

陈潇敏, 金珊, 吴文晞, 等. 高表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯茶树种质资源的筛选与评价 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (4): 467-475.

CHEN X M, JIN S, WU W X, et al. Screening and Evaluation of Tea Germplasms Containing High-EGCG3"Me [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (4): 467-475.

高表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯茶树种质资源的筛选与评价

陈潇敏¹, 金珊¹, 吴文晞², 邵淑贤¹, 王淑燕¹,
王鹏杰¹, 赵峰^{3*}, 叶乃兴^{1*}

(1. 福建农林大学园艺学院/茶学福建省高校重点实验室, 福建 福州 350002; 2. 福建恒正检测技术有限公司, 福建 福州 350100; 3. 福建中医药大学药学院, 福建 福州 350122)

摘要:【目的】探明福建野生茶树种质资源儿茶素组分特征, 为福建野生茶树种质资源的开发利用和茶树特异品种筛选提供科学依据。【方法】以 43 份福建野生茶树种质资源和 8 个栽培品种为供试材料, 采用高效液相色谱 (HPLC) 测定其儿茶素组分含量, 并进行描述统计分析、正交偏最小二乘判别分析、聚类热图分析及特异性种质资源筛选。【结果】43 份福建野生茶树种质资源均检测出表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯 (EGCG3"Me), 其中以云霄 6 号 (YX06) 含量最高, 为 33.65 mg·g⁻¹。43 份福建野生茶树种质资源的特征物质为表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯 (EGCG3"Me) 及表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG), 且二者含量极显著高于 8 个栽培品种。聚类分析表明 12 份野生茶树种质资源与 8 个栽培品种聚为一类, 其中以诏安和蕉城地区居多, 其表儿茶素 (EC)、表没食子儿茶素 (EGC) 和儿茶素 (C) 含量较高; 其余 31 份野生茶树种质资源聚为一类, 其表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯 (EGCG3"Me)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG) 和表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 含量较高。筛选获得高 EGCG3"Me 茶树资源 (> 20 mg·g⁻¹) 8 份, 高 EGCG 茶树资源 (> 150 mg·g⁻¹) 9 份和高儿茶素茶树资源 (> 200 mg·g⁻¹) 18 份。【结论】对福建野生茶树种质儿茶素组分进行测定及系统分析, 发现其富含 EGCG3"Me, 并筛选出大量特异种质。

关键词: 茶树; 种质资源; 儿茶素; 表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯

中图分类号: S 571.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 04-0467-09

Screening and Evaluation of Tea Germplasms Containing High-EGCG3"Me

CHEN Xiao-min¹, JIN Shan¹, WU Wenxi², SHAO Shuxian¹, WANG Shuyan¹,
WANG Pengjie¹, ZHAO Feng^{3*}, YE Naixing^{1*}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University/Key Laboratory of Tea Science in Universities of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Hengzheng Testing Technology Company, Fuzhou, Fujian 350100, China;
3. School of Pharmacy, Fujian University of Chinese Medicine, Fuzhou, Fujian 350122, China)

Abstract: 【Objective】Catechin composition of tea germplasms in the wild in Fujian was analyzed to aid organizing and utilizing the natural resources containing the highly desirable functional ingredients in tea. 【Methods】Forty-three wild tea germplasms in Fujian and 8 common cultivars were collected for chemical analysis by HPLC. Descriptive statistical, orthogonal partial least squares discriminant, and cluster heat map analyses were conducted for evaluating and screening the candidates. 【Results】EGCG3"Me was detected in all 43 specimens with the highest content of 33.65 mg·g⁻¹ found in YX06.

收稿日期: 2021-12-26 初稿; 2022-03-20 修改稿

作者简介: 陈潇敏 (1996-), 女, 硕士研究生, 主要从事茶树栽培育种与品质化学研究 (Email: 1936869612@qq.com)

* 通信作者: 赵峰 (1983-), 男, 硕士生导师, 副教授, 主要从事茶叶品质化学研究 (E-mail: zhaofeng0591@fjtcu.edu.cn); 叶乃兴 (1963-), 男, 硕士生导师, 教授, 主要从事茶树栽培育种与茶叶品质化学研究 (E-mail: ynxtea@126.com)

基金项目: 安溪县农业农村局重大科技创新专项 (AX2021001); 福建中医药大学引进人才科研启动项目 (2801/701190097); 福建农林大学优秀硕士学位论文资助基金 (1122YS01003)

Aside from EGCG3"Me, EGCG was also characteristically in significantly greater quantities in the wild tea germplasms than the 8 cultivated varieties. The cluster analysis grouped 12 wild germplasms, mostly from Zhao'an and Jiaocheng areas, along with the 8 cultivated varieties that had high contents of EC, EGC, and catechin (C). The remaining 31 wild tea germplasms were clustered into a group that had high contents of EGCG3"Me, ECG, and EGCG. Of all the 43 wild tea germplasms, 8 had high EGCG3"Me content (i.e., greater than $20\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), 9 high EGCG (i.e., greater than $150\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), and 18 high C (i.e., greater than $200\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).

【Conclusion】 The tea germplasms collected in the wild in the province were rich in EGCG3"Me, which could be specific cultivars for target breeding of tea.

