

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220606

油茶花粉直感效应和品种配置研究

田丰^{1,3}, 陈银霞^{2*}, 钟秋平^{1*}, 陈丹阳¹, 陈泽鑫¹,
曹林青¹, 葛晓宁¹, 周幼成¹, 邹玉玲¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 2. 江西省林业科技推广和宣传教育中心, 江西 南昌 330299; 3. 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037)

摘要: [目的] 为探明油茶花粉直感效应和品种精确配比。[方法] 以长林3号、长林4号、长林40号和长林53号4个良种为研究对象, 采用人工授粉完全双列杂交试验, 研究不同授粉组合下油茶坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率的差异, 同时按照混料设计优化油茶品种配置模式。[结果] 不同授粉组合在油茶坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率等方面均差异显著, 异交授粉的各项指标均显著高于自交授粉。综合分析上述各项指标, 长林53号的推荐配置授粉品种是长林4号, 长林3号、长林4号和长林40号的推荐配置授粉品种均是长林53号。3个品种配置, 采用长林4号(33.65%) + 长林40号(26.18%) + 长林53号(40.17%)时产油量最高。[结论] 油茶在坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率等方面存在花粉直感效应, 利用花粉直感效应并结合实际生产情况, 通过选择授粉品种以及品种的比例配置, 促进油茶高产高效。

关键词: 油茶; 坐果率; 花粉直感效应; 混料设计; 品种配置

中图分类号: S794.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2023)03-0041-09

油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 为山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia* L.) 的常绿小乔木或乔木, 是我国南方地区特有的优质油料树种, 具有悠久的栽培和食用历史^[1-2]。茶油是一种优质的食用植物油, 其主要成分是不饱和脂肪酸, 含量达90%以上, 并具有抗衰老、防治慢性疾病和抗癌防变等保健作用, 享有“东方橄榄油”美称^[3]。截至目前, 全国油茶种植面积已超450万hm², 但一直存在花多果少、结实率低等现象, 而品种配置模式不清、授粉效率低、落花落果严重等是导致这些现象的重要原因^[4]。

花粉直感是指不同父本花粉影响母本果实和种子特征的现象^[5], 其不仅影响坐果率^[6]、果实发育

期^[7], 还影响果实的形态表型^[8-10]、内含物含量^[11-12]以及风味^[13]等。研究发现, 荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.)^[12]、澳洲坚果 (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche.)^[14-15]和玉蜀黍 (*Zea mays* L.)^[16]等植物都存在花粉直感效应。花粉直感效应的研究对于以种实为主要收获目的的果树以及经济林产业有着重要的经济意义, 可为生产上选择优良父本、提高果实产量和品质以及丰富果实性状遗传理论提供理论依据^[17-18]。因此, 利用花粉直感效应进行品种配置被广泛地应用于油茶^[19-21]、美国山核桃 (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.)^[22]和苹果 (*Malus pumila* Mill.)^[23]等树种。油茶属于典型的虫媒性异花授粉植物, 对油茶生殖特性开

收稿日期: 2022-12-15 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 江西省林业局林业科技创新专项 ([2019]05)

作者简介: 田丰, 硕士研究生。主要研究方向: 经济林栽培与育种。电话: 18874134541。Email: tf2937277397@163.com

* 通讯作者: 陈银霞, 学士, 高级工程师。主要研究方向: 园林。电话: 13607046601。Email: 672747384@qq.com; 钟秋平, 博士, 教授级

高级工程师。主要研究方向: 经济林栽培与育种。电话: 13755701183。Email: fyzqp92@163.com

展大量研究发现,不同品种油茶自交授粉后表现出不同程度的不亲和特性,而异交授粉可大大提高坐果率,同时通过细胞水平研究油茶自交和异交过程花粉管的生长规律,确定了油茶属于后期自交不亲和植物^[24]。因此,在油茶种植中需要配置其他品种进行授粉以提高油茶产量和质量。近年来,在油茶品种配置方面,刘慧敏等^[19]、曹永庆等^[20]、谢再成等^[21]以坐果率和种仁含油率等为主要指标,初步建立了湘林、长林、赣州油等系列油茶的授粉配置模式,但未能提出具体配置比例要求,很难满足实际生产需求。

因此,本文通过研究花粉直感效应对油茶的坐果率、果实质量、种仁含油率以及鲜果含油率的影响,同时采用混料设计方法进一步对不同品种之间的配置比例进行优化,选择出高产的品种配置模式,以解决生产上油茶坐果率低、产量低等问题,

