

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第8期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.08.009

论文标题： 油茶杂交子代春花优株开花结实特性及评价

作　　者： 陆奕良，周 晴，钱 惠，等

收稿日期： 2025-06-12

引文格式： 陆奕良,周晴,钱惠,等.油茶杂交子代春花优株开花结实特性及评价[J].中南林业科技大学学报,2026,46(8):90-99.

Lu Y L, Zhou Q, Qian H, et al. Flowering and fruiting characteristics and evaluation of spring flowering plants of *Camellia oleifera* hybrid offspring[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(8):90-99.

相关论文推荐

Recommended articles

我国油茶科技进展与未来核心技术

Scientific and technological progress and future core technologies of oil tea *Camellia* in China

油茶分子育种研究进展

Advances in the molecular breeding of *Camellia oleifera*

油茶种间杂交F_1代优株花果性状的比较

Comparative analysis of flower and fruit traits in F_1 generation of interspecific hybridization of *Camellia oleifera*

江西10个主栽油茶品种的开花及授粉生物学特性

Flowering and pollination biology of 10 main *Camellia oleifera* cultivars in Jiangxi Province

不同因素对油茶未授粉子房愈伤组织诱导的影响

Effects of different factors on callus induction from unpollinated ovaries of *Camellia oleifera*

外源钙离子对NaCl胁迫下油茶花粉萌发的影响

Effects of exogenous Ca^{2+} on pollen germination of *Camellia oleifera* under NaCl stress

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.08.009 http: //qks.csuft.edu.cn

油茶杂交子代春花优株开花结实特性及评价

陆奕良，周 晴，钱 惠，胡英杰，刘俊辰，吴俊涛，王 浩，袁德义

（中南林业科技大学 a. 经济林育种与栽培国家林业和草原局重点实验室；
b. 木本油料资源利用全国重点实验室，湖南 长沙 410004）

摘 要：【目的】为选育春天开花且果实经济性状和油脂品质优良的油茶新品种，对油茶远缘杂交子代进行综合评价，筛选优良春花油茶种质资源。【方法】以‘攸杂 2’（YZ2）×‘德油 2 号’（DY2）杂交子代中初选的 27 株春花油茶优株为试验材料，系统观测其花期特性、花器官形态特征、花粉活力及果实经济性状。综合运用相关性分析、差异性分析和主成分分析等方法对数据进行分析。【结果】27 株春花油茶花期性状分离显著，始花期最早为 YD21，最晚为 YD11，YD26 盛花期持续时间最长（32 d）。花器官各性状在个体间表现出不同程度的差异，其中花柱数变化较大（3 ～ 5 裂），花瓣数相对稳定（5 ～ 10 瓣）。YD22 花径最大（89.56 mm），符合虫媒花特征。相关性分析结果显示，花瓣数与花柱数呈极显著正相关，花径与花柱长呈极显著正相关（$P < 0.01$），表明花器官发育存在协同调控关系。花粉活力为 35.35% ～ 83.31%，YD17 花粉活力最高（83.31%），且存在“拟花粉”现象。果实性状中，YD6 果皮最薄（1.32 mm），其鲜出籽率（52.99%）与种仁含油率（51.17%）显著优于亲本；YD17 鲜出籽率最高（63.31%），在群体中表现突出。油脂不饱和脂肪酸占比为 85.40% ～ 88.01%，YD11 油酸含量最高（79.77%）。【结论】优株 YD3、YD7、YD17 在果实大小、出籽率、油酸含量等经济性状方面表现优异，可作为优良种质资源进一步研究和培育。

关键词：春花油茶；花性状；果实性状；油脂品质；品种筛选

中图分类号：S722；S794.4 **文献标志码：**A **文章编号：**1673-923X(2026)08-0090-10

Flowering and fruiting characteristics and evaluation of spring flowering plants of *Camellia oleifera* hybrid offspring

Lu Yiliang, Zhou Qing, Qian Hui, Hu Yingjie, Liu Junchen, Wu Juntao, Wang Hao, Yuan Deyi

(a. Key Laboratory of Economic Forest Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration; b. State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil Resource, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract:【Objective】To breed novel *Camellia oleifera* cultivars characterized by spring flowering, superior fruit economic traits, and excellent oil quality, this study conducted a comprehensive evaluation of distant hybridization progeny, aiming to screen elite spring-flowering germplasm resources.【Method】Twenty-seven initially selected spring-flowering superior individuals from the hybrid progeny of ‘Youza 2’ (YZ2) × ‘Deyou 2’ (DY2) served as experimental materials. Systematic observations were made on their flowering phenology, floral organ morphology, pollen viability, and fruit economic traits. Data were analyzed using correlation analysis, difference analysis, and principal component analysis.【Result】Significant segregation in flowering traits was observed among the 27 spring-flowering *Camellia oleifera* superior individuals. The earliest initial flowering date occurred in YD21, while the latest was recorded for YD11. YD26 exhibited the longest full-bloom period, lasting 32 days. Floral organ traits showed varying degrees of variation among individuals, with style number ranging from 3 to 5 lobes and petal number ranging from 5 to 10. Notably, YD22 displayed the largest flower diameter (89.56 mm), consistent with entomophilous characteristics. Correlation analysis revealed highly significant positive correlations ($P < 0.01$) between petal number and style number, and between flower diameter and style length, indicating coordinated regulation in floral organ development. Pollen viability varied markedly among individuals, ranging from 35.35% to 83.31%. YD17 demonstrated the highest pollen viability (83.31%), and the phenomenon of “pseudo-pollen” was observed. Regarding fruit traits, YD6 possessed the thinnest pericarp (1.32 mm), with its fresh seed yield rate (52.99%) and kernel oil content (51.17%) being significantly

收稿日期（Received）：2025-06-12 **修订日期**（Revised）：2025-08-21
基金项目：湖南省十大技术攻关项目（2024NK1020）；湖南省油茶产业基础平台项目。
第一作者：陆奕良（2215493939@qq.com），硕士研究生。**通信作者：**袁德义（yuan-deyi@163.com），教授，博士，博士研究生导师。
引文格式：陆奕良 , 周晴 , 钱惠 , 等 . 油茶杂交子代春花优株开花结实特性及评价 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(8):90-99.
Lu Y L, Zhou Q, Qian H, et al. Flowering and fruiting characteristics and evaluation of spring flowering plants of *Camellia oleifera* hybrid offspring[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(8):90-99.

superior to parental performance. YD17 exhibited the highest fresh seed yield rate (63.31%), standing out prominently among the population. Unsaturated fatty acids accounted for 85.40%-88.01% of the total fatty acids in the oil. YD11 displayed the highest oleic acid content (79.77%).【Conclusion】Comprehensive evaluation identified superior individuals YD3, YD7, and YD17 as outstanding performers for key economic traits, including fruit size, seed yield rate, and oleic acid content. These individuals represent valuable germplasm resources for further breeding and research.

