

西双版纳热带雨林聚果榕小蜂的传粉生态学

杨大荣 赵庭周 王瑞武 张光明 宋启示

(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部 昆明 650223) (云南大学生物系 昆明 650091)

(中国科学院昆明动物研究所 昆明 650223)

摘要: 对聚果榕小蜂 (*Ceratosolen* sp.) 传粉生态学进行了首次研究。结果表明, 聚果榕小蜂的雄蜂比雌蜂早羽化数小时; 雌蜂羽化不能自行打开瘦花和果肉出蜂口, 两个出蜂口均需雄蜂开凿。而聚果榕的成熟花粉, 不能自行地从开裂处散发出来, 必须经榕小蜂的繁殖性雌蜂采集才能散到表面。羽化后的雌蜂在开裂的雄花中不停地用触角柄节、口器上颚和足推动和采集花粉。雌蜂飞出熟榕果寻找嫩隐头花果, 一般在外飞翔 5~80 min。雌蜂进入嫩聚果榕的隐头花果内后, 立即把粘附在足、头、触角和身上的花粉不停地推动到长柱头雌花中, 授粉行为长达 4~9 h。然后, 才把卵产在短柱头雌花中。

关键词: 西双版纳; 热带雨林; 聚果榕; 聚果榕小蜂; 传粉生态学

中图分类号: Q969.54⁺5.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254 - 5853(2001)02 - 0125 - 06

西双版纳是我国现存面积最大的热带雨林地区。它位于中国云南省南部, 北纬 $21^{\circ}10' \sim 22^{\circ}40'$, 东经 $99^{\circ}55' \sim 101^{\circ}50'$ 之间; 总面积 $19\,690\text{ km}^2$; 南部与老挝、缅甸接壤, 西、北、东三面与云南的山原、山地相连, 属于横断山系中无量山脉和怒山的余脉。整个地势四周高, 中部低, 以山原为主, 其中又分布着许多宽谷盆地、低山和低丘。海拔最低处是勐腊县澜沧江河谷 450 m , 最高峰位于勐海县桦竹梁子 2429.5 m (吴征镒, 1980)。在热带雨林中, 榕属 (*Ficus*) 是热带植物区系中最大的木本属种之一, 其单株结实率是所有树种中最高的。在热带雨林植物群落中, 它占据了乔木层、灌木层、藤本、附生、寄生植物等层次的一定空间, 为多种腐生、附生、寄生、荫生的植物提供了良好的生存场所。并且它们中许多种类一年四季都在开花结果, 为兽类、鸟类、蝙蝠、昆虫、土壤动物和微生物等提供了宝贵的食物和栖息场所。因此, 它是国际上公认的热带雨林中的一类关键植物 (Janze, 1979; Wiebes, 1976, 1979; 许再富, 1994; 杨大荣, 1999; 杨大荣等, 1997, 1999)。聚果榕 [*Ficus racemosa* L. (1753)] 是亚洲热带雨林中的一个优势种, 主要分布于中国云南省的西双版纳、思茅、河口、金平、孟连等地区, 广西和贵州南部热带和亚

热带区也有零星分布。在越南、老挝、马来西亚、缅甸、泰国、印度东北部和巴布亚新几内亚等地热带雨林地区也有分布 (吴征镒, 1995)。每一种榕树专一性地由一种榕小蜂传粉才能繁殖有性后代; 每一种榕小蜂也只给一种榕树传粉并在该种榕树隐头花果内的雌性短花柱上繁殖后代, 两者间的互惠共生关系是协同进化系统中最为特化的, 它们的相互关系已经发展到一对一的不能互缺的高级阶段 (Galil 1973, 1986; Wiebes, 1979, 1994; 杨大荣等, 1999, 2000)。尽管对两者的认识较为丰富, 但有关聚果榕小蜂传粉生态学的研究尚未见报道, 本文拟就此作一介绍。

