

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.01.008

刘林秀, 姚小华, 曾海涛, 等. 油茶开花生物学及授粉方式对果实发育的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(1): 93-103.

油茶开花生物学及授粉方式 对果实发育的影响

刘林秀¹, 姚小华¹, 曾海涛², 滕建华³,
徐皓², 陈娟娟¹, 常君¹

1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 杭州 311401;

2. 陕西理工大学 生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723001;

3. 浙江省金华市婺城区东方红林场, 浙江 金华 321025

摘要: 为探究油茶开花生物学及不同授粉方式对油茶果实发育的影响, 以 14 年生国家审定良种‘长林 4 号’(CL4) 和‘长林 53 号’(CL53) 扦插苗为试验材料, 统计分析了 2 个油茶品种的花期特性、花器官结构特征, 以及 3 种不同授粉方式(自然授粉、自花授粉、异花授粉)下油茶果的果实性状和经济性状差异。结果表明: ① CL4 为早花品种, CL53 为中花品种, 昆虫访花行为频繁, 有利于异花授粉, CL4 相比更有利于进行自花授粉。② 横径、纵径动态分析发现, 同一时间段 CL53×CL53 横径、纵径最小, 与其他组合相比差异有统计学意义; CL4×CL4 与异花授粉差异无统计学意义。③ 果实性状的比较发现, CL53 自花授粉与自然授粉和异花授粉相比, 果实的鲜果质量、横径、纵径明显下降, 而 CL4 所有授粉组合差异无统计学意义。④ 利用隶属函数对经济性状综合排名发现, 排名第 1、2、3 的分别为 CL4×CL4、CL53×CL4、CL4×CL53。综合表明: CL53 异花授粉优势明显, 而 CL4 自花授粉具有较大的潜在应用价值。此外, CL4 和 CL53 可互为父母本进行异花授粉, 授粉果实品质优良。

关键词: 油茶; 开花生物学; 授粉方式; 果实发育

中图分类号: S722.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2025)01-0093-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Flowering Biology and Pollination Methods on Fruit Development of *Camellia oleifera*

LIU Linxiu¹, YAO Xiaohua¹, ZENG Haitao², TENG Jianhua³,
XU Hao², CHEN Juanjuan¹, CHANG Jun¹

收稿日期: 2023-08-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1001602); 中国林业科学研究院重点项目(CAFYBB2017ZA004-1)。

作者简介: 刘林秀, 博士研究生, 主要从事经济林遗传育种和栽培研究。

通信作者: 常君, 博士, 副研究员。

1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311401, China;
2. School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong Shaanxi 723001, China;
3. Dongfanghong Forest Farm of Zhejiang Province, Jinhua Zhejiang 321025, China

Abstract: To investigate the effects of flowering biology and pollination methods on fruit development of *Camellia oleifera*, healthy 14-year-old cutting seedlings of national approved varieties ‘Changlin 4’ (CL4) and ‘Changlin 53’ (CL53) were used to statistically analyze the flowering phenology and floral organ structure characteristics, as well as the variation of basic fruit and economic traits of mature fruits under natural pollination, self-pollination and cross pollination. The results indicated that: ① CL4 is an early flowering variety. CL53 is a mid-flowering variety. There are numerous mid-flowering varieties with frequent insect pollination, which is conducive to spread of the pollens. The flowering characteristics of CL4 are more conducive to self-pollination. ② Dynamic analysis of transverse diameter and vertical diameter revealed that in the same time period, the transverse diameter and vertical diameter of CL53×CL53 were the smallest, and the variation was significant. There was no significant difference between CL4×CL4 and cross pollination. ③ The comparison of fruit traits revealed that after self-pollination, the average number of seeds, fresh seed weight, transverse diameter and vertical diameter of CL53 fruits decreased significantly, while there was no significant difference in all pollination combinations of CL4 fruits. ④ To gain insights into ranking of economic traits, Membership Function were utilized, in all pollination combinations, CL4×CL4, CL53×CL4, CL4×CL53 was ranked first, second, and third, respectively. In summary, CL53 has obvious advantages in cross pollination, but CL4 self-pollination has great potential application value. In addition, CL4 and CL53 can cross pollinate each other as parents, and the pollinated fruits showed excellent quality, which has great potential for promotion and application.