Keywords: spring flowering oil tea; flower traits; fruit traits; oil quality; variety selection

油茶 *Camellia oleifera* 是我国重要的木本油料树种 [1]，与油棕、油橄榄、椰子共同组成世界四大木本油料植物。茶油具有重要的经济价值，其中不饱和脂肪酸含量高达 90%，油酸含量约 80%，被联合国粮农组织推荐为最佳食用植物油 [2-3]。我国油茶的栽培地区非常广泛，主要集中在南方丘陵地带，在我国多个省（区）均有分布，南至湖南、广东，北至河南、湖北，东至福建、江西，西至广西、云南 [4-5]。茶油中含有维生素 E、总酚、甾醇、角鲨烯等功能性营养成分 [6]，在治疗高血压、心血管疾病、癌症等方面有明显功效 [7-8]。筛选与培育高产优质的油茶新品种，对解决油茶产量不高、质量不稳等问题具有重要意义。油茶种质资源丰富，在不同环境和遗传变异的影响下，演化出‘普通油茶’‘小果油茶’‘高州油茶’‘浙江红花山茶’‘广宁红花油茶’‘腾冲红花油茶’‘攸县油茶’等具有不同遗传背景和表型的品种。目前，产量表现较好的油茶种质多在秋季开花，恶劣天气会对其坐果率等果实性状造成一定程度的影响。因此，筛选果大皮薄、春季开花的优异油茶新种质刻不容缓。谢胤等 [9] 在对‘腾冲红花油茶’优良单株的开花物候特征与坐果率、产量的相关性研究中发现，早花期类型坐果率最低，中花期类型次之，晚花期类型坐果率最高。因此，晚花良种培育在提高油茶坐果率方面具有积极的促进作用。本研究从 534 株油茶中筛选出 27 株春花油茶资源，从花期、花器官性状、花粉质量、果实性状及经济性状、油脂品质等方面进行综合评价，筛选出果大皮薄、丰产稳产、经济性状优良以及含油率高的春花油茶优良植株。

1　材料与方法

1.1　试验材料及试验地概况

本研究选用连续 3 年春季开花的‘攸杂 2’（YZ2）×‘德油 2 号’（DY2）杂交子代 27 株春花油茶及其亲本作为试验材料，所有试验材料均来自湖南省长沙市长沙县中南林业科技大学油茶试验示范基地（28°24′35″N，113°13′23″E）。试验地年平均气温 17.6 ℃，年平均日照时数 1 510.9 h，占可照时数的 34%，年平均降水量 1 472.9 mm，年平均蒸发量 1 194.9 mm，平均相对湿度 81%。土壤类型以红壤为主，田间管理按照常规标准进行，试验田春花油茶生长良好。

1.2　花期观测

参照油茶物候期观察项目与果树标准 [10]，对杂交子代及其母本‘攸杂 2’、父本‘德油 2 号’共 534 株油茶开展物候期观测，从中筛选出 27 株春花油茶（3 年连续开春花，遗传性状趋于稳定）。如图 1 所示，春花油茶花期分为始花期（5% ～ 25% 花朵开放）、盛花期（25% ～ 75% 花朵开放）和末花期（75% 以上花朵开放）[10]。

1.3　花器官形态比较

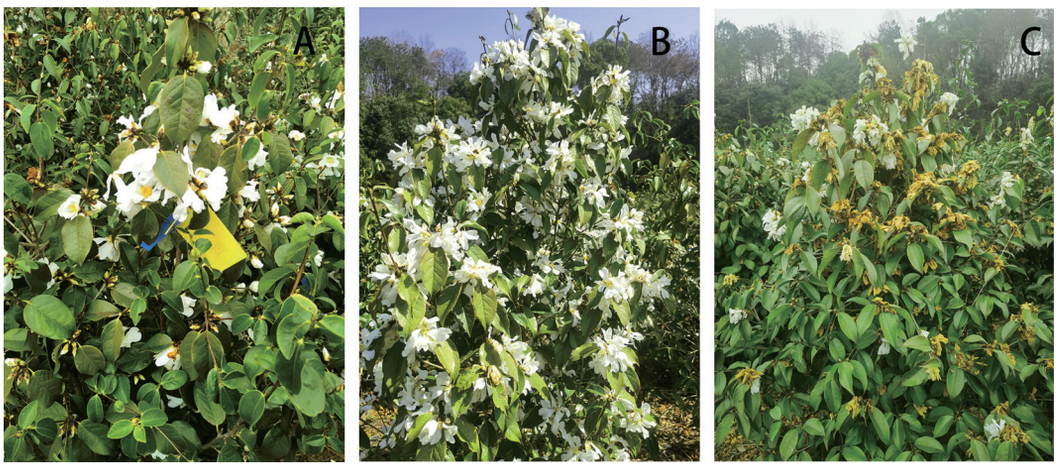
2024 年 1 月至 2025 年 4 月，每株油茶随机采集 10 朵完全盛开的花，采用解剖法测定柱头开裂数、花瓣数、花药数，用数显游标卡尺测定花冠直径、雌蕊长、雄蕊高。

1.4　花粉数量测定

参考袁德义等 [11] 的方法，每株油茶分别采集 4 ～ 5 朵待放的花蕾，用镊子取 10 枚花药置于 2.5 mL 离心管中，随后放入光照培养室 6 ～ 8 h 待其散粉，收集花粉后加入 1 mL 1% 纤维素酶，充分混合均匀后裂解处理花粉壁 24 h。然后，取 1 μL 花粉混合溶液滴于载玻片上，在 Olympus BX-51 光学显微镜下分别观察和统计花粉和“拟花粉”的数量（为排除“拟花粉”的干扰，在进行花粉数量统计时将其排除），试验重复 3 次。单枚花药的花粉量 =（载玻片上的总花粉粒数 × 200）/10。

1.5　花粉活力测定

花粉活力测定采用琼脂培养法 [11]，具体方法如下：于盛花期采集油茶花蕾，配置 0.1% 硼酸 + 10% 蔗糖 +1% 琼脂的油茶花粉离体萌发培养基，



A、B 和 C 分别表示始花期、盛花期和末花期。
A, B and C represent the initial flowering period, the peak flowering period and the final flowering period, respectively.