1 材料与方法

1.1 研究样地

研究样地设在西双版纳傣族自治州勐腊县勐仑镇。样地年平均温 21.4°C , 年降雨量 1557.0 mm , 相对湿度 86% 。全年四季不分明, 但有明显的干湿两季, 干季 11 月~5 月, 仅占全年降水量的 $18\% \sim 21\%$, 余下月份是雨季, 占全年降水量的 $79\% \sim 82\%$ 。

样地分别设在国家热带雨林自然保护区、片断化热带雨林 (傣族龙山林)、村庄、中国科学院西

* 收稿日期: 2000 - 09 - 22; 修改稿收到日期: 2000 - 11 - 17

基金项目: 中国科学院“九五”重大项目 (KZ951 - A1 - 104) 和云南省应用基础基金资助项目

双版纳热带植物园和江边 5 种类型区。

1.2 研究种类与方法

1.2.1 种类 研究植物属于桑科(Moraceae)榕属(*Ficus*)聚果榕(*F. racemosa*)。昆虫属于膜翅目(Hymenoptera)榕小蜂科(Agaonidae)栉颏榕小蜂属(*Ceratosolen*)聚果榕小蜂(*Ceratosolen* sp.)。

1.2.2 取样和观察时间 每月取不同生长期和类型的聚果榕隐头花果 6 次,并对样地内聚果榕生长状况和榕小蜂生态学、生物学和榕树的物候学进行观察记录;在榕小蜂繁殖雌蜂进隐头花果和榕果成熟出蜂期间,从早上 6:00 开始至晚上 21:30 止,每天观察 4 次榕小蜂进出行为,每次观察不少于 1 h。直至这种行为停止。

1.2.3 取样数目 各类型果实以 50 个为一取样单位。

1.2.4 研究方法 定期、定点摘取 7 个类型不同生长时期的隐头花果进行观察:a.刚结出的隐头花果的果实(幼花期);b.繁殖雌蜂刚进嫩隐头花果时期的果实(雌花开放期);c.榕小蜂卵、幼虫和蛹及聚果榕隐头花果内种子发育的青果期(间花期);d.快成熟的榕果;e.成熟未出蜂的榕果(雄花成熟期);f.正出蜂的榕果(榕果成熟期);g.成熟落地榕果。

各类型榕果取样后用密封塑料袋分装,带回实验室,在实体显微镜下剖开观察记录,对前 4 种类型(a-d)样品主要观察小隐头花果形成、繁殖性雌蜂进果数量、榕小蜂在果内生长和隐头花发育、榕果雌花的受精状况等;对 e 类型样品观察榕小蜂羽化特性、数量和雌雄性比,榕树种子成熟状况;对 f 类型样品观察榕小蜂羽化后在果内外活动特性;对 g 类型样品观察果实内各类动物数量和活动情况。然后统计、分析、整理。

熟果内雌蜂出蜂量观察方法,用 80~100 筛目的绢纱缝制成长 10 cm,宽 8 cm 的小口袋,把快出蜂的熟果密封住,一袋装 1 个果实;一见出蜂便开始记录,每隔 1 h 取袋记数 1 次,直到不见出蜂为止。详细记录榕小蜂从成熟果内出蜂后,繁殖性雌蜂飞翔到聚果榕隐头花雌花开放期植株的时间、距离;进入小隐头花果的时间等。