Key words: *Camellia oleifera*; floral biology; pollination combination; fruit development

油茶为山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)油用植物资源的总称,常绿灌木或小乔木,雌雄同株,花大且形态美观,兼具生态、经济和社会效益^[1-2],是我国主要的木本食用油料树种之一^[3-7]。油茶种子油具有极高的营养和保健价值,与薄壳山核桃类似,不饱和脂肪酸含量超过90%^[8-9],易被人体消化吸收。茶油还含有茶多酚、角鲨烯和其他生物活性物质,长期食用有利于降低心脑血管疾病和降调血液中的胆固醇水平^[10]。茶油及其副产品也可用于医药、机械用油、日用化工、制染、造纸、农药等^[11-13]。此外,油茶树抗逆性强、适应性广,也适合在低产或荒地等边际性土地造林,在目前耕地保护的新形势下具有不与农争地、不与人争粮、维护国家粮油安全、促进林户增收的独特发展优势^[14]。油茶在我国栽培利用历史悠久,主要分布于湖南、江西、广西、浙江和湖北等地。截至2022年,我国油茶种植面积已经达到453.3万hm²^[6,15-16],根据产业发展规划,到2025年我国油茶种植面积将达到600万hm²,产值约4000亿元。

油茶开花多、结果少,甚至只开花不结果的状况严重制约了油茶产业的发展。油茶“千花一果”现象受气候因素、水肥条件和自身生物学特性等多因素的影响^[17-18]。在我国,油茶分布于南、中、北3个亚热带气候带,水平分布范围广,垂直分布幅度大,光温、降水和土壤等自然条件差异明显^[13]。油茶柱头为湿性柱头,为典型的虫媒植物^[19],传粉媒介以昆虫为主,风媒为辅。一方面,油茶品种多数于晚秋、初冬开花,气温急变,影响油茶花育性及传媒媒介的可用性,直接关系到油茶花蕾能否正常开放、传粉和受精。另一方面,受遗传因素的影响,油茶花期分早、中、晚3种类型,不同年度上花期类型的表现极为

稳定,仅产生少量相邻间变异,没有跨类型间变异^[20]。另外,油茶为后期自交不亲和性树种^[21],多数油茶品种自交结实率低,甚至自交不育。实践表明,自交授粉亲和力不高、品种间花期不遇是影响油茶产量的重要因素。明确油茶的开花、授粉和结实特性,在此基础上合理进行品种配置和利用,是提高油茶产量和品质的关键措施之一。

本研究以高产稳产的国家审定良种普通油茶(*Camellia oleifera*)‘长林 4 号’和‘长林 53 号’为试验材料,通过对两油茶品种的花期特性,自然授粉(CL4 半同胞和 CL53 半同胞)、异花授粉(CL4×CL53 和 CL53×CL4)和自花授粉(CL4×CL4 和 CL53×CL53)果实动态发育过程,成熟果实的基本性状和经济性状的观测,探讨花期特性对油茶传粉授粉的影响,以及不同授粉方式对油茶果实发育的影响,旨在为油茶“多花少果”产业瓶颈问题提供解决思路,同时对油茶品种科学配置提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

以浙江省金华市婺城区东方红林场国家油茶油桐良种基地种质资源收集圃内 14 年生国家审定良种油茶‘长林 4 号’(CL4)和‘长林 53 号’(CL53)扦插苗为试验材料,所选试验树生长良好,开花结实正常。

1.2 方法

1.2.1 不同品种群体花期调查

花期的调查分别于 2020 年 9 月至 2021 年 1 月进行,选定 2 个品种形态良好、生长发育正常的树各 6 株作为试验树,调查期内观察整体的开花状态。

1.2.2 不同品种单花花期的调查

在盛花期,分别选择长势良好、生长健壮的树各 3 株,在每株树的东、西、南、北 4 个方向各选定并标记 5 个含苞待放的花苞,于每天 8:00、13:00、16:30 记录花的发育变化情况,直至花凋谢。单花花期的调查基本在盛花期进行,为了方便比较 2 个品种,记录工作几乎同时进行。

