

刘财国, 吕水源, 于文涛, 等. 北苑贡茶茶树种质遗传多样性及其与青心乌龙茶树的亲缘关系[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(5): 935-943.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.05.018

北苑贡茶茶树种质遗传多样性及其与青心乌龙茶树的亲缘关系

刘财国¹, 吕水源², 于文涛², 潘宏英³, 王攀¹, 严林华³, 朱艳宇¹, 金珊¹, 叶乃兴¹
(1. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002; 2. 福州海关技术中心, 福建 福州 350001; 3. 建瓯市茶业发展中心, 福建 建瓯 353100)

摘要: 为更好地发掘、保护和利用北苑贡茶茶树种质资源, 采用 EST-SNP 分子标记技术对北苑贡茶种质遗传多样性及其与青心乌龙的亲缘关系进行分析。筛选出 49 个多态性强的 SNP 位点, 适用于鉴定北苑贡茶茶树种质基因分型以及分析其与青心乌龙的亲缘关系, 并进行 PCoA 主成分分析、层级进化树构建和遗传距离分析。结果表明, 北苑贡茶茶树种质具有丰富的遗传多样性, 其 6 个茶树种质群体间的遗传距离为 0.021~0.137; 北苑贡茶核心产地福建省建瓯市东峰镇的百年乌龙茶园为有性茶树-无性茶树混合种植的古茶园; 青心乌龙茶树(中国台湾)、矮脚乌龙茶树(武夷山)与北苑贡茶的百年乌龙茶树种质亲缘关系密切。根据亲缘关系分析推测, 青心乌龙茶树(中国台湾)、软枝乌龙茶树(中国台湾)和矮脚乌龙茶树(武夷山)可能均源自建瓯北苑贡茶产区。

关键词: 北苑贡茶; 青心乌龙; 茶树; 种质资源; 遗传多样性

中图分类号: S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)05-0935-09

Genetic diversity of Beiyuan tribute tea germplasms and their genetic relationship with Qingxinwulong

LIU Caiguo¹, LYU Shuiyuan², YU Wentao², PAN Hongying³, WANG Pan¹, YAN Linhua³,
ZHU Yanyu¹, JIN Shan¹, YE Naixing¹

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Technology Centre of Fuzhou Customs District, Fuzhou 350001, China; 3. Jian'ou Tea Industry Development Center, Jian'ou 353100, China)

Abstract: To enhance the excavation, protection and utilization of excellent Beiyuan tribute tea germplasm resources, the genetic diversity of Beiyuan tribute tea germplasms and their genetic relationship with Qingxinwulong were analyzed using the EST-SNP molecular marker technique. Forty-nine SNP loci with strong polymorphism were screened out, which were suitable for identifying the genotyping of Beiyuan tribute tea germplasm and analyzing its genetic relationship with Qingxinwulong, and the PCoA principal component analysis, hierarchical phylogenetic tree construction and genetic distance analysis were carried out. The results showed that the germplasm resources of Beiyuan tribute tea had abundant ge-

收稿日期: 2023-06-19

基金项目: 建瓯市茶叶科技创新专项(J02022001); 福建省科技厅农业科技引导性项目(2021N0024); 福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2020123B); 海关总署科研项目(2020HK187)

作者简介: 刘财国(1996-), 男, 江西上饶人, 硕士研究生, 研究方向为茶树栽培育种。(E-mail) 1060737445@qq.com

通讯作者: 叶乃兴, (E-mail) ynxtea@126.com; 于文涛, (E-mail) wtyu@foxmail.com

netic diversity, and the genetic distance among the six tea groups ranged from 0.021 to 0.137. The century-old oolong tea garden in Dongfeng Town, the core producing area of Beiyuan tribute tea, was an ancient tea garden with mixed planting of sexual and asexual. Qingxinwulong (Taiwan) and Aijiaowulong (Wuyishan) were closely related to the centennial oolong germplasm of Beiyuan tribute tea. According to the analysis of genetic relationship, it was speculated that Qingxinwulong (Taiwan), Ruanzhiwulong

(Taiwan) and Aijiaowulong (Wuyishan) might be derived from Jian'ou Beiyuan tribute tea producing area.

Key words: Beiyuan tribute tea; Qingxinwulong; *Camellia sinensis*; germplasm resources; genetic diversity

茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze], 为山茶科山茶属的常绿木本植物, 是世界上重要的经济作物之一, 原产于中国^[1]。福建省建瓯市地处武夷山脉东南面, 鹫峰山脉西北侧, 闽江建溪流域, 产茶历史悠久, 有“千年古茶都”之美誉^[2]。北苑贡茶发源于建瓯市, 享誉海内外^[3-4]。周绛在《补茶经》载: “天下之茶, 建为最, 建之北苑, 又为最”^[5], 宋子安的《东溪试茶录》记载道: “茶之名者有七”^[6], 是茶史上首次对茶树品种进行分类。丰富多样的茶树种质资源是茶树遗传育种、品种创新和茶叶生产的物质基础。周理飞^[7]调查发现建瓯古茶树有数百株, 又以东峰镇桂林村的矮脚乌龙茶树为最。赖少波^[8]记载道: 矮脚乌龙为建瓯境内茶乡流传的特色茶种, 俗称“菜茶”, 并广泛流传省内外。中国台湾的茶树品种和制茶技术均由福建传来, 青心乌龙是中国台湾的主要栽培品种。中国台湾大学吴振铎通过比对茶树形态、结构特征, 认为建瓯东峰的百年乌龙茶园是中国台湾青心乌龙和冻顶乌龙的发源地^[9-10]。植物种质资源的快速鉴定及亲缘关系分析已成为种质资源相关研究人员关注的核心问题之一。单核苷酸多态性 (Single nucleotide polymorphism, SNP) 作为第三代分子标记, 具有准确度高、遗传稳定性高、自动化等优点, 在茶树研究

