官审评和代谢物分析。结果表明, 奶白茶滋味鲜爽而收敛性略弱; 黄金芽茶滋味收敛性强而鲜度低于奶白茶。游离氨基酸总量以及呈现鲜味、甜味的游离氨基酸在奶白茶中的含量显著高于黄金芽茶, 而贡献收敛性的儿茶素类化合物和没食子酸含量以及呈现苦味的咖啡碱含量在奶白茶中显著低于黄金芽茶。偏最小二乘法判别分析(PLS-DA)表明导致两种绿茶滋味差异的标志性化合物有 7 种, 分别是茶氨酸、精氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯和咖啡碱。味觉活性值(Dot)最高的 EGCG 在黄金芽茶中的呈味贡献显著高于奶白茶。因此, 游离氨基酸、儿茶素类化合物、没食子酸和咖啡碱含量差异导致白化和黄化茶树品种绿茶滋味不同。

关键词: 茶树; 白化茶树; 黄化茶树; 绿茶; 滋味成分

doi: 10.11926/jtsb.4642

Differences of Free Amino Acids, Catechins and Caffeine Between Albino and Etiolated Tea Varieties

XU Yujie¹, DAI Xiaojing², WU Jizhong², LIU Yaqin¹, ZHOU Hanchen¹, YANG Jihong¹, WANG Hui¹,
HUANG Jianqin¹, DING Yong¹, LEI Pandeng^{1*}

(1. Tea Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Huangshan 245000, Anhui, China; 2. Guangde Agricultural and Rural Bureau, Xuancheng 242200, Anhui, China)

Abstract: Green teas processed from shoots of albino tea varieties have an umami taste and premium qualities. In order to explore the taste quality and metabolite differences of green tea made from fresh leaves of albino and etiolated tea varieties, sensory evaluation and metabolite analysis were studied on 6 albino green tea varieties (milk white tea, NB) and 14 etiolated green tea varieties (golden tea, HJY) in Guangde City. Sensory evaluation showed that NB green teas taste fresh and convergence was slightly weak; the taste of HJY green tea had strong convergence and the freshness was lower than that of NB green tea. The total amount of free amino acids and the content of free amino acids with fresh and sweet taste in NB green teas were significantly higher than those in HJY green teas, while the contents of catechins and gallic acids contributing to convergence and the contents of bitter caffeine in NB green tea were significantly lower than those in HJY green teas. The partial least squares

收稿日期: 2022-03-28 接受日期: 2022-07-09

基金项目: 安徽省农业科学院青年英才计划(QNYC-202119); 安徽省“广德黄金芽茶产业+金融+科技”发展试点项目; 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-19)资助

This work was supported by the Project for Youth Talent in Anhui Academy of Agricultural Sciences (Grant No. QNYC-202119), the Project for “Industry + Finance + Technology of Guangde Huangjinya Tea” Development Pilot in Anhui, and the Special Project for Building the National Modern Agricultural Industrial Technology System (Grant No. CARS-19).

作者简介: 徐玉婕(1996年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为茶叶加工与品质化学。E-mail: xyujie96@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lpteagle@126.com

discriminant analysis showed that there were 7 signature compounds leading to the taste difference between the two green teas, which were theanine, arginine, glutamic acid, aspartate, epigallocatechin gallate (EGCG), epicatechin gallate and theobromine. The contribution of EGCG with the highest dose-over-threshold (Dot) to the flavor of HJY green tea was significantly higher than that of NB green tea. Therefore, the differences in contents of free amino acids, catechins, gallic acids and theophylline caused the different taste of albino and etiolated tea varieties.

Key words: *Camellia sinensis*; Albino tea; Etiolated tea; Green tea; Taste compound

白化和黄化茶树是在特定环境下因叶绿体合成受阻,新梢色泽呈现不同程度白化或黄化的叶色突变体,具有一定的遗传稳定性,是我国重要的茶树特异种质资源^[1-2]。根据其对环境响应不同,可分为低温敏感型和光照敏感型,15℃下‘小雪芽’嫩梢为白色,温度升高,叶片复绿;‘黄金芽’在自然光下发出黄色嫩梢,遮荫后叶片复绿^[3-5]。白化和黄化茶树品种在发育过程中的特征代谢物积累和代谢调控显著区别于正常叶色品种,其游离氨基酸及茶氨酸含量显著富集,而儿茶素和咖啡碱等含量显著降低^[6-8]。因此,以白化和黄化茶树品种鲜叶为原料制作的绿茶,口感更加鲜爽且苦涩味降低。

茶汤滋味是评价茶叶品质的一个重要因素。游离氨基酸、多酚类、嘌呤碱、有机酸、多糖等滋味物质的含量和比例决定茶汤滋味。不同滋味物质由于其各自的味感阈值及在茶汤中的不同含量而对茶汤滋味构成有不同程度的贡献^[9]。Zhang 等^[10]的研究表明,黄酮醇-*O*-糖苷、单宁和酯型儿茶素是贡献茶汤涩味的主要化合物,而咖啡碱和非酯型儿茶素会增强茶汤的苦味。此外,L-茶氨酸、琥珀酸、没食子酸对茶汤鲜味的贡献较大。茶汤中的滋味物质间存在味觉上的相互作用,表没食子儿茶素没食子酸酯能协同提高咖啡碱的苦味和涩味,抑制蔗糖的甜味^[11]。L-茶氨酸、琥珀酸和没食子酸可以增强茶汤中 L-谷氨酸钠的鲜味^[12]。丰富的滋味物质和不同化合物的味觉相互作用造成茶汤口感各异。

白化/黄化品种叶片中化合物含量的差异与茶树生长发育过程中的代谢调控密切相关。Lu 等^[13]对白化叶片和对照叶片进行 RNA 测序和差异表达基因分析,结果表明白化叶片中叶绿体的缺失可能破坏了碳氮代谢的平衡,导致游离氨基酸大量积累,而多酚含量较低。低温敏感型品种‘安吉白茶’在白化期间可溶性蛋白含量降低,游离氨基酸含量升高^[14]。Dong 等^[15]的研究表明,白化诱导之后的黄色叶片比正常绿叶中香气代谢物含量显

