

小叶榕隐头果内加利里金小蜂的发生规律

孔月^{1,2}, 巴义梅^{1,3}, 徐华丽⁴, 彭艳琼^{1*}, 杨大荣¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 云南农业大学, 昆明 650201; 4. 云南省南涧县农业技术推广中心, 云南南涧 675700)

摘要: 小叶榕 *Ficus microcarpa* 是一种广泛分布于亚洲热带和亚热带地区的雌雄同株榕树, 在它的隐头果中, 除了专一性传粉的榕小蜂外, 还寄生着多种非传粉小蜂, 这些非传粉小蜂在榕果发育的不同时期来到果外产卵, 对榕树和传粉榕小蜂繁衍后代产生不同的影响。加利里金小蜂 *Odontofroggattia galili* 是寄生于小叶榕雌花子房里的主要非传粉小蜂。本文在 2012~2013 年对该种小蜂的发生规律进行了研究, 结果表明: 该种小蜂雌雄蜂有翅, 雄蜂二型, 个体大小有显著差异。加利里金小蜂在榕果的雌花前期产卵, 能独立造瘿; 在西双版纳地区, 干热季和雨季从卵发育到成虫羽化需 31~38 d, 雾凉季则长达 58~72 d。成虫在榕果雄花期羽化出蜂, 大多数雄蜂在苞片口等待羽化出果的雌蜂交配, 雌雄蜂通常仅交配一次; 为争夺交配机会, 雄蜂间存在激烈打斗, 且个体大者获交配机会多。成虫期雌蜂寿命 2 d, 雄蜂寿命仅 1 d。小叶榕 40% 的树上隐头果内有加利里金小蜂寄生, 但不同地区寄生率和单果内加利里金小蜂雌雄蜂数量树间均存在显著差异。在原生地西双版纳地区加利里金小蜂种群小, 传粉榕小蜂种群占主导地位; 而在引入地昆明地区, 加利里金小蜂发生频率高, 种群显著较大; 随着纬度北移和海拔升高, 在榕果内罕见有传粉榕小蜂传粉和繁殖, 而加利里金小蜂种群则不断升高。说明小叶榕在海拔较高和纬度偏北地区栽种, 不适宜传粉榕小蜂繁殖, 而非传粉的加利里金小蜂则较为适应, 获得成功繁殖及种群扩张。

关键词: 小叶榕; 非传粉小蜂; 加利里金小蜂; 发生规律

中图分类号: Q969.54; Q145.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7083(2014)04-0528-07

The Occurrence Regularity of Parasite *Odontofroggattia galili* on *Ficus microcarpa*

KONG Yue^{1,2}, BA Yimei^{1,3}, XU Huali⁴, PENG Yanqiong^{1*}, YANG Darong¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 4. Yunnan Nanjian Agro-Tech Extension and Service Center, Nanjian, Yunnan Province 675700, China)

Abstract: *Ficus microcarpa* is a monoecious species which is widely distributed in Asian tropical and subtropical regions. Except for the species of specific pollinating fig wasps, the figs are also exploited by multiple non-pollinating fig wasps. These non-pollinating fig wasps visit figs to lay eggs in different fig developmental phases, and have different effects on the seed and pollinator production. *Odontofroggattia galili* is a main non-pollinating fig wasp in the figs of *F. microcarpa*. The occurrence regularity of *O. galili* were studied from 2012 to 2013. The results showed that both female and male *O. galili* had wings, and the males were pleomorphic in body size. *O. galili* laid eggs on the figs in pre-female phase, and was able to make galls independently. At Xishuangbanna region, the period of development from eggs to adults was 31~38 days in warm-dry season and rainy season, and 58~72 days in cold-dry season. The adults emerged in male phase of figs. Males firstly left fig cavity and waited for the females around the ostiole. Once the female came out, males caught the female for copulation. In general, female and male wasps only mated one time. There was strong fighting among males in order to compete mating chance, and large males were easy to win. The longevity of female adults was two days, and the males only survived one day. On *F. microcarpa*, 40% of the trees were exploited by *O. galili*, and the fig occupancy and the number of *O. galili* produced by a single fig showed significant differences among trees. In the original Xishuangbanna region, the pollinating fig wasp was main species, whereas *O. galili* showed a low occurrence frequency and the population size was small. However, *O. galili* had a high occurrence frequency and a significant larger population in the introduced Kunming city. The

收稿日期: 2013-12-25 接受日期: 2014-03-21

基金项目: 云南省中青年学术技术带头人后备人才培养项目(2011HB041); 国家自然科学基金项目(31372253, 31120002)

作者简介: 孔月, 女, 研究方向: 榕树和榕小蜂协同进化, E-mail: yuwuhen215@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: pengyq@xtbg.ac.cn

pollinating fig wasps were rarely reproduced when *F. microcarpa* was introduced to plant in high latitude and high altitude region, but the reproduction of *O. galili* was more successful. These results suggest that, *O. galili*, rather than the pollinating fig wasp, has adapted reproduction in high latitude and high altitude region.