1.2.3 花部特征观测

每试验树分别随机选取 15 朵花,对 2 个品种花的单花雄蕊数量、雄蕊高度、雌蕊高度以及花朵盛开时的花瓣直径进行观察、记录。

1.2.4 单花花粉量的测定

参照刘林秀等^[22]的方法,采集盛花期的花朵,剪下 10 个正常生长的花药,25℃烘至全部散粉,收集花粉粒于 1.5 mL 离心管中,向花粉中加入 1 mL 1%的纤维素酶,充分混匀后吸取 50 μL 于凹面载玻片中,镜检并拍照统计单花花粉数(N)。每组重复 3 次,每次计数 5 朵花。

$$N = \frac{n_1 \cdot n_2}{0.5} \quad (1)$$

式中: n_1 为载玻片上花粉粒数; n_2 为单花花药数。

1.2.5 花粉萌发及花粉管生长的测定

参照王友保等^[23]的方法略加修改,将滴有液体培养基的载玻片放置于铺有湿润滤纸且加盖的培养皿中,然后将等量花粉均匀撒在载玻片上,恒温 25℃培养 2 h,然后在 Nikon 显微镜下拍照,统计萌发情况。

1.2.6 果实性状的测定

对果实性状的观察及测定从 2020 年 7 月 21 日开始,每隔 30 d 测量 1 次横径、纵径,直至 10 月果实采收为止。

① 横径(Transverse diameter, TD)、纵径(Vertical diameter, VD)的测定:使用游标卡尺,分别选择

果实果柄与果实接壤点到果实顶端的距离, 记为纵径; 最大横截面的直径记为横径, 数值精确到百分位。

② 鲜果质量(Fresh fruit quality, FFW): 种子成熟后收集结实超过 20 个的杂交种子, 随机取出 20 个果子, 用百分位电子秤称量并计数; 不足 20 个的, 所有果实全部称量计数, 取平均值。

③ 鲜籽质量(Fresh seeds quality, FSW): 剥去青皮后称量所有鲜籽总质量, 取平均值。

④ 正常籽数(Number of seed, NOS)、败育籽数(Number of abortive seeds, NOAS): 剥去青皮后, 统计每个果实所得正常油茶籽数和败育油茶籽数, 取 20 个果实求平均值。

⑤ 出籽率(Seed ratio of Fresh fruit, SOF, 以 $R_{出籽}$ 表示): 见式(2)。

⑥ 出仁率(Fresh kernel rate of dry kernel, FOK, 以 $R_{出仁}$ 表示): 见式(3)。

⑦ 含水率(Water content of fresh kernel, WOK, 以 $R_{含水}$ 表示): 见式(4)。

$$R_{出籽} = \frac{M_{鲜籽}}{M_{鲜果}} \cdot 100\% \quad (2)$$

式中: $M_{鲜籽}$ 为鲜籽总质量; $M_{鲜果}$ 为鲜果总质量。

$$R_{出仁} = \frac{M_{干仁}}{M_{鲜仁}} \cdot 100\% \quad (3)$$

式中: $M_{干仁}$ 为干仁质量; $M_{鲜仁}$ 为鲜仁质量。

$$R_{含水} = \frac{M_{鲜仁} - M_{干仁}}{M_{鲜仁}} \cdot 100\% \quad (4)$$

1.2.7 种仁含油率的测定

参照姚小华等^[24]的方法进行。

1.2.8 隶属函数计算

隶属函数(X)的计算公式为:

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

$$X' = 1 - \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (6)$$

式中: X_i 表示某一具体指标; X_{\min} 表示所测某一指标中的最小值; X_{\max} 表示所测某一指标中的最大值。当所测指标和品质之间呈正相关时, 用式(5)计算; 当所测指标与品质之间呈负相关时, 用式(6)计算。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 23.0 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 供试油茶花期特征

2.1.1 供试油茶品种群体花期特征

由表 1 可知, CL4 品种花期从 09.28—11.16, 花期时长为 50 d, 始花期相对大多数油茶品种早; 该时段开花的油茶品种少, 传粉昆虫数量不多, CL4 异花授粉难度大。在连续晴天、持续高温时, CL4 花蕾时期散粉活动已经开始, 盛开时已经闭花授粉。CL53 品种花期从 10.12—11.28, 花期时长为 48 d; 该时段传粉昆虫数量增多, 活动增多, 异花授粉的机率高。相比 CL53, CL4 更加有利于自花授粉(图 1)。