中不断得到应用, 包括遗传多样性和种群结构分析、起源和进化分析、标记辅助选择以及遗传连锁图谱的构建等^[11-13]。此外, Liu 等^[14]使用 SNP 技术研究发现武夷山茶树种质资源可分为 2 个群体。樊晓静等^[15]通过将茶树基本信息与 SNP 位点信息相结合构建了茶树分子身份证。目前, 对北苑贡茶的研究主要集中于北苑贡茶历史、生化品质多样性、茶树抗逆性等方面^[16-18], 关于北苑贡茶茶树种质 SNP 基因分型鉴定的研究尚未见报道。本研究采用 SNP 分子标记技术对北苑贡茶茶树种质进行遗传多样性及亲缘关系分析, 以期从分子水平上探究北苑贡茶茶树群体的遗传多样性, 以及对其与周边茶产区茶树之间的遗传关系进行分析, 阐明中国台湾青心乌龙与北苑贡茶茶树群体的亲缘关系, 有利于更好地保护、发掘和利用北苑贡茶的优异茶树种质资源。

1 材料与方法

1.1 材料收集

供试材料来自建瓯市北苑贡茶产区 (包括东峰镇、东游镇、小桥镇、南雅镇) 茶树种质 117 份, 中国台湾、武夷山、安溪等周边产区茶树种质 53 份 (表 1)。

表 1 用于 SNP 基因分型的供试茶树种质样品列表

Table 1 List of tea tree germplasm samples used for SNP genotyping

产地	种质	份数
建瓯东峰	百年乌龙种质 1~百年乌龙种质 28 (编号为 1~28)、百年乌龙种质 30~百年乌龙种质 50 (编号为 29~49)、黄重尾 1 号~黄重尾 5 号 (编号为 50~54)、金盘山 1 号~金盘山 3 号 (编号为 55~56)、长源村 1 号~长源村 3 号 (编号为 57~60)	60
建瓯东游	云头 1 号~云头 14 号 (编号为 61~74)、上范 1 号~上范 4 号 (编号为 75~78)、东际 1 号~东际 4 号 (编号为 79~82)	22
建瓯瓯宁	云际山 1 号~云际山 8 号 (编号为 83~90)	8
建瓯小桥	高门 1 号~高门 3 号 (编号为 91~93)、百丈 1 号~百丈 8 号 (编号为 94~101)	11
建瓯南雅	梅村 1 号~梅村 5 号 (编号为 102~106)、新村 1 号~新村 4 号 (编号为 107~110)	9
建瓯吉阳	郭岩山 1 号~郭岩山 7 号 (编号为 111~117)	7
武夷山	武夷山矮脚乌龙 1、高脚乌龙、大红袍、肉桂、铁罗汉、雀舌、北斗、十里香、红孩儿、乔木菜茶、大红梅、白鸡冠、金毛猴、岩乳、向天梅、留兰香、玉麒麟 (编号为 118~134)	17
安溪	铁观音、黄旦、本山、大叶乌龙、大红、白芽观音、红骨乌龙、皱面吉、祥华奇种、蓬莱苦茶、青芯子、香子种、墨香、圆叶黄旦、木瓜、武夷山矮脚乌龙 2 (编号为 135~150)	16
闽东	福鼎大白茶、福安菜茶 1 号~福安菜茶 5 号、寿宁菜茶 1 号~寿宁菜茶 7 号、屏南菜茶 1 号、屏南菜茶 2 号 (编号为 151~165)	15
中国台湾	青心乌龙 1 (编号为 166)、青心乌龙 2 (编号为 167)、软枝乌龙 1 (编号为 168)、软枝乌龙 2 (编号为 169)、软枝乌龙 3 (编号为 170)	5

1.2 DNA 提取

使用新的植物基因组提取试剂盒 [DP320, 天根

生化科技 (北京) 有限公司, 中国], 根据试剂盒的说明, 从各茶树种质的芽叶中提取 DNA^[15]。然后, 使

用 NanoDrop 核酸测序仪 (NanoDrop 2000/2000C) 分析 DNA 质量, 要求 DNA 质量浓度 $>50 \mu\text{g}/\text{ml}$ 。成功提取的 DNA 存储在 -20°C 冰箱里。

1.3 单核苷酸多态性标记与基因分型

在本研究的早期阶段, 茶树的表达序列 (EST) 从美国国家生物信息中心 (NCBI) 的数据库 (<http://www.NCBI.nlm.nih.gov/>) 下载。为了挖掘和选择茶树的单核苷酸多态性, 最终筛选出 96 个用于茶树种质资源基因分型的 SNP 位点^[19]。具体 SNP 基因分型方法参考 Lin 等^[11]的方法。

1.4 数据分析

数据采集由 EP1 仪器执行, 使用 Fluidigm SNP 基因分型分析软件导出并分析数据 (<https://www.fluidigm.com/software>), 然后使用 GenAlEx6.503 软件进行相关等位基因信息、群体分化和遗传距离计算分析。PCoA 图分析来自 GenAlEx 的遗传距离测量。对于层次聚类树, 应用 MEGA5.05 软件计算序列数据, 然后使用层次聚类法构建^[13-14]。