Key words: fig; non-pollinating fig wasps; *Odontofroggattia galili*; occurrence regularity

榕树是桑科 Moraceae 榕属 *Ficus* 植物的总称, 主要分布在热带、亚热带地区, 是热带雨林中的关键植物类群(Shanahan *et al.* 2001)。全世界有榕树近 800 种, 中国有 100 多种(张秀实等, 1998)。已知榕树依赖专一的榕小蜂传粉才能获得有性繁殖, 而传粉榕小蜂也只有依赖榕树的雌花子房繁衍后代, 两者高度专一, 互不可缺, 组成了动植物间最为特殊的互惠共生关系。在榕树的隐头花序中, 除了专一的传粉榕小蜂外, 还有 1~32 种不等的非传粉小蜂寄生于榕果内(Bronstein, 1999), 这些非传粉小蜂通常在榕果发育的不同时期来到果外产卵, 通过长的产卵器刺穿果壁, 把卵产于雌花子房中。其类群包括产卵到子房内刺激子房膨大成虫瘿的造瘿者(Gall maker), 依赖其他小蜂造瘿并与其同在一个虫瘿内发育的寄居者(Inquiline), 以及把卵产在其他小蜂体内生长的复寄生类小蜂(Parasitoid)(Peng *et al.*, 2005), 它们通过产卵时间、空间和食性的分化, 最终稳定共存于榕树及其传粉榕小蜂互惠系统中。非传粉小蜂通过取食传粉榕小蜂幼虫或与传粉榕小蜂竞争食物资源而对榕-蜂互惠体系产生负面影响(West *et al.*, 1996; Kerdelhué *et al.* 2000)。

小叶榕 *Ficus microcarpa* 自然分布于中国、印度、斯里兰卡、印度尼西亚、马来西亚、新几内亚、澳大利亚、菲律宾、日本、泰国、缅甸、越南、柬埔寨等(Berg & Corner 2005)。由于它是一种优良的绿化树种, 被广泛引种到欧洲、非洲、南北美洲等地(Hiburn *et al.*, 1990; Nadel *et al.*, 1992; Simberloff & Von Holle, 1999; Starr *et al.*, 2003)。据榕小蜂分类专家 Rasplus Jean-Yves 介绍, 全世界寄生于小叶榕隐头果内隶属于 *Eupristina* 属的传粉榕小蜂有 7 种, 中国分布有 3 种(Sun *et al.* 2011); 小叶榕果内非传粉小蜂种类和群落研究, 中国大陆报道有 18 种(Zhang & Xiao 2008; Feng & Huang 2010; 张彦杰等 2011), 台湾记录有 20 种榕小蜂(Chen *et al.*, 1999); 有 9 种榕小蜂随寄主小叶榕的引种分布到夏威夷(Beardsley, 1998), 5 种榕小蜂分布到巴西(Farache *et al.*, 2009), 可见小叶榕果内寄生的榕小蜂种类极为丰富, 并随寄主分布区的变化, 榕小蜂群落结构已发生

改变。

有关榕树上榕小蜂发生规律的研究, 很多都聚焦在传粉小蜂上, 对于非传粉小蜂发生规律的研究相对较少。目前全球已描述的非传粉小蜂种类近 400 种, 隶属于金小蜂科 Pteromalidae 隐针榕小蜂亚科 Epichrysomallinae 的 *Odontofroggattia* 属小蜂已知仅 5 种, 分别是 *O. gajamaru*、*O. corneri*、*O. galili*、*O. ishii* 和 *O. quinifuniculus*, 它们的寄主榕树均为小叶榕, 中国的海南、福建分布有后 4 种(Feng & Huang 2010), 在云南的小叶榕上我们发现有利加利金小蜂 *O. galili* 和 *O. corneri* 寄生。对于该属目前仅有种类描述及分布地记述, 还没有关于它们发生规律方面的研究工作。

本研究选取在云南分布广、种群大的加利里金小蜂作为研究对象, 对其发生规律开展研究, 并对比抽样分布于西双版纳地区及昆明地区的小叶榕, 比较加利里金小蜂在不同分布区、树间和果间的发生规律, 以及种群结构和繁殖差异。

1 材料和方法

1.1 研究材料

加利里金小蜂 *Odontofroggattia galili* Wiebes, 隶属于金小蜂科 Pteromalidae 隐针榕小蜂亚科 Epichrysomallinae *Odontofroggattia* 属小蜂。雌雄蜂均有翅。雌蜂: 触角模式 11063, 索节间疏松, 各索节具 1 轮超越其顶缘约一半长度的纵向板状感觉器; 触角窝间距约为触角窝直径的 1/3; 并胸腹节背面无脊; 后躯侧扁。雄蜂: 触角窝位于唇基前缘, 间距约为触角窝直径的 1/2; 唇基前缘具 2 个略微凸出的薄片; 头前面观具一纵向的中缝; 腹柄长略大于宽, 侧面无齿, 腹面也无刺; 后足基节强壮且具 2 齿(Feng & Huang 2010; Heraty *et al.* 2013)。雄蜂有大小之分, 个体较大的雄蜂后足胫节端部膨大, 黑色(图 1)。该蜂寄生于小叶榕树隐头果内, 在雌花前期即从果外产卵进入雌花子房, 刺激雌花子房膨大成虫瘿, 后代在虫瘿内完成发育。

