安徽农业大学学报, 2026, 53(4): 557-564
Journal of Anhui Agricultural University [DOI] 10.13610/j.cnki.1672-352x.20260910.001

李竑逵，刘洲莹，张运煜，等. 5 个主推‘长林’油茶品种的杂交结实特性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2026, 53(4): 557-564.
Li Hongkui, Liu Zhouying, Zhang Yunyu, et al. Study on the hybrid fruiting characteristics of five main promoted varieties of ‘Changlin’ *Camellia oleifera*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2026, 53(4): 557-564.

5 个主推‘长林’油茶品种的杂交结实特性研究

李竑逵[1]，刘洲莹[2]，张运煜[3]，刘　娟[1]，储双双[1]，刘永康[4]，胡冬南[1*]
(1. 亚热带森林资源培育江西省重点实验室/江西农业大学林学院，江西 南昌 330045；2. 柳州市园林科学研究所，广西 柳州 545000；3. 新余市林业发展服务中心，江西 新余 336500；4. 江西星火生物科技有限公司，江西 宜春 336000)

摘　要：【目的】针对江西省主推的 5 个长林油茶品种，通过杂交试验探究各组合结实特性，优化品种配置方案，为油茶品种配置提供科学依据。【方法】以‘CL4’、‘CL40’和‘CL53’为母本，‘CL4’、‘CL40’、‘CL53’、‘CL18’和‘CL3’为父本，构建 15 个人工授粉组合，于盛花期进行人工授粉及套袋处理，次年调查坐果结实率及落果率，测定果实形态指标和经济性状，利用主成分分析综合评价各组合表现。【结果】在结实特性中，以‘CL53’为母本的杂交组合表现最优，结实率显著高于其他组合，其中‘CL53’×‘CL40’（65.21%）、‘CL53’×‘CL3’（64.17%）和‘CL53’×‘CL18’（56.68%）结实率较高；自交结实率排序为‘CL53’（10.39%）＞‘CL40’（7.53%）＞‘CL4’（1.72%）。在果实品质方面，‘CL53’为母本的异交组合的单果质量、鲜籽质量、鲜果出油率、种仁含油率显著优于自交组合。以‘CL40’为母本的组合中，‘CL3’和‘CL53’作父本时，显著提升果实品质。‘CL4’×‘CL3’的干籽出仁率最优（57.32%）。综合 12 项果实经济性状指标进行评价，‘CL53’×‘CL3’、‘CL53’×‘CL18’、‘CL53’×‘CL40’排名前 3，分值接近且明显高于其他 12 个组合。【结论】‘CL4’、‘CL40’和‘CL53’自交结实率均较低，应配置授粉品种；‘CL53’结实率最高，为优选推荐主栽品种；‘CL40’配置‘CL3’为父本时含油率最高，结实率次之，在‘CL3’为配栽授粉品种时可与‘CL53’一同主栽；长林 5 个品种作父本时，‘CL3’和‘CL53’更优。

关键词：油茶；杂交授粉；品种配置；果实品质；结实率
中图分类号：S794.4　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672–352X (2026)04–0557–08

Study on the hybrid fruiting characteristics of five main promoted varieties of ‘Changlin’ *Camellia oleifera*

Li Hongkui[1], Liu Zhouying[2], Zhang Yunyu[3], Liu Juan[1], Chu Shuangshuang[1], Liu Yongkang[4], Hu Dongnan[1]
(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Subtropical Forest Resource Cultivation/College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Liuzhou Institute of Landscape Science, Liuzhou 545000, China; 3. Xinyu Forestry Development Service Center, Xinyu 336500, China; 4. Jiangxi Xinghuo Biotechnology Co., Ltd., Yichun 336000, China)

Abstract: [Objective] This study investigated the fruiting characteristics of hybrids among five major *Camellia oleifera* ‘Changlin’ varieties in Jiangxi Province to optimize variety configuration and provide a scientific basis for cultivation. **[Method]** Using ‘CL4’, ‘CL40’, and ‘CL53’ as female parents and ‘CL4’, ‘CL40’, ‘CL53’, ‘CL18’, and ‘CL3’ as male parents, 15 artificial pollination combinations were created. Artificial pollination and bagging were conducted during full bloom. The following year, fruit set rate, fruit drop rate, fruit morphological indicators, and economic traits were measured. Principal component analysis was used for comprehensive evaluation. **[Result]** Among the fruiting characteristics, hybrid combinations with ‘CL53’ as the female parent performed best, exhibiting significantly higher seed setting rates than other combinations. Notably, ‘CL53’ × ‘CL40’ (65.21%), ‘CL53’ × ‘CL3’ (64.17%), and ‘CL53’ × ‘CL18’ (56.68%) showed relatively high seed setting rates. The order of self-pollination seed setting rates was ‘CL53’ (10.39%) > ‘CL40’ (7.53%) > ‘CL4’ (1.72%). In terms of fruit quality, outcrossed combinations with ‘CL53’ as the female parent significantly outperformed self-pollinated combinations in

