

海南油茶（山柚）资源与品质特异性研究进展与展望

赖杭桂^{1,2}, 苏倩倩², 林 波³, 罗 升², 高 洁², 胡海燕^{1,2}, 吴文婧^{1,4},
丁元昊^{1,2}, 刘进平^{1,2}, 王 健^{1,2}, 黄小龙^{1,4}, 黄东益^{1*}

1. 海南大学南繁学院（三亚南繁研究院），海南三亚 572025；2. 海南大学热带农林学院，海南海口 570228；3. 海南省林木种子（苗）总站，海南海口 570203；4. 海南大学生命科学学院，海南海口 570228

摘 要：海南油茶在海南称为山柚，其在季风性热带气候下生长，形成区域性十倍体树种，具有独特的风味和品质。本文综合分析近年来山柚相关研究，从山柚十倍体资源的演化分布、生长习性、山柚油品质的优异性以及鉴定山柚等方面进行论述，并提出山柚产业发展的建议和对策，为后续山柚研究与开发、打造山柚油高端品牌提供重要依据，以推动山柚产业的特色化发展。

关键词：山柚（海南油茶）；资源与品质特异性；十倍体；生长习性；山柚产业

中图分类号：S794.4 文献标志码：A

Advances and Prospects in Research on Resources and Specific Characteristics of Hainan Oil-tea (Shanyou)

LAI Hanggui^{1,2}, SU Qianqian², LIN Bo³, LUO Sheng², GAO Jie², HU Haiyan^{1,2}, WU Wenqiang^{1,4},
DING Yuanhao^{1,2}, LIU Jinping^{1,2}, WANG Jian^{1,2}, HUANG Xiaolong^{1,4}, HUANG Dongyi^{1*}

1. School of Breeding and Multiplication (Sanya Institute of Breeding and Multiplication), Hainan University, Sanya, Hainan 572025, China; 2. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 3. Hainan Provincial Forest Seed (Seedling) Station, Haikou, Hainan 570203, China; 4. School of Life Sciences, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: Hainan oil-tea *Camellia* (locally termed Shanyou in Hainan) is a regionally endemic decaploid species thriving under monsoonal tropical climatic conditions, which confers its distinctive flavor profile and quality attributes. This paper summarized recent research on Shanyou, examining its evolutionary distribution, growth traits, the exceptional quality characteristics of the oil, and methodologies for germplasm identification. Furthermore, strategic recommendations were proposed to advance the development of the Hainan Shanyou industry, in order to provide a critical foundation for subsequent research, product development, and the establishment of a premium Shanyou oil brand, thereby facilitating the distinctive development of the regional industry.

Keywords: Shanyou (Hainan oil-tea); resource and quality specificity; decaploid; growth traits; Shanyou industry

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.12.007

油茶（*Camellia* spp.）是我国特有的木本食用油料树种，迄今已有 2300 多年的栽培和利用历史，与油橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本

油料植物^[1-2]。世界上油茶属有 120 余个种，中国约 90 个种，主要栽培种有普通油茶（*C. oleifera* Abel.）、小果油茶（*C. meiocarpa* Hu.）、越南油

收稿日期 2025-04-13；接受日期 2025-08-16

基金项目 国家重点研发计划项目（No. 2023YFD2200700）；海南省重点研发项目（No. ZDYF2023XDNY055）；海南省高新技术产业发展专项（No. kjczh017）。

作者简介 赖杭桂（1964—），男，博士，教授，研究方向：热带油茶种质资源与遗传育种。*通信作者（Corresponding author）：黄东益（HUANG Dongyi），E-mail: hdongyi@hainanu.edu.cn。

茶(*C. drupifera* Lour.)、攸县油茶(*C. yuhsienensis* Hu.)等 10 多个种, 其中中国现有油茶林中 98% 为普通油茶(*C. oleifera*)^[3-4]。山茶属内, 同物种间甚至不同物种间的杂交较普遍, 种间杂交和多倍化是推动山茶属物种进化的重要因素^[5]。普通油茶野生近缘种的分布广泛, 长江流域是普通油茶的主产区, 这些地区的油茶种植历史悠久, 并且在种植过程中积累了丰富的栽培经验和创新技术^[6]。海南油茶(*C. hainanica*)生长在热带气候条件下, 因独特的热带岛屿季风性气候等生态因子, 演化形成了热带十倍体油茶(山柚)。相比于内陆主要栽培的六倍体、八倍体油茶, 海南油茶存在遗传倍性及气候生态上的差异^[7]。海南省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^[8-9]。近年来随着对高品质植物油需求的增长, 海南油茶的潜在价值逐渐受到重视, 研究与开发逐渐增加。