Key words: *Camellia sinensis*; wild germplasms; catechin; EGCG3"Me

0 引言

【研究意义】儿茶素类化合物具有抗衰老、抗炎、抗菌、抗病毒及抗氧化等功效^[1-2], 是茶叶生物化学研究最广泛、最深入的一类物质。儿茶素类主要包括表儿茶素 (EC)、表没食子儿茶素 (EGC)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG) 和表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG), 其中, EGCG 抗氧化性最为突出^[3-4]。表没食子儿茶素-3-O (3-O-甲基) 没食子酸酯 (EGCG3"Me) 是在 20 世纪末从茶叶中新发现的一种天然被修饰的儿茶素物质, 相较于其他常见的 EGCG、EGC、ECG 和 EC, 它的抗过敏和消炎等药理作用更强, 尤其是花粉过敏反应的抑制效果极佳^[5]。福建省为我国最大产茶省, 茶树栽培历史悠久, 野生茶树种质资源尤其丰富^[6-8]。对福建野生茶树资源进行系统全面的儿茶素组分测定及分析, 筛选出高 EGCG、高 EGCG3"Me 等特异资源, 对福建野生茶树资源的高效利用与甲基化儿茶素的研究具有重要意义。【前人研究进展】近年的研究发现, EGCG 经甲基化、酰基化、糖苷化修饰后, 其消炎、抗过敏性等药理作用会被显著提高^[9-12]。日本学者研究显示红富贵、红富士和红誉这 3 个茶树品种中 EGCG3"Me 含量可超过 1%^[13]。近年来, 我国茶叶科技工作者也通过筛选, 发现了一系列含有此类甲基化儿茶素的种质资源^[14-15]。例如, Jin 等^[6]在福建省南部发现一类白芽茶富含 EGCG3"Me, 陈潇敏等^[16-17]对福建省大田、云霄茶树品种资源进行生化成分分析, 发现两地的茶树品种资源均含有 EGCG3"Me, 并筛选出儿茶素组分特异资源。【本研究切入点】本课题组在福建省境内不同区域共收集获得 43 份野生茶树资源, 已对其嘌呤生物碱组分进行测定及系统分析^[18], 其儿茶素组分则有待进一步研究。【拟解决的关键问题】本研究通过对课题组在福建省云霄、大田等 7 个县 (市、区) 搜集到的 43 份野生茶树种质资源儿茶素组分的系统分析, 进而筛选获得

其中高 EGCG、高 EGCG3"Me 的特异茶树种质, 旨在为高功能成分茶树品种选育和高 EGCG、高 EGCG3"Me 产品的研发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

以 43 份福建野生茶树资源和 8 个主要栽培品种, 共 51 份种质资源为供试茶样。43 份福建野生茶树资源样品 (野生茶) 采集自福建云霄、大田、尤溪、蕉城、诏安、漳平以及安溪等 7 个产区, 8 个常规生产栽培品种分别为福鼎大白茶、福云 6 号、黄旦、黄观音、黄金芽、龙井 43、白叶 1 号及嘉茗 1 号, 均采集自武夷学院茶树种质资源圃 (北纬 $27^{\circ}44'20''$, 东经 $117^{\circ}59'51''$)。供试材料信息见表 1。采集过程参照《茶树种质资源描述规范和数据标准》^[19], 于 2021 年采摘春季第 1 轮茶树新梢的一芽二叶, 冷冻干燥后粉碎过 60 目筛。

1.2 标准品与试剂

表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基) 没食子酸酯 [(-)-epigallocatechin-3-O-(3-O-methylgallate), EGCG3"Me]、儿茶素 (Catechin, C)、表儿茶素 (Epicatechin, EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (Epigallocatechingallicacid, EGCG)、表没食子儿茶素 (Epigallocatechin, EGC)、没食子儿茶素 (Gallocatechin, GC)、表儿茶素没食子酸酯 (Epicatechingallate, ECG)、没食子儿茶素没食子酸酯 (Calloatechingallate, GCG)、儿茶素没食子酸酯 (Catechingallate, CG) 标样 (纯度 $\geq 98\%$, 上海, 源叶生物科技有限公司), 甲醇 (色谱级, 上海默克化工技术有限公司), 甲酸 (色谱级, 中国国药集团化学试剂有限公司), 水为超纯水。

1.3 仪器设备

UltiMate 3000 高效液相色谱仪 (美国, 赛默飞世尔科技公司), 二级管阵列检测器 (DAD), C18 反相色谱柱 ($5\mu\text{m}$, $4.6\text{mm}\times 250\text{mm}$) (中国, 广

表 1 供试茶树种质资源信息
Table 1 Information on tea germplasms

种质资源类型 Type of germplasm resources	来源 Source site	种质数 Germplasm number/份	茶树种质资源样品 Samples of tea plant germplasm resources
福建野生茶树资源 Wild tea resources of Fujian	蕉城 Jiaocheng	3	蕉城1号—蕉城3号 (JC01—JC03)
	云霄 Yunxiao	6	云霄1号—云霄6号 (YX01—YX06)
	大田 Datian	6	大田1号—大田6号 (DT01—DT06)
	尤溪 Youxi	6	尤溪汤川1号—尤溪汤川6号 (TC01—TC06)
	安溪 Anxi	1	安溪苦茶 (AX01)
	诏安 Zhaoan	10	诏安1号—诏安10号 (ZA01—ZA10)
	漳平 Zhangping	11	漳平1号—漳平11号 (ZP01—ZP11)
栽培品种 Cultivated variety	武夷学院茶树种质资源圃 Tea germplasm resource nursery of Wuyi University	8	福鼎大白茶 (FD)、福云6号 (FY6)、黄旦 (HD)、金观音 (JGY)、黄金芽 (HJY)、龙井43 (LJ43)、白叶1号 (BY1)、嘉茗1号 (JM1)

州菲罗门公司)；AB204-N 分析天平(美国，梅特勒公司)；超纯水系统(中国，Medium Touch，上海和泰仪器有限公司)。KQ-800E 型超声波清洗器(中国，昆山市超声仪器有限公司)；MS3 basic 涡旋振荡仪[中国，艾卡(广州)仪器有限公司]。

1.4 儿茶素组分测定

参照王丽丽等^[20]的高效液相色谱法。前处理：称取 0.200 g 粉碎样(过 100 目筛)，加 30 mL 甲醇，涡旋，室温下超声提取 30 min，4 ℃，10 000 r·min⁻¹ 冷冻离心 5 min，上清液过 0.22 μm 有机相微孔滤膜。色谱条件：流动相 A 为 0.2% 甲酸-水溶液 (V:V)，流动相 B 为甲醇；流速 1.00 mL·min⁻¹；柱温，40 ℃；进样量 10 μL。梯度洗脱条件，0~2 min，88% A；2~10 min，88%~75% A；10~15 min，75%~73% A；15~25 min，73%~68% A；25~30 min，68% A；30~32 min，68%~88% A。检测器波长 280 nm。