1.2 研究方法

从 2012 年 8 月至 2013 年 5 月, 在西双版纳的

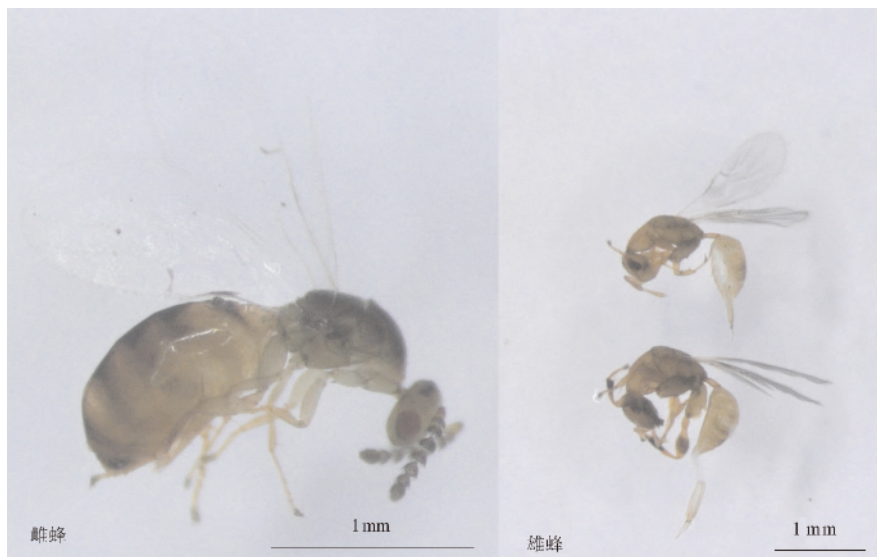


图 1 加利里金小蜂的雌蜂和雄蜂

Fig. 1 The female and males of *Odontofroggattia galili*

景洪市和勐仑镇,以及昆明市区的街道和公园里,调查小叶榕结果状况,看到正在产卵的加利里金小蜂,记录产卵时果花期,以及产卵器插入的位置。遇到雄花期出蜂的树,采集 30~40 个榕果,单果分装在 120 筛目的绢纱网袋内(20 cm × 25 cm),让榕小蜂自由羽化进入袋中,然后收集单果内的小蜂,放入 75% 的酒精中,密封保存于 5 mL 的塑料瓶中。在 20 株小叶榕上抽样了 20 批共 605 个雄花期榕果,用于调查加利里金小蜂的发生规律,对其中 8 批有加利里金小蜂寄生的榕果,在实验室里借助解剖镜(Leica S8AP0)鉴定每个单果内收集到的榕小蜂种类及其雌雄蜂数量,对于雄蜂具有大小形态的加利里金小蜂分别统计了大小雄蜂数量。

2012 年 8 月 16~17 日,选择一株正在出蜂的小叶榕,直接观察树上加利里金小蜂的出蜂、交配行为。观察雌雄蜂爬出苞片口的行为,记录先出来的雄蜂及等待在苞片口周围的雄蜂数量,共统计了 50 个榕果。再观察雌蜂爬出苞片口行为,以及雄蜂抓住刚爬出苞片口的雌蜂交配的行为,并拍照记录。同时,采集大量即将出蜂的榕果,带回实验室,剖开榕果,观察到刚羽化离开虫瘿的雌雄蜂,把雌雄蜂成对移入培养皿中,交配开始,即观察交配持续时间,共观察记录了 12 对雌雄蜂。交配完成的雌雄蜂,移除其中一头雄蜂或雌蜂,再补充一头刚离开虫瘿的雄蜂或雌蜂,观察雌雄蜂是否能进行多次交配。在剖开的雄花期榕果果腔中,看到正在成功交配的雌雄蜂,成对收集 100 对,统计大小雄蜂成功交配的比率。再分别选取 30 只大雄蜂和采到的 27 只小雄

蜂,借助解剖镜中安装的测微尺测量每只蜂的头长、头宽和后足腿节的长度。

2013 年 4 月 25~27 日,采摘到 21 个即将出蜂的果,分别放置于玻璃杯中,待蜂羽化后进入杯子中时记录出蜂时间,移走榕果,每个杯子里保留 9~61 只蜂,封上 120 目的绢纱网。然后杯子倒置于保湿滤纸上,观察成活时间,死亡蜂自然落到底部绢纱网上方便移走和计数。每天上午和下午各统计 2 次活蜂数量,直到玻璃杯中所有雌雄蜂死亡。观测期间日温度 14~28℃。