表 1 2 种不同油茶品种花期(月·日)

品种	第 1 朵花开期	始花期	盛花期	末花期	最后 1 朵花开期
CL4	09.28	10.10—10.24	10.25—11.06	11.07—11.11	11.16
CL53	10.12	10.28—11.02	11.03—11.07	11.08—11.20	11.28



图 1 始花期 2 种油茶品种花特征比较

2.1.2 供试油茶品种单花花期特征

CL4 和 CL53 的单花花期如图 2 和图 3。CL4 的单花花期为 10.30—11.05, 花蕾松动到散粉, 持续 7 d, 日平均气温为 18.4 °C, 天气持续晴朗。开花第 1 d, 盛开的花瓣重新合拢, 之后不再合拢, 开花当天平均温度 22 °C, 平均湿度 41.33%, 中午开始散粉, 第 2 d 下午花粉干瘪微微发黑, 不再适合授粉, 之后雄蕊陆续向周围松散开, 花瓣开始松动脱落, 第 5 d 雌蕊顶端柱头开始变黑, 第 7 d 柱头完全变黑。CL53 单花花期时间为 10.29—11.04, 花期时长 7 d, 第 1 d 松蕾, 第 2 d 开放, 同时花药开裂, 开始散粉, 散粉当天花粉形态良好, 颜色鲜亮, 开花第 3 d 中午花粉量明显减少, 同时花丝萎蔫。CL53 的花丝和花瓣萎蔫之后是堆叠聚集到一起的, 花瓣并没有脱落而是缩聚成团。天气晴朗时花朵会大量开放, 晴天散粉时间也会提前, 花朵凋谢的进程更快, 阴雨天气花药成熟、花粉成熟的进程缓慢, 形态健康花粉数量也随之减少。

2.2 供试油茶品种花的基本特征及花粉特性

2.2.1 花部特征

花器官的不同表型差异直接影响着其授粉受精状况、产量及果实性状^[25]。2 个品种花特征基本一致, 花瓣 5~8 枚, 白色, 倒卵形, 每瓣都有一个凹口, 相互离生(图 4a 和 4c)。花无柄, 雌雄同花, 雌蕊被雄蕊包被, 雄蕊高于雌蕊(图 4b 和 4d)。雌蕊的花柱直立生长, 而雄蕊的花丝则是向着雌蕊的方向弯曲生长, 内外侧高低不一致, 数量较多, 子房外有绒毛层覆盖。花药一般为黄色, 但部分 CL4 的花药特化为花瓣, 形成重瓣花(图 4a 中箭头所示)。



图 2 CL4 单花开放过程



图 3 CL53 单花开放过程

2.2.2 单花特性差异

由表 2 可知, CL53 单花雄蕊数、单花花粉粒数小于 CL4, CL53 雌、雄蕊的相对高度差(9.47 mm)大于 CL4(2.82 mm)。花粉萌发率 CL53(54.90%)大于 CL4(41.10%), 花粉萌发 2.5 h 时, 花粉管平均长度 CL53(310.91 μm)大于 CL4(259.35 μm)。此外, 花粉管的长度变异系数最大。综上比较, CL4 的特点更加有利于自花授粉。



图 4 CL4 和 CL53 部分花结构示意图

表 2 油茶花开花特性比较

测定指标	品种	平均值	最小值	最大值
单花雄蕊数/朵	CL53	97.00±9.34a	73.00	115.00
	CL4	108.00±3.73a	95.00	121.00
单花花粉粒数/万粒	CL53	15.37±2.87a	11.02	20.78
	CL4	20.42±5.89a	11.88	31.70
雄蕊高度/mm	CL53	18.18±0.59a	11.20	24.66
	CL4	17.50±0.52a	11.91	23.17
雌蕊高度/mm	CL53	8.71±0.59b	6.51	11.85
	CL4	14.68±0.79a	9.09	21.24
花粉管长度/ μm	CL53	310.91±14.82a	84.47	555.56
	CL4	259.35±13.55b	163.47	405.37
花粉萌发率/%	CL53	54.90±0.03c	0.49	0.65
	CL4	41.10±0.03b	0.32	0.48