著降低。白化茶树品种‘小雪芽’白化期咖啡碱、儿茶素类化合物的含量明显低于绿叶期^[16]。这些代谢物积累的不同造成所制成品茶的品质特征具有差异。

本研究比较了白化品种鲜叶所制的奶白茶和黄化品种鲜叶所制的黄金芽茶滋味差异,并分析了二者的主要滋味化合物含量,并进一步探究造成白化和黄化茶树品种绿茶滋味不同的差异化合物,为研究白化和黄化茶树品种绿茶品质形成的机理提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 样品与试剂

供试绿茶样品均于 2021 年 3 月—4 月产自安徽省广德市不同地区,原料为一芽一、二叶,按鲜叶来源分为奶白茶(白化品种, NB1~NB6)和黄金芽茶(黄化品种, HJY1~HJY14)。均按照理条杀青-摊凉-理条做形-干燥的加工工艺制成。

游离氨基酸标准品(德国 SYKAM 公司);茶氨酸标准品(北京百灵威科技有限公司);儿茶素单体和咖啡碱标准品(美国 SIGMA 公司);色谱级 85% 磷酸(ROE 公司);色谱级甲醇和乙腈(Thermo Fisher 公司);屈臣氏蒸馏水(规格 500 mL/瓶);高效液相色谱仪(Chromaster, 日本日立公司);氨基酸分析仪(S-433D, 德国 SYKAM 公司)。

1.2 感官审评方法

审评小组由 9 名专业审评人员组成,对审评人员进行味觉训练,并对 20 个绿茶样品进行预审评。参照张翔等^[17]的方法,将绿茶滋味划分为鲜度、浓度、强度和协调度 4 项因子,评分标准见表 1。参照国家茶叶感官审评标准 GB/T 23776—2018,准确称取 3.0 g 绿茶样品,置于 150 mL 审评杯中,用 100℃沸水冲泡 4 min,滤出茶汤后由 9 名专业审评人员进行感官审评。

表 1 绿茶滋味因子感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of green tea taste factor

滋味因子 Taste factor	感官评分标准 Sensory scoring criteria	备注 Remark
鲜度	鲜 8~10, 较鲜 6~8, 一般 4~6, 较弱 2~4, 弱<2	入口高鲜、回味爽洁的程度
浓度	浓 8~10, 较浓 6~8, 一般 4~6, 较弱 2~4, 弱<2	内含物层次丰富的程度
强度	强 8~10, 较强 6~8, 一般 4~6, 较弱 2~4, 弱<2	收敛性的强弱程度
协调度	协调 8~10, 较协调 6~8, 一般 4~6, 较弱 2~4, 弱<2	口感协调、配比适度的程度

1.3 茶汤的制备

参照周汉琛等^[18]的方法制备待测茶汤, 准确称取 0.250 0 g 磨碎茶样装入茶包, 热封口后置于具塞 25 mL 三角瓶, 加 8 mL 沸水, 90 ℃水浴 7 min, 重复提取 3 次后定容至 25 mL。提取液分别稀释 10 和 4 倍, 并用 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 用于儿茶素组分与咖啡碱、游离氨基酸含量分析。每个样品均 3 次重复。

1.4 游离氨基酸含量的测定

参照周汉琛等^[19]的方法测定, 色谱柱为 LCA K07/Li, 柱温为 38 ℃~74 ℃, 梯度升温; 流动相 A 为 pH 2.9 柠檬酸锂溶液, 流动相 B 为 pH 4.2 柠檬酸锂溶液, 流动相 C 为 pH 8.0 柠檬酸锂溶液; 洗脱泵流速为 0.45 mL/min, 衍生泵流速为 0.25 mL/min, 进样量 50 μL。以标准品响应面积计算游离氨基酸含量。

1.5 儿茶素组分和咖啡碱含量的测定

采用高效液相色谱法测定, 色谱柱为 InfintyLab Proshell 120 SB-C18 (2.7 μm, 150 mm×4.6 mm, Agilent 公司)。流动相 A 为 0.04%磷酸溶液, 流动相 B 为乙腈, 流动相 C 为甲醇, 流速 1.0 mL/min, 紫外检测器波长 280 nm; 柱温 40 ℃。梯度洗脱程序为: 初始流动相 90% A+7.5% B+2.5% C, 保持 1 min; 85% A+11.2% B+3.8% C, 保持 22 min; 15% A+85% B, 保持 13 min; 90% A+7.5% B+2.5% C, 保持 25 min。以标准品绘制标准曲线, 计算儿茶素及咖啡碱含量。

1.6 数据的统计分析

利用 SPSS 20.0 软件进行 ANOVA 计算, 采用 Duncan (D)方差分析法对样品中代谢物含量差异进行分析($P<0.05$); 利用 SMICA.P 软件对主要滋味化合物进行偏最小二乘法判别(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)分析; 采用 TB tools 对样品中化合物组分含量进行热图分析。

2 结果和分析

2.1 感官审评结果分析

由专业审评人员对奶白茶和黄金芽茶的干茶、

叶底、汤色进行审评(图 1)。两种绿茶外形相似, 呈朵形, 嫩绿微黄, HJY4、HJY5 的干茶色泽偏绿。奶白茶的汤色嫩绿明亮, 黄金芽茶汤色嫩绿或浅黄绿色; 2 种绿茶芽较肥壮, 奶白茶叶底呈现玉白色, 黄金芽茶叶底呈现玉黄色。NB6 较其他奶白茶和黄金芽茶叶底和汤色偏黄。

对奶白茶和黄金芽茶茶汤的 4 项滋味因子进行审评, 二者在滋味上呈现不同的特征(表 2)。奶白茶的鲜味特征更加明显, 鲜度评分为(8.61±0.38)~(9.67±0.26), 黄金芽茶为(5.69±1.24)~(8.24±1.15)。黄金芽茶的强度特征更加明显, 即收敛性更强, 强度评分为(6.14±0.94)~(7.99±0.5), 奶白茶为(3.82±0.64)~(4.61±0.66)。奶白茶和黄金芽茶的浓度评分分别为(5.96±1.06)~(6.8±1.1)和(5.76±0.83)~(7.63±0.62), 协调度评分分别为(8.18±0.56)~(9.19±0.48)和(6.92±0.56)~(8.84±0.48)。