2 结果与分析

2.1 榕小蜂在榕果内的求偶行为特性

当聚果榕的种子成熟期时,果实的内花托口有

序排列的雄花也开始成熟,花药开裂;同时,瘿花内的榕小蜂蛹也发育成熟,开始羽化出蜂。榕小蜂羽化时,雌雄异步。首先是 5~20 只雄蜂最先羽化(比大多数榕小蜂羽化早 0.5~3 h)。羽化时,雄蜂咬破自我寄生的瘿花壁,形成内出蜂口,一般需用 4~6 min。这几只雄蜂在瘿花上爬动一圈,用触角敲打瘿花,给其他雄蜂发出信号。当其他雄蜂开始咬瘿花壁羽化出蜂时,最先羽化的几只雄蜂则爬到花托口或者果腔四周,寻找适合的部位打凿外出蜂口;一经选定,这些雄蜂就开始轮番咬榕果的果肉,开凿外出蜂口。雄蜂选择最佳外出蜂口的部位是根据隐头花果外部的气候而定,如果正是雨季,水分充分,易积水时,外出蜂口则多选在口朝下的花托口和附近部位的果肉上,口与地面垂直;如果是干旱季节,外出蜂口则选在果蒂周围,口朝上。若高热时,外出蜂口则又会选在榕果侧边,果横径最宽处。雄蜂开凿外出蜂口一般需用 47~72 min,外出蜂口开凿通后,开凿出蜂口的雄蜂则纷纷爬出果壁,掉落入土中。

以后羽化的大量雄蜂,则一羽化就爬出自我寄生瘿花,用前、后足梳理一下身子后,就爬到未出蜂的瘿花外壁上,寻找内有快羽化雌蜂的瘿花,不断用触角和足敲动,然后快速地用口器啃咬瘿花壳,在瘿花外部为雌蜂凿开出蜂口。经多年观察发现:所有的雌蜂羽化时,自己不会咬开出蜂口,均要靠雄蜂咬开出蜂口。出蜂口打开后,雄蜂就用触角伸进瘿花出蜂口内,触摸雌蜂,当雌蜂在瘿花内活动时,雄蜂就迅速把尾部伸进洞口,与雌蜂交配。一般雄蜂交配时间极短,仅 15~46 s。完成交配后,又去寻找其他内有未羽化雌蜂的瘿花。一般 1 只雄蜂仅与雌蜂交配 1 次,少数可与雌蜂交配 2 次。雄蜂与雌蜂交配时,常有 3~5 个雄蜂争夺雌蜂而成团抱在一起争斗,直至死亡。由于雄蜂无翅,不能飞翔,交配完后,一部分爬出出蜂口,掉落地下,一部分与熟榕果一起掉落地下,很快被蚂蚁、蜘蛛、步甲等捕食性天敌捕食。

2.2 繁殖雌蜂采集花粉行为

繁殖雌蜂交配后就爬出瘿花,在果腔内急速爬动,到内花托四周的雄花积聚区采集花粉。聚果榕雄花成熟时,肾形的雄蕊中部裂开,但花粉不会自动散落下来,需要繁殖性雌蜂采集和推动后才开始散落。雌蜂在熟榕果内找到雄花后,用头在雄花裂口处顶开一个大口,前、中、后 3 足附节和口器不

停地运动,左右跗节先把花粉迅速刮刷到跗节的毛上;堆积一些花粉后,中、后足跗节上的花粉则推到胸部和腿部的密毛花粉筐中;前足则把口中和前足的花粉推到触角柄节顶端凹陷处的毛丛中保存。一只雌蜂在无干扰的情况下采集花粉 15 ~ 45 min 不等。完成采集花粉后,雌蜂爬到瘿花上,开始整理、收集或清除翅上、头部、背部和腹部等处多余的花粉,这些清除的花粉,一部分被送入口中,润湿后用前足推到胸部积花粉区保存,一部分被清除掉落在瘿花壁上。繁殖性雌蜂清理干净后,爬出雄蜂打好的果腔出蜂口,飞寻正在开放的嫩隐头花果,为新嫩榕果雌花授粉并在其中产卵繁殖后代。

