

西双版纳聚果榕隐头果内小蜂群落结构及种间关系

徐 磊, 杨大荣*, 彭艳琼, 王秋艳, 张光明

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘要: 聚果榕 *Ficus racemosa* Linn. 是雌雄同株榕树, 它是西双版纳热带雨林生态系统中的一个常见种群。聚果榕必须依靠聚果榕小蜂 *Ceratosolen fusciceps* Mayr 传粉才能获得有性繁殖, 而聚果榕小蜂又必须依靠聚果榕隐头果内短柱花繁衍后代, 两者间形成了种间专一的互惠共生体系。同时, 在其隐头果内还存在一个复杂的非传粉小蜂功能群, 它们主要是榕树种子和传粉榕小蜂的寄生者。在云南省西双版纳自治州勐腊县勐仑镇选取了 5 个样地, 对聚果榕单果内小蜂群落组成和种间相互关系进行研究。在不同时间段采集聚果榕单果 242 个, 共收集小蜂 366660 头。聚果榕隐头果内有 6 种小蜂, 隶属小蜂总科 Chalcidoidea 中的榕小蜂科 Agaonidae、长尾小蜂科 Calimomidae、金小蜂科 Pteromalidae, 其中榕小蜂科中的 *C. fusciceps* 是聚果榕唯一的传粉者。金小蜂科中的 *Apocrypta westwoodi* Grandi 和 *Apocrypta* sp. 两个种是榕小蜂的寄生者, 它们的寄生是传粉榕小蜂的种群数量减少因素之一。长尾小蜂科中 *Platyneura agrimensis* Joseph, *Platyneura mayri* Rasplus 和 *Platyneura testacea* Motschulsky 3 个种是寄生榕树种子或与榕小蜂争夺食物(瘦花)资源的小蜂类群, 它们的出现与发生, 致使聚果榕正在发育成种子的长柱小花形成瘦花, 同时一部分种类把卵寄生在已被榕小蜂产卵的短柱小花子房中与榕小蜂争夺食物资源, 致使榕小蜂食物资源的匮乏而死亡, 对传粉小蜂种群有明显的负面影响。传粉小蜂从花托口钻入隐头果内, 在隐头果内的长柱小花传粉和短柱小花子房中产卵, 5 种非传粉小蜂从隐头果外部把产卵器刺穿果肉把卵产在小花子房上。通过对 5 块样地隐头果内小蜂群落的综合分析发现, 传粉榕小蜂为优势种群, 而 *Apocrypta* sp. 种的数量最少。在传粉及非传粉小蜂自然群体中各种类型性比明显具有偏雌现象。小蜂群落表现异常的是聚果榕孤立株的样地, 该样地传粉小蜂个体数量明显下降, 非传粉小蜂个体数量则增加, 各小蜂种群之间竞争激烈, 出现 *C. fusciceps* 和 *P. mayri* 两个优势种。

关键词: 聚果榕; 传粉小蜂; 非传粉小蜂; 群落结构; 相互关系

The community structure and the interspecific relationship of the fig wasps in syconia of *Ficus racemosa* L. in Xishuangbanna, China
XU Lei, YANG Da-Rong, PENG Yan-Qiong, WANG Qiu-Yan, ZHANG Guang-Ming

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向基金资助项目(KSCX2-SW-105); 国家自然科学基金资助项目(30170171, 30200220); 云南省应用基础基金资助项目(2001C0063M, 2002C0019Q)

收稿日期: 2002-08-30; **修订日期:** 2003-04-16

作者简介: 徐磊(1980~), 女, 山东淄博人, 主要从事进化生态学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: yangdr@xtbg.ac.cn

本项研究小蜂种类, 由法国的小蜂专家 J. Y. Rasplus 教授在西双版纳工作期间分类鉴定, 在此表示诚挚的感谢

Foundation item: Knowledge Innovation Project of CAS (No. KSCX2-SW-105); the National Natural Science Foundation of China (No. 30170172, No. 30200220) and the Natural Science Foundation of Yunnan Province (No. 2001C0063M, No. 2002C0019Q)

