文章编号:1001-1498(2016)04-0508-07

油茶无性系自交亲和性分析

常维霞, 姚小华*

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所,浙江 杭州 311400)

摘要:[**目的**]选育自交亲和无性系,以探明油茶自交亲和状况。[**方法**] 采用自花套袋、人工自交及自由授粉3种处理,对50份油茶无性系材料的结实率、人工自交亲和指数(*CI*)、相对亲和指数及果实性状进行统计分析。[**结果**]表明油茶存在高度自交不亲和性,属于自交少孕植物。自花套袋结实率最低,人工自交次之,自由授粉结实率最高。油茶无性系间自交亲和性存在广泛差异,参试材料自交亲和指数介于0～1.355 5之间,其中无性系0531号(CI = 1.355 5)、0504号(CI = 1.044 4)为自交亲和无性系,其它无性系均自交不亲和。参试材料分为3种类型,分别为自交亲和型(2%)、自交不亲和型(84%)和高度自交不亲和型(12%)。油茶人工自交的结实率及平均种子数与自由授粉的结实率及平均种子数存在极显著正相关关系(r > 0.6)。[**结论**]自交授粉油茶果实性状总体上劣于自由授粉处理,高度自交不亲和是油茶生产上落花落果,结实率低、产量低的主要原因之一。

关键词:油茶;人工自交授粉;亲和指数;自交亲和性分异

中图分类号:S794.4 **文献标识码:**A

Study on Self-compatibility of *Camellia oleifera* Clones

CHANG Wei-xia, *YAO Xiao-hua*

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract:[**Objective**] In order to reveal the self-compatibility of *Camellia oleifera* and find out self-fertile clones. [**Method**] Three pollination treatments such as spontaneous self pollination, hand-selfing and opening pollination were designed to analyze the fruit setting rates, compatibility index (CI) by hand-selfing, relative compatibility index and characteristic variation of fruits among 50 *C. oleifera* clones. [**Result**] The result showed that *C. oleifera* is a highly self-incompatible plant. The fruit setting rate of opening pollination is the highest, hand-selfing the second and spontaneous self pollination the lowest. The compatibility index indicated that there was variation among different *C. oleifera* clones, the mean compatibility index ranged from 0 to 1.355 5. Most of the *C. oleifera* clones were self-incompatible except for No.0531 (CI = 1.355 5) and No.0504 (CI = 1.044 4). All of the experimental materials could be divided into 3 groups, i.e. self-compatible (2%), self-incompatible (84%) and highly self-incompatible (12%). For the rate of fertile fruit and average seed number of *C. oleifera*, significant positive relationship was found between hand selfing pollination and opening (r > 0.6). [**Conclusion**] The characteristic of selfing fruit was inferior to opening pollination fruits in the whole. Highly self-incompatibility was one of the main reason causing flower and fruit dropping and low production of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; hand-selfing pollination; compatibility index; selfing-compatible variation

---

收稿日期:2015-12-25

基金项目:浙江省农业新品种选育重大科技专项项目"油茶高产优质新品种选育及示范"(2012C12908-16);"十一五"国家科技支撑计划项目"油茶高产优质新种质创制"(2009BADB1B01);"十一五"国家科技支撑计划重点项目"油茶产业升级关键技术研究与示范"(2009BADB1B00)。

作者简介:常维霞(1989—),女,安徽舒城人,硕士研究生,主要从事经济林育种研究。

* 通讯作者:姚小华(1962—),男,研究员,博导,主要从事经济林遗传育种和栽培研究. E-mail: yaoxh168@163.com

油茶(*Camellia oleifera* Abel.)是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia* Linn.)常绿灌木或小乔木,为我国特有的重要木本食用油料树种[1],其主产品茶油是一种优质营养保健食用油。我国种植油茶历史悠久,但长期以来在生产中一直存在花多果少、坐果率低、产量低的现象,“低产低效”严重制约我国油茶产业健康发展。因此,提高油茶坐果率和增加油茶产量,是当下油茶产业发展的的迫切要求。上世纪 80 年代开始,科研人员从油茶花期气候[2-3]、开花及花粉习性[4-6]、传粉生物学特性[7]以及影响油茶低产的原因[8]等多方面研究和探讨油茶低产的可能因素,对油茶生长和结实规律有了初步认识。此外,从油茶品系(种)间杂交亲和性及可配性出发[9-11],筛选出了亲和力高的交配组合,为油茶造林提供了科学依据。