一个成熟榕果内的榕小蜂,一经雄蜂打开外出蜂口,一般在 40 ~ 75 min 就羽化完毕。少数未羽化的雌蜂在瘿花内死亡;少部分羽化后未交配的雌蜂,活动缓慢,飞翔能力差,极少有能力飞到其他待授粉株上。外出蜂口的光线和空气能促使瘿花内的榕小蜂蛹羽化,当人为地剖开榕小蜂老熟蛹的榕果时,也能促使榕小蜂蛹提前 1 天或数小时羽化。

2.3 榕小蜂羽化出蜂时间

全年 12 个月均可见到聚果榕小蜂从熟榕果内羽化出来,飞翔到刚结的嫩隐头花果上传粉和产卵繁殖。一天中,繁殖性雌蜂羽化和采集花粉后飞离熟榕果和进入嫩隐头花果的高峰期有 2 次,根据季节和气候不同,时间也不相同(图 1)。

如图 1 所示,在 12 ~ 2 月,聚果榕小蜂每天出蜂的两次高峰分别是:上午 11:00 ~ 13:30 有 1 次出蜂高峰;下午 17:00 ~ 18:30 又有 1 次小高峰。而在 3 ~ 5 月,出蜂高峰期在上午 7:20 ~ 10:00,峰线上升和下降均较平缓;下午 17:40 ~ 18:40 又有 1 次小高峰。在 6 ~ 8 月的雨季,上午的出蜂高峰期提前,在早上 6:00 ~ 8:50,而且是全年中出蜂量最高、最集中的季节;下午的小高峰出现较晚,在 19:00 ~ 21:00。9 ~ 11 月,出蜂的高峰期在上午 6:40 ~ 10:20,小高峰则在 19:00 ~ 20:30,两次高峰均较平稳。从以上出蜂时间来看,聚果榕小蜂的羽化,温度是最主要的因素。气温低,则出蜂晚,而温度高则出蜂早。观察也发现,当温度低于 19 °C 时,已羽化雌蜂就是有雄蜂打开了出蜂口,也藏在果腔内不外飞。当温度高于 21 °C 时才开始飞翔活动;而高于 39 °C 时又停止飞翔活动。聚果榕小蜂一生几乎都在榕果内生活,因而对湿度要求不是非常明显;羽化时若遇到风雨天,

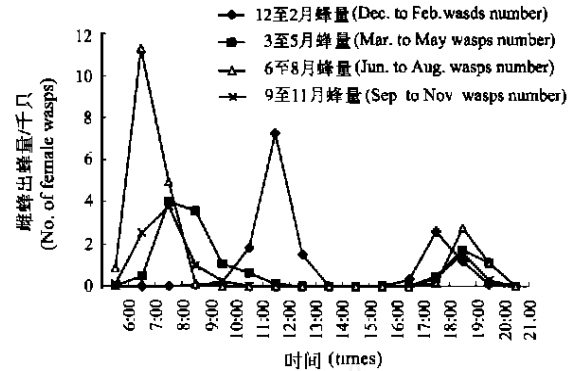


图 1 聚果榕小蜂雌蜂不同季节出蜂时间和数量变化
Fig. 1 The seasonal variations of numeral and emergences times of female wasp

