

爱玉子 (*Ficus awkeotsang*) 不同品系的 繁殖生态学比较

吴文珊, 陈友铃

(福建师范大学生命科学学院, 福州 350108)

摘要: 对不同品系爱玉子 (*Ficus awkeotsang*) 的繁殖系统进行了研究。推算表明: 爱玉子栽培的雌、雄株数量配植比例可以从目前的 4~5:1 提高到 23~24:1, 以使传粉小蜂种群达到合理密度, 提高结实率和成虫瘿率, 增加单位面积雌株的栽培数量, 提高爱玉子单位面积产量, 增加土地栽培效益。比较爱玉子不同品系雌、雄花序的 B 期 (雌花期) 与雄花序的 D 期 (雄花期) 花序数量变化及持续时间, 结果表明: 栽培爱玉子雄花序 D 期时长约 1 个月, 而雌、雄花序的 B 期时长却是 2~3 个月, B、D 期不能完全重叠, 导致 B 期花序因没有小蜂传粉 (或产卵) 而脱落。因此建议对雄株的 B 期花序进行人工引蜂的方法修复小蜂种群, 从而延长雄性品系 D 期时长; 而雌、雄品系配植模式应为 1:2~4, 即 1 个雌株品系与 2~4 个 D 期依次衔接的雄株品系配植。福建省的爱玉子栽培急需引进和选育 D 期早熟和晚熟的雄性品系。

关键词: 雌雄异株; 配植; 薜荔榕小蜂

文章编号: 1000-0933(2008)10-4692-11 **中图分类号:** Q145, Q945, Q948, Q949.9 **文献标识码:** A

Comparison of reproduction ecology of different *Ficus awkeotsang* strains

WU Wen-Shan, CHEN You-Ling

College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4692~4702.

Abstract: The reproductive characters of different *Ficus awkeotsang* strains were studied. It was indicated by calculation that the ratio of female plants to male plants of cultivated *Ficus awkeotsang* could be increased from current 4~5:1 to 23~24:1 so as to attain a reasonable density of wasp population, raise fruit rate and gall turning rate, increase the number of female trees per unit area, enhance the yield of *Ficus awkeotsang*, and thus improve the efficiency of land cultivation. The change of syconia number and the duration of phase B (female flowering phase) and phase D (male flowering phase) of different *Ficus awkeotsang* strains were compared. Results showed that the length of phase D of male syconia was about one month, while the length of phase B of female and male syconia was 2~3 months. This means that phase B and phase D could not overlap completely, resulting in the falling of syconia in phase B due to lack of wasps for pollination (or oviposition). Therefore, we suggest that pollination wasps could be introduced artificially to male syconia of phase B so as to prolong the phase D of male strains; and the match between female and male strains should be 1:2~4, namely, one female strain is cultivated with 2~4 male strains with successive D phases. Introduction or breeding of male strains with

基金项目: 福建省科技厅重点资助项目 (No. 2007S0015)

收稿日期: 2008-04-17; **修订日期:** 2008-07-24

作者简介: 吴文珊 (1966~), 女, 福建闽清人, 博士, 副教授, 主要从事生态学和果树遗传育种研究。E-mail: wuwenshan@126.com

致谢: 感谢福建省闽侯县鸿尾下山坪种养综合场爱玉子栽培基地和闽台科技农业仙嶺生态研究基地为本研究提供实验材料。

Foundation item: The project was financially supported by Scientific Research Program of the Science and Technology Department of Fujian (No. 2007S0015)

Received date: 2008-04-17; **Accepted date:** 2008-07-24

Biography: WU Wen-Shan, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in ecology and fruit genetics breeding. E-mail: wuwenshan@126.com

early mature and late mature phase D is urgently required for *Ficus awkeotsang* cultivation in Fujian.

Key Words: dioecism; match; *Wiebesia pumilae*(Hill) Wieb.

爱玉子(*Ficus awkeotsang* Makino)为桑科榕属常绿攀援大藤本,雌雄异株,是我国特有植物^[1]。1980年台湾科研人员开始爱玉子的野生驯化与立地栽培研究,1985年爱玉子人工栽培获得成功。近年,爱玉子作为低脂食品研发的重要资源而倍受关注。1996年爱玉子作为台湾名优特果树成功引进福建。爱玉子的花序为坛状封闭式隐头花序,依赖专一性共生的榕小蜂科昆虫-薜荔榕小蜂(*Wiebesia pumilae*(Hill) Wieb.)传粉,共生双方在形态结构和生理功能上高度互适,组成了排它的一对一的互惠伙伴,任一方的消亡必将导致另一方的绝灭^[2,3]。近年,国内外对榕-蜂互惠共生模式的繁殖生态学研究^[4~15]方兴未艾,爱玉子特殊的繁殖生态特征给特种果树栽培提出新的课题。

爱玉子花序大,雌性花数量极多,大量的花集中生于花序腔中,有利于小蜂产卵或传粉,同时也需要更多的小蜂进入花序,这是依赖特定小蜂传粉的隐头花序提高受孕率和受粉率的生态对策,榕小蜂的缺失必定造成爱玉子传粉链的断裂和传粉系统的损毁^[14]。因此,传粉系统是否健全,小蜂种群是否持续稳定,是否有传粉小蜂进入花序,以及进入花序中的小蜂数量,均直接影响花序结实率和成虫瘿率,从而影响爱玉子产量。在进行爱玉子品系选育时,选育标准不仅要考虑雌雄植株的主要经济性状,还要考虑到爱玉子-榕小蜂传粉系统,要求二者物候生活史在时间上的高度吻合,使小蜂出飞产卵与雌花授粉在时空上定向衔接,确保爱玉子产量稳定与小蜂种族繁衍。本研究拟通过观察与实验,比较研究爱玉子不同品系雌、雄花序繁殖特性,为决定爱玉子栽培的雌雄株配植比例提供参考依据;比较爱玉子不同品系雌、雄花序的雌花期(B期)与雄花序的雄花期(D期)花序数量变化及持续时间的异同,并研究B、D期重叠对花序挂树率的影响,为雌、雄品系配植提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究时间和地点

观察和试验于2006年1月至2007年2月间在福建省莆田市大洋乡可山村(118°55'E, 25°31'N, 海拔420m)爱玉子种植园进行,该地属亚热带海洋性季风气候,年均气温19.8℃(最高39.6℃,最低-2.8℃)全年无积雪,年均降水量1164mm,年均蒸发量2028mm,年均相对湿度87%,初霜期在12月下旬,终霜期在2月上旬,约40d左右。试验地属低山丘陵地,土壤为山地黄红壤,土层深厚,肥力中等。