收稿日期：2025-09-05；**录用日期：**2026-04-07；**网络出版日期：**2026-09-10
基金项目：江西省林业局油茶研究专项（YCYJZX〔2023〕121）；江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目（20223BBF61012）；新余市科技计划项目（余科发〔2025〕33 号）
作者简介：李竑逵，硕士研究生，E-mail：qazlhk@163.com
* **通信作者：**胡冬南，博士，教授，E-mail：dnhu98@163.com

single fruit weight, fresh seed weight, fresh fruit oil yield, and seed kernel oil content. For combinations with ‘CL40’ as the female parent, using ‘CL3’ and ‘CL53’ as male parents significantly improved fruit quality. The ‘CL4’ × ‘CL3’ combination achieved the highest dry seed kernel rate (57.32%). A comprehensive evaluation based on 12 economic trait indicators revealed that ‘CL53’ × ‘CL3’, ‘CL53’ × ‘CL18’, and ‘CL53’ × ‘CL40’ ranked first, second, and third, respectively, with closely grouped scores significantly higher than those of the other 12 combinations. **[Conclusion]** The self-pollination fruit set rates of ‘CL4’, ‘CL40’, and ‘CL53’ are relatively low, indicating that pollinator varieties should be configured. ‘CL53’ demonstrates the highest fruit set rate and is recommended as the preferred main cultivar. When ‘CL40’ is configured with ‘CL3’ as the male parent, it achieves the highest oil content and a relatively high fruit set rate, making it suitable as a main cultivar alongside ‘CL53’ when ‘CL3’ is used as the pollinator. Among the five Changlin varieties used as male parents, ‘CL3’ and ‘CL53’ are superior.

Keywords: *Camellia oleifera*; hybrid pollination; variety configuration; fruit quality; seed setting rate

油茶（*Camellia oleifera* Abel.）属山茶科山茶属植物，与油橄榄、油棕、椰子并称为世界四大木本油料植物[1]。油茶是我国南方重要的木本食用油料树种，生态效益和经济效益显著，大力发展油茶产业，已被正式纳入国家粮油安全战略体系，成为保障我国食用油供给安全的重要举措。近年来，我国油茶栽培面积和产量都有所提高，但油茶品种配置不合理现象一直存在[2]，良种表现不尽如人意，其中较为突出的是坐果结实率低，使得茶油产量一直难以取得突破性进展[3-4]。

油茶是雌雄同花、异花授粉植物，生产上一般采用多品种混栽以提高坐果率及油产量。但授粉品种的选择存在较大的盲目性、品种配置模式不清楚，导致平均授粉效率低下，严重影响优良品种的丰产效果[5-6]。大量研究表明，利用油茶优良无性系进行种内杂交可以获得出果大、皮薄、出籽率高、含油率高的杂交果实和种子[7]，而不同油茶品种杂交和自交的亲和程度不同[8-9]，在坐果率、果实质量、种仁含油率等方面也存在显著差异[10-12]，合理配置品种是提高坐果率和产油量的关键措施。在综合考虑各品种的开花物候、花粉量、花粉活力等特征的同时，开展品种间的杂交亲和性研究，可筛选出成果率高、品质好的杂交组合[13]。

目前江西主推油茶良种 15 个，其中长林系列品种 5 个（‘长林 4 号’、‘长林 40 号’和‘长林 53 号’为主栽品种，‘长林 18 号’、‘长林 3 号’为配栽品种）[11,14]，种植面积占 90%以上，品种配置仍缺乏科学依据。本研究以这 5 个长林系列油茶品种为对象，通过人工控制授粉试验，拟筛选出坐果率高、结实好、果实品质优良的主栽品种、授粉品种和适宜杂交组合，以期为江西乃至全国油茶主产区提供科学、精准的良种配置方案，为油茶产业提质增效和高质量发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江西省宜春市袁州区江西星火生物科技公司油茶种质资源库示范基地，地处江西省西北部，东经 113°54′，北纬 27°33′。该地以丘陵、山地为主，属于亚热带季风湿润气候区，全年平均温度为 18～22 ℃，平均年降水量为 1 600 mm。基地地势平缓，土壤为红壤，土层深厚肥沃。油茶于 2010 年种植，初始密度为 2 m × 3 m，2020 年隔株疏伐，调整为 4 m × 3 m；每年 3 月初每株沟施复合肥 0.5 kg，隔年冬季每株深施有机肥 5.0 kg；油茶生长正常，修剪及病虫害防治等措施到位。

1.2 试验材料及授粉组合

试验材料为江西主推品种‘长林 53’、‘长林 40’、‘长林 18’、‘长林 3’和‘长林 4’（代号分别为‘CL53’、‘CL40’、‘CL18’、‘CL3’和‘CL4’），以上述 5 个品种为父本，以‘CL53’、‘CL40’和‘CL4’为母本，构建 15 个组合进行人工授粉试验。在构建的 15 个组合中，以‘CL53’×‘CL53’、‘CL40’×‘CL40’和‘CL4’×‘CL4’作为自交组合。每个组合授粉 100 朵花，重复 3 次。

1.3 采粉和授粉方法

2021 年 11—12 月进行授粉试验，于多云或晴天 9:00—17:00 进行。授粉前，参照文献[15]中采花枝水培的方法收集花粉，花粉均于采集当日使用。盛花期选取全白、含苞欲放的花朵，拨开花瓣后去雄，用棉签授粉，并采用套袋法隔离，以防止花粉污染。自花授粉组合选取含苞欲放的花朵直接套袋，7 d 后去袋。

1.4 研究方法

1.4.1 *授粉后坐果、结实调查* 授粉后的第 2 年（2022 年）对坐果情况进行调查，以 3 月上旬调查的果实数量为坐果数，10 月下旬调查的果实数量为

结实数，计算坐果率、落果率和结实率。公式如下：

坐果率=3 月坐果数量/授粉花朵数量×100%　（1）

落果率=（3 月坐果数量－10 月果实数量）/3 月坐果数量×100%　（2）

结实率=10 月果实数量/授粉花朵数量×100%　（3）

1.4.2 果实性状测定　在果实成熟期随机选取 15 个组合的果实若干个，使用游标卡尺测量果实横径、纵径、鲜果皮厚度，计算纵径与横径的比值（果形指数）；用天平称量单果鲜质量、单果鲜籽质量和单粒籽质量，统计单果结籽数和败育种子数等指标。鲜果用纱布包扎好放入烘箱 105 ℃烘干至恒质量，用天平称量干果皮质量、干籽质量和种仁质量。在油茶果实成熟期，从不同组合中分别随机取出约 0.5 kg 的果样，分袋装好，带回实验室，采用索氏抽提法测定种仁含油率，计算出籽率、出仁率和出油率等指标。公式如下：

