

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241009003

不同种类桂花茶活性成分及体外 抗氧化能力的比较

陶甜甜¹, 巴桑扎西¹, 仇国平¹, 李雯斓¹, 李 萃¹, 李脉泉^{1,2,3,4*}, 刘仲华^{2,3,4*}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学教育部茶学重点实验室,
长沙 410128; 3. 国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 长沙 410128;
4. 湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 长沙 410128)

摘 要: **目的** 对比分析不同种类桂花茶活性成分和体外抗氧化能力。**方法** 本研究以湖南省代表性茶叶-古丈毛尖、君山黄芽、石门红茶和贡眉分别与桂花拼配形成 4 种不同的桂花茶为研究对象, 对比桂花、茶叶和桂花茶中总酚、总黄酮、可溶性糖、游离氨基酸和咖啡碱等活性成分含量和体外抗氧化能力。**结果** 桂花红茶和桂花白茶中总酚含量分别为 37.98 mg CAE/g DW, 36.48 mg CAE/g DW, 其总酚含量显著高于桂花、石门红茶和贡眉; 桂花红茶和桂花白茶中可溶性糖含量为 4.88 g/100 g 和 4.91 g/100 g, 显著高于石门红茶、贡眉和其他种类桂花茶。同时, 石门红茶和贡眉与桂花搭配的两种桂花茶抗氧化能力优于桂花、石门红茶和贡眉。**结论** 石门红茶、贡眉与桂花搭配的两种桂花茶呈现更优的品质, 可为桂花红茶和桂花白茶的进一步开发提供理论基础。

关键词: 桂花茶; 品质; 活性成分; 抗氧化能力

Study on the bioactive compounds and *in vitro* antioxidant capacity of different species of *Osmanthus* tea

TAO Tian-Tian¹, BASANG Zha-Xi¹, CHOU Guo-Ping¹, LI Wen-Lan¹,
LI Cui¹, LI Mai-Quan^{1,2,3,4*}, LIU Zhong-Hua^{2,3,4*}

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Key Laboratory of Tea Science of Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. National Research Center of Engineering Technology for Utilization of Functional Ingredients from Botanicals, Changsha 410128, China;
4. Hunan Co-innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Objective To compare and analyze the bioactive compounds and *in vitro* antioxidant capacity of different species of *Osmanthus* tea. **Methods** In this study, 4 kinds of different types of teas were blended with *Osmanthus fragrans*, namely, Guzhang Mao Jian, Junshan Yellow Bud, Shimen Black Tea and Gongmei, which were

基金项目: 湖南省自然科学基金面上项目(2024JJ5187)、湖南省教育厅重点项目(23A0187)、湖南省研究生科研创新项目(CX20230721)

Fund: Supported by the Hunan Provincial Natural Science Foundation (2024JJ5187), the Key Projects of Hunan Provincial Department of Education (23A0187), and the Hunan Provincial Postgraduate Research Innovation Programme (CX20230721)

*通信作者: 李脉泉, 博士, 讲师, 主要研究方向为茶叶功能成分的开发与利用。E-mail: limaiquan@hunau.edu.cn

刘仲华, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶深加工与功能成分利用。E-mail: larkin-liu@163.com

*Corresponding author: LI Mai-Quan, Ph.D, Lecturer, Hunan Agricultural University, No.1 Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: limaiquan@hunau.edu.cn

LIU Zhong-Hua, Ph.D, Professor, Hunan Agricultural University, No.1 Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: zhonghua-liu@hunau.edu.cn

representative teas of Hunan Province. *Osmanthus fragrans* was blended with tea to form four different types of *Osmanthus* teas, and the content of total phenols, total flavonoids, soluble sugars, free amino acids, caffeine and *in vitro* antioxidant capacity were compared among *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus* teas. **Results** The total phenol content of *Osmanthus* Black tea and *Osmanthus* White tea were 37.98 mg CAE/g DW and 36.48 mg CAE/g DW, respectively, which were significantly higher than those of *Osmanthus fragrans*, Shimen Black tea and Gongmei; the soluble sugar content of *Osmanthus* Black tea and *Osmanthus* White tea were 4.88 g/100 g and 4.91 g/100 g, which were significantly higher than that of Shimen Black tea, Gongmei and other types of *Osmanthus* teas. Meanwhile, the antioxidant capacity of the 2 types of *Osmanthus* tea paired with *Osmanthus fragrans* was superior to that of *Osmanthus fragrans*, Shimen Black tea and Gongmei. **Conclusion** The 2 types of *Osmanthus* teas paired with *Osmanthus fragrans*, Shimen Black tea and Gongmei, showed better quality, which can provide a theoretical basis for the further development of *Osmanthus* Black tea and *Osmanthus* White tea.