1.5 数据处理

每个参试资源品种，分别采集 3 批次，测定后，以“平均值±标准偏差”表示其儿茶素组分含量；使用 Microsoft Excle 2018(美国，Microsoft 公司)进行数据处理及表格制作；以 Origin 2018(美国，OriginLab 公司)制作折线图；采用 SIMCA P14.1 软件(瑞典，Umetrics AB 公司)进行正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)。使用 MetaboAnalyst 5.0 (<https://www.metaboanalyst.ca>)在线分析平台进行聚类热图的绘制。儿茶素总量(Total catechins, TC)=EGCG3 "Me+ECG+EGCG+GCG+CG+C+GC+EGC+EC。

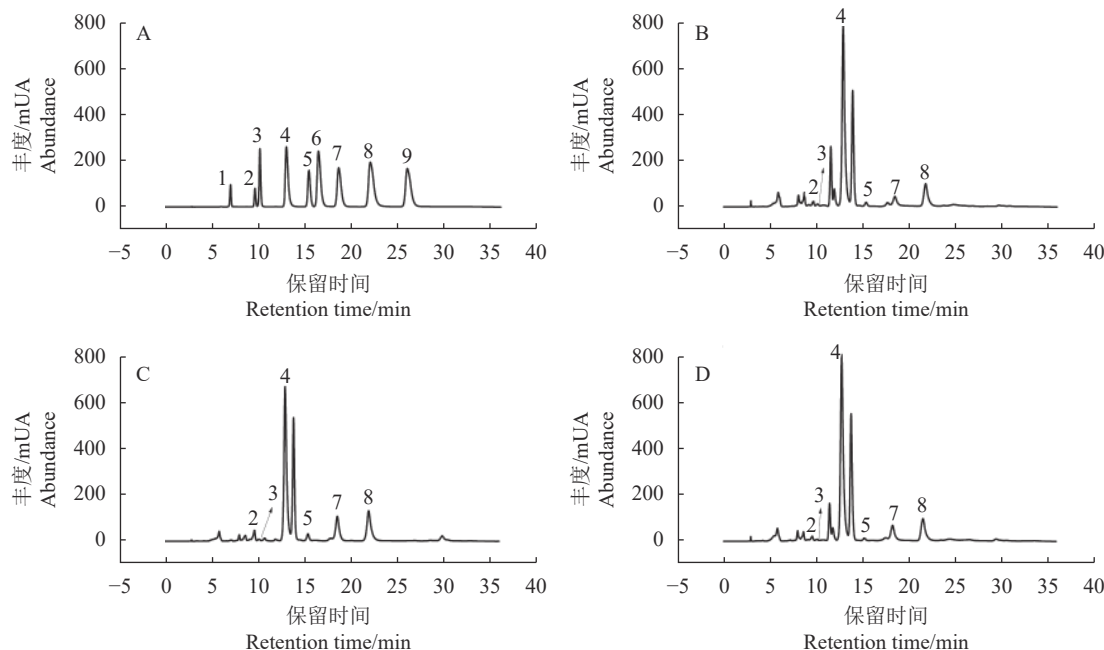
2 结果与分析

2.1 福建野生茶树资源儿茶素组分含量分析

通过对 43 份福建野生茶树资源儿茶素组分进行基本的统计分析，9 种儿茶素组分标准品及样品的液相色谱图见图 1，统计结果见表 2，表明茶样中 EGCG 含量均为最高，YX06、ZP01 中则富含 EGCG3 "Me；GCG、CG、GC 在供试样中含量均较低或未检出。

对 43 份福建野生茶树资源及 8 个栽培品种儿茶素组分含量进行描述统计分析，结果见表 3，从儿茶素组分的构成上看，43 份福建野生茶树资源与 8 个栽培品种相同，是以表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)为主要组分，均未检测到儿茶素没食子酸酯(CG)，含有少量的没食子儿茶素(GC)和没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)。与栽培品种不同的是，在 43 份福建野生茶树资源中，均检出表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯(EGCG3 "Me)，其中以云霄 6 号(YX06)含量最高，为 33.65 mg·g⁻¹，而在栽培品种中，金观音(JGY)和黄旦(HD)含有少量的表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯(EGCG3 "Me)，其余栽培品种均未检测该物质。可见，福建野生茶树资源富含表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯(EGCG3 "Me)。

以 43 份福建野生茶树资源和 8 个栽培品种儿茶素各组分含量的平均值为数据，绘制柱状图并进行 t 检验，结果如图 2 所示。福建野生茶树资源与栽培品种在非酯型儿茶素含量中均无明显差异，其中，福建野生茶树资源的没食子儿茶素(GC)和儿茶素(C)含量略高于栽培品种，而表没食子儿茶素(EGC)



注：(1) A：质量浓度为 400 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}$ 混合标准工作液；B：大田 4 号 (DT04)；C：云霄 6 号 (YX06)；D：漳平 1 号 (ZP01) (2) 峰号和组分依次对应为：1. GC, 2. EGC, 3. C, 4. EGCG, 5. EC, 6. GCG, 7. EGCG3"Me, 8. ECG, 9. CG。

Note: (1) A: STD400; B: DT04; C: YX06; D: ZP01. (2) Peak number and respective component are 1 for GC, 2 for EGC, 3 for C, 4 for EGCG, 5 for EC, 6 for GCG, 7 for EGCG3"Me, 8 for ECG, and 9 for CG.