1 海南油茶资源的特异性

油茶是海南岛的传统植物资源, 在海南岛栽培历史悠久(公元 1521 年就记录于明朝的《正德琼台志》^[10])。海南种植和利用油茶的历史悠久, 当地称油茶为“山柚”^[11]。《中国植物志》《海南植物志》《中国油茶品种志》和《海南及广东沿海岛屿植物名录》中均有专门记载^[12-15]。长期以来, 由于海南岛独特的地理条件, 海南油茶已产生了大量的遗传变异, 形成了许多在果实形态和性状特征上差异明显的自然变异类型, 种质资源十分丰富^[16-17]。郑道君等^[18]研究表明, 海南油茶资源丰富且存在特异性, 由于海南岛长夏无冬, 高温高湿等, 其特有的气候环境和地理特点孕育了丰富而独具特色的油茶资源, 这为海南选育具有地方特色的高产品种提供了良好的遗传物质基础。

自 XU 等^[19]发现海南省本地油茶为油茶组的一个新种, 即海南油茶(*C. hainanica*)后, 叶天文等^[20]、李欣窈^[21]以及张敬涛等^[7]分别鉴定出的新种为十倍体海南油茶。海南大学油茶团队通过对海南全岛油茶资源调查发现, 十倍体油茶是海南岛分布最广、最适宜生长栽培的油茶树种, 也是近年海南岛新发现的特有油茶树种, 为山茶属油茶倍性最高的物种, 除海南岛外, 目前其他油茶分布区并未发现有十倍体油茶资源^[7, 20-21]。

SONG 等^[22]研究了十倍体和八倍体油茶种群之间的遗传多样性及其差异性, 揭示出海南地区油茶群体的遗传多样性和遗传变异明显高于内陆地区。

2 十倍体油茶地理分布及生长特性

叶天文等^[20]从海南省 4 个县(澄迈县、定安县、琼中县和屯昌县)的海南油茶大树、古树中选取 60 株优树, 采用流式细胞术结合染色体计数法对海南油茶的倍性进行研究, 发现供试的 60 份油茶为八倍体($2n=8x=120$)和十倍体($2n=10x=150$) 2 种倍性, 其中十倍体占 83.3%。张敬涛等^[7]采用流式细胞术及染色体制片技术, 对海南 16 个市(县)的 23 个居群(30 a 树龄以上油茶林)进行倍性鉴定, 鉴定出十倍体居群 16 份, 八倍体居群 7 份, 十倍体与八倍体居群占比分别为 69.6%和 30.4%, 十倍体油茶居群主要分布于 $108^{\circ}51'0''\sim 110^{\circ}29'46''E$, $18^{\circ}38'42''\sim 19^{\circ}49'53''N$, 海拔在 4.17~1090.00 m 的范围内。同时发现, 超 100 a 树龄的油茶古树及热带雨林野生油茶居群均鉴定为十倍体, 而八倍体居群普遍在 60 a 树龄以下且可溯源为人工栽培。鉴于在其他油茶分布区并未发现十倍体山茶属油茶树种, 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, 表明十倍体油茶新种应是海南岛区域性原生树种。多倍体机制是植物物种形成的重要条件, 植物多倍体通常伴随着更高的产量和更好的品质^[23]。LI 等^[24]对 3 个不同油茶倍性水平(二倍体、四倍体、六倍体)与果实主要性状的相关性进行研究。结果表明, 与四倍体小果油茶和二倍体狭叶油茶相比, 六倍体普通油茶具有更大的果实和质量、更多的单果种子、更大的单果种子质量、更高的含油量和更大的单冠幅产量, 但其果皮厚度和鲜籽率显著低于后者, 且这些性状与倍性显著相关。海南油茶树种较为高大, 呈大型灌木或小乔木, 海南省油茶发展三年行动方案(2023—2025)对海南油茶的种植建议是每 666.67 m^2 种植数量为 40~50 株, 与内陆灌木型普通油茶种植密度 75~115 株相比, 种植密度较低, 但海南油茶生长快、投产早、果实及种子大、出油率高, 单株产量选择更具优势^[8, 25-27]。