2 结果与分析

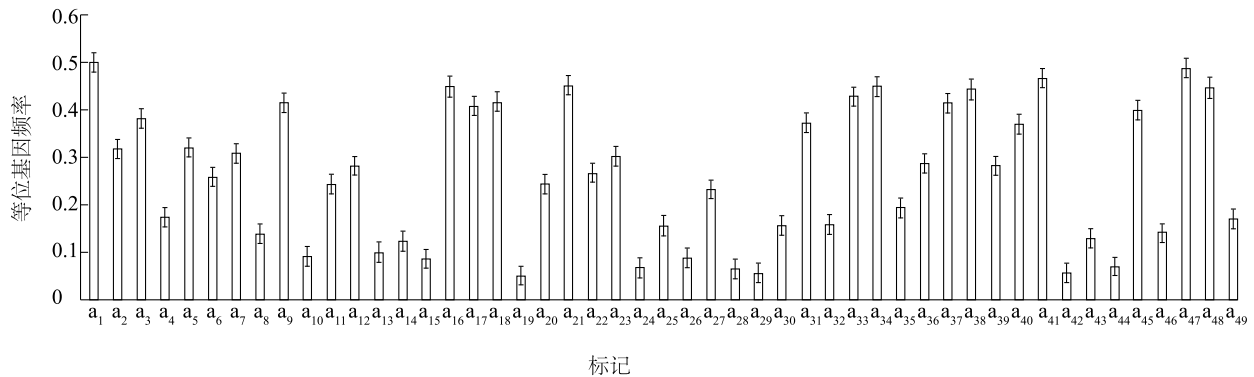
2.1 北苑贡茶茶树种质多态性 SNP 位点的筛选与分析

通过对 96 个 SNP 标记位点的筛选, 获得了 49 个多态性强的特异位点, 适用于鉴定北苑贡茶茶树种质的基因分型, 占有位点的 51.0%。筛选的 49 个 SNP 位点的相关等位基因信息如表 2 所示, 这些 SNP 位点的信息指数为 $0.125 \sim 0.680$, 平均值为 0.466 ; 观测杂合度为 $0.037 \sim 0.846$, 平均值为 0.365 ; 期望杂合度为 $0.077 \sim 0.487$, 平均值为 0.314 ; 固定指数为 $-0.730 \sim 0.435$, 平均值为 -0.139 ; 次等位基因频率为 $0.050 \sim 0.500$, 平均值为 0.264 。观测杂合度和期望杂合度的平均值相近, 表明供试北苑贡茶茶树种质具有丰富的遗传多样性。此外, 在筛选 SNP 位点时, 次等位基因频率要确保 ≥ 0.05 。49 个多态性 SNP 位点的次等位基因频率如图 1 所示。

表 2 49 个多态性 SNP 位点的等位基因信息

Table 2 Allele information of 49 polymorphic SNP loci

位点	信息指数 (I)	观测杂合度 (Ho)	期望杂合度 (He)	固定指数 (F)	位点	信息指数 (I)	观测杂合度 (Ho)	期望杂合度 (He)	固定指数 (F)
cs1	0.534	0.398	0.360	-0.088	cs218	0.207	0.173	0.140	-0.166
cs10	0.632	0.658	0.442	-0.471	cs23	0.403	0.300	0.259	-0.138
cs104	0.580	0.238	0.394	0.435	cs26	0.194	0.135	0.108	-0.113
cs105	0.235	0.278	0.158	-0.461	cs3	0.226	0.124	0.115	-0.067
cs112	0.648	0.563	0.457	-0.231	cs30	0.199	0.185	0.137	-0.325
cs115	0.525	0.426	0.362	-0.179	cs31	0.475	0.386	0.316	-0.199
cs118	0.617	0.393	0.429	0.074	cs32	0.486	0.277	0.320	0.086
cs12	0.444	0.242	0.284	0.091	cs33	0.658	0.428	0.466	0.080
cs122	0.680	0.846	0.487	-0.730	cs36	0.642	0.482	0.451	-0.065
cs124	0.234	0.224	0.156	-0.364	cs39	0.497	0.320	0.325	0.002
cs132	0.465	0.395	0.306	-0.262	cs44	0.555	0.520	0.371	-0.370
cs141	0.570	0.420	0.391	-0.084	cs5	0.599	0.404	0.412	0.032
cs15	0.331	0.216	0.204	-0.028	cs51	0.641	0.704	0.452	-0.488
cs157	0.222	0.274	0.158	-0.704	cs54	0.578	0.356	0.393	0.099
cs16	0.293	0.194	0.176	-0.080	cs55	0.633	0.667	0.442	-0.503
cs167	0.632	0.470	0.442	-0.065	cs66	0.636	0.499	0.445	-0.110
cs170	0.660	0.547	0.468	-0.169	cs67	0.125	0.037	0.077	0.157
cs191	0.470	0.203	0.310	0.426	cs76	0.447	0.372	0.281	-0.253
cs198	0.231	0.159	0.130	-0.112	cs8	0.213	0.125	0.120	0.057
cs20	0.442	0.296	0.280	-0.059	cs84	0.569	0.324	0.386	0.166
cs202	0.617	0.665	0.428	-0.523	cs85	0.402	0.328	0.250	-0.220
cs207	0.608	0.433	0.420	-0.007	cs88	0.667	0.490	0.475	-0.013
cs208	0.366	0.210	0.227	0.040	cs9	0.648	0.542	0.456	-0.184
cs213	0.290	0.197	0.174	-0.092	cs95	0.340	0.401	0.226	-0.479
cs215	0.477	0.349	0.307	-0.134	平均值	0.466	0.365	0.314	-0.139



