

海南岛十倍体油茶资源分布及评价

张敬涛¹, 赖杭桂^{1*}, 张诗慧¹, 王文泉¹, 胡海燕¹, 刘进平¹, 李欣窈¹, 赵欣¹,
宋家明², 吴文婧³, 黄东益¹, 王健¹, 黄小龙³, 贾效成⁴, 陈飞飞²

1. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228; 2. 海南省林业科学研究院/海南省红树林研究院, 海南海口 571100; 3. 海南大学生命科学学院, 海南海口 570228; 4. 中国热带农业科学院椰子研究所, 海南文昌 571339

摘要: 油茶 (*Camellia*) 作为海南岛的传统植物油料资源, 在海南生长的大多为常绿中小型乔木, 白花大果油茶在海南岛各地区均有广泛分布。本研究通过对海南全岛各市县分布有 30 龄以上油茶居群调查取样, 采用流式细胞术及染色体制片技术进行倍性鉴定。研究表明: 在调查采样的 23 个居群中, 鉴定十倍体 16 份, 八倍体 7 份, 涵盖海南 16 个市县, 其中有 12 个县市 (儋州、陵水、琼海、五指山、定安、澄迈、屯昌、临高、昌江、乐东、琼中、保亭) 发现了十倍体的油茶居群, 超 100 龄以上的油茶古树及热带雨林野生油茶居群鉴定均为十倍体, 而八倍体居群普遍在 60 龄以下且可溯源为人工栽培, 此次调查居群中未发现其他倍性油茶资源。由此可见, 海南岛油茶资源分布主要为十倍体和八倍体, 而十倍体是本岛原产油茶资源, 八倍体树龄未超 60 年, 为 20 世纪 60—70 年代从广东等地引种的越南油茶, 两类油茶生长适应性均表现良好。鉴于山茶属油茶组在其他油茶分布区并未发现十倍体油茶树种, 海南岛大范围十倍体油茶的分布及热带雨林十倍体野生油茶居群的发现, 论证了十倍体油茶种应是海南岛区域性原生树种, 由海南独特的热带岛屿季风性气候等生态因子演化形成。其资源分布范围为海南岛 18°38'42"N~19°49'53"N, 108°51'0"E~110°29'46"E, 海拔 4.17~1090 m。

关键词: 海南油茶; 种质资源; 流式细胞术; 倍性

中图分类号: S794.4 文献标志码: A

Distribution and Evaluation of Decaploid *Camellia* Resources in Hainan Island

ZHANG Jingtao¹, LAI Hanggui^{1*}, ZHANG Shihui¹, WANG Wenquan¹, HU Haiyan¹, LIU Jinping¹,
LI Xinyao¹, ZHAO Xin¹, SONG Jiaming², WU Wenqiang³, HUANG Dongyi¹, WANG Jian¹,
HUANG Xiaolong³, JIA Xiaocheng⁴, CHEN Feifei²

1. College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Hainan Academy of Forestry / Hainan Academy of Mangrove, Haikou, Hainan 571100, China; 3. College of Life Science, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 4. Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang, Hainan 571339, China

Abstract: As a traditional oleaginous resource on Hainan Island, the camellia species predominantly exist as evergreen trees of small to medium stature. The large-fruit camellia with white flowers is widely distributed across various regions of Hainan Island. This study conducted a survey and sampling of camellia populations aged 30 years and above across all municipalities and counties of Hainan Island. Ploidy identification was carried out using flow cytometry and chromosome squashing techniques. The research revealed that among the 23 populations surveyed, 16 were identified as decaploid and 7 as octoploid, covering 16 municipalities and counties across the island. Decaploid camellia populations

收稿日期 2024-03-04; 修回日期 2024-03-20

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2023YFD2200702); 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2023XDNY055); 海南省高新技术产业发展专项 (No. kjcghz017)。

作者简介 张敬涛 (1999—), 男, 硕士, 研究方向: 海南油茶种质资源与遗传育种。*通信作者 (Corresponding author): 赖杭桂 (LAI Hanggui), E-mail: laihanggui8938@163.com。

were found in 12 counties and cities (Danzhou, Lingshui, Qionghai, Wuzhishan, Ding'an, Chengmai, Tunchang, Lingao, Changjiang, Ledong, Qiongzhong, Baoting), including ancient trees over 100 years old and wild camellia populations in tropical rainforests, all of which were identified as decaploid. In contrast, the octoploid populations were generally under 60 years of age and traced back to artificial cultivation, with no other ploidy camellia resources found in the surveyed populations. It is evident that the camellia resources on Hainan Island are primarily composed of decaploids and octoploids, with the decaploids being indigenous to the island and the octoploids, not exceeding 60 years of age, being introduced from regions such as Guangdong and Vietnam during the 1960s to 1970s. Both types of camellia have demonstrated good adaptability to the growth conditions. Given that decaploid camellia trees have not been found in other camellia distribution areas, the widespread distribution of decaploid camellias on Hainan Island and the discovery of decaploid wild camellia populations in tropical rainforests suggest that the decaploid camellia species are indigenous regional species of Hainan Island, evolved due to unique ecological factors such as the island's tropical monsoon climate. The distribution range of the resources spans from 18°38'42"N to 19°49'53"N and from 108°51'0"E to 110°29'46"E, at altitudes ranging from 4.17 m to 1090 m.

Keywords: *Camellia hainanica*; germplasm resources; flow cytometry; ploidy

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.08.007

油茶 (*Camellia*) 泛指山茶属 (*Camellia* L.) 植物中种子含油率高、具有重要经济价值和潜在开发前景的优质食用油料树种^[1]。山茶属是山茶科 (*Theaceae*) 中最大的一个属, 该属中已发现并命名的原种约 280 个, 主要分布于亚洲东南部, 其中 80% 以上的种源于中国^[2-3]。主要栽培种包括普通油茶 (*Camellia oleifera* Abel.)、小果油茶 (*Camellia meiocarpa* Hu.)、越南油茶 (*Camellia vietnamensis* Huang)、攸县油茶 (*Camellia yuhsienensis* Hu) 等, 其中我国现有油茶林中的 98% 为普通油茶 (*C. oleifera*)^[4]。

海南油茶种植历史悠久, 海南百姓习惯称油茶为“山柚”^[5], 早在 500 年前海南就有油茶记载。虽然学术界认为海南种植的油茶是性喜冬暖夏热和高温多雨气候的越南油茶 (*C. vietnamensis*) (又称华南油茶、陆川油茶、高州油茶和大果油茶), 但也有学者认为海南本地油茶 (特别是数百年的油茶老树) 可能是一个新的物种^[6-11]。由于海南油茶选育种等科研工作起步较晚, 对其植物学、细胞及分子生物学缺乏系统性研究, 因此海南当地油茶的分类问题一直争议较大。