图 1　春花油茶开花情况
Fig. 1　Flowering status of different individual plants

待花粉干燥后用毛笔蘸取花粉均匀撒播至培养基表面，放入光照培养室（25 ℃）培养 4 h，随后将培养基取出在 Olympus BX-51 光学显微镜下观察并统计花粉活力（“拟花粉”不具备萌发活力，不能萌发出花粉管，在进行花粉活力测定时剔除不具备雄配子体功能的“拟花粉”）。花粉活力 = 已萌发的花粉粒数 / 花粉粒总数 ×100%。

1.6　果实经济性状及油脂品质分析

每株油茶随机选取 10 个果实样本，果实经济性状的测定及计算方法如下：使用游标卡尺分别测量果实的纵径与横径；果形指数为果实横径与纵径的比值；在果实中部位置测量果皮厚度（精确至 mm）；鲜出籽率 =（鲜籽质量 / 鲜果质量）×100%；干出籽率 =（干籽质量 / 鲜籽质量）×100%，并取平均值；出仁率 =（烘干仁质量 / 烘干籽质量）×100%。油脂提取采用索氏提取法 [12]；参照袁德义等 [12] 的方法，制备茶油脂肪酸甲酯，采用气相色谱法测定脂肪酸组成，并依据峰面积归一化法 [13] 计算各脂肪酸组分的相对含量。由于部分植株未结果，本研究仅对其亲本及 16 株春花油茶进行果实经济性状与油脂品质分析。

1.7　数据处理

2025 年 1—4 月，每天记录花期，并将花期日期型数据转换为数值型数据，计算单株花期，即从第 1 朵花开至最后 1 朵花开的花期总和。利用 SPSS 29.0 软件对春花油茶及亲本进行相关性分析、差异性分析以及主成分分析。利用 GraphPad Prism 9.5.1、Photoshop 2023 和 Origin 2024 软件作图。

2　结果与分析

2.1　花期统计及分析

本研究结果显示，母本 YZ2 具有春天开花特性（2 月中下旬至 3 月初进入盛花期），而父本 DY2 冬季开花。本研究对 27 株春花油茶及其亲本的花期进行了系统观测 [14]，结果显示，不同植株的始花期、盛花期及末花期存在显著差异（表 1）。其中，YD21 的始花期最早，YD26 的盛花期持续时间最长（32 d），而 YD3、YD21 和 YD27 的末花期最晚。

27 株春花油茶单花开放时间可持续 6 ～ 8 d，开花过程可以分为 5 个时期，分别为花蕾期、初开期、盛开期、衰落期以及凋谢期。花蕾期的花蕾呈长圆形，萼片松动，柱头绿色，花药未散粉（图 2A）；初开期为开花第 1 ～ 2 天，花瓣逐渐张开，花药部分裂开并开始散粉，蜜腺分泌花蜜（图 2B ～ E）；盛开期为开花第 3 ～ 4 天，花瓣完全张开，产生大量花蜜，花药呈金黄色，柱头黄绿色（图 2F ～ J）；衰落期为开花第 5 ～ 6 天，花瓣脱落，花丝枯萎，柱头颜色加深（图 2K ～ O）；凋谢期为开花第 7 ～ 8 天，花器官完全脱落，仅存褐色花柱（图 2P ～ T）。

2.2　花器官形态比较

本研究对 27 株春花油茶及其亲本的花器官形态进行了系统测定（图 3）。春花油茶花器官各性状表现出丰富的多样性：花柱数为 3 ～ 5 裂，变化较大；花瓣数为 5 ～ 10 瓣，相对稳定。花冠直径最大的为 YD22（89.56 mm），YD3（86.47 mm）

表 1　春花油茶与亲本花期统计
Table 1　Statistics of flowering period of spring-flowering *Camellia oleifera* and its parents

编号 Code	始花期 Initial flowering period	盛花期 Peak flowering period	末花期 Final flowering period
YZ2	2025 年 2 月 16 日	2025 年 3 月 1 日	2025 年 3 月 16 日
DY2	2025 年 11 月 22 日	2025 年 12 月 4 日	2025 年 12 月 28 日
YD1	2025 年 2 月 13 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 11 日
YD2	2025 年 2 月 8 日	2025 年 2 月 20 日	2025 年 3 月 7 日
YD3	2025 年 2 月 16 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 20 日
YD4	2025 年 2 月 6 日	2025 年 2 月 20 日	2025 年 3 月 11 日
YD5	2025 年 2 月 13 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 9 日
YD6	2025 年 2 月 6 日	2025 年 2 月 13 日	2025 年 3 月 12 日
YD7	2025 年 2 月 16 日	2025 年 2 月 26 日	2025 年 3 月 20 日
YD8	2025 年 2 月 13 日	2025 年 3 月 1 日	2025 年 3 月 8 日
YD9	2025 年 2 月 7 日	2025 年 2 月 26 日	2025 年 3 月 9 日
YD10	2025 年 2 月 13 日	2025 年 2 月 23 日	2025 年 3 月 5 日
YD11	2025 年 2 月 18 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 19 日
YD12	2025 年 2 月 10 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 7 日
YD13	2025 年 2 月 13 日	2025 年 2 月 26 日	2025 年 3 月 11 日
YD14	2025 年 2 月 7 日	2025 年 2 月 23 日	2025 年 3 月 11 日
YD15	2025 年 2 月 5 日	2025 年 2 月 21 日	2025 年 3 月 8 日
YD16	2025 年 2 月 16 日	2025 年 2 月 26 日	2025 年 3 月 9 日
YD17	2025 年 2 月 16 日	2025 年 2 月 26 日	2025 年 3 月 20 日
YD18	2025 年 2 月 6 日	2025 年 2 月 18 日	2025 年 3 月 6 日
YD19	2025 年 2 月 13 日	2025 年 2 月 23 日	2025 年 3 月 9 日
YD20	2025 年 2 月 4 日	2025 年 2 月 16 日	2025 年 3 月 6 日
YD21	2025 年 1 月 16 日	2025 年 2 月 10 日	2025 年 2 月 20 日
YD22	2025 年 2 月 4 日	2025 年 2 月 19 日	2025 年 3 月 1 日
YD23	2025 年 2 月 16 日	2025 年 3 月 6 日	2025 年 3 月 15 日
YD24	2025 年 2 月 6 日	2025 年 2 月 23 日	2025 年 3 月 13 日
YD25	2025 年 2 月 8 日	2025 年 2 月 28 日	2025 年 3 月 16 日
YD26	2025 年 2 月 9 日	2025 年 2 月 15 日	2025 年 3 月 19 日
YD27	2025 年 2 月 11 日	2025 年 2 月 19 日	2025 年 3 月 1 日

和 YD27（82.01 mm）次之，说明 YD22、YD3 和 YD27 符合大型花标准。此外，雄蕊数、雄蕊长、花柱长等性状在不同植株间也存在明显差异。

进一步对花器官性状进行相关性分析（图 4）可知，花瓣数与花柱数呈极显著正相关（$P < 0.01$），花冠直径与花柱长度呈极显著正相关（$P < 0.01$），表明花器官发育可能存在协同调控机制。花柱数与雄蕊长呈显著正相关（$P < 0.05$），花柱长与雄蕊数呈极显著正相关（$P < 0.01$），这一结果反映了传粉适应性状的协同进化。

2.3　花粉数量和活力

如图 5A 所示，春花油茶单个花药花粉数量为 2 188.89 ～ 12 500.00，其中 YD20 花粉数量为 2 188.89，显著低于其他春花油茶植株；YD16 花粉数量最高，显著高于其他植株。花粉数量在不同植株间的显著差异，反映春花油茶在花粉生产能力上的遗传多样性，可能与不同植株的生长发育特性、遗传背景以及环境适应性等多种因素有关。如图 5B、C 所示，单个花药“拟花粉”数量为 522.22 ～ 3 522.22，YZ2、DY2 的花粉和“拟花粉”比值分别为 5、3，大部分春花油茶花粉和“拟花粉”比值为 3。如图 5D 所示，27 株春花油茶及其亲本花粉活力为 35.35% ～ 83.31%，YD17 花粉活力最高（83.31%），YD5 花粉活力最低（35.35%），花粉平均活力较高，达到 60.24%，符合人工授粉的需求。