促使油茶产业高效可持续发展。

1 试验地概况和试验材料

试验地位于江西省新余市分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心油茶示范基地(27°49'19"N, 114°39'13"E),该地平均海拔 113 m,年平均降水量 1 640.9 mm,年平均日照时长 1 543.5 h,年平均气温 17.2 °C。主要种植品种有长林 3 号、4 号、18 号、23 号、27 号、40 号、53 号和 166 号,株行距 3 m × 4 m,密度 833 株·hm⁻²,树龄 12 a,已经进入盛果期。选取生长状况良好的长林 3 号(代号 C3)、长林 4 号(代号 C4)、长林 40 号(代号 C40)和长林 53 号(代号 C53)为试验材料,各品种表型性状见表 1。

表 1 各品种表型性状

Table 1 Phenotypic traits of various cultivars

品种 Varieties	树高/cm Tree height	东西冠幅/cm East-West crown width	南北冠幅/cm North-south crown width	单株产量/kg Yield per plant
长林3号(C3)	203.79 ± 28.90 a	189.63 ± 31.14 a	201.71 ± 20.04 a	5.54 ± 1.26 a
长林4号(C4)	180.05 ± 20.96 b	182.52 ± 17.41 a	171.38 ± 19.26 b	6.75 ± 3.96 a
长林40号(C40)	214.58 ± 30.82 a	182.83 ± 25.63 a	175.67 ± 30.34 b	6.49 ± 2.61 a
长林53号(C53)	172.50 ± 19.51 b	179.75 ± 17.89 a	170.38 ± 14.65 b	7.67 ± 2.97 a

2 试验方法

2.1 花期物候观测

于 2020 年 10 月开始,按照郭红艳等^[25]的方法对各品种单株进行花期物候观测:开花前每周观测 1 次,开花后每天观测 1 次,所有花朵凋谢时停止观测;记录花期的 3 个阶段,始花期(5% 以下花朵开放),盛花期(50% 以上花朵开放),末花期(90% 左右花朵凋谢)。

2.2 授粉设计

在盛花期,用长林 3 号、长林 4 号、长林 40 号和长林 53 号 4 个品种进行正、反交和自然授粉,共 20 个授粉处理(表 2)。每个处理授粉 100 朵,重复 3 次。正、反交试验选择同一植株,各品种的各单株既为父本又为母本。自交处理选择同一单株的花粉进行授粉。

表 2 授粉组合设计

Table 2 Pollination combination design

母本 Female	父本 Male				自然授粉 Natural pollination
	长林3号(C3)	长林4号(C4)	长林40号(C40)	长林53号(C53)	
长林3号(C3)	C3 × C3	C3 × C4	C3 × C40	C3 × C53	NP C3
长林4号(C4)	C4 × C3	C4 × C4	C4 × C40	C4 × C53	NP C4
长林40号(C40)	C40 × C3	C40 × C4	C40 × C40	C40 × C53	NP C40
长林53号(C53)	C53 × C3	C53 × C4	C53 × C40	C53 × C53	NP C53

2.3 授粉处理和坐果率统计

采集4个品种即将开放的花苞,带回实验室水培,收集花粉。在盛花期,将即将开放的花苞去雄,根据完全双列杂交试验设计,授粉、胶布密封隔离,统计授粉花数和各品种单株花朵总数。次年10月,果实成熟时统计各授粉组合和各品种单株的坐果情况,计算坐果率。通过盛花期自然坐果率与全花期自然坐果率的比值,计算各授粉组合全花期坐果率。

2.4 子代果实性状测定

果实成熟时,分别采集各授粉组合的子代果实。各授粉组合随机选取30个果实进行子代性状的测定,果实数量不足的全部进行测定。用电子天平(精度0.01 g)测定单果质量,烘干后测定干籽质量和干仁质量,计算干籽出仁率。种仁含油率采用索氏抽提法测定,参考GB 5009.6-2016。

鲜果含油率=干籽质量×干籽出仁率×种仁含油率/鲜果质量×100%

单株产油量=开花数量×全花期坐果率×单果

质量×鲜果含油率

2.5 数据统计分析

采用Office 2019、SPSS 19.0、Origin 2021和JMP Pro 16对试验的各项指标进行统计分析,建立4个品种正、反交不同组合与单株产油量之间的回归方程,由统计分析软件分析优化得到品种配置比例。

3 结果与分析

3.1 各品种单株开花物候期

各品种单株开花物候观测结果(表3)表明:花期主要集中在11-12月,始花期和末花期时间较短,盛花期时间较长。长林3号花期最早,处于盛花期时,其他3个品种进入始花期。长林40号花期最晚,11月中旬才开花,此时其他品种已进入盛花期。4个品种单株开花持续时间24~30 d。4个品种之间花期重合度高,满足品种配置的前提条件。