鲜果出鲜籽率=鲜籽总质量/鲜果总质量×100%　（4）

鲜果含水率=（鲜果质量－干果质量）/鲜果质量×100%　（5）

鲜果出干籽率=干籽质量/鲜果质量×100%　（6）

干籽出仁率=干仁质量/干籽质量×100%　（7）

种仁含油率=油质量/烘干仁质量×100%　（8）

干籽出油率=种仁出油率×干籽出仁率×100%　（9）

鲜果出油率=干籽出油率×鲜果出干籽率×100%（10）

1.5　试验数据处理与分析

采用 Excel 2019 软件进行数据处理，SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析和主成分分析，Origin 2022 软件进行图表制作。

2　结果与分析

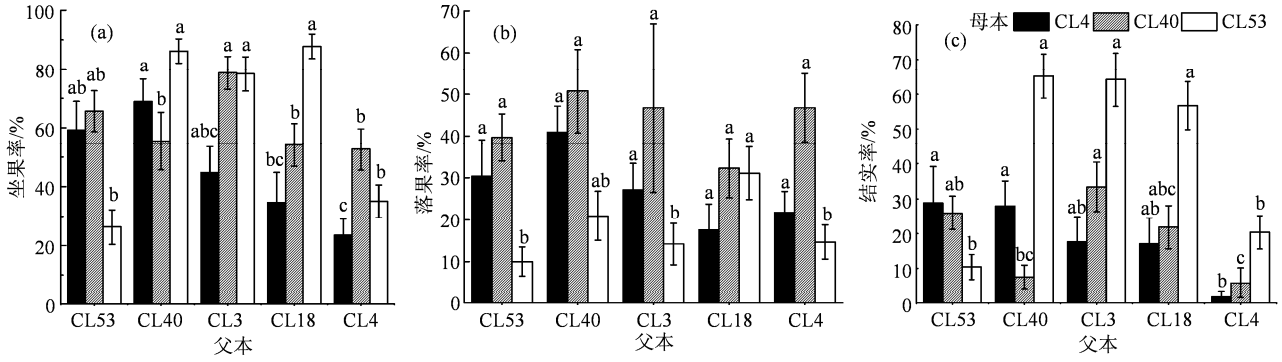
2.1　不同杂交组合的结实特性

2.1.1 坐果率分析　由图 1（a）可知，以‘CL53’、‘CL40’和‘CL4’为母本的 3 个杂交组合平均坐果率存在较大差异，其中‘CL53’较高。同一母本下，父本不同，坐果率存在显著差异，且自花授粉组合的坐果率明显低于异花授粉组合。‘CL4’坐果率最高的父本是‘CL40’，坐果率为 68.90%，显著高于父本为‘CL18’及自交的组合；‘CL40’的父本为‘CL3’时，坐果率最高，为 78.68%，其次是父本为‘CL53’的组合，其他 3 个杂交组合的坐果率明显更低，低于 60.00%；‘CL53’作母本时，‘CL40’、‘CL3’和‘CL18’为父本的组合坐果率均较理想，达到 75%以上，‘CL4’为父本的及自交组合，坐果率分别为 37.58%和 26.33%。

2.1.2 落果率分析　15 个杂交组合 3 月至 10 月的落果率如图 1（b）所示。‘CL40’作母本的杂交组合的总体落果率较高，在 32.29%～50.75%之间，最高的为自交组合，但与各异交组合的差异未达显著水平；‘CL4’作母本的 5 个杂交组合落果率差异也不明显，介于 17.57%～40.90%之间。‘CL53’作母本的杂交组合的落果率差异显著，除‘CL18’父本组合落果率达 31.09%外，其他 4 个杂交组合落果率均在 20.00%以下。

2.1.3 结实率分析　由图 1（c）可知，15 个杂交组合的杂交结实率存在显著差异。母本为‘CL53’的杂交结实率明显更高，是另两个品种的 2 倍以上，其中以‘CL40’、‘CL3’和‘CL18’为父本的结实率分别为 65.21%、64.17%和 56.68%。‘CL40’作母本时，以‘CL3’为父本的组合结实率最高，为 33.70%，其次是以‘CL53’和‘CL18’为父本的组合，结实率分别为 25.98%和 21.85%，另两个父本组合的结实率明显更低，不到 10%。以‘CL4’作母本时，4 个异交授粉组合结实率差异不显著，在 17.12%至 28.83%之间。

15 个杂交组合中，结实率较好的组合为‘CL53’×‘CL40’、‘CL53’×‘CL3’、‘CL53’×‘CL18’，3 个母本的自交结实率均不高，大小排序为‘CL53’（10.39 %）＞‘CL40’（7.53 %）＞‘CL4’（1.72 %）。



图中误差值为标准误；不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（$P<0.05$）。

图 1　15 个杂交组合的坐果率、落果率和结实率

Figure 1　Fruit set rate, fruit drop rate, and seed setting rate of 15 hybrid combinations

2.2 果实性状分析

2.2.1 果实形态分析 表 1 是‘CL53’5 个杂交组合的果实形态指标。父本不同，果实形态指标存在显著差异。以‘CL3’为父本的整体更优良，果实个头更大，结籽数更多，单籽更重；以‘CL18’和‘CL40’为父本的稍差一些；以‘CL4’为父本的及自交组合则多数指标明显较差，单果质量和体积比以‘CL3’为父本的组合低 33.28%以上，单果结籽数和鲜籽质量下降超过 42.78%。