1.2 研究对象

1.2.1 爱玉子

为多年生常绿攀援大藤本,雌雄异株。叶互生,革质,叶有二型;幼年叶心形,长宽各约1~2cm,成年叶长椭圆形或阔披针形,长约6~15cm,宽约3~6cm,全缘,表面绿色有光泽,叶背灰白色,有茶褐色细微软毛密生,叶脉突起,具3叶脉,侧脉6~7对,叶柄圆筒状长约1cm,柄上有柔软的细毛,基部有托叶2枚,早落,隐花果长椭圆形、长卵形、圆形或梨形等,果柄长0.5~1.2cm,隐花果初为绿色,成熟时为黄绿色,过熟时为紫红色;雄果则于绿色即将转变紫红之时,隐花果内虫瘿果与花粉成熟,花药裂开,花粉撒出,苞口张开,愈熟愈红孔口愈大,孔径约0.2~0.5cm,果内携带花粉的爱玉子小蜂飞出,进入雌花期花序中传粉或产卵^[1,14]。在福建地区,爱玉子1年结实2次,第1季在7~9月份,第2季在10~12月份。栽培爱玉子采用4m高石条为攀附立柱,株行距4m×4m。试验样地于1996年春季种植引自台湾、福建和浙江的爱玉子雌性24个品系,雄性16个品系(表1,表2),每个雌性品系约有30~50株,成片集中种植,雄株分散栽种于雌株中间,同一品系的雄株也是分散种植,已进入生殖期盛期的植株共1200株,雌雄数量配植比为4.3:1。

1.2.2 薜荔榕小蜂

为榕小蜂科(agaonidae)膜翅目(hymenoptera)昆虫,雌雄异型,高度特化。雌蜂成虫为黑色,体长约3mm,头部扁铲状,大颚,翅两对,前后足腿节粗壮,其体型与钻入幼隐头花序、传粉、产卵的活动相适应。雄蜂的成

虫为棕褐色,个体略小于雌蜂,头部有复眼但远比雌蜂的小,未见单眼,有上颚,背无翅,虫体卷曲,前后足腿节粗壮,并且前后肢的胫节距锐利强壮,中足极度退化。雄蜂体型与终生生活在黑暗的花序内、打洞、交尾等活动相适应^[3,15]。薛荔榕小蜂的传粉寿命为 1~2d,小蜂具备一定的飞行能力,但习惯于飞向就近的花序,飞行距离多小于 60m^[14]。

1.3 研究方法

1.3.1 雌、雄花序繁殖特征观测

在爱玉子雌、雄花序的不同发育时期解剖花序,借助显微镜(olympus SZX12),观察雌、雄花序内小花的开放进程及开放特征。对花序芽进行套袋,统计单个 B 期雌花序内的退化花、雌花数目以及 B 期雄花序内的雄花、瘿花数目;在花序被榕小蜂传粉或产卵之后(自然状态下),统计单个成熟雌果内的种子数量,成熟雄果内的虫瘿、雄花数量。计算出花序结实率和成虫瘿率。每个品系每季统计 20 个花序,每个花序平均 8 等分,统计其中的一份,再求出整个花序的数量。

1.3.2 雌、雄花序发育过程观察

每品系选择 5 株植株,根据爱玉子不同品系不同发育时期花序大小、形态、颜色等从果芽期起对花序进行标记,每间隔 10d 进行 1 次花序发育过程的观察与果芽数量的统计,绘图比较爱玉子不同品系雌、雄花序 B 期起止时间(图 1,图 2),以及不同品系雄花序 D 期起止时间(图 3);比较不同品系 B 期雌花序和 B、D 期雄花序数量的动态变化规律,选择大洋 T84、大洋 Z106、大洋 Y126、大洋 C127 等 4 个雌性品系为代表,绘制爱玉子 B 期雌花序数量变化图(图 4);选择雌小蜂飞出起止时间相差较大的大洋 74、大洋 18、大洋 11、浙江 M1 等 4 个雄性品系为代表,绘制 B、D 期雄花序数量变化图(图 5,图 6);用 100 目纱网对成熟 D 期果进行套袋,每天从 6:00~18:00 每间隔 1h 统计 1 次 D 期果中出飞的雌蜂数,每季每个雄性品系各统计 20 个 D 期果。

1.4 数据处理

采用 SPSS11.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 爱玉子不同品系花序的形态与数量特征

爱玉子不同品系的花序形态有所差异,雌性品系花序形态呈小桃形、大桃形、长形和椭圆形(图 7)。小、大桃形果型相似,雌性隐头果的果柄端浑圆宽大,苞口端窄小削尖,但果大小相差甚远,小桃形成熟雌果长度小于 9 cm,大桃形成熟雌果长度在 9 cm 以上。椭圆形果型为隐头果的果柄端、苞口端均浑圆宽大;长形果型的显著特点为果长与宽的比值较大(表 1)。成熟雌果长度的变异范围为 5.27~12.30cm,平均长度为 8.82cm;宽度的变异范围为 3.09~6.94cm,平均宽度为 4.90cm(表 1)。爱玉子不同品系间成熟雌果长度与宽度的差异显著度见表 2,石光文 B1、大洋 C127 的成熟雌果长度较长,与其他品系比较差异达到极显著水平。雄性品系花序形态呈椭圆形或圆形(图 8),果型单一,成熟雄果长度的变异范围为 7.10~11.81cm,平均长度为 9.57cm;宽度的变异范围为 3.52~7.50cm,平均宽度为 5.70cm(表 2)。爱玉子不同品系间成熟雄果长度与宽度的差异显著度见表 2,大洋 92、旗山 M1 的成熟雄果长度较长,与其他品系比较差异达到显著水平。

从表 1~表 4 可以看出:爱玉子花序在榕属植物中属大型花序之一,雌雄花序的长度、宽度与其花的数量之间呈极显著的正相关($P < 0.01$),即花序越大其中的花越多,花的大小则相对恒定,并不因花序大小而变化。爱玉子不同品系的雌花序退化花变异范围为 800~1500 朵,平均退化花数目为 1134.5 朵;雌花变异范围为 1~20000 朵,平均 13086 朵,结实率的变异范围为 63.28%~88.31%,平均结实率为 79.29%;爱玉子不同品系的雄花序中雄花变异范围为 1~2000 朵,平均 1245.5 朵;瘿花变异范围为 1~20000 朵,平均 14494 朵,瘿花平均数量较雌花略多,成虫瘿率的变异范围为 30.40%~68.51%,平均成虫瘿率为 51.07%。野生爱玉子花序的平均雌花数为 5503.2 朵,雄花数为 1060 朵,瘿花数为 6803.2 朵^[16],由此说明人工育种的定向选择使爱玉子花序比野生增大很多,各类型花数目显著增加,尤其是雌花和瘿花的数目成倍增长。两季之间各类型花的数目没有明显差异,但第 2 季雌花的结实率(82.86%)高于第 1 季(75.72%),第 2 季瘿花的成虫瘿率

表 1 爱玉子不同雌性品系花序各部分数量(第 1 季, $\bar{x} \pm SD$)