Received date: 2002-08-30; **Accepted date:** 2003-03-30

Biography: XU Lei, main research field: evolutionary ecology. E-mail: ziboxul@sohu.com

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1554~1560

Abstract The fig is considered to be the pre-eminent group of keystone plant resources in the ecosystem of tropical rainforest. Each species of *Ficus* is exclusively pollinated by a unique fig-pollinating wasp to complete its sexual reproduction, and the pollinator only depends on the ovaries of short-styled florets inside host inflorescence to foster its offspring. *Ficus* and their species-specific pollinator wasps (Agaonidae) form a remarkable plant-insect obligate mutualism. Besides fig-pollinating wasp in conspecific syconia, there also exist several functional groups of non-pollinating wasps. They are gall makers that attack syconia from the exterior, gallmakers that enter syconia as do the pollinators, and parasitoids that attack other fig wasp larva. *Ficus racemosa* Linn. is monoecious, which is an important plant owing to their heavy fruit production all year round to support a broad spectrum of vertebrate frugivores during times of food scarcity in the ecosystem of Xishuangbanna tropical rainforest. The study was carried out in the 5 selected sites, located in Mengluntown, Mengla country, Xishuangbanna Autonomous State. Inside single syconium of *F. racemosa*, the composing species were collected and the interspecific relationship were analyzed. The analyzing result showed: 242 sampled figs of single syconium had been collected in different seasons and got 366660 fig wasps. All fig wasps were classified into 6 species. They belonged to Agaonidae, Calimomidae and Pteromalidae of Chalcidoidea respectively, among which only *Ceratosolen fusciceps* Mary of Agaonidae pollinated for *F. racemosa*, *Apocrypta westwoodia* Grandi and *Apocrypta* sp. of Pteromalidae were the parasites of fig-pollinating wasps. They directly ate *C. fusciceps* and when the number of these two species increased, the population of fig-pollinating fig wasps would obviously decrease. The *Platyneura agraeensis* Joseph, *Platyneura mayri* Rasplus and *Platyneura testacea* Motschulsky of Calimomidae were the parasites of fig seeds or the parasites of pollinators. They could result in the ovaries of the long-styled florets, which had been destined to produce seeds, turning into galls. Meanwhile, some might lay eggs into the ovaries of short-styled florets, which had contained the larva of fig-pollinating wasps, thus the pollinators would die for lacking of space and food resources. Several species of non-pollinating fig wasp oviposited from the outside of the figs using a long ovipositor after fig-pollinating fig wasps entered syconium to pollinating and ovipositing. By comparing the community structure of fig wasps, the appearing frequency of fig-pollinating wasps was the highest, its important index reached up to 0.721 (female) and 0.653 (male), while the appearing frequency of *Apocrypta* sp. was the lowest. Even there were no *Apocrypta* sp. in some syconia. All pollinating and non-pollination fig wasps took on female-biased sex ratios. The community character showed abnormalities in the site of a lone tree. The species diversity index and even index were the highest in this site, and both *C. fusciceps* and *P. mayri* were dominant species.

Key words: *Ficus racemosa*; pollinating fig wasps; non-pollinating fig wasps; community structure; correlation

文章编号: 1000-0933(2003)08-1554-07 中图分类号: Q968 文献标识码: A

榕树是荨麻目 Urticales, 桑科 Moraceae, 榕属 *Ficus* 中全部树种的总称, 是热带植物区系中最大的木本属种之一^[1]。我国榕树种类最多的地区是云南省西双版纳, 该地区的榕树种类约占全国已知榕树种数的 69.4%^[2]。在各大热带雨林中, 榕树植物的频度、多度、显著度在所有木本植物中排在前列, 而且是构成热带、南亚热带雨林标志性景观的主要类群。榕属植物大多种类具有较强的生态适应能力, 在热带雨林的恢复更新中具有重要作用^[3]。聚果榕 *Ficus racemosa* Linn. 是榕属 *Ficus*, 聚果榕亚属 *Sycanorus* 中一种高大乔木, 雌雄同株, 同一隐头果内的雌花花柱有长有短, 其中长花柱花被榕小蜂传粉产生种子, 短花柱花作为