近年来, 随着对海南油茶资源的深入调查及生物学特性的研究进展表明, 海南本地油茶在形态、茶油品质和孢粉学特征等方面与越南油茶、普通油茶等有较大差异^[12]。陈宣等^[13]通过分子标记技术对海南本地油茶的遗传多样性和遗传结构进行了分析, 结果表明其与其他省份的油茶品种在遗传上存在显著差异。XU 等^[14]从植物分类学角度, 对比分析了海南本地油茶与越南油茶、红皮糙果茶 (*Camellia crapnelliana*) 在形态学和孢

粉学上的差异, 并利用海南本地油茶与油茶组近缘种的完整叶绿体基因组序列和 DNA 条形码基因 *matK* 进行系统发育定位, 确认了海南省本地油茶为油茶组的一个新物种, 即海南油茶 (*Camellia hainanica* YL Zhao et ZG Xu, sp. Nov.)。

为了解新种海南油茶 (*C. hainanica*) 和越南油茶 (*C. vietnamensis*) 在海南岛的分布状况, 厘清海南当地油茶的特种构成, 本研究通过对海南全岛分布的具 30 龄以上油茶居群的资源调查, 采用流式细胞术结合细胞染色体鉴定技术, 明确了本岛适生油茶主要有十倍体和八倍体两大类种源, 揭示了十倍体油茶在海南岛大范围分布的原生状况。研究结果对海南油茶种质资源的开发利用具有重要意义, 挖掘可用于育种的亲本材料及功能产品开发的优异种质, 以热带十倍体油茶 (山柚) 为主要选育种方向; 避免由于不同倍性间品种授粉搭配而造成的生殖隔离; 精准分析和评价海南茶油品质风味, 进而打造海南特色油茶地理品牌, 为海南油茶 (山柚) 产品的高品质发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

于 2020—2023 年持续对海南全岛分布的具 30 龄以上油茶林进行调查采样。主要以资源密集分布区为主, 资源零散分布区为辅^[15-16], 有目的地开展油茶资源调查与收集工作。通过文献追踪法、访谈估测法及名木古树保护标记等方法, 选择 30 龄以上油茶居群进行生境特征、种植年限、居群大小、经纬度、海拔高度调查, 并对采集的每个资源进行编号, 利用地理信息系统软件

ArcGIS 10.2 绘制其地理分布图^[17]。以调查居群中生长正常、地径大、树龄高、具代表性的植株为中心植株，采取各居群的中心植株种子或穗条，通过播种繁殖或扦插嫁接的方式进行保存。

1.2 方法

1.2.1 流式细胞术倍性鉴定 于 10 月种子成熟期间，随机选择居群中 3 株植株高大、茎围粗大、生长健壮、树龄高的代表性植株作为采样的中心植株并进行定位标记，每个中心植株采集 10 粒种子播于沙床，待种子发芽后，于幼苗期取 0.2 g 油茶嫩叶，洗净后置于培养皿中，加入裂解缓冲液（WPB），用刀片将叶片切碎。2~3 min 后用 300 目过滤网过滤，将滤液放入离心机，离心 5 min（室温，1500 r/min），倒掉上清，加入 1 mL 鞘液，混匀后加入 0.1 mL 染液（DAPI，10 μg/mL 或者 PI，5 μg/mL）混匀，避光染色 0.5~2 h^[18]。将染色好的样品放在进样下，使用流式细胞仪（Practice-PA.）分析制备好的样品，并记录每个样品 DNA 含量峰值及变异系数（CV，%）。当 CV<5%时，所测数据理想；当 CV<10%时，所测数据比较理想；当 CV>10%时，所测数据不理想^[19]。待测样品倍性值的估算方法：待测样品倍性值=参照样品的倍性×（待测样荧光强度均值/参照样品荧光强度均值）。以已知二倍体浙江红花油茶为对照（CK），每个样品重复 3 次。

1.2.2 细胞染色体制片技术 ①预处理：挑取油

茶根尖部分，置于 0.002 mol/L 8-羟基喹啉预处理 5 h，处理后的根尖用 Carnoy 液（无水乙醇和冰醋酸体积比 3：1）4℃固定 12 h，以此来诱导细胞的有丝分裂，从而获得大量的有丝分裂中期的染色体，便于观察。②酶解和后低渗：取上述固定处理后的根尖，在 0.075 mol/L 的 KCl 溶液中低渗 60 min，用酶液（V1.75%纤维素酶：V1.75%果胶酶=1：1）25℃黑暗下酶解 120 min^[20-21]。用蒸馏水清洗干净，25℃蒸馏水中后低渗 30 min。③染色、制片和观察：用新配 Carnoy 液后固定 30 min 以上，火焰干燥。然后用 DAPI 荧光染色剂染色，彻底用细小的流水将多余的染色剂洗净，然后等玻片自然阴干后用荧光显微镜观察，获得分散好的中期染色体细胞，确定染色体数目^[21]。