雌性品系* Female strains	来源* Origin	花序形态 Syconia morphology	花序数 Syconia number	退化花数 Degenerate flower number	雌花数 Female flower number	结实数 Fruit number	结实率 Fruit rate(%)
W13	台湾 Taiwan	大桃形 Big ovoid shape	146 ± 19 a	1135 ± 25 a	12903 ± 2161 a	10470 ± 2161 a	81.14
红 9 Hong 9	台湾	长形 Long shape	125 ± 13 ab	1023 ± 25 a	11458 ± 1837 ab	9795 ± 1837 b	85.47
太 7 Tai 7	台湾	大桃形	154 ± 49 abc	1208 ± 41 b	13089 ± 4140 bc	9841 ± 4140 bc	75.19
太 2 Tai 2	台湾	长形	98 ± 22 abcd	1324 ± 24 b	13893 ± 3102 bc	8791 ± 3102 bcd	63.28
太谢 2 Taixie 2	台湾	椭圆形 Elliptical shape	78 ± 13 abcd	1121 ± 32 bc	11589 ± 1691 cd	7684 ± 1691 bcd	66.30
日野 20 Riye 20	台湾	椭圆形	102 ± 16 bcde	1025 ± 15 bcd	11342 ± 1066 cd	8123 ± 1066 bcde	71.62
特选 A1 Texuan A1	台湾	椭圆形	121 ± 19 bcdef	984 ± 13 cd	10562 ± 431 cde	8032 ± 431 bcde	76.05
乐野 8 Leye 8	台湾	椭圆形	126 ± 21 bcdef	1235 ± 12 d	12357 ± 1207 cdef	9438 ± 1207 bcde	76.38
石光文 1 Shiguangwen 1	台湾	长形	94 ± 4 bcdef	1278 ± 21 d	13172 ± 646 cdef	9563 ± 646 bcde	72.60
石光文 2 Shiguangwen 2	台湾	长形	134 ± 19 bcdefg	1321 ± 19 e	13615 ± 1928 cdef	9835 ± 1928 bcde	72.24
石光文 B1 Shiguangwen B1	台湾	长形	113 ± 16 bcdefgh	1427 ± 23 e	17829 ± 2000 cdef	12369 ± 2000 bcde	69.38
太和 6 Taihe 6	台湾	大桃形	134 ± 20 bcdefgh	1134 ± 27 e	15721 ± 315 cdef	11154 ± 315 bcde	70.95
太和 11 Taihe 11	台湾	椭圆形	96 ± 12 bcdefgh	1210 ± 18 e	12351 ± 799 def	9853 ± 799 bcde	79.78
新 25 Xin 25	台湾	小桃形 Small ovoid shape	149 ± 14 cdefghi	1135 ± 31 ef	13218 ± 1438 def	10349 ± 1438 bcde	78.30
里 19 Li19	台湾	椭圆形	125 ± 14 defghij	1012 ± 11 efg	12672 ± 2269 def	9218 ± 2269 bcde	72.74
旗山 F1 Qisan F1	福建 Fujian	椭圆形	145 ± 21 efghij	1034 ± 33 fgh	12218 ± 992 def	9852 ± 992 bcde	80.64
旗山 F2 Qisan F2	福建	小桃形	118 ± 15 efghijk	1087 ± 91 fgh	12341 ± 1603 def	9135 ± 1603 bcde	74.02
旗原 F1 Qiyuan F1	福建	小桃形	134 ± 17 fghijk	923 ± 67 fgh	10023 ± 438 def	8421 ± 438 cde	84.02
旗原 F2 Qiyuan F2	浙江 Zhejiang	小桃形	107 ± 14 ghijkl	945 ± 30 gh	11352 ± 973 def	9086 ± 973 cde	80.04
旗原 F3 Qiyuan F3	浙江	小桃形	138 ± 18 ghijkl	897 ± 23 hi	10212 ± 1001 def	7631 ± 1001 cde	74.73
大洋 T84 Dayang T84	台湾	小桃形	129 ± 22 hijkl	992 ± 9 hij	12107 ± 2126 def	10041 ± 2126 cde	82.94
大洋 Z106 Dayang Z106	台湾	大桃形	171 ± 10 jkl	1265 ± 18 jk	15892 ± 2464 ef	11239 ± 2464 de	70.72
大洋 Y126 Dayang Y126	台湾	椭圆形	90 ± 8 jkl	1078 ± 30 jk	14569 ± 4591 f	11326 ± 4591 e	77.74
大洋 C127 Dayang C127	台湾	长形	106 ± 8 kl	1492 ± 31 k	19698 ± 192 f	15942 ± 191 e	80.93
平均值 Average			122 ± 22	1136 ± 158	13090 ± 2309	9882 ± 1753	75.72

数据后所附字母相同即表示数值差异不显著 ($P > 0.05$) the same letter means no significant difference at 0.05 level determined by LSD, * 下同 the same below

表 2 麦玉子不同雄性品系花序各部分数量 (第 1 季, $\bar{x} \pm \text{SD}$)

Table 2 The number of each part of syconia in different male <i>Ficus awkeotsang</i> strains (1 st season, $\bar{x} \pm \text{SD}$)									
雄性品系* Male strains	来源* Origin	花序形态 Syconia morphology	B 期 Phase B				D 期 Phase D		
			花序数 Syconia number	雄花数 Male flower number	瘿花数 Gall flower number	虫瘿数 Gall number	成虫瘿率 Gall rate (%)	花序数 Syconia number	出飞雌蜂数 Flying-out female wasp number
大洋 74 Dayang 74	台湾 Taiwan	椭圆形 Elliptical shape	171 ± 14 a	1102 ± 49 efg	11755 ± 1904 de	3574 ± 660 f	30.40	102 ± 13 efg	1369 ± 876 gh
大洋 57 Dayang 57	台湾	椭圆形	83 ± 15 d	1338 ± 84 d	11193 ± 1074 de	7472 ± 1446 abcd	66.76	86 ± 8 ghi	3056 ± 139 ef
大洋 156 Dayang 156	台湾	椭圆形	90 ± 21 d	1462 ± 58 cd	16099 ± 3096 ab	8098 ± 1560 abc	50.30	106 ± 18 defg	5773 ± 832 ab
大洋 23 Dayang 23	台湾	椭圆形	86 ± 11 d	1175 ± 161 ef	15786 ± 2069 abc	5096 ± 2069 def	32.28	89 ± 17 fghi	2475 ± 1109 fg
大洋 225 Dayang 225	台湾	圆形 Round shape	96 ± 25 d	1496 ± 66 bc	16205 ± 2121 ab	9670 ± 229 a	59.67	114 ± 11 cde	6252 ± 537 a
大洋 18 Dayang 18	台湾	圆形	138 ± 30 b	1627 ± 49 ab	18920 ± 2281 a	6428 ± 3205 bcde	33.98	82 ± 11 hi	4521 ± 1458 bcd
大洋 241 Dayang 241	台湾	圆形	96 ± 11 d	1458 ± 61 cd	17724 ± 2145 a	5776 ± 1921 cdef	32.59	89 ± 7 fghi	3132 ± 717 ef
大洋 92 Dayang 92	台湾	椭圆形	22 ± 9 e	1429 ± 28 cd	10010 ± 4 e	3735 ± 1741 f	37.31	134 ± 18 c	996 ± 33 h
大洋 300 Dayang 300	台湾	椭圆形	17 ± 6 e	1180 ± 72 e	11128 ± 849 de	7624 ± 2100 abcd	68.51	168 ± 11 b	5468 ± 1436 ab
大洋 11 Dayang 11	台湾	椭圆形	22 ± 5 e	1092 ± 33 efg	12824 ± 2173 bcde	6756 ± 1228 bcde	52.68	210 ± 14 a	4667 ± 524 bc
浙江 M1 Zhe M1	浙江 Zhejiang	椭圆形	143 ± 11 b	1038 ± 22 efg	15783 ± 3010 abc	7452 ± 1114 abcd	47.22	92 ± 15 efg	4732 ± 567 bc
浙江 M2 Zhe M2	浙江	圆形	124 ± 20 bc	916 ± 25 h	13210 ± 902 bcde	5428 ± 1283 def	41.09	78 ± 8 i	3219 ± 1101 def
斗 1 Dou 1	台湾	圆形	131 ± 22 bc	1024 ± 88 fgh	13680 ± 2989 bcd	5312 ± 1453 def	38.83	84 ± 12 ghi	3125 ± 599 ef
斗 2 Dou 2	台湾	圆形	86 ± 11 d	1035 ± 81 efg	11432 ± 1960 de	3521 ± 1029 f	30.80	125 ± 16 cd	1472 ± 427 gh
旗山 M1 Qishan M1	福建 Fujian	椭圆形	106 ± 17 cd	1654 ± 253 a	18562 ± 1519 a	8523 ± 1367 ab	45.92	88 ± 15 fghi	3895 ± 608 cde
旗山 M2 Qishan M2	福建	椭圆形	96 ± 16 d	959 ± 62 gh	12431 ± 1956 cde	4128 ± 396 ef	33.21	109 ± 13 def	1563 ± 260 gh
平均值 Average			94 ± 44	1249 ± 243	14171 ± 2855	6162 ± 1894	43.48 ± 12.29	110 ± 36	3482 ± 1652

