

茶树功能性成分的遗传多样性分析及综合评价

刘梦月^{1,2a}, 孙悦^{2a,2b}, 韦朝领³, 宋博^{2a,2b}, 陈志丹^{2a,2b}, 曹士先⁴, 孙威江^{2a,2b,①}

(1. 福建农林大学安溪茶学院, 福建 泉州 362400;

2. 福建农林大学: a. 海峡两岸特色作物安全生产省部共建协同创新中心, b. 园艺学院, 福建 福州 350002;

3. 安徽农业大学 茶树生物学与资源利用国家重点实验室, 安徽 合肥 230036; 4. 武夷星茶业有限公司, 福建 武夷山 354301)

摘要: 对 30 个适制乌龙茶的茶树 [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] 品种(品系)的 14 个功能性成分含量和遗传多样性进行分析,并根据筛选出的代表性评价指标对茶树材料进行综合评价。结果显示:30 份茶树材料间各功能性成分含量的差异均达极显著水平,其中,‘天福星 1 号’(‘Tianfuxing 1’)的茶多酚、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、可可碱和茶叶碱含量均最高。14 个成分含量的变异系数为 4.98%~79.96%, Shannon-Wiener 指数平均值为 1.90。通过相关性分析和主成分分析,筛选出 EGCG、游离氨基酸、茶多酚、表没食子儿茶素(ECG)、没食子儿茶素(GC)和咖啡碱含量 6 个代表性评价指标。聚类分析和综合评价结果显示:在欧氏距离 13.5 处,30 份茶树材料分为 4 类,各类具有不同的品质功能特点, I 类和 II 类可作为选育高茶多酚、高 EGCG 茶树的亲本, III 类可作为选育高游离氨基酸茶树的亲本, IV 类可作为选育低咖啡碱茶树的亲本。综合排名在第 2 至第 7 的材料集中分布在 I 类,其中,‘金福星 1 号’(‘Jinfuxing 1’)的综合得分最高(3.88); II 类的‘天福星 1 号’综合得分最高(4.70);综合排名在第 8 至第 29 的材料集中分布在 III 类,其中,‘肉桂’(‘Rougui’)的综合得分最高(1.39); IV 类的‘毛蟹’(‘Maoxie’)综合得分最低(-2.79)。整体而言,综合得分从高至低依次为 II 类、I 类、III 类、IV 类, II 类和 I 类茶树材料的综合功能性较好。综上所述,供试茶树材料功能性成分的遗传多样性和变异类型较丰富,具备选育功能优良茶树种质资源的潜力。‘天福星 1 号’、‘金福星 1 号’、‘水仙’(‘Shuixian’)、‘白牡丹’(‘Baimudan’)、‘桂福星 1 号’(‘Guifuxing 1’)、‘佛手’(‘Foshou’)和‘丹桂’(‘Dangui’)为综合功能性较好的种质资源。聚类分析结果和综合评价排序结果基本吻合,选取的 6 个指标可作为初步评价功能性茶树种质资源的指标。

关键词: 茶树; 乌龙茶; 功能性成分; 遗传多样性; 聚类分析; 综合评价

中图分类号: Q945.78; S571.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)05-0028-11

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.05.03

Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation on functional components of tea tree (*Camellia sinensis*) LIU Mengyue^{1,2a}, SUN Yue^{2a,2b}, WEI Chaoling³, SONG Bo^{2a,2b}, CHEN Zhidan^{2a,2b}, CAO Shixian⁴, SUN Weijiang^{2a,2b,①} (1. Anxi College of Tea Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Quanzhou 362400, China; 2. Fujian Agriculture and Forestry University: a. Ministerial and Provincial Joint Innovation Centre for Safety Production of Cross-Strait Crops, b. College of Horticulture, Fuzhou 350002, China; 3. State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 4. Wuyi Star Tea Industrial Company Limited, Wuyishan 354301, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(5): 28-38

Abstract: Contents of 14 functional components and genetic diversity of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] cultivars (lines) for making oolong tea were analyzed, and comprehensive evaluation was carried out by the selected representative evaluation indexes. The results show that there are extremely

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 国家重点研发计划专项(2019YFD1001601); 福建农林大学“双一流”建设科技创新能力提升培育计划项目(KSYLC005); 福建张天福茶叶发展基金会科技创新基金项目(FJZTF01)

作者简介: 刘梦月(1995—),女,山西朔州人,硕士研究生,主要从事可持续生态学方面的研究。

①通信作者 E-mail: swj8103@126.com

引用格式: 刘梦月, 孙悦, 韦朝领, 等. 茶树功能性成分的遗传多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(5): 28-38.

significant differences in content of each functional component among 30 tea tree materials, in which, contents of tea polyphenols, epigallocatechin gallate (EGCG), epicatechin gallate (ECG), theobromine, and theophylline of 'Tianfuxing 1' are all the highest. The coefficients of variation of contents of 14 components are 4.98%–79.96%, the average of Shannon-Wiener index is 1.90. Six representative evaluation indexes namely contents of EGCG, free amino acids, tea polyphenols, epigallocatechin content (EGC), gallic acid content (GC), and caffeine are screened via correlation analysis and principal component analysis. The clustering analysis and comprehensive evaluation results show that at the Euclidean distance of 13.5, 30 tea tree materials can be divided into four categories, and each category has different quality functional characteristics, category I and category II can be used as parents for breeding high tea polyphenols and high EGCG tea trees, category III can be used as parents for breeding high free amino acid tea trees, and category IV can be used as parents for breeding low caffeine tea trees. The materials with comprehensive ranking from 2nd to 7th are mostly distributed in category I, in which, the comprehensive score of 'Jinfuxing 1' is the highest (3.88); that of 'Tianfuxing 1' in category II is the highest (4.70); the materials with comprehensive ranking from 8th to 29th are mostly distributed in category III, in which, the comprehensive score of 'Rougui' is the highest (1.39); that of 'Maoxie' in category IV is the lowest (-2.79). In general, the comprehensive score from high to low in the order is category II, category I, category III, category IV, the comprehensive functionality of tea tree materials in category II and category I are relatively good. In conclusion, the genetic diversity and variation types of functional components of test tea tree materials are relatively abundant, which have the potential for breeding tea tree germplasm resources with good function. 'Tianfuxing 1', 'Jinfuxing 1', 'Shuixian', 'Baimudan', 'Guifuxing 1', 'Foshou', and 'Dangui' are germplasm resources with good comprehensive function. The clustering analysis result is basically consistent with the ranking result of comprehensive evaluation, and the six selected indexes can be used as indexes for preliminary evaluation of functional tea tree germplasm resources.

Key words: *Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.; oolong tea; functional component; genetic diversity; clustering analysis; comprehensive evaluation

茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.]为多年生常绿木本经济作物,起源于中国,且种质资源较为丰富。由茶树鲜叶制作而成的茶,在中国被称为“国饮”,具有独特风味,营养、保健功效也受到大众认可^[1],如茶多酚具有抗菌、抗炎和抗氧化功效^[2-3],咖啡碱具有兴奋、利尿、强心、消化和解毒作用^[4],游离氨基酸具有镇静、保护神经和提高认知力等作用^[5]。茶树的品质特征和保健功效成分与其鲜叶密切相关^[6-7]。

种质资源丰富度与品种改良和新品种培育有直接关系^[8],其中,遗传多样性是生物多样性的重要组成部分,也是种质资源筛选的基础^[9]。目前,基于表型性状对茶树种质资源遗传多样性的研究已有较多报道,在相同生境条件下,该方法简单,易于操作,分析结果准确、稳定,在一定程度上可为遗传育种选材提供参考。如段志芬等^[10]利用农艺性状多样性对云南大理茶种质资源进行了分析;冯花等^[11]对不同地区茶树种质资源的数量、质量性状遗传多样性进行了研究;王新超等^[12]对广西不同茶树种质资源的主要生化成分进行了遗传多样性分析。目前,对福建省适制乌龙

茶的茶树功能性成分的遗传多样性研究缺乏系统报道,有待补充和完善。近年来,以功能性育种为目标的研究已成为国内外关注的热点^[13-14]。很多学者已开展茶叶化学成分的功能评价研究,如林金科等^[15]认为高酯型儿茶素茶树种质资源可作为品质遗传改良的重要材料;赵洋等^[16]对高氨基酸茶树种质资源进行了筛选,从 75 份黄金茶材料中筛选出 36 份高氨基酸材料和 1 份高茶氨酸材料。研究茶树功能性成分,筛选功能性强的茶树种质资源,对于功能性茶树育种具有重要意义。