表3 各品种单株开花物候期

Table 3 Flowering phenology of individual plants of various varieties

品种 Varieties	花期(月-日) Flowering period (Month - day)			花期长度 Number of flowering days/d
	始花期 Early flowering stage	盛花期 Full flowering stage	末花期 Last flowering stage	
C3	10.28-11.04	11.05-11.17	11.18-11.23	25
C4	11.05-11.10	11.11-11.24	11.25-11.29	24
C40	11.13-11.18	11.19-12.03	12.04-12.09	26
C53	11.02-11.08	11.09-11.25	11.26-12.02	30

3.2 花粉直感对坐果的影响

表4表明:盛花期与全花期的坐果率在不同组合下的情况基本一致,长林3号、长林4号、长林40号和长林53号作母本时,长林3号、长林4号、长林40号和长林53号的花粉对坐果率有显著影响,所有异交授粉的坐果率显著高于自交授粉,除长林53号作母本时最高坐果率的花粉是长林3号外,其他品种作母本时最高坐果率的花粉都是长林53号。因此得出,油茶在坐果率方面存在花粉直感效应,长林53号的推荐授粉品种是长林3号,长林3号、长林4号和长林40号的推荐授粉品种都是长林53号。

3.3 花粉直感对果实质量的影响

表5表明:在自然授粉下,4个品种单果质量排序为:长林53号>长林4号>长林40号>长林3号。在人工控制授粉下,长林40号作母本时,各授粉组合的单果质量与自交授粉无显著差异;长林4号作母本时,长林53号授粉的单果质量显著高于自交授粉;长林53号作母本时,除长林40号授粉外,其他品种授粉的单果质量均显著高于自交授粉;长林3号作母本时,与自交授粉相比,各授粉组合的单果质量均显著提高。除长林53号作母本时最大单果质量的花粉是长林4号外,其他品种作母本时最大单果质量的花粉都是长

林 53 号。因此得出, 油茶在果实质量方面存在花粉直感效应, 长林 53 号的推荐授粉品种是长林

4 号, 长林 3 号、长林 4 号和长林 40 号的推荐授粉品种均是长林 53 号。

表 4 不同授粉组合盛花期及全花期的坐果率

Table 4 Fruit set rate of different pollination combinations at bloom and full flowering stage

花期 Flowering period	母本 Female	父本 Male				自然授粉 Natural pollination
		C3	C4	C40	C53	
盛花期 Bloom flowering stage	C3	26.73 ± 2.33 d	49.09 ± 2.66 b	45.52 ± 2.51 bc	67.48 ± 2.71 a	44.68 ± 1.85 c
	C4	46.84 ± 2.21 b	10.11 ± 1.91 d	41.83 ± 2.18 c	50.85 ± 1.65 a	43.70 ± 2.26 bc
	C40	52.14 ± 2.87 c	58.16 ± 2.53 b	11.17 ± 1.81 d	74.61 ± 2.35 a	54.32 ± 1.46 c
	C53	64.88 ± 2.19 a	49.02 ± 1.90 c	54.89 ± 2.24 b	25.19 ± 3.12 d	54.15 ± 2.91 b
全花期 Full flowering stage	C3	6.00 ± 0.52 c	11.02 ± 0.60 b	10.22 ± 0.56 b	15.15 ± 0.61 a	10.03 ± 0.42 b
	C4	11.23 ± 0.53 b	2.42 ± 0.46 d	10.03 ± 0.52 c	12.19 ± 0.40 a	10.48 ± 0.54 bc
	C40	10.32 ± 0.57 c	11.51 ± 0.50 b	2.21 ± 0.36 d	14.77 ± 0.46 a	10.75 ± 0.29 bc
	C53	10.82 ± 0.37 a	8.17 ± 0.32 c	9.15 ± 0.37 b	4.20 ± 0.52 d	9.03 ± 0.48 b

注: 表中同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the table indicate significant differences ($P < 0.05$). Same below.