* 下同 The same below

表 3 麦玉子不同雌性品系花序各部分数量(第 2 季, $\bar{x} \pm SD$)

Table 3 The number of each part of syconia in different female <i>Ficus awkeotsang</i> strains (2 nd season, $\bar{x} \pm SD$)								
雌性品系 Female strains	花序长 Syconia length (cm)	花序宽 Syconia width (cm)	花序数 Syconia number	退化花数		雌花数 Female flower number	结实数 Fruit number	结实率 Fruit rate (%)
				Degenerate flower number	Degenerate flower number			
W13	9.36 ± 0.2 cde	5.93 ± 0.7 cd	134 ± 12 a	1185 ± 60 a	12315 ± 1864 a	10270 ± 942 a	83.39	
红 9	8.39 ± 0.8 ef	3.54 ± 0.7 kl	134 ± 26 a	1014 ± 40 a	11521 ± 1118 b	9875 ± 2770 b	85.71	
太 7	9.59 ± 0.7 bed	6.22 ± 0.3 abc	163 ± 48 ab	1118 ± 16 b	12041 ± 1788 bc	10341 ± 2083 b	85.88	
太 2	10.51 ± 0.6 b	4.81 ± 0.5 fghi	134 ± 12 abc	1244 ± 37 b	13763 ± 2135 bc	11091 ± 1656 bc	80.59	
太谢 2	8.65 ± 0.5 def	4.77 ± 0.4 fghi	69 ± 11 abc	1163 ± 40 b	11769 ± 1967 bed	8804 ± 1143 bed	74.81	
日野 20	8.42 ± 0.5 ef	4.11 ± 0.3 ijk	123 ± 8 abc	1112 ± 61 bc	10732 ± 1464 cde	9105 ± 585 bcde	84.84	
特选 A1	7.97 ± 0.2 f	4.51 ± 0.6 hij	132 ± 18 bed	1021 ± 80 bed	10492 ± 672 cde	8642 ± 1061 bcdef	82.37	
乐野 8	8.81 ± 0.6 def	4.52 ± 0.3 hij	154 ± 26 bed	1125 ± 31 bed	12654 ± 1274 def	10342 ± 531 bcdef	81.73	
石光文 1	9.01 ± 0.7 def	4.60 ± 0.5 ghij	83 ± 12 bede	1235 ± 25 bed	12968 ± 611 defg	11073 ± 2649 cdef	85.39	
石光文 2	9.56 ± 0.6 bed	5.30 ± 0.4 defg	154 ± 42 bcde	1227 ± 80 bede	13689 ± 3036 defg	10234 ± 881 cde	74.76	
石光文 B1	12.30 ± 1.0 a	5.04 ± 1.0 efgh	125 ± 18 cde	1477 ± 136 bodef	16984 ± 2404 defg	13589 ± 1926 def	80.01	
太和 6	9.42 ± 0.6 cde	5.61 ± 0.4 cde	162 ± 18 def	1114 ± 190 bodef	15951 ± 1213 defg	12384 ± 850 def	77.64	
太和 11	8.15 ± 0.4 f	4.10 ± 0.2 ijk	109 ± 18 def	1190 ± 66 bodef	13063 ± 1262 defg	10563 ± 825 def	80.87	
新 25	8.11 ± 0.5 f	4.80 ± 0.5 fghi	198 ± 12 def	1114 ± 37 bodef	12984 ± 605 defg	11279 ± 1123 def	86.87	
里 19	8.04 ± 1.0 f	4.13 ± 0.1 ijk	134 ± 25 def	998 ± 38 bodef	12852 ± 1677 defg	9834 ± 910 def	76.52	
旗山 F1	8.09 ± 0.1 f	5.37 ± 0.3 def	137 ± 13 def	979 ± 56 cdef	11723 ± 1674 defg	10352 ± 2791 def	88.31	
旗山 F2	8.93 ± 0.9 def	4.44 ± 0.6 hij	127 ± 17 def	1036 ± 70 def	12932 ± 2432 efg	9523 ± 280 def	73.64	
旗原 F1	5.90 ± 0. g	3.47 ± 0.2 kl	178 ± 17 ef	964 ± 81 def	10132 ± 1071 efg	8946 ± 1165 def	88.30	
旗原 F2	6.27 ± 0.3 g	3.88 ± 0.2 jk	125 ± 25 ef	975 ± 154 def	11894 ± 2008 efg	9963 ± 1411 ef	83.77	
旗原 F3	5.27 ± 0.3 g	3.09 ± 0.1 l	147 ± 8 ef	997 ± 123 def	10342 ± 83 efg	8998 ± 1235 ef	87.01	
大洋 T84	8.18 ± 0.8 f	5.51 ± 0.6 cdef	206 ± 15 ef	1028 ± 43 def	12431 ± 1050 fg	10886 ± 603 ef	87.57	
大洋 Z106	10.21 ± 0.8 bc	6.94 ± 0.2 a	185 ± 12 fg	1235 ± 261 ef	15946 ± 3871 fg	13550 ± 1123 ef	84.97	
大洋 Y126	10.17 ± 0.9 bc	6.17 ± 0.4 bc	174 ± 6 gh	1178 ± 129 ef	14839 ± 870 fg	13012 ± 2418 ef	87.69	
大洋 G127	12.29 ± 0.8 a	6.84 ± 0.2 ab	179 ± 23 h	1479 ± 328 f	19960 ± 366 g	17178 ± 2646 f	86.06	
平均值 Average	8.82 ± 1.7	4.90 ± 1	144 ± 33	1133 ± 140	13082 ± 2294	10826 ± 1949	82.86	