雄蜂就不打开外出蜂口,雌蜂也无法飞出;若出蜂口已经打开,正是雨天,雌蜂也躲在果腔内,待雨停后再飞出。

2.4 雌蜂进入嫩隐头花果时的行为特性

从熟榕果内飞出的繁殖性雌蜂,身上带着成熟的花粉,钻出蜂口;爬在洞口观望一会后,离果在原树周围飞翔几分钟,根据接收到的信息,迅速飞向有嫩隐头花果的榕树。一般在 200 ~ 300 m 的范围内,若有正在开放雌花待授粉的榕树,雌蜂便能接收到榕果挥发的化学信息,定向朝有嫩隐头花果的榕树飞去。若四周较近距离没有可传粉的隐头花果,大部分雌蜂则四处乱飞;少部分雌蜂则在熟果腔内和熟果植株旁停留不动,直至死亡。雌蜂一找到有嫩隐头花果的榕树后,就直接飞到花托微张开、松动的隐头花果外表,快速爬动,不时用触角和前足敲打果的花托外部;又在外花托口慢慢爬动 3 ~ 4 圈,似乎在丈量榕果花的苞片,并不时用触角和足敲打,尾部不停地晃动;过 3 ~ 5 min,雌蜂的 1 对前足朝外花托口的苞片伸进去,后足朝外一用力,蜂的头部便钻了进去,然后,反复用该方法,不断向内缘爬进。进完一片苞片约 8 ~ 12 min;当雌蜂进完第 1 苞片,在两片苞片交错处,把前足和头反转弯曲深入第 2 苞片(所有朝外的顶生苞片均为互相交错的覆瓦状排列),如走之字形弯路一样,反复 4 ~ 6 次后,进入内苞片和外苞片交汇处。在交汇口处,用足和口器整理一下翅和残伤部,又继续钻入内苞片。虽然聚果榕的内苞片有 15 ~ 17 层之多,但无明显的覆瓦状交错,而是呈漏斗状,繁殖性雌蜂进入内苞片时就好比进外苞片轻松得多,从内苞片端部开口处直接爬入果腔。一只雌蜂从隐

头花果外花托苞片开始,爬到内果腔需要 42~143 min,平均 84.5 min。一只完整和健壮的雌蜂在进入果腔后,绝大部分已经成为缺翅少腿断触角的残蜂。而且,有 40%左右的雌蜂在钻爬花托外苞片中,就在苞片与苞片之间的狭缝中死亡。少量雌蜂在钻完苞片,完全进入果内腔时,在底部被果腔内液体粘附,尚未传粉和产卵就死亡。进到果腔内能给榕树传粉和繁殖产卵的不足进花托时繁殖性雌蜂总数的 60%。

2.5 雌蜂传粉行为特性

雌蜂从嫩隐头花果的外部拼命钻入果腔后,虽然绝大部分已经处于残缺状态,但它们并不忙于休息或疗伤,而是进入非常兴奋的状态,在雌花柱头上急速爬动,不时用触角、上颚和前足敲动和推动花柱头。经观察发现,其爬行有 2 个作用,一是把腿、头、触角和胸部带来的成熟花粉传给需受精的长柱头雌花(虽然聚果榕雌雄花共同生长在一个果内,但两花的成熟期并不同步。此时嫩榕果内的雄花还未发育成熟,需待榕果成熟时才发育成熟。而雌蜂带来的是父代成熟榕果内的花粉);二是寻找可产卵繁殖后代的短柱头雌花。但是找到短柱头雌花后,雌蜂并不马上产卵,而是用触角和口器推动一下,留下上颚咬的痕迹,进行标记。以占领产卵资源,不让其他同时或后来进入果内的雌蜂在标记过的短柱头上产卵。若一果内有十多个小蜂进入时,会发现几个小蜂抱成一团争斗的现象。但短柱头雌花一经雌蜂留下记号后,另外的雌蜂一触及到该花,就会自动快速离去,寻找其他未被标记过的雌花。进入果腔的雌蜂一边给长柱头雌花授粉,一边标记短柱头雌花,一般需要 4~9 h。待到雌蜂把带在体上的花粉(主要带在足上)基本传完,而且再也找不到可标记产卵的短柱头雌花后,就开始在标记过的短柱头的雌花上产卵;每个短柱头雌花上只产 1 粒卵。产卵时,小蜂

前足紧紧抓住柱头,后足蹬住另外的花柱头,把腹部伸向短柱花头,缓慢地把产卵瓣从短花柱头似漏斗的顶部插进去,把卵产在花柱中部子房处。繁殖性雌蜂在每粒花中产卵约需 2~3 min。从繁殖性雌蜂开始授粉和标记短柱头雌花、产卵,到在果腔内死亡,一般需要 16~29 h。