主成分分析能较好地解释群体方差的主要来源,获得解释方差的重要性状并简化研究性状,以利于更好地研究群体,是一种比较成熟的综合评价方法^[17],在种质资源评价和筛选等方面^[18-20]广泛应用。利用主成分分析探索功能性茶树种质资源的评价指标,构建综合评价模型,可更加科学地筛选功能优良的茶树种质资源。已有文献^[15,21]对功能性茶树种质资源的筛选仅侧重于单一的功能性成分,未从整体对主要功能性成分进行综合评价。因此,本研究以 30 个适制乌龙茶的茶树品种(品系)为材料,在同一生境下进

行综合分析,对其功能性成分含量和遗传多样性进行了比较和分析,通过相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法筛选出代表性评价指标及功能优良的茶树种质资源,并建立了综合评价模型,以期茶树品质功能评价及后续功能性茶树培育奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

试验在武夷山市旗山科技工业园区茶树种质资源圃(东经 117°59′、北纬 27°43′,海拔 210 m)内进行,年均温 20 °C,无霜期 270 d,年均降水量 1 927 mm,光照充足,雨量充沛,属于中亚热带季风气候^[22]。试验材料为资源圃收集的 30 份适制乌龙茶的茶树材料,各材料处于同一生境、管理措施一致。其中‘梅占’(‘Meizhan’)、‘水仙’(‘Shuixian’)、‘悦茗香’(‘Yuemingxiang’)、‘黄观音’(‘Huangguanyin’)、‘本山’(‘Benshan’)、‘毛蟹’(‘Maoxie’)、‘黄玫瑰’(‘Huangmeigui’)、‘瑞香’(‘Ruixiang’)、‘金观音’(‘Jinguanyin’)、‘丹桂’(‘Dangui’)、‘铁观音’(‘Tieguanyin’)、‘八仙’(‘Baxian’)、‘紫牡丹’(‘Zimudan’)、‘金牡丹’(‘Jinmudan’)、‘黄旦’(‘Huangdan’)和‘春兰’(‘Chunlan’)是国家级乌龙茶品种;‘肉桂’(‘Rougui’)、‘佛手’(‘Foshou’)、‘奇兰’(‘Qilan’)、‘紫玫瑰’(‘Zimeigui’)、‘白牡丹’(‘Baimudan’)、‘九龙袍’(‘Jiulongpao’)和‘大红袍’(‘Dahongpao’)是省级乌龙茶品种;‘天福星 1 号’(‘Tianfuxing 1’)、‘金福星 1 号’(‘Jinfuxing 1’)和‘金福星 2 号’(‘Jinfuxing 2’)是农业农村部审定的乌龙茶品种;‘金福星 3 号’(‘Jinfuxing 3’)、‘金福星 4 号’(‘Jinfuxing 4’)、‘桂福星 1 号’(‘Guifuxing 1’)和‘桂福星 2 号’(‘Guifuxing 2’)是武夷星茶业有限公司与福建农林大学共同培育的乌龙茶新品种(系)。于 2021 年 4 月初,每个品种(品系)随机采集无病虫害的一芽二叶 200 g,液氮固样,使用 p1103-6L 真空冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)干燥 30 h。干燥后使用 Tissuelyser-96 多样品组织研磨仪(上海净信实业发展有限公司)进行研磨,装入塑封袋置于-20 °C 冰箱中保存、备用。

1.2 方法

参照 GB/T 8314—2013 中的方法检测游离氨基

酸含量;参照 GB/T 8313—2008 中的方法检测茶多酚含量;参照 GB/T 8305—2013 中的方法检测水浸出物含量;参照 GB/T 8313—2008 中的高效液相色谱法检测儿茶素和生物碱各组分含量,儿茶素组分包括表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、儿茶素(C)、表没食子儿茶素(EGC)、没食子儿茶素(GC)、表儿茶素(EC)和没食子酸(GA),生物碱组分包括咖啡碱、可可碱和茶叶碱。每个材料设置 3 次重复,每个成分重复测定 3 次,结果取平均值。

1.3 数据处理和分析

使用 EXCEL 2010 软件对原始数据进行整理和统计;参考文献[23]中的方法计算 Shannon-Wiener 指数(H'),用于表示遗传多样性;采用变异系数(CV)表示各功能性成分含量在材料间的差异性。使用 SPSS 17.0 软件对数据进行 Pearson 相关性分析,根据欧氏距离对供试材料进行聚类分析,采用 Kaiser 标准化的正交旋转法进行主成分分析,按照特征值大于等于 1 的标准提取主成分^[24];基于相关性分析和多样性分析结果,参考文献[25]中的方法筛选代表性指标,从各主成分中特征向量绝对值较大的指标中选相关性不显著、显著负相关或极显著负相关且 Shannon-Wiener 指数较大的指标;若指标间均显著或极显著正相关,选 Shannon-Wiener 指数最大的指标。以各功能性成分含量的特征向量为依据确定各主成分的得分系数并构建综合模型,最后根据综合得分对材料进行排序和分级^[26];使用 SPSS 17.0 软件,采用最小显著差异法(LSD)对上述分级结果进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 茶树功能性成分的遗传多样性分析

30 份茶树材料功能性成分含量及遗传多样性的比较见表 1。结果显示:30 份茶树材料的游离氨基酸、茶多酚、水浸出物、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、儿茶素(C)、表没食子儿茶素(EGC)、没食子儿茶素(GC)、表儿茶素(EC)、没食子酸(GA)、咖啡碱、可可碱和茶叶碱含量分别为 29.11~49.94 mg·g⁻¹、143.44~249.79 mg·g⁻¹、44.63%~55.74%、81.92~132.25 mg·g⁻¹、7.35~28.26

mg · g⁻¹、0.04 ~ 0.18 mg · g⁻¹、0.91 ~ 2.33 mg · g⁻¹、8.43 ~ 41.77 mg · g⁻¹、0.74 ~ 3.71 mg · g⁻¹、4.40 ~ 14.42 mg · g⁻¹、0.01 ~ 0.31 mg · g⁻¹、34.91 ~ 50.17 mg · g⁻¹、1.30 ~ 7.58 mg · g⁻¹、0.06 ~ 0.54 mg · g⁻¹, 其中, ‘天福星 1 号’ 的茶多酚、EGCG、ECG、可可碱和茶叶碱含量均最高, 明显高于其他材料, 水浸出物、GCG、EC 和咖啡碱含量也较高。方差分析结果显示: 供试茶树材料间各功能性成分含量的差异均达极显著水平。

结果(表 1) 还显示: 14 个成分含量的变异系数为 4.98% ~ 79.96%, 变化范围较大, 存在丰富的变异, 其中, GA 含量的变异系数最大, 水浸出物含量的变异系数最小。说明供试茶树中水浸出物的改良潜力较小。

结果(表 1) 还显示: 14 个成分含量的 Shannon-Wiener 指数平均值为 1.90, 从高至低依次为 EGCG 含量、水浸出物含量、可可碱含量、游离氨基酸含量和

表 1 30 份茶树材料功能性成分含量及遗传多样性的比较 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison on contents of functional components and genetic diversity of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

