

13 份金花茶种质资源的叶片性状分析

张红勳¹, 高 园¹, 杨自云^{1,2}, 陈龙清^{1,2}, 吴 田^{1,2*}

1. 西南林业大学园林园艺学院, 云南昆明 650224; 2. 云南省功能性花卉资源及产业化技术工程研究中心, 云南昆明 650224

摘 要: 研究叶片表型表现差异的 8 份来自云南大围山的花花茶种质资源, 为开发利用金花茶组植物提供科学依据及研究材料。本研究以 5 份已知的金花茶种质资源为对照, 以成熟叶片为试材, 通过叶片表型直接观察法对 13 份金花茶植株的叶片长宽进行评价, 采用烘干称重法测量含水率, 通过湿灰化法对 6 种矿质元素 (Cu、Zn、Fe、Mn、Ca、Mg) 含量进行检测分析, 使用紫外分光光度计法对 4 种功能性成分 (茶多酚、总多糖、总皂苷、总黄酮) 含量进行检测分析, 并利用聚类分析方法解析其与金花茶种质资源的关系。结果表明: 13 份金花茶叶片形状可以划分为椭圆形和长椭圆形 2 种类型, 叶面积、叶色、叶片锯齿均存在较大差异。叶片中 Cu、Zn、Fe、Mn、Ca、Mg 含量最高值和最低值存在显著差异, 分别相差 2.1 倍、1.9 倍、4.3 倍、6.6 倍、1.4 倍、1.8 倍; 总皂苷含量相差 10.9 倍, 茶多酚含量相差 5.8 倍, 总多糖含量相差 5.0 倍, 总黄酮含量相差 2.0 倍。相关性分析表明, 茶多酚与叶长/叶宽呈显著负相关, 与叶色、叶质呈极显著正相关, 叶长/叶宽与锌元素呈显著负相关, 叶色与锰元素、绒毛与铜元素之间呈极显著正相关。聚类分析结果表明, 当距离系数为 4.5 时, 13 份金花茶种质资源可以划分为 5 组, 其中组 I (包括: 红河 1 号金花茶、JHC-2、JHC-3、JHC-4) 和组 IV (包括: 普通金花茶、JHC-8、毛瓣金花茶) 的内含成分含量相对较高, 可能具有更高的药用功能和保健功能, 而 JHC-2 和 JHC-8 的矿质元素含量及内含成分含量总体较高, 因此其后期的开发利用价值更高。本研究结果为后续在金花茶中解析重要功能性成分累积机理的研究筛选到极端材料, 并为今后开展金花茶新品种选育和金花茶组植物的进一步开发、利用提供理论依据。

关键词: 金花茶; 种质资源; 叶片; 功能性成分; 矿质元素; 聚类分析

中图分类号: S685.14 文献标识码: A

Analysis of Leaf Character of Thirteen Germplasm Resources of *Camellia* sect. *Chrysantha*

ZHANG Hongmeng¹, GAO Yuan¹, YANG Ziyun^{1,2}, CHEN Longqing^{1,2}, WU Tian^{1,2*}

1. College of Landscape Architecture and Horticulture Sciences, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Yunnan Functional Flower Resources and Industrialization Technology Engineering Research Center, Kunming, Yunnan 650224, China

Abstract: Eight germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha* from Daweishan Mountain of Yunnan province were studied to provide scientific basis and research materials for the exploitation and utilization of *Camellia* plants. In this study, the leaf length and width of 13 cultivars of *Camellia* sect. *Chrysantha* were evaluated by direct observation of leaf phenotype, using five known germplasm resources as the control and mature leaves as the test materials, the content of six mineral elements (Cu, Zn, Fe, Mn, Ca, Mg) was determined by the wet ashing method, the contents of four functional components (tea polyphenols, total polysaccharides, total saponins and total flavonoids) were determined by the UV photometer method, the relationship between them and germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha* was analyzed by the cluster analysis. The results showed that the leaf shape of 13 *Camellia* sect. *Chrysantha* could be di-

收稿日期 2022-09-01; 修回日期 2022-10-12

基金项目 国家“十三五”重点研发计划项目 (No. 2019YFD1001005); 云南省教育厅研究生项目 (No. 2022Y615)。

作者简介 张红勳 (2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 植物遗传育种与种质资源。*通信作者 (Corresponding author): 吴 田 (WU Tian), E-mail: wutianpotato@swfu.edu.cn。

vided into two types: elliptic and oblong, and there were great differences in leaf area, leaf color and leaf serration. The highest and lowest content of Cu, Zn, Fe, Mn, Ca and Mg in leaves was 2.1, 1.9, 4.3, 6.6, 1.4 and 1.8 times, respectively. The content of total saponins, tea polyphenols, polysaccharides and flavonoids was 10.9, 5.8, 5.0 and 2.0 times, respectively. The correlation analysis showed that tea polyphenols had a significant negative correlation with leaf length/leaf width, a significant positive correlation with leaf color and leaf quality, and a significant negative correlation with leaf length/leaf width and zinc, there were significant positive correlations between leaf color and manganese, villi and copper. The results of cluster analysis showed that the 13 germplasm resources could be divided into 5 groups when the distance coefficient was 4.5, group I (including 'Honghe 1' *Camellia* sect. *Chrysantha*, JHC-2, JHC-3, JHC-4) and Group IV (including ordinary *Camellia* sect. *Chrysantha*, JHC-8, *Camellia pubipetala* Wan et Huang) contained relatively high contents of the constituents, JHC-2 and JHC-8 may have higher medicinal and health-care functions, but the mineral element contents and contents were generally higher, so the later development and utilization value was higher. The results of this study would be useful for further studies on the accumulation mechanism of important functional components in *Camellia* sect. *Chrysantha*, it would also provide theoretical basis for breeding new varieties of *Camellia* and further development and utilization of *Camellia* group plants in the future.