KEY WORDS: *Osmanthus* tea; quality; bioactive compounds; antioxidant capacity

0 引言

花茶属于再加工茶类,由茶坯和鲜花拼合而成^[1]。我国花茶生产历史十分悠久,至今已有七百多年的历史,且生产地十分广泛,主要有广西、云南、四川和重庆等地^[2]。目前,市场上以茉莉花茶、玫瑰花茶和桂花茶等生产销量居多,随着花茶产业的进一步宣传,国家产业政策鼓励桂花茶向高技术产品方向发展,这使得桂花茶越来越受到各方的关注。桂花茶是将桂花与茶混合发酵而成。传统桂花茶的加工以窨制为主,是将具有香气的鲜桂花和精制后的烘青茶坯拌和,在静止状态下让茶坯缓慢吸收花香,使茶坯和鲜桂花在窨花拌和后的水热作用下,茶坯的香气和鲜花的花香调和在一起^[3],制得桂花茶。桂花既是具有食用价值的十大名花之一,又是一种极好的药食两用原料^[4],其富含多糖^[5]、黄酮和多酚^[6]等活性成分,研究已证实,桂花具有抗氧化^[7]、抗衰老^[8]、抗增殖^[9]和保护心血管^[10]等作用。桂花凭借馥郁的香气和多样的活性成效,制作的桂花糖、桂花酒等产品深受人们喜爱。桂花与茶的搭配,茶香花香并茂,使其不仅含有茶叶中天然活性成分,同时包括桂花中的糖甙类、黄酮类、内酯类、香豆素类、萜皮素类、甾类、萜类等化合物^[2],兼具桂花和茶叶的双重保健功能^[11]。以桂花的馥郁芬芳衬托茶的醇厚滋味而别具一格,使桂花茶成为茶中珍品,深受国内外消费者的喜爱^[12]。

为满足不同人口味的需求,市场上已出现桂花绿茶、桂花红茶和桂花乌龙为主要口味的花茶饮品,但目前关于桂花白茶和桂花黄茶的宣传和市场非常狭小。同时关于桂花茶的制作与研究主要集中在花茶的风味^[13]、香气成分^[14]以及窨花前后品质变化^[15]等方面,关于不同种类茶叶与桂花拼配后,以活性成分含量和抗氧化能力为指标判断不同种类桂花茶品质关系的研究较少。为阐明二者品质差异,本研究选取湖南省代表性茶叶:绿茶(古丈毛尖)、黄茶(君山黄芽)、红茶(石门红茶)和白茶(贡眉)与桂花拼配,对桂

花、茶和桂花茶中活性成分含量和抗氧化能力进行对比分析,为桂花茶的开发和进一步研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桂花(OF): 湖南长沙,湖南农业大学;古丈毛尖(GT): 湖南省古丈县有机茶叶有限公司;君山黄芽(YT): 湖南省君山银针茶叶股份有限公司;石门红茶(BT): 湖南省石门县达兰茶叶有限公司;贡眉(WT): 湖南省张家界林丰茶叶开发有限公司;桂花绿茶(桂花与古丈毛尖拼配, OFGT);桂花黄茶(桂花与君山黄芽拼配, OFYT);桂花红茶(桂花与石门红茶拼配, OFBT);桂花白茶(桂花与贡眉拼配, OFWT)。

芦丁、绿原酸、茶氨酸(色谱级,纯度 $\geq 98\%$,上海源叶生物科技有限公司);咖啡碱(色谱级,纯度 $\geq 99\%$,成都曼思特生物科技有限公司);茚三酮(分析纯,纯度 $\geq 98\%$,上海阿拉丁生化有限公司);2,2-联苯基-1-苦基肼基(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, DPPH, 纯度 96%)、奎诺二甲基丙烯酸酯(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, Trolox, 纯度 98%)、2,4,6-三(2-吡啶基)吡啶基三嗪[2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ, 纯度 95%]、2'-联氨-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(2'-hydrazine-bis-3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid, ABTS, 纯度 98%)(上海麦克林生化有限公司);葡萄糖、福林酚、亚硝酸钠、硝酸铝、氯化铁、乙酸钠、硫酸亚铁、氯化锡、蒽酮、碱式乙酸铅、甲醇、硫酸、乙酸、乙酸乙酯(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

MultiskanGO-1510 全波长高速酶标仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);AP135W 电子天平(精度 0.1 mg, 日本 SHIMADZU 公司);WGZ-9070B 烘箱(上海科恒实业发展有限公司);Lammbda-365 紫外分光光度计(美国 PerkinElmer 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 茶汤的制备

桂花茶的配比,参考毛淑琴^[16]的方法加以改动,按照桂花:茶叶=4:1(m:m)比例进行拼配。称取桂花、茶叶和桂花茶 1.0 g 于 100 mL 三角瓶中,加入 45 mL 沸水后转入 55 °C 水浴浸提 30 min,使用纱布过滤后定容到 50 mL,分装于小离心管,放于-20 °C 冰箱冷冻备用。