1.3 数据分析

运用卡方检验比较不同树上榕果被加利里金小蜂寄生的比率是否有差异。由于大小雄蜂头长、头宽和后足腿节长均呈正态分布,独立样本 t 检验被用来比较雄蜂之间的大小差异。采用 ANOVA 方差分析,比较不同树上单果内平均雌蜂数量,大雄蜂数量以及小雄蜂数量之间的差异。Mann-Whitney U 检验被用来比较加利里金小蜂在西双版纳和昆明两地之间的繁殖差异。所有的分析是用 Excel 及 SPSS 16.0 软件完成的。

2 结果与分析

2.1 加利里金小蜂在小叶榕上的发生规律

在榕树果发育的雌花前期,加利里金小蜂雌蜂便来访问榕果,并在果顶生苞片位置,插入产卵器,从果外把卵产到雌花子房里。产卵可刺激子房膨大成虫瘿,子代在虫瘿里取食发育,在西双版纳地区后代在干热季和雨季从卵发育到成虫羽化需 31~38 d,

雾凉季则长达 58 ~ 72 d 才能完成生活史。该蜂专一性地寄生于小叶榕树的隐头果里。我们在 20 株小叶榕上共抽样了 20 批 605 个雄花期榕果,即加利里金小蜂成虫羽化期的榕果。通过鉴定单果内榕小蜂种类,发现 12 批果没有加利里金小蜂寄生,8 批果中寄生着加利里金小蜂,其中单批榕果被寄生比率变异在 6.67% ~ 100% 之间,有 6 批果的寄生率超过 80% (图 2),有加利里金小蜂的树上,果被寄生的比率树间呈现显著性差异($\chi^2 = 168.69, P < 0.01$)。

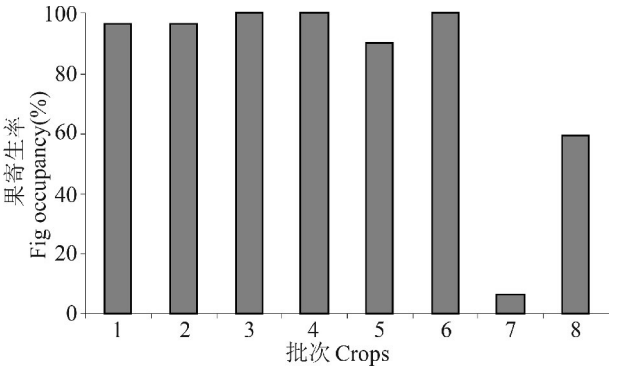


图 2 加利里金小蜂在小叶上的发生规律
Fig. 2 Occurrence regularity of *Odontofroggata galili* on *Ficus microcarpa*

西双版纳是小叶榕原生地,在热带雨林内可见许多原生古老的小叶榕树。在西双版纳抽样的 6 批果中,绝大部分榕果内寄生着传粉榕小蜂,仅 2 批果中有加利里金小蜂寄生(图 2 中第 7 ~ 8 批),且这 2 批果中单果被寄生的比率较低,一批有 59.38% 的果被加利里金小蜂寄生,另一批仅 6.67% 果内有加利里金小蜂。在昆明市区所有的小叶榕均是人工种植的绿化树,在这些树的果内很难看到传粉榕小蜂,抽样的 9 批果中有 6 批果被加利里金小蜂寄生(图 2 中第 1 ~ 6 批),且单批果寄生率达 90% ~ 100%。昆明市区较高的寄生率表明加利里金小蜂在原生地以外的迁入区已适应较好,种群获得扩张。

2.2 加利里金小蜂雄蜂个体差异及种群数量结构

加利里金小蜂的雌雄蜂均有翅,且雄蜂个体有明显的大小差异,个体较大的雄蜂除了体型较大外,后足腿节的末端显著膨大并呈黑色,而个体较小的

雄蜂没有这一特征,因此很容易把大小雄蜂区分开。通过测量比较大小雄蜂,发现无论是头长、头宽还是后足腿节长度,大雄蜂均显著比小雄蜂大(表 1)。

加利里金小蜂在榕果的雌花前期产卵,能独立造瘿,不依赖传粉榕小蜂传粉,后代蜂可正常完成生活史,但由于缺乏传粉榕小蜂果内无种子。在 8 批有加利里金小蜂寄生的小叶榕上,每株树分别抽样了 30 ~ 40 个果,其中被加利里金小蜂寄生的果有 2 ~ 40 个,并且 62.3% 果完全被加利里金小蜂占据,没有其他榕小蜂出现。在有加利里金小蜂的果中,雌蜂的种群数量占 66.97%,每批果中雌蜂的平均数量变异在 1 ~ 50 只之间,雌蜂数量树间呈显著差异($F = 56.34, P < 0.001$)。雄蜂数量占种群的 33.03%,其中大雄蜂占雄蜂数量的 87.76%,小雄蜂占雄蜂数量的 12.24%。每批果中大雄蜂的数量变异在 1 ~ 34 只之间,树间大雄蜂数量呈显著差异($F = 109.13, P < 0.001$);小雄蜂的数量每批果中也呈显著差异($F = 55.253, P < 0.001$),数量变异在 1 ~ 5 只之间(表 2)。