Keywords: *Camellia* sect. *Chrysantha*; germplasm resources; leaves; functional components; mineral elements; cluster analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.11.020

金花茶组植物 (*Camellia* sect. *Chrysantha*) 是山茶科山茶属中唯一开黄花的植物类群, 不仅是珍贵的观赏植物, 还具有较高的药用保健价值。金花茶组植物体内含有超过 400 种不同种类的成分^[1-2], 其中的微量元素以及茶多酚、茶多糖、黄酮、皂苷等功能性成分对人体有重要保健作用, 属于极具开发和利用价值的优势资源^[3]。金花茶可以延缓机体衰老^[4], 具有一定的防癌、治癌的功效^[5-6], 能预防人体动脉粥样硬化, 有利于降低血脂^[7]和控制血压^[8], 有利于降低血糖^[9]等。

目前在世界范围内已发现的金花茶组植物有 42 种 5 个变种, 而我国有 29 种 5 个变种^[10]。前人在对不同种金花茶内含成分进行了一些分析, 发现不同的金花茶组植物内含的活性成分存在较大差异^[11-16]。2010 年 5 月, 中华人民共和国卫生部发布 2010 年第 9 号公告, 批准金花茶 [*Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama] 为新资源食品, 并且随着人们对健康的关注和保健品市场的繁荣, 近年来, 越来越多的金花茶产品被开发, 如金花茶茶饮料、袋泡茶、浓缩液和口服液等一系列营养保健产品, 市场前景较好。但除金花茶外的其他金花茶组植物鲜见被用于营养保健产品开发, 症结在于对内含成分的了解不够全面和深入。

金花茶首次发现于 1933 年, 当时还没有人给它一个合适的名称。1948 年, 我国科学家在广西防城港发现了开黄花的山茶科植物后, 便根据花的颜色将其命名为“金花茶”, 于 1960 年对外公布。1988 年, 科学家又在云南大围山发现了不同

植物学性状的金花茶新种, 命名为云南金花茶 (*Camellia fascicularis* H. T. Chang), 又叫簇蕊金花茶, 为云南特有、极小种群植物^[17], 与薄叶金花茶、显脉金花茶、凹脉金花茶、毛瓣金花茶、东兴金花茶等均属于“极危种”(critically endangered, CR), 并被列入中国物种红色名录^[18]。大围山国家级自然保护区位于云南省东南部, 属森林生态系统类型的自然保护区^[19], 降水量较大, 气候湿润, 云雾缭绕, 极其适宜金花茶的生长繁育。

为了加强对金花茶资源的保护和研究, 尤其希望进一步摸清云南省的金花茶资源, 本课题组前期对云南大围山金花茶组植物进行考察, 考察过程中发现了一些植物学性状特异的金花茶种质资源, 并通过分子标记技术发现这些金花茶组植物种质间存在丰富的遗传多样性, 和普通金花茶也有较远的亲缘关系^[20]。为便于对金花茶种质资源进行系统观察和评价鉴定, 本课题组前期将 20 余份金花茶种质资源迁地保护于西南林业大学树木园, 并模拟原生地条件 (半阴半凉、潮湿、通风) 对其进行栽培管理, 至 2021 年有 8 份来自大围山、种源不甚清晰的金花茶种质 (命名为 JHC-1~8) 长成成龄苗, 植株状态良好。在观测过程中, 发现这 8 份金花茶种质资源表型如叶形、叶色、花量、新稍萌发特征等表现差异。本研究以这 8 份金花茶种质资源为材料, 以普通金花茶 (*Camellia nitidissima* Chi)、云南金花茶 (*C. fascicularis* H. T. Chang) 等 5 份种源清楚的金花

茶为对照,对其叶片中矿质元素含量及功能性成分进行检测,为合理开发和利用金花茶组植物资源提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

前期收集了 13 份金花茶种质资源,5~6 年生,均保存于西南林业大学树木园(25°03'47.20"N, 102°46'7.43"E,海拔 1891 m),该环境条件能够满足供试金花茶组植物的良好生长。在相同的生长环境中,将 13 种不同的种质资源分别开沟种植,采用相同的田间管理。其中,5 份种源清楚,分别为普通金花茶(*Camellia nitidissima* Chi)、红河 1 号金花茶(*C. nitidissima* 'Honghel')、云南金花茶(*C. fascicularis* H. T. Chang)、凹脉金花茶(*C. impressinervis* Chang et S. Y. Liang)和毛瓣金花茶(*C. pubipetala* Y. Wanet S. Z. Huang),其中,红河 1 号金花茶是由云南省林木品种审定委员会于 2016 年 12 月认定通过的金花茶良种,目前在云南省红河州大量种植。另外 8 份金花茶种质资源 JHC-1~8 均来源于大围山。

2021 年 8 月 21 日进行叶片取样,分别取植株中部成熟叶片,设 3 个重复。采集的叶片经蒸馏水洗净后擦去表面水分,60 °C 烘干至恒重,用植物粉碎机粉碎,过 40 目筛,密封保存于-80 °C 冰箱中,用于茶多酚、总黄酮、总皂苷及总多糖等功能性成分检测及金花茶中代表性矿质元素(Cu、Zn、Fe、Mn、Ca、Mg)含量测定。

1.2 方 法

1.2.1 叶片含水率测定 叶片含水量测定采用烘干称重法。将采集的 3 片叶片称鲜重(FW),60 °C 烘干至恒重,称干重(DW)。叶片含水率=(FW-DW)/FW×100%。

1.2.2 微量元素检测 取粉碎样品 0.3 g(精确至 0.0001 g)于消解罐,加入混合酸(硝酸和高氯酸体积比为 4:1)摇匀后,置于电热板上低温加热至完全消解至近干,补加硝酸和过氧化氢,混匀后微波消解,赶酸后定容摇匀待测定其他元素。取消解液 8 mL,加入浓盐酸,硫脲加抗坏血酸摇匀反应后待测,应用电感耦合离子光谱仪 ICP-OES,测定方法采用行业标准 LY/T 1270—1999。测定的矿质元素有钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn),试验设 3 个重复,取平均值,同法做空白。测试设备为等

离子体发射光谱仪(德国斯派克分析仪器公司)、ZEEnit.700P 火焰原子吸收分光光度计(德国耶拿分析仪器股份公司)。标准溶液由国家标准物质中心购买的标准储备液(1000 µg/mL)配制而成,每个标曲 R 均在 0.995 以上。水为超纯水,试剂药品均为优级纯。