自交不亲和(Self-incompatibility, SI)是植物防止近亲繁殖,实现异花受精和遗传重组而形成的一种遗传调控机制[12],是植物建立在遗传学基础上的自我识别并减少自交受精机会[13]的一种内在机制。研究证实,自交不亲和性广泛存在于显花植物中[14]。传统观念一致认为,油茶属于异花授粉植物,自花不孕[15-16]。近年来,利用荧光显微技术观察油茶自交异交花粉管生长特性[17]并研究自交雌蕊解剖特征[18]发现,油茶是自交不亲和植物。但其结论仅仅基于个别地域少数几个品系的研究。国家油茶科技公关组在无性系间首次发现自花可孕植株,而且自花授粉率还很高[19]。因此,油茶自交亲和性不能一概而论。

目前,油茶育种主要依赖常规人工去雄,剥蕾授粉,费时费工。油茶品系中存在的自交不亲和性使提高优良基因型纯合度面临很大困难,也导致了油茶育种工作进展缓慢。因此,研究油茶自交亲和性,选用自交亲和系,组配优良杂交种,在生产上意义重大。另外,筛选自交亲和系可为后续花粉-雌蕊互作机制及植物进化的研究提供材料。但到目前为止,还没有关于油茶自交亲和性系统研究的报道。本研究以 50 份油茶无性系作为试材,通过人工自交授粉试验,研究其自交结实率、平均种子数及自交亲和指数,以系统了解油茶的自交亲和状况,明确不同无性系自交亲和性差异,旨在为选育油茶自交亲和新品种及进一步育种提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

花粉采集及人工授粉试验于 2014 年 10 月至 11 月中旬在浙江省金华市琅琊镇东方红国有林场油茶收集圃进行。该地温暖湿润,四季分明,雨量适中,属于亚热带季风气候。土壤以红壤为主,土层深厚。收集圃于 2006 年春采用随机区组营造,定植密度为 2 m×3 m,圃内油茶无性系树体健壮,长势良好,2008 年正常开花结实(表 1)。

1.2　试验方法

1.2.1　自交授粉　50 份油茶无性系材料各选取 3 株,每株于全株 20%～50% 开花时分别进行以下 3 种处理:(1)自花套袋:根据前期预备试验经验,判断选取开花前一天的大蕾,进行套袋,并挂牌标记;(2)人工自交:将同一无性系不同植株上摘下的花药分别收集在硫酸纸袋中,做好标记,带回室内置于通风处阴干,待花药开裂散粉后收集花粉;选取当天即开的花蕾,上午 6:00～8:00(此时花药没散粉)去雄并套袋隔离;9:00～10:00 进行同株花自交授粉;(3)自由授粉:选取当天开放的花蕾挂牌标记。以上 3 个处理每株上各选取 30 朵花进行试验,每个无性系单株为 1 个重复,授粉 10 d 后去袋。

1.2.2　自交亲和性评价　通过计算结实率、自交亲和指数(Compatibility index, *CI*)[19-20]、相对亲和指数[19-20]判断油茶自交亲和性,其中结实率=(结实数/授粉花朵数)×100%;平均结籽数=结籽数/授粉花朵数;亲和指数=可育种子数/人工自交花蕾数;相对亲和指数=蕾期自交的平均结籽数/自由授粉的平均结籽数。基于十字花科(Cruciferae)[20-23]及蔷薇科(Rosaceae)[24-26]植物亲和指数的界定,为了能得到较好的自交亲和系,本研究采用油茶亲和指数大于等于 1 为自交亲和,亲和指数小于 1 为自交不亲和。

1.2.3　油茶果实性状测定　果实成熟(当年 10～11 月)时及时采摘。带回实验室后用电子天平分别测定单果鲜质量、单果鲜籽质量、单粒籽质量(精确到 0.01),并计算鲜果出籽率=(单果鲜籽质量/鲜果质量)×100%。

油茶籽剥去外壳后,种仁在 105℃ 烘箱中干燥 9 h 后研磨成粉状;把定性滤纸折成空滤纸包,置于铝盒中,并在 105℃ 下干燥 0.5 h,称质量并记录为 m_1=盒+纸包;取 1 g 种仁粉末,放入滤纸包,105℃ 干

表1 供试油茶材料

编号	无性系号	编号	无性系号	编号	无性系号
1	0565	18	172	35	96
2	长林55	19	178	36	0601
3	长林18	20	长林3	37	长林166
4	0542	21	0553	38	0504
5	0509	22	180	39	0529
6	0581	23	长林27	40	小果1
7	0549	24	0543	41	0511
8	0548	25	0559	42	0503
9	0545	26	3012	43	300
10	0502	27	0534	44	0538
11	长林21	28	0509	45	0604
12	长林53	29	0539	46	0532
13	3038	30	小果	47	20
14	长林23	31	191	48	98
15	161	32	0540	49	长林40
16	182	33	173	50	长林4
17	46	34	0531		