注: 小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

2.3 不同授粉方式对油茶果实发育的影响

由图 5 可知, 7—10 月横径均值分别为 27.600 mm、31.400 mm、36.670 mm、37.670 mm, 整体保

持上升趋势,但不同杂交组合在 9—10 月存在差异,CL4×CL53 持续增加,其余组合保持不变或略有下降,而 CL53×CL53 在 7—10 月分别为 22.294 mm、25.859 mm、34.680 mm 和 30.819 mm,除 9 月高于 CL4×CL53(31.551 mm)外,其余月份均小于平均值。7—10 月纵径均值为 35.335 mm、38.165 mm、35.557 mm、30.750 mm,整体表现为先增长后降低的趋势,其中 CL53×CL53 在 7—10 月纵径分别为 27.057 mm、32.999 mm、26.650 mm、25.509 mm,不仅在每个月中最小,同时变化也最小。CL53×CL53 果实发育最为迟缓,与其他组合相比差异有统计学意义,推测与自花授粉不良有关;而 CL4×CL4 横径、纵径数据与异花授粉果实数据相比差异无统计学意义,甚至生长还要比异花授粉更加优良,表明 CL4 对于自花授粉和异花授粉并不会影响其果实的大小。

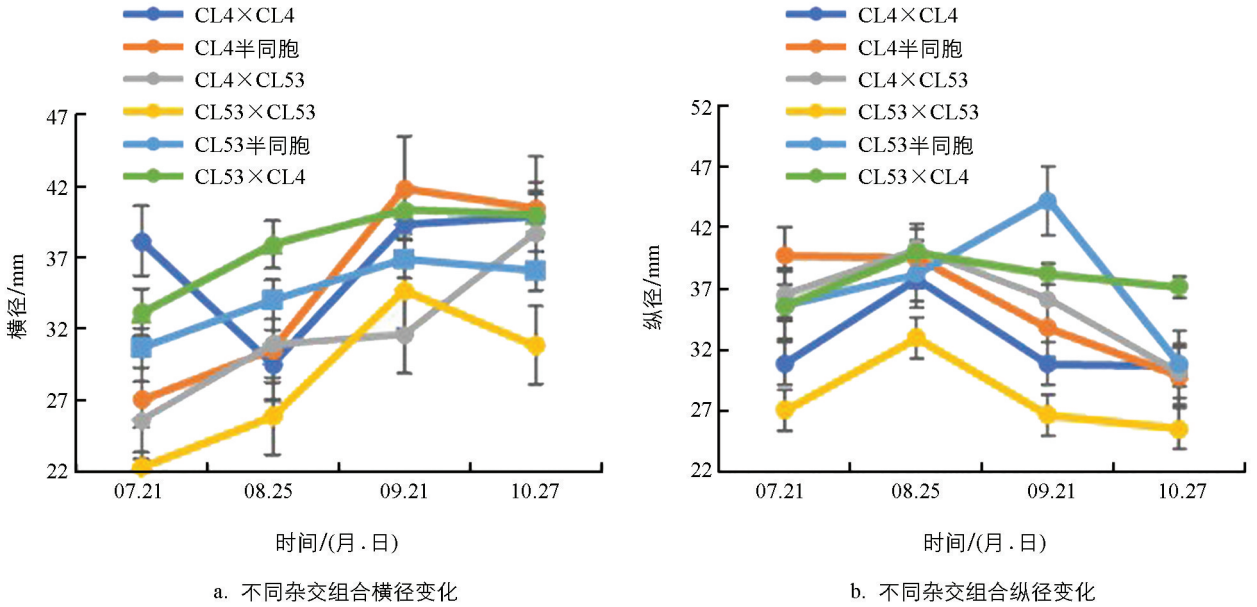


图 5 6 种不同杂交组合 7—10 月的横径、纵径变化

2.4 不同授粉方式对油茶果实基本性状的影响

由表 3 可知,CL53×CL53 鲜果质量 12.25 g、横径 30.82 mm、纵径 25.51 mm,与其他几种杂交组合相比差异有统计学意义($p < 0.05$),与 CL53 为母本的异花授粉组合相比,差异也有统计学意义。CL4×CL4 鲜果质量 23.83 g、横径 40.99 mm、纵径 31.85 mm、鲜籽质量 11.21 g、正常籽数 4.25 粒,与 CL4 为母本的异花授粉组合相比差异无统计学意义,而与 CL53×CL53、CL53×CL4 鲜果质量、纵径、正常籽数相比差异有统计学意义。结果表明 CL53 自花授粉虽然也会结实,但与自然授粉以及异花授粉果实存在明显差异,而不同的授粉方式对 CL4 的果实形状并没有产生非常大的影响。