1.2.3 功能性成分检测 采用紫外分光光度计法测定金花茶叶片中茶多酚、总黄酮、总多糖、总皂苷含量。茶多酚测定参照《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》(GB/T 8313—2008),得到的茶多酚待测液按福林酚氧化法测定。总黄酮的测定参考黄兴贤^[21]的方法,并稍作修改:称取 0.5 g 样品粉末于 50 mL 锥形瓶中,加 40 mL 75%乙醇,20 °C 下超声提取 0.5 h,过滤,用 75%乙醇洗涤残渣,合并滤液定容于 50 mL 容量瓶中,得总黄酮待测液,按亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠显色法测定。总多糖测定参考韦璐^[22]的方法稍作修改,在提取总黄酮后,将残渣加 45 mL 水于 75 °C 超声提取 1 h,过滤,用水洗涤滤渣,合并滤液定容于 50 mL 容量瓶中,得多糖待测液,按苯酚-硫酸法测定。总皂苷测定参考高丽萍等^[23]的提取方法进行优化,称取样品粉末 0.5 g 于锥形瓶中,加入 50 mL 75%乙醇,20 °C 下超声 0.5 h,过滤,滤液旋蒸至无醇味,转移至分液漏斗,加入适量水饱和,正丁醇萃取 2 次,合并正丁醇层,旋蒸至干,加入甲醇复溶并定容至 10 mL 容量瓶中,摇匀,作为皂苷待测液香草醛-冰醋酸-高氯酸法进行测定。每个指标重复测定 3 次。

1.3 数 据 处 理

采用 SPSS 20.0 统计分析软件对矿质元素和功能性成分等试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),并用最小显著差数法(LSD 法)进行多重比较。用 Excel 2007 软件进行图表制作。对 13 份不同的金花茶矿质元素、功能性成分数据进行标准化处理后,运用 SPSS 20.0 软件进行相关性分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 叶片表型性状分析

8 份金花茶种质资源 JHC-1~8 表型与 5 份对照种质资源有明显差异(表 1),叶长为 11.0~17.7 cm,叶宽为 4.7~9.7 cm,叶长与叶宽的比值为 1.69~2.74。根据叶长叶宽比,可将 13 份金花茶叶片形状划分为椭圆形和长椭圆形 2 种类型,其中

椭圆形资源有 5 份, 占 38.5%, 长椭圆形资源有 8 份, 占总种源量的 61.5%; 其中, JHC-1、JHC-4、JHC-6 的叶长/叶宽比值均超过 2.5, 呈长椭圆形, 而 JHC-7 叶长/叶宽比值仅为 1.73, 呈椭圆形。成熟叶片叶面积介于 55.00~162.96 cm² 之间, 借鉴茶树叶片大小的分类方法^[24], 普通金花茶、云南金花茶、毛瓣金花茶、JHC-1、JHC-2、JHC-6、JHC-7、JHC-8 可划分为大叶型, 其余划分为中小叶型。由表 1 可知, 13 份金花茶种质资源叶色分为深绿色、绿色及黄绿色, 且只有 JHC-7 叶片为黄绿色, 叶片椭圆或长椭圆形较为普遍, 叶长/

叶宽比值在 1.69~2.74 之间, 除毛瓣金花茶与 JHC-7 的叶质为薄革质, 其余叶质均为革质。13 份金花茶种质资源中, 只有凹脉金花茶以及毛瓣金花茶具有绒毛。叶缘特征全为具锯齿, 部分种质资源叶片只有上半部有细锯齿。13 份金花茶种质资源的叶片平均含水率的为 55.7%, 含水率最高的种质是凹脉金花茶, 含水率最低的种质是 JHC-8, 极差为 17.66%。其中普通金花茶、凹脉金花茶、JHC-3 含水率较高, 分别为 61.7%、62.1%、60.7%, 而 JHC-4、JHC-8 含水率较低, 只有 46.1%、44.5% (表 1)。

表 1 13 份金花茶种质资源叶片外形特征

Tab. 1 Leaf shape characteristics of thirteen germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha*

种质 Germplasm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶长/叶宽 Length/ width	叶面积 Leaf area/cm ²	叶形 Leaf shape	叶质 Leaf texture	叶色 Leaf color	绒毛 Pubescent	锯齿 Serrate	含水率 Moisture Content/%
普通金花茶	14.3	6.6	2.17	59.65	长椭圆形, 先端尾状渐尖	革质	深绿色	无	上半部有细锯齿	61.7
红河 1 号金花茶	12.9	4.7	2.74	60.65	长椭圆形, 先端渐尖	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	56.3
云南金花茶	15.5	8.5	1.82	131.75	椭圆形, 先端急锐尖	革质	绿色	无	上半部有细锯齿	56.4
凹脉金花茶	11.0	5.0	2.20	55.00	长椭圆形, 先端急尖	革质	绿色	有	上半部有细锯齿	62.1
毛瓣金花茶	15.2	9.0	1.69	102.32	椭圆形, 先端渐尖	薄革质	绿色	有	边缘有细锯齿	58.4
JHC-1	16.4	6.3	2.60	103.32	长椭圆形, 先端渐尖	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	57.8
JHC-2	17.7	8.5	2.08	150.45	椭圆形, 先端尾状渐尖	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	57.9
JHC-3	12.9	5.2	2.48	67.08	长椭圆形, 先端渐尖	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	60.7
JHC-4	13.0	4.8	2.71	62.40	长椭圆, 先端尾状渐尖	革质	深绿色	无	上半部有细锯齿	46.1
JHC-5	12.0	5.0	2.40	63.40	长椭圆形, 先端渐尖	革质	绿色	无	边缘有细锯齿	51.9
JHC-6	14.6	5.4	2.70	78.84	长椭圆形, 先端渐尖, 基部卵形	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	55.8
JHC-7	16.8	9.7	1.73	162.96	椭圆形, 先端渐尖	薄革质	黄绿色	无	上半部有细锯齿	54.4
JHC-8	17.0	8.1	2.10	137.70	椭圆形, 先端渐尖, 基部呈卵形	革质	深绿色	无	边缘有细锯齿	44.5