燥2 h,称质量并记录为 m_2 = 盒 + 纸包 + 样品;把含种仁粉末的滤纸包放入索氏抽提器中,加入适量石油醚浸泡;用索氏抽提器抽提6 h;取出滤纸包,放入原铝盒中,105℃干燥4 h,称质量并记录为 m_3 = 残渣;计算种仁含油率 = $[(m_2 - m_3)/(m_2 - m_1)] \times 100\%$,每个样品3次重复。

1.3 数据处理

试验数据用Excel 2003整理,其中百分比数据经反正弦平方根转换后进行数据运算;运用SPSS19.0对结实率、亲和指数、果实各性状指标进行方差分析,并采用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 3种授粉方式的结实率差异

油茶无性系间结实率存在很大差异,同一无性系不同授粉方式间也存在差异。所有材料自花套袋结实率均低于10%,其中32份材料自花套袋结实率为0。方差分析结果表明,自花套袋结实率显著低于人工自交($P<0.01$)和自由授粉($P<0.01$)。人工自交从一定程度上提高了油茶自交结实率,14份材料结实率达10%,其中长林53号、3038、0539、0531、0504这5个无性系材料结实率超过20%。0565、长林18号、161、172、0540、96这6个无性系自花套袋及人工自交均不结实,说明人工自交对于提高其自交结实率无效。总体上,参试材料人工自交结实率低于自由授粉处理,且差异达到极显著水平($P<0.01$)。

表2 3种授粉方式结实率方差分析

授粉方式	样本数	结实率平均值/%	标准误
1	150	5.57	0.85
2	150	21.50	1.46
3	150	37.69	1.27

差异来源	*SS*	*DF*	*MS*	*F*	*P*
授粉方式间	7.71	2	3.86	171.53	0.00
授粉方式内	10.03	449	0.02		
总计	17.74	451			

注:1表示自花套袋,2表示人工自交,3表示自由授粉。

2.2 油茶不同无性系自交亲和性的差异

50个油茶无性系自交亲和指数存在很大变异,变异系数达15.74%,无性系间自交亲和指数(*CI*)差异极显著($P<0.01$)(表3)。所有参试材料自交亲和指数(*CI*)为0~1.355 5,均值为0.137 8,自交亲和指数(*CI*)总体很低,其中0531号、0504号自交亲和指数(*CI*)大于1,分别为1.355 5、1.044 4。另外,所有试验材料相对亲和指数为0~1.132 5,均值为0.234 3;自交相对亲和指数在不同无性系间也存在很大变异,变异系数为10.49%,其中0504号相对亲和指数最高,为1.132 5,其余无性系相对亲和指数均小于1。油茶蕾期自交授粉的亲和性与其自由授粉的亲和性存在很大差异,与已知的多数自交不亲和植物[21-27]相比,油茶可能存在高度自交不亲和性。

参考前人研究成果[22-27],本研究将人工自交亲和指数(*CI*)作为判断油茶自交亲和性的标准,即 $CI \geq 1$ 则认为自交亲和,$0<CI<1$ 认为自交不亲和,$CI=0$ 认为高度自交不亲和。根据这个标准,将所有试验材料划分为3种类型(表4),其中有2份材料为自交亲和型($CI>1$),占4%;6份材料为高度自交不亲和型($CI=0$),占12%;剩余84%的试验材料均为自交不亲和型($0<CI<1$)。据此说明油茶具有高度的自交不亲和性,但也存在少数自交亲和无性系。

对所有试验材料的人工自交结实率及平均结籽数与其自由授粉结实率及平均结籽数进行相关性分析发现,油茶蕾期人工自交结实率与自由授粉结实率呈极显著正相关

($r=0.623$,$P<0.01$),自交平均种子数与自由授粉平均种子数也呈极显著正相关($r=0.618$,$P<0.01$)。这进一步说明,蕾期人工自交授粉对油茶自交亲和性的影响不仅与不同无性系有关,而且与其开放授粉的亲和性显著正相关。