2.2 关键滋味化合物含量分析

对奶白茶和黄金芽茶的关键滋味成分游离氨基酸、儿茶素类化合物以及咖啡碱的含量进行测定, 结果表明 2 种绿茶的主要滋味成分的含量存在差异。

游离氨基酸是茶叶呈现鲜味的重要物质, 其中茶氨酸是茶叶中特有的游离氨基酸, 也是茶叶中含量最高的游离氨基酸, 占游离氨基酸总量的 50%~70%^[20-21]。从图 2 可见, 奶白茶和黄金芽茶中共测定了 16 种游离氨基酸, 奶白茶游离氨基酸总量和茶氨酸含量显著高于黄金芽茶($P<0.05$)。

儿茶素类化合物是茶叶苦涩味和收敛性的重要来源, 从奶白茶和黄金芽中共检测了 6 种儿茶素, 分别为表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、表儿茶素(epicatechin, EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)和表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG), 奶白茶的儿茶素总量、酯型儿茶素含量显著低于黄金芽茶($P<0.05$), 非酯型儿茶素含量的差异不显著($P>0.05$)(图 3)。

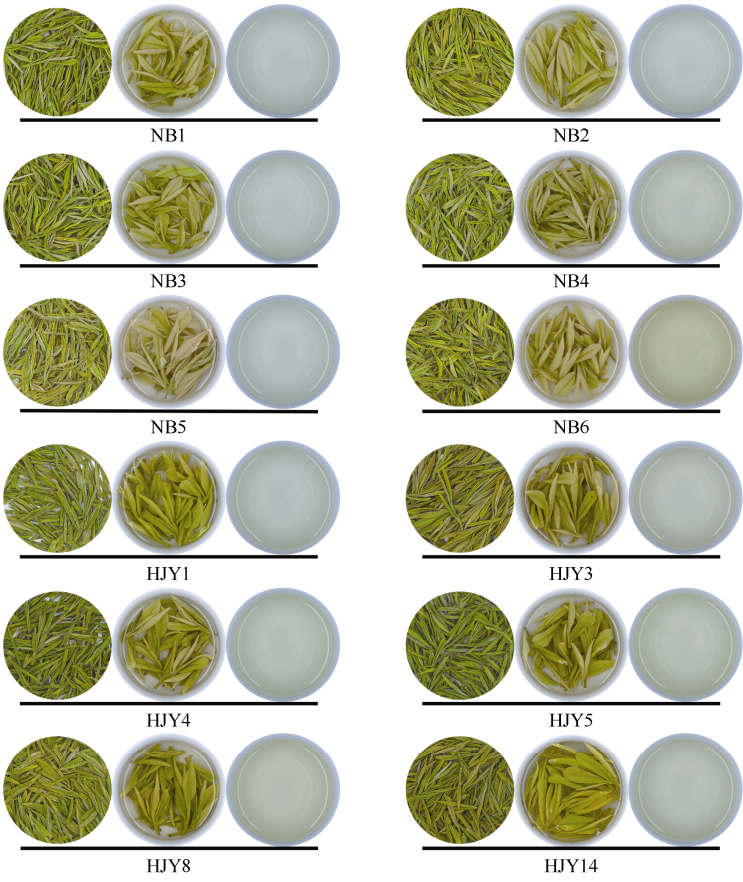


图 1 奶白茶和黄金芽茶的干茶、叶底和汤色。NB1~NB6: 奶白茶; HJY1~HJY14: 黄金芽茶。下同
Fig. 1 Dry tea, leaf after brewing and soup color of Naibai and Huangjinya. NB1~NB6: Naibai; HJY1~HJY14: Huangjinya. The same below

表 2 滋味评分

样品 Sample	鲜度 Umami	浓度 Concentration	强度 Intensity	协调度 Coordination
NB1	9.23±0.24	6.10±1.09	4.14±0.80	8.72±0.47
NB2	9.67±0.26	5.96±1.06	3.94±0.74	9.02±0.48
NB3	9.48±0.30	6.29±1.06	3.82±0.64	9.19±0.48
NB4	8.61±0.38	6.80±1.10	4.37±0.66	8.18±0.56
NB5	8.80±0.23	6.59±1.14	4.61±0.66	8.32±0.54
NB6	9.31±0.26	6.2±1.09	4.19±0.81	8.83±0.46
HJY1	6.68±1.06	6.84±0.71	7.18±0.71	7.80±0.55
HJY2	8.12±1.17	7.01±0.63	6.41±0.95	8.84±0.48
HJY3	5.99±1.14	5.76±0.83	6.84±0.89	6.92±0.56
HJY4	8.24±1.15	6.04±0.80	6.32±0.97	8.71±0.46
HJY5	7.86±1.14	6.83±0.74	6.92±0.66	8.16±0.54
HJY6	7.81±1.13	7.43±0.56	7.99±0.50	8.29±0.46
HJY7	6.31±1.07	6.41±0.76	7.76±0.53	7.13±0.49
HJY8	7.42±1.09	6.23±0.77	6.53±0.88	8.43±0.55
HJY9	6.92±1.08	6.53±0.73	6.14±0.94	7.52±0.48
HJY10	7.19±1.37	6.67±0.81	7.26±0.74	7.81±0.46
HJY11	7.62±1.09	7.63±0.62	7.43±0.65	8.04±0.49
HJY12	7.49±1.17	6.97±0.72	7.10±0.66	7.67±0.47
HJY13	7.07±1.09	7.14±0.59	7.63±0.56	7.53±0.71
HJY14	5.69±1.24	5.86±0.83	7.02±0.81	7.32±0.50