表 4 麦玉子不同雄性品系花序各部分数量(第 2 季, $\bar{x} \pm \text{SD}$)

Table 4 The number of each part of syconia in different male <i>Ficus awkeotsang</i> strains (2 nd season, $\bar{x} \pm \text{SD}$)									
雄性品系 Male strains	花序长 Syconia length (cm)	花序宽 Syconia width (cm)	B 期 Phase B				D 期 Phase D		
			花序数 Syconia number	雄花数 Male flower number	瘿花数 Gall flower number	虫瘿数 Gall number	成虫瘿率 Gall rate(%)	花序数 Syconia number	出飞雌蜂数 Flying-out female wasp number
大洋 74	9.21 ± 0.3 cd	4.92 ± 0.3h	121 ± 12 bcde	1228 ± 78 i	14236 ± 2384 def	9868 ± 459 abcd	69.32	92 ± 14 bc	1922 ± 387 a
大洋 57	10.40 ± 0.8 b	6.71 ± 0.4bc	95 ± 21 fg	1098 ± 98 hi	12300 ± 1647 fg	9618 ± 2603 bcd	78.20	68 ± 10 d	3116 ± 2192 ab
大洋 156	10.41 ± 0.4 b	5.90 ± 0.6def	132 ± 17 b	1151 ± 60 ghi	15302 ± 1700 cde	10245 ± 859 abc	66.95	74 ± 15 cd	2433 ± 685 ab
大洋 23	9.42 ± 0.3 c	5.91 ± 0.4 def	105 ± 9 cdefg	1190 ± 186 ghi	18492 ± 1663 ab	9492 ± 2752 bcd	51.33	75 ± 17 cd	2727 ± 2155 ab
大洋 225	9.22 ± 0.8 cde	6.31 ± 0.8 cd	127 ± 11 bcd	1724 ± 142 fgh	17945 ± 2233 abc	12544 ± 3033 ab	69.90	81 ± 12 bcd	2943 ± 111 ab
大洋 18	10.31 ± 0.7 b	7.50 ± 0.6 a	129 ± 22 bc	1513 ± 79 efgh	19068 ± 796 a	13164 ± 601 a	69.04	100 ± 10 b	2118 ± 744 ab
大洋 241	10.71 ± 0.8 b	7.20 ± 0.4 ab	82 ± 14 g	1362 ± 37 efgh	18532 ± 1315 ab	11082 ± 1229 abc	59.80	86 ± 10 bcd	1946 ± 1395 ab
大洋 92	11.81 ± 0.4 a	6.03 ± 0.8 de	113 ± 18 bcdef	1579 ± 64 efgh	16010 ± 2479 bcde	10897 ± 805 abc	68.06	18 ± 3 e	2563 ± 540 ab
大洋 300	10.62 ± 0.6 b	5.31 ± 0.7 fgh	225 ± 14 a	1113 ± 80 efg	16364 ± 2498 abcd	5634 ± 1081 ef	34.43	12 ± 3 e	1453 ± 291 ab
大洋 11	9.53 ± 0.5 c	5.72 ± 0.5 defg	223 ± 13 a	1433 ± 101 def	14125 ± 1132 def	9765 ± 4718 bcd	69.13	16 ± 11 e	2574 ± 362 ab
浙江 M1	8.35 ± 0.3 e	5.13 ± 0.4 gh	123 ± 13 bcd	1134 ± 106 de	12358 ± 1238 fg	8532 ± 2641 cde	69.04	137 ± 35 a	3012 ± 1581 ab
浙江 M2	6.79 ± 0.5 f	5.21 ± 0.8 gh	106 ± 8 cdefg	1053 ± 63 cd	13426 ± 1290 efg	4896 ± 1303 f	36.47	92 ± 6 bc	2889 ± 734 ab
斗 1	9.02 ± 0.7cde	5.45 ± 0.5 efgh	91 ± 6 fg	945 ± 36 bc	12096 ± 910 fg	5946 ± 1507 ef	49.16	98 ± 6 b	2513 ± 1055 ab
斗 2	8.67 ± 0.6 de	5.16 ± 0.1 gh	104 ± 18 defg	1068 ± 61 b	11211 ± 1104 g	4521 ± 982 f	40.33	65 ± 7 d	2036 ± 811 ab
旗山 M1	11.58 ± 0.8 a	5.26 ± 0.5 fgh	98 ± 17 efg	1256 ± 27 ab	13469 ± 2087 efg	6538 ± 1526 def	48.54	84 ± 10 bcd	3641 ± 1386 ab
旗山 M2	7.10 ± 0.7 f	3.5 ± 0.4 i	124 ± 14 bcd	1032 ± 71 a	12141 ± 1658 fg	5421 ± 1359 ef	44.65	82 ± 19 bcd	2531 ± 251 b
平均值 Average	9.57 ± 1.42	5.70 ± 0.96	125 ± 41	1242 ± 220	14817 ± 2630	8635 ± 2779	57.77 ± 14	74 ± 33	2526 ± 544

(58.28%) 高于第 1 季(43.85%)。

爱玉子传粉小蜂第 1 季的平均单序出飞雌蜂数为 3482 只,第 2 季为 2526 只,仍有相当数量的雌蜂滞留于花序中。D 期花序难以净蜂的原因:其一,是由于雌小蜂出飞受气候环境条件影响,晴至多云天气适宜小蜂出飞,风雨天停飞。小蜂出飞一年两季,第 1 季集中在 4 月底至 6 月初,第 2 季在 8~11 月份,而福建省属亚热带季风气候,4~5 月份为雨季,强对流天气活跃,常遭受雷雨大风袭击,持续性暴雨过程常有出现;8~10 月份受热带气旋台风登陆影响,大风与暴雨天气较多。大风与雨水天气都使雌蜂出飞率降低,影响出飞小蜂的飞行,并使小蜂所携带的花粉散失。其二,有些品系例如大洋 92,斗 1 品系在小蜂初飞后果壳腐烂太快,也造成 D 期果难以净蜂,因此雄性品系选育时应考虑 D 期果的这一特性。雌小蜂出飞率第 1 季高于第 2 季,是雌花的结实率、瘦花的成虫瘦率第 2 季高于第 1 季的主要原因。

2.2 爱玉子不同品系 B、D 期花序数量变化及持续时间比较

比较爱玉子不同雌性品系花序 B 期持续时间(图 1)可知,雌性品系的 B 期:第 1 季从 3 月 20 日至 6 月 20 日,平均持续时长为 59.1d,花序集中产生于 4~6 月份(图 1、图 4);第 2 季从 7 月 10 日至 11 月 10 日,平均持续时长为 80.7d,花序集中产生于 8~10 月份(图 1、图 4)。