表 3　油茶不同无性系自交亲和指数与相对亲和指数

编号	无性系号	人工自交平均结籽数	自由授粉平均结籽数	自交亲和指数(*CI*)	相对亲和指数
1	0565	0.000 0e	0.050 0 ±0.050 0i	0.000 0	0.000 0
2	长林 55	0.083 3 ±0.016 6de	0.416 6 ±0.016 6efghi	0.083 3	0.200 0
3	长林 18	0.000 0e	0.383 3 ±0.083 3efghi	0.000 0	0.000 0
4	0542	0.016 6 ±0.016 6e	0.216 6 ±0.072 6fghi	0.016 6	0.076 6
5	0509	0.133 3 ±0.076 3d	0.166 6 ±0.044ghi	0.133 3	0.800 1
6	0581	0.050 0 ±0.028 0e	0.133 3 ±0.060 0hi	0.050 0	0.375 1
7	0549	0.066 6 ±0.016 6e	0.166 6 ±0.101 3ghi	0.066 6	0.399 8
8	0548	0.033 3 ±0.028 8e	0.083 3 ±0.166 6hi	0.033 3	0.399 8
9	0545	0.033 3 ±0.016 6e	0.116 6 ±0.044 0hi	0.033 3	0.285 6
10	0502	0.150 0 ±0.028 0cd	0.733 3 ±0.192 2cdefgh	0.150 0	0.204 6
11	长林 21	0.050 0 ±0.028 8e	0.816 6 ±0.240 3cdef	0.050 0	0.061 2
12	长林 53	0.416 6 ±0.158 9cd	1.883 3 ±0.289 1a	0.416 6	0.221 2
13	3038	0.383 3 ±0.072 0cd	0.683 3 ±0.142 4cdefghi	0.383 3	0.561 0
14	长林 23	0.150 0 ±0.150 0cd	0.800 0 ±0.132 2cdefg	0.150 0	0.187 5
15	161	0.000 0e	0.133 3 ±0.044 0hi	0.000 0	0.000 0
16	182	0.016 0 ±0.016 0e	0.100 0 ±0.028 0hi	0.016 0	0.160 0
17	46	0.066 0 ±0.044 0e	0.483 3 ±0.133 3efghi	0.066 0	0.136 6
18	172	0.000 0e	0.083 3 ±0.044 0hi	0.000 0	0.000 0
19	178	0.066 0 ±0.044 0e	0.383 3 ±0.044 0efghi	0.066 0	0.172 2
20	长林 3	0.158 0 ±0.036 00cd	0.516 6 ±0.041 6defghi	0.158 0	0.305 8
21	0553	0.033 3 ±0.033 3e	0.477 7 ±0.196 5efghi	0.033 3	0.069 7
22	180	0.088 8 ±0.040 0d	0.188 8 ±0.090 9fghi	0.088 8	0.470 3
23	长林 27	0.122 2 ±0.011 1d	0.622 2 ±0.067 6defghi	0.122 2	0.196 4
24	0543	0.033 3 ±0.038 0e	0.183 3 ±0.033 3fghi	0.033 3	0.181 7
25	0559	0.066 6 ±0.016 6e	0.450 0 ±0.028 8efghi	0.066 6	0.148 0
26	3012	0.016 6 ±0.016 6e	0.200 0 ±0.076 3fghi	0.016 6	0.083 0
27	0534	0.133 3 ±0.016 6d	0.433 3 ±0.060 0efghi	0.133 3	0.307 6
28	FY9	0.033 3 ±0.033 3e	0.233 3 ±0.130 1fghi	0.033 3	0.142 7
29	0539	0.450 0 ±0.100 0c	1.816 6 ±0.220 4a	0.450 0	0.247 7
30	小果 3	0.083 3 ±0.033 3d	0.533 3 ±0.044 defghi	0.083 3	0.156 2
31	191	0.033 3 ±0.033 3e	0.483 3 ±0.109 2efghi	0.033 3	0.068 9
32	0540	0.000 0e	0.200 0 ±0.076 3fghi	0.0000	0.000 0
33	173	0.022 2 ±0.011 1e	0.333 3 ±0.117 0efghi	0.022 2	0.066 6
34	0531	1.355 5 ±0.245 2a	1.711 1 ±0.105 9a	1.355 5	0.791 9
35	96	0.000 0e	0.111 1 ±0.044 4hi	0.000 0	0.000 0
36	0601	0.022 2 ±0.011 1e	0.188 8 ±0.022 2fghi	0.022 2	0.117 6
37	长林 166	0.011 1 ±0.011 1e	0.155 5 ±0.067 5ghi	0.011 1	0.071 4
38	0504	1.044 4 ±0.311 1b	0.922 2 ±0.058 7bcde	1.044 4	1.132 5
39	0529	0.455 5 ±0.048 4c	1.177 7 ±0.254 1bc	0.455 5	0.386 8
40	小果 1	0.122 2 ±0.022 2d	0.377 7 ±0.077 7efghi	0.122 2	0.323 5
41	0511	0.011 1 ±0.011 1e	0.200 0 ±0.088 1fghi	0.011 1	0.055 5
42	0503	0.033 3 ±0.010 1e	0.200 0 ±0.050 9fghi	0.033 3	0.166 5
43	300	0.011 1 ±0.011 1e	0.255 6 ±0.040 0fghi	0.011 1	0.043 4
44	0538	0.100 0 ±0.050 9d	0.655 5 ±0.029 3cdefghi	0.100 0	0.152 6
45	0604	0.011 1 ±0.011 1e	0.077 7 ±0.040 0hi	0.011 1	0.142 9
46	0532	0.211 1 ±0.058 7cd	0.555 5 ±0.193 7efghi	0.211 1	0.380 0
47	20	0.166 6 ±0.019 2cd	0.700 0 ±0.195 3cdefghi	0.166 6	0.238 0
48	98	0.266 6 ±0.019 2cd	1.066 6 ±0.126 1bcd	0.266 6	0.250 0
49	长林 40	0.055 5 ±0.011 1e	1.344 4 ±0.155 5b	0.055 5	0.041 3
50	长林 4	0.022 2 ±0.025 5e	0.511 1 ±0.154 3defghi	0.022 2	0.043 4
均值		0.137 8	0.494 3	0.137 8	0.234 3
变异系数/%		15.74	7.86	15.74	10.49