2.2 矿质元素含量分析

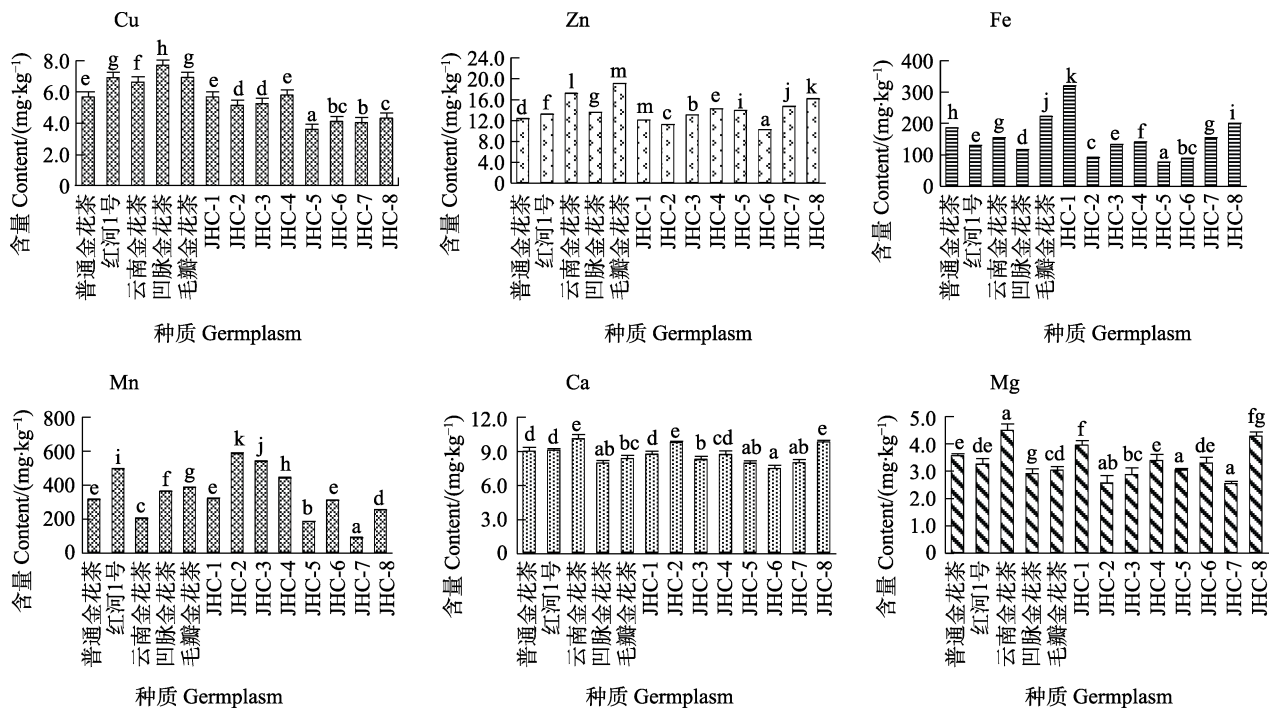
13 份金花茶种质资源的叶片中, 凹脉金花茶的 Cu 含量最高, 达 7.69 mg/kg, 最低的为 JHC-5, 仅 3.59 mg/kg, 前者是后者的 2.1 倍; Zn 含量最高的

是毛瓣金花茶, 达 19.07 mg/kg, 最低的为 JHC-6, 仅 10.21 mg/kg, 前者是后者的 1.9 倍; Fe 含量最高的是 JHC-1, 达 318.4 mg/kg, 最低的为 JHC-5, 仅 74.6 mg/kg, 前者是后者的 4.3 倍; Mn 含量最高的

是 JHC-2, 达 581.4 mg/kg, 最低的为 JHC-7, 仅 88.5 mg/kg, 前者是后者的 6.6 倍; Ca 含量最高的是云南金花茶, 达 10.11 g/kg, 最低的为 JHC-6, 仅 7.45 g/kg, 前者是后者的 1.4 倍; Mg 含量最高的也是云南金花茶, 达 4.51 mg/kg, 最低的为 JHC-7, 仅 2.54 mg/kg, 前者是后者的 1.8 倍 (图 1)。

不同金花茶种质资源叶片中矿质元素含量间存在差异, Cu 含量较高的有云南金花茶、红河 1 号毛瓣金花茶、凹脉金花茶, 含量较低的有 JHC-5、JHC-7、JHC-6、JHC-8; Zn 含量较高的

有 JHC-8、云南金花茶、毛瓣金花茶, 含量较低的有 JHC-6、JHC-2、JHC-1; Fe 含量较高的有普通金花茶、JHC-8、毛瓣金花茶、JHC-1, 含量较低的有 JHC-5、JHC-6、JHC-2; Mn 含量较高的有 JHC-4、红河 1 号、JHC-3、JHC-2, 含量较低的有 JHC-7、JHC-5、云南金花茶; Ca 含量较高的有 JHC-2、JHC-8、云南金花茶, 含量较低的有 JHC-6、JHC-5、凹脉金花茶、JHC-7; Mg 含量较高的有 JHC-1、JHC-8、云南金花茶, 含量较低的有 JHC-7、JHC-2、JHC-3、凹脉金花茶。



不同小写字母表示不同种质间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among different germplasm ($P < 0.05$).