材料 Material	C _{FAA}	C _{TP1}	C _{WE}	C _{EGCG}	C _{ECC}	C _{GCG}	C _C
梅占 Meizhan	44.59±0.20	164.37±1.68	49.35±0.10	93.90±1.09	7.99±0.30	0.08±0.00	1.50±0.00
肉桂 Rougui	35.01±1.22	185.04±1.61	50.62±0.33	122.93±1.43	15.52±0.39	0.11±0.00	1.34±0.00
水仙 Shuixian	29.11±0.40	225.46±0.98	55.74±0.29	117.59±0.78	20.62±0.36	0.10±0.00	1.60±0.00
天福星 1 号 Tianfuxing 1	30.02±0.59	249.79±1.76	54.57±0.68	132.25±0.48	28.26±0.42	0.13±0.00	0.99±0.01
黄观音 Huangguanyin	38.11±0.71	197.13±5.53	48.39±0.05	98.59±0.31	11.56±0.12	0.05±0.00	1.27±0.01
悦茗香 Yuemingxiang	36.68±0.77	186.27±2.67	51.58±0.64	96.58±0.21	11.50±0.05	0.04±0.00	1.54±0.01
佛手 Foshou	34.13±0.16	217.45±1.72	50.26±0.09	109.33±0.46	22.81±0.02	0.07±0.00	1.28±0.01
奇兰 Qilan	41.07±0.60	169.29±2.45	46.86±0.07	108.36±0.66	10.23±0.13	0.07±0.00	1.49±0.02
金福星 3 号 Jinfuxing 3	38.74±0.49	181.74±3.57	46.03±0.36	108.26±0.49	9.72±0.63	0.09±0.00	0.99±0.01
本山 Benshan	38.66±0.54	143.44±4.41	47.03±0.12	85.36±0.24	12.08±0.39	0.08±0.00	1.23±0.02
金福星 4 号 Jinfuxing 4	40.75±1.30	189.56±1.91	49.67±1.31	111.59±0.88	18.56±0.30	0.12±0.00	1.51±0.02
毛蟹 Maoxie	32.91±0.01	153.66±1.21	44.63±0.08	81.92±0.50	7.57±0.06	0.07±0.00	1.09±0.01
黄玫瑰 Huangmeigui	34.24±0.79	176.80±1.98	47.12±0.15	88.64±0.56	11.45±0.17	0.11±0.00	1.76±0.01
桂福星 1 号 Guifuxing 1	35.82±0.82	208.54±5.29	50.07±0.09	119.10±0.24	18.11±0.10	0.18±0.00	1.55±0.03
瑞香 Ruixiang	30.23±0.40	184.87±3.41	50.48±0.01	93.66±0.69	12.91±0.27	0.08±0.00	1.10±0.01
金观音 Jinguanyin	30.47±0.24	182.23±3.83	49.78±0.37	103.81±0.86	11.69±0.09	0.12±0.01	1.55±0.01
丹桂 Dangui	32.82±0.33	196.27±3.74	50.57±0.25	116.59±0.72	10.22±0.17	0.12±0.00	0.92±0.05
铁观音 Tieganyin	35.92±0.11	176.18±4.16	50.35±0.01	101.33±0.42	14.83±0.47	0.09±0.00	1.53±0.01
紫玫瑰 Zimeigui	42.46±0.72	172.59±2.28	48.91±0.24	89.69±0.56	8.63±0.12	0.08±0.00	1.23±0.01
金福星 1 号 Jinfuxing 1	33.85±0.18	219.49±3.29	53.34±0.15	132.11±1.19	15.07±0.37	0.11±0.00	2.33±0.02
桂福星 2 号 Guifuxing 2	49.94±0.28	149.80±2.69	50.15±0.20	95.63±0.68	7.35±0.04	0.13±0.00	1.07±0.02
白牡丹 Baimudan	35.90±0.27	214.30±4.50	51.74±0.17	120.88±1.18	10.28±0.15	0.12±0.01	1.30±0.01
八仙 Baxian	29.18±0.88	144.50±0.58	50.71±0.16	124.38±0.48	18.09±0.89	0.09±0.00	0.91±0.01
九龙袍 Jiulongpao	44.98±1.10	171.10±4.26	49.28±0.48	103.44±0.50	9.45±0.10	0.10±0.00	1.26±0.02
大红袍 Dahongpao	36.62±0.91	195.05±5.16	51.22±0.26	106.72±0.51	18.23±0.22	0.09±0.00	1.26±0.01
紫牡丹 Zimudan	34.13±0.13	169.62±3.38	48.89±0.21	91.27±0.57	15.65±0.10	0.08±0.00	1.45±0.02
金福星 2 号 Jinfuxing 2	38.37±0.14	174.95±1.94	52.54±0.25	110.14±1.43	12.25±0.22	0.12±0.01	0.93±0.00
金牡丹 Jinmudan	35.73±0.43	177.17±2.02	47.38±0.13	104.91±1.65	16.28±0.36	0.10±0.00	1.30±0.02
黄旦 Huangdan	40.67±0.76	162.71±3.77	47.00±0.09	83.41±1.18	15.75±0.27	0.06±0.00	1.42±0.01
春兰 Chunlan	40.65±0.32	177.64±0.21	48.38±0.48	90.28±0.62	10.50±0.50	0.11±0.00	0.97±0.01
最小值 Minimun value	29.11	143.44	44.63	81.92	7.35	0.04	0.91
最大值 Maximun value	49.94	249.79	55.74	132.25	28.26	0.18	2.33
平均值 Average	36.71	185.36	49.75	104.76	13.77	0.10	1.32
标准差 Standard deviation	5.05	24.96	2.48	14.03	4.83	0.03	0.30
F 值 F value	40.56**	39.89**	43.86**	224.13**	222.17**	106.72**	249.40**
CV/%	13.77	13.47	4.98	13.40	35.10	30.19	22.59
H'	1.98	1.91	2.01	2.20	1.87	1.85	1.71

续表1 Table 1 (Continued)

材料 Material	C _{ECC}	C _{GC}	C _{EC}	C _{GA}	C _{CAF}	C _{TB}	C _{TP2}
梅占 Meizhan	31.26±0.80	1.22±0.08	7.25±0.19	0.11±0.01	41.85±0.99	2.56±0.04	0.10±0.00
肉桂 Rougui	20.46±0.17	2.72±0.08	9.81±0.17	0.22±0.00	45.08±0.80	5.70±0.14	0.23±0.00
水仙 Shuixian	38.68±0.50	3.08±0.03	14.42±0.58	0.06±0.00	42.06±1.05	2.83±0.05	0.19±0.00
天福星 1号 Tianfuxing 1	23.92±0.15	2.62±0.02	13.61±0.06	0.04±0.00	43.20±0.31	7.58±0.06	0.54±0.00
黄观音 Huangguanyin	31.77±0.32	2.16±0.03	9.83±0.06	0.05±0.00	39.14±0.45	3.25±0.05	0.06±0.00
悦茗香 Yuemingxiang	27.27±0.23	3.27±0.01	11.12±0.13	0.08±0.00	39.65±0.05	3.27±0.01	0.14±0.00
佛手 Foshou	31.44±0.04	2.75±0.11	12.36±0.30	0.06±0.00	38.72±0.45	1.85±0.05	0.19±0.00
奇兰 Qilan	16.08±0.08	3.15±0.00	6.64±0.07	0.19±0.00	39.83±0.29	3.15±0.00	0.06±0.00
金福星 3号 Jinfuxing 3	25.81±0.84	2.84±0.02	6.36±0.17	0.14±0.00	40.35±0.11	2.67±0.02	0.21±0.01
本山 Benshan	26.94±0.68	3.33±0.09	7.30±0.12	0.06±0.00	43.28±0.99	3.04±0.07	0.17±0.01
金福星 4号 Jinfuxing 4	32.21±0.66	3.71±0.02	8.34±0.29	0.05±0.00	45.39±0.71	5.01±0.03	0.37±0.01
毛蟹 Maoxie	29.74±0.11	2.08±0.04	7.18±0.09	0.06±0.00	34.91±0.09	1.35±0.00	0.18±0.01
黄玫瑰 Huangmeigui	32.81±0.28	0.74±0.03	9.09±0.09	0.08±0.00	43.00±0.48	2.95±0.03	0.13±0.00
桂福星 1号 Guifuxing 1	33.45±0.22	1.86±0.01	9.65±0.12	0.16±0.00	40.78±0.39	4.42±0.01	0.25±0.00
瑞香 Ruixiang	8.43±0.16	1.09±0.01	4.99±0.08	0.11±0.00	40.77±0.70	4.44±0.08	0.20±0.01
金观音 Jinguanyin	31.75±0.22	1.98±0.03	8.30±0.04	0.02±0.00	40.95±0.21	3.10±0.03	0.18±0.00
丹桂 Dangui	41.77±0.39	2.98±0.01	8.33±0.18	0.07±0.00	38.92±0.26	2.60±0.01	0.23±0.00
铁观音 Tieguanyin	25.68±2.33	2.61±0.05	7.70±0.27	0.02±0.00	38.84±0.40	3.26±0.04	0.28±0.00
紫玫瑰 Zimeigui	33.75±0.27	1.57±0.02	7.79±0.29	0.03±0.00	35.96±0.43	1.88±0.01	0.12±0.00
金福星 1号 Jinfuxing 1	37.69±0.63	3.46±0.02	8.39±0.17	0.04±0.00	45.70±0.75	4.35±0.04	0.30±0.01
桂福星 2号 Guifuxing 2	25.78±0.16	2.25±0.08	6.49±0.05	0.17±0.00	37.87±0.22	4.56±0.02	0.18±0.00
白牡丹 Baimudan	31.36±0.35	2.18±0.07	8.37±0.14	0.03±0.00	40.59±0.41	5.08±0.07	0.32±0.00
八仙 Baxian	21.35±0.83	1.88±0.03	6.89±0.46	0.14±0.00	35.28±0.21	1.30±0.07	0.22±0.00
九龙袍 Jiulongpao	20.35±0.22	2.26±0.01	6.13±0.09	0.31±0.00	40.40±0.19	3.72±0.01	0.42±0.00
大红袍 Dahongpao	26.99±1.00	1.89±0.09	8.90±0.19	0.02±0.00	45.35±0.29	3.81±0.03	0.20±0.00
紫牡丹 Zimudan	19.21±0.07	2.02±0.05	7.82±0.08	0.01±0.00	44.41±0.06	2.86±0.01	0.22±0.01
金福星 2号 Jinfuxing 2	15.87±0.13	2.14±0.05	4.40±0.10	0.27±0.01	50.17±0.40	5.83±0.05	0.43±0.00
金牡丹 Jinmudan	29.04±0.57	2.03±0.01	8.65±0.07	0.14±0.00	42.79±0.15	4.07±0.13	0.18±0.00
黄旦 Huangdan	17.18±0.15	2.12±0.05	8.08±0.06	0.08±0.00	36.97±0.41	2.31±0.09	0.11±0.00
春兰 Chunlan	25.77±0.78	2.02±0.02	6.48±0.07	0.01±0.00	40.52±0.47	2.36±0.08	0.22±0.00
最小值 Minimum value	8.43	0.74	4.40	0.01	34.91	1.30	0.06
最大值 Maximun value	41.77	3.71	14.42	0.31	50.17	7.58	0.54
平均值 Average	27.13	2.34	8.36	0.10	41.09	3.51	0.22
标准差 Standard deviation	7.42	0.70	2.25	0.08	3.44	1.39	0.11
F值 F value	139.19**	180.78**	120.21**	420.97**	44.50**	552.34**	781.14**
CV/%	27.37	30.19	26.93	79.96	8.37	39.79	48.77
H'	1.98	1.94	1.68	1.78	1.90	1.99	1.73