表 2 是以‘CL4’为母本的杂交组合果实形态指标。除鲜果皮厚度和败育种子数无显著差异外，其余果实形态指标均存在显著差异。‘CL40’和‘CL53’父本组合的单果质量、体积和单果鲜籽质量较高，且彼此无显著差异，均高于组合平均值；而‘CL3’和‘CL18’杂交组合的上述 3 个指标明显较低，比‘CL53’父本组合分别低 41.07%、44.72%和 45.83%以上。

表 1 以‘CL53’为母本各杂交组合果实形态指标差异

Table 1 Differences in fruit morphological indicators among various hybrid combinations of ‘Changlin 53’ as the maternal parent

性状	父本					均值
	‘CL3’	‘CL4’	‘CL18’	‘CL40’	‘CL53’	
单果质量/g	24.55±2.22^{a}	8.95±0.81^{c}	22.61±2.52^{a}	20.77±1.96^{ab}	14.53±3.48^{bc}	19.79±1.20
单果体积/mL	23.95±2.35^{a}	11.95±1.80^{b}	26.33±2.65^{a}	24.08±2.17^{a}	15.98±3.89^{b}	21.80±1.26
横径/mm	35.72±1.26^{a}	25.73±1.04^{b}	34.94±1.51^{a}	34.09±1.19^{a}	29.04±2.59^{b}	32.93±0.76
纵径/mm	38.49±1.22^{a}	29.81±1.25^{b}	38.79±1.61^{a}	37.48±1.03^{a}	31.31±2.33^{b}	36.18±0.74
果形指数	1.08±0.09^{b}	1.16±0.03^{a}	1.13±0.02^{ab}	1.10±0.02^{ab}	1.10±0.02^{ab}	1.10±0.10
鲜果皮厚/mm	2.93±0.05^{a}	2.84±0.13^{ab}	2.68±0.05^{b}	2.82±0.04^{ab}	2.93±0.09^{a}	2.84±0.03
单果籽数	5.71±0.57^{a}	1.70±0.21^{c}	5.13±0.54^{ab}	6.16±0.66^{a}	3.60±0.87^{b}	4.89±0.32
单果鲜籽质量/g	12.11±1.35^{a}	3.09±0.41^{c}	11.28±1.63^{ab}	9.60±1.18^{ab}	6.93±2.05^{bc}	9.41±0.72
败育种子数/个	10.14±0.59^{b}	7.50±1.28^{c}	12.60±0.53^{a}	10.37±0.71^{ab}	9.60±0.87^{bc}	10.14±0.59

注：表中误差值为标准误；同一行不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（$P<0.05$）。

表 2 以‘CL4’为母本各杂交组合果实形态指标差异

Table 2 Differences in fruit morphological indicators among various hybrid combinations of ‘Changlin 4’ as the female parent

性状	父本				均值
	‘CL3’	‘CL18’	‘CL40’	‘CL53’	
单果质量/g	5.22±0.93^{b}	5.35±0.67^{b}	8.69±0.77^{a}	9.08±0.86^{a}	7.48±0.45
单果体积/mL	5.03±0.91^{b}	6.03±0.84^{b}	8.80±0.74^{a}	9.10±0.89^{a}	7.68±0.46
横径/mm	19.67±1.19^{b}	20.64±0.99^{b}	24.05±0.85^{a}	24.39±0.88^{a}	22.69±0.52
纵径/mm	25.47±1.40^{b}	25.19±1.07^{b}	29.81±1.04^{a}	29.95±1.07^{a}	28.09±0.61
果形指数	1.30±0.03^{a}	1.23±0.02^{b}	1.24±0.01^{ab}	1.23±0.03^{ab}	1.24±0.01
鲜果皮厚/mm	3.26±0.10^{a}	3.26±0.08^{a}	3.24±0.06^{a}	3.32±0.05^{a}	3.27±0.03
单果籽数	1.60±0.22^{b}	1.74±0.24^{ab}	2.56±0.31^{a}	2.27±0.23^{ab}	2.14±0.14
单果鲜籽质量/g	1.30±0.28^{b}	1.28±0.22^{b}	2.33±0.31^{a}	2.40±0.37^{a}	1.95±0.17
败育种子数/个	7.70±0.54^{a}	7.16±0.75^{a}	7.52±0.76^{a}	7.82±0.75^{a}	7.54±0.38

注：‘CL4’自交组合果实极少，故未列出。表中误差值为标准误；同一行不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（$P<0.05$）。

表 3 显示，以‘CL40’为母本的 5 个杂交组合在纵径、果形指数、鲜果皮厚、单果籽数和单果鲜籽质量上均无显著差异，表明不同授粉品种对这些性状的影响基本一致。其中，父本为‘CL3’的杂交组合其单果质量、鲜果体积、果实横径均显著高于其他组合，而‘CL40’自交组合果实各指标最低，低于平均值，该组合果形指数均值为 1.15，果实呈椭圆形；此外，单果鲜籽质量从大到小排序为：‘CL3’（4.48 g）>‘CL53’（4.04 g）>‘CL18’（2.98 g）>‘CL4’（1.85 g）>‘CL40’（1.65 g）。综合表明，‘CL3’作父本表现最佳，‘CL40’自交最差。