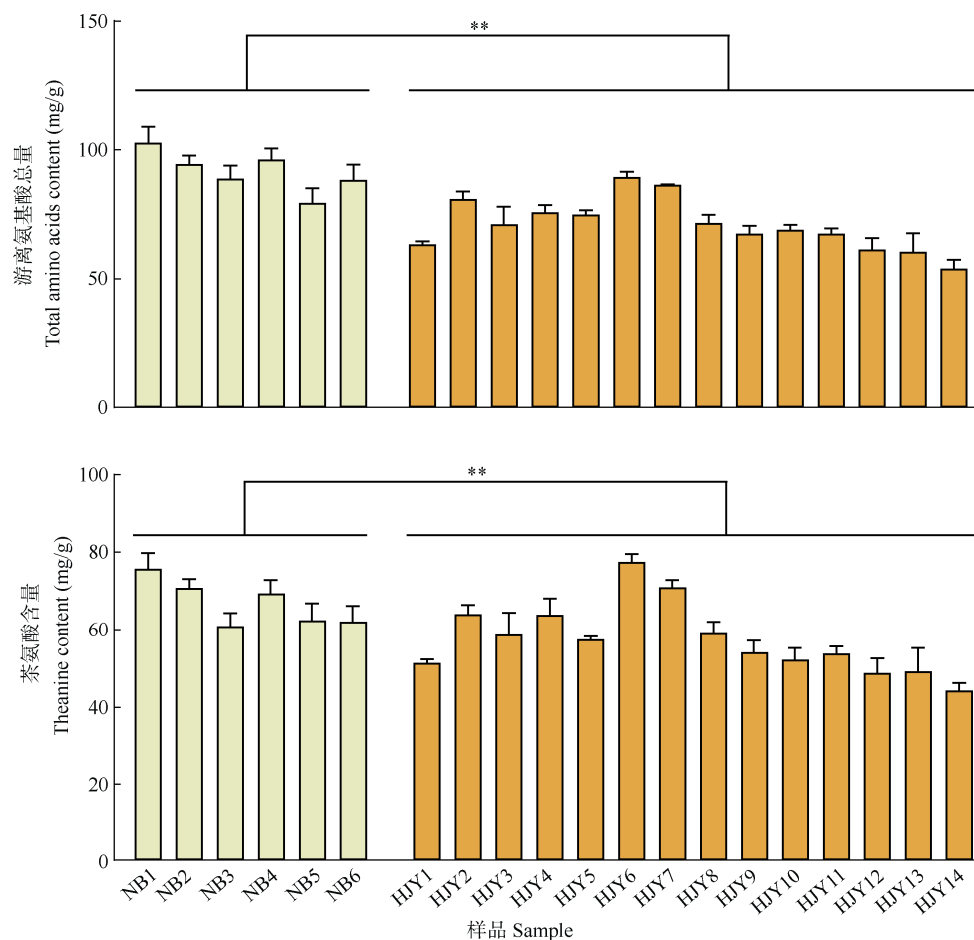


图2 绿茶中游离氨基酸总量和茶氨酸含量。**: $P < 0.01$ 。

Fig. 2 Contents of free amino acids and theanine in green tea. **: $P < 0.01$.

对6种奶白茶和14种黄金芽茶中的滋味物质含量均值进行分析(图4)。奶白茶中游离氨基酸总量、茶氨酸总量显著高于黄金芽茶($P < 0.05$), 黄金芽茶的儿茶素总量以及酯型儿茶素总量显著高于奶白茶($P < 0.05$), 非酯型儿茶素的含量没有显著差异($P > 0.05$), 其中酯型儿茶素的含量差异最大, 奶白茶为27.78 mg/g, 而黄金芽茶达到57.10 mg/g, 是奶白茶的2倍多。

对16种游离氨基酸、6种儿茶素类化合物、没食子酸和咖啡碱含量进行热图分析(图5), 结果表明奶白茶和黄金芽茶的游离氨基酸组分和儿茶素类化合物组分存在显著差异。鲜味氨基酸(茶氨酸、天冬氨酸、谷氨酸)和甜味氨基酸(苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸)在奶白茶中的含量明显高于黄金芽茶。而苦味氨基酸在黄金芽茶中含量更高, 比如缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸3种苦味氨基酸在HJY5、HJY10中含量明显高于6种奶白茶。酯型儿茶素EGCG和ECG在奶白茶中的含量明显低于黄金芽茶, 酯型儿茶素GCG和儿茶素单体C在奶白茶中的含量明显

高于黄金芽。没食子酸和咖啡碱在奶白茶中的含量明显低于黄金芽茶, 除了HJY12、HJY13和HJY14的咖啡碱含量略低于奶白茶。

2.3 关键滋味化合物的差异分析

通过偏最小二乘法判别法(PLS-DA)分析两种绿茶滋味化合物差异, 以VIP > 1且 $P < 0.05$ 筛选差异化合物, 结果表明, 两种绿茶在游离氨基酸和儿茶素类化合物(包括没食子酸和咖啡碱)存在显著差异(图6: A, B)。通过PLS-DA共筛选出7个差异化合物, 包括4个游离氨基酸、2个儿茶素类化合物和咖啡碱。差异游离氨基酸分别为茶氨酸、精氨酸、谷氨酸、天冬氨酸, 其中茶氨酸在两种绿茶中的差异最为显著, VIP值达到2.5(图6: C); 产生差异的儿茶素类化合物分别为酯型儿茶素EGCG和ECG, 其中, EGCG的差异最为显著, VIP值为2(图6: D)。