注:同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)下同。

表4 参试材料自交亲和性变异

自交类型	自交亲和指数(*CI*)	无性系数量	百分比/%	无性系编号(*CI*)
自交亲和	≥1.000 0	2	4	34(1.355 5a),38(1.044 4b)
自交不亲和	0~0.999 9	42	84	2(0.083 3de),4(0.016 6e),5(0.133 3d),6(0.050 0e),7(0.066 6e),8(0.033 3e),9(0.033 3e),10(0.150 0cd),11(0.050 0e),12(0.416 6cd),13(0.383 3cd),14 (0.187 5cd)16(0.016 0e),17(0.066 0e),19(0.066 0e),20(0.158 0cd),21(0.033 3e),22(0.088 8d),23(0.122 2d),24(0.033 3e),25(0.066 6e),26(0.016 6e),27(0.133 3d),28(0.033 3e),29(0.450 0c),30(0.083 3d),31(0.033 3e),33(0.022 2e),36(0.022 2e),37(0.011 1e),39(0.455 5c),40(0.122 2d),41(0.011 1e),42(0.033 3e),43(0.011 1e),44(0.100 0d)45(0.011 1e),46(0.211 1cd),47(0.166 6cd),48(0.266 6cd),49(0.055 5e),50(0.022 2e).
高度自交不亲和	0.0000	6	12	1(0.000 0e) ,3(0.000 0e), 15(0.000 0e),18(0.000 0e) ,32(0.000 0e), 35(0.000 0e)

注:同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著(下同)。

2.3 自交、自由授粉油茶果实性状的差异

对油茶自交、自由授粉所得果实性状相关指标进行多重比较可以看出,自交、自由授粉处理油茶果实性状在无性系间差异显著;同一无性系自交果实与自由授粉果实性状也存在差异(表5)。总体来说,自交授粉所结果实性状劣于自然结实果实性状。具体表现为自交授粉果实在平均单果鲜质量、平均单果鲜籽质量、可育种子数、平均鲜果出籽率等指标上均显著低于自由授粉处理($P<0.05$),其单粒籽质量及种仁含油率指标也较自由授粉处理低,虽然两者差异不显著($P>0.05$)。油茶自交果平均单果鲜质量为8.51 g,自然结实为16.67 g,无性系间总变异达5.22%;自交果平均单果鲜籽质量为3.81 g,自然结实为5.87,总变异系数为5.79%;在可育种子数上,自交果均值为1.83个,自然结实均值为3.87个,变异系数为5.81%;自交果平均鲜果出籽率为43.46%,自由授粉为47.79%,变异系数为1.26%。

从两份自交亲和材料自交及自由授粉果实性状指标可以看出,0504号两种授粉处理果实性状各指标均没有显著差异,0531号自交果实种仁含油率及单果可育种子数上显著低于自由授粉水平。这种差异可能与油茶不同无性系遗传特性有关。