1.3.2 总酚的测定

参考 DUDONNE 等^[17]的方法加以改动,使用福林酚法测定总酚,结果以茶汤中绿原酸当量表示(mg CAE/g DW)。

1.3.3 总黄酮的测定

参考 TEL 等^[18]的方法加以改动,使用硝酸铝-亚硝酸钠比色法测定总黄酮,结果以茶汤中芦丁当量表示(mg RE/g DW)。

1.3.4 可溶性糖的测定

参考王黎明等^[19]的方法加以改进,采用硫酸蒽酮比色法测定可溶性糖含量,结果以茶汤中蔗糖含量表示(g/100 g)。

1.3.5 游离氨基酸总量的测定

根据 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸总量的测定》参考选用茚三酮比色法。

1.3.6 咖啡碱的测定

根据 GB/T 8312—2013《茶 咖啡碱测定》参考选用紫外分光光度法。

1.3.7 清除 DPPH 自由基能力的测定

参考毛淑琴^[16]的方法加以改进,结果以茶汤中 Trolox 当量表示(mg TE/g DW)。

1.3.8 清除 ABTS 自由基能力的测定

参考毛淑琴^[16]的方法加以改动,结果以茶汤中 Trolox 当量表示(mg TE/g DW)。

1.3.9 还原 Fe³⁺能力的测定

参考毛淑琴^[16]的方法加以改动,结果以茶汤中 FeSO₄ 当量表示(mg FeSO₄/g DW)。

1.3.10 抗氧化活性综合指数

依据 SEERAM 等^[20]的报道,通过抗氧化活性综合(antioxidant potency composite, APC)指数或是 APC 指数排序进行抗氧化活性综合评价。APC 指数越大,代表抗氧化活性越好,其计算公式如下(1)~(2):

$$\text{APC 指数}/\% = \frac{\text{该方法测定值}}{\text{该方法测定最大值}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{APC 指数均值}/\% = & \frac{\text{方法1 APC指数值} + \text{方法2 APC指数均值} + \dots + \text{方法n APC指数均值}}{n} \quad (2) \end{aligned}$$

1.4 数据处理

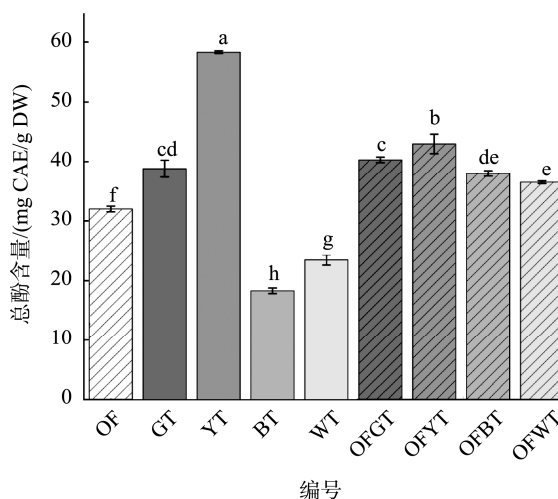
每个样品重复测定 3 次,应用软件 IBM SPSS Statistics 27 单因素方差分析对数据进行差异显著性分析;

软件 Origin 22 Correlation Plot 对数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 桂花、茶叶和桂花茶中总酚含量差异

茶汤中的多酚类物质是其次生代谢产物,在水浸出物中占比较大,不仅是茶汤滋味浓度和强度的主要成分,也是使茶汤呈现出苦涩味的主要原因,故其对滋味、色泽、香气的形成有重大影响^[21]。由图 1 可知,桂花、茶叶与桂花茶中总酚含量在 18.32~58.32 mg CAE/g DW 范围内,桂花红茶和桂花白茶中总酚含量分别为 37.98 mg CAE/g DW, 36.48 mg CAE/g DW, 君山黄芽中总酚含量最高,石门红茶中总酚含量最低;桂花红茶和桂花白茶总酚含量均显著高于桂花、石门红茶和贡眉($P < 0.05$);与桂花相比,4 种桂花茶总酚含量均有所增加,分别增加了 8.34、11.00、6.00、4.50 mg CAE/g DW,且 4 种桂花茶中总酚含量均高于桂花,其中桂花红茶和桂花白茶总酚含量不仅高于桂花而且高于石门红茶和贡眉,表明石门红茶、贡眉均与桂花发生协同作用,产生“1+1>2”的效果。



注:不同字母表示样本之间具有显著性差异, $P < 0.05$,下同。

图1 桂花、茶叶和桂花茶中总酚含量($n=3$)

Fig.1 Total phenolic content in *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus tea* ($n=3$)

2.2 桂花、茶叶和桂花茶中总黄酮含量差异

黄酮类化合物作为另外一种次级代谢产物^[22],存在于大多数的水果、蔬菜、茶以及众多植物的根茎叶及花中。研究表明,黄酮类化合物具有抑制自由基的氧化反应、降低肿瘤及心脑血管疾病发生风险等多种生理功能^[23]。茶叶与桂花均含有黄酮类物质,但品种和加工工艺等因素都会影响其黄酮类物质的含量。桂花、茶叶和桂花茶中总黄酮含量结果如图 2 所示,9 种样品中总黄酮含量在 7.33~93.10 mg RE/g DW 的范围内,桂花和桂花茶中总黄酮含量显著高于单个茶叶,

约为茶叶的 4~5 倍($P<0.05$)。结果表明, 桂花中黄酮含量较高, 李育林等^[24]通过液相色谱-质谱技术对桂花中黄酮类化合物进行鉴定, 结果显示桂花中可能含有 232 种黄酮类化合物, 使得桂花与茶叶拼配后的桂花茶中黄酮含量也显著提高。