2 结果与分析

2.1 23 个海南油茶居群倍性检测结果

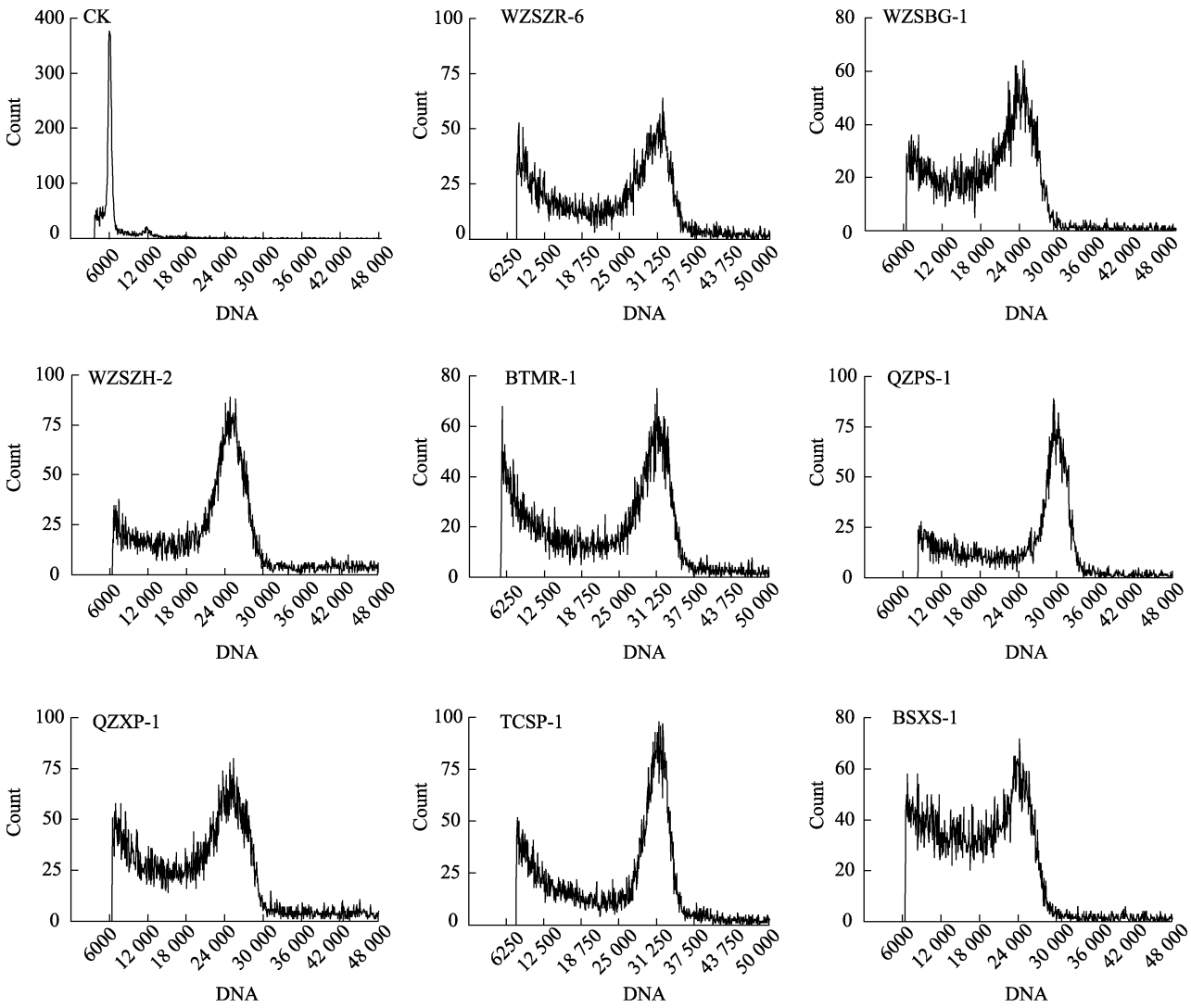
2.1.1 流式细胞术检测结果与分析 流式细胞术倍性检测结果如表 1 所示。对照浙江红花油茶（二倍体）的 DNA 含量峰值为 6138，23 份检测样本中，16 份峰值范围是 29 233~31 802，与对照的峰值相比为十倍体，占比 69.6%；7 份峰值范围是 22 709~24 921，与对照的峰值相比为八倍体，占比 30.4%。同时各样品峰值的 CV 大部分在 5%以内，说明该检测结果较为准确。不同倍性流式细胞术检测结果如图 1 所示。

表 1 海南岛 23 个油茶居群 DNA 含量峰值及倍性估计
Tab. 1 Peak DNA content and ploidy estimation of 23 *Camellia* populations in Hainan Island

序号 No.	材料编号 Material code	来源地 Provenance	荧光强度 Fluorescence intensity	CV/%	比值 Ratio	基因组 Genome/Gb	倍性 Ploidy
0	CK	浙江红花	6 138	3.88	1.00	2.7300	2×
1	WZSZR-6	五指山什荣	31 100	3.01	4.77	13.0221	10×
2	WZSBG-1	五指山保国	24 293	4.72	3.96	10.8108	8×
3	WZSZH-2	五指山什哈	24 921	5.31	4.06	11.0838	8×
4	BTMR-1	保亭毛瑞	31 383	3.57	4.89	13.3497	10×
5	QZPS-1	琼中坡寨	30 027	3.52	4.89	13.3497	10×
6	QZXP-1	琼中新坡	24 920	6.13	4.06	11.0838	8×
7	TCSP-1	屯昌松坡	31 601	3.42	4.85	13.2405	10×
8	BSXS-1	白沙细水	24 006	4.79	3.91	10.6743	8×
9	LSDLS-4	陵水吊罗山	29 233	3.84	4.76	12.9948	10×
10	LDJFL-2	乐东尖峰岭	30 764	3.75	4.72	12.8856	10×
11	DAGL-1	定安高林	30 597	3.36	4.69	12.8037	10×
12	CMCS-1	澄迈常树	31 802	3.71	4.88	13.3224	10×
13	CMJT-1	澄迈加头	30 292	3.26	4.65	12.6945	10×

续表 1 海南岛 23 个油茶居群 DNA 含量峰值及倍性估计
Tab. 1 Peak DNA content and ploidy estimation of 23 *Camellia* populations in Hainan Island (continued)

序号 No.	材料编号 Material code	来源地 Provenance	荧光强度 Fluorescence intensity	CV/%	比值 Ratio	基因组 Genome/Gb	倍性 Ploidy
14	LGML-1	临高美略	31 404	2.73	4.82	13.1586	10×
15	LGLS-1	临高六勺	31 550	2.70	4.84	13.2132	10×
16	DZXW-1	儋州兴文	30 251	3.39	4.64	12.6672	10×
17	DZJL-11	儋州基栏	30 866	2.84	4.74	12.9402	10×
18	CJBML-1	昌江保梅岭	30 106	3.39	4.62	12.6126	10×
19	WNQX-1	万宁茄新	24 874	5.36	4.05	11.0565	8×
20	QHHS-1	琼海会山	31 398	3.88	4.82	13.1586	10×
21	QHXL-1	琼海新老	30 914	3.37	4.74	12.9402	10×
22	WCHW-1	文昌会文	24 731	4.84	4.03	11.0019	8×
23	HKLGZ-1	海口龙光仔	22 709	4.78	3.70	10.1010	8×