袁军等^[17]通过对主要分布的 6 个县 10 个乡镇)的海南油茶资源进行调查, 研究表明, 海南油茶种质资源在形态、茶油脂脂肪酸组成等方面具有多样性, 海南油茶的树体、花、果实以及叶

片均小于高州油茶；聚类分析表明海南油茶与高州油茶和普通油茶具有显著区别。夏腾飞等^[28]认为，海南油茶叶片表型多样性极丰富，基本可分为 3 个类群，分别为大宽叶片类群、长叶片类群和小叶类群，而小叶类群几乎涵盖海南主要油茶分布区。杨立荣等^[29]研究表明，海南油茶的平均单果质量为 42.46 g，最大单果质量为 156.87 g，单果质量较集中分布于 28.21~39.07 g 区间内，其平均鲜出籽率为 32.87%，海南油茶资源在果实性状方面与高州油茶（*C. vietnamensis*）较为接近。陈伟文等^[30]指出海南年均光照为 2200 h，光照率达 50%~60%，年均气温为 23.0~24.5 °C，≥10 °C 的积温为 8200~9000 °C，各地年均降雨量达 932~2495 mm。这些条件为油茶更快生长、更早挂果提供了适宜的热量和光照保障，促使海南油茶盛果期更长且单产更高。

3 海南茶油品质特性

海南的山茶油被认为具有独特的品质和极高的价值，其口味醇香、品质优良、富含角鲨烯、维生素 E、圣草酚、槲皮素等多种营养药用活性成分，地域特色明显，近年来海南油茶籽油（茶油）已逐渐成为了深受消费者推崇的高端食用植物油^[31-33]。由于不同倍性水平的油茶品系在果实主要性状和脂肪酸组成方面存在较大差异，在脂肪酸组分方面，海南油茶新品系表现卓越^[34-36]。

夏腾飞等^[37]研究认为，海南岛油茶种仁的平均含油率为 49.13%，且海南岛产的油茶籽油饱和脂肪酸含量约 90%，理化指标稳定且达到较优水平，富含茶多酚、角鲨烯、维生素 E 和类胡萝卜素等生物活性物质。叶洲辰等^[38]分析了海南油茶籽油与大陆优良品系茶油间品质差异。结果表明，海南茶油油酸含量（81.353%）显著高于江西茶油（70.849%），亚油酸在海南茶油中含量最高（8.080%），海南茶油的角鲨烯、豆甾醇、维生素 E 及 β -香树脂醇含量均显著高于江西茶油和湖南茶油；海南（炒）茶油提取物中表儿茶素含量约为其他（蒸）茶油的 17 倍，槲皮素含量为其他（蒸）茶油的近 20 倍。廖义秀^[39]发现不同品种茶油中酚类物质存在较大差异，海南（炒）茶油提取物中多酚含量显著高于其他品种茶油，归因于海南独特的自然条件可能有助于这些次生代谢产物的生物合成，其所产茶油具有更高的药用价值。

贾效成等^[40]进行了海南油茶与普通油茶成熟

籽粒代谢组学比较分析，研究表明，在营养类代谢物方面，海南油茶成熟籽粒含有更丰富的代谢物质，如黄酮、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。其中，黄酮、黄酮醇、黄酮类等是天然的抗氧化剂，具有抗菌、消炎的作用；吲哚及其衍生物作为重要的杂环生物碱，大多具有显著的生理活性，如抗肿瘤、抗凝血、治疗心律失常、心绞痛和高血压等。在普通油茶中，仅脂质、维生素及衍生物含量较多，虽醇类及原花青素具有物种特异性，但种类少、含量低。因此，海南油茶成熟籽粒可能富含更多的营养类代谢物质，导致其加工后的茶油营养更加丰富。此外，海南油茶关键营养物质形成的调控机制研究也取得了新的突破，DING 等^[41]研究表明，海南油茶不同器官中积累了类型多样、功能各异的代谢物。其中，种子富集脂类，叶片主要积累氨基酸类，近 50% 的黄酮类物质主要在种子中富集，其余则积累于茎、叶及花器官。对与脂类代谢相关的核心结构基因进行分析，结果表明，*KAS II* 和 *SAD* 等基因上调，以及 *FAD2* 和 *FAD3* 等基因下调，是促使茶油中不饱和脂肪酸（特别是油酸）比例提升的关键。研究还揭示了儿茶素和表儿茶素在茎、叶、花及种子早期阶段中含量丰富，茶氨酸则主要富集于叶片和种子。