2.4　果实经济性状及油脂品质分析

2.4.1　果实经济性状分析

为筛选出春花油茶的优异种质，对 27 株春花油茶果实的出籽率、出油率等经济性状进行分析。如图 6 所示，YD3 的果实横径与纵径均高于其他春花油茶植株，YD1 果实横径和纵径均最小。春

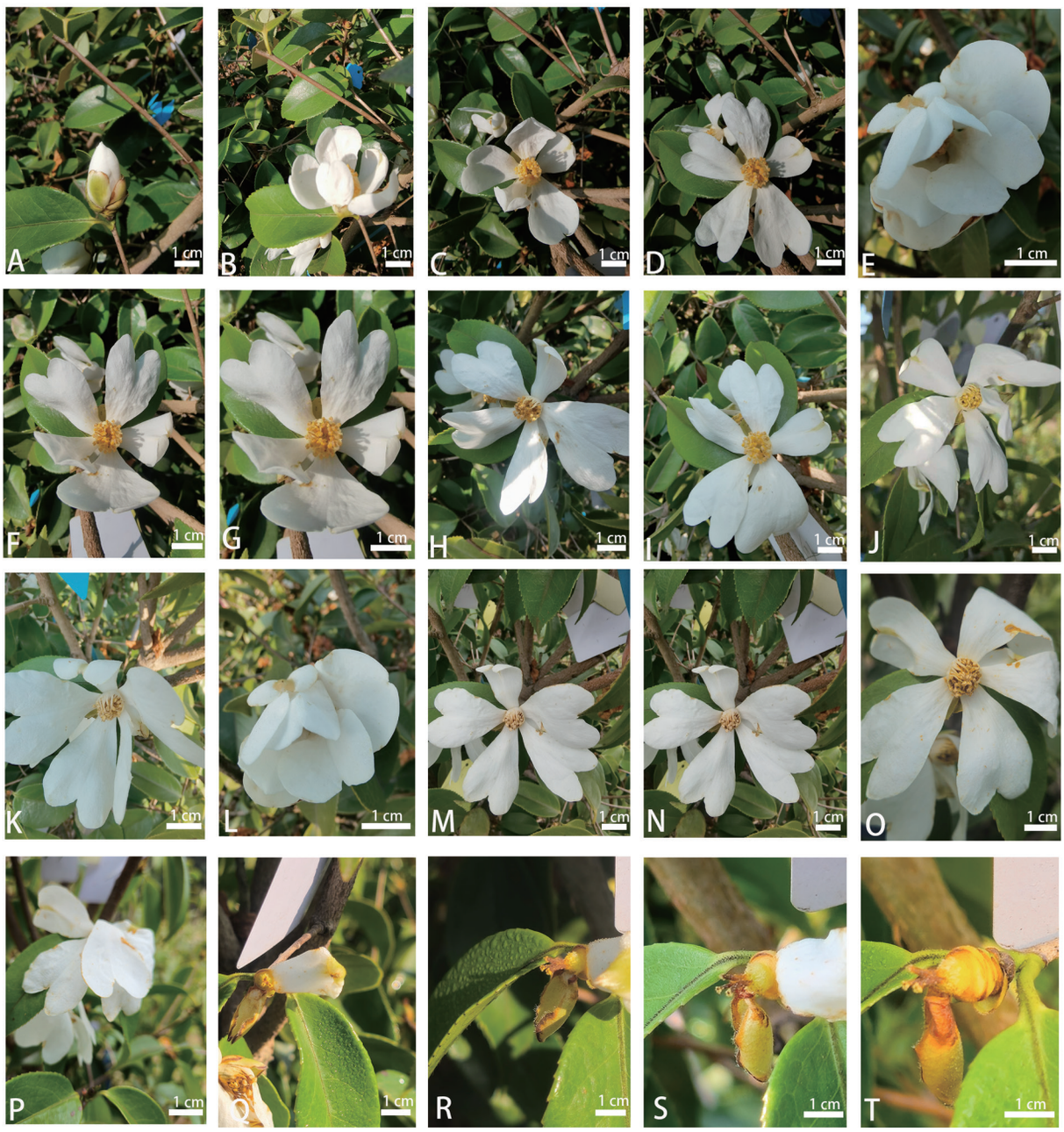


图 2　春花油茶单花开放进程

Fig. 2　The process of opening a single flower of *Camellia oleifera* in spring

花油茶及父母本果形指数为 0.98，呈正球形。春花油茶及父母本鲜出籽率平均值为 53.13%，其中 YD17 鲜出籽率最高（63.31%），均高于父母本及其他春花油茶植株。干出籽率、出仁率、种仁含油率平均值分别为 34.38%、72.05%、45.03%。各性状中，出仁率在不同植株间表现相对稳定，而果皮厚度差异最为显著。此外，YD6 果实较小，果实纵径为（18.94±2.30）mm，果实横径为（18.79±3.71）mm；果皮最薄，为（1.32±0.31）mm；鲜出籽率（52.99%）和种仁含油率（51.17%）均显著高于亲本。结果表明，果皮厚度是影响出籽率的关键因素。

2.4.2　油脂品质分析

研究对春花油茶及其亲本油脂的棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸及花生烯酸等脂肪酸组成进行了系统分析（图 7）。结果显示，杂交子代群体在不饱和脂肪酸及油酸含量上表现突出，其中亚麻酸含量在不同植株间差异较大，表明其具有显著选育潜力；其他脂肪酸组分相对稳定。油酸是茶油中占比最高的不饱和脂肪酸（73.99% ～ 79.77%），直接影响油脂的营养价值和氧化稳定性。YD11 油酸含量最高（79.77%），显著高于亲本 DY2（73.99%）和 YZ2（74.02%），且接近‘广宁红花油茶’的油酸