图 1 13 份金花茶种质资源矿质元素含量

Fig. 1 Mineral element contents of thirteen germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha*

2.3 功能性成分含量分析

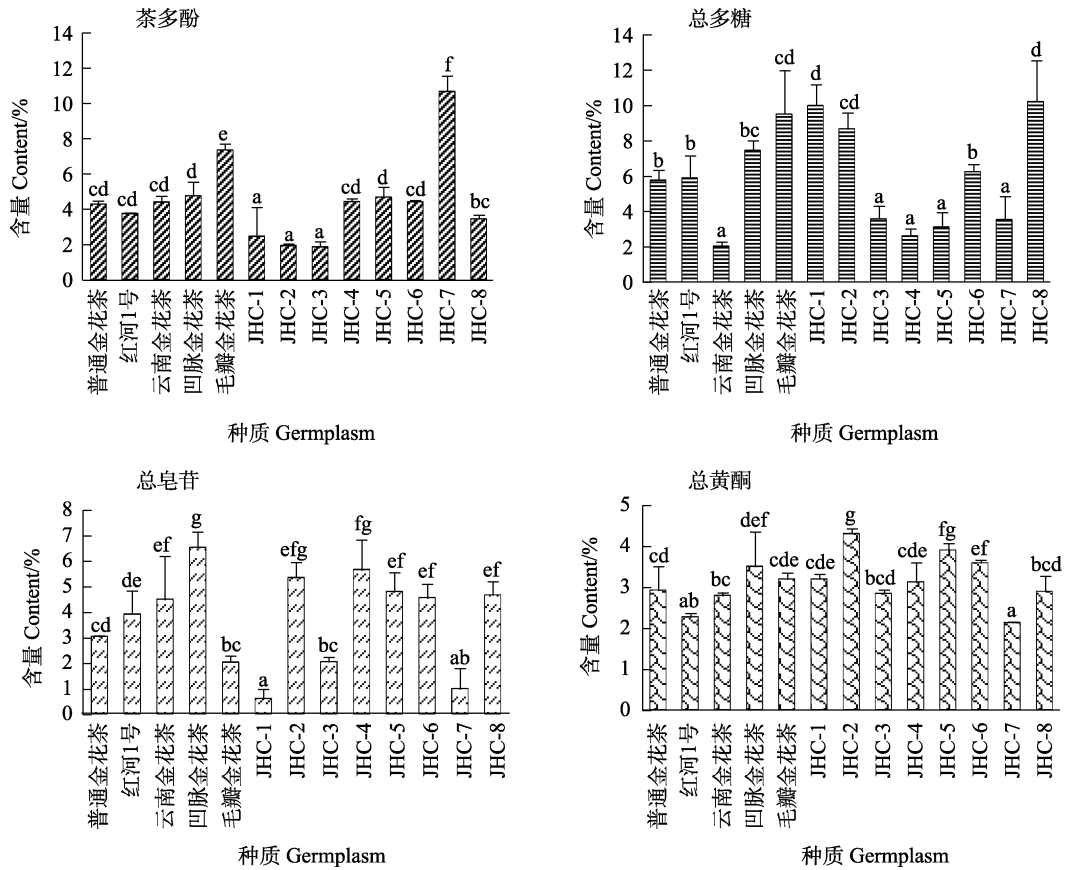
金花茶种质 JHC-7 的茶多酚含量最高, 达 10.67%, 低于 2.00% 的有 JHC-2 和 JHC-3, 仅为 1.91% 和 1.84%, 前者是后者的 5.0 倍以上; JHC-8 的总多糖含量最高, 达 10.20%, JHC-1 和毛瓣金花茶的总多糖含量次之, 分别为 9.97% 和 9.50%, 云南金花茶中仅含 2.02%, 最高和最低相差达 5.0 倍; 总皂苷含量最高的是凹脉金花茶, 达 6.53%, 最低的为 JHC-1, 仅 0.60%, 前者是后者的 10.9 倍; 总黄酮含量最高的是 JHC-2, 达 4.30%, 最低的为 JHC-7, 仅 2.13%, 相差 2.0 倍 (图 2)。

不同金花茶种质资源叶片中功能性成分含量

间存在显著性差异, 茶多酚含量较高的有毛瓣金花茶、JHC-7, 含量较低的有 JHC-3、JHC-2; 总多糖含量较高的有毛瓣金花茶、JHC-1、JHC-8, 含量较低的有云南金花茶、JHC-4; 总皂苷含量较高的有 JHC-2、JHC-4、凹脉金花茶, 含量较低的有 JHC-1、JHC-7; 总黄酮含量较高的有 JHC-5、JHC-2, 含量较低的有 JHC-7、红河 1 号。

2.4 叶片表型性状与矿质元素、功能成分的相关性分析

13 份金花茶种质资源叶片表型性状与矿质元素、功能性成分的相关性结果见表 2, 其中叶长/叶宽与茶多酚、锌元素含量呈显著 ($P < 0.05$) 负



不同小写字母表示不同种质间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among different germplasm ($P < 0.05$).

图 2 13 份金花茶种质资源功能性成分含量

Fig. 2 Functional component contents of thirteen germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha*

相关，相关系数分别为-0.561、-0.655，叶质、叶色与茶多酚含量呈极显著正相关，相关系数分别为 0.856、0.835，叶色与锰元素含量呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关，相关系数为-0.687，绒毛与铜含量元素呈极显著正相关，相关系数为 0.623。其余矿质元素及功能成分与叶片表型性状之间无显著相关性。

2.5 聚类分析

以 13 种金花茶叶片中 4 种功能性成分及 6 种矿质元素含量为参数组合，对其进行聚类分析，发现在距离系数为 4.5 时，可以将这 13 种金花茶划分为 5 组，其中第 I 组包括：红河 1 号、JHC-2、JHC-3、JHC-4；第 II 组有云南金花茶、JHC-5、JHC-7；第 III 组有凹脉金花茶和 JHC-6；第 IV 组有普通金花茶、JHC-8、毛瓣金花茶；而第 V 组只有 JHC-1 (图 3)。第 I 组和第 IV 组中的金花茶微量元素和功能性成分含量相对较高，可能具有更高的药用和保健功能；而第 III 组金花茶的微量元素和功能性成分含量在各种金花茶中相对较低，其

药用和保健功能可能相对较低。聚类图进一步表明 JHC-1~8 是区别于普通金花茶、红河 1 号、云南金花茶、凹脉金花茶和毛瓣金花茶等已知种源的新的金花茶组植物。

3 讨论

大多数植物叶片含水率占组织鲜重的 65%~90%，而本研究中 13 种金花茶种质资源的叶片含水率均在 62% 以下。通常叶片含水量越低，蒸腾强度越小，故叶片含水率是一个可靠的植物耐旱鉴定指标^[25]，且金花茶成熟叶片一般呈革质化，可见金花茶植株整体耐旱，因此并不适于频繁浇水。尤其本研究中 JHC-4、JHC-8 的叶片含水率低于 50%，更暗示了其强耐旱性，为后续选育强耐旱性株系提供了材料。不仅含水率，来自云南大围山的 JHC-1~8 表型表现出不同于已知种源的金花茶，其叶色、叶锯齿、叶面积也都发生了较大变化，猜测其内含成分也发生了一定的变化，经实际检测分析发现，矿质元素、功能性成分的