榕小蜂的产卵场所,供其繁衍后代。聚果榕一般3~10株集团性生长,种群内四季有挂果,树内结果同步,树间交替进行。全年为雨林中的许多动物提供食源和栖息地,是雨林生态系统食物链中的重要一环^[4,5]。聚果榕还成为一些寄生、附生植物的适宜寄主树。

世界上已知榕树750多种,均由专一的榕小蜂传粉,极少例外。传粉小蜂也只能依靠榕树繁衍后代,两者形成的互惠共生体系是动植物协同进化中的一个典型例子^[6~12]。在榕树隐头果内除传粉榕小蜂外还有一些非传粉小蜂,有的高达30多种,与传粉榕小蜂共同形成一个复杂的小蜂群落^[13,14]。当隐头果内雌花开放时,传粉榕小蜂通过顶生苞片进入果腔传粉和产卵,其他非传粉小蜂则选择在传粉小蜂进果之前或之后到榕果上产卵,大部分是通过长的产卵器从果外壁刺进果腔内进行产卵,其中部分小蜂是瘦花制造者,它们直接将卵产在隐头果内短花柱雌花的子房里,一花一卵,形成瘦花。另一些种类是寄生或重寄生蜂,它们将卵产到传粉小蜂或非传粉小蜂形成的瘦花里或幼虫体内。关于榕树隐头果内小蜂群落的研究,国外West等定量研究了*Idarnes*, *Critogaster*和*Aepocerus*三个属中非传粉小蜂对榕果种子及传粉小蜂繁殖的影响,并在群落水平上讨论了影响不同榕树种类隐头果内非传粉小蜂的丰富度及多样性的因素^[15~17]。对聚果榕亚属隐头果内小蜂的研究,国内外所见报道极少,Kerdelhué等报道了非洲的*Ficus sur*, *F. vallis-choudae*两个种的聚果榕亚属内非传粉小蜂对榕果-传粉小蜂互作体系的影响,并叙述了榕果内各种小蜂的生态学功能^[18]。国内仅杨大荣等和对聚果榕隐头果内小蜂群落结构及传粉生态学作了研究报道^[19,20]。本实验首次对西双版纳热带雨林中聚果榕隐头果内的各种小蜂间的数量关系进行了分析,比较它们对群落结构和功能群的作用及它们之间的相互关系,通过分析各种小蜂间的相互影响而产生的种群数量变动,进而探讨它们之间的影响关系及其在整个群落中的作用。

1 研究样地

1.1 研究地区自然概况

研究样地选在云南省西双版纳州勐腊县勐仑镇境内,海拔560~600m,为低山宽谷型地貌,属于热带季风气候,全年四季不分明,但有明显的干湿季,形成特有的物候和生态节律。样地所在地年均温21.4~22.6℃,年降雨量1556.8mm,且多集中在雨季,相对湿度86%。

1.2 样地概况

根据地理位置、人为干扰程度等因素选择样地,共设5块研究样地。

一号样地位于中国科学院西双版纳热带植物园东门外河边,海拔560m,样地一面为绿石林自然保护区,主要是石灰岩季雨林,另一面为罗梭江。植被覆盖度为85%,人为干扰少。样地内有聚果榕4株,共采果50个。

二号样地位于中国科学院西双版纳热带植物园吊桥西面的竹林,海拔560m。西、北为罗梭江,东南面是竹林,正东为柚子园。为砍伐残存的热带原始林和次生林地,植被覆盖度为75%,人为干扰严重。样地内有聚果榕11株,共采果52个。

三号样地位于云南省西双版纳州勐仑自然保护区小腊公路56.4km处,海拔570~580m。系1958年建立的勐仑自然保护区主体,样地内热带季雨林保护完整,植被覆盖度为90%~95%,人为干扰较少。样地内有聚果榕7株,共采果50个。

四号样地位于西双版纳自治州勐仑镇江边菜地及勐仑镇,海拔560m,一株树长在空旷的菜地中,另一株位于勐仑镇集市中,植被覆盖度为20%,人为干扰严重。两株均为孤立株,共采果50个。

五号样地位于植物园沟谷雨林口河边,海拔550m,聚果榕种群沿罗梭江堤岸分布,周围是残存的次生林及果园。覆盖度为75%,人畜干扰较少。样地内有聚果榕5株,共采果40个。