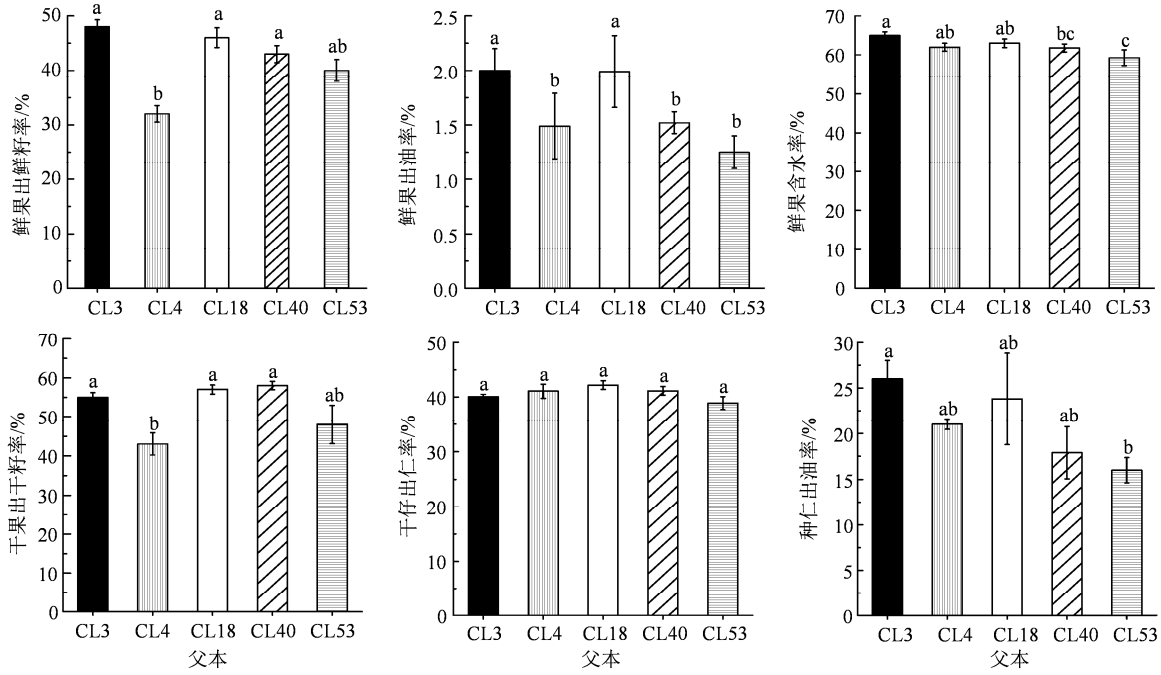
2.2.2 果实经济性状分析 对以‘CL53’为母本的杂交组合果实 6 个经济性状统计结果（图 2）表明，除干籽出仁率外，其余 5 个指标（鲜果出鲜籽率、鲜果含水率、干果出干籽率、种仁出油率、鲜果出油率）均存在显著差异。以‘CL3’、‘CL18’和‘CL40’为父本的组合，其鲜果出鲜籽率与干果出干籽率显著高于以‘CL4’为父本的组合，且三者间无显著差异。自交组合的种仁出油率显著低于‘CL3’父本组合，‘CL4’、‘CL40’父本组合和自交组合的鲜果出油率均显著低于‘CL3’、‘CL18’父本组合。上述结果表明，以‘CL3’和‘CL18’作父本时，‘CL53’的果实经济性状较优。

表 3　以‘CL40’为母本各杂交组合果实形态指标差异

Table 3　Differences in fruit morphological indicators among various hybrid combinations of ‘Changlin 40’as the maternal parent

性状	父本					均值
	‘CL3’	‘CL4’	‘CL18’	‘CL40’	‘CL53’	
单果质量/g	12.64±1.04^{a}	5.96±0.09^{b}	8.47±0.75^{ab}	5.10±1.93^{b}	11.01±1.13^{ab}	10.51±0.63
单果体积/mL	13.46±1.15^{a}	7.35±0.85^{ab}	8.38±0.83^{ab}	5.75±1.90^{b}	11.26±1.08^{ab}	10.96±0.66
横径/mm	27.97±0.83^{a}	22.69±1.50^{ab}	24.48±0.77^{ab}	21.26±2.67^{b}	26.42±1.03^{ab}	26.10±0.56
纵径/mm	31.72±0.82^{a}	26.10±0.01^{a}	28.96±0.81^{a}	25.18±1.32^{a}	29.44±1.65^{a}	29.75±0.70
果形指数	1.14±0.02^{a}	1.16±0.08^{a}	1.19±0.03^{a}	1.22±0.09^{a}	1.12±0.05^{a}	1.15±0.02
鲜果皮厚/mm	3.21±0.04^{a}	2.96±0.03^{a}	3.14±0.06^{a}	3.04±0.11^{a}	3.20±0.04^{a}	3.17±0.03
单果籽数	2.52±0.29^{a}	1.00±0.00^{a}	1.58±0.19^{a}	1.00±0.41^{a}	2.40±0.36^{a}	2.14±0.18
单果鲜籽质量/g	4.48±0.45^{a}	1.85±0.31^{a}	2.98±0.33^{a}	1.65±1.07^{a}	4.04±0.61^{a}	3.74±0.30
败育种子数/个	9.24±0.72^{a}	3.50±0.50^{b}	6.08±0.74^{ab}	4.75±1.18^{b}	6.85±0.62^{ab}	7.29±0.42

注：表中误差值为标准误；同一行不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（P＜0.05）。



图中误差值为标准误；不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（P＜0.05）。

图 2　以‘CL53’为母本各组合经济性状差异

Figure 2　Differences in economic traits among various maternal plant combinations of ‘Changlin 53’

图 3 显示，在‘CL4’为母本的杂交组合中，不同授粉品种对鲜果出籽率和干果出籽率影响不显著，但对鲜果含水率、干籽出仁率、种仁出油率及鲜果出油率均有影响。综合 6 个经济性状指标，以‘CL3’为父本的组合表现均显著优于其他组合，表明‘CL3’是‘CL4’的较佳父本。