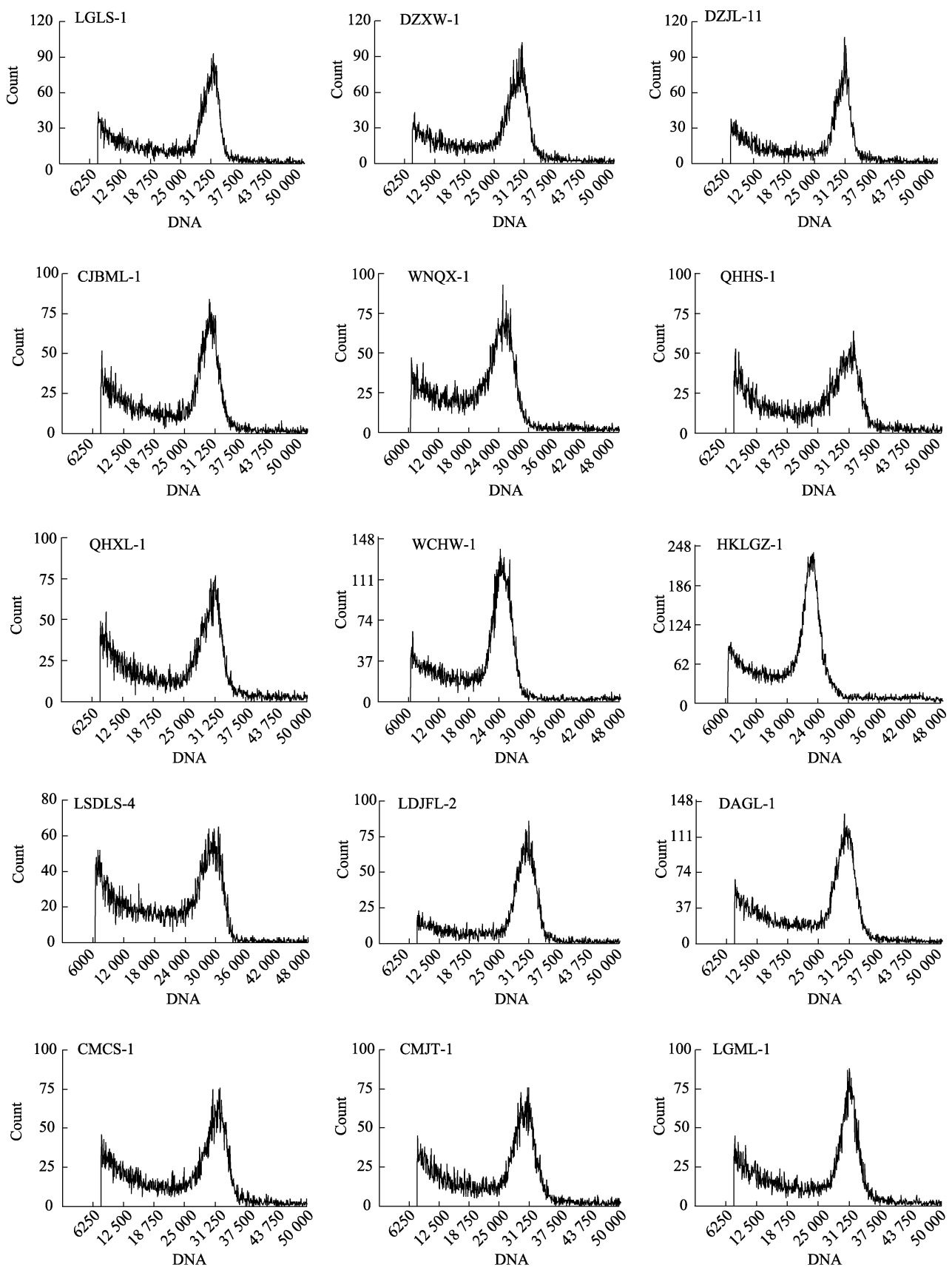
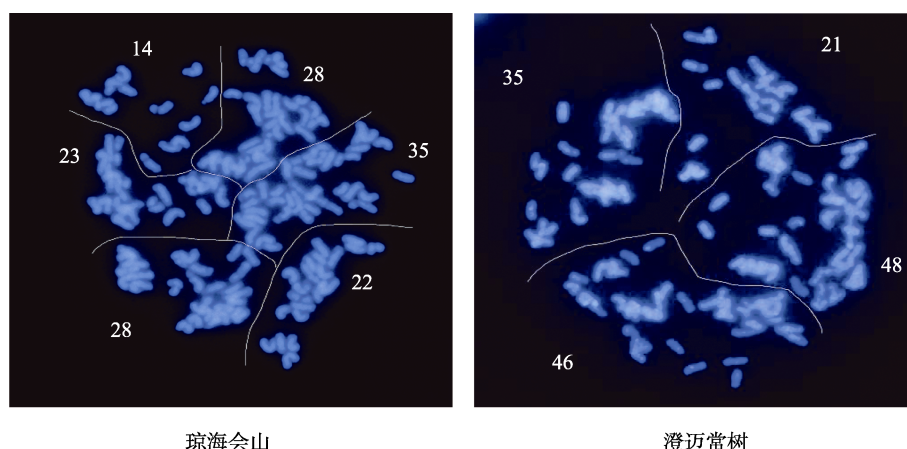


图 1 不同倍性油茶的流式细胞术检测结果

Fig. 1 Flow cytometry test results of different ploidy *Camellia*

2.1.2 染色体制片结果及其分析 高倍性油茶染色体制片技术难度较大,目前只对琼海会山和澄迈常树油茶资源的染色体标本,利用 DAPI 荧光

染色可以获得染色体数目,图 2 表明:上述 2 个地区的油茶染色体数为十倍体 ($2n=10\times=150$),其染色体计数结果与流式细胞术估测结果一致。



琼海会山

澄迈常树

图 2 染色体荧光染色结果

Fig. 2 Chromosomal fluorescence staining

2.2 海南岛十倍体油茶资源地理分布

对海南全岛 18 个县市油茶资源调查结果表明,除三亚市和东方市外,其余 16 个县市均有 30 龄以上油茶居群分布(图 3),其水平自然分布在 $108^{\circ}51'0''\text{E}\sim 110^{\circ}41'34''\text{E}$, $18^{\circ}38'11''\text{N}\sim 19^{\circ}49'53''\text{N}$ 的范围,垂直分布在海拔 4.17~1090 m。在 23 个调查检测居群中,十倍体居群 16 个,八倍体居群 7 个。十倍体油茶居群发现在定安、琼海、澄迈、屯昌、临高、儋州、五指山、琼中、乐东、昌江、陵水、保亭等 12 个县市,主要分布于 $108^{\circ}51'0''\text{E}\sim 110^{\circ}29'46''\text{E}$, $18^{\circ}38'42''\text{N}\sim 19^{\circ}49'53''\text{N}$,海拔 4.17~1090 m 范围,年平均气温为 $22.4\sim 25.3^{\circ}\text{C}$,年降雨量在 1074.1~2444.0 mm 范围内。文昌、海口、白沙、万宁 4 个县市未发现十倍体居群。

2.3 海南热带十倍体油茶资源种群分布特征

从表 2 的倍性检测结果可以看出,海南油茶的树龄与倍性之间存在关联。在海南 8 个县市发现有 12 个超过百年的油茶古树居群,其中心植株样本检测全部为十倍体。而八倍体油茶资源均在 60 龄以下,且可溯源引自广东省高州或徐闻的越南油茶。此外,首次在海拔 1090 m 海南热带雨林中发现野生油茶十倍体居群,其中心植株高 18 m,冠幅达 20 m,胸径 58 cm(图 4)。热带雨林野生十倍体油茶的形态特征表现为:叶片呈长圆状椭圆形,长 5~10 cm,宽 3~5 cm,叶边缘轻微锯齿,叶面深绿色,具光泽,成熟的果实呈卵形,果皮较光滑,呈棕绿色,油茶籽背圆腹扁,