在风味评价方面，周诗涵^[42]和胡海燕等^[43]研究表明，三甲基苯和 1,6-二甲基-3-嘧啶是海南山柚油咖啡风味的主要贡献物质；乙偶姻、2,3-丁二醇是海南山柚油杏仁味的主要贡献物质；异戊醛是海南山柚油土豆风味的主要贡献物质。通过风味评价及比较发现，海南山柚油区别于其他地区油茶的主要特征是具有比较浓郁的杏仁香味。同时，乙偶姻和 2,3-丁二醇的含量在海南油茶和内地油茶之间的差异最显著，且是海南山柚油杏仁味的主要贡献物质。因此，可以确定乙偶姻和 2,3-丁二醇是导致海南油茶与内地热带油茶风味差异的关键风味物质。

4 海南油茶特异性的鉴定方法

鉴定的目的是为了识别海南油茶的真实性和纯度，包括品种苗木和山柚油产品。以下技术方法包含了海南油茶倍性、品种和茶油风味的鉴定及产地溯源鉴定技术，以供参考。

4.1 海南油茶倍性的鉴定

植物倍性的鉴定主要采用流式细胞术和染色

体计数法相结合的方法，海南油茶倍性鉴定方法主要参考《海南油茶的倍性鉴定》^[20]和《海南岛十倍体油茶资源分布及评价》^[7]。

4.2 海南油茶品种的鉴定

油茶品种种植材料的真伪可通过形态鉴定和分子标记鉴定。形态鉴定是指通过树形、叶片、花、果实、种子等植株外部形态特征进行识别的方法，是品种的初级鉴定。而采用分子标记鉴定才是最有效的鉴定方法，可直接鉴定油茶品种的真伪和纯度。根据《油茶品种微卫星标记鉴别技术规程》（LY/T 2305—2014）^[44]，海南大学油茶团队基于油茶转录组数据开发出 16 对 SSR 引物，可对海南油茶品种进行 PCR 扩增并构建指纹图谱，根据创建的指纹图谱和聚类树，油茶品种可被简单高效区分出来^[45-47]。

4.3 海南山柚风味的鉴定

海南大学油茶团队通过气相色谱-质谱联用（GC-MS）的广泛靶向检测方法获取挥发物组数据，鉴定出影响海南山柚油风味的主要物质。发现山柚油区别于其他地区茶油的主要特征是具有比较浓郁的杏仁香味，确定了乙偶姻和 2,3-丁二醇是导致海南茶油与内地热带茶油风味差异的关键风味物质^[42-43]。

4.4 海南茶油产地溯源鉴定

FU 等^[47]采用稳定同位素质谱和电感耦合等离子体质谱测定了海南和其他主产区山茶油的稳定同位素和矿物元素特征，结合深度学习卷积神经网络（CNN）分类模型实现了山茶油地理来源的准确识别。结果表明，山茶油产地与其稳定同位素和矿物元素特征之间存在一定的相关性，可作为对山茶油进行产地鉴别的有力工具。所构建的 CNN 模型以最佳的分类准确率实现了对不同地区山茶油的识别，其效果优于其他分类模型。在海南和其他主产区以及海南省内各地区山茶油的预测准确率均达到了 90% 以上。综上，稳定同位素特征与矿物元素特征的结合提高了分类模型的准确性和稳定性；CNN 模型以高准确性识别不同区域尺度山茶油的地理来源； $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 稳定同位素是山茶油产地溯源的重要指标^[47]。

5 产业展望

由于气候等生态因子的影响，不同地域的茶油产生了 2x、4x、6x、8x、10x 的染色体倍性^[48-49]，而十倍体海南山柚正是季风性热带雨林气候长期

演化形成的物种，其有益健康的次生代谢物质更为丰富，结合热、炒、压、榨的传统工艺，榨取的山柚油品质极其优良，具有强烈的海南特色，所产山柚油香气浓郁、丰富且持久，品尝时有滑口感，无油腻感和苦涩、辛辣的味道，深受消费者喜欢。其分布的区域性、稀缺性以及品质的优异性使海南山柚在产业应用中潜力巨大，对海南山柚油高端品牌打造具有重要意义。