3 讨论

被子植物自交亲和性高低受花蕾成熟度的影响,有研究发现植物自交不亲和的表现随着雌蕊的发育而增强,花蕾中未成熟的雌蕊不存在不亲和物质,或者其量甚少,因而不具备完全开放花朵的自我识别能力,不亲和花粉管能顺利生长并有效受精。在芸薹属(*Brassica L.*)自交不亲和物种中,成熟的乳突细胞可以阻止花粉管的穿入,而花序的乳突细胞则不能,而且用免疫法测得的S蛋白和用等电点法测得的S糖蛋白随着柱头的成熟而增加,这与不亲和反应的开始密切有关[28]。蕾期的乳突细胞不分泌这些与自交不亲和性识别有关的蛋白质。本研究发现,普通油茶无性系自花套袋结实率显著低于蕾期人工自交结实率,这也进一步说明,蕾期授粉对于克服油茶自交亲和性具有一定的效果。

油茶为虫媒花,异花授粉植物,有研究证实油茶属于专性异交型[29]。本研究结果表明油茶自交的结实率显著低于自由授粉的结实率,这可能与油茶传粉机制及遗传基础有关。另外,自交授粉结实率与油茶雌雄异熟机制是否有关,有待进一步深入研究。有研究表明,由自交不亲和向自交亲和转变是自然界植物进化发展的必然趋势[30]。本研究中油茶无性系间自交亲和性差异可能与遗传变异有关。为提高产量,增加经济效益,今后油茶造林工作中,需要根据无性系间杂交亲和性合理搭配种植,减少单一品种大面积造林。控制油茶自交亲和性的内在生理及分子机制是下一步重点研究方向。

4 结论

本研究通过对50份油茶无性系材料进行人工自交授粉,研究其自交亲和性。结果表明,油茶无性系不同授粉处理结实率有极显著差异,自花套袋结实率最低,人工自交次之,自由授粉结实率最高。其中,无性系0531号、0504号属于自交亲和无性系,绝大多数无性系自交不亲和。自交不亲和是油茶生产上落花落果,结实率低、产量低的主要原因之一。