表 5 不同授粉组合的单果质量

Table 5 Single fruit quality for different pollination combinations

母本 Female	父本 Male				自然授粉 Natural pollination
	C3	C4	C40	C53	
C3	11.76 ± 3.35 b	17.15 ± 1.10 a	17.93 ± 1.55 a	18.20 ± 1.21 a	17.16 ± 0.66 a
C4	25.29 ± 1.44 ab	23.16 ± 2.20 bc	21.41 ± 1.25 c	27.23 ± 1.80 a	21.45 ± 2.04 c
C40	21.43 ± 0.94 a	21.28 ± 0.97 a	20.97 ± 0.53 a	23.39 ± 1.78 a	21.02 ± 0.88 a
C53	29.32 ± 1.38 b	39.92 ± 1.69 a	27.48 ± 1.33 bc	24.31 ± 3.82 c	31.70 ± 2.60 b

3.4 花粉直感对含油率的影响

对表 2 组合的种仁含油率进行检测分析, 对于籽出仁率、种仁含油率和果实质量进行统计分析, 计算鲜果含油率。表 6 表明: 不同品种授粉对种仁含油率均有影响。种仁含油率方面, 长林 3 号、长林 4 号、长林 40 号和长林 53 号作母本时, 长林 3 号、长林 4 号、长林 40 号和长林 53 号的花粉对种仁含油率有显著影响, 所有异交授粉的种仁含油率均显著高于自交授粉。鲜果含油率方面, 长林 53 号作母本的各授粉组合鲜果含油率均显著高于自交授粉, 而长林 4 号作母本的各授粉组合鲜果含油率与自交授粉无显著差异; 长林 3 号和长林 40 号作母本时, 授粉组合长林 3 号♀ × 长林 40 号♂、长林 3 号♀ × 长林 53 号♂和长林 40 号♀ × 长林 4 号♂的鲜果含油率显著高于自交授粉, 其他授粉组合的鲜果含油率均无显著变化。因此得出, 油

茶在种仁含油率和鲜果含油率方面存在花粉直感效应, 长林 3 号的种仁含油率和鲜果含油率推荐授粉品种是长林 53 号, 长林 4 号的种仁含油率和鲜果含油率推荐授粉品种分别是长林 53 号和长林 40 号, 长林 40 号的种仁含油率和鲜果含油率推荐授粉品种分别是长林 53 号和长林 4 号, 长林 53 号的种仁含油率和鲜果含油率推荐授粉品种分别是长林 40 号和长林 3 号。

3.5 品种配置优化

运用 JMP 软件的混料试验设计功能得到 15 个正反交组合, 根据开花数、坐果率、果实质量和鲜果含油率等数据计算各组合单株产油量 (表 7)。将单株产油量等数据输入 JMP 软件中, 对试验结果进行分析处理, 得到图 1、表 8 和图 2。

基于 JMP 软件得到的“预测值 - 实际值”见

表 6 不同授粉组合种仁含油率及鲜果含油率

Table 6 Oil content of seed kernels and fresh fruits of different pollination combinations

项目 Item	母本 Female	父本 Male				自然授粉 Natural pollination
		C3	C4	C40	C53	
种仁含油率 Oil content of seed kernels/%	C3	34.36 ± 0.71 c	39.96 ± 0.90 a	38.43 ± 0.81 b	40.36 ± 0.76 a	39.21 ± 0.82 ab
	C4	42.71 ± 0.28 ab	39.01 ± 0.56 c	42.75 ± 0.73 ab	43.30 ± 0.60 a	41.97 ± 0.56 b
	C40	45.17 ± 0.83 ab	46.03 ± 1.04 a	40.75 ± 0.85 c	46.16 ± 0.75 a	43.78 ± 0.97 b
	C53	42.61 ± 0.82 b	44.22 ± 1.07 a	44.41 ± 0.79 a	38.83 ± 0.49 c	42.87 ± 0.94 ab
鲜果含油率 Oil content of fresh fruit/%	C3	5.68 ± 0.47 c	6.07 ± 0.45 bc	6.75 ± 0.24 ab	7.14 ± 0.50 a	6.12 ± 0.34 bc
	C4	7.22 ± 0.18 a	6.66 ± 0.22 a	7.24 ± 0.77 a	7.14 ± 0.57 a	7.23 ± 0.35 a
	C40	7.76 ± 0.38 ab	8.28 ± 0.81 a	6.98 ± 0.36 b	7.38 ± 0.18 b	7.45 ± 0.29 ab
	C53	7.62 ± 0.66 a	7.59 ± 0.65 a	7.56 ± 0.22 a	6.43 ± 0.26 b	7.68 ± 0.92 a