表 2 叶片表型性状与矿质元素、功能成分的相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis of leaf phenotypic traits with mineral elements and functional components

项目 Item	茶多酚 Tea poly- phenols	总多糖 Total polysac- charides	总皂苷 Total saponins	总黄酮 Total fla- vonoids	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca	Mg
叶长	0.094	0.417	-0.386	-0.040	-0.324	0.085	0.408	-0.156	0.489	0.204
叶宽	0.478	0.234	-0.354	-0.156	-0.112	0.499	0.293	-0.345	0.387	0.051
叶长/叶宽	-0.561*	-0.092	0.188	0.117	-0.086	-0.655*	-0.141	0.398	-0.250	0.042
叶面积	0.299	0.214	-0.260	-0.093	-0.301	0.270	0.196	-0.309	0.437	0.076
含水率	-0.077	0.084	-0.256	0.076	0.461	-0.247	0.036	0.265	-0.207	-0.330
叶质	0.856**	0.072	-0.536	-0.343	-0.012	0.540	0.221	-0.328	-0.291	-0.389
叶色	0.835**	-0.298	-0.123	-0.136	-0.160	0.308	-0.230	-0.687**	-0.490	-0.289
绒毛	0.296	0.369	0.130	0.162	0.623**	0.441	0.102	0.089	-0.297	-0.256
锯齿	-0.426	0.498	-0.177	0.319	-0.287	-0.164	0.058	0.352	-0.043	-0.079

注: *表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

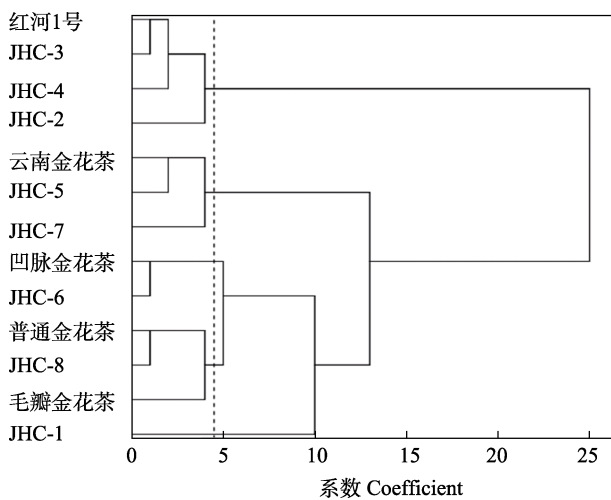


图 3 13 份金花茶种质资源的叶片内含成分的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of thirteen germplasm resources of *Camellia* sect. *Chrysantha* based on component contents in leaves

差异达到显著水平。而高矿质元素含量及高功能性成分含量的种质是金花茶育种取得成功的物质基础, 性状遗传变异的评估是提高遗传改良效率的重要内容。这也进一步表明云南大围山蕴含着丰富的金花茶资源, 是金花茶资源的宝库。

动物及临床试验表明, 金花茶叶提取物具有降血糖、降血压、降血脂、降血清中胆固醇、抑制肿瘤生长、防止动脉粥样硬化、激活人体多种酶、调节机体免疫能力、延缓衰老等功能^[26-31], 而金花茶叶片中所含的生理活性成分正是这些功能的物质基础。金花茶含有茶多酚、多糖、总黄酮、总皂苷等生理活性物质, 它们的含量均与其抗氧化活性相关。人工合成抗氧化剂可能引起癌变和

肝脏损伤, 因此, 开发高效无毒的天然抗氧化剂, 已成为植物领域重要的研究内容。前人相关研究表明, 在金花茶组植物中毛瓣金花茶 (*C. pubipetala*) 叶片茶多酚、总黄酮等含量更高, 矿质元素 Ca、Mn、Fe、Zn、Cu 等含量更为丰富^[32], 同样, 在本研究中, 毛瓣金花茶成熟叶片除总皂苷、Ca、Mg 等在相应各项平均值以下, 其他各项指标均高于平均值, 确实表现优异, 因此毛瓣金花茶具有较高的开发利用价值。若以毛瓣金花茶为参照, 本研究发现 JHC-7 的茶多酚含量是毛瓣金花茶的 1.5 倍, JHC-1、JHC-2、JHC-8 的总多糖含量和毛瓣金花茶的无显著性差异、且都显著高于其他金花茶, JHC-2、JHC-5 的总黄酮含量显著高于毛瓣金花茶, JHC-1 的 Fe 含量是毛瓣金花茶的 1.4 倍, JHC-2、JHC-3、JHC-4 的 Mn 含量显著高于毛瓣金花茶, JHC-2、JHC-8 的 Ca 含量显著高于毛瓣金花茶, JHC-1、JHC-8 的 Mg 含量显著高于毛瓣金花茶。这些结果和聚类分析的树状图一致。可见, JHC-2、JHC-8 的物质含量总体上很高, 暗示着有更高的开发利用价值, 也可以作为后续重要的选育材料进行其药用和保健功能的研究。

极端植物材料的筛选是剖析复杂性状遗传基础的一种重要研究基础。通过本研究, 还为后续在金花茶中解析重要功能性成分累积机理的研究筛选到极端材料, 如总皂苷含量极高材料凹脉金花茶与极低材料 JHC-1 相差 10.9 倍; 茶多酚含量极高材料 JHC-7 与极低材料 JHC-3 相差 5.8 倍; 总多糖含量极高材料 JHC-8 与极低材料云南金花

茶相差 5.0 倍; Mn 含量极高材料 JHC-2 与极低材料 JHC-7 相差 6.6 倍; Fe 含量极高材料 JHC-1 与极低材料 JHC-5 相差 4.3 倍。随着高通量技术在植物领域的研究进程, 基因组、转录组、蛋白组和代谢组等多个层面的海量数据对植物极端材料进行分析, 将进一步帮助我们更为全面、系统地解析金花茶种间的复杂变化与调控过程。