2.5 不同授粉方式对油茶果实经济性状的影响

果实的各经济性状之间存在着复杂的联系,单一因素对油茶品质的好坏无法准确地描述,因此需要对多个因素进行综合分析。对 6 个杂交组合的 4 个经济性状做隶属函数处理分析,首先计算出每个品种的各个指标的隶属函数值,再计算出多个指标的平均隶属函数值,每个品种做相同处理,隶属函数值越大,表明综合品质越好。

由表 4 可知,6 种授粉组合综合排名由大到小依次为 CL4×CL4、CL53×CL4、CL4×CL53、CL53 半同胞、CL4 半同胞、CL53×CL53。结果显示 CL4×CL4 经济性状隶属函数值排名第 1,CL53×CL53 经济性状隶属函数值排名第 6,两者之间差异明显,说明 CL4×CL4 自花授粉果实品质比 CL53×CL53 更具有经济价值。

表 3 不同授粉组合果实基本性状分析

授粉组合	鲜果质量/g	横径/mm	纵径/mm	鲜籽质量/g	正常籽数	败育籽数
CL53 半同胞	21.39±2.39b	36.03±4.19b	30.81±1.26b	9.98±1.34bc	2.30±0.36cd	15.15±1.14b
CL53×CL4	34.72±3.16a	40.16±4.47a	38.25±1.58a	18.39±1.80a	7.60±0.90a	11.20±1.07cd
CL53×CL53	12.25±1.63c	30.82±6.31c	25.51±1.24c	5.52±0.81c	1.42±0.85d	13.50±1.49b
CL4 半同胞	20.01±1.38b	40.41±3.94a	29.83±0.92b	8.36±0.82c	2.70±0.40bcd	20.55±0.58a
CL4×CL53	19.41±1.41b	38.72±4.64ab	30.17±0.94b	8.71±0.70bc	3.85±0.19bc	16.30±1.63b
CL4×CL4	23.83±3.51b	40.99±7.10a	31.85±2.06b	11.21±2.01abc	4.25±0.27b	16.50±1.68b
最大值	34.72	40.41	38.25	18.39	7.60	20.55
最小值	12.25	30.82	25.51	5.52	1.42	11.20
平均值	21.93	37.86	31.07	10.36	3.69	15.53
标准差	6.72	3.54	3.77	3.99	1.99	2.88
变异系数/%	30.63	9.35	12.15	38.51	53.90	18.54

注: 小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

表 4 经济性状隶属函数分析

组合	出籽率/%	含水率/%	出仁率/%	含油率/%	平均隶属函数	排名
CL53 半同胞	0.43	0.39	0.41	0.05	0.32	4
CL53×CL4	1.00	1.00	0.53	0.00	0.63	2
CL53×CL53	0.29	0.02	0.41	0.13	0.21	6
CL4 半同胞	0.00	0.00	0.00	1.00	0.25	5
CL4×CL53	0.28	0.14	0.72	0.77	0.48	3
CL4×CL4	0.47	0.58	1.00	0.77	0.70	1

3 讨论与结论

植物开花物候是研究植物繁殖生物学的重要内容, 开花物候除了受遗传因素影响还受到环境因子包括光照、温度以及水分等因素的影响。油茶的生殖生物学^[26-28]作为重要的产量影响评价指标, 本研究对 CL4 和 CL53 的开花生物学特性进行了评价分析, 显示 CL4 花期在 9 月下旬到 11 月中上旬, 为早花品种, CL53 花期在 10 月中旬到 11 月下旬, 为中花品种, 此时段油茶开花品种繁多, 昆虫活动频繁。单花特性分析表明, 2 品种单花花期均为 7 d, 高温晴朗天气, 花期提前, 散粉进程加快, 阴雨天造成大量落花, 坐果率和产量受到影响, 这与韦红莉^[29]研究结果一致。此外, CL53 雌、雄蕊相对高度差为 9.47 mm, 差异明显, 不利于自花授粉, 而 CL4 雌、雄蕊相对高度差为 2.82 mm, 有利于自花授粉。