2.6 授粉后的榕树种子形成率

聚果榕的隐头花果是榕属(*Ficus*)中一类较大的果实,一个果内有雌花 3 672~7 864 个,平均 5 838.4 个。其中短柱头雌花 1 484~2 610 个,平均为 2 105.2 个;占果内总雌花的 31.1%;也就是说,榕小蜂可在平均 31.1%的雌花中产卵繁殖后代;其他长柱头花则发育成榕树种子,但是在不同季节中,各自繁殖差异是明显的(表 1)。

从表 1 看出:6~8 月和 9~11 月雌花、瘿花总数和经榕小蜂授粉后发育成种子的总数较高。虽然 4~5 月温度是全年的最高月份,但部分挂果的榕树仍会受到 2 月寒流的影响,并且此时为西双版纳一年中的最干旱季节,对榕果和榕小蜂的发育不利。虽然在热带地区,3~5 月和 12~2 月气温变化不是非常明显,但由于每年有数次北方南下的寒流直接影响到西双版纳热带雨林地区,所以对聚果榕的隐头花果和榕小蜂的生长和繁殖也不利。如 2000 年 1~2 月,西双版纳热带雨林受到十分明显的寒流影响就达 3 次,在寒流期间,当平均温度低于 15 时,许多外出寻找嫩隐头花果传粉和繁殖的雌蜂,一离开熟果出蜂口 2~3 min 就失去飞翔能力,落地死亡,从而使大量榕果未授粉,导致 2 月下旬和 3 月中旬的榕树小青果大量脱落。

3 讨论

从多年研究聚果榕小蜂的传粉行为过程中发现,该蜂的求偶行为、采集花粉行为、传粉行为和

表 1 不同月份聚果榕一果中种子、瘿花、空瘿雌花的比例
Table 1 The proportion of different types of flowers in different months

月份 (month)	榕果数/个 (number of fruit)	雌花总数/粒 (female flower)	瘿花数 (gall flower)		空瘿雌花数 (failed female flowers)		发育成种子数 (seeds)	
			粒 (number)	%	粒 (number)	%	粒 (number)	%
3~5	180	5 304.5	1 775.6	33.4	1 373.3	25.9	2 155.6	40.6
6~8	191	7 059.5	2 604.5	36.9	1 346.8	19.1	3 108.2	44.0
9~11	185	7 202.0	2 390.4	33.2	1 607.1	22.3	3 204.5	44.5
12~2	150	6 185.2	1 283.2	20.7	2 972.6	48.1	1 929.4	31.2
平均数 (mean)	176.5	6 437.8	2 013.4	31.1	1 825.0	28.9	2 599.4	40.1

1998~2000 年观察结果的平均值 (the data from 1998 - 2000)。

生殖行为均与其他多种传粉昆虫不同; 与南美洲、非洲和东南亚等地的有关榕小蜂的传粉行为的报道也有差异, 这与我们研究的类群(不同蜂种、树种)、地区(热带北缘, 具有热带和南亚热带的气候特征)有关。

在榕小蜂的传粉行为学研究中, 有学者认为雌蜂把头伸进榕果雄花序内, 不断地把花粉咀嚼吞入口内花粉囊中, 然后飞到嫩隐头花果内, 再从口中把花粉反刍出来(Murray, 1989)。但西双版纳的聚果榕小蜂口中无该器官, 也不会把花粉咀嚼吞入胃中。该蜂主要是用3对足采集花粉, 虽然也用口收集少量花粉, 但很快又用前足把花粉送到触角柄节顶端凹陷处的毛丛中保存, 未见触角柄节有凹陷结构可储藏花粉。所以聚果榕小蜂的一些传粉特性与前人研究的结果有出入。