2.3 桂花、茶叶和桂花茶中可溶性糖含量差异

可溶性糖是茶汤中最主要的甜味物质, 能够降低咖啡碱、茶多酚的苦涩感, 其含量越高, 茶汤的甜醇越高。所有样品中可溶性糖含量如图 3 所示, 桂花中可溶性糖含量最高, 达到了 6.61 g/100 g, 同时桂花茶中可溶性糖含量显著高于 4 种茶叶($P<0.05$), 桂花红茶和桂花白茶可溶性糖含量较高, 为 4.91 g/100 g 和 4.88 g/100 g, 其次为桂花绿茶(4.60 g/100 g)、桂花黄茶(4.06 g/100 g); 4 种茶叶中可溶性糖含量最低, 仅有桂花的 10%~23%。结果表明, 桂花红

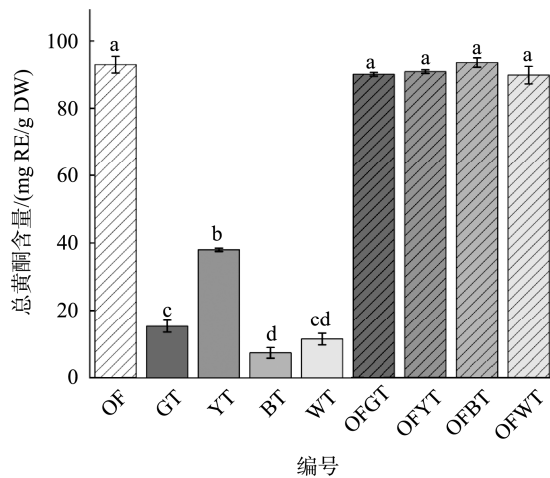


图2 桂花、茶叶和桂花茶中总黄酮含量($n=3$)

Fig.2 Total flavonoids content in *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus* tea ($n=3$)

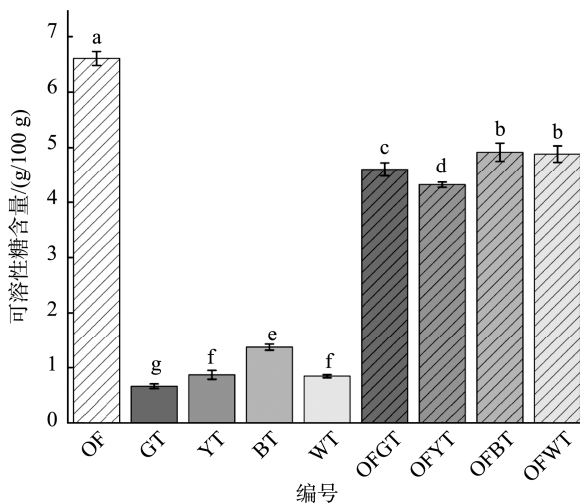


图3 桂花、茶叶和桂花茶中可溶性糖含量($n=3$)

Fig.3 Soluble sugar content in *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus* tea ($n=3$)

茶和桂花白茶中可溶性糖含量高于桂花绿茶和桂花黄茶, 一方面是由于石门红茶和贡眉中可溶性糖含量高, 两种茶叶中糖含量高于其他茶叶, 可能跟其独有的萎凋工艺息息相关, 萎凋减重茶叶中 30%~45%的水分, 使得茶叶变得柔软并伴随着氧化酶和水解酶的激活, 茶叶中可溶性糖、氨基酸等含量达到最大值^[25]; 综上使得桂花红茶和桂花白茶中可溶性糖含量增加, 其茶汤滋味更加甜醇回甘^[26]。

2.4 桂花、茶叶和桂花茶中游离氨基酸含量差异

氨基酸是贡献茶汤风味的一类重要物质, 如茶氨酸具有鲜爽味, 谷氨酸、丙氨酸具有类似花香气味^[27]。茶汤中丰富的氨基酸不仅能改善茶汤鲜爽度、弱化茶汤苦涩味, 对其香气的形成也具有较大贡献, 其含量的高低与茶叶品质呈显著正相关^[21]。样品中游离氨基酸含量如图 4 所示, 桂花和桂花茶中游离氨基酸含量差异较小, 且含量较低; 4 种茶叶中游离氨基酸含量显著高于桂花和桂花茶($P<0.05$), 古丈毛尖中游离氨基酸含量最高, 为 1.60%, 其次是君山黄芽(1.36%)、贡眉(1.05%)、石门红茶(0.90%)。结果表明茶叶中游离氨基酸含量高于桂花和桂花茶, 这可能跟茶叶独有的生产工艺密切相关, 在萎凋和杀青过程中, 氨基酸含量会显著增加。加工过程适当促进茶叶中氨基酸的降解和转化, 在成品茶中保持一定含量的氨基酸, 可以提高成品茶叶的品质^[28]。

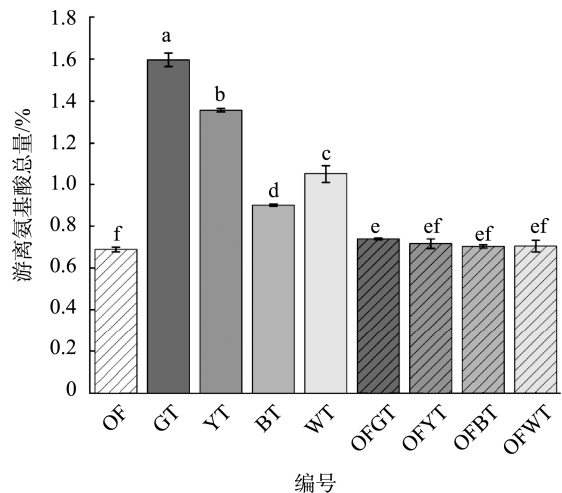


图4 桂花、茶叶和桂花茶中游离氨基酸含量($n=3$)