2.4 关键滋味化合物与呈味贡献分析

味觉活性值(does-over-threshold, Dot)是指某一滋味成分浓度与其滋味阈值的比值, 一般认为Dot > 1

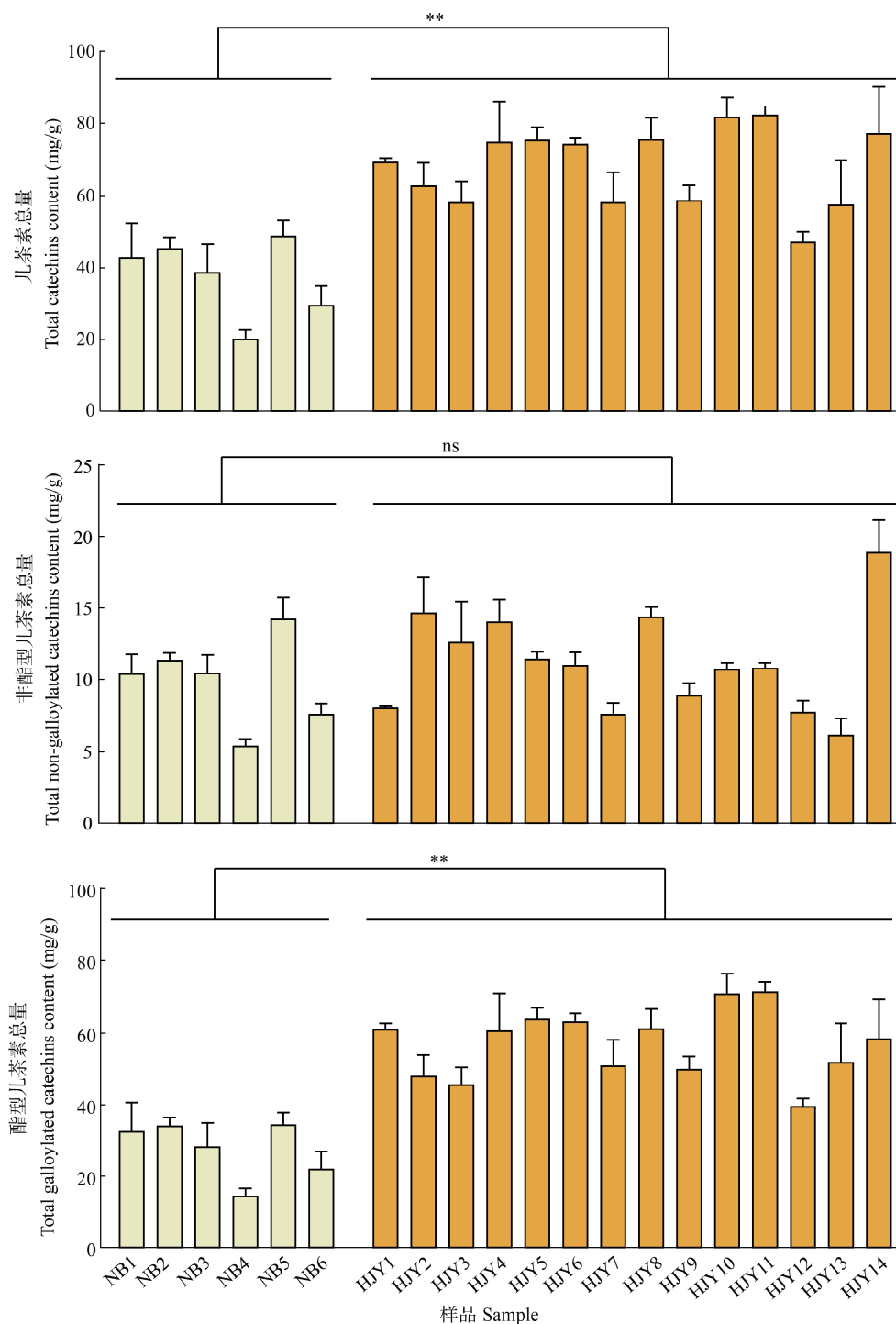


图 3 绿茶中儿茶素类化合物、非酯型儿茶素和酯型儿茶素含量。**: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$ 。

Fig. 3 Contents of catechins, non-ester catechins and ester catechins in green tea. **: $P < 0.01$; ns: $P > 0.05$.

的滋味物质对茶汤呈味有显著贡献。采用 Dot 值对化合物在茶汤中的滋味贡献进行量化, 滋味阈值来源于 Scharbert 等^[22]和 Hufnagel 等^[23]。表 3 为 Dot 值大于 1 的化合物, 分别为 EGCG、ECG、EGC、EC、GA 和 CAF, 这表明茶汤中 EGCG、ECG、EGC 和 CAF 的浓度均高于滋味阈值。Dot 值最高的化合物

是 EGCG 和 CAF, 分别为 8.11~39.35 和 11.55~19.66, 表明 EGCG、CAF 为茶汤中苦涩味的主要贡献物质。此外, ECG 和 EGC 对茶汤滋味也有较大贡献。EGCG 和 ECG 在黄金芽中的 Dot 值明显高于奶白茶, 二者在奶白茶中的 Dot 值分别为 8.11~19.74 和 1.38~3.09; 在黄金芽茶中分别为 21.01~39.35 和 4.50~

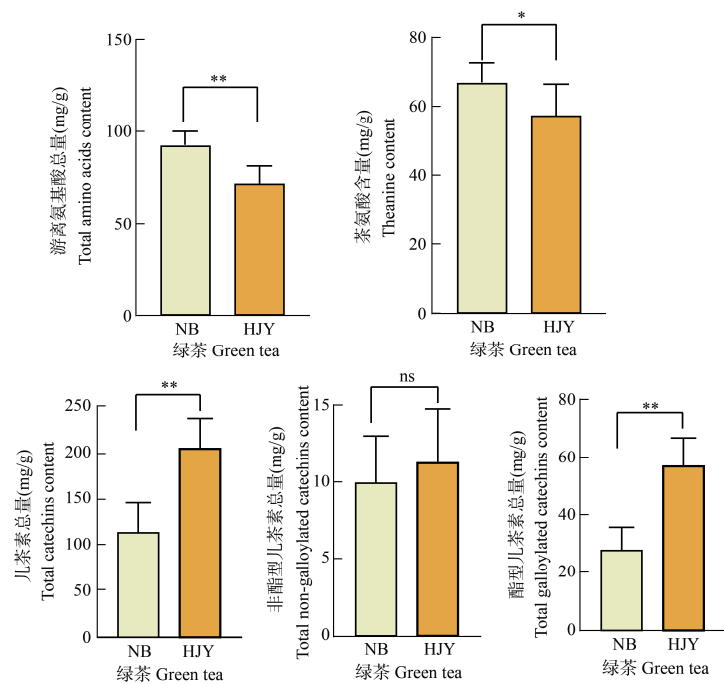


图 4 绿茶中滋味物质含量。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$

Fig. 4 Contents of taste substances in green tea. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$