高效的种植生产是海南山柚产业发展的基础，目前海南成龄山柚林大多为低产林，海南本地油茶品种选育起步较晚，种苗良莠不齐，种植户习惯采用实生苗繁殖，或盲目引进岛外嫁接苗进行种植。实践证明，外来苗木长势弱、生长慢、成活率低、易感染病虫害、抗逆性差，难以适应海南气候土壤等环境条件^[50-51]。因此，对山柚低产林改造，加大力度推广海南本地优良山柚品种，集成海南油茶丰产栽培技术，通过科学的“良种良法”提高海南油茶单位面积产量尤为重要。

海南山柚油本身就具有鲜明的品牌特色，应该进一步挖掘、强化其品牌内涵，通过申请地理产品标识和原产地保护等，推出地方特色、开展各类认证和标准体系建设，丰富品牌价值，确立品牌战略思路。同时，还可通过加强对外宣传，提升海南山柚油的知名度，拓展市场空间^[31]。研究油茶籽的加工技术工艺，将传统加工技术进行规范化，确保产品质量，引进现代先进技术，提高劳动生产效率。开展系列化产品研发和综合利用研究，进一步提升油茶综合效益。

在海南自贸港建设大潮中，利用扩大对外开放程度的优势，加强不同国家及地区油茶科研机构之间的技术合作与交流，争取在海南油茶产业的基础研究与应用研究有所突破，实现技术应用开发、市场拓展、文化研究等方面的跨越式发展。走出一条具海南特色的“生产+加工+品牌”的油茶产业发展道路；引进科技含量高的油茶加工企业，打造海南茶油精品，生产安全、优质的茶油。同时，大力拓展油茶系列产品的精深加工产业链，完善油茶全产业链的发展格局^[32, 52]。

参考文献

- [1] 周新平. 中国油茶—民族产业与创新[J]. 中国林业产业, 2021(11): 46-53.
ZHOU X P. Chinese *Camellia oleifera*-an ethnic industry and innovation[J]. China Forestry Industry, 2021(11): 46-53.