表 7 单株产油量配置

Table 7 Oil yield allocation per plant

正反交 Reciprocal cross	C3	C4	C40	C53	单株产油量/kg Oil production per plant
C3 × C3	1	0	0	0	0.095 2
C4 × C4	0	1	0	0	0.116 0
C40 × C40	0	0	1	0	0.096 0
C53 × C53	0	0	0	1	0.179 5
C3 × C4	0.5	0.5	0	0	0.454 3
C3 × C40	0.5	0	0.5	0	0.401 4
C3 × C53	0.5	0	0	0.5	0.564 2
C4 × C40	0	0.5	0.5	0	0.542 1
C4 × C53	0	0.5	0	0.5	0.706 4
C40 × C53	0	0	0.5	0.5	0.638 3
C3 × C4 × C40	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0	0.466 0
C3 × C40 × C53	0.333 3	0	0.333 3	0.333 3	0.534 6
C3 × C4 × C53	0.333 3	0.333 3	0	0.333 3	0.690 0
C4 × C40 × C53	0	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.628 9
C3 × C4 × C40 × C53	0.25	0.25	0.25	0.25	0.601 2

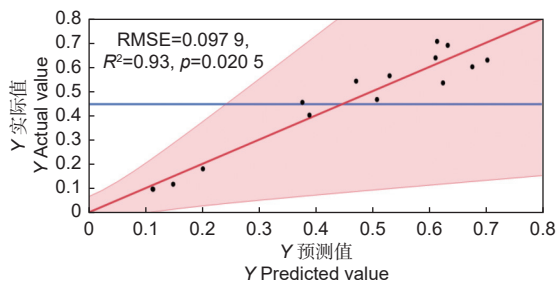


图 1 “预测值—实际值”图

Fig. 1 "Predicted Value - Actual value" diagram

图 1, 图中红色实线为软件给出的预测值, 各黑点为实际测得的单株产油量, 蓝色实线为 15 个正反

交组合单株产油量的平均值。

从表 8 可看出: C3 × C40 (正反交)、C4 × C40 (正反交) 和 C3 × C53 (正反交) 对单株产油量有显著影响, C4 × C53 (正反交) 和 C40 × C53 (正反交) 对单株产油量有极显著影响。下式为不同品种配置影响单株产油量的拟合方程, 通过该方程同样可以对各品种在其取值范围内任意取值下得到的单株产油量进行预测。

$$F(X)=0.1130X_1+0.1484X_2+0.1121X_3+0.2009X_4 + 0.983 3X_1X_2 + 1.105 8X_1X_3 + 1.364 8X_2X_3 + 1.494 1X_1X_4 + 1.759 1X_3X_4 + 1.820 8X_3X_4$$

表 8 参数估计值

Table 8 Parameter estimates

正反交 Reciprocal cross	估计值 estimate	标准误差 Standard error	t比 T ratio	概率> t Probability > t
C3 (混料)	0.113 0	0.096 8	1.167 8	0.295 5
C4 (混料)	0.148 4	0.096 8	1.533 2	0.185 8
C40 (混料)	0.112 1	0.096 8	1.157 8	0.299 3
C53 (混料)	0.200 9	0.096 8	2.075 4	0.092 6
C3 × C4	0.983 3	0.417 1	2.357 6	0.064 9
C3 × C40	1.105 8	0.417 1	2.651 3	0.045 4
C4 × C40	1.364 8	0.417 1	3.272 2	0.022 1
C3 × C53	1.494 1	0.417 1	3.582 2	0.015 8
C4 × C53	1.759 1	0.417 1	4.217 5	0.008 3
C40 × C53	1.820 8	0.417 1	4.365 5	0.007 3

式中： $F(X)$ 为单株产油量， X_1 为 C3 (混料)， X_2 为 C4 (混料)， X_3 为 C40 (混料)， X_4 为 C53 (混料)。

通过预测刻画器 (图 2) 可以对 4 个品种在其取值范围内任意取值下的单株产油量进行预测，横

坐标数字表示各品种所占比例，纵坐标数字表示单株产油量，下方红色数字表示当单株产油量达到峰值时的各品种比例，在所给出的范围内，随着 C3 的增加，单株产油量逐渐降低；随着 C4、C40 和 C53 的增加，单株产油量会先升高后降低，峰值出现在其取值范围内。

在所给出的反应条件范围内，4 个品种的配置比例在长林 3 号 (6.14%) + 长林 4 号 (27.47%) + 长林 40 号 (27.13%) + 长林 53 号 (39.26%) 时单株产油量最高 (0.713 4 kg)，换算成每公顷产油量为 594.26 kg。

参考 4 个品种的配置优化方法，对 3 个品种进行配置优化，得到了不同品种配置影响单株产油量的拟合方程和预测刻画器，通过预测刻画器可以预测单株产油量最佳配置。由表 9 可知：3 个品种的配置比例在长林 4 号 (33.65%) + 长林 40 号 (26.18%) + 长林 53 号 (40.17%) 时单株产油量最高 (0.739 5 kg)，换算成每公顷产油量为 610.00 kg。