图 4 显示，在以‘CL40’为母本的杂交组合中，鲜果含水率均显著低于自交组合；以‘CL3’为父本的组合，其种仁出油率和鲜果出油率显著高于其他组合；以‘CL4’为父本的组合及自交组合的出油率均较低。综合分析表明，‘CL3’作父本时，‘CL40’的果实经济性状最优。

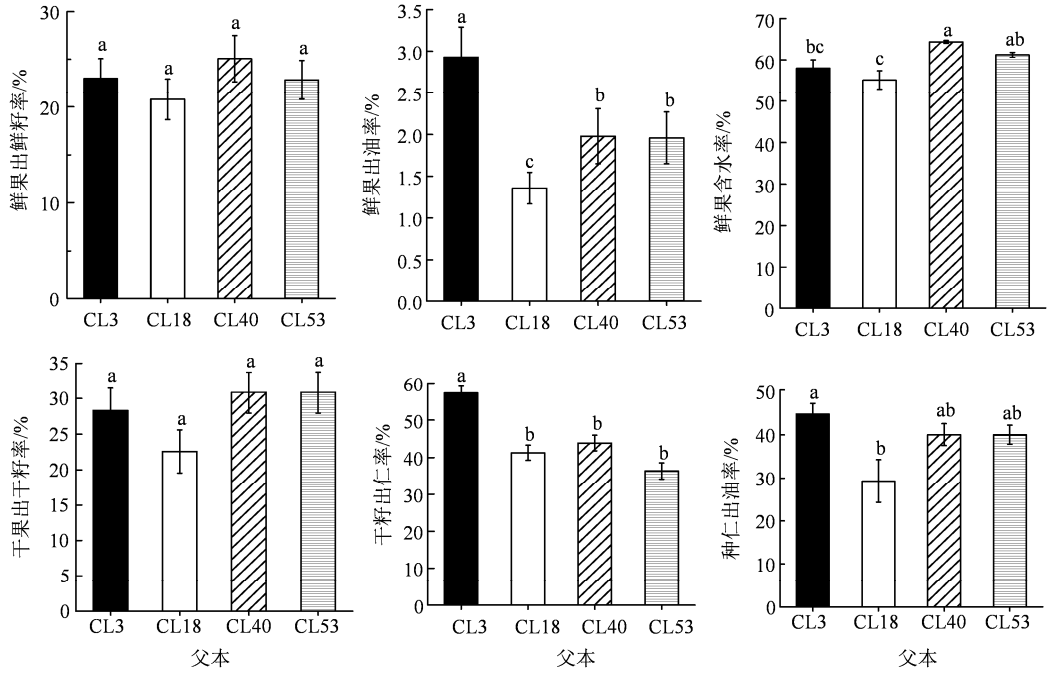
2.3　不同杂交组合果实性状主成分分析

采用 SPSS 对不同杂交组合的果实单果质量、横径、纵径、单果体积、单果鲜籽质量、鲜果出籽率、鲜果出干籽率、干籽出仁率、种仁出油率、鲜果出油率、坐果率、结实率等影响果实形态和质量的 12 个性状指标进行主成分分析，通过 KMO 检验法和 Bartlett 球形检验法进行因子分析的适用性检验。在遵循特征值大于 1 的原则下共提取出 2 个主成分，累计贡献率达到 81.5%。结果说明所提取的 2 个主成分能够代表原来 12 个果实性状指标的信息。

单果体积、单果鲜籽质量、横径、单果质量、鲜果出籽率、干果出籽率、纵径、结实率和坐果率是第

1 主成分的主要贡献者，方差贡献率为 63.6%，鲜果出油率、种仁出油率和干籽出仁率是第 2 主成分的主要贡献者，方差贡献率为 17.9%，具体见表 4。

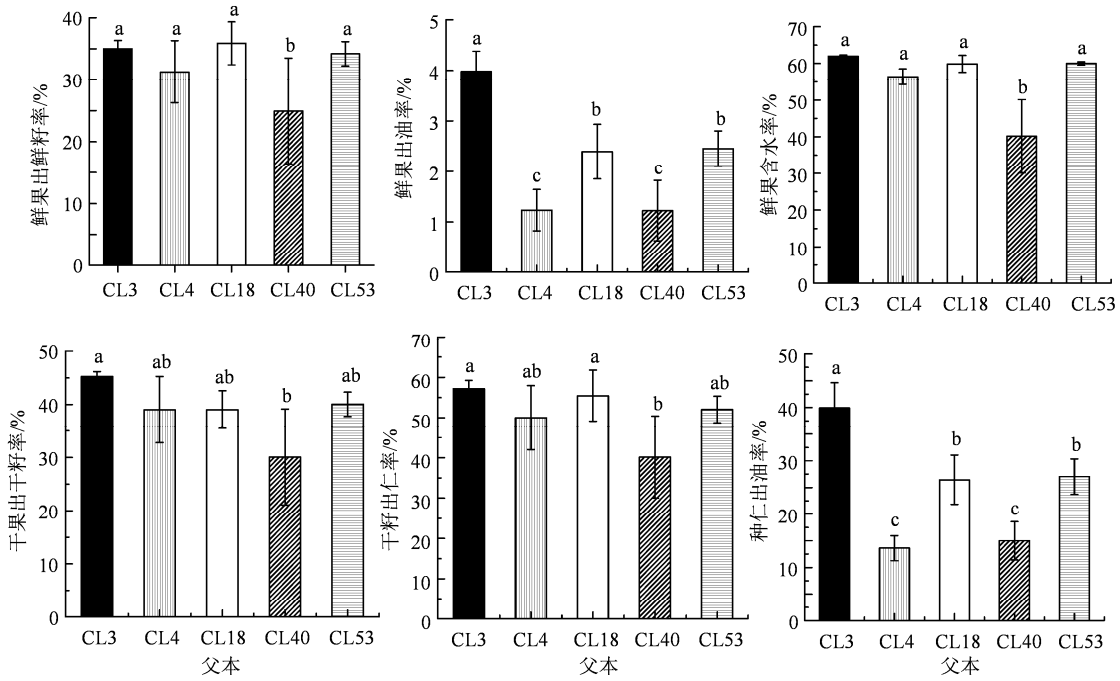
由表 5 可知，排名前 3 的均为以‘CL53’作母本的组合，其综合得分均在 3.4 以上，显著高于其他组合，表明以‘CL53’为母本的杂交组合表现最优；以‘CL4’为母本的杂交组合排名相对靠后，表现最差。‘CL40’和‘CL4’作母本时排名靠前的组合分别为‘CL40’×‘CL3’和‘CL4’×‘CL40’，得分分别为 1.27 和−0.63。