2 研究材料与方法

2.1 研究材料

2.1.1 研究植物种类 聚果榕 *F. racemosa*, 雌雄同株,为桑科Moraceae,榕属*Ficus*,聚果榕亚属*Subgen. Syconus*的高大乔木,在西双版纳勐仑地区,聚果榕一年结隐头果4~6次。

2.1.2 研究昆虫种类 聚果榕隐头果内的传粉小蜂和非传粉小蜂,隶属小蜂总科Chalcidoidea中的榕小

蜂科 *Agonidae*、长尾小蜂科 *Calimomidae*、金小蜂科 *Pteromalidae*。

2.2 研究方法

2.2.1 方法 聚果榕隐头果快成熟出蜂前, 在每一样地每次采集隐头果样本不少于 10 个, 全年总计每个样地采集样果不少于 40 个。室内用 120 筛目(20cm × 15cm)的绢纱袋单果分装, 并将样果掰开以辅助羽化小蜂出果, 单果隔离系紧袋口, 待瘦花内所有小蜂羽化完成时, 用棉球蘸乙酰乙酯将小蜂熏死, 以防飞走, 然后完整地收集每个果内羽化出来的小蜂, 置于 75% 酒精瓶内保存, 单果保存, 并做好采集记录和标签。在实验室内, 借助 Olympus (SZX12-3141) 体视显微镜和 DP50 (580 万象素) 数码相机, 对收集到的榕小蜂进行分类、形态拍照, 统计各单果内各种小蜂的数量。

2.2.2 数据分析方法 本实验采用以下公式对数据进行统计^[21, 22], 以分析聚果榕隐头果内小蜂的群落结构水平指标。

(1) Shannon-Wiener 多样性指数公式 $H' = - \sum P_i \ln(P_i)$

式中, H' 为多样性指数, P_i 为 i 种的个体比例。

(2) Pielou (1966) 均匀性公式 $E = H' / \ln S$

式中, E 为均匀度, S 为种类数。

(3) Berger-Parker 优势度指数公式 $D = N_{\max} / N_t$

式中, $N_{\max}$ 为优势种的种群数, N_t 为全部物种的种群数量。

(4) 重要值公式 $I.V. = (R.A. + R.F.) / 2$

式中, $I.V.$ 为重要值^[16], $R.A.$ 为相对多度, 即该物种的个体比例, $R.F.$ 为相对频度, 即该物种出现的样果数比例。

3 结果与分析

3.1 各样地聚果榕隐头果内小蜂群落结构

5 个样地共采隐头果 242 个, 每个果内平均有小蜂 1515.1 只, 最高 2681 只/果, 最低 456 只/果; 共计收集小蜂 366660 头, 隶属于小蜂总科 Chalcidoidea 中的 3 科、3 属、6 种: 它们是榕小蜂科 *Agonidae* 中的聚果榕小蜂 *Ceratosolen frsciceps* Mayr, 是聚果榕的唯一传粉者; 金小蜂科 *Pteromalidae* 中的 *Apocrypta westwoodi* Grandi, *Apocrypta* sp., 长尾小蜂科 *Calimomidae* 中的 *Platyneura mayri* Rasplus, *Platyneura testacea* Motschulsky, *Platyneura agraensis* Joseph 后 5 种均为非传粉小蜂(见表 1)。

从表 1 可看出, 在不同样地内隐头果内的小蜂群落构成没有差异, 但各种小蜂个体数量比例有变化。每个样地中传粉榕小蜂均为优势类群, 但在不同生境中所出现的比例不同。在西双版纳热带植物园东门外河边采集的果内传粉小蜂的比例最高, 达 80.45%, 而在勐仑镇江边菜地和勐仑镇上采集的果内传粉榕小蜂个体数比例最低, 只有 42.30%, 说明雨林生态环境破坏后的单株聚果榕不利于传粉榕小蜂的生长与繁衍。5 个样地内 *Apocrypta* 属的个体数量都很少, 其中 *Apocrypta* sp. 在各样地上的数量均最少, 仅占 1% 左右。 *Platyneura* 属种的数量在人为干扰少的样地内出现比例较低, 都在 20% 左右; 而在勐仑镇江边菜地和勐仑镇样地上高达 56.26%, 可见该种类在人为干扰严重的环境中竞争力极强。