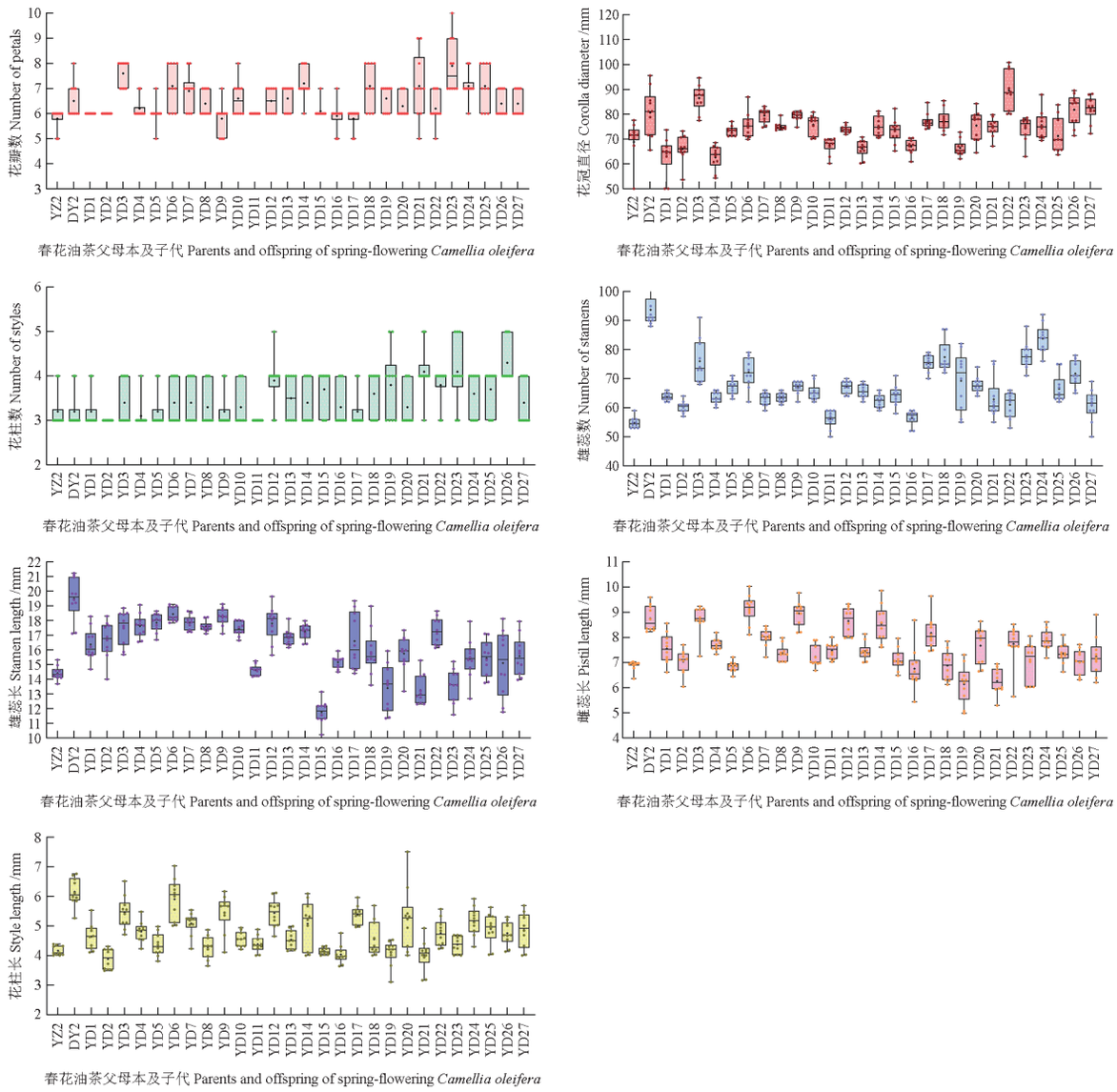
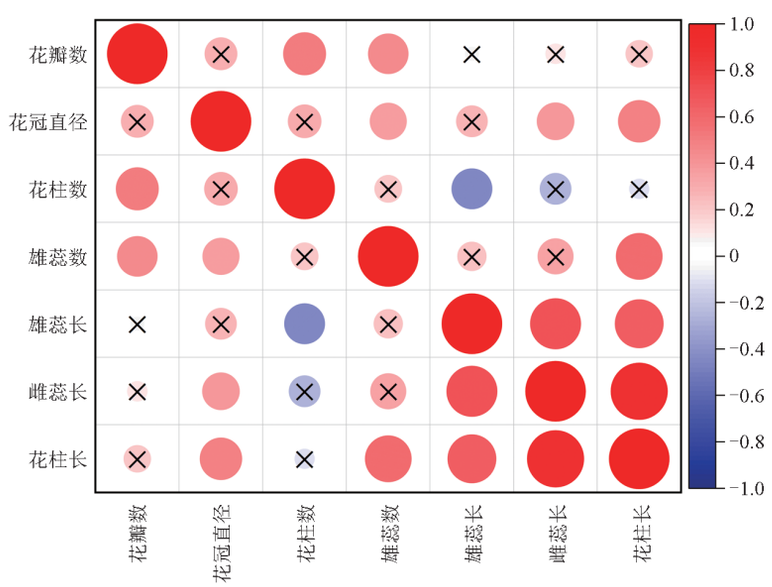


图 3　春花油茶及亲本花器官形态比较

Fig. 3　Comparison of organ morphology between *C. oleifera* and parental flowers



× 表示相关性不显著。× indicates that the correlation is not significant.