Fig.4 Content of free amino acids in *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus* tea ($n=3$)

2.5 桂花、茶叶和桂花茶中咖啡碱含量差异

咖啡碱是茶汤中占比最大的生物碱, 具有苦味, 且味觉阈值较低, 能一定程度上弱化茶汤的粗涩味, 提高茶汤的鲜爽度^[21], 是构成茶汤口感的重要品质成分^[9]。桂花、茶叶与桂花茶中咖啡碱含量如图 5 所示, 4 种茶叶中咖啡碱含量显著高于桂花和桂花茶($P<0.05$), 其咖啡碱含量在 3.93%~4.55%范围内, 这与 YONG 等^[29]对不同种类茶叶中咖啡碱含量测定所得结果一致; 4 种桂花茶中咖啡碱含量

显著高于桂花($P<0.05$), 桂花绿茶中咖啡碱含量最高, 为 2.21%, 其次是桂花红茶(2.16%)、桂花黄茶(2.06%)和桂花白茶(1.94%), 桂花中咖啡碱含量最低, 仅 1.23%。结果表明茶叶中咖啡碱含量显著高于桂花和桂花茶, 茶叶中富含的咖啡碱是茶树在生长代谢过程中自然形成的, 其含量的高低跟茶树生长海拔、土壤^[30]等因素密切相关。

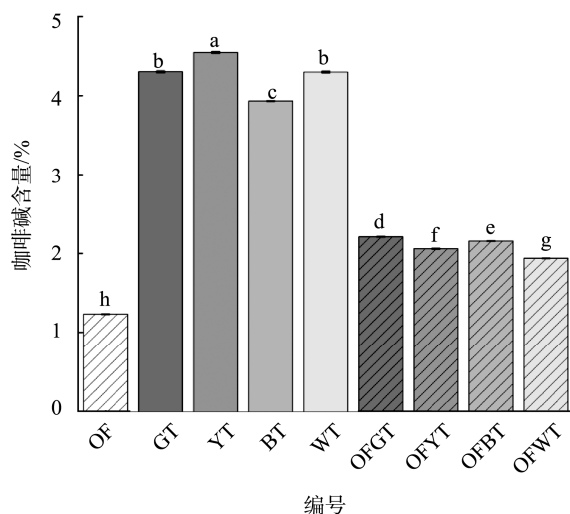
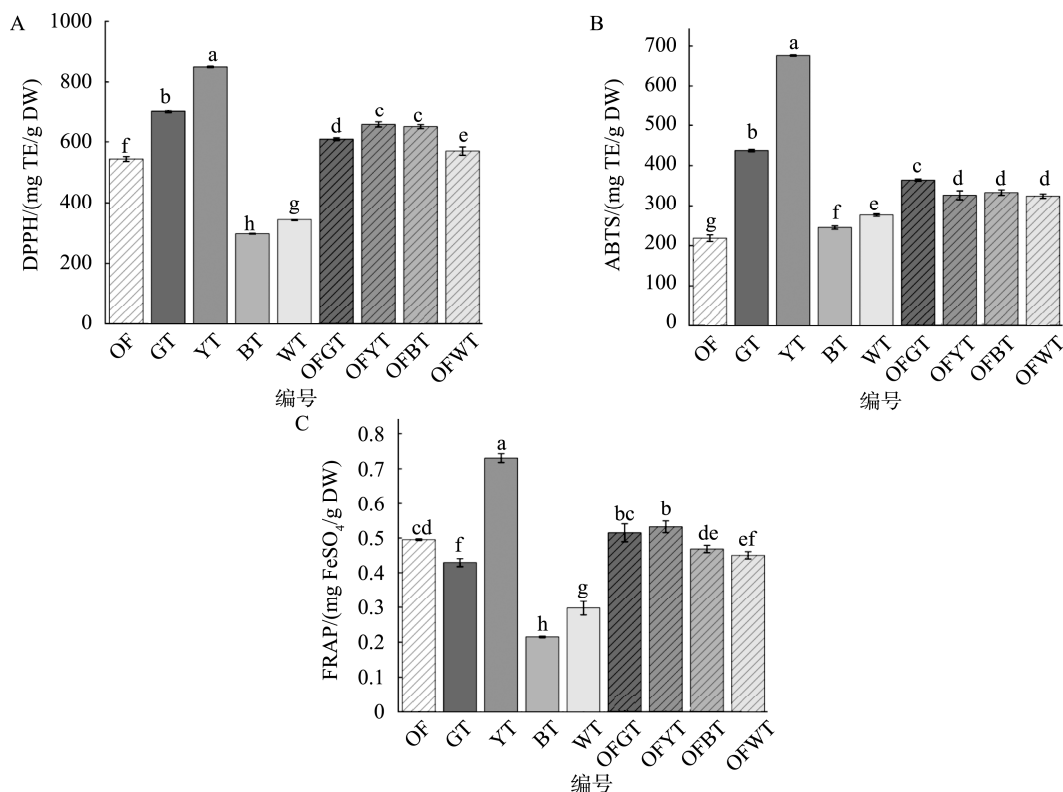