‘CL4’自交组合结实极少，故未在图中显示。图中误差值为标准误；不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（$P<0.05$）。

图 3 以‘CL4’为母本各组合经济性状差异

Figure 3 Differences in economic traits among various combinations of maternal plants of ‘Changlin 4’



图中误差值为标准误；不同小写字母表示同一母本不同父本组合差异显著（$P<0.05$）。

图 4 以‘CL40’为母本各组合经济性状差异

Figure 4 Differences in economic characteristics of the ‘Changlin 40’ mother plant combination

表 4　主成分分析结果

Table 4　Principal component results

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差的/%	积累/%	合计	方差的/%	积累/%
1	7.639	63.661	63.661	7.639	63.661	63.661
2	2.144	17.864	81.525	2.144	17.864	81.525
3	0.895	7.462	88.987			
4	0.816	6.801	95.788			
5	0.225	1.871	97.659			

表 5　综合主成分值

Table 5　Synthesis of principal component values

杂交组合	各公因子得分		综合得分	排名
	Y1	Y2		
‘CL53’×‘CL3’	6.02	0.11	3.85	1
‘CL53’×‘CL18’	5.91	0.06	3.78	2
‘CL53’×‘CL40’	5.55	−0.65	3.41	3
‘CL40’×‘CL3’	0.99	3.55	1.27	4
‘CL53’×‘CL53’	1.79	−2.63	0.67	5
‘CL40’×‘CL53’	0.26	0.68	0.29	6
‘CL40’×‘CL18’	−0.45	0.54	−0.19	7
‘CL53’×‘CL4’	0.02	−1.76	−0.30	8
‘CL4’×‘CL40’	−1.14	0.53	−0.63	9
‘CL4’×‘CL53’	−1.19	−0.11	−0.78	10
‘CL40’×‘CL4’	−1.27	−1.80	−1.13	11
‘CL4’×‘CL3’	−3.11	2.34	−1.56	12
‘CL40’×‘CL40’	−2.13	−2.42	−1.79	13
‘CL4’×‘CL18’	−2.89	−1.54	−2.11	14

注：‘CL4’自交组合果实极少，故未列出。

3　讨论

3.1　不同杂交组合坐果结实差异

油茶开花结实率受诸多因素影响，基因型是非常重要的因子之一。本研究结果表明，以‘CL53’为母本的组合总体表现较优，除‘CL4’外，该品种与另 3 个父本品种的坐果率和结实率均明显高于其他杂交组合，表明该品种具有较强的杂交亲和性，这一结果与李晓春等[15]提出的“以‘CL53’为母本时，其与其他无性系具备较高的授粉亲和力”的观点相一致。研究还发现，‘CL53’的自交结实率能达到 10%，而‘CL4’自交结实率只有 1.72%，几乎不结实，说明油茶不同品种的自交结实率存在较大差异，‘CL53’的自交结实率虽然远不如异花授粉高，但在传粉昆虫不足或天气不利于传粉的情况下，可保证其有一定的自交结实率，这也可能是‘长林 53’较其他品种更稳产的重要原因。

值得注意的是，较高的坐果率并不总能转化为高结实率。在本研究中，‘CL40’×‘CL3’组合坐果率达 78.68%，但最终的结实率仅为 33.70%，说明坐果后仍存在发育障碍。相比之下，以‘CL53’为母本的异交组合落果率普遍较低，有助于最终产量的形成，而以‘CL40’为母本的组合落果率偏高（超过 30%），这可能与不同品种的开花结实特性有关。参试的 3 个母本栽培管理条件一致，试验期间也无明显病虫害影响，相比‘CL53’，‘CL40’单个春梢更细，花芽更多[16]，在后期果实膨大和油脂转化过程中，单果营养竞争更为激烈，落果更多。

3.2　不同杂交组合的果实品质差异

油茶自花授粉虽然能形成一定数量的果实，但其果实形态和品质指标普遍较差，异花授粉时果实品质与授粉品种密切相关。本研究表明，3 个母本在果实质量、体积和鲜籽质量等方面均显著受父本影响，如以‘CL53’和‘CL40’为母本时，均是‘CL3’授粉的单果质量和鲜籽质量明显最佳，‘CL4’父本组合与自交组合的出油率均较低，而‘CL3’在不同母本组合中多次表现优良，说明油茶果实品质存在一定的花粉直感效应。关于油茶花粉直感效应，曹永庆等[17]的研究也有类似结论。15 个杂交组合中，‘CL40’×‘CL3’的鲜果含油率最高，该组合的结实率也相对较高，说明品种科学配置非常重要。