在西双版纳地区,加利里金小蜂与小叶榕上的其他榕小蜂常共存于同一树上,甚至是同一果内,作为榕小蜂群落中的一员,其种群并不是很大,单果平均有 5.05 ± 0.94 只($SE, n = 21$)。作为优良的绿化树种,小叶榕被广泛引种到高纬度和高海拔的昆明市区,在昆明抽样的小叶榕树上,加利里金小蜂不仅发生频率较高,而且单果内加利里金小蜂的数量也较多,平均 36.72 ± 2.10 只($SE, n = 202$)。在西双版纳和昆明两地之间,加利里金小蜂的繁殖数量具有显著差异(Mann-Whitney U test: $U = 130.50, P < 0.001$)。

2.3 加利里金小蜂成虫出蜂、交配行为

加利里金小蜂雌蜂在榕果雌花前期于果壁上把产卵器插入果腔的小花子房中,把卵产在子房后,小蜂在膨大的子房内经过雌花期、间花期发育生长,当榕果发育到雄花期时,加利里金小蜂也正好发育到成虫期,成虫咬开虫瘿,进入果腔,再出蜂离开榕果,

表 1 加利里金小蜂的雄蜂大小比较
Table 1 Comparing sizes between large and small males of *Odontofroggata galili*

雄蜂类型 Male types	头长 Head length (mm)	头宽 Head width (mm)	后足腿节长 Femoral length of hind legs (mm)
大雄蜂 Large males	0.47 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.44 ± 0.002
小雄蜂 Small males	0.36 ± 0.003	0.43 ± 0.004	0.36 ± 0.004
t 值 t values	14.82	17.88	16.92
P 值 P values	< 0.001	< 0.001	< 0.001

表 2 加利里金小蜂种群内变异的雌雄蜂数量
Table 2 Variant numbers of female and male *Odontofroggata galili* in the population

树号 Crops	果量 Number of figs	雌蜂数量 Number of females	大雄蜂数量 Number of large males	小雄蜂数量 Number of small males
1	30	12.23 ± 1.27	2.71 ± 0.49	0.65 ± 0.19
2	29	17.73 ± 1.55	3.90 ± 0.71	0.80 ± 0.24
3	39	22.60 ± 1.88	5.82 ± 0.86	0.28 ± 0.09
4	37	18.19 ± 1.71	2.06 ± 0.66	1.08 ± 0.19
5	27	16.30 ± 2.28	8.90 ± 1.50	0.47 ± 0.14
6	40	49.70 ± 2.49	34.22 ± 1.94	4.78 ± 0.36
7	2	0.03 ± 0.03	0.03 ± 0.03	0
8	19	2.19 ± 0.56	0.78 ± 0.19	0.28 ± 0.10

注: 每批果抽样 30~40 个榕果, 表中用被加利里金小蜂寄生的榕果; 1~6 批采自昆明市区, 7~8 批采自西双版纳
Notes: 30~40 figs were sampled per crop, only the figs with *Odontofroggata galili* were used in Table 2; 1~6 crops were collected in Kunming city and 7~8 crops were collected in Xishuangbanna region

开始新的生活循环。加利里金小蜂羽化出蜂主要发生在晴天的上午, 雄成虫提前进入果腔, 并沿着较为松散的顶生苞片爬到果外, 等待在苞片口周围, 每果平均可见 5.98 只 ± 0.39 只 (n = 50) 雄蜂在苞片口等待雌蜂出来交配。一旦有雌蜂爬出苞片, 雄蜂将抓住雌蜂进行交配。雄蜂之间为了争夺雌蜂, 常展开激烈的打斗, 雄蜂有发达的上颚, 是它们争夺配偶的战斗武器(图 3, A)。打斗胜利者才能获得交配机会, 通常每只雌雄蜂只交配一次, 每次交配时间持续 6.75 min ± 1.04 min (n = 12)。打开正在出蜂的榕果, 果腔内也偶尔发现正在交配的雌雄蜂, 说明加利里金小蜂虽然主要在果外交配, 但有少量也可在果腔内完成交配。交配成功时通常个体较大的雌蜂拖着雄蜂到处爬行(图 3, B)。通过调查成功交配的 100 对加利里金小蜂雌雄蜂, 发现成功交配的大雄蜂占 88%, 小雄蜂占 12%, 说明强壮的大个体雄蜂获得的交配机会更多。