- (in Chinese)
- [2] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
ZHUANG R L. Chinese *Camellia oleifera*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008. (in Chinese)
 - [3] 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, 2009: 15-18.
SHU Q L, ZHANG L F. Chinese oil tea cultivation and pest and disease control[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2009: 15-18. (in Chinese)
 - [4] 周亚东. 浅谈油茶文化[J]. 热带林业, 2017, 45(2): 42-48.
ZHOU Y D. On history and culture of *Camellia oleifera*[J]. Tropical Forestry, 2017, 45(2): 42-48. (in Chinese)
 - [5] 闵天禄. 山茶属的系统大纲[J]. 云南植物研究, 1999(2): 21-31.
MIN T L. A systematic synopsis of the genus *Camellia*[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1999(2): 21-31. (in Chinese)
 - [6] 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)
 - [7] 张敬涛, 赖杭桂, 张诗慧, 王文泉, 胡海燕, 刘进平, 李欣窃, 赵欣, 朱家明, 吴文婧, 黄东益, 王健, 黄小龙, 贾效成, 陈飞飞. 海南岛十倍体油茶资源分布及评价[J]. 热带作物学报, 2024, 45(8): 1585-1595.
ZHANG J T, LAI H G, ZHANG S H, WANG W Q, HU H Y, LIU J P, LI X Y, ZHAO X, ZHU J M, WU W Q, HUANG D Y, WANG J, HUANG X L, JIA X C, CHEN F F. Distribution and evaluation of decaploid *Camellia* resources in Hainan island[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(8): 1585-1595. (in Chinese)
 - [8] 国家林业和草原局, 国家发展和改革委员会, 财政部. 加快油茶产业发展三年行动方案(2023—2025 年)[Z]. 林改发〔2022〕130 号, 2023-01-09.
National Forestry and Grassland Administration, National Development and Reform Commission, Ministry of Finance. Three-year implementation plan for accelerating the development of *Camellia oleifera* industry (2023—2025)[Z]. Ling Gai Fa [2022] No. 130, 2023-01-09. (in Chinese)
 - [9] 龙易强. 海南省推进林业经济高质量发展 做好“六棵树”文章[N]. 海口日报, 2024-05-26.
LONG Y Q. Hainan province promotes high-quality development of forestry economy and focuses on the “six tree” projects[N]. Haikou Daily, 2024-05-25. (in Chinese)
 - [10] 唐胄纂. 正德琼台志[M]. 海口: 海南出版社, 2006.
TANG Z Z. Zhengde Qiongtai annals[M]. Haikou: Hainan Publishing House, 2006. (in Chinese)
 - [11] 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)
 - [12] 张宏达. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
ZHANG H D. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese)
 - [13] 陈焕镛. 海南植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1964.
CHEN H Y. Hainan flora catalogue[M]. Beijing: Science Press, 1964. (in Chinese)
 - [14] 吴德邻. 海南及广东沿海岛屿植物名录[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
WU D L. List of plants on the coastal islands of Hainan and Guangdong[M]. Beijing: Science Press, 1994. (in Chinese)
 - [15] 姚小华. 中国油茶品种志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
YAO X H. Chinese tea tree variety catalogue[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016. (in Chinese)
 - [16] 王碧芳, 邹锋, 袁德义, 袁军, 肖诗鑫, 高超, 李泽, 彭小博. 海南油茶优良单株果实经济性状综合评价与筛选[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(2): 156-161. (in Chinese)
WANG B F, ZOU F, YUAN D Y, YUAN J, XIAO S X, GAO C, LI Z, PENG X B. Comprehensive evaluation of fruit economic character and premium species selection of *Camellia oleifera* in Hainan[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2016, 45(2): 156-161. (in Chinese)
 - [17] 袁军, 韩志强, 贺舍予, 黄丽媛, 周乃富. 海南省油茶资源主要形态和经济性状及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(6): 1380-1384.
YUAN J, HAN Z Q, HE S Y, HUANG L Y, ZHOU N F. Investigation and cluster analysis of main morphological and economical characters for oil tea resource in Hainan province[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(6): 1380-1384. (in Chinese)
 - [18] 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)
 - [19] XU Z J, YUAN D Y, TANG Y C, WU L, ZHAO Y L. Ca-