图 1 标准品及参试样品的色谱

Fig. 1 Chromatograms of standards and test samples

和表儿茶素 (EC) 含量略低于栽培品种。福建野生茶树资源的酯型儿茶素含量均高于栽培品种，其中表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 和表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基) 没食子酸酯 (EGCG3"Me) 极显著高于栽培品种。

2.2 正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA)

对福建野生茶树资源和栽培品种的儿茶素组分进行 OPLS-DA 分析。在图 3-A 中，除了漳平 11 号 (ZP11) 以外，其余福建野生茶树资源与栽培品种可以较好区分。其中福建野生茶树资源与栽培品种金观音 (JGY)、黄旦 (HD)、福鼎大白茶 (FD) 距离较近，与栽培品种龙井 43 (LJ43)、白叶 1 号 (BY1)、嘉茗 1 号 (JM1)、黄金芽 (HJY) 距离较远。由图 3-B 可知，福建野生茶树资源的主要标志物为表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基) 没食子酸酯 (EGCG3"Me)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)，栽培品种含量较高的为表没食子儿茶素 (EC)、表儿茶素 (EC)。如图 3-C 所示，共有 4 种化合物的 VIP (Variable importance for the projection, VIP) 值大于 1，变量 VIP 值由高至低依次是表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基) 没食子酸酯 (EGCG3"Me)、表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG)、表儿茶素 (EC)、表没食子儿茶素 (EGC)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG)、儿茶素 (C)、没食子儿茶素没食

子酸酯 (GCG) 和没食子儿茶素 (GC)。此外，VIP 大于 1 的 4 种化合物在因子载荷图 (图 3-B) 中均属于离两类资源较近的变量。

2.3 聚类热图可视化分析

为直观展示儿茶素组分在福建野生茶树资源及栽培品种间的差异，对所测数据进行聚类热图可视化分析，颜色偏向红色说明含量越高。如图 4 所示，43 份福建野生茶树资源中有 12 份与栽培品种聚为 A 类，以诏安和蕉城地区的种质居多。其中，蕉城地区的 3 份种质的儿茶素组分含量与栽培品种最为接近，如图 4 中区域 1 所示，其表儿茶素 (EC)、表没食子儿茶素 (EGC) 和儿茶素 (C) 含量较高，而其他物质含量均较低。B 类为剩余的 31 份福建野生茶树资源，其与栽培品种具有明显的区分，如图 4 中区域 2 所示，其表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基) 没食子酸酯 (EGCG3"Me)、表儿茶素没食子酸酯 (ECG) 和表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 含量较高。

2.4 特异性福建野生茶树资源筛选

根据儿茶素组分测定结果，参照王新超^[21]的茶树特异资源筛选指标，从 43 份福建野生茶树资源中筛选出一批在儿茶素组分上比较特异的资源，包括 18 份高儿茶素茶树资源，9 份高 EGCG 茶树资源，8 份高 EGCG3"Me 茶树资源 (表 3)，这些

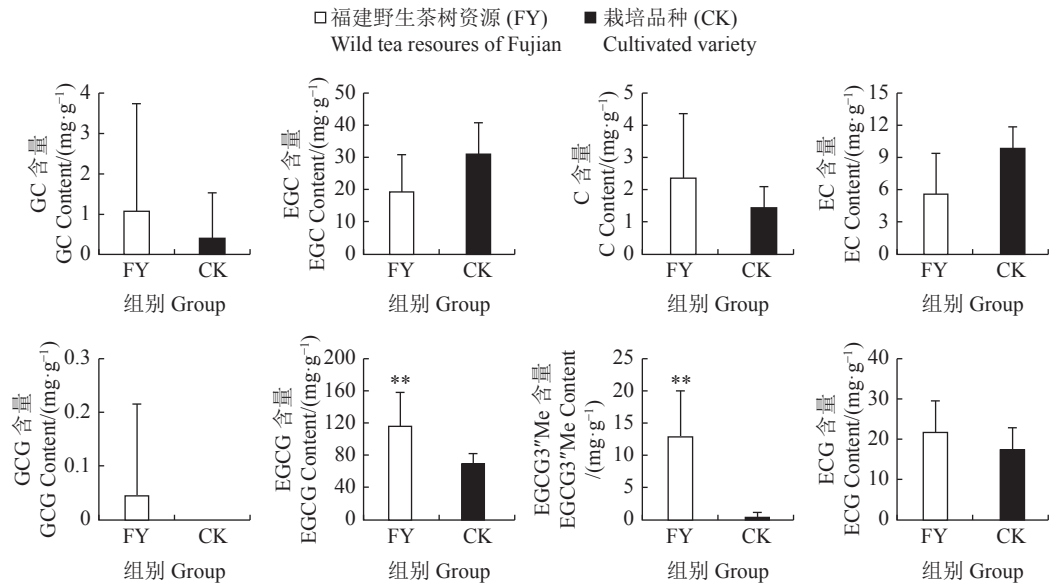
表 2 43 份福建野生茶树资源及 8 个栽培品种儿茶素组分含量
Table 2 Catechins in 43 wild tea germplasms in Fujian and 8 cultivated varieties (单位: mg·g⁻¹)