$a_1: cs1; a_2: cs10; a_3: cs104; a_4: cs105; a_5: cs112; a_6: cs115; a_7: cs118; a_8: cs12; a_9: cs122; a_{10}: cs124; a_{11}: cs132; a_{12}: cs141; a_{13}: cs15; a_{14}: cs157; a_{15}: cs16; a_{16}: cs167; a_{17}: cs170; a_{18}: cs191; a_{19}: cs198; a_{20}: cs20; a_{21}: cs202; a_{22}: cs207; a_{23}: cs208; a_{24}: cs213; a_{25}: cs215; a_{26}: cs218; a_{27}: cs23; a_{28}: cs26; a_{29}: cs3; a_{30}: cs30; a_{31}: cs31; a_{32}: cs32; a_{33}: cs33; a_{34}: cs36; a_{35}: cs39; a_{36}: cs44; a_{37}: cs5; a_{38}: cs51; a_{39}: cs54; a_{40}: cs55; a_{41}: cs66; a_{42}: cs67; a_{43}: cs76; a_{44}: cs8; a_{45}: cs84; a_{46}: cs85; a_{47}: cs88; a_{48}: cs9; a_{49}: cs95。$

图 1 49 个多态性 SNP 标记的次要等位基因频率

Fig.1 Minor allele frequencies of 49 polymorphic SNP markers

2.2 北苑贡茶茶树种质 SNP 基因指纹图谱

通过分析筛选获得的多态性 SNP 位点,确定每个样品 SNP 位点上的基因型,即 XX 型、XY 型和 YY 型,用以构建北苑贡茶茶树种质 DNA 指纹图谱。其中 XY 型为杂合子,即同源染色体上相同位点的等位基因是不同碱基个体,有 AC、AT、CT、CG、AG、TG、GA、TC、GT、GC、TA、CA 等 12 种。XX 型和 YY 型为纯合子,即同源染色体上相同位点的等位基因是相同碱基个体,包括 AA、CC、GG、TT 等 4 种。碱基个体包括腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胞嘧啶(C)、胸腺嘧啶(T)。本研究通过 49 个高质量 SNP 位点的基因分型,构建了北苑贡茶茶树种质的 EST-SNP 指纹图谱(图 2)。

2.3 北苑贡茶茶树种质与相邻地区茶树种质的亲缘关系

根据 PCoA 主成分分析结果,前 3 个主成分分别占总变异的 27.41%、10.77% 和 5.47%。通过第一主成分和第二主成分构建的 PCoA 图(图 3)显示了北苑贡茶茶树种质与邻近茶产区茶树种质的亲缘关系。将各组群区域标明后可以发现,北苑贡茶茶树种质资源与安溪茶产区、武夷山茶产区茶树种质间存在交流,但与闽东茶产区茶树种质分开。供试茶树种质存在较明显的聚类关系,来自武夷山茶产区的 17 个茶树种质和安溪茶产区的 16 个茶树种质聚类相对集中,并且来自武夷山和安溪的 2 个武夷山矮脚乌龙在图中完全重合,为同一品种,这表明安溪

的矮脚乌龙来自于武夷山。而闽东的 15 份茶树种质分布相对分散,这与供试种质来自闽东的不同县域产区有关。值得一提的是,来自中国台湾的青心乌龙和软枝乌龙的 5 个种质明显聚集在建瓯北苑贡茶群体内,而且青心乌龙 1 与青心乌龙 2 完全重合,软枝乌龙 1、软枝乌龙 2 和软枝乌龙 3 完全重合。图 4 显示建瓯北苑贡茶茶树种质资源的亲缘关系,各群体间皆存在相互交流。从参试种质的分布来看,来自东游、瓯宁、小桥、南雅和吉阳茶树种质分布相对集中,而来自东峰茶树种质分布相对分散。进一步对参试茶树种质进行分析发现:百年乌龙种质 2、百年乌龙种质 3、百年乌龙种质 5、百年乌龙种质 6、百年乌龙种质 9、百年乌龙种质 19、百年乌龙种质 25、百年乌龙种质 27 和百年乌龙种质 32 完全重合;百年乌龙种质 1、百年乌龙种质 24、百年乌龙种质 33 和百年乌龙种质 34 完全重合;百年乌龙种质 38、百年乌龙种质 42 和百年乌龙种质 44 完全重合;百年乌龙种质 46 和百年乌龙种质 50 完全重合;百年乌龙种质 37、百年乌龙种质 41、东峰黄重尾 2 号、东峰金盘山 3 号、东峰长源 2 号和东游上范 2 号完全重合。

2.4 北苑贡茶茶树种质层级进化树

通过 DAW win 6.0 软件对 170 份供试茶树种质聚类生成层级进化树(图 5),进化树分析结果与 PCoA 分析结果基本一致。从进化树中可以发现,供试茶树种质被分为两大分支,第一大分支中的茶