授粉组合亲本不同, 授粉品种不同, 果实的性状之间也会存在差异。以 CL53 为母本, 自花授粉和异花授粉以及自然授粉相比, 果实的鲜果质量、横径、纵径之间差异明显。不同授粉方式也会对果实性状产生影响, 这在黄冠梨^[30]、油橄榄^[31]中已经得到了证明。在本研究中, CL53 自花授粉与自然授粉和异花授粉相比, 鲜籽质量下降了 4.46 g 和 12.87 g, 果实的正常籽数下降了 0.88 和 6.18, 横径下降了 5.21 mm 和 9.34 mm, 纵径下降了 5.30 mm 和 12.74 mm, 表明 CL53 异花授粉优势明显。这与在羽叶报春^[32]、梨^[33]和苹果^[34]中的研究结果一致。出现这种现象的主要原因是授粉受精不良^[35], 直接导致种子数减少^[36]。种子中促进果实发育的激素(赤霉素、生长素和细胞激动素等)含量降低, 导致单果质量下降^[37]。CL4 自花授

粉与自然授粉和异花授粉相比,鲜果质量、横径、纵径、鲜籽质量、正常籽数均增加。以 CL4 和 CL53 互为父母本异花授粉,果实正常籽数和鲜籽质量、横径、纵径均要高于 CL53×CL53,而与 CL4×CL4 差异不大,表明 CL4 自花授粉没有对油茶的果实性状产生不良影响。

油茶果实性状与经济产量密切相关,是进行育种、品种推广的重要参考依据^[38]。为了进一步对不同授粉处理的油茶进行比较,本研究借助隶属函数对油茶的经济性状包括出籽率、含水率、出仁率、含油率进行了综合分析。结果表明,综合经济性状排名第 1、2、3 的分别为 CL4×CL4、CL53×CL4、CL4×CL53。综合考虑油茶果实性状和经济性状,CL4 自花授粉、CL4 和 CL53 两个品种互为父母本异花授粉,果实性状优良,在提高果实品质方面具有很大的潜在推广价值。

参考文献:

- [1] 姚小华,任华东. 中国油茶遗传资源 [M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [2] 刘爱荣,张远兵,黄守程,等. 多年生油茶对模拟酸雨的生理生态响应 [J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 596-603.
- [3] LIAO T, YUAND Y, ZOU F, et al. Self-Sterility in *Camellia oleifera* may Be Due to the Prezygotic Late-Acting Self-Incompatibility [J]. PLoS One, 2014, 9(6): e99639.
- [4] GAO C, YUAN D Y, YANG Y, et al. Pollen Tube Growth and Double Fertilization in *Camellia oleifera* [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2015, 140(1): 12-18.
- [5] LI Z, TAN X F, LIU Z M, et al. In Vitro Propagation of *Camellia oleifera* Abel. Using Hypocotyl, Cotyledonary Node, and Radicle Explants [J]. Hort Science, 2016, 51(4): 416-421.
- [6] LI S F, ZHU X R, ZHANG J H, et al. Authentication of Pure Camellia Oil by Using near Infrared Spectroscopy and Pattern Recognition Techniques [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): 374-380.
- [7] 朱景乐,杜红岩,周道顺,等. 北缘分布区油茶采穗圃配方施肥研究 [J]. 河南农业大学学报, 2013, 47(4): 405-408.
- [8] 高璐鑫,王琪,陈雨晴,等. 春季亚低温胁迫对油茶‘华硕’叶片光合生理特性的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(1): 100-107.
- [9] 常君,张潇丹,姚小华,等. 不同品种薄壳山核桃氨基酸组成及营养价值评价 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 44-52.
- [10] LIN P, WANG K L, WANG Y P, et al. The Genome of Oil-Camellia and Population Genomics Analysis Provide Insights into Seed Oil Domestication [J]. Genome Biology, 2022, 23(1): 14.
- [11] 白云,张晨曦,麻文效,等. 茶皂素洗涤剂的制备及性能研究 [J]. 染整技术, 2019, 41(10): 36-39.
- [12] 张华新,庞小慧,刘涛. 我国木本油料植物资源及其开发利用现状 [J]. 生物质化学工程, 2006, 40(S1): 291-302.
- [13] 庄瑞林. 中国油茶 [M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [14] YANG H, ZHOU H Y, YANG X N, et al. Transcriptomic Analysis of *Camellia oleifera* in Response to Drought Stress Using High Throughput RNA-Seq [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2017, 64(5): 728-737.
- [15] 张立伟,王辽卫. 我国油茶产业的发展现状与展望 [J]. 中国油脂, 2021, 46(6): 6-9, 27.
- [16] 杨超臣,姚小华,冯纪福,等. 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.
- [17] 袁小军,钟秋平,罗帅,等. 叶面肥及生长调节剂对油茶雄蕊及坐果率的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(5): 8-14.
- [18] 冯都煌,刘会云,张莉,等. 促进油茶花粉萌发的营养物质配比研究 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(1): 91-99.