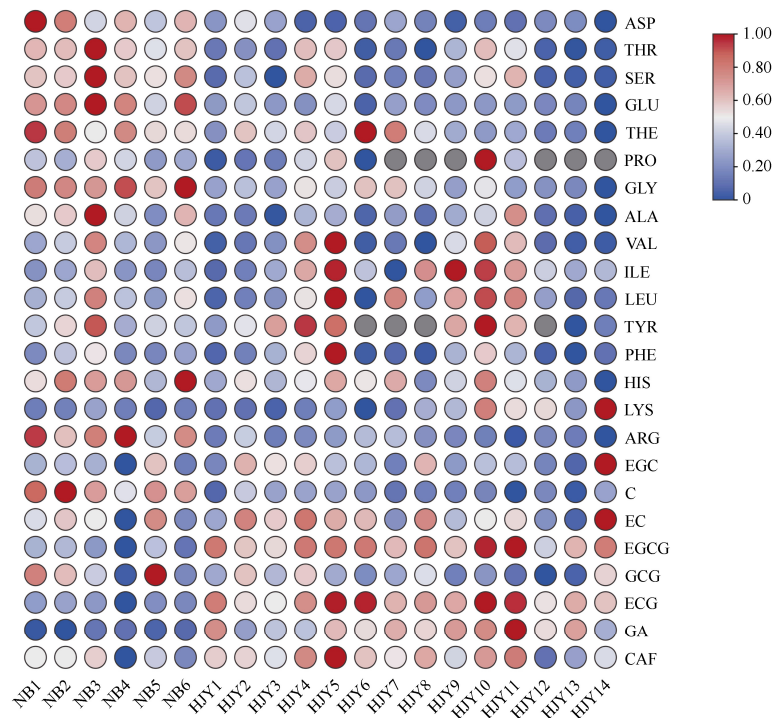


图 5 绿茶中游离氨基酸和儿茶素类化合物含量的热图分析。THE: 茶氨酸; ASP: 天冬氨酸; THR: 苏氨酸; SER: 丝氨酸; GLU: 谷氨酸; GLY: 甘氨酸; ALA: 丙氨酸; VAL: 缬氨酸; ILE: 异亮氨酸; LEU: 亮氨酸; PHE: 苯丙氨酸; HIS: 组氨酸; LYS: 赖氨酸; ARG: 精氨酸; EGC: 表没食子儿茶素; C: 儿茶素; EC: 表儿茶素; EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯; GCG: 没食子儿茶素没食子酸酯; ECG: 表儿茶素没食子酸酯; GA: 没食子酸; CAF: 咖啡碱。下同

Fig. 5 Heat map of contents of free amino acids and catechins compounds in green tea. THE: Theanine; ASP: Aspartic acid; THR: Threonine; SER: Serine; GLU: Glutamic acid; GLY: Glycine; ALA: Alanine; VAL: Valine; ILE: Isoleucine; LEU: Leucine; PHE: Phenylalanine; HIS: Histidine; LYS: Lysine; ARG: Arginine; EGC: Epigallocatechin; C: Catechin; EC: Epicatechin; EGCG: Epigallocatechin gallate; GCG: Gallocatechin gallate; ECG: Epicatechin gallate; GA: Gallic acid; CAF: Caffeine. The same below

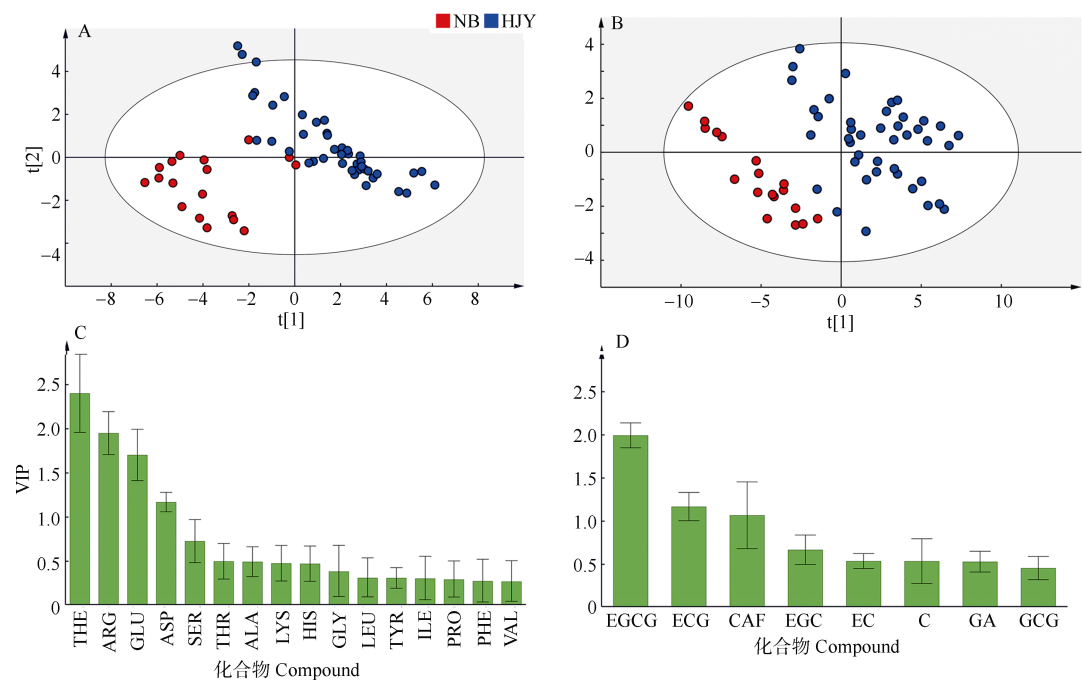


图 6 绿茶中游离氨基酸和儿茶素类化合物的 PLS-DA 分析(A, B)和 VIP 值(C, D)
Fig. 6 PLS-DA analysis (A, B) and VIP values (C, D) of free amino acids and catechins compounds in green tea

表 3 Dot 值>1 的化合物

样品 Sample	表没食子儿茶 素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate	表儿茶素 没食子酸酯 Epicatechin gallate	表没食子 儿茶素 Epigallocatechin	表儿茶素 Epicatechin	没食子酸 Gallic acid	咖啡碱 Caffeine
NB1	18.14	2.91	2.31	0.87	0.80	15.60
NB2	18.91	3.09	2.44	0.99	0.78	15.64
NB3	15.42	2.87	2.28	0.91	0.99	16.19
NB4	8.11	1.38	1.13	0.48	0.96	11.55
NB5	19.74	2.65	3.32	1.13	0.88	14.79
NB6	11.51	2.54	1.65	0.64	0.92	13.01
HJY1	33.71	6.37	1.77	0.72	2.12	16.20
HJY2	26.64	4.72	3.49	1.15	1.23	16.10
HJY3	25.15	4.50	3.04	0.98	1.45	15.30
HJY4	33.56	6.01	3.22	1.19	1.44	17.72
HJY5	33.86	7.53	2.48	1.05	1.89	19.66
HJY6	33.55	7.47	2.36	1.02	1.74	16.43
HJY7	27.58	5.38	1.69	0.67	1.95	15.73
HJY8	34.24	5.82	3.45	1.14	1.77	17.02
HJY9	26.85	5.58	2.00	0.78	2.05	15.04
HJY10	38.66	7.59	2.46	0.91	2.13	17.36
HJY11	39.35	7.36	2.44	0.95	2.56	18.09
HJY12	21.01	4.62	1.74	0.66	1.74	12.39
HJY13	28.14	5.50	1.37	0.53	2.02	13.69
HJY14	33.13	5.09	4.78	1.34	1.34	15.18