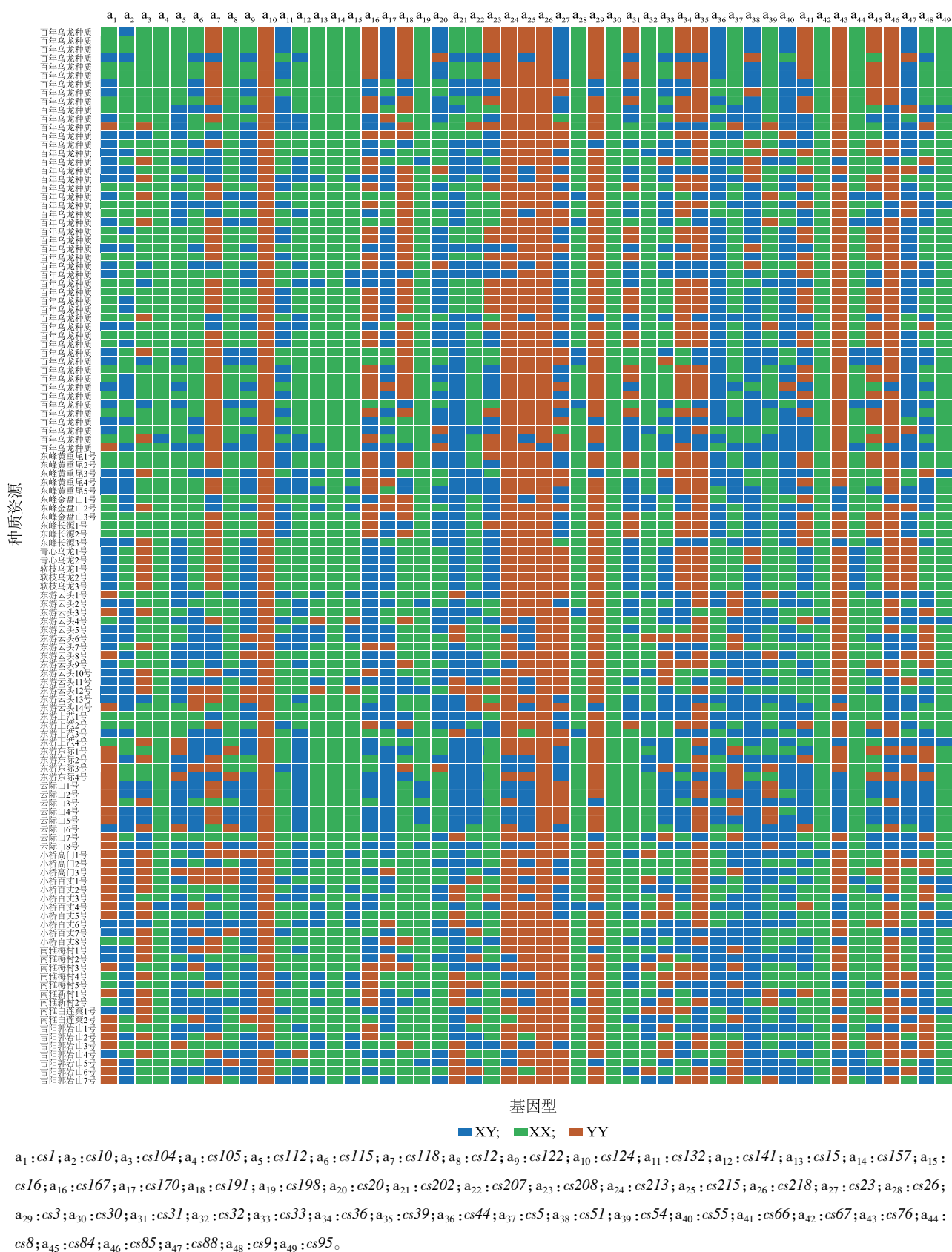
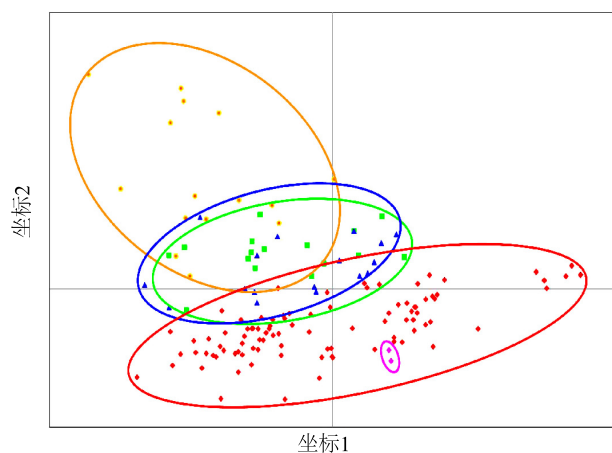


图2 北苑贡茶茶树种质资源 EST-SNP 指纹图谱

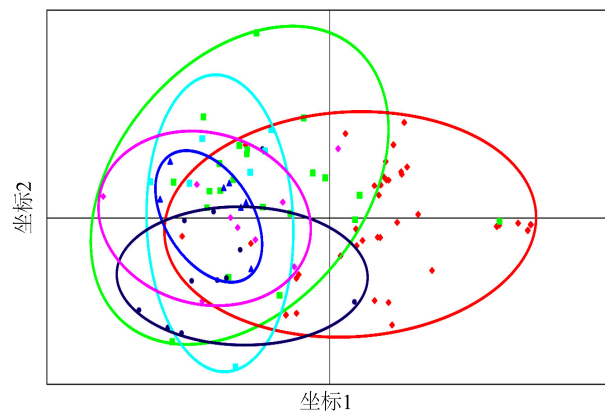
Fig.2 EST-SNP fingerprint of Beiyuan tribute tea germplasm resources