¹⁾ C_{FAA}: 游离氨基酸含量 Free amino acids content (mg · g⁻¹); C_{TP1}: 茶多酚含量 Tea polyphenols content (mg · g⁻¹); C_{WE}: 水浸出物含量 Water extracts content (%); C_{ECCG}: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Epigallocatechin gallate content (mg · g⁻¹); C_{ECC}: 表儿茶素没食子酸酯含量 Epicatechin gallate content (mg · g⁻¹); C_{GCG}: 没食子儿茶素没食子酸酯含量 Galocatechin gallate content (mg · g⁻¹); C_C: 儿茶素含量 Catechin content (mg · g⁻¹); C_{ECC}: 表没食子儿茶素含量 Epigallocatechin content (mg · g⁻¹); C_{GC}: 没食子儿茶素含量 Galocatechin content (mg · g⁻¹); C_{EC}: 表儿茶素含量 Epicatechin content (mg · g⁻¹); C_{GA}: 没食子酸含量 Gallic acid content (mg · g⁻¹); C_{CAF}: 咖啡碱含量 Caffeine content (mg · g⁻¹); C_{TB}: 可可碱含量 Theobromine content (mg · g⁻¹); C_{TP2}: 茶叶碱含量 Theophylline content (mg · g⁻¹). **: P<0.01. CV: 变异系数 Coefficient of variation; H': Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index.

EGC 含量、GC 含量、茶多酚含量、咖啡碱含量、ECG 含量、GCG 含量、GA 含量、茶叶碱含量、C 含量、EC 含量,其中,EGCG 含量的 Shannon-Wiener 指数最大(2.20),EC 含量的 Shannon-Wiener 指数最小(1.68)。说明供试茶树材料的功能性成分有丰富的遗传多样性。

2.2 茶树功能性成分的相关性分析

对 30 份茶树材料不同功能性成分含量进行相关性分析,结果见表 2。结果显示:茶树各功能性成分含量间存在不同程度相关性。其中,游离氨基酸含量与茶多酚、水浸出物、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)和表儿茶素

(EC) 含量呈极显著或显著负相关, 与没食子酸 (GA) 含量呈显著正相关; 茶多酚含量与 GA 含量呈显著负相关, 与其他成分含量呈极显著或显著正相关; 水浸出物含量与 EGCG、ECG、没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG)、没食子儿茶素 (GC)、EC 和生物碱 (咖啡碱、可可碱和茶叶碱) 含量呈极显著或显著正相关; EGCG 含量与儿茶素 (C) 和 GA 含量无显著相关性, 与其他成分含量呈极显著或显著正相关; ECG 含量与 GC、EC 和生物碱含量呈极显著或显著正相关;

GCG 含量与表没食子儿茶素 (EGC)、GA 和生物碱含量呈极显著或显著正相关; C 含量与 EGC、EC 和咖啡碱含量呈极显著或显著正相关, 与 GA 含量呈显著负相关; EGC 含量与 GC 和 EC 含量呈极显著或显著正相关, 与 GA 含量呈极显著负相关; GC 含量与 EC 和茶叶碱含量呈极显著负相关; EC 含量与 GA 含量呈极显著负相关; GA 含量与可可碱含量呈显著正相关; 咖啡碱含量与可可碱和茶叶碱含量呈极显著正相关; 可可碱含量与茶叶碱含量呈极显著正相关。

表 2 30 份茶树材料不同功能性成分含量间的相关系数¹⁾

Table 2 Correlation coefficients among contents of different functional components of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials¹⁾

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient													
	C _{FAA}	C _{TP1}	C _{WE}	C _{EGCG}	C _{ECG}	C _{GCG}	C _C	C _{EGC}	C _{GC}	C _{EC}	C _{GA}	C _{CAF}	C _{TB}	
C _{TP1}	-0.411**													
C _{WE}	-0.342**	0.622**												
C _{EGCG}	-0.382**	0.631**	0.662**											
C _{ECG}	-0.510*	0.601**	0.514**	0.540**										
C _{GCG}	-0.010	0.282**	0.321**	0.503**	0.162									
C _C	-0.071	0.243*	0.153	0.110	0.081	-0.011								
C _{EGC}	-0.101	0.362**	0.162	0.212*	0.020	0.242*	0.341**							
C _{GC}	-0.013	0.244*	0.223*	0.393**	0.232*	-0.032	0.171	0.211*						
C _{EC}	-0.411**	0.682**	0.461**	0.373**	0.671**	-0.011	0.272**	0.471**	-0.362**					
C _{GA}	0.342*	-0.262*	-0.061	0.141	-0.200	0.213*	-0.213*	-0.430**	0.031	-0.362**				
C _{CAF}	-0.051	0.282**	0.363**	0.312**	0.274**	0.311**	0.254*	-0.072	0.141	0.031	0.151			
C _{TB}	-0.011	0.472*	0.501**	0.512**	0.352**	0.512**	0.013	-0.192	0.040	0.141	0.261*	0.632**		
C _{TP2}	-0.141	0.412**	0.491**	0.554**	0.412**	0.533**	-0.172	-0.100	-0.362**	0.040	0.193	0.432**	0.661**	

¹⁾ C_{FAA}: 游离氨基酸含量 Free amino acids content; C_{TP1}: 茶多酚含量 Tea polyphenols content; C_{WE}: 水浸出物含量 Water extracts content; C_{EGCG}: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Epigallocatechin gallate content; C_{ECG}: 表儿茶素没食子酸酯含量 Epicatechin gallate content; C_{GCG}: 没食子儿茶素没食子酸酯含量 Gallocatechin gallate content; C_C: 儿茶素含量 Catechin content; C_{EGC}: 表没食子儿茶素含量 Epigallocatechin content; C_{GC}: 没食子儿茶素含量 Gallocatechin content; C_{EC}: 表儿茶素含量 Epicatechin content; C_{GA}: 没食子酸含量 Gallic acid content; C_{CAF}: 咖啡碱含量 Caffeine content; C_{TB}: 可可碱含量 Theobromine content; C_{TP2}: 茶叶碱含量 Theophylline content. *: P<0.05; **: P<0.01.