在榕小蜂羽化与交配行为方面, 有学者观察到, 雌蜂自行咬破瘿花口羽化并与雄蜂交配(Bronstein & McKey, 1989)。而我们从10多种榕小蜂中经过5年多的观察发现, 所有雌蜂的瘿花出蜂口均是由雄蜂代替咬破的; 而且雌雄交配都是雌蜂在瘿花内, 雄蜂在瘿花外, 把雄性生殖器从它咬破的出蜂口伸入瘿花内与雌蜂完成交配; 偶有个别雄性榕小蜂交配时由于在果腔内受其他雄性同伴的干扰, 而把雌蜂也拖出瘿花, 但一出瘿花就终止交配。一

直未发现雌蜂自己咬破瘿花的现象; 并且每一果内都会有一定数量的雌蜂由于没有雄蜂咬破瘿花, 而死在瘿花内的现象。

Herre (1989), Bronstein & McKey (1989) 的报道认为, 冬季榕树极少开花结果, 有时候榕小蜂遇不到要授粉的隐头花果, 从而限制了榕小蜂的传粉和繁殖功能。但在西双版纳热带雨林并非如此, 全年均可看到聚果榕隐头花果, 而且在无人砍伐和破坏的自然林中, 聚果榕树均会在一定范围内形成一个组群(每个组群少则3~5株, 多则8~20株, 株间距离50~100 m不等, 很少例外)。当一个组群内1~2株榕树果实成熟、繁殖性雌蜂快羽化出果时, 在不远处也正好有1~2株正需要授粉的嫩榕果长出, 12~2月也不例外。所不相同的仅是由于气候干燥, 榕果比6~8月小一点而已。说明聚果榕与它的传粉榕小蜂已经形成了高度的协同进化关系。目前西双版纳的热带雨林正在消失, 聚果榕小群落也随着雨林的破坏而消亡; 部分地区仅留下远距离的单株, 致使榕果得不到榕小蜂的传粉, 挂果不久就纷纷落果, 使这些远距离的单株榕树失去了有性繁殖功能, 聚果榕和聚果榕小蜂两个特殊种群逐年减少。因此, 如果热带雨林的关键物种消失, 热带雨林原有生态系统的功能也将丧失。这是应该引起人们高度重视的问题。

参 考 文 献

- Bronstein J L, McKey D, 1989. The fig/pollinator mutualism: A model system for comparative biology[J]. *Experientia*, **45**:601 - 611.
- Galil J, Zeroni M, Bar Shalom D, 1973. Carbon dioxide and ethylene effects in the coordination between the pollinator *Blastophaga quadraticeps* and the syconium in *Ficus religiosa* [J]. *New Phytol.*, **72**:1113 - 1127.
- Galil J, Eisikowitch D, 1986. On the pollination ecology of *Ficus religiosa* in Israel[J]. *Phytomorphology*, **18**:356 - 363.
- Herre E A, 1989. Coevolution of reproductive characteristics in 12 species of New World figs and their pollinator wasps[J]. *Experientia*, **45**:637 - 647.
- Janzen D H, 1979. How many parents do the wasps from a fig have[J]. *Biotropica*, **11**:127 - 129.
- Murray M G, 1989. Environment constraints on fighting in flightless male fig wasps[J]. *Anim. Behav.*, **38**:186 - 193.
- Wiebes J T, 1976. A short history of fig wasp research[J]. *Gard. Bull. Straits Settlement*, **29**:207 - 236.
- Wiebes J T, 1979. Co-evolution of figs and their insect pollinators[J]. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **10**:1 - 12.
- Wiebes J T, 1994. Agaonidae (Hymenoptera, Chalcidoidea) and *Ficus* (Moraceae): fig wasps and their figs, (conclusion-old World) [A]. Proceeding of the Koninklijke Nederlandse Akademische van Wetenschappen Biological Chemical Geological Physical and Medical Sciences[C]. **97**(4):491 - 495.
- Wu Z Y, 1980. Vegetation of China[M]. Beijing: Science Press. 363 - 410, 889 - 916. [吴征镒, 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社. 363 ~ 410, 889 ~ 916.]
- Wu Z Y, 1995. Flora Yunnanica[M]. Tomus 6. Beijing: Science Press. 595 - 671. [吴征镒, 1995. 云南植物志(第六卷). 北京: 科学出版社. 595 ~ 671.]
- Xu Z F, 1994. *Ficus* — a keystone plant species in the tropical rainforest ecosystem of south Yunnan[J]. *Chinese Biodiversity*, **2**(1):21 - 23. [许再富, 1994. 榕树——滇南热带雨林生态系统中一类关键植物. 生物多样性, **2**(1):21 - 23.]
- Yang D R, 1999. Advances on coevolution of the figs and fig wasps in China[A]. Research Development of Resource Insects[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 22 - 29. [杨大荣, 1999. 我国对榕小蜂与榕树协同进化的研究进展. 资源昆虫学研究进展. 昆明: 云南科技出版社. 22 ~ 29.]
- Yang D R, Li C D, Yang B, 1997. Studies on animal structure and biodiversity on *Ficus* in the tropical rain of Xishuangbanna, China[J]. *Zoological Research*, **18**(2):189 - 196. [杨大荣, 李朝达, 杨兵, 1997. 西双版纳热带雨林中榕树动物群落结构与多样性研究. 动物学研究, **18**(2):189 ~ 196.]