4 结论

本研究对 13 种金花茶种质资源叶片的微量元素及功能性成分含量进行测定并分析, 结果表明, 13 种金花茶种质资源叶片的微量元素及功能性成分差异显著 ($P < 0.05$), 可根据各自特点, 对所需营养成分的需求进行针对性的开发利用。今后应集中开发价值更高的金花茶种类, 更合理地开发利用金花茶种质资源, 最大程度发挥其功效。

参考文献

- [1] HE D Y, LI X Y, SAI X, WANG L L, LI S Y, XU Y P. *Camellia nitidissima* C.W. Chi: a review of botany, chemistry, and pharmacology[J]. *Phytochemistry Reviews*, 2018, 17(2): 327-349.
- [2] 贺栋业, 李晓宇, 王丽丽, 张萍, 李淑英, 徐永平. 金花茶化学成分及药理作用研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2016, 22(3): 231-234.
HE D Y, LI X Y, WANG L L, ZHANG P, LI S Y, XU Y P. Chemical constituents and pharmacological effects of *Camellia nitidissima*[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2016, 22(3): 231-234. (in Chinese)
- [3] 林华娟, 秦小明, 曾秋文, 杨基柱, 钟嘉敏. 金花茶茶花的化学成分及生理活性成分分析[J]. *食品科技*, 2010, 35(10): 88-91.
LIN H J, QIN X M, ZENG Q W, YANG J Z, ZHONG J M. Analysis on chemical and bioactive components in flower of *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(10): 88-91. (in Chinese)
- [4] 曹芬, 樊兰兰. 金花茶研究进展[J]. *中国药业*, 2013, 22(4): 95-96.
CAO F, FAN L L. Research progress on *Camellia nitidissima*[J]. *China Pharmaceuticals*, 2013, 22(4): 95-96. (in Chinese)
- [5] 李石容. 金花茶茶花黄酮类化合物的分离纯化及抗氧化活性的初步研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
LI S R. Isolation and purification of camellia flavonoid and preliminary study on its antioxidant activity[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012. (in Chinese):
- [6] DAI L, LI J L, LIANG X Q, LI L, FENG Y, LIU H Z, WEI W E, NING S F, ZHANG L T. Flowers of *Camellia nitidissima* cause growth inhibition, cell-cycledysregulation and apoptosis in a human esophagealsquamous cell carcinoma cell line[J]. *Molecular Medicine Reports*, 2016, 14(2): 1117-1122.
- [7] 宁恩创, 秦小明, 杨宏. 金花茶叶水提物的降脂功能试验研究[J]. *广西大学学报(自然科学版)*, 2004(4): 350-352.
NING E C, QIN X M, YANG H. Experimental study on lipid-lowering function of aqueous extract of *Camellia sinensis* L.[J]. *Journal of Guangxi University (Natural Science Edition)*, 2004(4): 350-352. (in Chinese)
- [8] 张萍. 金花茶的花提取物降血脂作用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
ZHANG P. Study on hypolipidemic effect of flower extract of *Camellia nitidissima* L.[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015. (in Chinese)
- [9] 夏星, 黄嘉骏, 王志萍, 王勤, 潘为高. 金花茶叶的降血糖作用及急性毒性研究[J]. *时珍国医国药*, 2013, 24(5): 1281-1282.
XIA X, HUANG J J, WANG Z P, WANG Q, PAN W G. Study on hypoglycemic effect and acute toxicity of *Camellia sinensis*[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2013, 24(5): 1281-1282. (in Chinese)
- [10] 张宏达, 任善湘. 中国植物志: 第四十九卷(第三分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
ZHANG H D, REN S X. *Flora of China: volume 49(3rd Edition)*[M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese)
- [11] 李先民, 李春牛, 卢家仕, 黄展文, 崔学强, 张自斌, 周锦业, 卜朝阳. 6 种金花茶组植物的花朵活性成分分析与评价[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(21): 33-37.
LI X M, LI C N, LU J S, HUANG Z W, CUI X Q, ZHANG Z B, ZHOU J Y, BU Z Y. Analysis and evaluation of active ingredient in flowers of 6 species of *Camellia* sect. *Chrysantha* Chang[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(21): 33-37. (in Chinese)
- [12] 李辛雷, 王佳童, 孙振元, 王洁, 殷恒福, 范正琪, 李纪元, 蒋昌杰, 黄晓娜. 五种金花茶组植物类黄酮成分及其与花色关系[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(4): 961-966.
LI X L, WANG J T, SUN Z Y, WANG J, YIN H F, FAN Z Q, LI J Y, JIANG C J, HUANG X N. Flavonoid components and their relationship with flower colors in five species of *Camellia* section *Chrysantha*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(4): 961-966. (in Chinese)
- [13] 李辛雷, 王佳童, 孙振元, 王洁, 殷恒福, 范正琪, 李纪元. 三种山茶属金花茶组植物花朵类黄酮成分研究[J]. *广西植物*, 2019, 39(7): 917-924.