3.2 不同样地上聚果榕隐头果内小蜂群落特征

不同生境中 6 种小蜂均存在, 在单果内传粉小蜂总是占主导地位, 只在个别隐头果内缺失 1~2 个非传粉小蜂种类, 因此, 样地间多样性指数、均匀度和优势度总体差异不大, 主要在勐仑镇江边菜地和勐仑镇样地内的孤立树上表现异常, 非传粉小蜂数量增多, 传粉小蜂种群数量急降, 导致 6 种小蜂的个体数量差

表 1 不同样地上隐头果内小蜂群落结构组成(%)
Table 1 The fig wasps communities structure in Syconia of Ficus racemosa in different study sites

小蜂种类 Fig wasp species	1 号 样地 No. 1	2 号 样地 No. 2	3 号 样地 No. 3	4 号 样地 No. 4	5 号 样地 No. 5
<i>Ceratosolen frsciceps</i>	80.45	73.10	79.88	42.30	74.49
<i>Apocrypta westwoodi</i>	1.23	4.95	1.11	4.44	1.63
<i>Apocrypta</i> sp.	0.49	1.57	0.50	0.64	0.59
<i>Platyneura mayri</i>	5.04	7.14	4.63	28.95	6.14
<i>Platyneura testacea</i>	11.23	10.71	11.77	12.93	14.54
<i>Platyneura agraensis</i>	1.55	2.54	2.12	10.74	2.61



异减少,而使群落多样性指数及均匀度最高,而优势度最低,与传粉者争夺资源的 *Platyneura mayri* 种群在该样地中扩大 5 倍多,在隐头果群落中上升为优势种与传粉者并列出现。其他样地内传粉榕小蜂数量均在 73.10%~80.45% 之间,是唯一的优势种。说明热带自然环境遭受破坏后,其它以寄生传粉榕小蜂和与榕小蜂争夺食物资源的种群更利于发展,而对传粉榕小蜂的种群则造成明显的个体数量下降(表 2)。

3 3 聚果榕隐头果内各种小蜂的重要值比较 表 2 不同样地上隐头果内小蜂群落特征比较

在榕果中的小蜂的重要值越大,说明其占领的瘦花数量越多,该种小蜂的个体数量也就越多。由于果内的各种小蜂在群落中的作用、地位各不相同,表现在重要值上也不一样(图 1)。传粉榕小蜂 *C. fusciceps* 雌蜂的重要值最大,说明它在聚果榕果内占用的瘦花数量最多,直接反映 *C. fusciceps* 与聚果榕的密切关系及对寄主种子生产的作用,相对来说传粉雌蜂数量多,对聚果榕传粉的机会就多,小花受精形成种子量也就增加,从而提供了聚果榕的有性繁殖能力;而其雄蜂的重要值仅次于其雌蜂,可见传粉榕小蜂种群在聚果榕隐头果内的小蜂群落中占有重要的地位。其它非传粉小蜂是通过长的产卵器从果外壁把卵产进果腔内, *Platyneura* 属内的 3 个种均为植食性,种群数量上差异不大,但重要值比肉食性的 *Apocrypta* 两个种高, *Apocrypta* sp. 的雄蜂的重要值最小,说明它们所占用的瘦花数也最少,竞争力最弱。所有小蜂的雌蜂的重要值都大于其雄蜂的重要值,出现均一的性比偏雌现象。

Table 2 Comparison of characters of fig wasps communities structure in syconia in different study sites

样地 Study sites	多样性 指数 H Diversity index	均匀 度 E Even index	优势 度 D Dom inance index	优势种 dom inant groups
1 号	0.7165	0.3999	0.1667	<i>Ceratosolen fusciceps</i>
2 号	0.9639	0.5380	0.1667	<i>Ceratosolen fusciceps</i>
3 号	0.7315	0.4083	0.1667	<i>Ceratosolen fusciceps</i>
4 号	1.3974	0.7799	0.3333	<i>Ceratosolen fusciceps</i>
5 号	0.8637	0.4820	0.1667	<i>Platyneura mayri</i> <i>Ceratosolen fusciceps</i>