Yang D R, Li C D, Hang D B *et al*, 1999. The effects of fragmenting of tropical rainforest on the species structure of fig wasps and fig trees, China [J]. *Zoological Research*, **20**(2): 126 - 130. [杨大荣, 李朝达, 韩灯保等, 1999. 热带雨林片断化对榕小蜂和榕树物种的影响. *动物学研究*, **20**(2): 126 ~ 130.]

Yang D R, Wang R W, Song Q S *et al*, 2000. Rule of seasonal changes of the *Ceratosolen* sp. in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China [J]. *Forest Research*, **13**(5): 477 - 484. [杨大荣, 王瑞武, 宋启示等, 2000. 西双版纳热带雨林聚果榕小蜂季节性变化规律. *林业科学研究*, **13**(5): 477 ~ 484.]

Study on Pollination Ecology of Fig Wasp (*Ceratosolen* sp.) in the Tropical Rainforest of Xishuangbanna , China

YANG Da-Rong ZHAO Ting-Zhou WANG Rui-Wu ZHANG Guang-Ming SONG Qi-Shi

(Kunming Section , Xishuangbanna Tropical Botanical Garden , the Chinese Academy of Sciences , Kunming 650223 , China)

(Biology Department , Yunnan University , Kunming 650091 , China)

(Kunming Institute of Zoology , the Chinese Academy of Sciences , Kunming 650223 , China)

Abstract : The *Ficus racemosa* L. (1753) is a key-stone plant species in the tropical rainforest in Xishuangbanna. The fig tree (*Ficus racemosa*) and fig-pollination wasp (*Ceratosolen* sp.) are highly coevolved species that depend completely on mutual benefit for continued reproduction. The main result of this study indicated that the earlier emerged male wasp cut the exit holes both from the gall and fig fruit for the female, which don't have the ability to cut the exit hole for themselves. In *Ficus racemosa* pollen tends not to es-

cape from the anthers after dehiscence until the stamens are disturbed by the fig wasp. The females opened the anthers with the antennal scapes, mandible, leg and collected the pollen. The pollen-bored females fly about 5 - 80 minutes to find the receptive syconia. As soon as a pollinating fig wasp reached the interior of the young fig fruit to be pollinated, it pushed its head among the stigmas for 4 - 9 hours, then oviposited in the short stigmas (gall flowers) of the fig.

Key words : Xishuangbanna ; Tropical rainforest ; *Ficus racemosa* ; *Ceratosolen* sp. ; Pollination ecology