编号 Number	简单儿茶素 Simple catechins				酯型儿茶素 Ester catechins					总量 Total
	EC	C	EGC	GC	EGCG3"Me	ECG	EGCG	GCG	CG	
JC01	10.33±0.53	1.04±0.05	42.91±2.05	—	9.77±1.04	15.13±0.70	68.36±2.94	—	—	147.54
JC02	8.08±0.62	0.75±0.19	41.18±0.50	—	15.05±1.77	13.76±1.04	76.00±5.38	—	—	154.82
JC03	6.90±0.65	0.58±0.1	22.76±1.44	—	8.93±0.84	12.96±0.91	53.27±3.89	—	—	105.40
YX01	2.12±0.39	0.91±0.13	8.46±0.76	—	4.96±0.49	14.06±1.20	58.38±5.58	—	—	88.89
YX02	2.72±0.26	1.15±0.14	9.12±0.70	—	5.00±0.67	11.43±1.28	65.50±7.14	—	—	94.92
YX03	8.97±0.26	1.49±0.03	31.23±0.57	—	9.57±1.03	21.83±0.57	111.20±2.70	—	—	174.72
YX04	4.90±0.17	10.33±0.33	7.91±0.11	—	11.08±0.35	20.28±0.72	90.32±3.00	—	—	144.82
YX05	10.61±0.47	1.69±0.11	31.09±0.65	—	25.54±0.44	26.88±0.62	125.53±2.83	—	—	221.34
YX06	10.55±0.95	1.77±0.38	41.17±2.65	—	33.65±1.70	30.87±0.47	142.27±2.32	—	—	260.28
DT01	0.84±0.12	—	6.06±1.52	—	3.54±1.01	13.93±3.97	72.56±15.87	—	—	96.93
DT02	—	1.33±0.47	4.02±0.52	—	6.30±0.92	13.01±1.68	74.63±12.11	—	—	99.29
DT03	5.50±0.41	2.23±0.06	23.70±1.97	—	12.84±0.31	24.00±1.01	160.70±5.39	—	—	228.97
DT04	5.69±0.34	2.40±0.22	19.47±1.08	—	14.13±0.52	25.58±1.35	179.35±8.97	—	—	246.62
DT05	5.24±0.11	—	28.43±0.63	—	16.45±0.71	16.55±0.42	148.72±3.84	—	—	215.39
DT06	6.27±0.23	1.49±0.06	28.21±0.93	—	5.39±1.45	22.21±0.79	174.76±6.47	—	—	238.33
TC01	5.03±0.26	4.28±0.40	14.17±0.62	4.61±0.36	7.91±0.75	24.75±1.55	116.26±10.32	—	—	177.01
TC02	13.98±0.60	6.77±0.51	30.18±2.31	9.08±0.68	7.33±0.30	37.53±1.98	132.71±8.28	0.49±0.06	—	238.07
TC03	5.29±0.04	4.82±0.31	2.49±0.34	8.74±0.40	18.11±0.50	35.58±0.98	140.70±4.19	—	—	215.73
TC04	4.01±0.87	3.58±0.18	10.97±0.36	5.62±0.27	20.70±1.95	20.64±0.96	119.47±7.15	—	—	184.99
TC05	9.11±0.14	5.24±0.09	26.77±0.36	7.98±0.18	4.23±0.06	29.51±2.69	159.92±0.85	0.58±0.05	—	243.34
TC06	10.18±0.27	6.09±0.24	27.25±0.74	8.40±0.21	5.59±0.20	29.02±0.62	150.96±3.55	0.84±0.01	—	238.33
AX01	8.37±0.09	1.40±0.03	27.27±0.23	—	13.01±0.88	23.42±0.50	141.10±5.44	—	—	214.57
ZA01	1.63±0.40	4.76±0.33	5.50±0.32	1.37±0.29	14.34±1.33	21.01±1.67	109.04±8.67	—	—	157.65
ZA02	2.54±0.20	3.32±0.30	8.85±0.60	—	7.16±0.69	16.80±0.76	83.23±5.88	—	—	121.90
ZA03	2.10±0.60	2.18±0.33	7.65±0.78	—	7.96±1.25	11.27±1.25	84.86±10.54	—	—	116.02
ZA04	2.02±0.90	2.10±0.62	7.31±2.26	—	12.01±4.49	10.72±3.40	70.31±18.71	—	—	104.47
ZA05	0.76±0.31	1.80±0.78	1.95±0.99	—	2.17±1.30	8.23±4.10	23.32±12.15	—	—	38.23
ZA06	1.52±0.84	2.87±1.65	4.43±2.19	—	5.28±4.02	10.51±4.92	33.64±0.52	—	—	58.25
ZA07	3.85±0.35	2.58±0.49	10.07±0.86	—	9.54±0.61	21.13±1.14	112.40±9.71	—	—	159.57
ZA08	2.44±0.30	2.22±0.29	8.36±0.86	—	21.03±3.22	27.15±3.69	127.84±17.55	—	—	189.04
ZA09	2.07±0.34	—	10.66±2.41	—	8.78±1.48	12.11±2.03	96.41±16.49	—	—	130.03
ZA10	4.16±0.81	0.92±0.21	25.28±3.69	—	12.00±4.61	20.77±5.09	171.15±16.58	—	—	241.99
ZP01	4.36±0.98	2.21±0.91	21.02±5.08	—	20.66±3.93	24.9±1.05	186.87±3.11	—	—	260.02
ZP02	6.23±1.50	1.96±0.60	25.43±5.12	—	13.19±5.88	33.84±5.28	168.17±1.65	—	—	248.82
ZP03	7.55±0.96	0.91±0.27	24.42±1.24	—	14.78±1.61	22.01±3.17	80.89±0.20	—	—	150.56
ZP04	4.82±0.61	0.77±0.14	20.55±1.29	—	6.19±0.45	17.36±1.26	145.36±13.28	—	—	195.05
ZP05	4.93±0.87	1.95±0.20	18.01±2.28	—	19.42±2.89	33.30±4.43	180.00±1.31	—	—	257.61
ZP06	4.98±0.32	1.17±0.09	26.17±2.63	—	21.08±1.44	19.24±1.44	114.62±11.29	—	—	187.26
ZP07	6.08±0.24	1.51±0.15	26.18±1.75	—	20.98±0.43	24.89±0.31	135.34±1.42	—	—	214.98
ZP08	5.90±0.16	1.23±0.09	22.20±1.15	—	15.39±0.17	23.62±0.43	134.92±1.67	—	—	203.26
ZP09	3.37±0.31	2.27±0.62	9.88±1.95	—	28.18±0.73	29.07±0.57	114.05±2.98	—	—	186.82
ZP10	2.97±0.25	1.88±0.05	15.05±1.20	—	19.71±1.60	16.87±1.40	141.88±12.84	—	—	198.36
ZP11	19.35±0.03	3.20±0.07	40.95±1.12	—	11.25±0.06	38.33±0.18	102.64±0.37	—	—	215.72
FD	7.51±0.69	1.13±0.11	17.84±1.44	—	—	14.12±0.80	61.36±5.69	—	—	101.96
FY6	13.08±0.34	1.48±0.02	32.42±0.89	3.21±0.03	—	27.09±1.04	78.02±2.54	—	—	155.30
JGY	8.78±0.41	2.01±0.64	28.79±5.02	—	1.55±0.11	17.44±0.19	94.31±1.52	—	—	152.88
HD	9.08±0.45	1.74±0.26	24.01±2.39	—	1.65±0.03	20.75±0.63	73.60±1.95	—	—	130.83
HJY	12.65±0.58	2.08±0.16	29.46±1.39	—	—	19.87±0.78	57.01±1.90	—	—	121.07
LJ43	9.24±0.27	—	26.68±1.87	—	—	16.56±0.55	63.16±2.00	—	—	115.64
BY1	8.46±0.12	1.39±0.14	49.42±2.93	—	—	9.10±0.41	59.48±3.13	—	—	127.85
JM1	9.46±0.63	1.56±0.03	38.96±1.42	—	—	13.11±0.93	67.73±4.41	—	—	130.82

注：“—”表示未检出。
Note: “—” indicates not detected.