2.3 茶树功能性成分的主成分分析

对 30 份茶树材料各功能性成分含量进行主成分分析, 结果见表 3。结果显示: 前 4 个主成分的特征值大于 1, 累计贡献率为 70.870%, 基本能够反映供试 30 份茶树材料品质功能的综合信息。第 1 主成分的贡献率为 34.844%, 其中, 没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG)、可可碱、茶叶碱、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、咖啡碱和水浸出物含量特征向量的绝对值较大, 均在 0.5 以上; 第 2 主成分的贡献率为 18.774%, 其中, 表儿茶素没食子酸酯 (ECG)、游离氨基酸、表儿茶素 (EC)、茶多酚和水浸出物含量特征向量的绝对值较大, 均在 0.5 以上; 第 3 主成分的贡献率为 9.563%, 其中, 表没食子儿茶素 (EGC) 含量特征

向量的绝对值较大, 为 0.921; 第 4 主成分的贡献率为 7.689%, 其中, 水浸出物、儿茶素 (C)、没食子儿茶素 (GC) 和咖啡碱含量特征向量的绝对值较大, 均在 0.5 以上。

结合相关性分析和遗传多样性分析结果筛选代表性指标 (水浸出物由于改良潜力较小不纳入筛选范围), 第 1 主成分中 EGCG、GCG、咖啡碱、可可碱和茶叶碱含量间均存在极显著或显著正相关, 其中 EGCG 含量的 Shannon-Wiener 指数最大, 选 EGCG 含量作为功能因子; 第 2 主成分中游离氨基酸含量与茶多酚、ECG 和 EC 含量呈极显著或显著负相关, 其中茶多酚含量的 Shannon-Wiener 指数较大, 选游离氨基酸和茶多酚含量作为功能因子; 第 3 主成分中选

表3 30份茶树材料各功能性成分含量的主成分分析结果¹⁾Table 3 Result of principal component analysis on content of each functional component of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials¹⁾

主成分 Principal component	特征向量 Eigenvector														E	R/%
	C _{FAA}	C _{TP1}	C _{WE}	C _{EGCG}	C _{EGC}	C _{GCG}	C _C	C _{EGC}	C _{GC}	C _{EC}	C _{GA}	C _{CAF}	C _{TB}	C _{TP2}		
1	-0.016	0.433	0.558	0.695	0.297	0.816	-0.099	-0.018	0.130	0.012	0.421	0.562	0.815	0.812	4.878	34.844
2	-0.787	0.663	0.530	0.443	0.809	-0.110	0.029	0.155	0.161	0.757	-0.486	-0.007	0.102	0.201	2.628	53.618
3	-0.011	0.284	0.081	0.147	-0.134	0.391	0.345	0.921	0.012	0.314	-0.404	0.225	-0.239	-0.170	1.339	63.181
4	0.143	0.251	0.203	0.157	0.154	-0.184	0.730	0.178	0.624	0.301	-0.072	0.519	0.241	-0.032	1.076	70.870

¹⁾ C_{FAA}: 游离氨基酸含量 Free amino acids content; C_{TP1}: 茶多酚含量 Tea polyphenols content; C_{WE}: 水浸出物含量 Water extracts content; C_{EGCG}: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Epigallocatechin gallate content; C_{EGC}: 表儿茶素没食子酸酯含量 Epicatechin gallate content; C_{GCG}: 没食子儿茶素没食子酸酯含量 Gallocatechin gallate content; C_C: 儿茶素含量 Catechin content; C_{EGC}: 表没食子儿茶素含量 Epigallocatechin content; C_{GC}: 没食子儿茶素含量 Gallocatechin content; C_{EC}: 表儿茶素含量 Epicatechin content; C_{GA}: 没食子酸含量 Gallic acid content; C_{CAF}: 咖啡碱含量 Caffeine content; C_{TB}: 可可碱含量 Theobromine content; C_{TP2}: 茶叶碱含量 Theophylline content. E: 特征值 Eigenvalue; R: 累计贡献率 Cumulative contribution rate.

EGC 含量作为功能因子;第4主成分中 GC 含量与 C 和咖啡碱含量无显著相关性,其中咖啡碱含量的 Shannon-Wiener 指数较大,选 GC 和咖啡碱含量作为功能因子。因此,选 EGCG、游离氨基酸、茶多酚、EGC、GC 和咖啡碱含量 6 个指标作为评价茶树品质功能的代表性指标。

2.4 茶树材料的聚类分析

基于上述 6 个代表性指标对 30 份茶树材料进行聚类分析,并对各类材料代表性功能性成分含量进行比较,结果(图 1 和表 4)显示:在欧氏距离 13.5 处,30 份茶树材料分为 4 类。I 类包括‘桂福星 1 号’、‘白牡丹’、‘佛手’、‘水仙’、‘金福星 1 号’和‘丹桂’6 份材料,该类材料的表没食子儿茶素(EGC)和没食子儿茶素(GC)含量的平均值最大,表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)含量的平均值也较大,明显大于 III 类和 IV 类。II 类仅包括‘天福星 1 号’1 份材料,该类材料的茶多酚、EGCG 和咖啡碱含量的平均值最大,GC 含量的平均值也较大,明显大于 III 类和 IV 类。III 类包括‘奇兰’、‘九龙袍’、‘金福星 2 号’、‘铁观音’、‘金牡丹’、‘金福星 3 号’、‘金观音’、‘金福星 4 号’、‘大红袍’、‘悦茗香’、‘黄观音’、‘肉桂’、‘瑞香’、‘紫牡丹’、‘黄旦’、‘黄玫瑰’、‘春兰’、‘紫玫瑰’、‘梅占’、‘本山’、‘八仙’和‘桂福星 2 号’22 份材料,该类材料的游离氨基酸含量的平均值最大;IV 类仅包括‘毛蟹’1 份材料,该类材料除游离氨基酸和 EGC 含量的平均值较小外,其余 4 个成分含量的平均值均最小。

2.5 茶树材料的综合评价

将 14 个功能性成分含量对应主成分的特征向量

除以对应主成分特征值的算术平方根得出各成分含量在各主成分中的得分系数(表 5),构建以 4 个主成分为参数的线性组合模型,第 1、第 2、第 3 和第 4 主

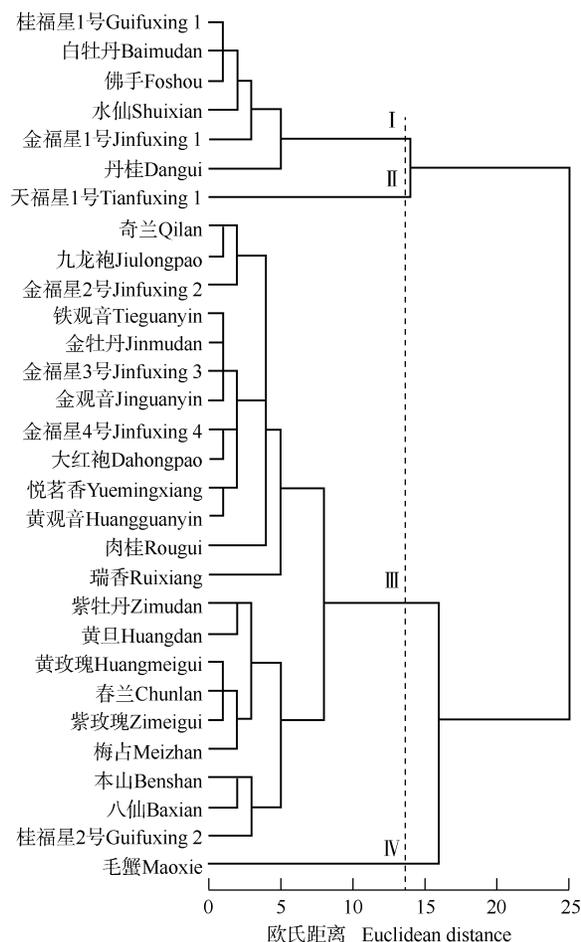


图1 30份茶树材料的聚类图

Fig. 1 Cluster diagram of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials

表 4 不同类别茶树材料代表性功能性成分含量的比较

Table 4 Comparison on contents of representative functional components of tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials from different categories

类别 Category	材料 ¹⁾ Material ¹⁾	各成分含量的平均值/(mg·g ⁻¹) ²⁾ Average of each component content ²⁾					
		FAA	TP1	EGCG	EGC	GC	CAF
I	3, 7, 14, 17, 20, 22	33.60	213.58	119.27	34.73	2.72	41.13
II	4	30.02	249.79	132.25	23.92	2.62	43.20
III	1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	38.05	174.19	100.58	24.81	2.23	41.27
IV	12	32.91	153.66	81.92	29.74	2.08	34.91

¹⁾ 1: ‘梅占’ ‘Meizhan’; 2: ‘肉桂’ ‘Rougui’; 3: ‘水仙’ ‘Shuixian’; 4: ‘天福星 1 号’ ‘Tianfuxing 1’; 5: ‘悦茗香’ ‘Yuemingxiang’; 6: ‘黄观音’ ‘Huangguanyin’; 7: ‘佛手’ ‘Foshou’; 8: ‘奇兰’ ‘Qilan’; 9: ‘金福星 3 号’ ‘Jinfuxing 3’; 10: ‘本山’ ‘Benshan’; 11: ‘金福星 4 号’ ‘Jinfuxing 4’; 12: ‘毛蟹’ ‘Maoxie’; 13: ‘黄玫瑰’ ‘Huangmeigui’; 14: ‘桂福星 1 号’ ‘Guifuxing 1’; 15: ‘瑞香’ ‘Ruixiang’; 16: ‘金观音’ ‘Jinguanyin’; 17: ‘丹桂’ ‘Dangui’; 18: ‘铁观音’ ‘Tieguanyin’; 19: ‘紫玫瑰’ ‘Zimeigui’; 20: ‘金福星 1 号’ ‘Jinfuxing 1’; 21: ‘桂福星 2 号’ ‘Guifuxing 2’; 22: ‘白牡丹’ ‘Baimudan’; 23: ‘八仙’ ‘Baxian’; 24: ‘九龙袍’ ‘Jiulongpao’; 25: ‘大红袍’ ‘Dahongpao’; 26: ‘紫牡丹’ ‘Zimudan’; 27: ‘金福星 2 号’ ‘Jinfuxing 2’; 28: ‘金牡丹’ ‘Jinmudan’; 29: ‘黄旦’ ‘Huangdan’; 30: ‘春兰’ ‘Chunlan’.

²⁾ FAA: 游离氨基酸 Free amino acids; TP1: 茶多酚 Tea polyphenols; EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate; EGC: 表没食子儿茶素 Epigallocatechin; GC: 没食子儿茶素 Gallocatechin; CAF: 咖啡碱含量 Caffeine content.

表 5 30 份茶树材料各功能性成分含量的得分系数

Table 5 Score coefficient of content of each functional component of 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials

主成分 Principal component	各成分含量的得分系数 ¹⁾ Score coefficient of content of each component ¹⁾													
	FAA	TP1	WE	EGCG	ECG	GCG	C	EGC	GC	EC	GA	CAF	TB	TP2
1	-0.007	0.178	0.229	0.285	0.122	0.335	-0.039	-0.007	0.053	0.005	0.173	0.230	0.334	0.333
2	-0.599	0.505	0.403	0.337	0.616	-0.084	0.022	0.118	0.123	0.576	-0.370	-0.005	0.078	0.153
3	-0.016	0.424	0.121	0.220	-0.202	0.584	0.515	1.376	0.018	0.469	-0.603	0.336	-0.357	-0.254
4	0.226	0.467	0.377	0.292	0.286	-0.344	1.357	0.331	1.160	0.559	-0.134	0.965	0.448	-0.059

¹⁾ FAA: 游离氨基酸 Free amino acids; TP1: 茶多酚 Tea polyphenols; WE: 水浸出物 Water extracts; EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate; ECG: 表儿茶素没食子酸酯 Epicatechin gallate; GCG: 没食子儿茶素没食子酸酯 Gallocatechin gallate; C: 儿茶素 Catechin; EGC: 表没食子儿茶素 Epigallocatechin; GC: 没食子儿茶素 Gallocatechin; EC: 表儿茶素 Epicatechin; GA: 没食子酸 Gallic acid; CAF: 咖啡碱 Caffeine; TB: 可可碱 Theobromine; TP2: 茶叶碱 Theophylline.

成分的模型分别为 $y_1 = -0.007x_1 + 0.178x_2 + 0.229x_3 + 0.285x_4 + 0.122x_5 + 0.335x_6 - 0.039x_7 - 0.007x_8 + 0.053x_9 + 0.005x_{10} + 0.173x_{11} + 0.230x_{12} + 0.334x_{13} + 0.333x_{14}$, $y_2 = -0.599x_1 + 0.505x_2 + 0.403x_3 + 0.337x_4 + 0.616x_5 - 0.084x_6 + 0.022x_7 + 0.118x_8 + 0.123x_9 + 0.576x_{10} - 0.370x_{11} - 0.005x_{12} + 0.078x_{13} + 0.153x_{14}$, $y_3 = -0.016x_1 + 0.424x_2 + 0.121x_3 + 0.220x_4 - 0.202x_5 + 0.584x_6 + 0.515x_7 + 1.376x_8 + 0.018x_9 + 0.469x_{10} - 0.603x_{11} + 0.336x_{12} - 0.357x_{13} - 0.254x_{14}$, $y_4 = 0.226x_1 + 0.467x_2 + 0.377x_3 + 0.292x_4 + 0.286x_5 - 0.344x_6 + 1.357x_7 + 0.331x_8 + 1.160x_9 + 0.559x_{10} - 0.134x_{11} + 0.965x_{12} + 0.448x_{13} + 0.059x_{14}$; 式中, x_1 至 x_{14} 分别为游离氨基酸、茶多酚、水浸出物、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG)、儿茶素 (C)、表没食子儿茶素 (EGC)、没食子儿茶素 (GC)、表儿茶素 (EC)、没食子酸 (GA)、咖啡碱、可可碱和茶叶碱含量的标准化数值, y_1 至 y_4 分别为第 1、第 2、第 3

和第 4 主成分的得分。

基于各主成分的累计贡献率进一步建立茶树材料的综合评价模型, 用于计算综合得分 (y), 模型为 $y = (34.844y_1 + 18.774y_2 + 9.563y_3 + 7.689y_4) / 70.870$, 根据此模型对 30 份茶树材料进行综合评价, 结果见表 6。结果显示: 综合得分越高, 茶树种质资源综合功能性越好。根据各材料综合得分可将 30 份茶树材料分为 4 个等级, 一级的综合得分大于 3.50, 为综合功能性最好的茶树种质资源, 包括‘天福星 1 号’、‘金福星 1 号’和‘水仙’ 3 份材料; 二级的综合得分为 1.40~3.50, 为综合功能性较好的茶树种质资源, 包括‘白牡丹’、‘桂福星 1 号’、‘佛手’和‘丹桂’ 4 份材料; 三级的综合得分为 -1.30~1.40, 为综合功能性一般的茶树种质资源, 包括‘肉桂’、‘金福星 4 号’、‘大红袍’、‘悦茗香’、‘金观音’、‘金牡丹’、‘金福星 2 号’、‘黄观音’、‘金福星 3 号’、‘铁观音’、‘八仙’、‘黄玫瑰’、‘九龙袍’、‘奇兰’、‘瑞香’和‘春兰’ 16

表6 30份茶树材料的综合评价¹⁾Table 6 Comprehensive evaluation on 30 tea tree [*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.] materials¹⁾