比较爱玉子不同雄性品系花序 B 期持续时间(图 2)可知,雄性品系的 B 期:第 1 季从 4 月 1 日至 7 月 10 日,平均持续时长为 52.9d,花序集中产生于 4~6 月份(图 2、图 5);第 2 季从 7 月 20 日至 12 月 1 日,平均持续时长为 91.2d,花序集中产生于 8~10 月份(图 2、图 5)。雄性植株的 B 期花序比雌性植株略少。大洋 92、大洋 300、大洋 11 偏向为单季品系,即第 1 季的 B 期花序很少,不宜推广栽培。

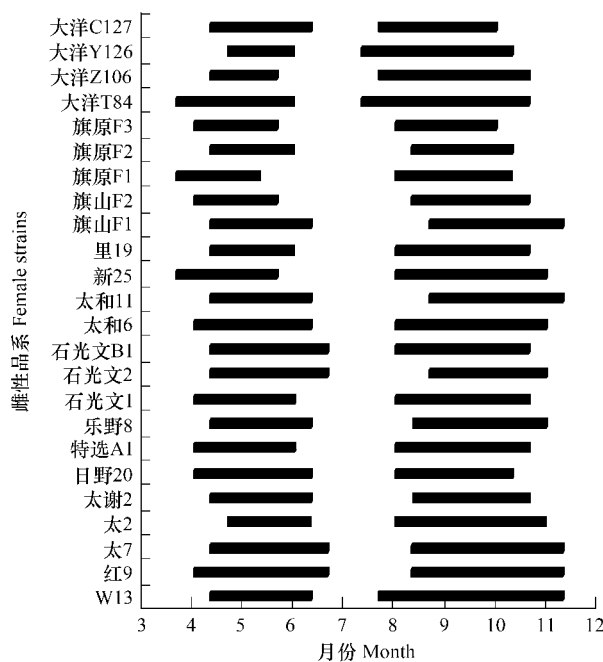


图 1 爱玉子不同雌性品系花序 B 期持续时间

Fig. 1 Durations of phase B of syconia in different female *Ficus awkeotsang* strains

红 9 Hong 9; 太 7 Tai 7; 太 2 Tai 2; 太谢 2 Taixie 2; 日野 20 Riye 20; 特选 A1 Texuan A1; 乐野 8 Leye 8; 石光文 1 Shiguangwen 1; 石光文 2 Shiguangwen 2; 石光文 B1 Shiguangwen B1; 太和 6 Taihe 6; 太和 11 Taihe 11; 新 25 Xin 25; 里 19 Li19; 旗山 F1 Qishan F1; 旗山 F2 Qishan F2; 旗原 F1 Qiyuan F1; 旗原 F2 Qiyuan F2; 旗原 F3 Qiyuan F3; 大洋 T84 Dayang T84; 大洋 Z106 Dayang Z106; 大洋 Y126 Dayang Y126; 大洋 C127 Dayang C127

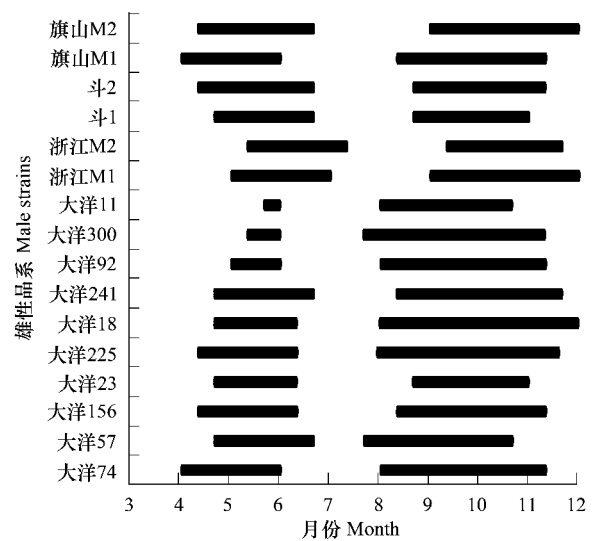


图 2 爱玉子不同雄性品系花序 B 期持续时间

Fig. 2 Durations of phase B of syconia in different male *Ficus awkeotsang* strains

大洋 74 Dayang 74; 大洋 57 Dayang 57; 大洋 156 Dayang 156; 大洋 23 Dayang 23; 大洋 225 Dayang 225; 大洋 18 Dayang 18; 大洋 241 Dayang 241; 大洋 92 Dayang 92; 大洋 300 Dayang 300; 大洋 11 Dayang 11; 浙江 M1 Zhejiang M1; 浙江 M2 Zhejiang M2; 斗 1 Dou 1; 斗 2 Dou 2; 旗山 M1 Qishan M1; 旗山 M2 Qishan M2; 下同 the same below

比较爱玉子不同雄性品系花序 D 期持续时间(图 3)可知,雄性品系的 D 期:第 1 季从 4 月 20 日至 7 月 10 日,平均持续时长为 33d,小蜂出飞集中在 5 月上旬至 6 月中旬;第 2 季从 8 月 1 日至 11 月 1 日,平均持续时长为 29.4d,小蜂出飞集中在 8 月中旬至 10 月中旬。从图 3 还可以看出福建省目前主栽的 16 个雄性品系中,除去偏向单季品系外,D 期早熟的品系有大洋 74,D 期晚熟的品系有浙江 M1、浙江 M2,其余为 D 期中熟品系。比较 D 期成熟期不同的 4 个雄性品系的 D 期花序数量变化(图 6),可以看出 4 个雄性品系的 D 期叠加,可使小蜂出飞自 4 月 20 日起延伸至 11 月 10 日,由此可见多品系 D 期依次衔接可弥补单品系 D 期过短的缺陷。

综上所述,爱玉子雌、雄品系的 B 期周期比较一致,虽然不同品系之间开花期有所差异,但总体分季特征明显,花序相对集生,第 1 季花序较少,开花期较短而集中;第 2 季花序较多,开花期较长而分散。雄性品系的 D 期亦是 1 年 2 季,但不同品系间 D 期起始时间相差较大,即不同品系小蜂初飞的时间不同。无论是第 1 季还是第 2 季,单品系 D 期时长均为 1 个月左右,而单品系雌、雄花序的 B 期时长长达 2~3 个月,这是爱玉子栽培中造成 B 期花序大量落果的主要原因。

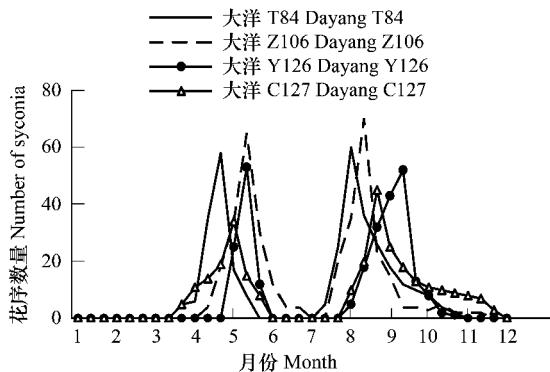


图 4 爱玉子 4 个雌性品系 B 期花序数量变化

Fig. 4 Changes of syconia number in phase B of four female strains

3 讨论

3.1 爱玉子栽培的雌、雄植株数量配植比例

爱玉子传粉小蜂进入花序腔是产卵和授粉必要的前提,尽管小蜂具有特殊的形态结构,但在具 600 余片的苞片(图 9,具 50~70 片的通道苞片)间穿行仍是一个艰难的历程,必须耗费大量时间(蒴蒴榕小蜂钻入蒴蒴花序的平均费时为 69.48min,蒴蒴具 40~50 片的通道苞片)和体力^[17]。在爱玉子传粉(或产卵)期,果园中传粉小蜂的数量太少必然降低结实率和成虫瘿率,但小蜂的数量若太多,由于花序苞口小而小蜂钻入花序内的速度缓慢,极易出现小蜂拥堵在 B 期花序口(图 10)