呈棕黑色,极其坚硬,其单果重约 21.1 g,果实纵径约 3.1 cm,果实横径约 2.8 cm,果皮厚约 0.4 cm,籽数约 2 颗,籽重约 6.2 g,树龄估测超 100 龄。鉴于山茶属油茶组目前仅在海南岛发现油茶十倍体物种,该论据表明十倍体油茶应是海南岛区域性原生树种,由海南独特的热带岛屿季风性气候等生态因子演化形成。

3 讨论

十倍体油茶在海南岛分布区域广,18 个县市中 12 个县市发现十倍体油茶居群,分布于 $108^{\circ}51'0''\text{E}\sim 110^{\circ}29'46''\text{E}$, $18^{\circ}38'42''\text{N}\sim 19^{\circ}49'53''\text{N}$,海拔 4.17~1090 m 范围内。23 个调查居群中有 12 个树龄超过百龄的古油茶居群均为十倍体,而百年树龄以下的居群存在十倍体和八倍体,八倍体居群树龄一般不超过 60 龄且可溯源其引种来源。检测样本中十倍体与八倍体居群比例分别为 69.6%和 30.4%,这与叶天文等^[20]对 60 份海南油茶优株 2 种倍性鉴定的比例(83.3%和 16.7%)接近,但该研究的取样点仅限于澄迈、定安、琼中及屯昌 4 个县^[22]。此外,在海南热带雨林首次发现超过百龄的野生十倍体油茶居群。鉴于其他油茶分布区并未发现十倍体油茶树种,由此可见,十倍体油茶应为海南岛区域性原生资源,这也论证了 XU 等^[14]认为海南省本地油茶为山茶属油茶组的 1 个新物种(*C. hainanica*)。

表 2 海南岛油茶资源地理分布及种群特征

Tab. 2 Geographical distribution and population characteristics of *Camellia*

居群点 Population point	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	海拔 Altitude/m	年平均温度 Annual average Temperature/℃	年降水量 Annual pre-cipitation/mm	中心植株树龄 Center plant age	资源类型 Resource type	倍性 Ploidy
定安高林	110°28'54"	19°35'4"	90.00	24.0	2000.4	100+	当地	10×
琼海会山	110°18'20"	19°5'18"	82.00	25.3	2072.0	590+	当地	10×
琼海新老	110°29'46"	19°25'41"	56.15	25.3	2072.0	100+	当地	10×
澄迈常树	110°0'46"	19°38'6"	72.26	24.2	1938.1	100+	当地	10×
澄迈加头	110°1'0"	19°34'6"	97.46	24.2	1938.1	100+	当地	10×
屯昌松坡	109°58'39"	19°19'46"	205.80	24.4	2360.5	100+	当地	10×
临高美略	109°48'45"	19°49'53"	71.76	23.2	1417.8	100+	当地	10×
临高六刁	109°49'41"	19°46'15"	90.00	23.2	1417.8	100+	当地	10×
儋州兴文	109°20'49"	19°40'22"	4.17	23.5	1815.0	280+	当地	10×
儋州基栏	109°20'29"	19°40'3"	16.07	23.5	1815.0	130+	当地	10×
五指山什荣	109°27'5"	18°39'12"	1090.00	22.4	1856.2	100+	野生	10×
琼中坡寨	109°55'17"	19°12'33"	347.74	22.8	2444.0	100+	当地	10×
乐东尖峰岭	108°51'0"	18°44'12"	910.24	24.2	1345.4	50+	当地	10×
昌江保梅岭	109°7'33"	19°16'35"	370.00	24.9	1130.3	70+	引种	10×
保亭毛瑞	109°30'14"	18°38'42"	971.60	22.4	1690.0	50+	当地	10×
陵水吊罗山	109°52'7"	18°43'27"	998.40	24.8	1074.1	40+	当地	10×
文昌会文	110°41'34"	19°30'46"	163.50	23.9	1846.2	50+	引种	8×
海口龙光仔	110°14'5"	19°43'52"	158.30	23.7	2044.9	60+	引种	8×
白沙细水	109°32'18"	19°12'33"	348.70	24.5	1967.7	40+	引种	8×
五指山什哈	109°29'26"	18°39'43"	760.10	24.3	1856.2	50+	引种	8×
五指山保国	109°26'53"	18°41'53"	791.60	24.4	1856.2	50+	引种	8×
琼中新坡	109°56'37"	19°12'21"	345.50	22.8	2444.0	40+	引种	8×
万宁茄新	110°9'43"	18°38'11"	142.90	25.3	2086.1	30+	引种	8×

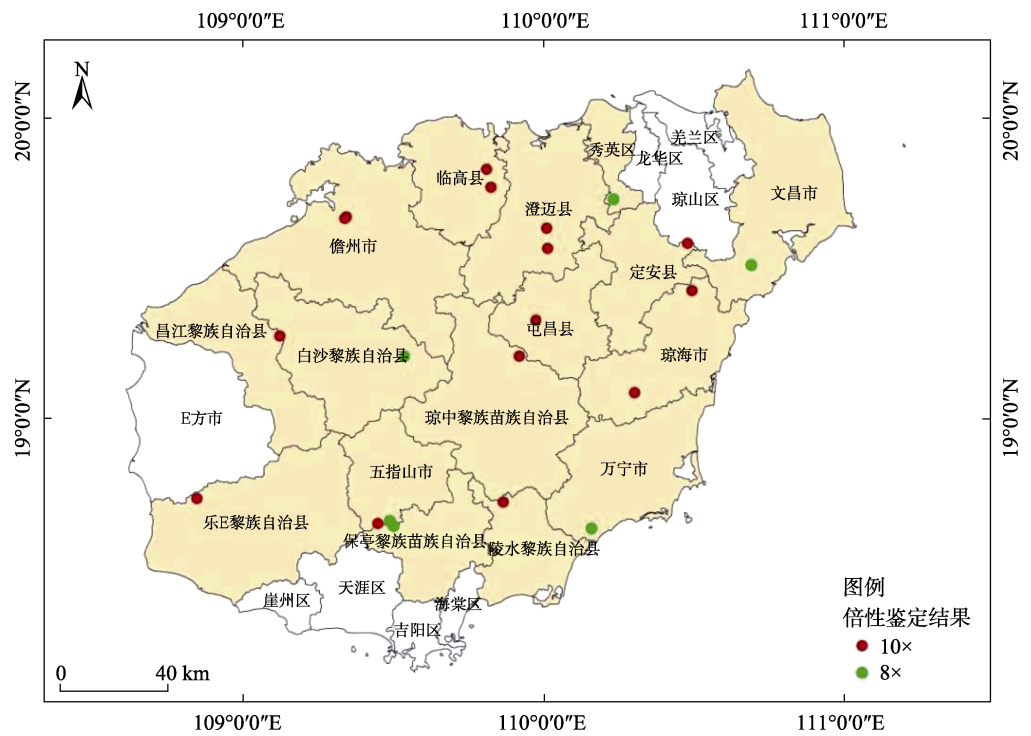


图 3 海南岛十倍体油茶资源居群分布[审图号 GS(2020)4619 号]

Fig. 3 Distribution map of decaploid *Camellia* resources on Hainan island [Drawing No. GS(2020)4619]



A: 五指山什荣野生油茶; B: 琼海中酒古树油茶; C: 儋州兴文古树油茶。D1: 野生油茶叶片;
D2: 野生油茶果实; D3: 野生油茶种子。

A: Qionghai Zhongjiu Ancient Tree *Camellia*; B: Danzhou Xingwen Ancient Tree *Camellia*; C: Wuzhishan Zharong Wild *Camellia*.
D1: Wild tea oil leaves; D2: Wild tea oil fruits; D3: Wild tea oil seeds.