表 3 福建野生茶树特异资源的筛选
Table 3 Selection of tea germplasms from wild resources found in Fujian

资源类型 Gemplasm type	资源名称 Gemplasm name
高儿茶素 High catechin ($>200\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	YX06(260.28)、ZP01(260.02)、ZP05(257.51)、ZP02(248.82)、DT04(246.62)、TC05(243.34)
	ZA10(241.99)、TC06(238.33)、DT06(238.33)、TC02(238.07)、DT03(228.97)、YX05(221.34)
	TC03(215.73)、ZP11(215.72)、DT05(215.39)、ZP07(214.98)、AX01(214.57)、ZP08(203.26)
高EGCG High EGCG ($>150\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	ZP01(186.87)、ZP05(180.00)、DT04(179.35)、DT06(174.76)、ZA10(171.15)、ZP02(168.17)、DT03(160.70)、TC05(159.92)、TC06(150.96)
高EGCG3"Me High EGCG3"Me ($>20\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	YX06(33.65)、ZP09(28.18)、YX05(25.54)、ZP06(21.08)、ZA08(21.03)、ZP07(20.98) TC04(20.70)、ZP01(20.66)



注: **表示相关性极显著 ($P<0.01$)。

Note: ** represents highly significant correlation ($P<0.01$).

图 2 供试资源儿茶素组分含量
Fig. 2 Content of tea germplasms in catechin components

特异资源可以作为育种亲本用于之后的育种研究。

3 讨论与结论

儿茶素组分是茶树次生物质代谢产物的重要成分,对茶叶的色、香、味品质的形成有重要作用^[3]。鉴定茶树种质资源中的儿茶素组分含量及分布特征,对有针对性地开发利用资源具有重要意义。儿茶素组分又可划分为酯型儿茶素与非酯型儿茶素(简单儿茶素),其与茶叶滋味、茶叶保健功效密切相关。酯型儿茶素较非酯型儿茶素苦涩味更重,抗氧化效果更加突出^[22]。本研究结果表明,在福建野生茶树品种资源中,酯型儿茶素的含量均高于栽培品种,其中EGCG和EGCG3"Me含量极显著高于栽培品种。此外,通过正交偏最小二乘判别分析及聚类热图分析发现,福建野生茶树品种资源与栽培

品种的主要差异物质为EGCG和EGCG3"Me,这与前人的研究结果相似^[15,23]。从产区之间分析发现,蕉城地区与栽培品种聚为A类,其EGCG3"Me、ECG、EGCG均较低,但EGC和EC含量较高。尤溪汤川、安溪及漳平地区的茶树品种资源聚为B类,该类群各儿茶素组分含量均较高,特别是EGCG3"Me、ECG、EGCG含量。而诏安、云霄及大田野生茶树在A、B两类均有分布,不同茶树种质资源间儿茶素含量变化较大,无明显区域特征。由此可见,福建野生茶树品种资源富含丰富的EGCG和EGCG3"Me,具有较高的开发利用价值。

EGCG3"Me是EGCG甲基化产物,也是茶叶中最常见的一种甲基化儿茶素,相比于EGCG,具有更强的抗氧化和抗衰老等保健功效^[5]。茶叶中EGCG3"Me的含量因茶树种质的不同有很大差异,并且高含量

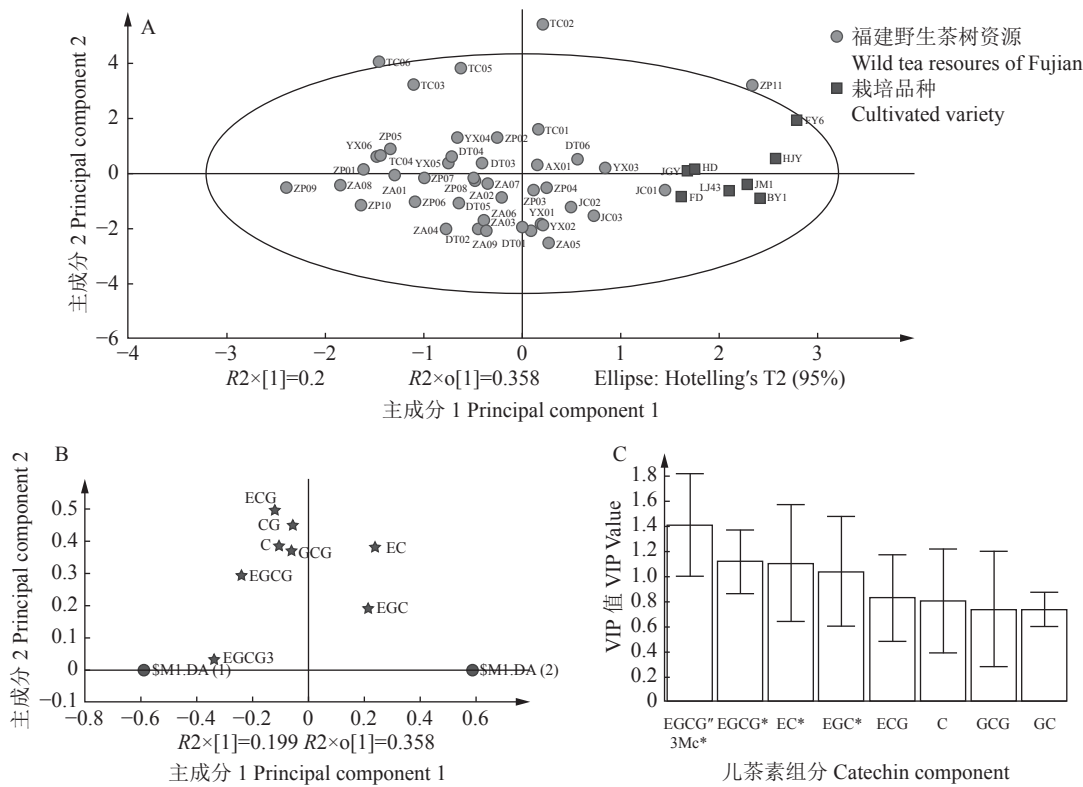


图 3 43 份福建野生茶树资源及 8 个栽培品种儿茶素组分的 OPLS-DA 分析

Fig. 3 OPLS-DA statistical analysis on catechins in 43 wild tea germplasm in Fujian and 8 cultivated varieties