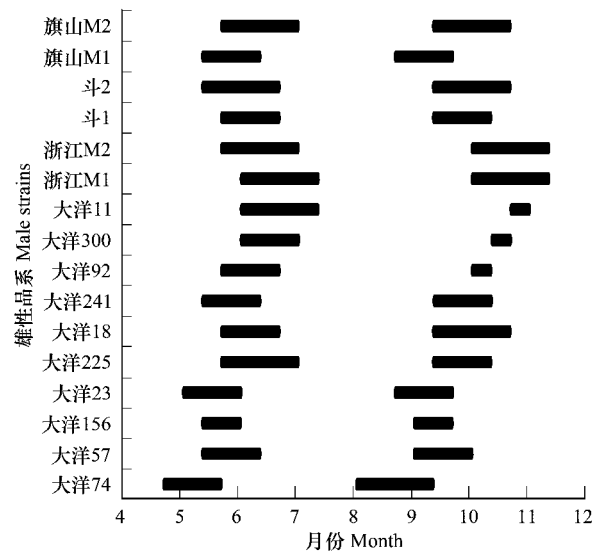


图 3 爱玉子不同雄性品系花序 D 期持续时间

Fig. 3 Durations of phase D of syconia in different male *Ficus awkeotsang* strains

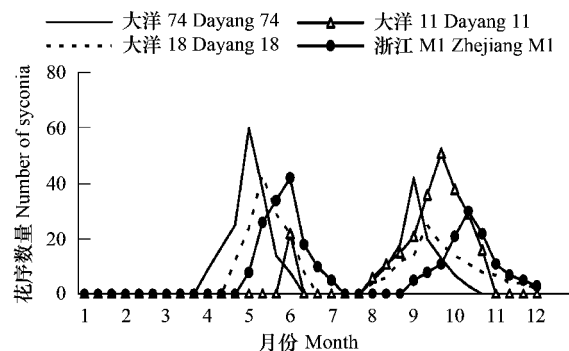


图 5 爱玉子 4 个雄性品系 B 期花序数量变化

Fig. 5 Changes of syconia number in phase B of four male strains

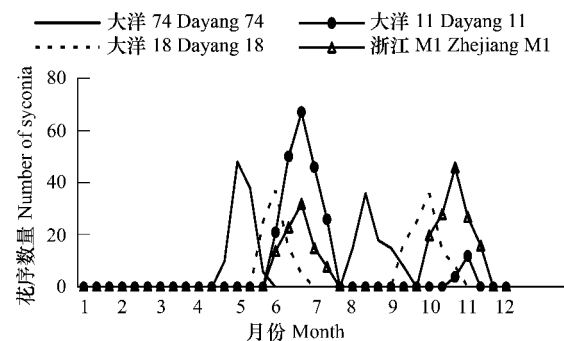


图 6 爱玉子 4 个雄性品系 D 期花序数量变化

Fig. 6 Changes of syconia number in phase D of four male strains

或进峰通道堵塞的现象。因此雌、雄植株的数量配植比例决定小蜂种群密度,而小蜂种群密度与爱玉子产量密切相关。

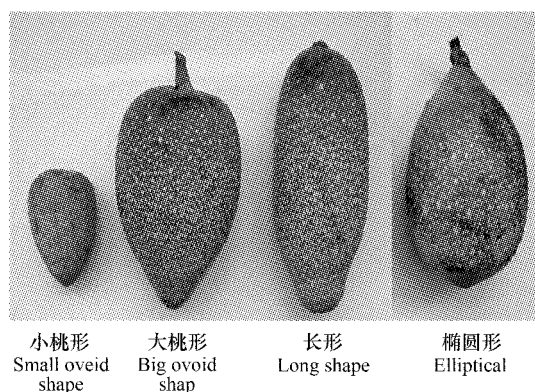


图 7 雌性品系的花序形状

Fig. 7 Shape of syconia of female strains

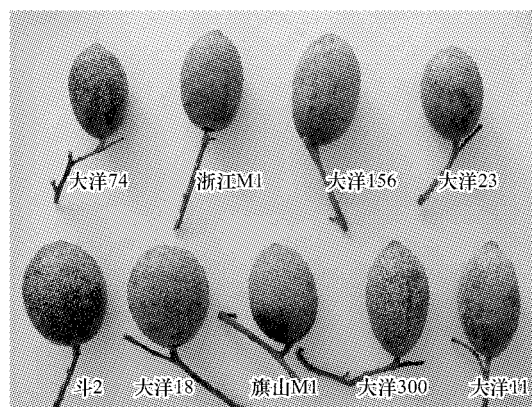


图 8 雄性品系的花序形状

Fig. 8 Shape of syconia of male strains

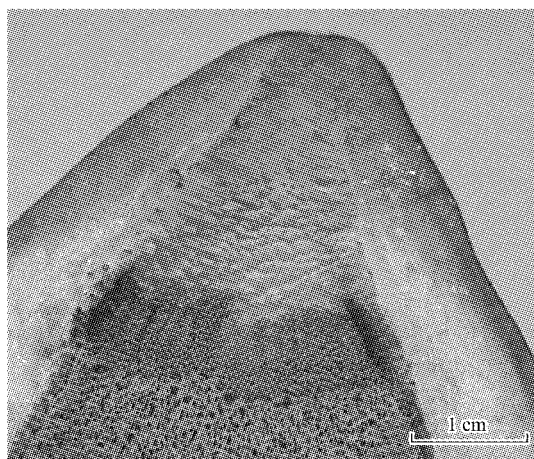


图 9 B 期花序的苞片通道

Fig. 9 Passage in phase B syconium



图 10 雌小蜂拥挤在 B 期花序口处

Fig. 10 Female fig wasps crowding at the ostiole of phase B syconium

爱玉子的 1 只雌性传粉小蜂在 1 个 B 期花序内平均产 599.2 个卵或为 1322.8 朵雌花授粉^[15],因此要使 1 个花序饱满结实约需 10 只小蜂进入传粉,1 个雄花序虫瘿饱满需 25 只以上的小蜂入内产卵。根据 2006 年第 2 季的统计数据(第 2 季平均雌株每株 B 期雌花序 144 个,平均雄株每株 B 期雄花序 125 个,D 期雄花序 74 个,每个 D 期雄花序出飞小蜂 2526 只),假设出飞雌小蜂中的 20% 为有效小蜂(即进入 B 期花序的小蜂),因此单季单株雄株出飞的有效雌蜂数为 37384 只,单季为单株雄株花序产卵的雌小蜂数目为 3125 只,单季为单株雌株花序授粉的雌小蜂数目为 1440 只,由此推算出爱玉子栽培雌、雄株数量配植比例应为 23 ~ 24:1,而目前福建省爱玉子栽培雌、雄株配植比例为 4 ~ 5:1。本研究结果将有助于合理控制小蜂种群的密度,增加单位面积雌株的栽培数量,从而提高爱玉子的单位面积产量,提高土地栽培效益。