- LI X L, WANG J T, SUN Z Y, WANG J, YIN H F, FAN Z Q, LI J Y. Flavonoid components in flowers from three species of section *Chrysantha* Chang in *Camellia*[J]. *Guihaia*, 2019, 39(7): 917-924. (in Chinese)
- [14] 韦霄, 黄兴贤, 蒋运生, 唐辉, 漆小雪, 陈宗游. 3 种金花茶组植物提取物的抗氧化活性比较[J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(5): 639-641.
WEI X, HUANG X X, JIANG Y S, TANG H, QI X X, CHEN Z Y. Comparison of the antioxidant activities of the extracts from three species of *Camellia* group[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2011, 36(5): 639-641. (in Chinese)
- [15] 黄永林, 文永新, 刘金磊, 李典鹏, 张厚瑞, 韦霄. 5 种金花茶中总黄酮含量的测定[J]. *中国中医药科技*, 2009, 16(1): 38-39.
HUANG Y L, WEN Y X, LIU J L, LI D P, ZHANG H R, WEI X. Determination of total flavonoids in 5 kinds of *Camellia nitidissima* thubn[J]. *Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology*, 2009, 16(1): 38-39. (in Chinese)
- [16] 李美玲, 彭健玲, 江海都, 柴胜丰, 朱成豪, 熊忠臣. 9 种金花茶抗氧化活性及其主要活性物质含量的研究[J]. *广西科学院学报*, 2020, 36(4): 419-426.
LI M L, PENG J L, JIANG H D, CHAI S F, ZHU C H, XIONG Z C. Study on antioxidant activity and content of main active component of 9 kinds of yellow *Camellia* flowers[J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2020, 36(4): 419-426. (in Chinese)
- [17] 张贵良, 张贵生, 张昆, 王东, 平珊瑚. 云南金花茶野生资源调查与分析[J]. *广东林业科技*, 2015, 31(1): 45-48.
ZHANG G L, ZHANG G S, ZHANG K, WANG D, PING S H. Investigation and analysis of wild *Camellia fascicularis* in Yunnan province[J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2015, 31(1): 45-48. (in Chinese)
- [18] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录. 第一卷, 红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
WANG S, XIE Y. China species red list. Volume 1, the Red List[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese)
- [19] 杨保纲. 云南大围山生物多样性[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2019.
YANG B G. Biodiversity of Dawei Mountain in Yunnan province[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2019. (in Chinese)
- [20] 张玥, 蓝增全, 吴田. 云南大围山金花茶种质资源的 ISSR 分析[J]. *分子植物育种*, 2018, 16(2): 649-655.
ZHANG Y, LAN Z Q, WU T. ISSR analysis of *Camellia nitidissima* germplasm resources from dawei mountain in Yunnan[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(2): 649-655. (in Chinese)
- [21] 黄兴贤. 金花茶组植物黄酮的含量比较及抗氧化性研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2010.
HUANG X X. Comparative study on the content and anti-oxidation of flavonoids in *Camellia* group[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2010. (in Chinese)
- [22] 韦璐. 金花茶多糖的分离纯化及化学结构研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2008.
WEI L. Study on isolation, purification and chemical structure of polysaccharides from *Camellia nitidissima*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2008. (in Chinese)
- [23] 高丽萍, 刘华, 封云芳. 人参总皂苷的含量测定[J]. *浙江工程学院学报*, 2002(3): 171-174.
GAO L P, LIU H, FENG Y F. Determination of total saponins in *Panax ginseng*[J]. *Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Natural Sciences)*, 2002(3): 171-174. (in Chinese)
- [24] 虞富莲. 中国古茶树[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2016.
YU F L. Ancient tea plants in China[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2016. (in Chinese)
- [25] 唐健民, 柴胜丰, 邹蓉, 陈宗游, 史艳财, 蒋运生, 韦霄. 水分胁迫对极小种群东兴金花茶幼苗光合特性的影响[J]. *广西植物*, 2020, 40(12): 1764-1772.
TANG J M, CHAI S F, ZOU R, CHEN Z Y, SHI Y C, JIANG Y S, WEI X. Effects of water stress on photosynthetic characteristics of *Camellia tungghinensis* seedlings[J]. *Guihaia*, 2020, 40(12): 1764-1772. (in Chinese)
- [26] PENG X, YU D Y, FENG B M, WANG Y Q, SHI L Y. A new acylated flavonoid glycoside from the flowers of *Camellia nitidissima* and its effect on the induction of apoptosis in human lymphoma U937 cells[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2012, 14(8): 799-804.
- [27] WANG W X, LIU H Y, WANG Z N, QI J, YUAN S T, ZHANG W J, CHEN H J, FINLEY J W, GU L W, JIA A Q. Phytochemicals from *Camellia nitidissima* Chi inhibited the formation of advanced glycation end-products by scavenging methylglyoxal[J]. *Food Chemistry*, 2016(205): 204-211.
- [28] 李丹, 彭成, 谢晓芳. 黄酮类化合物治疗糖尿病及其并发症的研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2014, 20(11): 239-242.
LI D, PENG C, XIE X F. Development of experimental study on flavonoids for treatment of diabetes mellitus and its complications[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2014, 20(11): 239-242. (in Chinese)
- [29] 农彩丽, 陈永欣, 何显科, 韦锦斌. 金花茶总黄酮体外抗肿瘤活性的实验研究[J]. *中国癌症防治杂志*, 2012, 4(4): 324-327.
NONG C L, CHEN Y X, HE X K, WEI J B. *In vitro* antitu-

- mor effects of total flavonoids from *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama[J]. Chinese Journal of Oncology Prevention and Treatment, 2012, 4(4): 324-327. (in Chinese)
- [30] 赵元华, 刘会芳, 何荣霞. 金花茶抗肿瘤作用的研究进展[J]. 医学综述, 2015, 21(16): 2995-2997.
- ZHAO Y H, LIU H F, HE R X. Research progress of the anti-tumor effect of *Camellia nitidissima*[J]. Medical Recapitulate, 2015, 21(16): 2995-2997. (in Chinese)
- [31] 王梓灵, 郭瑜婕, 朱芸芸, 陈乐, 吴婷, 刘大会, 黄必胜, 杜鸿志. 金花茶有效部位抑制表皮生长因子受体(EGFR)抗非小细胞肺癌的作用机制研究[J]. 中国中药杂志, 2021(46): 1001-5302.
- WANG Z L, GUO Y J, ZHU Y Y, CHEN L, WU T, LIU D H, HUANG B S, DU H Z. Actives fractions of *Camellia nitidissima* inhibit non-small cell lung cancer via suppressing epidermal growth factor receptor[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021(46): 1001-5302. (in Chinese)
- [32] 柴胜丰, 唐健民, 陈宗游, 韦记青, 漆小雪, 韦霄. 毛瓣金花茶叶片化学成分及生理活性物质分析[J]. 食品科技, 2016, 41(3): 110-114.
- CHAI S F, TANG J M, CHEN Z Y, WEI J Q, QI X X, WEI X. Analysis of chemical components and physiological active substances in leaves of *Camellia pubipetala*[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 110-114. (in Chinese)