- [19] 邓园艺, 喻勋林, 雷瑞虎, 等. 油茶的传粉生物学特性 [J]. 经济林研究, 2009, 27(1): 72-75.
- [20] 曾燕如, 黎章矩, 戴文圣. 油茶开花习性的观察研究 [J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(6): 802-809.
- [21] 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): 24.
- [22] 刘林秀, 曾海涛, 徐皓, 等. 几种植物激素对4种山茶属植物花粉萌发及花粉管生长的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(4): 700-707.
- [23] 王友保, 张莉. 花粉萌发与花粉管生长实验的改进 [J]. 生物学通报, 2006, 41(12): 57.
- [24] 姚小华, 黄勇. 小果油茶资源与遗传多样性研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [25] 李萧婷, 包建平. 8个梨品种开花生物学特性及果实相关性状调查 [J]. 现代园艺, 2022(7): 23-25.
- [26] 于钊妍, 刘艳菊, 徐玉芬, 等. 油茶生殖生物学及杂交育种研究进展 [J]. 热带农业科学, 2022, 42(11): 44-49.
- [27] 高超, 袁德义, 杨亚, 等. 油茶自交不亲和性的解剖特征 [J]. 林业科学, 2015, 51(2): 60-68.
- [28] 邹锋, 谭晓风, 袁德义, 等. 我国油茶生殖生物学研究进展 [J]. 长江大学学报(自然科学版)农学卷, 2009, 6(1): 18-20, 26.
- [29] 韦红莉. 威宁短柱油茶生殖生物学研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [30] 李红旭, 赵明新, 曹刚, 等. 不同授粉方式对黄冠梨着果及果实品质的影响 [J]. 中国南方果树, 2023, 52(2): 170-173.
- [31] 牛二利, 沈敏, 傅玉楼, 等. 不同授粉方式对3个油橄榄品种结实性的影响 [J]. 浙江农业科学, 2023, 64(3): 588-592.
- [32] 刘金, 夏齐平, 王建, 等. 自花授粉在安徽羽叶报春花选育中应用的初步研究 [J]. 植物研究, 2018, 38(2): 232-237.
- [33] 樊卫国, 安华明, 刘国琴, 等. 刺梨果实与种子内源激素含量变化及其与果实发育的关系 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 728-733.
- [34] 黄金凤, 吕天星, 王冬梅, 等. 不同自花授粉方式对‘寒富’果实性状的影响 [J]. 北方果树, 2021(1): 12-14.
- [35] 董九岭, 高洪岐, 仇服春, 等. 苹果果实种子数量与果实性状的关系 [J]. 中国果菜, 2017, 37(7): 81-84.
- [36] 刘志, 伊凯, 杨巍, 等. 影响富士苹果果实质量的相关研究 [J]. 北方果树, 2003(2): 5-6.
- [37] 蔡小林, 潘介春, 黄思婕, 等. 种子发育状况与台湾凤梨释迦果实偏斜相关性分析 [J]. 热带作物学报, 2017, 38(1): 59-63.
- [38] 龚守富, 朱赞彬. 6个油茶果实经济性状及茶油品质比较分析 [J]. 森林工程, 2022, 38(3): 40-46.

责任编辑 周仁惠