3.2 爱玉子栽培的雌、雄品系配植

在爱玉子栽培中人们已经认识到传粉小蜂的重要性,因此对雌、雄株数量配植比例十分重视,但往往忽视了雌、雄品系配植问题。福建省早期的爱玉子栽培为雌、雄多品系混种,在品系的经济性状得到初步筛选后,栽培模式又多为雌、雄单品系配植,但无论何种栽培模式,落果现象始终存在,成为爱玉子产量提高的技术瓶颈。本研究结果表明,雌、雄花序的雌花期(B 期)与雄花序的雄花期(D 期)持续时间不能完全重叠,主要是

D 期时长过短,导致了 B 期花序因没有小蜂进入传粉(或产卵)而脱落。由于爱玉子雄性品系的 B 期时长为 D 期时长的 2~3 倍,因此可以通过对雄株的 B 期花序进行人工引蜂的方法修复小蜂种群,有望延长雄性品系 D 期时长,提高产卵率,从而提高传粉小蜂的数目;同时由于爱玉子雌性品系的 B 期时长亦为 D 期时长的 2~3 倍,因此必须有 2~4 个 D 期依次衔接的(选择 D 期早熟、中熟、晚熟的品系进行搭配,将种群 D 期延长)的雄性品系与雌性品系配植,即雌、雄品系配植模式为 1:2~4,从而实现 B、D 期花序持续时长的高度重叠,降低落果率。目前福建省主栽的 16 个雄性品系中,D 期早熟和 D 期晚熟的品系显然太少,以至于即使采用 1:2~4 雌、雄品系配植模式,在 3 个时间段(3 月 20 日至 4 月 20 日,7 月 10 日至 8 月 1 日,11 月 10 日至 12 月 1 日)内仍可能出现雌、雄植株的 B 期花序存在而雄性植株的 D 期花序缺失的现象,因此引进或选育 D 期早熟和晚熟的雄性品系已迫在眉睫。

References:

- [1] Zhang X S, Wu Z Y, Cao Z Y. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 23(1). Beijing: Science Press, 1998. 205—207.
- [2] Lin Z B. Almages of *Ficus pumila awkeotsang*. Taiwan Province Forestry Tests Institute, 1991, 85—95.
- [3] He K Y. An investigation into the ecology of *Ficus awkeotsang's* pollinating fig wasps and their possibility to survive on the plateau. Chinese Journal Entomologica, 1987, 7: 37—44.
- [4] Patel A, Hossaert-McKey M. Components of reproductive success in two dioecious fig species, *Ficus exasperata* and *Ficus hispida*. Ecology, 2000, 81: 2850—2866.
- [5] Weiblen G D, Yu D W, West S A. Pollination and parasitism in functionally dioecious figs. Proc R Soc Lond B, 2001, 268: 651—659.
- [6] Yang D R, Peng Y Q, Song Q S, et al. Pollinating biology of *Ficus hispida* in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China. Acta Botanica Sinica, 2002, 5: 519—527.
- [7] Weiblen G D. How to be a fig wasp. Annual Review of Entomology, 2002, 47: 299—330.
- [8] Peng Y Q, Yang D R, Wang Q Y, et al. The sex express and reproductive characters of *Ficus auriculata*. Forest Research, 2004, 17(1): 60—65.
- [9] Yu H, Zhao N X, Jia X C. Reproductive characters of *Ficus hirta* and its symbiotic fig wasps. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(6): 682—688.
- [10] Xie X B, Yang D R, Peng Y Q, et al. The impacts of pollinating behaviour of fig wasp on fig seeds reproduction. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(5): 189—194.
- [11] Yang D R, Peng Y Q, Zhao T Z, et al. Relationship between activity of ceratosolen fusciceps and seasonal changes of the seed number of *Ficus racemosa*. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 25—29.
- [12] Wang X F, Peng Y Q, Yang D R. The reproductive characters of *Ficus hispida* L. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(5): 632—635.
- [13] Shi Z H, Yang D R. The reproductive ecology of *Ficus cyrtophylla*, an understory fig species in Xishuangbanna tropical rainforest, China. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 610—616.
- [14] Chen Y, Li H Q, Ma W L. Pollination ecology of cultivated *Ficus pumila* var. *awkeotsang*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2403—2407.
- [15] Chen Y, Li H Q, Ma W L. The reproductive character of *Ficus pumila* var. *awkeotsang* var and their pollinators. Acta Phytoecol Sinica, 2002, 26(1), 58—63.
- [16] Chen Y, Li H Q, Ma W L. Biological features of syconia of *Ficus pumila* var. *awkeotsang*. Journal Jishou University, 2002, 23(4): 19—21.
- [17] Chen Y, Li H Q, Ma W L. Egg-Laying and pollinating behavior of *Blastophaga pumilac*. Acta Entomol Sinica, 2003, 46(1): 35—39.

参考文献:

- [1] 张秀实, 吴征镒, 曹子余. 中国植物志, 第二十三卷第一册. 北京: 科学出版社, 1998. 205~207.
- [2] 林讚标. 爱玉子专论. 台湾省林业试验所, 1991. 85~95.
- [3] 何坤耀. 爱玉授粉小蜂之生态及其在平地立足之可能性调查. 中华昆虫, 1987, 7: 37~44.
- [8] 彭艳琼, 杨大荣, 王秋艳, 等. 木瓜榕的性表达及繁殖特点. 林业科学研究, 2004, 17(1): 60~65.
- [9] 于慧, 赵南先, 贾效成, 等. 粗叶榕繁殖系统的特征及其共生的榕小蜂. 植物学通报, 2004, 21(6): 682~688.
- [10] 谢晓波, 杨大荣, 彭艳琼, 等. 榕小蜂传粉行为对榕树种子繁殖的影响. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 189~194.
- [11] 杨大荣, 彭艳琼, 赵庭周, 等. 聚果榕果内种子季节变化与聚果榕小蜂活动的关系. 林业科学, 2005, 41(1): 25~29.
- [12] 王宪芳, 彭艳琼, 杨大荣. 对叶榕及其传粉榕小蜂的繁殖特点. 云南农业大学学报. 2005, 20(5): 632~635.
- [13] 石章红, 杨大荣. 歪叶榕繁殖生态学. 植物生态学报, 2006, 30(4): 610~616.
- [14] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 栽培爱玉的传粉生态. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2403~2407.
- [15] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 薜荔和爱玉及其传粉昆虫繁殖特性. 植物生态学报, 2002, 26(1): 58~63.
- [16] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 爱玉隐头花序的生物学特性. 吉首大学学报(自然科学版), 2002, 23(4): 19~21.
- [17] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 薜荔榕小蜂产卵和传粉行为. 昆虫学报, 2003, 46(1): 35~39.