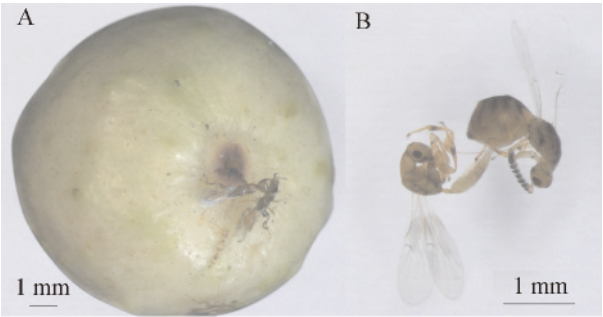


图 3 加利里金小蜂的交配行为
A. 为争夺配偶打斗的雄蜂 B. 交配的雌雄蜂
Fig. 3 Mating behavior of *Odontofroggata galili*
A. Fighting males for mating chance B. Mating female and male

2.4 加利里金小蜂成虫期寿命

在实验室里观察了加利里金小蜂成虫的寿命, 加利里金小蜂上午羽化、出蜂进入玻璃杯中后, 就逐

渐有蜂死亡, 随着时间延长死亡率升高, 24 h 后死亡达高峰, 所有的雄蜂都死亡, 在此时间段内 78.97% 的雌蜂也死亡。之后, 成活的雌蜂逐渐减少, 直至第三天的下午所有雌蜂死亡(图 4)。这说明加利里金小蜂雄蜂成虫期寿命仅一天时间, 自然状态下完成交配的雄蜂不再离开哺育树, 停留在果壁或叶片上, 常被蚂蚁和蜻蜓捕食, 或者死亡落于树下。大部分加利里金小蜂雌蜂成虫期寿命也仅一天, 少量雌蜂能活到第三天; 而完成交配的雌蜂必须尽快离开哺育树, 飞行去寻找其他正处于雌花前期的榕果产卵, 繁衍下一代。

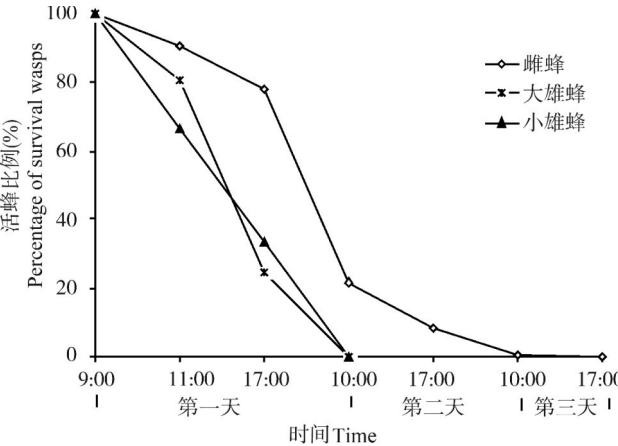


图 4 加利里金小蜂成虫期雌雄蜂寿命
Fig. 4 Adult longevity of female and male *Odontofroggata galili*

3 讨论

本研究揭示了寄生于小叶榕隐头果内加利里金小蜂的发生规律, 该蜂在榕果雌花前期来到果外产卵, 雌蜂从榕果的顶生苞片处插入产卵器, 从果外把卵产到雌花子房中, 并刺激子房膨大成虫瘿, 后代在虫瘿中取食、完成发育, 并在榕果的雄花期羽化出

蜂。先离开榕果的雄蜂等待在苞片口周围,一旦雌蜂爬出来,便与其交配,极少数可在果内交配。为了争夺雌蜂配偶,雄蜂之间往往展开激烈的打斗,胜者获得交配机会。雌雄蜂大多只交配一次。该蜂成虫期寿命较短,雌蜂可存活 54 h,雄蜂最长仅活 23 h,因此交配后的雌蜂需尽快飞去寻找其他正处于雌花前期的果产卵,繁衍后代。加利里金小蜂专一性地寄生小叶榕,但其发生规律树间有极大差异,有 40% 的榕树果被寄生,不同株榕树上果被寄生的比率有显著差异。加利里金小蜂的雌雄蜂均有翅,且雄蜂二型,体型大小有显著差异,并且种群中雌雄蜂数量树间有显著差异。在原生地西双版纳和引入地昆明市区,加利里金小蜂的发生规律、种群大小和繁殖率均有显著差异,在昆明地区由于传粉榕小蜂极少或者无传粉榕小蜂,加利里金小蜂繁殖更为成功。加利里金小蜂的发生规律部分相似于其他非传粉小蜂特征,如从果外产卵,造瘿子房,雄花期与传粉榕小蜂同步羽化出蜂等(Kerdelhué *et al.*, 2000; Peng *et al.*, 2005),但也有一些是非传粉小蜂研究中还未报道的,如从顶生苞片处插入产卵器,雄蜂在苞片口等待雌蜂交配,频繁占据整个果乃至整株树,比一般的非传粉小蜂更能适应环境变迁等。同时,本研究也是首次比较热带原生地和亚热带引入地之间加利里金小蜂的发生规律及繁殖差异。