材料 ²⁾ Material ²⁾	各主成分的得分 Score of each principal component				y	排序 Order
	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄		
4	4.43	7.53	0.19	4.58	4.70	1
20	2.65	3.25	4.68	10.04	3.88	2
3	1.57	5.82	5.28	6.54	3.74	3
22	-3.56	-1.58	15.28	31.31	3.29	4
14	2.54	1.13	0.90	5.47	2.26	5
7	1.55	1.45	3.13	0.97	1.67	6
17	-0.10	3.57	2.31	2.04	1.43	7
2	1.27	1.45	2.09	0.92	1.39	8
11	2.02	0.85	-2.30	2.76	1.21	9
25	0.70	0.97	3.66	-1.07	0.98	10
5	0.08	1.46	0.04	1.32	0.58	11
16	-0.43	0.83	0.46	3.46	0.45	12
28	-0.51	0.61	2.51	-0.19	0.23	13
27	-0.14	0.37	0.31	0.50	0.12	14
6	2.59	-1.74	-6.32	-0.62	-0.11	15
9	-0.18	-0.30	-0.48	-0.29	-0.27	16
18	-1.65	-0.06	1.25	-0.05	-0.66	17
23	-0.97	-0.15	-1.80	-0.10	-0.77	18
13	-0.61	-2.20	-1.51	0.11	-1.07	19
24	-0.24	-2.07	-1.41	-2.38	-1.11	20
8	-2.12	-1.09	2.03	-1.10	-1.18	21
15	-0.88	0.36	-1.93	-5.92	-1.24	22
30	0.77	-3.34	-3.97	-2.07	-1.27	23
19	-0.55	-2.74	-2.97	0.32	-1.36	24
1	-1.11	-1.90	-0.31	-3.81	-1.51	25
26	-0.17	-4.22	-1.36	-3.33	-1.75	26
21	-2.13	-3.06	0.49	-1.59	-1.97	27
29	-1.10	-0.89	-5.27	-4.86	-2.01	28
10	-2.31	-1.94	-2.34	-2.41	-2.23	29
12	-2.91	-2.61	-0.05	-6.09	-2.79	30

¹⁾ y₁, y₂, y₃, y₄: 分别为第1、第2、第3和第4主成分的得分 Scores of the first, second, third, and fourth principal components, respectively; y: 综合得分 Comprehensive score.

²⁾ 1: ‘梅占’ ‘Meizhan’; 2: ‘肉桂’ ‘Rougui’; 3: ‘水仙’ ‘Shuixian’; 4: ‘天福星1号’ ‘Tianfuxing 1’; 5: ‘悦茗香’ ‘Yuemingxiang’; 6: ‘黄观音’ ‘Huangguanyin’; 7: ‘佛手’ ‘Foshou’; 8: ‘奇兰’ ‘Qilan’; 9: ‘金福星3号’ ‘Jinfuxing 3’; 10: ‘本山’ ‘Benshan’; 11: ‘金福星4号’ ‘Jinfuxing 4’; 12: ‘毛蟹’ ‘Maoxie’; 13: ‘黄玫瑰’ ‘Huangmeigui’; 14: ‘桂福星1号’ ‘Guifuxing 1’; 15: ‘瑞香’ ‘Ruixiang’; 16: ‘金观音’ ‘Jinguanyin’; 17: ‘丹桂’ ‘Dangui’; 18: ‘铁观音’ ‘Tieguanyin’; 19: ‘紫玫瑰’ ‘Zimeigui’; 20: ‘金福星1号’ ‘Jinfuxing 1’; 21: ‘桂福星2号’ ‘Guifuxing 2’; 22: ‘白牡丹’ ‘Baimudan’; 23: ‘八仙’ ‘Baxian’; 24: ‘九龙袍’ ‘Jiulongpao’; 25: ‘大红袍’ ‘Dahongpao’; 26: ‘紫牡丹’ ‘Zimudan’; 27: ‘金福星2号’ ‘Jinfuxing 2’; 28: ‘金牡丹’ ‘Jinmudan’; 29: ‘黄旦’ ‘Huangdan’; 30: ‘春兰’ ‘Chunlan’.

份材料;四级的综合得分小于-1.30,为综合功能性较差的茶树种质资源,包括‘紫玫瑰’、‘梅占’、‘紫牡丹’、‘桂福星2号’、‘黄旦’、‘本山’和‘毛蟹’7份材

料。多重比较结果显示:划分的4个等级茶树材料的综合评价指数在0.05水平上差异显著,说明划分的等级结果合理。

结合聚类结果,综合排名在第2至第7的材料集中分布在I类,其中,‘金福星1号’的综合得分最高(3.88);II类的‘天福星1号’综合得分最高(4.70);综合排名在第8至第29的材料集中分布在III类,其中,‘肉桂’的综合得分最高(1.39);IV类的‘毛蟹’综合得分最低(-2.79)。整体而言,综合得分从高至低依次为II类、I类、III类、IV类,II类和I类茶树材料的综合功能性较好。

3 讨论和结论

种质资源的遗传多样性是育种的基础,遗传多样性越大说明种质资源遗传基础较为广泛,对品种选育及新品种培育越有潜力^[27]。Shannon-Wiener指数(H')是评价植物遗传多样性的重要指标之一, H' 值大于1表示多样性水平高;而变异系数可反映变异程度和稳定性,性状的变异频率是性状遗传多样性的数量化体现^[28]。本研究中,30份茶树材料14个功能性成分含量的 H' 值为1.68~2.20,平均值为1.90,高于或接近重庆^[29]、贵州^[30]和杭州^[31]茶树材料的平均值, H' 值整体偏高;各成分含量的变异系数为4.98%~79.96%,平均值为28.23%,高于重庆^[29]、贵州^[30]和云南^[32]茶树材料,低于湖南莽山^[33]茶树材料。说明供试茶树材料功能性成分的遗传多样性和变异类型较为丰富,遗传基础较为广泛,具备选育优良功能性茶树种质资源的潜力。此外,30份茶树材料中有29份材料的水浸出物含量大于45.00%,说明大部分茶树的内含物丰富,具有良好的综合利用物质基础,可为新品种培育提供较为广阔的材料。值得注意的是,与部分地区相比,供试茶树材料存在主要功能性成分含量的遗传多样性大但变异系数小的情况,比如水浸出物含量的 H' 值较大(2.01),但其变异系数却最小(4.98%),说明茶树功能性成分的遗传多样性具有一定区域和种群间差异性^[34]。

罗理勇等^[35]对重庆地区主要茶树栽培品种的研究结果表明:游离氨基酸含量与茶多酚含量呈显著负相关,与表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、咖啡碱和茶叶碱含量呈极显著正相关;赵洋等^[36]研究发现水浸出物含量与茶多酚含量呈正相关,高长清

等^[37]在研究茶树种质资源春梢的生化成分时发现,EGCG含量与表儿茶素没食子酸酯(ECG)和没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)含量间存在显著正相关。本研究中,茶多酚、水浸出物和生物碱(咖啡碱、可可碱和茶叶碱)含量与酯型儿茶素(EGCG、ECG和GCG)含量均呈极显著正相关,茶多酚与没食子酸(GA)和游离氨基酸含量分别呈显著和极显著负相关,与其余成分含量均呈显著或极显著正相关。说明茶树各成分含量间存在不同程度的相关性,彼此间相互影响。因此,从众多指标中选取有代表性的指标尤为重要。主成分分析在薄壳山核桃[*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]^[38]、大豆[*Glycine max* (Linn.) Merr.]^[39]和枸杞(*Lycium chinense* Miller)^[40]品质及茶树中矿质元素分析评价^[41]上均有应用,该方法能有效地对品质进行综合评价。本文中筛选出的EGCG、游离氨基酸、茶多酚、表没食子儿茶素(ECG)、没食子儿茶素(GC)和咖啡碱含量可用于茶树品质功能的综合评价。