3. 4 聚果榕隐头果内小蜂群落中各种小蜂间的关系

传粉小蜂 *C. fusciceps* 与非传粉小蜂 *Apocrypta* 和 *Platyneura* 两个属之间有极明显的负相关关系(图 2, 图 3)。

从图 2 和图 3 看,当 *C. fusciceps* 数量多时,这两个属的总个体数明显降低,反之则增加。 *Platyneura* 和 *Apocrypta* 两类非传粉小蜂对 *C. fusciceps* 的作用机制不一样, *Platyneura* 主要靠隐头果内雌花子房的营养发育,是靠与传粉小蜂争夺瘦花资源和破坏已经传粉受精榕树子房生长,是传粉小蜂和榕树的最大破坏者。 *Apocrypta* 是传粉小蜂和 *Platyneura* 类群的寄生者,它的存在直接影响着后两类的种群数量。但由于 *Apocrypta* 类群同时对传粉小蜂和制造瘦花的小蜂为寄生对象,所以对传粉小蜂负面影响没有 *Platyneura* 类群严重。

4 讨论

4 1 聚果榕隐头果内的小蜂群落结构

在聚果榕隐头果内,除了专一性传粉小蜂 *Ceratosolen fusciceps* 外,还有 5 种非传粉小蜂,分别为 *Apocrypta westwoodi*, *Apocrypta* sp., *Platyneura mayri*, *P. testacea*, *P. agraensis*。这 5 种非传粉小蜂属于植食性和肉食性两个类群,均从果外产卵,产生的瘦花与传粉小蜂产生的一般大小,其中 *A. westwoodi*, *Apocrypta* sp. 为寄生蜂或食种子者 *P. mayri*, *P.*

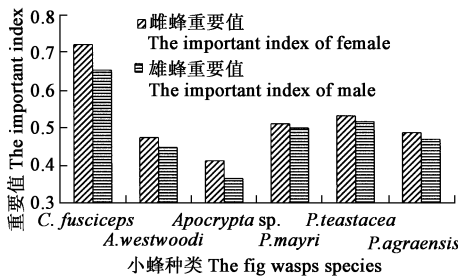


图 1 聚果榕隐头果内各种小蜂的重要值

Fig 1 The important index of the fig wasps in syconia of *Ficus racemosa*

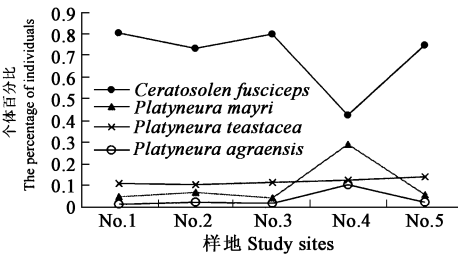


图 2 不同样地上 *Ceratosolen fusciceps* 与 *Platyneura* 属种个体数量关系

Fig 2 The individual quantitative relationship between *Ceratosolen fusciceps* and *Platyneura* in different study sites

testacea, *P. agraensis* 为瘦花制造者, 它们均对传粉小蜂和榕树种群发展产生抑制作用。在聚果榕隐头果内的小蜂群落中, 传粉榕小蜂的个体数量占绝对优势, 其它 5 种非传粉小蜂个体数量相对较少, 有的果内缺少个别种类, 果内缺乏 *Apocrypta* sp. 种类的果量最多, 其次为 *A. westwoodi*; 较寄主种群小, 是寄生类的特点, 只有在寄主种群建立后寄生蜂才建立其种群, 而且不可能完全占领寄主资源, 也说明该属在榕果群落中的竞争力较弱。 *Apocrypta* 的寄生选择明显可见, 更多地选择 *P. latyneura* 类非传粉小蜂寄生, 对 *C. fusciceps* 的种群影响有限, 这样的选择既保证了食源供应, 又留下更多的传粉小蜂去繁殖新的资源。 *P. latyneura* 类与传粉小蜂竞争同一雌花繁殖资源, 对传粉小蜂种群影响最大, 与传粉小蜂同时产卵的非传粉小蜂, 会对传粉小蜂产卵或传粉产生排斥竞争, 而在其后产卵的非传粉小蜂主要是利用余下的小花资源, 但其幼虫的发育往往消耗掉榕树积累的光合产物, 也常导致一些传粉小蜂空间上被排挤和营养不良而不能完成生活史周期。