7.59, 表明酯型儿茶素 EGCG 和 ECG 对黄金芽茶汤收敛性贡献更大。此外, GA 呈现酸味和涩味, 在黄金芽茶中的 Dot 值均大于 1, 而在奶白茶中均小于 1。

3 结论和讨论

本研究将奶白茶(白化品种)和黄金芽茶(黄化品种)的茶汤滋味分为鲜度、浓度、强度、协调度4个因子,通过感官审评进行打分量化滋味特征,结果表明二者在茶汤滋味上存在差异。两种绿茶在茶汤滋味的鲜度和强度(收敛性)明显不同,奶白茶茶汤滋味的鲜爽度高于黄金芽,而黄金芽茶汤滋味的收敛性强于奶白茶。进一步检测了导致二者滋味差异的关键化合物,结果表明奶白茶中游离氨基酸含量显著高于黄金芽茶,其具有不同的呈味特性^[24],呈现鲜味和甜味的游离氨基酸含量差异最显著,如茶氨酸、天冬氨酸、谷氨酸,苏氨酸、丝氨酸,且最主要的差异化合物是茶氨酸,其在茶汤滋味中贡献鲜味。贡献涩味和苦味的儿茶素类化合物和咖啡碱含量在奶白茶中显著低于黄金芽茶,且主要差异化合物为酯型儿茶素 EGCG、ECG 和咖啡碱,酯型儿茶素具有较强的苦涩味,收敛性强,是茶汤涩味的重要来源^[25]。这些滋味成分的差异可能是导致奶白茶茶汤更加鲜爽而黄金芽茶汤收敛性更强的主要因素。

茶汤的滋味是多种化合物综合协调的结果,不同滋味化合物在茶汤中的含量和呈味阈值不同,因此对茶汤滋味品质的贡献也存在明显差异^[26]。Dot 值反映对两种绿茶茶汤滋味起主要贡献的是 EGCG 和咖啡碱。黄金芽茶中 EGCG 和 ECG 的 Dot 值显著高于奶白茶,可能是导致黄金芽茶汤比奶白茶茶汤收敛性更强、口感更厚的重要化合物。没食子酸在黄金芽茶中的 Dot 值也明显高于奶白茶,其在奶白茶中的 Dot 值均小于 1,而在黄金芽茶中均大于 1。Chen 等^[27]的研究表明没食子酸能够增强茶汤中 EGCG 的收敛性,因此,没食子酸含量的差异可能对茶汤的收敛性产生影响。

研究表明,叶绿体的缺失使得参与光合作用和碳固定途径的基因表达被下调,影响了植物体内的碳氮平衡,促进积累更多的氨基酸^[13]。另有研究表明,儿茶素类化合物在白化茶树白化期下降到最低水平^[22],且白化、黄化茶树品种的叶色变化与苯丙烷代谢、类黄酮和类胡萝卜代谢变化密切相关^[3,28],这表明茶树叶片叶色的改变影响了内源代谢物的积累,如儿茶素的合成,使得所制绿茶滋味发生改变。

综上所述,白化和黄化品种茶树特征代谢物积累存在差异,比如游离氨基酸、儿茶素类化合物、

没食子酸和咖啡碱等,使得其鲜叶加工的绿茶滋味有差异。后续研究中,可进一步分析主要滋味成分的代谢途径在 2 种茶树品种中的差异。

参考文献

- [1] WANG S L, MA C L, HUANG D J, et al. Analysis of genetic diversity and construction of DNA fingerprints of chlorophyll-deficient tea cultivars by SSR markers [J]. J Tea Sci, 2018, 38(1): 58–68. [王松琳, 马春雷, 黄丹娟, 等. 基于 SSR 标记的白化和黄化茶树品种遗传多样性分析及指纹图谱构建 [J]. 茶叶科学, 2018, 38(1): 58–68. doi: 10.3969/j.issn.1000-369X.2018.01.006.]
- [2] LOU Y H, HE W Z, LIU Y, et al. Comprehensive assessment of quality traits of 14 etiolated and albino tea cultivars [J]. J Tea, 2020, 46(2): 84–90. [娄艳华, 何卫中, 刘瑜, 等. 14 个黄化、白化变异茶树品种(系)综合性状评价与分析 [J]. 茶叶, 2020, 46(2): 84–90. doi: 10.3969/j.issn.0577-8921.2020.02.004.]
- [3] SONG L B, MA Q P, ZOU Z W, et al. Molecular link between leaf coloration and gene expression of flavonoid and carotenoid biosynthesis in *Camellia sinensis* cultivar ‘Huangjiunya’ [J]. Front Plant Sci, 2017, 8: 803. doi: 10.3389/fpls.2017.00803.
- [4] WANG W, GUO Y L. Development and application of albino tea varieties [J]. J Food Safety Quality, 2017, 8(8): 3104–3110. [王蔚, 郭雅玲. 白化茶品种的开发与应用 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 3104–3110. doi: 10.3969/j.issn.2095-0381.2017.08.044.]
- [5] DU Y Y, SHIN S, WANG K R, et al. Effect of temperature on the expression of genes related to the accumulation of chlorophylls and carotenoids in albino tea [J]. J Hort Sci Biotechnol, 2009, 84(3): 365–369. doi: 10.1080/14620316.2009.11512533.
- [6] FENG L, GAO M J, HOU R Y, et al. Determination of quality constituents in the young leaves of albino tea cultivars [J]. Food Chem, 2014, 155: 98–104. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.044.
- [7] LI C F, MA J Q, HUANG D J, et al. Comprehensive dissection of metabolic changes in albino and green tea cultivars [J]. J Agric Food Chem, 2018, 66(8): 2040–2048. doi: 10.1021/acs.jafc.7b05623.
- [8] BO J H, ZHANG Y L, GONG L J, et al. Research progress on secondary metabolites of albino tea from the perspective of multiomics [J]. Mol Plant Breeding, 2023, 21(6): 1884–1889. [薄佳慧, 张杨玲, 宫连瑾, 等. 多组学视角下白化茶树次生代谢产物的研究进展 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(6): 1884–1889. doi: 10.13271/j.mpb.021.001884.]
- [9] ZHANG Y N, JI W B, XU Y Q, et al. Review on taste characteristic of catechins and its sensory analysis method [J]. J Tea Sci, 2017, 37(1): 1–9. [张英娜, 嵇伟彬, 许勇泉, 等. 儿茶素呈味特性及其感官分析