图 4 海南十倍体油茶古树及野生油茶资源

Fig. 4 Decaploid ancient trees and wild *Camellia* resources in Hainan

海南岛上经济性栽培的油茶林主要来源于 2 种不同的种群: 原生种和外来种。原生种, 即岛上自然分布的十倍体油茶(本地称之为“山柚”), 构成了大部分乡村地区主要的栽培种群。外来种则指的是 20 世纪 50—70 年代从广东高州等地引入的八倍体高州油茶, 这些通过规模性引种栽植的高州油茶主要分布于当时的国营林场或农场, 既有成片栽植, 也有作为橡胶园防护林使用, 目前这些树木大多以半野生状态存在, 且显示出良好的生长适应性。因此之前不少研究者认为海南油茶即为越南油茶^[23-27]。此外, 其他如六倍体普通油茶、二倍体红花油茶等倍性的油茶在海南岛未发现能正常生长超过 30 年的栽培种群, 且近年引入海南地区的其他倍性油茶品种均表现出不适应性。

海南不仅是国家重点油茶拓展区, 油茶也被列为海南省“六棵树”计划中的热带特色高效经济作物之一。近年来油茶种植面积不断扩大, 产业发展迅速^[28-30]。栽培种群中海南原生十倍体与越南八倍体 2 个种群都适合海南气候生态条件, 两类树种分布区域相重叠, 生长习性相近, 树势、叶片、花、果实、种子等形态难以区分, 栽种过程往往造成两类油茶树种混植在一起, 不同种间由于存在生殖隔离, 互交难于结实, 从而造成授

粉结实率低产状况^[31-33]。因此, 作为异花授粉的油茶, 在海南地区油茶的种植推广过程中, 应避免倍性不同的种间互植窜粉^[34]。建议对于海南油茶的品种配置方式, 除选择花期相遇、成熟期相近外, 首先要鉴定搭配组合品种的倍性, 采用同倍性的品种间配置, 并对组合配合力进行测定, 以作为海南油茶品种配置的主要原则之一。

“山柚油”在海南盛名已久, 不少研究发现, 来自海南的山茶油被认为具有独特的品质和高价值, 所产山茶油口味醇香、品质优良、地域特色明显, 深受消费者喜欢^[35-37]。在营养类代谢物方面, 海南油茶成熟籽粒含有更加丰富的代谢物质和种类, 其黄酮、氨基酸及衍生物、黄酮醇、黄酮类、吲哚及衍生物、多酚、萜类和糖类等显著差异的营养类代谢物质种类在籽粒中的含量更多^[38-41]。因此, 进一步对本土十倍体“山柚油”风味、营养、药用等品质成分测定和评价, 研究开发海南山柚油品质优良的物质基础, 打造海南特有高端“山柚油”地理品牌标志, 对形成海南特色油茶产业, 助力乡村振兴和产业扶贫, 优化热区农村产业结构和增加农民收入具有重要意义。