基于上述6个指标的聚类分析结果显示:在欧氏距离13.5处,30份茶树材料分为4类。与综合评价中排序结果基本吻合,进一步说明供试材料具有丰富的遗传多样性,所选指标具有一定的代表性,评价结果较准确。综合排名前7的材料为‘天福星1号’、‘金福星1号’、‘水仙’、‘白牡丹’、‘桂福星1号’、‘佛手’和‘丹桂’,综合得分大于1.40,这些材料在聚类分析中聚为I类和II类,茶多酚、EGCG和GC含量的平均值明显大于其他材料,咖啡碱含量的平均值也较大,可考虑作为功能优良的亲本材料。王飞权等^[42]和冯花等^[11]在基于茶树农艺性状、生化成分分析时发现‘白牡丹’、‘水仙’和‘佛手’在品质产量方面表现优良。‘天福星1号’、‘桂福星1号’和‘金福星1号’分别是武夷名丛‘半天妖’(‘Bantianyao’)、‘武夷金桂’(‘Wuyijingui’)和‘水金龟’(‘Shuijingui’)^[43-44]选育出的新品种(系),有望成为功能性新品种(系)加以推广种植。综合比较认为,I类和II类材料可作为选育高茶多酚、高EGCG茶树的亲本,III类材料可作为选育高游离氨基酸茶树的亲本,IV类材料可作为选育低咖啡碱茶树的亲本,可在今后茶树育种、功能性茶产品的开发中加以利用,发挥其特有的价值。由于茶树种植地分布广泛,同一种质资源因其生态环境条件不同可能存在一定差异,因此,在选择育种亲本时应该根据茶树种植地气候进行

种质资源的评价。

综上所述,供试茶树材料功能性成分的遗传多样性丰富,挖掘利用潜力大;以‘天福星1号’、‘金福星1号’、‘水仙’、‘白牡丹’、‘桂福星1号’、‘佛手’和‘丹桂’的综合功能性较好;EGCG、游离氨基酸、茶多酚、ECG、GC和咖啡碱含量可作为初步评价功能性茶树种质资源的指标。本研究仅针对14个功能性成分进行研究,下一步将扩大功能性评价指标,如抗性和适应性等相关指标,更系统地建立功能性茶树种质资源综合评价体系。

参考文献:

- [1] 蓝雪铭,刘志彬,倪莉. 乌龙茶保健功效的研究进展[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 201-207.
- [2] 葛华,吴峰,赵安东,等. 茶多酚抗菌抗炎及菌群调节作用的研究进展[J]. 生物技术通讯, 2019, 30(6): 845-850.
- [3] 倪德江,陈玉琼,谢笔钧,等. 绿茶、乌龙茶、红茶的茶多糖组成、抗氧化及降血糖作用研究[J]. 营养学报, 2004, 26(1): 57-60.
- [4] 许宗智. 乌龙茶的保健营养成分[J]. 中老年保健, 1994(6): 37.
- [5] 石亚亚,贾尚智,闵彩云. 茶氨酸保健功能研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2010, 32(1): 52-56.
- [6] 宛晓春,李大祥,张正竹,等. 茶叶生物化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(1): 1-10.
- [7] 林心炯,郭专,姚信恩,等. 乌龙茶鲜叶原料成熟度的生物化学特征[J]. 茶叶科学, 1991, 11(1): 85-86.
- [8] 聂石辉,彭琳,王仙,等. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 64-70.
- [9] 周丽霞,赵志浩,曹红星. 90份油棕种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2197-2204.
- [10] 段志芬,杨盛美,唐一春,等. 云南大理茶遗传多样性分析[J]. 山西农业科学, 2019, 47(12): 2068-2072.
- [11] 冯花,王飞权,陈荣冰,等. 不同来源地茶树种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(10): 2758-2768.
- [12] 王新超,陈亮,杨亚军. 广西茶树资源生化成分多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 309-314.
- [13] WANG H L, GUO X B, HU X D, et al. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities in different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp)[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 773-781.
- [14] CALLIOPE S R, LOBO M O, SAMMÁN N C. Biodiversity of andean potatoes: morphological, nutritional and functional characterization[J]. Food Chemistry, 2018, 238: 42-50.
- [15] 林金科,陈荣冰,陈常颂,等. 高酯型儿茶素含量的茶树资源筛选研究[J]. 茶叶科学, 2005, 25(1): 30-36.

- [16] 赵洋, 杨培迪, 刘振, 等. 高氨基酸黄金茶种质资源筛选鉴定[J]. 茶叶通讯, 2017, 44(3): 13-16.
- [17] 徐雅静, 汪远征. 主成分分析应用方法的改进[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(6): 68-75.
- [18] 杨荣仲, 吕达, 周会, 等. 甘蔗常用亲本的田间自然耐寒性测定及评价[J]. 西南农业学报, 2022, 35(5): 991-999.
- [19] 宋维希, 刘本英, 矣兵, 等. 云南茶树优异种质资源的鉴定评价与筛选[J]. 茶叶科学, 2011, 31(1): 45-52.
- [20] 齐海祥, 薛海楠, 王金波, 等. 六棱大麦种质资源光合特性和物质生产能力的综合评价[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2021, 36(3): 217-224.
- [21] 方开星, 姜晓辉, 秦丹丹, 等. 高氨基酸和高茶氨酸茶树资源筛选[J]. 核农学报, 2019, 33(9): 1724-1733.
- [22] 曹士先, 徐杰, 冯卫虎, 等. 5份武夷山乌龙茶种质资源的评价筛选[J]. 南方农业学报, 2020, 51(2): 350-356.
- [23] 张向前, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 168-174.
- [24] 赵慧琴. 数据处理技术与SPSS实验教程[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2016: 151-158.
- [25] 喻华平, 赵志常, 高爱平, 等. 基于主成分分析和聚类分析的23份黄皮种质资源的品质评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1357-1364.
- [26] 郭松, 李在留, 薛建辉, 等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- [27] 王小山, 纪冰沁. 31份燕麦种质主要株型性状比较及遗传分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(22): 76-79.
- [28] 曾郅涵, 李庆卫, 遆羽静. 甘肃省张掖市野生沙枣的表型多样性及观赏性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 12-21.
- [29] 翟秀明, 李解, 唐敏, 等. 重庆30份茶树种质资源农艺性状与生化成分多样性[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(7): 1244-1255.
- [30] 陈正武, 陈娟, 龚雪, 等. 28份贵州茶树种质资源的生化成分多样性分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(4): 1517-1523.
- [31] 黄海涛, 张伟, 敖存, 等. 杭州地方茶树资源生化成分多样性分析及优异资源筛选[J]. 江西农业学报, 2019, 31(1): 21-25.
- [32] 陈春林, 田易萍, 朱兴正, 等. 云南大叶种茶树种质资源主要成分多样性分析[J]. 山东农业科学, 2019, 51(11): 53-56.
- [33] 黄飞毅, 陈宇宏, 刘伟, 等. 湖南莽山茶树种质资源调查与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(2): 328-337.
- [34] 丁帅涛, 程晓梅, 张亚, 等. 基于表型性状和生化成分的陕西茶树种质资源遗传多样性研究[J]. 西北农业学报, 2019, 28(4): 607-619.
- [35] 罗理勇, 曾亮, 李洪军. 重庆地区主要茶树栽培品种生化特性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 119-125.
- [36] 赵洋, 杨培迪, 刘振, 等. 22个茶树品种春梢生化成分分析[J]. 茶叶通讯, 2016, 43(3): 19-22.
- [37] 高长清, 易腊梅, 汤亚东, 等. 引进茶树品种春梢生化成分分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(18): 76-79.
- [38] 罗会婷, 贾晓东, 翟敏, 等. 76株薄壳山核桃实生单株的果实品质差异及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(1): 47-54.
- [39] 符小发, 高强, 任海龙, 等. 南繁大豆农艺性状与产量的主成分和聚类分析[J]. 广东农业科学, 2018, 45(4): 6-13.
- [40] 黄婷, 糟绍英, 秦昱, 等. 基于主成分分析的枸杞鲜果品质评价核心指标筛选[J]. 北方园艺, 2019(7): 132-139.
- [41] 郑淑琳, 石玉涛, 王飞权, 等. 乌龙茶种质资源矿质元素含量特征分析与评价[J]. 福建农业学报, 2020, 35(2): 150-160.
- [42] 王飞权, 冯花, 王芳, 等. 42份武夷名丛茶茶树资源生化成分多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 670-676.
- [43] 林燕清, 曹士先, 陈振翔, 等. 雀舌、白牡丹等武夷名丛夏暑红茶适制性研究[J]. 东南园艺, 2016(5): 22-25.
- [44] 洪永聪, 卢莉, 辛伟, 等. 武夷岩茶“十大名丛”种质生物学特性的鉴定与评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(28): 234-238.

(责任编辑: 郭严冬)