◆来自建瓯茶树种质; ■来自武夷山茶树种质; ▲来自安溪茶树种质;
●来自闽东茶树种质; ●来自中国台湾茶树种质

图3 基于前3个主成分的170份茶树种质PCoA图

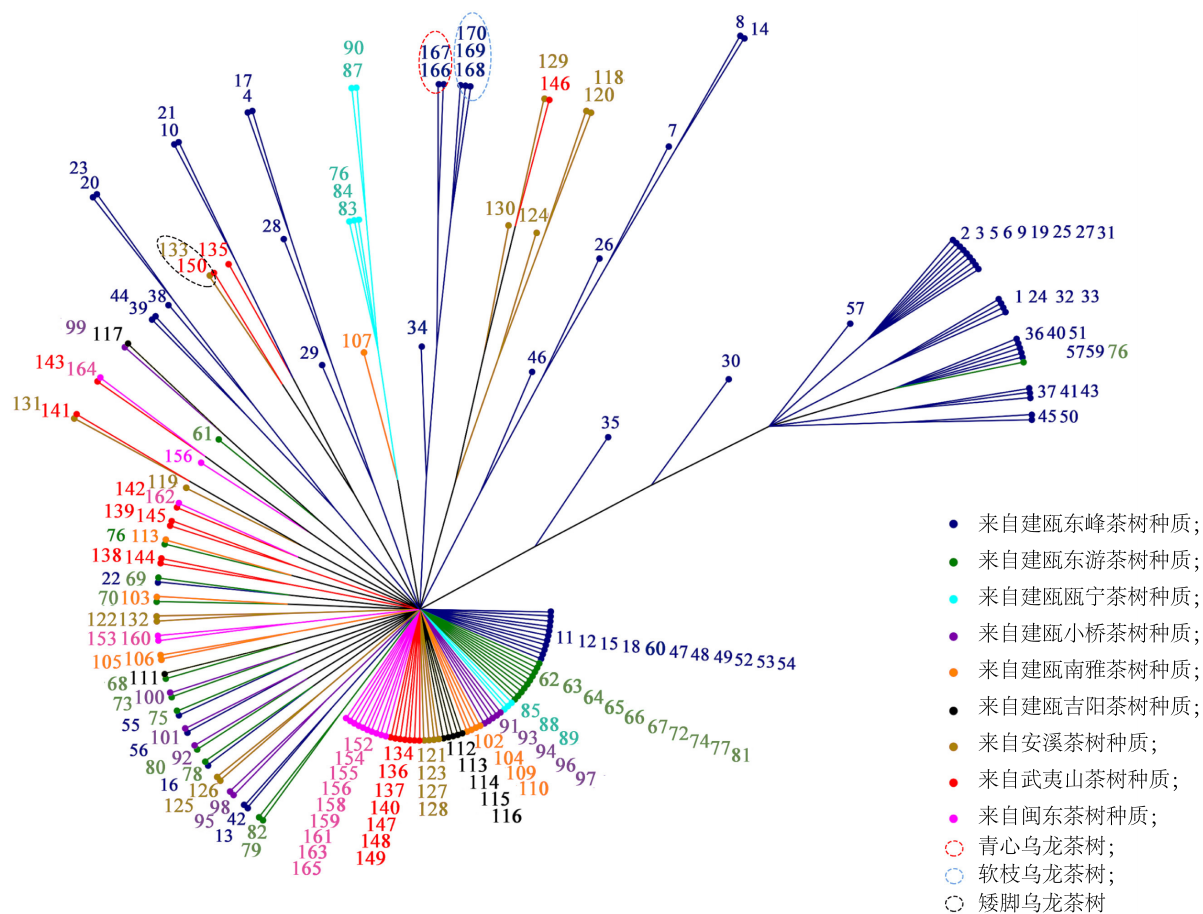
Fig.3 PCoA plot of 170 tea germplasms based on the top three principal components



◆来自建瓯东峰北苑贡茶树种质;
■来自建瓯东游北苑贡茶树种质;
▲来自建瓯欧宁北苑贡茶树种质;
●来自建瓯小桥北苑贡茶树种质;
●来自建瓯南雅北苑贡茶树种质;
●来自建瓯吉阳北苑贡茶树种质

图4 基于前3个主成分的北苑贡茶种质PCoA图

Fig.4 PCoA plot of Beiyuan tribute tea germplasm resources based on the top three principal components



编号1~170见表1。

图5 供试茶树种质的层级进化树

Fig.5 Hierarchical phylogenetic tree of tested tea germplasms

树种质皆为北苑贡茶核心茶树种质,包括东游上范 2 号和 24 个东峰的百年乌龙种质;第二大分支包括其余的 145 个茶树种质,且它们之间的亲缘关系也较为清晰。基因型相似度为 100% 的聚类结果与 PCoA 中完全重合的结果一致。2 个青心乌龙聚为同一个种质,3 个软枝乌龙聚为同一个种质,来源不同的 2 个武夷山矮脚乌龙聚为同一个种质。青心乌龙(中国台湾)、软枝乌龙(中国台湾)和矮脚乌龙(武夷山)均为无性系品种,说明本试验结果的准确性和可靠性。本研究结果显示,供试的百年乌龙茶树中大部分是不同种质,仅少量供试茶树是同一种质,这可能与早期建瓯茶区广泛采用茶树“压条”和“扦插”技术进行无性繁殖有关,说明百年乌龙茶园为有性-无性混合种植的古茶园。此外,发现青心乌龙(中国台湾)、软枝乌龙(中国台湾)和矮脚乌龙(武夷山)3 个种质与建瓯东峰镇百年乌龙茶树种质之间的亲缘关系密切,其亲缘关系密切程度依次为青心乌龙>软枝乌龙>矮脚乌龙。矮脚乌龙与百年乌龙种质 21 的亲缘关系较近,青心乌龙、软枝乌龙与百年乌龙种质 35 的亲缘关系相近。青心乌龙和软枝乌龙间基因型相似度更高、亲缘关系更近。