表 5　自交及自由授粉油茶果实性状多重比较

无性系号	项目	平均单果鲜质量/g	平均单果鲜籽质量/g	可育种子数/个	单粒籽质量/g	平均鲜果出籽率/%	种仁含油率/%
长林 4	1	7.38 ±0.62mnopq	2.36 ±0.23j	1.00j	2.36 ±0.24bcde	60.84 ±5.09i	65.20 ±0.73kl
	2	14.81 ±1.05efghij	5.7 ±0.34defgh	4.90 ±0.21bc	1.16 ±0.09ij	67.23 ±0.89fghi	58.81 ±1.19n
长林 55	1	6.86 ±0.08mnopq	2.64 ±0.07ij	1.00j	2.63 ±0.07abcd	66.82 ±0.92ghi	75.35 ±0.61efg
	2	11.26 ±1.65ijklmn	5.25 ±0.84defghi	2.67 ±0.33fghi	1.95 ±0.11cdefghi	75.04 ±1.88cdefg	67.64 ±0.83jk
0553	1	8.24 ±1.06lmnopq	3.39 ±0.71hij	1.00j	3.39 ±0.71a	68.85 ±4.52efghi	64.25 ±0.35l
	2	26.26 ±1.43a	12.08 ±0.67a	3.72 ±0.31cdef	3.26 ±0.09ab	74.37 ±0.12cdefg	63.40 ±0.56lm
长林 53	1	10.38 ±1.91jklmno	4.57 ±0.99efghij	1.64 ±0.39ij	2.80 ±0.05abc	71.20 ±1.45cdefgh	62.64 ±1.23lm
	2	24.92 ±2.31ab	11.75 ±1.08ab	4.87 ±0.23bc	2.43 ±0.28bcde	77.31 ±4.46cde	65.13 ±0.29kl
0529	1	12.60 ±2.13hijk	7.45 ±1.48cd	3.43 ±1.06defg	2.31 ±0.30cdefg	85.88 ±2.20b	50.34 ±0.37p
	2	19.89 ±3.16cd	12.41 ±1.93a	4.62 ±0.27bcd	2.66 ±0.29abcd	95.97 ±6.76a	48.74 ±0.76p
长林 23	1	6.88 ±0.96mnopq	2.55 ±0.50ij	2.00 ±0.58hij	1.39 ±0.27fghij	64.93 ±4.22hi	80.48 ±2.57bc
	2	17.35 ±0.43cdefgh	7.21 ±0.28cde	5.22 ±0.22b	1.38 ±0.01ghij	70.02 ±0.53defgh	83.73 ±0.43a
98	1	6.67 ±0.39nopq	2.64 ±0.19ij	1.53 ±0.12ij	1.74 ±0.09defghij	66.90 ±1.08fghi	70.07 ±1.65ij
	2	13.29 ±0.33ghijk	5.62 ±0.19defgh	3.10 ±0.05efgh	1.81 ±0.04defghi	69.99 ±0.28defgh	67.76 ±1.20jk
20	1	7.70 ±1.03lmnopq	3.43 ±0.52hij	1.94 ±0.34hij	1.91 ±0.54cdefghi	71.78 ±1.34cdefgh	61.15 ±0.68mn
	2	17.97 ±1.48cdefgh	9.16 ±0.80bc	4.12 ±0.23bcde	2.22 ±0.19cdefgh	79.08 ±0.60bc	65.47 ±1.88kl
0538	1	4.53 ±0.23pq	1.76 ±0.20j	1.00j	1.76 ±0.20defghi	66.89 ±3.67fghi	76.31 ±0.31ef
	2	15.43 ±1.16defghi	6.63 ±0.63cdef	3.02 ±0.23efgh	2.19 ±0.04cdefgh	70.99 ±0.92cdefgh	74.7 ±1.45efgh
0539	1	10.37 ±2.17jklmno	4.28 ±1.02fghij	1.59 ±0.51ij	2.83 ±0.22abc	68.38 ±1.49efghi	59.54 ±0.70n
	2	18.70 ±1.02cde	9.19 ±0.49bc	4.54 ±0.55bcd	2.06 ±0.15cdefghi	76.36 ±0.30cde	55.39 ±0.77o
0532	1	7.72 ±1.04lmnopq	3.90 ±0.46fghij	1.55 ±0.37ij	2.63 ±0.29abcd	78.79 ±3.19bcd	82.36 ±0.10ab
	2	13.73 ±1.23fghijk	7.11 ±0.97cde	3.28 ±0.17defgh	2.15 ±0.18cdefgh	79.71 ±2.23bc	76.65 ±0.33de
0531	1	8.84 ±2.28klmnop	4.16 ±1.22fghij	3.31 ±1.07defgh	1.28 ±0.08hij	75.85 ±1.45cdef	64.37 ±1.08l
	2	11.95 ±1.01ijklm	5.77 ±0.70defgh	6.85 ±0.6a	0.84 ±0.03j	74.13 ±2.22cdefg	72.93 ±0.67ghi
0503	1	6.15 ±2.04nopq	2.46 ±0.81ij	1.00j	2.46 ±0.81bcde	68.31 ±4.66efghi	74.77 ±0.72efgh
	2	15.57 ±3.00defghi	6.30 ±1.77defg	2.13 ±0.94ghij	3.38 ±0.50a	68.55 ±2.68efghi	79.34 ±0.86cd
0504	1	20.69 ±1.75bc	10.32 ±1.01ab	4.40 ±0.14bcd	2.34 ±0.17bcde	77.06 ±0.78cde	71.66 ±0.49hi
	2	18.50 ±1.56cdef	9.10 ±0.92bc	3.78 ±0.31cdef	2.40 ±0.06bcde	76.40 ±0.67cde	73.20 ±0.92fgh
长林 27	1	8.21 ±0.36lmnopq	3.07 ±0.23hij	1.22 ±0.11j	2.52 ±0.05abcde	66.04 ±1.07ghi	75.37 ±0.27efg
	2	21.48 ±1.605bc	9.29 ±0.82bc	4.37 ±0.37bcde	2.13 ±0.04cdefgh	71.41 ±0.77cdefgh	75.4 ±1.15efg
小果 1	1	3.56 ±0.37q	2.37 ±0.28j	1.39 ±0.20ij	1.72 ±0.05defghij	94.32 ±1.37a	73.53 ±0.10efgh
	2	5.58 ±0.24opq	3.69 ±0.16ghij	2.29 ±0.08ghij	1.61 ±0.03efghij	93.58 ±0.50a	74.11 ±0.90efgh
均值		12.61	5.86	2.89	2.18	0.74	0.69
变异系数/%		5.22	5.79	5.81	3.42	1.26	1.29

注:1 表示自交授粉,2 表示自由授粉;百分比数据(平均鲜果出籽率、种仁含油率)是经平方根反正弦转换后的值。

参考文献:

[1] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社, 2008.