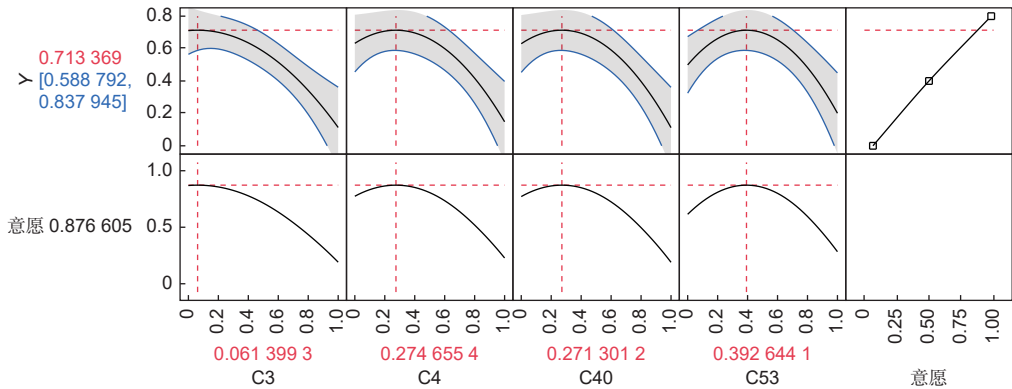


图 2 C3、C4、C40 和 C53 预测刻画器

Fig. 2 C3, C4, C40, and C53 predictive profilers

表 9 3 个品种的最佳配置

Table 9 Optimal configuration of three varieties

品种配置 Variety configuration	拟合方程 Fit the equation	R^2	配置比例 Configure the scale	单株产油量/kg Oil production per plant
C4 × C40 × C53	$F(X)=0.127 3X_2 + 0.107 3X_3 + 0.190 8X_4 + 1.517 8X_2X_3 + 2.008 0X_2X_4 + 1.775 6X_3X_4$	0.96	C4:C40:C53=33.65%:26.18%:40.17%	0.739 5
C3 × C40 × C53	$F(X)=0.104 5X_1 + 0.105 3X_3 + 0.188 8X_4 + 1.036 3X_1X_3 + 1.520 5X_1X_4 + 1.815 3X_3X_4$	0.96	C3:C40:C53=21.41%:34.14%:44.45%	0.638 2
C3 × C4 × C53	$F(X)=0.097 5X_1 + 0.118 3X_2 + 0.181 8X_4 + 1.369 5X_1X_2 + 1.662 1X_1X_4 + 2.189 3X_2X_4$	0.99	C3:C4:C53=19.17%:37.60%:43.23%	0.732 6
C3 × C4 × C40	$F(X)=0.103 5X_1 + 0.124 3X_2 + 0.104 3X_3 + 1.229 6X_1X_2 + 1.058 0X_1X_3 + 1.579 2X_2X_3$	0.96	C3:C4:C40=23.14%:40.32%:36.54%	0.549 0

4 讨论

本研究结果表明, 不同品种授粉对油茶的坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率影响显著, 存在花粉直感效应。这与曹永庆等^[26]和张琰等^[27]提出授粉品种对油茶坐果率、果实质量和种仁含油率有显著影响的观点一致, 与陈凌剑^[28]提出的授粉品种对油茶果实质量和种仁含油率无显著影响的观点不一致, 推测是由于父本花粉来源不同导致其遗传物质也不同^[11]。

提高坐果是增加油茶产量的重要前提, 诸多文献均将坐果率指标作为花粉直感效应的一种表现来探讨^[8-12], 旨在综合考量不同父本来源花粉对母本坐果结实的影响。本研究结果显示, 全花期和盛花期的自交授粉座果率都显著低于异交授粉和自然授粉座果率, 表明油茶是需要配置授粉的植物, 这个结论与邓园艺等^[29]的研究结果相同。在盛花期进行授粉, 本试验长林 3 号和长林 53 号的自交坐果率分别为 26.73% 和 25.19%; 而曹永庆等^[19]研究发现, 长林 3 号和长林 53 号的自交坐果率分别为 40.33% 和 8.46%; 陈凌剑等^[28]和张琰等^[27]研究发现, 长林 3 号和长林 53 号的自交坐果率分别为 4.47% 和 1.17%, 均与本研究有较大差异, 推测是由不同地区的气候、立地条件造成的, 今后还需要对同一品种在不同地区的坐果情况做进一步研究。因为盛花期的花粉活力、柱头可授性、开花数、温度等因素优于初花期和末花期, 所以盛花期坐果率远大于全花期坐果率。单果质量和含油率是评价油茶果实产量的重要指标, 确定单果质量和含油率花粉直感效应, 将有助于提高油茶经济效益。本研究结果表明, 花粉直感对油茶单果质量和含油率影响显著, 这与龙莉等^[30]和曹永庆等^[19]的研究结果一致。