图 4　春花油茶及亲本花器官相关性分析

Fig. 4　Correlation analysis of *C. oleifera* and parental flower organs

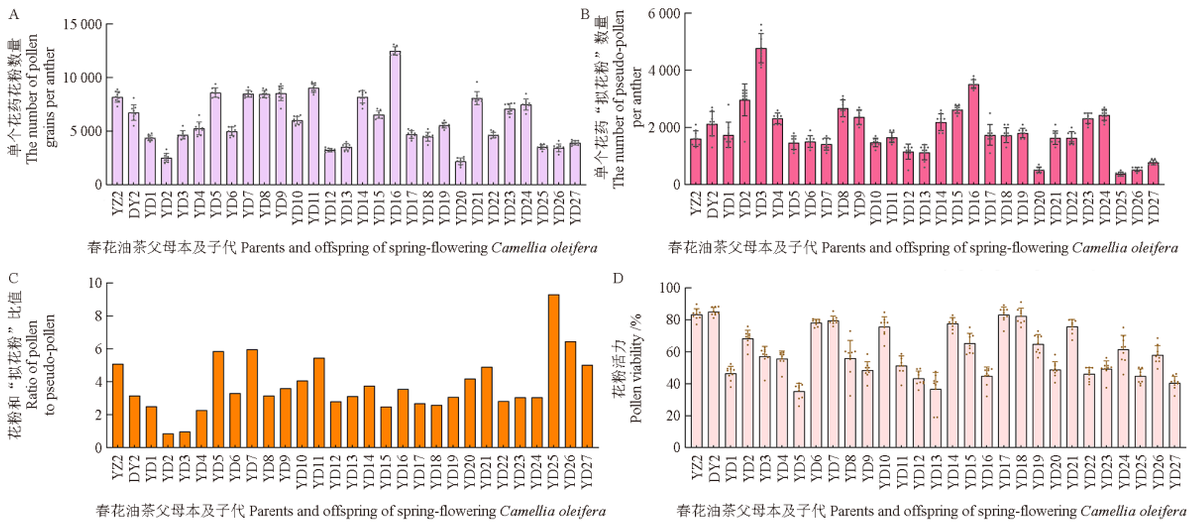


图 5 春花油茶及亲本花粉数量和活力

Fig. 5 Pollen number and vigor of *C. oleifera* and its parents

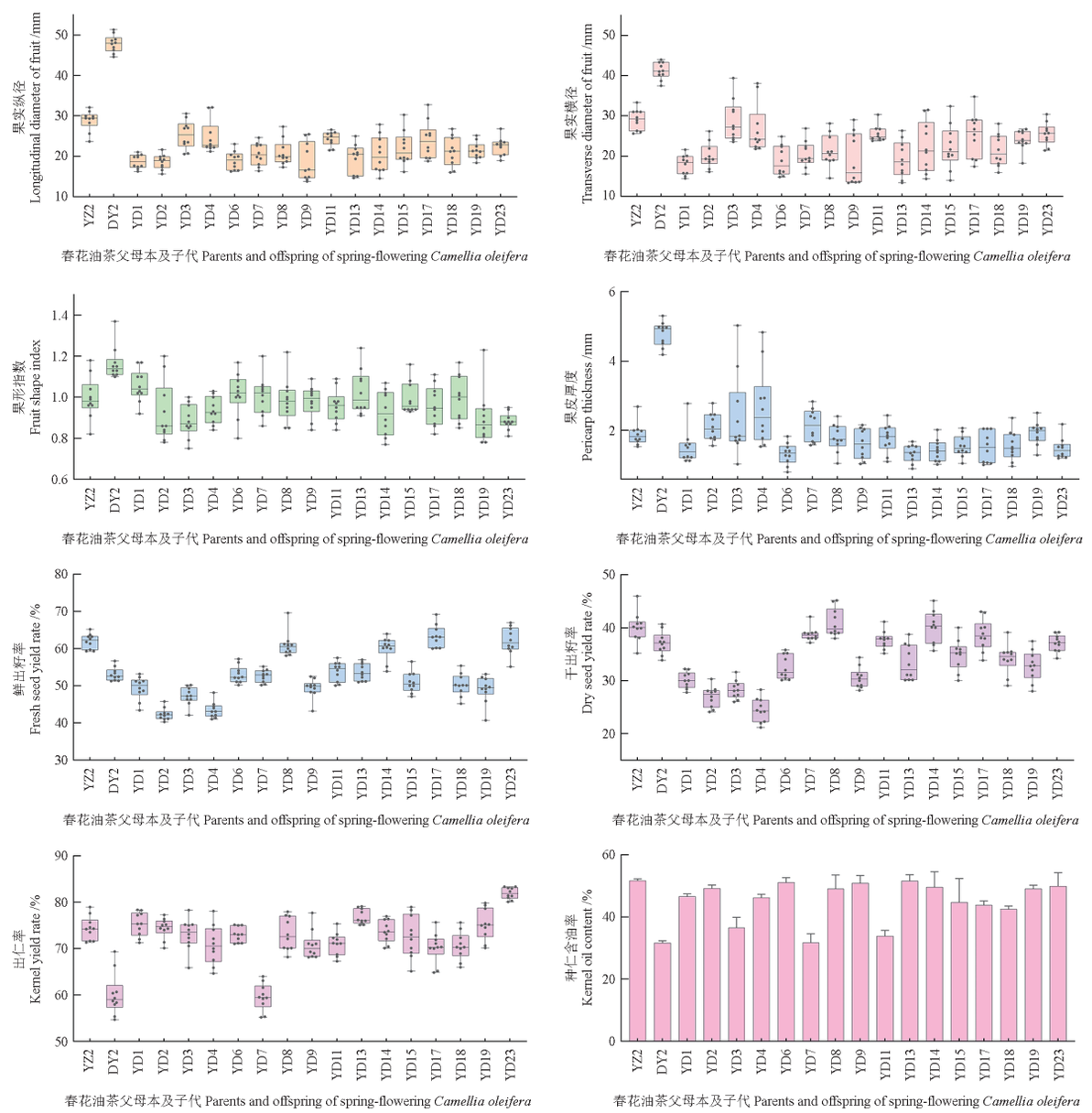


图 6 春花油茶及父母本果实经济性状分析

Fig. 6 Analysis of economic traits of fruits of spring flowering *Camellia oleifera* and its parents