- mellia hainanica* (Theaceae) a new species from Hainan, supported from morphological characters and phylogenetic analysis[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2020, 52(3): 1025-1032.
- [20] 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, 57(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]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2021, 57(7): 61-69. (in Chinese)
- [21] 李欣窈. 热带地区油茶种质资源收集及评价[D]. 海口: 海南大学, 2023.
- LI X Y. Collection and evaluation of *Camellia oleifera* germplasm in the tropical areas of China[D]. Haikou: Hainan University, 2023. (in Chinese)
- [22] SONG J M, ZHAO X, LIN B, ZHANG S H, LAI H G, CHEN F F, HUANG D Y, LIU J P, HU H Y, WANG J, WU W Q, HUANG X L. Single nucleotide polymorphisms and insertion/deletion variation analysis of octoploid and decaploid tropical oil tea *Camellia* populations based on whole-genome resequencing[J]. *Plants*, 2024, 13(21): 2955.
- [23] 宋灿, 刘少军, 肖军, 何伟国, 周毅, 覃钦博, 张纯, 刘筠. 多倍体生物研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2012, 42(3): 173-184, 259-265.
- SONG C, LIU S J, XIAO J, HE W G, ZHOU Y, TAN Q B, ZHANG C, LIU J. Progress in the study of polyploid organisms[J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2012, 42(3): 173-184, 259-265. (in Chinese)
- [24] LI Y M, YIN L G, HE X Y, HU C L, WU R H, LONG Q, XIAO S X, YUAN D Y. Ploidy and fruit trait variation in oil-tea *Camellia*: implications for ploidy breeding[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2024, 23(8): 2662-2673.
- [25] 付登强, 杨伟波, 陈良秋, 刘小玉, 李东霞. 海南油茶优树选择初报[J]. *热带农业科学*, 2014, 34(6): 41-43. (in Chinese)
- FU D Q, YANG W B, CHEN L Q, LIU X Y, LI D X. Preliminary report on oil *Camellia* plus tree selection in Hainan[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2014, 34(6): 41-43. (in Chinese)
- [26] 陈伟文, 郑道君, 杨立荣, 云勇, 陈加利, 陈宜. 海南油茶优树选择及 DNA 指纹图谱构建[J]. *现代农业科技*, 2017(7): 1-7.
- CHEN W W, ZHENG D J, YANG L R, YUN Y, CHEN J L, CHEN Y. Selection and DNA fingerprinting construct of *Camellia oleifera* in Hainan[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2017(7): 1-7. (in Chinese)
- [27] 王海. 海南油茶优异种质资源的分析评价[D]. 海口: 海南大学, 2021.
- WANG H. Analysis and evaluation of excellent germplasm resources of *Camellia oleifera* in Hainan[D]. Haikou: Hainan University, 2021. (in Chinese)
- [28] 夏腾飞, 孙秀秀, 陈加利, 马光耀, 王春梅, 戚华沙, 冯依欣, 梁振儒, 郑道君. 海南岛油茶种质资源叶片表型多样性分析[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(16): 5484-5494.
- XIA T F, SUN X X, CHEN J L, MA G Y, WANG C M, QI H S, FENG Y X, LIANG Z R, ZHENG D J. Leaves phenotypic diversity analysis of tea-oil *Camellia* germplasm in Hainan island[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(16): 5484-5494. (in Chinese)
- [29] 杨立荣, 张治礼, 陈加利, 陈宜, 吉清妹, 郑道君. 海南油茶种实数量性状多样性评价[J]. *经济林研究*, 2018, 36(3): 69-76.
- YANG L R, ZHANG Z L, CHEN J L, CHEN X, JI Q M, ZHENG D J. The quantitative characters and diversity of oiltea fruit in Hainan province[J]. *Non-wood Forest Research*, 2018, 36(3): 69-76. (in Chinese)
- [30] 陈伟文, 赖杭桂. 海南特色油茶产业发展现状与建议[J]. *热带农业科学*, 2021, 41(5): 120-125.
- CHEN W W, LAI H G. Current development situation of and suggestions for *Camellia oleifera* industry in Hainan[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2021, 41(5): 120-125. (in Chinese)
- [31] 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)
- [32] 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)
- [33] 刘进平, 胡海燕, 吴文婧, 黄小龙, 黄东益, 王健, 赖杭桂. 海南岛油茶种质资源鉴定与分布研究进展[J]. *热带林业*, 2024, 52(3): 36-39.
- LIU J P, HU H Y, WU W Q, HUANG X L, HUANG D Y, WANG J, LAI H G. Research progress on identification and distribution of oil-tea *Camellia* germplasm resources in Hainan island[J]. *Tropical Forestry*, 2024, 52(3): 36-39. (in Chinese)
- [34] 韦开萍, 蒙进芳, 郭晓春. 我国几种油茶植物染色体研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2025, 53(2): 7-12.
- WEI K P, MENG J F, GUO X C. Comprehensive analysis of