2.5 北苑贡茶茶树种质与相邻产区茶树种质间遗传距离及北苑贡茶茶树种质群体间的遗传距离

用 GenAlEx 6.503 软件计算北苑贡茶茶树种质

表 4 北苑贡茶产区茶树种质资源群体遗传距离

Table 4 Population genetic distance of tea germplasm resources in Beiyuan tribute tea producing area

群体	遗传距离				
	建瓯东峰茶树群体	建瓯东游茶树群体	建瓯瓯宁茶树群体	建瓯小桥茶树群体	建瓯南雅茶树群体
建瓯东游茶树群体	0.069				
建瓯瓯宁茶树群体	0.137	0.040			
建瓯小桥茶树群体	0.114	0.030	0.053		
建瓯南雅茶树群体	0.102	0.023	0.056	0.042	
建瓯吉阳茶树群体	0.112	0.021	0.035	0.043	0.044

3 讨论

3.1 北苑贡茶茶树种质的遗传多样性

茶树地方种质由当地独特的地理环境孕育而成,适应性强、遗传基础丰富,是一种重要的基础资源,了解其遗传多样性和亲缘关系有利于我们对种

与相邻茶产区茶树种质遗传距离和北苑贡茶茶树种质 6 个群体间遗传距离。从表 3 可知,北苑贡茶茶树种质与武夷山、安溪两个产区茶树种质间的遗传距离很近,仅 0.055 和 0.057,说明它们之间的基因型相近,但与闽东产区茶树种质的遗传距离为 0.119,大于其他。这与前面 PCoA 和层级进化树结果相一致。表 4 显示了北苑贡茶茶树种质 6 个群体间的遗传距离在 0.021~0.137,其中建瓯东峰茶树群体与建瓯瓯宁茶树群体间遗传距离最远,为 0.137,建瓯东游和建瓯吉阳茶树群体间遗传距离最近,为 0.021。值得注意的是,建瓯东峰茶树群体与其他 5 个茶树群体的遗传距离都大于其他两两茶树群体间的遗传距离。

表 3 北苑贡茶与相邻产区茶树群体间遗传距离

Table 3 Genetic distance between tea populations in Beiyuan tribute tea producing area and its adjacent producing areas

种质	遗传距离		
	北苑贡茶茶树种质	安溪产区茶树种质	武夷山产区茶树种质
安溪产区茶树种质	0.057		
武夷山产区茶树种质	0.055	0.020	
闽东产区茶树种质	0.119	0.079	0.041

质资源的有效使用^[20]。本研究通过对 170 份供试茶树种质进行 PCoA 分析和层级进化树构建,结果表明,170 份供试茶树种质聚集相对集中,没有区分为亚群,说明北苑贡茶茶树种质与武夷山茶产区、安溪茶产区和闽东茶产区茶树种质间的亲缘关系较近。但在遗传距离上,北苑贡茶茶树种质与武夷山

茶产区、安溪茶产区茶树种质之间的距离更小,为 0.055、0.057,与前人研究结果一致^[21]。此外,北苑贡茶区内各群体间种质聚集较为紧密,仅建瓯东峰茶树群体分布较为分散。在遗传距离方面,建瓯东峰与其他 5 个群体间的遗传距离较大,遗传多样性更加丰富,其他 5 个群体间的遗传距离很小,仅有 0.021~0.056,说明建瓯东游、建瓯瓯宁、建瓯小桥、建瓯南雅和建瓯吉阳 5 个茶树群体间的亲缘关系近,种质间交流频繁。据史可知^[22],建瓯东峰是北苑贡茶的发源地,宫廷御茶园之所在地,历来是作为皇室贡茶,茶树种质得到比较完善的保护。

3.2 青心乌龙、软枝乌龙、矮脚乌龙及近缘地方种质的亲缘关系

建瓯市东峰镇桂林村的百年乌龙茶园地处北苑御茶园的核心产地,百年乌龙被统称为矮脚乌龙茶树,建瓯茶农多称之为小叶乌龙^[23],但这是一种不严谨的称谓。此外,桂林村百年乌龙茶园是中国台湾青心乌龙茶树的发源地。青心乌龙也称作软枝乌龙、种茶、正枞等,其叶长、叶宽、叶脉、锯齿等形态特征与百年乌龙茶园中的茶树非常吻合^[24]。长期以来,存在关于中国台湾青心乌龙、软枝乌龙和矮脚乌龙是异名同种的说法。因此,有关青心乌龙、软枝乌龙和矮脚乌龙以及这些近缘地方种质的亲缘关系是迫切需要研究梳理的。

4 结论

本研究通过构建 SNP 指纹图谱、PCoA 和层级进化树等进行分析,结果表明,建瓯市东峰镇百年乌龙茶树种质总体具有众多各异的基因型,彼此间的基因相似度较高,可见百年乌龙茶园的茶树种质不是单一的无性系品种,属于建瓯北苑贡茶有性群体种。同时,研究发现,百年乌龙种质 37 与百年乌龙种质 41 基因相似度高达 100%,且与建瓯的黄重尾、金盘山、长源和东游上范等地茶园的栽培种基因型一致。基于 SNP 的多重分析首次发现,青心乌龙茶树(中国台湾)、软枝乌龙茶树(中国台湾)和矮脚乌龙茶树(武夷山)三者与百年乌龙茶树种质间的亲缘关系密切,但基因分型不同。青心乌龙茶树(中国台湾)与软枝乌龙茶树(中国台湾)为一个单系群,且二者 SNP 基因分型差异极小。矮脚乌龙茶树(武夷山)与百年乌龙茶树种质 21 的亲缘关系较近,青心乌龙茶树、软枝乌龙茶树与百年乌龙茶树种质 35 间的亲缘关系相近,从分子水平阐明了武夷山的