图5 桂花、茶叶和桂花茶中咖啡碱含量($n=3$)

Fig.5 Caffeine content in *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus tea* ($n=3$)



注: A为DPPH自由基清除能力; B为ABTS自由基清除能力; C为还原 Fe^{3+} 能力(FRAP)。

图6 桂花、茶叶和桂花茶抗氧化能力($n=3$)

Fig.6 Antioxidant capacity of *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus tea* ($n=3$)

2.6 桂花、茶叶和桂花茶体外抗氧化能力的对比

桂花、茶叶与桂花茶体外抗氧化能力采用清除 DPPH、ABTS 自由基清除能力和还原 Fe^{3+} 能力 3 种方法检测, 其结果如图 6 所示, 9 种样品清除 DPPH 自由基能力为 297.33~849.83 mg TE/g DW, 清除 ABTS 自由基能力为 218.44~676.22 mg TE/g DW, 还原 Fe^{3+} 能力为 0.21~0.73 mg $FeSO_4$ /g DW。在桂花、茶叶和桂花茶中, 君山黄芽 3 种抗氧化能力均为最佳, 分别为 849.83 mg TE/g DW、676.22 mg TE/g DW 和 0.73 mg $FeSO_4$ /g DW, 石门红茶清除 DPPH 自由基和还原 Fe^{3+} 能力最差, 分别为 297.33 mg TE/g DW 和 0.21 mg $FeSO_4$ /g DW, 而桂花清除 ABTS 自由基能力最弱, 为 218.44 mg TE/g DW; 桂花红茶和桂花白茶 3 种抗氧化结果均显著优于石门红茶和贡眉, 但桂花绿茶和桂花黄茶清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基能力低于古丈毛尖和君山黄芽。结果表明, 与石门红茶和贡眉相比, 桂花红茶和桂花白茶表现出更佳的抗氧化能力。

2.7 桂花、茶叶和桂花茶抗氧化活性综合评价

因为各种化合物化学性质存在差异, 且各种方法反应原理和条件不同, 测定的结果并不是完全相同^[31], 利用 APC 指数均值对 3 种抗氧化综合结果进行评价(见表 1)。结果显示 APC 指数均值(%)由大到小的顺序是君山黄芽(100.00%)>古丈毛尖(68.63%)>桂花黄茶(66.17%)>桂花绿

茶(65.34%)>桂花红茶(63.27%)>桂花白茶(58.86%)>桂花(54.70%)>贡眉(40.68%)>石门红茶(33.55%)。其中君山黄芽 APC 指数均值最高, 是石门红茶的 2.98 倍; 排在前 4 位的为君山黄芽、古丈毛尖、桂花黄茶和桂花绿茶, 表明君山黄芽和古丈毛尖抗氧化能力优于桂花黄茶和桂花绿茶; 同时桂花红茶和桂花白茶抗氧化能力优于桂花、石门红茶和贡眉, 表明石门红茶、贡眉均与桂花发生协同作用, 使其桂花茶的品质优于桂花、石门红茶和贡眉。

2.8 活性成分及体外抗氧化能力的相关性分析

桂花、茶叶和桂花茶中活性成分及体外抗氧化能力相关性分析如表 2, 茶汤中总酚含量与 3 种抗氧化能力测定结果呈极显著正相关(r 分别为 0.96、0.85 和 0.96), 总黄酮含量与可溶性糖含量呈极显著正相关($r=0.93$), 游离氨基酸和咖啡碱与总黄酮、可溶性糖含量呈极显著负相关, 咖啡碱和游离氨基酸含量呈极显著正相关($r=1.00$), 3 种抗氧化能力测定结果呈显著正相关。

表 1 桂花、茶叶和桂花茶 APC 指数及排序
Table 1 APC index and ranking of *Osmanthus fragrans*, tea and *Osmanthus tea*

编号	样品编号	APC 指数/(排名编号)				
		DPPH	ABTS	FRAP	APC 指数均值/%	APC 指数均值排名
1	OF	64.01 (7)	32.30 (9)	67.79 (4)	54.70	7
2	GT	82.45 (2)	64.67 (2)	58.77 (7)	68.63	2
3	YT	100.00 (1)	100.00 (1)	100.00 (1)	100.00	1
4	BT	34.99 (9)	36.25 (8)	29.40 (9)	33.55	9
5	WT	40.48 (8)	40.85 (7)	40.70 (8)	40.68	8
6	OFGT	71.67 (5)	53.82 (3)	70.53 (3)	65.34	4
7	OFYT	77.35 (3)	48.24 (5)	72.91 (2)	66.17	3
8	OFBT	76.47 (4)	49.23 (4)	64.11 (5)	63.27	5
9	OFWT	67.05 (6)	47.91 (6)	61.62 (6)	58.86	6

表 2 活性成分及体外抗氧化能力的相关性
Table 2 Correlation between bioactive compounds and *in vitro* antioxidant activity