- the chromosome studies on *Camellia oleifera* traditionally used as oil plant in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(2): 7-12. (in Chinese)
- [35] YE T W, LI S F, XIAO S X, YUAN D Y. Impact of polyploidization on genome evolution and phenotypic diversity in oil-tea *Camellia*[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 218: 118928.
- [36] 杨超臣, 姚小华. 海南地区油茶新品系果实性状与脂肪酸组分分析[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(3): 614-625.
YANG C C, YAO X H. Analysis of seed characters and fatty acid of new *Camellia vietnamensis* strains in Hainan[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(3): 614-625. (in Chinese)
- [37] 夏腾飞, 陈加利. 海南岛不同油茶主产区油茶籽油营养成分分析及品质综合评价[J]. 中国油脂, 2023, 48(6): 91-98.
XIA T F, CHEN J L. Nutritional components analysis and comprehensive quality evaluation of oil-tea *Camellia* seed oil from different main producing areas in Hainan island[J]. China Oils and Fats, 2023, 48(6): 91-98. (in Chinese)
- [38] 叶洲辰, 吴友根, 于靖, 张军锋, 杨东梅, 胡新文. 不同产地油茶籽油提取物的抗氧化活性比较分析及其营养评价[J]. 生物技术通报, 2019, 35(10): 80-88.
YE Z C, WU Y G, YU J, ZHANG J F, YANG D M, HU X W. Comparative analysis of antioxidant activities of *Camellia oleifera* oil extracts from different areas and their nutritional assessments[J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(10): 80-88. (in Chinese)
- [39] 廖义秀. 茶油多酚分析及其抗氧化稳定性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
LIAO Y X. The study of polyphenol and oxidation stability of oil from *Camellia*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013. (in Chinese)
- [40] 贾效成, 刘艳菊. 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. Metabonomic analysis of mature grains of *Camellia hainanica* and *Camellia oleifera*[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(24): 8255-8263. (in Chinese)
- [41] DING Y H, WU Q X, LI Z M, ZHONG Q P, ZHOU S H, CHEN F, ZHANG M G, LI Y L, LI P, XIE C Z, LIU G P, HUANG D Y, WANG W Q, LAI H G, HU H Y. Transcriptome and metabolome analysis reveals the mechanism of key nutrient formation in Hainan oil-*Camellia* (*Camellia hainanica*) growth cycle[J]. Industrial Crops and Products, 2025, 230: 121122.
- [42] 周诗涵. 基于 GC-MS 技术鉴定影响海南山茶籽油风味的关键挥发物[D]. 海口: 海南大学, 2024.
ZHOU S H. Based on GC-MS technology, the key volatile substances that affect the flavor of Hainan *Camellia* seed oil were identified[D]. Haikou: Hainan University, 2024. (in Chinese)
- [43] 胡海燕, 丁元昊, 赖杭桂, 王文泉. 乙偶姻作为特征识别物在鉴别海南山茶油中的应用: ZL202510052655.1[P]. 2025-02-21.
HU H Y, DING Y H, LAI H G, WANG W Q. The application of secondary metabolites as characteristic identifiers in the identification of Hainan *Camellia* oil invention patent: ZL202510052655.1[P]. 2025-02-21. (in Chinese)
- [44] 中华人民共和国国家林业局. 油茶品种微卫星标记鉴别技术规程: LY/T 2305—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
State Forestry Administration of the People's Republic of China. Technical regulation for microsatellite marker identification of *Camellia oleifera* varieties: LY/T 2305—2014[S]. Beijing: China Standards Press, 2014. (in Chinese)
- [45] 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)
- [46] 赵欣, 宋家明, 张敬涛, 黄东益, 胡海燕, 刘进平, 赖杭桂. 基于 SSR 标记的海南油茶 DNA 指纹图谱构建[J]. 分子植物育种, 2025, 23(1): 194-201.
ZHAO X, SONG J M, ZHANG J T, HUANG D Y, HU H Y, LIU J P, LAI H G. Construction of DNA fingerprinting based on SSR markers of *Camellia* in Hainan province[J]. Molecular Plant Breeding, 2025, 23(1): 194-201. (in Chinese)
- [47] 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[J]. Food Control, 2023, 150: 109744.
- [48] 张文驹, 闵天禄. 山茶属的细胞地理学研究[J]. 云南植物研究, 1999, 21(2): 184-196.
ZHANG W J, MIN T L. A cytogeological study of genus *Camellia*[J]. Acta Botanica Yunnanica, 1999, 21(2): 184-196. (in Chinese)
- [49] 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).

[50] 王惠君, 王文泉, 李文彬, 卢诚, 黎明, 陈友. 海南油茶产业发展现状及建议[J]. 河北林业科技, 2016(3): 66-70.
WANG H J, WANG W Q, LI W B, LU C, LI M, CHEN Y. Current situation and suggestions on the development of *Camellia oleifera* industry in Hainan[J]. Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2016(3): 66-70. (in Chinese)

[51] 桑梦科. 海南油茶安全优质生产关键技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2024.

SANG M K. Research on key technologies for safe and high quality production of Hainan *Camellia oleifera*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2024. (in Chinese)

[52] 《热带林业》编辑部. 以全面深化改革创新推进油茶产业高质量发展[J]. 热带林业, 2025, 53(1): 1.
Tropical Forestry Editorial Department. Promoting the high-quality development of oil tea industry through comprehensive deepening of reform and innovation[J]. Tropical Forestry, 2025, 53(1): 1. (in Chinese)