矮脚乌龙茶树、中国台湾青心乌龙茶树和中国台湾软枝乌龙茶树可能来源于建瓯东峰镇百年乌龙茶园。另外,本研究结果还表明,百年乌龙种质 2、百年乌龙种质 37、百年乌龙种质 38 等茶树种质已进行了无性繁殖扩繁,揭示了建瓯茶农早期已从北苑贡茶种质中筛选了优异单株,经过无性繁殖后在生产上进行了大面积推广种植。

致谢: 本研究试验种质采集承蒙建瓯市茶产业工作专班左宇、林其明,建瓯市茶业发展中心黎郑伟,天福茶博物院茶道交流部王瑞香,福建省川苑茶业有限公司李荣旺,建瓯市小青茶厂李小青,建瓯市郭云山茶业有限公司葛桂亮,建瓯市东峰茶厂范兆敏,福建盛荣生态茶业有限公司张盛荣,福建省江山美人茶业有限公司李鹏春的大力支持,特此致谢!

参考文献:

- [1] 阙能才. 茶树起源与川渝野生茶树分布研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 382-385.
- [2] 巩志, 姚月明. 建茶史微[J]. 农业考古, 1995(4): 192-201.
- [3] 潘宏英. 建瓯市茶产业发展现状与思考[J]. 中国农技推广, 2021, 37(1): 35-37.
- [4] 赖少波. 北苑御焙名冠天下——《建瓯茶志》总述选萃[J]. 中国茶叶, 2017, 39(12): 37-39.
- [5] 刘祖陞. 宋代建茶文化初探[J]. 福建史志, 2019(4): 1-6.
- [6] 肖正广, 申长锋. 试析宋子安《东溪试茶录》的现实意义[J]. 中国茶叶加工, 2017(增刊2): 61-66.
- [7] 周理飞. 建瓯茶区优异种质资源保护与利用的实践[J]. 福建茶叶, 2011, 33(1): 26-28.
- [8] 赖少波. 建瓯茶志[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2017: 34-55.
- [9] 巩志. 建茶的传播[J]. 福建茶叶, 2003, (4): 46.
- [10] 郭琳, 郭雅玲, 洪翠云. 浅谈闽台茶业的渊源与交流[J]. 茶叶科学技术, 2008, (1): 52-54.
- [11] LIN Y, YU W T, ZHOU L, et al. Genetic diversity of oolong tea (*Camellia sinensis*) germplasms based on the nanofluidic array of single-nucleotide polymorphism (SNP) markers[J]. Tree Genetics & Genomes, 2020, 16(1): 1-14.
- [12] 罗祥宗, 胡云飞, 吴淋慧, 等. 茶叶叶绿体基因组 SNP 分子标记的初步研究[J]. 茶叶科学, 2022, 42(6): 768-778.
- [13] LIN Y, YU W T, CAI C P, et al. Rapid varietal authentication of oolong tea products by microfluidic-based SNP genotyping[J]. Food research international, 2022, 162(A): 111970.
- [14] LIU C G, YU W T, CAI C P, et al. Genetic diversity of tea plant [*Camellia sinensis* (L.) kntze] germplasm resources in Wuyi Mountain of China based on single nucleotide polymorphism (SNP) markers[J]. Horticulturae, 2022, 8(10): 932-944.

- [15] 樊晓静,于文涛,蔡春平,等. 利用 SNP 标记构建茶树品种资源分子身份证[J]. 中国农业科学,2021,54(8):1751-1772.
- [16] 李锦生. 浅谈建瓯北苑贡茶文化的挖掘与弘扬[J]. 中国茶叶,2020,42(4):67-70.
- [17] 郑安儒,陈光武,徐凯,等. 建瓯地区 13 个不同茶树品种制成乌龙茶品质差异研究[J]. 茶叶学报,2022,63(2):73-81.
- [18] 裴朝鉴. 茶树炭疽病的发生原因及防治措施[J]. 福建农业科技,2012(2):34-35.
- [19] FANG W P, MEINHARDT L W, TAN H W, et al. Varietal identification of tea (*Camellia sinensis*) using nanofluidic array of single nucleotide polymorphism (SNP) markers[J]. Horticulture Research,2014,1(1):1-8.
- [20] 陈林海,钟吉茂,何燕燕,等. 福安地方茶树种质亲缘关系与遗传多样性[J]. 茶叶通讯,2022,49(2):173-180.
- [21] WEI K, WANG X C, HAO X Y, et al. Development of a genome-wide 200K SNP array and its application for high-density genetic mapping and origin analysis of *Camellia sinensis* [J]. Plant Biotechnology Journal,2022,20(3):414-416.
- [22] 何 峻,陈伊妮,肖海茵,等. 贡茶生产对地方生态环境影响初探[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2018,17(3):34-39.
- [23] 郑立盛. 牵挂海峡两岸的一件茶事[J]. 福建茶叶,2001(4):39-40.
- [24] 姚月明,巩 志. 闽台乌龙茶同根同祖[J]. 农业考古,1993(2):20-21.

(责任编辑:黄克玲)