活性成分	总酚	总黄酮	可溶性糖	游离氨基酸	咖啡碱	DPPH	ABTS	FRAP
总酚	1.0							
总黄酮	0.33	1.0						
可溶性糖	0.035	0.93***	1.0					
游离氨基酸	0.00	-0.93**	-0.99***	1.0				
咖啡碱	0.00	-0.93**	-0.99***	1.0***	1.0			
DPPH	0.96***	0.35	0.088	-0.052	-0.052	1.0		
ABTS	0.85**	-0.18	-0.46	0.51	0.51	0.79*	1.0	
FRAP	0.96***	0.46	0.21	-0.16	-0.16	0.92**	0.74*	1.0

注: *表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$, ***表示 $P<0.001$ 。

3 结 论

本研究分析了桂花、茶叶与桂花茶中活性成分含量和体外抗氧化能力, 结果表明, 石门红茶和贡眉与桂花拼配构成的两种桂花茶, 其总酚含量高于桂花和单个茶叶, 同时这两种桂花茶中可溶性糖含量高于古丈毛尖、君山黄芽与桂花构成的两种桂花茶; 桂花茶中总黄酮含量显著高于 4

种茶叶; 茶叶中游离氨基酸和咖啡碱含量显著高于桂花和桂花茶; 君山黄芽和古丈毛尖抗氧化能力优于两种茶叶与桂花组成的桂花茶, 而桂花红茶和桂花白茶抗氧化能力优于石门红茶和贡眉; 茶汤中总酚含量与 3 种抗氧化能力呈极显著正相关; 总黄酮、可溶性糖与游离氨基酸、咖啡碱呈极显著负相关; 3 种抗氧化结果呈显著正相关。基于以上研究结果, 表明石门红茶、贡眉与桂花拼配后的桂花红茶和桂

花白茶呈现出更好的品质,可加大对两者的开发与研究。

参考文献

- [1] 黄彪, 鲁菲菲, 李巍, 等. 不同等级福州茉莉花茶活性成分及体外抗氧化活性比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 193–199.
- HUANG B, LU FF, LI W, *et al.* Study on the active constituents and antioxidant activities of different grades of Fuzhou jasmine tea [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(17): 193–199.
- [2] 王东旭. 花茶健康功能作用研究进展[J]. 中国茶叶加工, 2022(1): 58–61.
- WANG DX. Research progress on health effects of scented tea [J]. China Tea Process, 2022(1): 58–61.
- [3] 李云捷, 付华军, 于博, 等. 中国花茶营养功能分析及主要加工工艺研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 207–210.
- LI YJ, FU HJ, YU B, *et al.* Nutritional function analysis of Chinese scented tea and research progress on its main processing technology [J]. Stor Process, 2019, 19(5): 207–210.
- [4] 李脉泉, 张灿, 殷奔新, 等. 冲泡方式对祁门红茶茶汤品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(24): 9507–9513.
- LI MQ, ZHANG C, YIN BX, *et al.* Effects of brewing methods on the quality of Keemun black tea soup [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(24): 9507–9513.
- [5] 李昊. 酶法提取桂花多糖工艺的优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国中医药科技, 2015, 22(4): 395–397.
- LI H. Optimization of enzymatic extraction technology of polysaccharide from Guihua (*Osmanthus fragrans*) and investigation on its antioxidant activity [J]. China Trad Med Sci Technol, 2015, 22(4): 395–397.
- [6] 李红领, 李春阳, 曾晓雄, 等. 桂花酶解物中酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 85–90.
- LI HL, LI CY, ZENG XX, *et al.* Study on the phenolics of hydrolysates from *Osmanthus fragrans* and its antioxidant activity [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(24): 85–90.
- [7] OUYANG XL, WEI LX, WANG HS, *et al.* Antioxidant activity and phytochemical composition of *Osmanthus fragrans*’ pulps [J]. S Afr J Bot, 2015, 98: 162–166.
- [8] WANG B, LUAN F, BAO Y, *et al.* Traditional uses, phytochemical constituents and pharmacological properties of *Osmanthus fragrans*: a review [J]. J Ethnopharmacol, 2022, 293: 115273.
- [9] HUANG SKH, BUENO PRP, GARCIA PJB, *et al.* Antioxidant, anti-inflammatory and antiproliferative effects of *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour. flower extracts [J]. Plants, 2023, 12(17): 3168.
- [10] LIAO X, HONG Y, CHEN Z. Identification and quantification of the bioactive components in *Osmanthus fragrans* roots by HPLC-MS/MS [J]. J Pharm Anal, 2021, 11(3): 299–307.
- [11] 沈袁媛, 郑太极, 王保忠, 等. 梅花茶窰制工艺创新及抗氧化能力研究[J]. 食品科技, 2024, 49(4): 92–99.
- SHEN YY, ZHENG TJ, WANG BZ, *et al.* Research on scenting process innovation and antioxidant capacity of Plum blossom tea [J]. Food Sci Technol, 2024, 49(4): 92–99.
- [12] 刘伟龙. 中国桂花文化研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2004.
- LIU WL. A study of Chinese *Osmanthus* culture [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2004.
- [13] WANG Y, DENG G, HUANG L, *et al.* Sensory-directed flavor analysis reveals the improvement in aroma quality of summer green tea by *Osmanthus* scenting [J]. Food Chem: X, 2024, 23: 101571.
- [14] MENG X, WANG JQ, WANG F, *et al.* Moisture content of tea dhool for the scenting process affects the aroma quality and volatile compounds of *Osmanthus* black tea [J]. Food Chem, 2024, 438: 138051.
- [15] 罗学平, 李丽霞, 钟晓雪, 等. 桂花绿茶窰花前后品质成分变化研究[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(3): 448–455.
- LUO XP, LI LX, ZHONG XX, *et al.* Study on the changes of quality components of *Osmanthus fragrans* green tea before and after scenting [J]. Tea Commun, 2021, 48(3): 448–455.
- [16] 毛淑琴. 基于体外消化吸收和 Prieto 氏互作模型的桂花茶抗氧化协同作用及其功能成分的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- MAO SQ. Antioxidant synergy of *Osmanthus fragrans* flower with tea bioactive compounds by *in vitro* digestion-dialysis and Prieto’s interaction model [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [17] DUDONNE S, VITRAC X, COUTIERE P, *et al.* Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(5): 1768–1774.
- [18] TEL G, APAYDIN M, DURU ME, *et al.* Antioxidant and cholinesterase inhibition activities of three *Tricholoma* species with total phenolic and flavonoid contents: The edible mushrooms from Anatolia [J]. Food Anal Methods, 2012, 5: 495–504.
- [19] 王黎明, 夏文水. 萘酚-硫酸法测定茶多糖含量的研究[J]. 食品科学, 2005(7): 185–188.
- WANG LM, XIA WS. Determination of TPS by improvement of anthrone-sulfuric acid method [J]. Food Sci, 2005(7): 185–188.
- [20] SEERAM NP, AVIRAM M, ZHANG Y, *et al.* Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(4): 1415–1422.
- [21] 朱欣悦. 安吉红茶品质成分的变化及其抗氧化、抗糖化机制初探[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2022.
- ZHU XY. Study on the changes of quality components of Anji black tea and its antioxidant and antiglycation mechanism [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2022.
- [22] 杨青, 郭彩清, 油继辉, 等. 黄酮类物质的生理功能及应用发展动态[J]. 贵州农业科学, 2007(2): 143–146.
- YANG Q, GUO CQ, YOU JH, *et al.* Physiological function of the flavonoids and its application [J]. Guizhou Agric Sci, 2007(2): 143–146.
- [23] HUA X, YU L, YOU R, *et al.* Association among dietary flavonoids, flavonoid subclasses and ovarian cancer risk: A meta-analysis [J]. PLoS