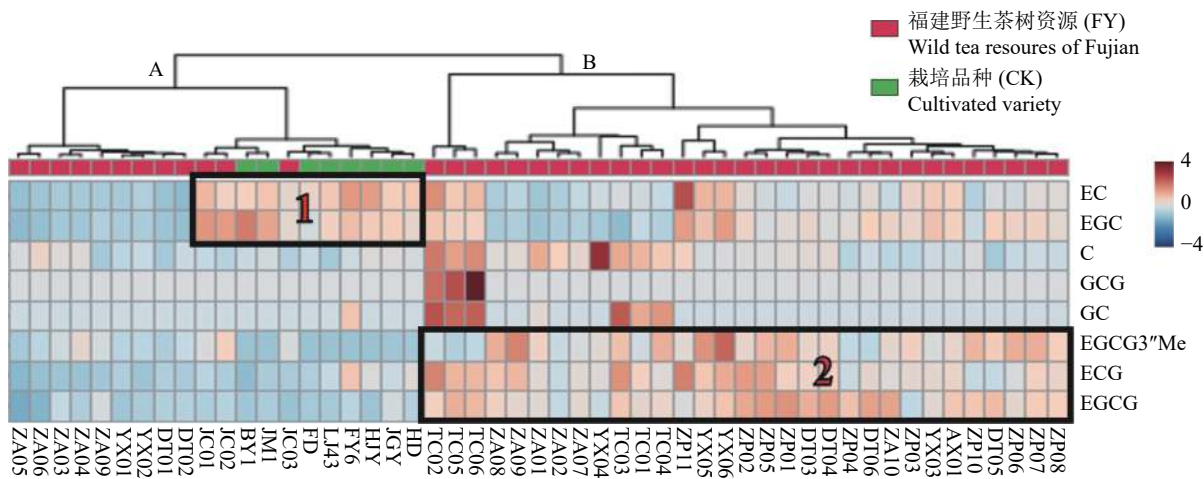


图 4 43 份福建野生茶树资源及 8 个栽培品种儿茶素组分聚类热图可视化分析

Fig. 4 Heatmap analysis on catechins in 43 wild tea germplasm in Fujian and 8 cultivated varieties

EGCG3"Me 茶树种质资源的分布具有一定的区域性特征^[24]。吕海鹏等^[24]对国内 200 多份高茶多酚茶树种质展开调研，发现在福建、广东两地具有较多含有 EGCG3"Me 的茶树种质。本研究中的 43 份福建野生茶树种质资源中均检测出 EGCG3"Me，其中含量大于 10 mg·g⁻¹ 有 24 份资源，大于 20 mg·g⁻¹ 有 8 份资源，含量最高的为云霄 6 号 (33.65 mg·g⁻¹)。随着茶学领域的研究进入后基因组时代，茶树次生物的代谢机理也逐渐深入到分子层面的研究阶段^[25-26]。

但对于茶树甲基化 EGCG 形成机理的研究因缺少富含 EGCG3"Me 的试验材料而严重受阻^[13]，而此次筛选鉴定出富含 EGCG3"Me 的种质资源，将为茶树高甲基化 EGCG 形成机理研究以及发掘茶树特异种质资源提供试验材料。

福建野生茶树种质资源丰富，对其儿茶素组分构成进行系统性评估，并从中筛选出高儿茶素茶树资源 (> 200 mg·g⁻¹) 18 份，高 EGCG 茶树资源 (> 150 mg·g⁻¹) 9 份，高 EGCG3"Me 茶树资源

($>20\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 8 份, 为优异茶树种质资源的开发利用提供依据。

参考文献:

- [1] MOLDOVEANU S C, ODEN R. Antioxidant character and levels of polyphenols in several tea samples [J]. *ACS Omega*, 2021, 6 (15): 9982–9988.
- [2] ZHANG Y, WANG S X, MA J W, et al. EGCG inhibits properties of glioma stem-like cells and synergizes with temozolomide through downregulation of P-glycoprotein inhibition [J]. *Journal of Neuro-Oncology*, 2015, 121 (1): 41–52.
- [3] 叶乃兴. 茶学概论[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [4] 王蔚, 郭雅玲. 茶功能性成分对肺癌作用机制的研究进展 [J]. *中草药*, 2017, 48 (17): 3654–3661.
WANG W, GUO Y L. Research progress in mechanisms of functional components in tea on lung cancer [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2017, 48 (17): 3654–3661. (in Chinese)
- [5] 李银花, 张盛, 黄建安, 等. 茶叶中EGCG3 "Me和EGCG4"Me的分离制备与鉴定 [J]. *茶叶科学*, 2012, 32 (4): 313–318.
LI Y H, ZHANG S, HUANG J A, et al. Isolation and identification of EGCG3 "Me and EGCG4 "Me from tea [J]. *Journal of Tea Science*, 2012, 32 (4): 313–318. (in Chinese)
- [6] JIN J Q, JIANG C K, YAO M Z, et al. Baiyacha, a wild tea plant naturally occurring high contents of theacrine and 3"-methyl-epigallocatechin gallate from Fujian, China [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10 (1): 1–9.
- [7] 林金科, 郑金贵, 陈荣冰, 等. 高EGCG含量的特异茶树种质资源的筛选与研究 [J]. *作物学报*, 2005, 31 (11): 127–133.
LIN J K, ZHENG J G, CHEN R B, et al. Screening specific tea plant germplasm resources[*Camellia sinensis*(L.) O. Kuntze]with high EGCG content [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31 (11): 127–133. (in Chinese)
- [8] 唐琴, 孙威江, 陈志丹, 等. 尤溪苦茶资源苦涩味物质测定与分析 [J]. *食品科学*, 2019, 40 (18): 242–247.
TANG Q, SUN W J, CHEN Z D, et al. Determination and analysis of bitter and astringent substances in Youxi bitter tea resources [J]. *Food Science*, 2019, 40 (18): 242–247. (in Chinese)
- [9] 柳敏, 饶国武, 华允芬. EGCG衍生物合成及药理活性研究进展 [J]. *茶叶科学*, 2016, 36 (2): 119–130.
LIU M, RAO G W, HUA Y F. Research advance in synthesis and pharmacological effects of EGCG derivatives [J]. *Journal of Tea Science*, 2016, 36 (2): 119–130. (in Chinese)
- [10] FUJIMURA Y, FUJINO K, YOSHIMOTO T, et al. Eriodictyol-amplified 67-kDa laminin receptor signaling potentiates the antiallergic effect of O-methylated catechin [J]. *Journal of Natural Products*, 2021, 84 (6): 1823–1830.
- [11] 谢凤, 孙威江, 邓婷婷. 茶树表没食子儿茶素-3-O-(3-O-甲基)没食子酸酯研究进展 [J]. *天然产物研究与开发*, 2019, 31 (7): 1291–1297.
XIE F, SUN W J, DENG T T. Research advance of epigallocatechin-3-O-(3-O-methyl)-gallate [J]. *Natural Product Research and Development*, 2019, 31 (7): 1291–1297. (in Chinese)
- [12] 雷志伟, 李露露, 郭灿, 等. 儿茶素糖基化修饰研究进展 [J]. *中草药*, 2019, 50 (21): 5362–5372.
LEI Z W, LI L L, GUO C, et al. Research progress on glycosidation modification of catechins [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2019, 50 (21): 5362–5372. (in Chinese)
- [13] 孙业良. 茶叶中甲基EGCG的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
SUN Y L. *Study on O-methylated egcg in tea*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [14] 汪毅. 茶叶中甲基化EGCG的调查研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
WANG Y. *Studies on O-methylated epigallocatechin-3-O-gallate in tea*[D]. Chongqing: Southwest University, 2006. (in Chinese)
- [15] LV H P, YANG T, MA C Y, et al. Analysis of naturally occurring 3"-Methyl-epigallocatechin gallate in 71 major tea cultivars grown in China and its processing characteristics [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7: 727–736.
- [16] 陈满敏, 章进汕, 金珊, 等. 福建大田县茶树品种资源生化成分特征分析与评价 [J]. *南方农业学报*, 2022, 52 (4): 1050–1057.
CHEN X M, ZHANG J S, JIN S, et al. Analysis on biochemical components of local tea variety resources in Datian, Fujian [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2022, 52 (4): 1050–1057. (in Chinese)
- [17] 陈满敏, 赵峰, 金珊, 等. 福建云霄地方茶树品种资源生化成分特征分析与评价 [J]. *西北植物学报*, 2022, 42 (1): 127–137.
CHEN X M, ZHAO F, JIN S, et al. Analysis and evaluation on biochemical components of local tea variety resources in Yunxiao, Fujian [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42 (1): 127–137. (in Chinese)
- [18] 陈满敏, 赵峰, 王淑燕, 等. 福建野生茶树资源嘌呤生物碱构成评价及特异资源筛选 [J]. *茶叶科学*, 2022, 42 (1): 18–28.
CHEN X M, ZHAO F, WANG S Y, et al. Purine alkaloid evaluation and excellent resources screening of Fujian wild tea [J]. *Journal of Tea Science*, 2022, 42 (1): 18–28. (in Chinese)
- [19] 王丽丽, 陈键, 宋振硕, 等. 茶叶中没食子酸、儿茶素类和生物碱的HPLC检测方法研究 [J]. *福建农业学报*, 2014, 29 (10): 987–994.
WANG L L, CHEN J, SONG Z S, et al. Simultaneous HPLC determination of Gallic acid, catechins and alkaloids in tea [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 29 (10): 987–994. (in Chinese)
- [20] 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): 309–314,319.
WANG X C, CHEN L, YANG Y J. Biochemical diversity analysis of tea germplasms in Guangxi [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11 (3): 309–314,319. (in Chinese)
- [21] NING Y, LING J Q, WU C D. Synergistic effects of tea catechin epigallocatechin gallate and antimycotics against oral *Candida* species [J]. *Archives of Oral Biology*, 2015, 60 (10): 1565–1570.
- [22] LI J H, CHEN S X, ZHU M Z, et al. Cluster analysis of the biochemical composition in 53 Sichuan EGCG3"Me tea resources [J].

- IOP Conference Series:Materials Science and Engineering*, 2017, 231: 012125.
- [23] 卢秋华, 陈志雄, 彭建肯, 等. 高甲基化儿茶素乌龙茶品种的筛选初探 [J]. *厦门科技*, 2018 (6): 46-48.
- LU Q H, CHEN Z X, PENG J K, et al. Screening of hypermethylated catechin oolong tea varieties [J]. *Xiamen Science & Technology*, 2018 (6): 46-48. (in Chinese)
- [24] 吕海鹏, 谭俊峰, 林智. 茶树种质资源EGCG3"Me含量及其变化规律研究 [J]. *茶叶科学*, 2006, 26 (4): 310-314.
- LU H P, TAN J F, LIN Z. Study on the content of EGCG3"me in different tea germplasms and its changes [J]. *Journal of Tea Science*, 2006, 26 (4): 310-314. (in Chinese)
- [25] WEI C L, YANG H, WANG S B, et al. Draft genome sequence of *Camellia sinensis* var. *sinensis* provides insights into the evolution of the tea genome and tea quality [J]. *PNAS*, 2018, 115 (18): 4151-4158.
- [26] JIN J Q, LIU Y F, MA C L, et al. A novel F3' 5' H allele with 14 bp deletion is associated with high catechin index trait of wild tea plants and has potential use in enhancing tea quality [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66 (40): 10470-10478.
- (责任编辑: 黄爱萍)