参考文献

- [1] 宋家明, 李欣窈, 张诗慧, 赖杭桂, 胡新文, 周扬, 陈健妙,

- 王健, 庞真真. 基于转录组数据的海南油茶 SSR 分子标记的开发与评价[J]. 分子植物育种, 2022, 20(20): 6791-6801.
- SONG J M, LI X Y, ZHANG S H, LAI H G, HU X W, ZHOU Y, CHEN J M, WANG J, PANG Z Z. Development and evaluation of SSR markers based on transcriptome sequencing of *Camellia* in Hainan province[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(20): 6791-6801. (in Chinese)
- [2] 李丕睿, 刘永芝, 翟敏, 郭忠仁. 山茶属华东山茶 (*Camellia japonica* L.) 研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(6): 1022-1030, 1035.
- LI P R, LIU Y Z, ZHAI M, GUO Z R. Recent advances in *Camellia japonica* L. [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(6): 1022-1030, 1035. (in Chinese)
- [3] 向婷婷. 野生油茶种质资源调查评价及群体遗传结构研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022.
- XIANG T T. Study on the germplasm investigation, evaluation and population genetics of wild oil-tea *Camellia* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [4] 刘进平, 周扬, 胡海燕, 吴文婧, 胡新文, 赖杭桂. 热带油茶种质资源综述[J]. 热带林业, 2022, 50(4): 70-76, 66.
- LIU J P, ZHOU Y, HU H Y, WU W Q, HU X W, LAI H G. Germplasm resources of *Camellia* sp. in tropical area of China[J]. Tropical Forestry, 2022, 50(4): 70-76, 66. (in Chinese)
- [5] 沈建才, 张诗慧, 贾泽冲, 高洁, 罗升, 马晓帆, 吴文婧, 胡海燕, 刘进平, 周扬, 黄东益, 赖杭桂. 基于转录组测序的海南实生油茶不育性现象的解析[J/OL]. 分子植物育种, [2023-05-28]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=WYPw_9jmhsLOoY6g-iLWwoshyYK-FUMUT3IF8VAmZ4VJVORkikuueQq-yDVLdtMhjdV67t9b4QnfZr4Ju5PX2iBVxz4NJo2jGMg_zVfTyXTIcaXsFi_RX6JtGGEJtbyMPMTtGaEYMMX6l6vspjkk0nfJyI1FXGj&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- SHEN J C, ZHANG S H, JIA Z C, GAO J, LUO S, MA X F, WU W Q, HU H Y, LIU J P, ZHOU Y, HUANG D Y, LAI H G. Analysis of infertility phenomenon of Hainan *Camellia* seed trees based on transcriptome sequencing[J/OL]. Molecular Plant Breeding, [2023-05-28]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=WYPw_9jmhsLOoY6g-iLWwoshyYK-FUMUT3IF8VAmZ4VJVORkikuueQq-yDVLdtMhjdV67t9b4QnfZr4Ju5PX2iBVxz4NJo2jGMg_zVfTyXTIcaXsFi_RX6JtGGEJtbyMPMTtGaEYMMX6l6vspjkk0nfJyI1FXGj&uniplatform=NZKPT&language=CHS. (in Chinese)
- [6] 束庆龙, 张良富. 中国油茶栽培与病虫害防治[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- SHU Q L, ZHANG L F. *Camellia* cultivation and pest control in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009. (in Chinese)
- [7] 秦声远, 戎俊, 张文驹, 陈家宽. 油茶栽培历史与长江流域油茶遗传资源[J]. 生物多样性, 2018, 26(4): 384-395.
- QIN S Y, RONG J, ZHANG W J, CHEN J K. Cultivation history of *Camellia oleifera* and genetic resources in the Yangtze River Basin[J]. Biodiversity Science, 2018, 26(4): 384-395. (in Chinese)
- [8] 姚小华. 中国油茶品种志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- YAO X H. Compendium of chinese *Camellia* varieties[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016. (in Chinese)
- [9] 郑道君, 潘孝忠, 张冬明, 谢良商, 曾建华, 张治礼, 叶航. 海南油茶资源调查与分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 130-135, 169.
- ZHENG D J, PAN X Z, ZHANG D M, XIE L S, ZENG J H, ZHANG Z L, YE H. Survey and analysis on tea-oil *Camellia* resource in Hainan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 130-135, 169. (in Chinese)
- [10] 陈永忠, 陈隆升, 李儒法, 马力. 海南油茶资源调研及产业发展建议[J]. 热带林业, 2017, 45(1): 49-52.
- CHEN Y Z, CHEN L S, LI R F, MA L. Survey and the industry development proposals of *Camellia* sp. resources in Hainan[J]. Tropical Forestry, 2017, 45(1): 49-52. (in Chinese)
- [11] 王兴胜, 黄丽云, 陈良秋, 杨伟波, 李艳, 马子龙. 海南省五指山油茶品种结构研究初报[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(Suppl. 1): 1-4.
- WANG X S, HUANG L Y, CHEN L Q, YANG W B, LI Y, MA Z L. The investigation to the variety resources of oil tea plant in Wuzhishan of Hainan[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2010, 36(Suppl. 1): 1-4. (in Chinese)
- [12] 王碧芳. 海南油茶 50 个优株果实经济性状评价[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- WANG B F. Evaluation on fruit's economic character of 50 superior individuals of *Camellia oleifera* in Hainan[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016. (in Chinese)
- [13] 陈宣, 云勇, 吴宇佳, 戚华沙, 杨立荣, 陈加利, 郑道君. 海南岛油茶种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(6): 659-668.
- CHEN X, YUN Y, WU Y J, QI H S, YANG L R, CHEN J L, ZHENG D J. Genetic diversity analysis of *Camellia oleifera* resources based on SRAP markers in Hainan island[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2019, 27(6): 659-668. (in Chinese)
- [14] XU Z G, YUAN D Y, TANG Y C, WU L, ZHAO Y L. *Camellia hainanica* (Theaceae) a new species from Hainan,

- supported from morphological characters and phylogenetic analysis[J/OL]. *Pakistan Journal of Botany*, 2020, 52(3). DOI:10.30848/PJB2020-3(31).
- [15] 李欣翳, 张诗慧, 赵欣, 张敬涛, 宋家明, 赖杭桂, 周扬, 胡海燕, 刘进平, 吴文婧. 热带地区油茶种质资源收集及评价[J]. *热带生物学报*, 2024, 15(1): 27-35.
LI X Y, ZHANG S H, ZHAO X, ZHANG J T, SONG J M, LAI H G, ZHOU Y, HU H Y, LIU J P, WU W Q. Collection and evaluation of *Camellia oleifera* germplasm in the tropical areas of China[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2024, 15(1): 27-35. (in Chinese)
- [16] 陈涛, 胡国平, 王燕, 陈清, 张静, 王磊, 汤浩茹, 王小蓉. 我国野生樱属植物种质资源调查、收集与保护[J]. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(3): 532-541.
CHEN T, HU G P, WANG Y, CHEN Q, ZHANG J, WANG L, TANG H R, WANG X R. Survey, collection and conservation of wild *Cerasus* Mill. germplasm resources in China[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(3): 532-541. (in Chinese)
- [17] 黄咏梅, 李彦青, 滑金锋, 廖金秀, 黄学华, 银捷, 梁耀文, 陈天渊, 李慧峰. 广西地方甘薯种质资源调查收集与初步鉴定[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(11): 2923-2931.
HUANG Y M, LI Y Q, HUA J F, LIAO J X, HUANG X H, YIN J, LIANG Y W, CHEN T Y, LI H F. Investigation, collection and preliminary identification of sweet potato germplasm resources in Guangxi[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(11): 2923-2931. (in Chinese)
- [18] 周慧文. 木薯四倍体离体诱导与诱变材料评价研究[D]. 南宁: 广西大学, 2016.
ZHOU H W. Studies on tetraploid induction of cassava *in vitro* and evaluation of the mutagenic material[D]. Nanning: Guangxi University, 2016. (in Chinese)
- [19] 吕顺, 任毅, 王芳, 胡桂兵, 黄秉智, 刘文清, 何建齐, 刘建平, 曾莉莎, 周建坤, 麦景郁, 张珂恒. 利用流式细胞术快速鉴定 169 份香蕉种质资源的染色体倍性[J]. *果树学报*, 2018, 35(6): 668-684.
LYU S, REN Y, WANG F, HU G B, HUANG B Z, LIU W Q, HE J Q, LIU J P, ZENG L S, ZHOU J K, MAI J Y, ZHANG K H. Ploidy identification of 169 *Musa* germplasms by flow cytometry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(6): 668-684. (in Chinese)
- [20] 叶天文, 李艳民, 张健, 龚倩颖, 袁德义, 肖诗鑫. 普通油茶染色体制片技术优化及核型分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(5): 93-99.
YE T W, LI Y M, ZHANG J, GONG Q Y, YUAN D Y, XIAO S X. Optimization of chromosome mounting technique and karyotype analysis of *Camellia oleifera*[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2020, 44(5): 93-99. (in Chinese)
- [21] 李艳民, 袁德义, 叶天文, 陈雅, 韩春霞, 肖诗鑫. 油茶种间杂交 F₁ 代 18 个优良单株核型分析[J]. *林业科学*, 2022, 58(4): 165-174.
LI Y M, YUAN D Y, YE T W, CHEN Y, HAN C X, XIAO S X. Karyotype analysis of 18 excellent individuals in F₁ generation of interspecific hybridization of oil-tea (*Camellia oleifera*)[J]. *Forestry Science*, 2022, 58(4): 165-174. (in Chinese)
- [22] 叶天文, 袁德义, 李艳民, 肖诗鑫, 龚守富, 张健, 李素芳, 罗健. 海南油茶的倍性鉴定[J]. *林业科学*, 2021(7): 61-69.
YE T W, YUAN D Y, LI Y M, XIAO S X, GONG S F, ZHANG J, LI S F, LUO J. Ploidy identification of *Camellia hainanica*[J]. *Forestry Science*, 2021(7): 61-69. (in Chinese)
- [23] CHEN J, GUO Y J, HU X X, ZHOU K B. Comparison of the chloroplast genome sequences of 13 oil-tea *Camellia* samples and identification of an undetermined oil-tea *Camellia* species from Hainan province[J/OL]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12. DOI:10.3389/fpls.2021.798581.
- [24] YAN H Q, ZHENG W, WANG Y, WU Y G, YU J, XIA P G. Integrative metabolome and transcriptome analysis reveals the regulatory network of flavonoid biosynthesis in response to MeJA in *Camellia vietnamensis* Huang[J/OL]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(16). DOI:10.3390/ijms23169370.
- [25] FENG L, CHEN J, YAN W P, YE Z C, YU J, YAO G L, WU Y G, ZHANG J F, YANG D M. Preparation of active peptides from *Camellia vietnamensis* and their metabolic effects in alcohol-induced liver injury cells[J]. *Molecules*, 2022, 27(6): 1790.
- [26] 陈静, 郭钰东, 王佩璇, 王红, 杨成坤, 周开兵. 越南油茶 40 年生实生林优株筛选与遗传多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(12): 2347-2355.
CHEN J, GUO Y J, WANG P X, WANG H, YANG C K, ZHOU K B. The selection of superior trees and analysis of the genetic diversity of forty years old seedling forest of *Camellia vietnamensis*[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(12): 2347-2355. (in Chinese)
- [27] FU J S, WANG J H, CHEN Z, DENG Z W, LAI H G, ZHANG L X, YUN Y H, ZHANG C H. Application of stable isotope and mineral element fingerprint in identification of Hainan *Camellia* oil producing area based on convolutional neural networks (CNN)[J/OL]. *Food Control*, 2023, 150. DOI:10.1016/j.foodcont.2023.109744.
- [28] LIU S S, SHEN M Y, XIE J H, LIU B H, LI C. Effects of endogenous antioxidants in *Camellia* oil on the formation of 2-monochloropropane-1,3-diol esters and 3-monochloropropane-1,2-diol esters during thermal processing[J/OL].