本研究测定分析了开花数、坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率等指标, 并按照混料试验设计要求, 综合以上指标得到单株油茶产油量。相比于梁恬等^[31]、曹永庆等^[19]、陈凌剑^[28]和张琰^[27]对优良授粉品种的研究, 本试验进一步对不同品种之间的配置比例进行优化研究, 最终得到各品种精确配比。当分别去掉 4 个品种配置时所占比率低的长林 3 号和长林 40 号, 只保留 3 个品种时, 产油量高于 4 个品种配置。按照理论情况推测, 当同时去掉长林 3 号和长林 40 号, 只保留长

林 4 号和长林 53 号 2 个品种时, 每公顷产油量将高于 3 个品种配置和 4 个品种配置。但实际种植过程中, 品种越少, 稳定性越差, 越容易受到外界环境因素的影响。同时气候变化影响油茶开花时间, 导致花期不重叠, 而品种越少, 花期重叠时间可能越短, 甚至可能完全不重叠。3 个品种的稳定性更强, 各品种花期相对一致, 亲和性高, 产量也更高。所以, 从各方面综合考虑, 选择 3 个品种进行配置, 同时参考国家林业和草原局 2022 年发布的《全国油茶主推品种和推荐品种目录》, 结合各地区实际情况, 四川和重庆地区选用长林 3 号、长林 4 号和长林 53 号, 国内其他地区选用长林 4 号、长林 40 号和长林 53 号。

本试验通过综合分析各项指标预测出长林系列油茶的品种配置比例, 但实际种植的过程, 受环境等因素的影响, 实际产量与理论产量会产生偏差。下一步将在各地区按照本试验得到的各品种精确配比进行栽植, 比较实际产量与理论产量, 优化品种配置比例。结合《全国油茶主推品种和推荐品种目录》中推荐的 16 个全国主推品种和 65 个各省(市、区)推荐品种, 选择花期相遇、杂交亲和性高的 2~3 个品种进行配置研究, 探索出多套适用于全国油茶主推品种和推荐品种的配置模式, 为油茶高产稳产栽培提供理论依据。

5 结论

通过对油茶果实经济性状的统计分析, 油茶存在花粉直感效应, 表现在坐果率、果实质量、种仁含油率和鲜果含油率等方面。利用油茶的花粉直感效应, 通过混料设计试验得到高产比例配置, 结合各地区实际情况选择相应配置比例, 能够有效提高各地的油茶产量, 从而促进我国油茶产业的高速发展。

参考文献:

- [1] 庄瑞林. 中国油茶(第2版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 3.
- [2] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国油茶品种志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016: 23-25.
- [3] 任传义, 张延平, 汤富彬, 等. 油茶籽油、油橄榄油、核桃油、香榧油中主要化学成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 5011-5016.
- [4] 常维霞, 姚小华. 油茶无性系自交亲和性分析[J]. 林业科学研究, 2016, 29(4): 508-514.
- [5] DENNEY J O. Xenia includes Metaxenia[J]. HortScience, 1992, 27(7): 722-728.