- 方法研究进展 [J]. 茶叶科学, 2017, 37(1): 1–9. doi: 10.3969/j.issn.1000-369X.2017.01.001.]
- [10] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2020, 101: 139–149. doi: 10.1016/j.tifs.2020.05.015.
- [11] YIN J F, ZHANG Y N, DU Q Z, et al. Effect of Ca^{2+} concentration on the tastes from the main chemicals in green tea infusions [J]. Food Res Int, 2014, 62: 941–946. doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.016.
- [12] KANEKO S, KUMAZAWA K, MASUDA H, et al. Molecular and sensory studies on the umami taste of Japanese green tea [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(7): 2688–2694. doi: 10.1021/jf0525232.
- [13] LU M Q, HAN J Y, ZHU B Y, et al. Significantly increased amino acid accumulation in a novel albino branch of the tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. Planta, 2019, 249(2): 363–376. doi: 10.1007/s00425-018-3007-6.
- [14] CHENG H, LI S F, CHEN M, et al. Physiological and biochemical essence of the extraordinary characters of Anji Baicha [J]. J Tea Sci, 1999(2): 87–92. [成浩, 李素芳, 陈明, 等. 安吉白茶特异性状的生理生化本质 [J]. 茶叶科学, 1999(2): 87–92. doi: 10.3969/j.issn.1000-369X.1999.02.002.]
- [15] DONG F, ZENG L T, YU Z M, et al. Differential accumulation of aroma compounds in normal green and albino-induced yellow tea (*Camellia sinensis*) leaves [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2677. doi: 10.3390/molecules23102677.
- [16] LI N N, LU J L, LI Q S, et al. Dissection of chemical composition and associated gene expression in the pigment-deficient tea cultivar ‘Xiaoxueya’ reveals an albino phenotype and metabolite formation [J]. Front Plant Sci, 2019, 10: 1543. doi: 10.3389/fpls.2019.01543.
- [17] ZHANG X, CHEN X J, DU X, et al. Analysis on taste characteristics and main component contribution of Mengding Ganlu tea [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci), 2020, 42(4): 783–791. [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. doi: 10.7540/j.ynu.20190404.]
- [18] ZHOU H C, WANG H, LEI P D, et al. Analysis of aromatics, catechins and free amino acids in different strains of ‘Shida Tea’ [J]. J Trop Subtrop Bot, 2018, 26(3): 302–308. [周汉琛, 王辉, 雷攀登, 等. ‘柿大茶’品系间芳香类物质、儿茶素及游离氨基酸差异分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(3): 302–308. doi: 10.11926/jtsb.3809.]
- [19] ZHOU H C, LIU Y Q, LEI P D. Metabolites profiling of green tea processed from ‘Huangshanbaicha No. 1’ cultivar at different albino stages [J]. J Trop Subtrop Bot, 2022, 30(2): 187–194. [周汉琛, 刘亚芹, 雷攀登. 不同白化期的‘黄山白茶’代谢物差异分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(2): 187–194. doi: 10.11926/jtsb.4461.]
- [20] LIU Y Q, ZHOU H C, WANG H, et al. Dynamic changes of cellulase and main quality components in processing of black tea [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(6): 66–70. [刘亚芹, 周汉琛, 王辉, 等. 红茶加工过程中纤维素酶和主要品质成分的动态变化 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 66–70. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.011.]
- [21] ZHANG Y, DU X, WANG X S. Research progress of theanine in tea (*Camellia sinensis*) [J]. Food Res Dev, 2007, 28(11): 170–174. [张莹, 杜晓, 王孝仕. 茶叶中茶氨酸研究进展及利用前景 [J]. 食品研究与开发, 2007, 28(11): 170–174. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2007.11.052.]
- [22] SCHARBERT S, HOFMANN T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(13): 5377–5384. doi: 10.1021/jf050294d.
- [23] HUFNAGEL J C, HOFMANN T. Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(19): 9190–9199. doi: 10.1021/jf801742w.
- [24] TSENG Y H, LEE Y L, LI R C, et al. Non-volatile flavour components of *Ganoderma tsugae* [J]. Food Chem, 2005, 90(3): 409–415. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.03.054.
- [25] XIONG L G, LI J, LI Y H, et al. Dynamic changes in catechin levels and catechin biosynthesis-related gene expression in albino tea plants (*Camellia sinensis* L.) [J]. Plant Physiol Bioch, 2013, 71: 132–143. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.06.019.
- [26] SHEN Q, ZHANG X Q, XU F F, et al. Changes of odorous substance and taste attributes of the Zheng’an Baicha in different times [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(24): 31–35. [沈强, 张小琴, 许凡凡, 等. 不同时期正安白茶呈味物质变化及滋味评价 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 31–35. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020030278.]
- [27] CHEN Y H, ZHANG Y H, CHEN G S, et al. Effects of phenolic acids and quercetin-3-O-rutinoside on the bitterness and astringency of green tea infusion [J]. NPJ Sci Food, 2022, 6(1): 8. doi: 10.1038/s41538-022-00124-8.
- [28] MA Q P, LI H, ZOU Z W, et al. Transcriptomic analyses identify albino-associated genes of a novel albino tea germplasm ‘Huabai 1’ [J]. Hort Res, 2018, 5(1): 54. doi: 10.1038/s41438-018-0053-y.