- Foods, 2024: 13(2). DOI: 10.3390/foods13020261.
- [29] LIU L, KONG Q B, XIANG Z Y, KUANG X K, WANG H, ZHOU L J, FENG S L, CHEN T, DING C B. Integrated analysis of transcriptome and metabolome provides insight into *Camellia oleifera* oil alleviating fat accumulation in high-fat *Caenorhabditis elegans*[J/OL]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(14). DOI: 10.3390/ijms 241411615.
- [30] LIU F, HOU L W, RAZA M, CAI L. Pestalotiopsis and allied genera from *Camellia*, with description of 11 new species from China[J/OL]. Scientific Reports, 2017, 7(1). DOI:10.1038/s41598-017-00972-5.
- [31] LI Z, HUANG Q, ZHENG Y, ZHANG Y, LIU B, SHI W K, ZENG Z J. Kaempferitrin: a flavonoid marker to distinguish *Camellia oleifera* honey[J/OL]. Nutrients, 2023, 15(2). DOI: 10.3390/nu15020435.
- [32] LI Y M, YE T W, HAN C X, YE Z H, XIAO S X, YUAN D Y. Cytogenetic analysis of interspecific hybridization in oil-tea (*Camellia oleifera*)[J/OL]. Euphytica, 2021, 217(2). DOI:10.1007/s10681-020-02762-z.
- [33] LI Y J, YAN E P, JIANG J W, CAO D, MO D K. Investigating the identification and spatial distribution characteristics of *Camellia oleifera* plantations using high-resolution imagery[J/OL]. Remote Sensing, 2023, 15(21). DOI: 10.3390/rs15215218.
- [34] LI W X, ZHU L W, ZHANG F L, HAN C R, LI P F, JIANG J X. A novel strategy by combining foam fractionation with high-speed countercurrent chromatography for the rapid and efficient isolation of antioxidants and cytostatics from *Camellia oleifera* cake[J/OL]. Food Research International, 2024, 176. DOI:10.1016/j.foodres.2023.113798.
- [35] LI Q Y, SU X J, MA H H, DU K B, YANG M, CHEN B L, FU S, FU T J, XIANG C L, ZHAO Q, XU L. Development of genic SSR marker resources from RNA-seq data in *Camellia japonica* and their application in the genus *Camellia*[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 9919.
- [36] LI H E, HU Y, GAO C, GUO Q Q, DENG Q E, NAN H, YANG L, WEI H L, QIU J, YANG L. Integrated SMRT technology with UMI RNA-Seq reveals the hub genes in stamen petalody in *Camellia oleifera*[J/OL]. Forests, 2021, 12(6). DOI:10.3390/f12060749.
- [37] LI C, LU M Q, ZHOU J Q, WANG S, LONG Y, XU Y, TAN X F. Transcriptome analysis of the late-acting self-incompatibility associated with RNase T2 family in *Camellia oleifera*[J/OL]. Plants-Basel, 2023, 12(10). DOI:10.3390/plants12101932.
- [38] KONG L S, ZHUO Y J, XU J R, MENG X X, WANG Y, ZHAO W X, LAI H G, CHEN J H, WANG J. Identification of long non-coding RNAs and microRNAs involved in anther development in the tropical *Camellia oleifera*[J/OL]. BMC Genomics, 2022, 23(1). DOI:10.1186/s12864-022-08836-7.
- [39] HE Z L, LIU C X, WANG X N, WANG R, TIAN Y, CHEN Y Z. Leaf transcriptome and weight gene co-expression network analysis uncovers genes associated with photosynthetic efficiency in *Camellia oleifera*[J]. Biochemical Genetics, 2021, 59(2): 398-421.
- [40] 贾效成, 刘艳菊, 徐玉芬, 于钊妍. 海南油茶与普通油茶成熟籽粒代谢组学分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(24): 8255-8263.
- JIA X C, LIU Y J, XU Y F, YU Z Y. Metabonomic Analysis of Mature grains of *Camellia hainanica* and *Camellia oleifera*[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(24): 8255-8263. (in Chinese)
- [41] HE Y F, SONG Q Q, WU Y F, YE S H, CHEN S P, CHEN H. TMT-based quantitative proteomic analysis reveals the crucial biological pathways involved in self-incompatibility responses in *Camellia oleifera*[J/OL]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(6). DOI:10.1016/j.jprot.2018.02.001.