在榕树及其榕小蜂共生系统中,非传粉小蜂的发生规律研究比较少,已知有高榕上产卵最早的非传粉小蜂 *Sycophilomorpha* sp., 有其产卵行为、发生规律,以及对榕-蜂互惠系统影响方面的研究报道(Peng *et al.*, 2010); 有垂叶榕上 *Walkerella* 小蜂多型雄蜂及其繁殖策略的研究报道(Wang *et al.*, 2010); 有巴西一种 *Idarnes* 非传粉小蜂食性规律的研究(Pereira *et al.*, 2007); 有对叶榕上两种 *Philotrypesis* 非传粉小蜂繁殖策略的比较研究(Zhai *et al.*, 2008); 有钝叶榕上非传粉小蜂羽化、交配行为,以及性比率方面的研究(宋波等, 2008; Zhang & Yang, 2010)。其次,在雄蜂多型的非传粉小蜂研究中,通常个体较大的打斗胜利,并且更易获得交配机会(Greeff & Ferguson, 1999),加利里金小蜂也有相似的表现。在同种昆虫中,个体较大者可能有较长的寿命(Kjellberg *et al.*, 1988),但是在加利里金小蜂种群中,无论大小雄蜂,成虫寿命均只有一天时间。这些研究结果可以很好地丰富非传粉小蜂生物学领域的知识。

在全球气温逐年升高的背景下,一些热带种被驱动着向亚热带或高纬度、高海拔地区扩散(Chen *et al.*, 2011)。小叶榕是优良的绿化树种,已从亚洲热带被广泛引种到欧洲、非洲和美洲地区;在国内已从低纬度引种到高纬度地区,从低海拔被引种到高海拔地区,其分布区已向温度较低的地区扩散;部分地区由于其传粉榕小蜂的进入,已导致小叶榕成为入侵树种,受到特别关注(Hiburn *et al.*, 1990; Nadel *et al.*, 1992; Simberloff & Von Holle, 1999; Starr *et al.*, 2003)。寄生于小叶榕果内的榕小蜂群落也随寄主逐步扩散,造瘿类的两种非传粉小蜂加利里金小蜂和 *Walkerella microcarpae* 扩散较为普遍,广泛地进入小叶榕引种地区(Kobbi *et al.*, 1996; van Noort *et al.*, 2013)。在突尼斯的研究显示,小叶榕上加利里金小蜂与传粉榕小蜂 *Eupristina verticillata* 共存的果内,加利里金小蜂对榕树及其传粉榕小蜂互惠系统有负面的影响(Kobbi *et al.*, 1996)。当比较分布于原生地西双版纳热带地区及引入地昆明地区的加利里金小蜂种群数量和发生规律,在西双版纳地区加利里金小蜂相似于其他非传粉小蜂,以小种群共存于小叶榕及其传粉榕小蜂互惠系统中,它们很难单独占据整株树,也很难占据所有榕果,往往与传粉榕小蜂共存于同一株树或同一果内(孔月,待发表)。然而在引入地昆明地区,由于海拔较高,气候冷凉,小叶榕的传粉榕小蜂虽有出现,但种群较小。对于物种专一性的寄生蜂,适应寄主新分布区的气候是其能成功繁殖的必要条件,植食性造瘿类的榕小蜂最可能先行随寄主到达新的分布区,加利里金小蜂就是如此随小叶榕成功迁移的非传粉小蜂(van Noort *et al.*, 2013)。由于它不依赖于榕果传粉,可独立造瘿繁殖,并且产卵于较早的雌花前期果上,有充足的雌花资源,一旦适应新分布区的气候环境,种群很容易扩张。我们的研究结果也证明,引入地昆明地区的加利里金小蜂在小叶榕上发生较频繁,种群较大。加利里金小蜂在原生地和引入地之间表现出来的繁殖差异,可为进一步深入研究寄生蜂随寄主迁移,随气候改变的响应机制提供科学依据。

4 参考文献

- 宋波, 彭艳琼, 杨赵雄, 等. 2008. 钝叶榕 *Ficus curtipes* 非传粉小蜂交配行为[J]. 生态学报, 28(2): 595-601.
- 张秀实, 吴征镒, 曹子余. 1998. 中国植物志. 第二十三卷, 第一册[M]. 北京: 科学出版社: 112-113.
- 张彦杰, 陈友铃, 吴文珊. 2011. 福州细叶榕 *Ficus microcarpa* Linn. f.