- [6] SHEMER A, BITON I, MANY Y, *et al.* The olive cultivar 'Picual' is an optimal pollen donor for 'Barnea' [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 172: 278-284.
- [7] 张莹, 刘婉君, 成晓华, 等. 不同授粉品种对“鸭梨”鸭突及幼果基部内源激素含量的影响[J]. *果树学报*, 2020, 37 (8): 1168-1174.
- [8] 李光友, 徐建民, 卢国桓, 等. 韦塔桉为母本的控制授粉研究[J]. *林业科学研究*, 2005, 18 (6): 706-710.
- [9] 段爱国, 张建国, 罗红梅, 等. 中国沙棘(♀) × 蒙古沙棘(♂)杂种 F1重要选种性状表型多样性与选优研究[J]. *林业科学研究*, 2012, 25 (1): 30-35.
- [10] FATTAHI R, MOHAMMADZEDEH M, KHADIVI-KHUB A. Influence of different pollen sources on nut and kernel characteristics of hazelnut [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 173: 15-19.
- [11] ZHANG M M, WANG Z H, MAO Y F, *et al.* Effects of quince pollen pollination on fruit qualities and phenolic substance contents of apples [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 108628.
- [12] RAZ A, GOLDWAY M, SAPIR G, *et al.* “Hong Long” Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Is the Optimal Pollinizer for the Main Lychee Cultivars in Israel [J]. *Plants*, 2022, 11(15): 1996.
- [13] 王海波, 王传增, 程来亮, 等. 花粉直感效应对“富士”苹果套袋果实挥发性成分的影响[J]. *北方园艺*, 2016, 373 (22): 25-29.
- [14] HERBERT S W, WALTON D A, WALLACE H M, *et al.* Pollen-parent affects fruit, nut and kernel development of Macadamia [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 244: 406-412.
- [15] KAEMPER W, TRUEMAN S J, OGBOURNE S M, *et al.* Pollination services in a macadamia cultivar depend on across - orchard transport of cross pollen [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2021, 58(11): 2529-2539.
- [16] ISHARTATI E. The Effect of Pollen on The Cross of Black Corn, Waxy Corn (*Zea mays* Ceratina), and Sweet Corn (*Zea mays* Saccharata) on the Seed Characters [J]. *Gontor AGRO-TECH Science Journal*, 2020, 6(3): 499-515.
- [17] 杨 芩, 刘雅兰, 张婷婷, 等. 果树花粉直感效应形成机理研究进展 [J]. *经济林研究*, 2020, 38 (2): 235-240.
- [18] 洪俊彦, 黄 仁, 黄春颖, 等. 植物花粉直感的研究进展及展望 [J]. *植物生理学报*, 2020, 56 (2): 151-162.
- [19] 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.
- [20] 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, 26.
- [21] 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, 179.
- [22] 蒋 瑶, 魏海林, 高昌虎, 等. 湖南低山丘陵区薄壳山核桃的开花物候期观测及品种配置 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45 (1): 53-62.
- [23] 张曼曼, 王增辉, 毛云飞, 等. 不同授粉组合对“富士”和“新红星”苹果品质的影响 [J]. *中国农业科学*, 2018, 51 (18): 3551-3560.
- [24] 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.
- [25] 郭红艳, 王 森, 钟秋平, 等. 华中五味子开花物候期与花部形态特征研究 [J]. *经济林研究*, 2017, 35 (4): 155-163.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 陈凌剑. 五个油茶品种的鉴别与配置研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [29] 邓园艺, 喻勋林, 罗毅波. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (16): 4427-4436.
- [30] 龙 莉, 高 超, 韦红莉, 等. 威宁短柱油茶优良无性系授粉组合筛选试验研究 [J]. *西部林业科学*, 2022, 51 (4): 108-115.
- [31] 梁 恬, 李祥胜, 李 煜, 等. 普通油茶优良无性系有性杂交果实性状变异分析 [J]. *森林与环境学报*, 2022, 42 (2): 166-173.

Effect of Xenia and Variety Configuration on *Camellia oleifera*

TIAN Feng^{1,3}, CHEN Yin-xia², ZHONG Qiu-ping¹, CHEN Dan-yang¹, CHEN Ze-xin¹,
CAO Lin-qing¹, GE Xiao-ning¹, ZHOU You-cheng¹, ZOU Yu-ling¹

(1. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 2. Jiangxi Forestry Science and Technology Extension and Publicity Education Center, Nanchang 330299, Jiangxi, China; 3. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] To investigate the xenia effect of *camellia oleifera* pollen and the precise matching ratio of varieties. [Methods] The differences in fruit setting rate, fruit quality, seed kernel oil content and fresh fruit oil content of *camellia oleifera* under different pollination combinations were investigated in a complete double-row cross test using four breeds of 'Changlin3', 'Changlin4', 'Changlin40' and 'Changlin53', and the configuration pattern of high yielding varieties of oil tea was screened according to the mixture design. [Results] Different pollination combinations showed significant differences in fruit setting rate, fruit quality, seed kernel oil content and fresh fruit oil content of *camellia oleifera*, and all indexes of cross-pollination were significantly higher than those of self-pollination. The recommended pollinator for 'Changlin53' was 'Changlin4', and the recommended pollinator for 'Changlin3', 'Changlin4', 'Changlin40' was 'Changlin53'. The highest oil yield was obtained with the configuration of three varieties, 'Changlin4' (33.65%) + 'Changlin40' (26.18%) + 'Changlin53' (40.17%). [Conclusion] *Camellia oleifera* has xenia effect in fruit setting rate, fruit quality, seed kernel oil content and fresh fruit oil content, and the pollen direct effect is used to promote the high yield and efficiency of *Camellia oleifera* by selecting pollination varieties and the proportional configuration of varieties.

Keywords: *Camellia oleifera*; fruit set rate; xenia effect; mixture design; variety configuration

(责任编辑: 徐玉秀)