[2] 林少韩, 李桂梅. 油茶低产林改造工程的技术策略与实施方法[J]. 林业科学研究,1991,4(4): 353 -359.

[3] 曾燕如, 黎章矩. 油茶花期气候对花后坐果的影响[J]. 浙江林学院学报,2010,27(3): 323 -328.

[4] 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.

[5] 黎章矩. 油茶开花习性与产量关系的研究[J]. 经济林研究, 1983,1(1): 31 -41.

[6] 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.

[7] 常维霞,姚小华,龙 伟. 山茶属 3 种植物花药超低温保存研究[J]. 中国油料作物学报,2016,38(1):52 -57.

[8] 黎章矩,曾燕如,戴文圣. 油茶低产低效的内外影响因子调查[J]. 林业科技开发,2009,23(5): 26 -31.

[9] 张乃燕,陈国臣,王东雪,等. 岑软 2 号、3 号等油茶无性系花粉配合力测定[J]. 广西林业科技,2009,38(1)1 -3.

[10] 李春林. 普通油茶主要无性系开花生物学及可配性研究[D]. 重庆: 西南大学,2011:41 -43.

[11] 杨小胡,陈隆升,彭映赫,等 . 不同油茶无性系组合授粉亲和力的研究[J]. 中南林业科技大学学报,2015,35(1):30 -33.

[12] Silva N F,Goring D R. Mechanisms of self-incompatibility in flowering plants[J]. Cell and Molecular Life Sciences,2001,58(14): 1988 -2007.

[13] Barrett S C H. The evolution, maintentance, and loss of self-incompatibility systems[M]//Doust J L, Doust L L. Plant reproductive ecology: patterns and strategies. Oxford: Oxford University Press, 1988: 98 -124.

[14] 孟金陵. 植物生殖遗传学[M]. 北京:科学出版社,1997.

[15] 李振纪. 油茶[M]. 北京:中国农业出版社,1980: 48 -73.

[16] 何　方. 油茶[M]. 北京:经济管理出版社,1997:1 -10.

[17] 廖 婷,袁德义,彭邵锋,等. 油茶自交和异交过程花粉管生长的荧光显微观察[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(7):34-37.

[18] 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.

[19] 姚小华,王开良,任华东,等. 油茶资源与科学利用研究[M]. 北京:科学出版社,2012.

[20] Petanidou T,Godfree R C,Song D S, *et al*. Self-compatibility and plant invasiveness:Comparing species in native andinvasive ranges [J]. Perspectivesin Plant Ecology ,Evolusion and Systematics, 2012,14(1):3-12.

[21] Fan H L,Bai S W,Chang L G,*et al*. Genetic variation of self-compatibility in *Eruca sativa* Mill[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences ,2015,37(5):605-612.

[22] Nasrallah M E, Wallace D H. Immunogenetics of sel-fincompatibility in *Brassica oleracea* L.[J]. Heredity, 1967,22: 519-527.

[23] Leducq J B, Gosset C C, Gries R, *et al*. Self-incompatibility in Brassicaceae: identification and characterization of SRK-like sequences linked to the S-locus in the tribe Biscutelleae[J]. Genetics of Sex,2014,4(6):983-992.

[24] 于晓艳,赵兰勇,丰 震,等. 22份国产玫瑰资源的自交亲和性[J]. 中国农业科学,2009,42(9):3236-3242.

[25] Cachi A M, Hedhly A, Hormaza J I, *et al*. Pollen tube growth in the self-compatible sweet cherry genotype, 'Cristobalina', is slowed down after self-pollination[J]. Annals of Applied Biology, 2014,164 (1):73-84.

[26] 吕林有,魏臻武,赵 艳,等. 苜蓿自交亲和性、授粉方式及后代性状分离的研究[J]. 草业科学,2009,26(4):33-36.

[27] Gibbs P E. Late-acting self-incompatibility-the pariah breeding system in flowing plants[J]. New Phytologist, 2014, 203(3):717-719.

[28] Nasrallah J B, Kao T H, Goldberg M L,*et al*. A cDNA clone encoding an S-locus-specif glycoprotein from *Brassica oleracea*[J]. Nature,1985,318:263-267.

[29] 廖 婷. 油茶自交不亲和性初步研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2013:18-19.

[30] Igic B, Lande R, Kohn J R. Loss of self incompatibility and its evolutionary consequences[J]. International Journal of Plant Sciences,2008,169(1): 93-104.

(责任编辑:金立新)