- One, 2016, 11(3): e0151134.
- [24] 李育林, 蔡秋莹, 汤晓月, 等. 桂花提取物中黄酮类化合物的成分鉴定[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 143–148.
- LI YL, CAI QY, TANG XY, *et al.* Identification of flavonoids in *Osmanthus fragrans* extract [J]. Food Res Dev, 2021, 42(17): 143–148.
- [25] YE Y, YAN J, CUI J, *et al.* Dynamic changes in amino acids, catechins, caffeine and gallic acid in green tea during withering [J]. J Food Compos Anal, 2018, 66: 98–108.
- [26] 黄媛. 不同茶树品种白茶品质及抗氧化活性研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- HUANG Y. Study on the quality and antioxidant activity of white tea from different tea tree varieties [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023.
- [27] 黄芳, 钱佳佳, 傅秀敏. 茶叶氨基酸合成代谢及转化研究进展[J]. 中国茶叶, 2023, 45(9): 10–18.
- HUANG F, QIAN JJ, FU XM. Research advances in amino acid metabolism and transformation of tea plants (*Camellia sinensis*) [J]. China Tea, 2023, 45(9): 10–18.
- [28] 马思蕊, 康玉梅, 田晓静. 茶叶氨基酸的影响因素与检测方法研究进展[J]. 农产品加工, 2019(19): 55–57.
- MA SR, KANG YM, TIAN XJ. Research progress on influencing factors and detection methods of amino acids in tea [J]. Farm Pro Process, 2019(19): 55–57.
- [29] YONG L, SONG Y, XIAO X, *et al.* Quantitative probabilistic assessment of caffeine intake from tea in Chinese adult consumers based on nationwide caffeine content determination and tea consumption survey [J]. Food Chem Toxicol, 2022, 165: 113102.
- [30] 黄林敏, 章丽燕. 两种不同“单株”栽培模式与环境条件对茶鲜叶主要品质成分含量的影响[J]. 福建茶叶, 2024, 46(9): 24–26.
- HUANG LM, ZHANG LY. Effects of two different “single plant” cultivation modes and environmental conditions on the content of main quality components of fresh tea leaves [J]. Fujian Tea, 2024, 46(9): 24–26.
- [31] 张华. 柑橘果实快速高效在线抗氧化活性评价方法的建立及其应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- ZHANG H. An on-line HPLC-FRSD system for rapid evaluation of the total antioxidant capacity of citrus fruits and their derived products [D]. Chongqing: Southwest University, 2015.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介

陶甜甜, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶功能成分的开发与利用。
E-mail: taott1218@163.com

李脉泉, 博士, 讲师, 主要研究方向为茶叶功能成分的开发与利用。
E-mail: limaiquan@hunau.edu.cn

刘仲华, 博士, 教授, 主要研究方向为茶叶深加工与功能成分利用。
E-mail: zhonghua-liu@hunau.edu.cn