3.3　杂交组合品种配置组合筛选

在以往关于油茶授粉组合筛选的研究中，因试验材料和生态条件不同而结论不一，但普遍认为应综合考量花期、花粉活力、亲和力、结实能力及果实品质等多方面指标[18]。杨露等[19]通过坐果率、结实率、可育种子数和百粒质量等结实情况指标筛选优良授粉组合；杨昕悦[20]、张婷[21]等则利用主成分分析，综合评估了油茶品种间花期、坐果率、单果质量、出仁率和含油率性状。茶油产量是油茶育种和品种配置研究中的核心目标，其形成不仅取决于坐果率和结实率，还与果实的出籽率、出仁率及出油率等经济性状密切相关。本研究基于 12 项关键指标（包括坐果率、结实率、单果质量、鲜籽率、出仁率和出油率等）进行主成分分析，结果显示，以‘CL53’作为母本的杂交组合综合表现最优，其与‘长

林 40’、‘CL3’和‘CL18’配合时的优势均显著，这主要与其结实率明显更高有关；‘CL40’与‘CL3’搭配也表现出潜力，主要贡献是该组合的出油率更高；而高结实率与高含油率均是油茶生产中关注的重要指标，也是形成最终产油量的关键指标。本研究结果表明以‘CL53’为母本的部分组合（如‘CL53’×‘CL3’、‘CL53’×‘CL18’和‘CL53’×‘CL40’），不仅结实率较高，而且在鲜果出籽率、干籽出仁率和鲜果出油率等关键经济性状上表现突出，体现了“结实能力与油脂积累协同提升”的优势特征。因此，生产中建议主推‘CL53’和‘CL40’为母本，而‘CL3’可作为优选配置品种。

4 结论

5 个‘长林’油茶品种自交结实率均较低，生产上需配置授粉品种。‘CL53’杂交亲和性强、结实稳定，适合作主栽品种，长林 40 其次；‘CL3’和‘CL40’作为父本在不同组合中均能显著提升结实率和果实经济性状。此外，油茶坐果后，随着果实膨大和油脂转化，均会出现不同程度的落果现象，实际生产中应加强水肥供应以减少营养不足导致的落果。综合评价结果表明，‘CL53’×‘CL3’、‘CL53’×‘CL18’和‘CL53’×‘CL40’为优选组合。建议生产上以‘CL53’为主，‘CL40’为辅，‘CL3’为配栽授粉品种，构建多品种互授的高效配置模式。

参考文献：

[1] 黄欣, 张乃燕, 马锦林, 等. 我国油茶品质育种研究进展与展望[J]. 广西林业科学, 2010, 39(4): 235-238.

[2] 王金凤, 谭新建, 吴喜昌, 等. 我国油茶产业发展现状与对策建议[J]. 世界林业研究, 2020, 33(6): 80-85.

[3] Li C, Lu M Q, Zhou J Q, et al. Transcriptome analysis of the late-acting self-incompatibility associated with RNase T2 family in *Camellia oleifera*[J]. Plants, 2023, 12(10): 1932.

[4] 余姝姝, 周俊琴, 卢梦琪, 等. 油茶 3 个 ARF 基因的克隆及表达分析[J]. 植物生理学报, 2021, 57(5): 1151-1162.

[5] 陈凌剑, 张琰, 廖国旺, 等. 湖北省三个油茶主栽品种的授粉品种选择研究[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(5): 1030-1036.

[6] 程钦华, 徐奥文, 任志华, 等. 江西 10 个主栽油茶品种花器特性与结实率研究[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(4): 905-914.

[7] 龚春, 何小三, 王玉娟, 等. 油茶杂交育种试验初报[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(12): 118-123.

[8] 王小军, 刘光旭, 相爱存, 等. 江西省油茶综合生产潜力与资源利用效率评估[J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1175-1184.

[9] 常维霞, 姚小华, 龙伟, 等. 4 个油茶物种杂交亲和性分析[J]. 植物研究, 2016, 36(4): 527-534.

[10] 刘慧敏, 敖书飞, 乌云塔娜. ‘湘林’系列油茶授粉品种配置模式研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(4): 17-24.

[11] 曹永庆, 姚小华, 林萍, 等. ‘长林’系列油茶良种的品种配置优化[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(9): 7-11.

[12] 田丰, 陈银霞, 钟秋平, 等. 油茶花粉直感效应和品种配置研究[J]. 林业科学研究, 2023, 36(3): 41-49.

[13] 张琰. 六个油茶品种的授粉配置研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.

[14] 左继林, 周文才, 雷小林, 等. 江西油茶主推 15 个良种分类系统检索表[J]. 林业科技通讯, 2021(9): 76-77.

[15] 李晓春, 陈刚, 罗颖, 等. 11 个油茶无性系的杂交亲和力[J]. 亚热带农业研究, 2020, 16(1): 19-23.

[16] 徐奥文. 江西 14 个油茶品种开花结实及氮磷钾营养特性研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2021.

[17] 曹永庆, 姚小华, 滕建华, 等. 花粉直感效应对油茶种实特征的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(5): 55-60.

[18] 谢再成, 钟培星, 魏本柱, 等. '赣州油'系列油茶品种配置筛选[J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 9-15.

[19] 杨露, 高超, 韦红莉, 等. 4 个油茶良种授粉组合筛选试验研究[J]. 种子, 2020, 39(11): 66-69.

[20] 杨昕悦, 张婷, 舒含玉, 等. 湖南省主推油茶晚熟品种配置研究[J]. 植物生理学报, 2024, 60(9): 1424-1440.

[21] 张婷, 李建安, 龚玉子, 等. 湖南省 5 个主推油茶早中熟品种授粉配置技术[J]. 林业科学, 2025, 61(4): 153-168.