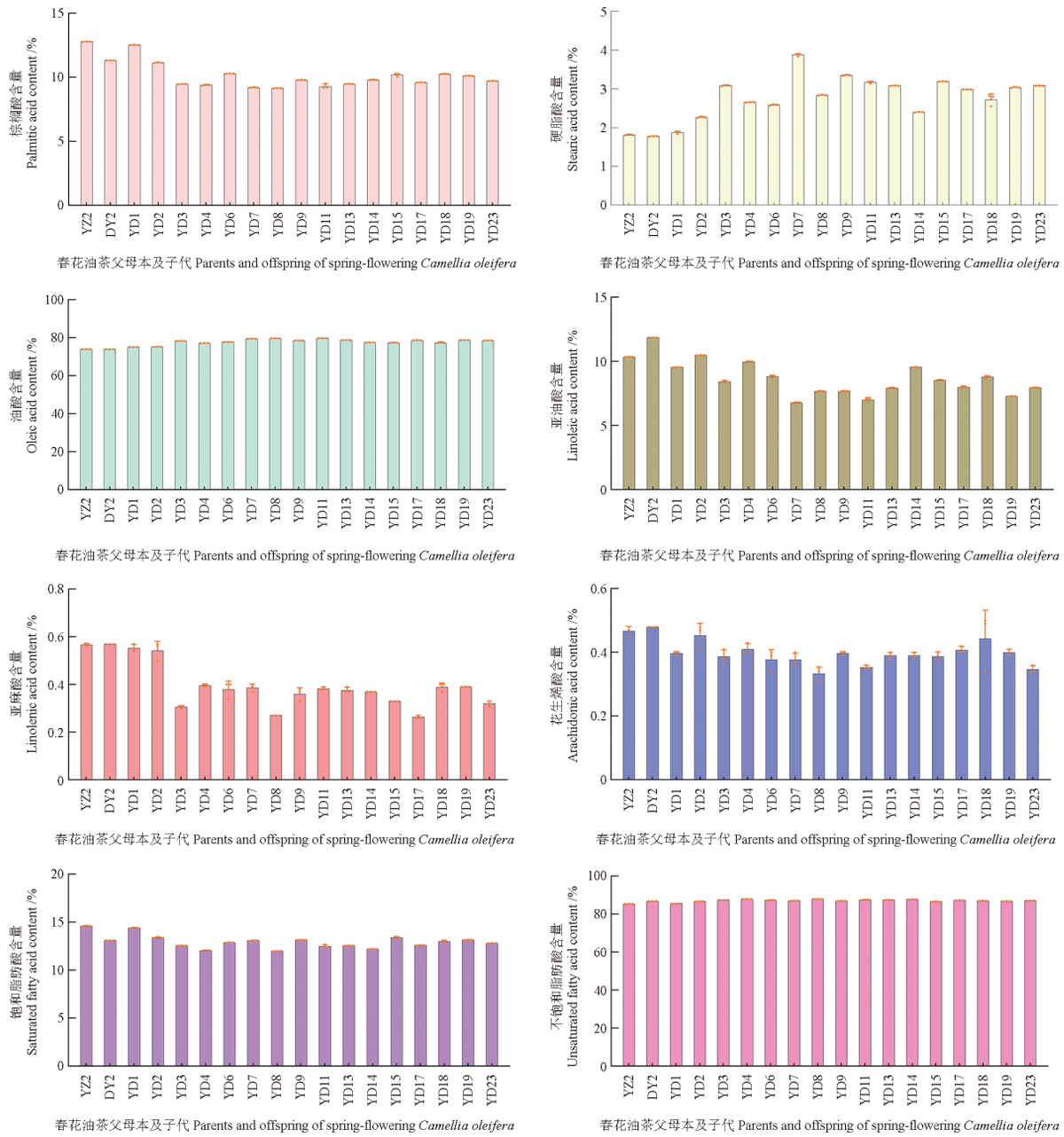


图 7　春花油茶及父母本油脂中脂肪酸组分含量

Fig. 7　Content of fatty acid components in *C. oleifera* and parental oils

含量（＞ 80%）。此外，YD8（79.74%）、YD7（79.54%）和 YD17（78.74%）等植株油酸含量均显著高于亲本（$P < 0.05$），表明春花油茶杂交子代在油酸积累方面具有遗传优势。不饱和脂肪酸含量为 85.40% ～ 88.01%，其中 YD8（88.01%）、YD4（87.95%）和 YD11（87.51%）表现最佳。亚油酸和亚麻酸作为功能性成分，其含量与油酸含量呈负相关，例如 YD7 亚油酸含量最低（6.78%），但油酸含量高达 79.54%，符合高油酸茶油的品质标准。饱和脂肪酸含量为 11.99% ～ 14.60%，以棕榈酸（9.15% ～ 12.79%）和硬脂酸（1.78% ～ 3.88%）为主。YD8 饱和脂肪酸含量最低（11.99%），不饱和脂肪酸含量最高（88.01%），体现其优质的油脂特性。

2.4.3　春花油茶及其亲本主成分分析

对春花油茶及其亲本进行主成分分析（表 2），提取出 3 个主成分，主成分 1 特征值为 5.31，贡献率达 44.21%；主成分 2 特征值为 2.78，贡献率为 23.14%；主成分 3 特征值为 1.85，贡献率为 15.41%；累计贡献率达 82.76%，表明 3 个主成分能较好地反映原始数据的大部分信息。

从表 2 可以看出，主成分 1 与果皮厚度、花生烯酸、油酸、亚油酸、果实纵径、亚麻酸、果实横径等性状密切相关，说明主成分 1 主要反映了果实形态和脂肪酸组成方面的特征。其中，果皮厚度和果实纵横径影响果实大小和出籽率，而脂肪酸组成

表 2 春花油茶及其亲本主成分特征值和贡献率
Table 2 Eigenvalues and contribution rates of *C. oleifera* and its parental principal components

性状 Trait	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3
果皮厚度 Pericarp thickness	0.84	0.40	−0.23
花生烯酸 Eicosenoic acid	0.84	−0.30	0.06
油酸 Oleic acid	−0.84	0.47	−0.22
亚油酸 Linoleic acid	0.83	−0.31	0.11
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	0.83	0.47	0.14
亚麻酸 Linolenic acid	0.78	−0.45	0.09
果实横径 Fruit transverse diameter	0.75	0.49	0.13
种仁含油率 Kernel oil content	−0.39	−0.69	0.35
出仁率 Kernel yield rate	−0.50	−0.57	0.29
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid	−0.43	0.55	−0.35
鲜出籽率 Fresh seed yield rate	−0.23	0.39	0.88
干出籽率 Dry seed yield rate	−0.11	0.55	0.76
特征值 Eigenvalue	5.31	2.78	1.85
贡献率 Contribution rate /%	44.21	23.14	15.41
累计贡献率 Cumulative contribution rate /%	44.21	67.35	82.76

则关系到油脂品质。主成分 2 与种仁含油率、出仁率、不饱和脂肪酸含量、干出籽率等性状相关。这些指标体现了果实的经济性状和油脂质量，反映出主成分 2 侧重于果实的经济价值和油脂特性。主成分 3 在鲜出籽率上有较高载荷，而鲜出籽率是衡量油茶果实经济性状的重要指标之一，说明主成分 3 在一定程度上反映果实的出籽能力。

3 讨 论

本研究通过对‘攸杂 2’×‘德油 2 号’杂交子代中 27 株春花油茶优株的花期特性、花器官形态、花粉质量、果实经济性状及油脂品质进行系统观测，揭示了春花油茶在春季开花背景下的独特生物学特性。本研究结果不仅为油茶春花型良种选育提供了理论依据，也丰富了木本油料植物开花结实的生态适应机制研究。在花期性状与坐果潜力方面，子代群体花期分离显著，27 株油茶植株在春季开花，这与李楠昕 [14] 的研究结果一致；谢胤等 [9] 研究发现，晚花期类型通常具有更高的坐果率，这可能与晚花期既避开了早春低温，又与昆虫活动频繁的时期相重合有关。因此，本研究中末花期较晚的 YD3、YD7、YD11 和 YD17 可能具备高产潜力，未来需结合坐果率进一步验证。此外，27 株优株连续 3 年稳定春季开花，表明春花性状的遗传稳定性较强，这与父本 DY2 冬季开花、母本 YZ2 春季开花的遗传背景一致，暗示春花性状可能受主效基因调控，为后续分子标记定位奠定了表型基础。

春花油茶花器官的协同进化与传粉适应性表现突出，其性状呈现出显著的遗传多样性。其中 YD22 花冠直径最大（89.56 mm），符合虫媒花特征 [15]。相关性分析结果显示，花瓣数与花柱数、花冠直径与花柱长均呈极显著正相关（$P < 0.01$），反映花器官发育的协同调控机制。这种协同进化可能通过吸引传粉昆虫（如蜜蜂）提高授粉效率 [16]，进而间接提高产量。这或许是春花油茶对春季传粉环境的一种适应策略：春季气温虽有回升，但昆虫种类较少，通过花器官形态的协同优化，能够提高对有限传粉者的吸引力。这与 Brunet 等 [16] 提出的“花性状协同进化可提高传粉效率”理论相契合。在花粉特性与育种价值方面，YD17 花粉活力最高（83.31%），且存在“拟花粉”现象。拟花粉虽无萌发能力，但可能通过欺骗传粉者促进异交 [17]，这与油茶繁育系统偏向专性异交的特性一致。YD17 的高花粉活力及高鲜出籽率优势，表明其具备优质父本的潜力。