- 榕果中榕小蜂的分类[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 27(5): 73-78.
- Beardsley JW. 1998. Chalcid Wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea) Associated with fruit of *Ficus microcarpa* in Hawaii[J]. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society, 33: 19-34.
- Berg CC, Corner E.J.H. 2005. Moraceae-Ficus. Flora Malesiana Series I (Seed Plants) Volume 17/Part 2 [M]. Leiden: National Herbarium of the Netherlands.
- Bronstein JL. 1999. Natural history of *Anidarnes bicolor* (Hymenoptera: Agaonidae), a galler of the Florida strangling fig (*Ficus aurea*) [J]. Fla Entomol, 82: 454-464.
- Chen IC, Hill JK, Ohlemuller R, et al. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming[J]. Science, 333: 1024-1026.
- Chen YR, Chuang WC, Wu WJ. 1999. Chalcid wasps on *Ficus microcarpa* L. in Taiwan (Hymenoptera: Chalcidoidea) [J]. Journal of Taiwan Museum, 52: 39-79.
- Farache FHA, do O VT, Pereira RAS. 2009. New occurrence of non-pollinating fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea) in *Ficus microcarpa* in Brazil[J]. Neotrop Entomol, 38: 683-685.
- Feng G, Huang DW. 2010. Description of a new species of *Odontofroggata* (Chalcidoidea, Epichrysomallinae) associated with *Ficus microcarpa* (Moraceae) with a key to species of the genus [J]. Zootaxa, 2335: 40-48.
- Greeff JM, Ferguson JWH. 1999. Mating ecology of the nonpollinating fig wasps of *Ficus ingens* [J]. Anim Behav, 57: 215-222.
- Heraty JM, Burks RA, Cruaud A, et al. 2013. A phylogenetic analysis of the megadiverse Chalcidoidea (Hymenoptera) [J]. Cladistics, 29: 466-542.
- Hilburn DJ, Marsh PM, Schauff ME. 1990. Hymenoptera of Bermuda [J]. Fla Entomol, 73: 161-176.
- Kerdelhué C, Rossi JP, Rasplus JY. 2000. Comparative community ecology studies on Old World figs and fig wasps [J]. Ecology, 81: 2832-2849.
- Kjellberg F, Doumesche B, Bronstein JL. 1988. Longevity of a fig wasp (*Blastophaga psenes*) [J]. PK Ned Akad C Biol, 91: 117-122.
- Kobbi M, Edelin C, Michaloud G, et al. 1996. Relationship between a mutualist and a parasite of the laurel fig, *Ficus microcarpa* L. [J]. Can J Zool, 74: 1831-1833.
- Nadel H, Frank JH, Knight Jr RJ. 1992. Escapees and accomplices: the naturalization of exotic *Ficus* and their associated faunas in Florida [J]. Fla Entomol, 75: 29-38.
- Peng YQ, Yang DR, Wang QY. 2005. Quantitative tests of interactions between pollinating and nonpollinating fig wasps on dioecious *Ficus hispida* [J]. Ecol Entomol, 30: 70-77.
- Peng YQ, Zhao JB, Harrison R, et al. 2010. Ecology of parasite *Syconophylomorpha* sp. on *Ficus altissima* and its effect on the fig-fig wasp mutualism [J]. Parasitology, 137: 1-7.
- Pereira RAS, Teixeira SP, Kjellberg F. 2007. An inquiline fig-wasp using seeds as a resource for small male production: a potential first step for the evolution of new feeding habits? [J]. Biol J Linn Soc, 92: 9-17.
- Shanahan M, Compton SG, Corlett R. 2001. Fig-eating by vertebrate frugivores: a global review [J]. Biol Rev, 76: 529-572.
- Simberloff D, Von Holle B. 1999. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? [J]. Biol Invasions, 1: 21-32.
- Starr F, Starr K, Loope L. 2003. *Ficus microcarpa*. Chinese Banyan, Moraceae [M]. United States Geological Survey, Biol Res Division, Haleakala Field Station, Maui, Hawaii: 1-8.
- Sun XJ, Xiao JH, Cook JM, et al. 2011. Comparisons of host mitochondrial, nuclear and endosymbiont bacterial genes reveal cryptic fig wasp species and the effects of *Wolbachia* on host mtDNA evolution and diversity [J]. BMC Evol Biol, 11: 86.
- van Noort S, Wang R, Compton SG. 2013. Fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea: Agaonidae, Pteromalidae) associated with Asian fig trees (*Ficus*, Moraceae) in southern Africa: Asian followers and African colonists [J]. Afr Invertebrates, 54: 381-400.
- Wang ZJ, Peng YQ, Compton SGA, et al. 2010. Reproductive strategies of two forms of flightless males in a non-pollinating fig wasp under partial local mate competition [J]. Ecol Entomol, 35: 691-697.
- West SA, Herre EA, Windsor DM, et al. 1996. The ecology and evolution of the New World non-pollinating fig wasp communities [J]. J Biogeogr, 23: 447-458.
- Zhai SW, Yang DR, Peng YQ. 2008. Reproductive strategies of two *Philotrypesis* species on *Ficus hispida* [J]. Symbiosis, 45: 117-120.
- Zhang FP, Yang DR. 2010. Study on mating ecology and sex ratio of three internally ovipositing fig wasps of *Ficus curtipes* [J]. B Entomol Res, 100: 241-245.
- Zhang R, Xiao H. 2008. A new species of the genus *Acophila* on *Ficus microcarpa* L. from China (Hymenoptera, Agaonidae) [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 33: 505-507.