春花油茶果实性状整体偏向母本‘攸杂 2’（果小皮薄），但部分优株突破了亲本限制：YD6 果皮最薄（1.32 mm），鲜出籽率（52.99%）和种仁含油率（51.17%）均显著优于亲本，说明果皮厚度是影响出籽率的关键因子，这与张路红等 [18] 的研究结果一致。而 YD17 虽果实中等，鲜出籽率却最高（63.31%），说明小果类型可通过优化果皮和籽实的占比实现高产，这与普通油茶“大果未必高产”的现象相对应，为“小果高油”的育种方向提供了实证支撑。油脂品质方面，YD11 油酸含量达 79.77%，接近‘广宁红花油茶’的优质水平，且不饱和脂肪酸占比达 87.51%，凸显了杂交子代在脂肪酸积累上的遗传优势。这一结果与高油酸茶油的品质标准高度契合，表明春花油茶在功能性油脂开发领域具有良好的潜力。综上所述，春花油茶优株在花期适配性、传粉效率及果实经济性状上表现出显著优势，其中 YD3、YD7、YD17 可作为核心种质用于春花型良种选育。本研究不仅丰富了油茶育种的资源库，还为理解木本植物春季开花的生态适应策略提供了新视角。

4 结 论

花期调控与高产潜力：晚花期类型（如 YD3、YD7）可能具备高坐果率潜力，花期性状分离为抗逆育种提供材料基础。

优株综合表现：YD17 花粉活力（83.31%）、

鲜出籽率（63.31%）及油酸含量（78.74%）均表现突出，是理想的父本资源；YD3 和 YD7 在果实大小与油酸含量上表现优异。

育种方向：推荐 YD3、YD7、YD17 作为核心种质，用于培育春季开花、果皮薄、出籽率高且油酸含量高的春花油茶新品种。

未来研究需解析“拟花粉”的生态功能（如 YD5 低活力机制），并结合分子标记定位花冠直径和油酸含量的调控基因，优化回交育种策略。

参考文献：

[1] 陈永忠 . 我国油茶科技进展与未来核心技术 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2023,43(7):1-22.
Chen Y Z. Scientific and technological progress and future core technologies of oil tea *Camellia* in China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(7):1-22.

[2] 廖书娟 , 吉当玲 , 童华荣 . 茶油脂肪酸组成及其营养保健功能 [J]. 粮食与油脂 ,2005,18(6):7-9.
Liao S J, Ji D L, Tong H R. Study on fatty acid composition and nutrition health protection function of the oiltea *Camellia* seed oil[J]. Journal of Cereals & Oils,2005,18(6):7-9.

[3] 马力 , 陈永忠 . 茶油的功能特性分析 [J]. 中国农学通报 ,2009,25(8):82-84.
Ma L, Chen Y Z. Analyzed *Camellia* oil of function characteristics[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2009,25(8):82-84.

[4] 谭晓风 . 油茶分子育种研究进展 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2023,43(1):1-24.
Tan X F. Advances in the molecular breeding of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(1):1-24.

[5] 贺桂先 , 李林松 , 徐林初 , 等 . 油茶的生长特性及其功能价值 [J]. 江西林业科技 ,2007,35(4):39-42.
He G X, Li L S, Xu L C, et al. Growth characteristic and function value of *Camellia oliefera*[J]. Jiangxi Forestry Science and Technology,2007,35(4):39-42.

[6] 房华 , 石卓功 . 基于 CiteSpace 的油茶研究现状与热点分析 [J]. 经济林研究 ,2025,43(4):264-275.
Fang H, Shi Z G. Current status and hotspot analysis of *Camellia oleifera* research based on CiteSpace[J]. Non-wood Forest Research,2025,43(4):264-275.

[7] Gao J, Ma L, Ma J, et al. Camellia (*Camellia oleifera* Abel.) seed oil regulating of metabolic phenotype and alleviates dyslipidemia in high fat-fed mice through serum branch-chain amino acids[J]. Nutrients,2022,14:2424.

[8] Liu X H, Jia L Y, Gao Y, et al. Anti-inflammatory activity of total flavonoids from seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. Acta Biochimica et Biophysica Sinica,2014,46:920-922.

[9] 谢胤 , 曹永庆 , 余祖华 , 等 . 腾冲红花油茶花期物候对坐果率和产量的影响 [J]. 林业与环境科学 ,2020,36(6):40-47.
Xie Y, Cao Y Q, Yu Z H, et al. Effect of flowering phenophase on fruitset ratio and yield of *Camellia reticulata*[J]. Forestry and Environmental Science,2020,36(6):40-47.

[10] 梁立峰 . 果树栽培学实验实习指导 : 南方本 [M].2 版 . 北京 : 中国农业出版社 ,1996.
Liang L F. Guidance on experimental practice of fruit tree cultivation: southern edition[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press,1996.

[11] 袁德义 , 谭晓风 , 胡青素 , 等 . 油茶花粉特性及其不同贮藏条件下生活力的研究 [J]. 浙江林业科技 ,2008,28(5):66-69.
Yuan D Y, Tan X F, Hu Q S, et al. Study on *Camellia* pollen characteristics and the vitality under different storage conditions[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology,2008,28(5):66-69.

[12] 袁德义 , 彭邵锋 , 邹锋 , 等 . 油茶种子脂肪酸与游离氨基酸的分析 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2011,31(1):77-79,85.
Yuan D Y, Peng S F, Zou F, et al. Fatty acid and amino acid composition of *Camellia oleifera* seeds[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2011,31(1):77-79,85.

[13] 袁军 , 韩志强 , 贺舍予 , 等 . 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, et al. Investigation and cluster analysis of main morphological and economical characters for oiltea resource in Hainan Province[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2014,15(6):1380-1384.

[14] 李楠昕 . 油茶 ‘ 攸杂 2’×‘ 德油 2 号 ’ 杂交子代主要性状分析与评价 [D]. 长沙 : 中南林业科技大学 ,2024:23-27.
Li N X. Analysis and evaluation of main characters of hybrid progeny of *Camellia oleifera* Abel. Youza 2×Deyou 2[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology,2024:23-27.

[15] Abe T. Threatened pollination systems in native flora of the Ogasawara (Bonin) islands[J]. Annals of Botany,2006,98(2):317-334.

[16] Brunet J, Sweet H R. Impact of insect pollinator group and floral display size on outcrossing rate[J]. Evolution,2006,60(2):234-246.

[17] 陈雅 , 袁德义 , 李艳民 , 等 . 油茶杂交 F_1 代开花、授粉和坐果的特性 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版),2020,49(4):440-446.
Chen Y, Yuan D Y, Li Y M, et al. Floral morphological and breeding characteristics of the F_1 generation of *Camellia*[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition),2020,49(4):440-446.

[18] 张路红 , 资超成 , 吴伟 , 等 . 10 个广西主栽油茶果实经济性状对比研究 [J]. 中国粮油学报 ,2025,40(1):97-103.
Zhang L H, Zi C C, Wu W, et al. Fruit economic traits of 10 main *Camellia* varieties from Guangxi[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2025,40(1):97-103.

[本文编校：戴欧琳]