4.2 聚果榕隐头果内小蜂群落与生境的关系

聚果榕亚属 *Subgen. Syconorus* 主要分布在非洲和中国及东南亚一带, 但两地的生态环境条件完全不一样, 在非洲的研究报道主要是分布在干旱草原的中等乔木类群 *Ficus sur* 和 *F. vallis-choudae* 种类, 非传粉小蜂有 2 种紧跟随传粉小蜂进果腔内产卵^[10~12, 16]; 而在我国的西双版纳热带地区聚果榕 *F. racemosa* 主要分布在沟谷及河流边, 环境潮湿, 一年一株聚果榕挂果 4~6 次, 5 种非传粉小蜂全部在果表面把产卵器插入果壁产卵繁殖后代。通过分析不同生境中聚果榕的小蜂群落特点, 明显可以看出, 生境上的差异对小蜂群落组成种类差异不大, 但对不同种类的个体数量影响很大; 表现较为明显的是孤立的聚果榕树上小蜂群落比例, 传粉的榕小蜂个体数量显著下降, 比集团性分布(在较近距离内 5~10 株集团分布)的个体数下降高达 52.58%, 而其他非传粉小蜂数量则增加。反映了在单株聚果榕的环境中, 各类小蜂之间的竞争更激烈, 该环境更适应非传粉小蜂生长, 而不利于传粉小蜂的种群发展。从而, 也说明了热带雨林生态环境的破坏, 聚果榕孤立株增加, 传粉榕小蜂数量下降, 会导致榕树不能获得较好的传粉, 致使大量雌花不能受精而败育, 最终导致榕树有性繁殖下降, 减少榕树数量; 同时又导致了传粉榕小蜂后代找不到较多的聚果榕隐头果传粉和繁殖而种群逐渐消亡, 由于榕树缺少了传粉榕小蜂, 形不成种子, 也逐渐导致榕树种群灭亡的恶性循环之中; 所以尽快加强保护和恢复热带雨林生态环境, 是对榕树和传粉榕小蜂群落保持良性循环的关键。

References

- [1] Wu Z Y. Flora Yunnanica, Tomus 6 Beijing: Science Press, 1995 595~671.
- [2] Xu Z F. *Ficus*—a keystone plant species in the tropical rainforest ecosystem of south Yunnan. *Biodiversity Science*, 1994, 2(1): 21~23
- [3] Zhao T Z, Yang D R, Xu J H. The role and comprehensive value of fig trees in tropical rainforest of Xishuangbanna. *Forest Research*, 2001, 14 (4): 441~445
- [4] Yang D R, Li C D, Yang B. Studies on animal structure and biodiversity on *Ficus* in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Zoological Research*, 1997, 18(2): 189~196
- [5] Yang D R, Peng Y Q, Song Q S, et al. Pollination biology of *Ficus hispida* in the tropical rainforests of Xishuangbanna, China. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44 (5): 519~526
- [6] Yang D R, Peng Y Q, Zhang G M, et al. Relationship between population variation of fig trees and environment in the tropical rainforests of Xishuangbanna. *Environmental Science*, 2002, 23(5): 29~35

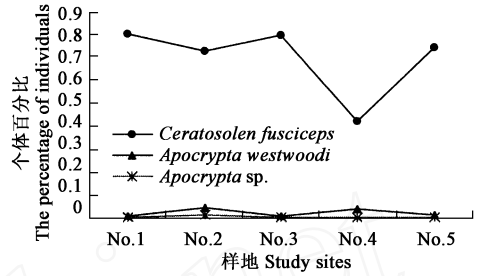


图3 不同样地上 *Ceratosolen fusciceps* 与 *Apocrypta* 属种个体数量关系

Fig. 3 The individual quantitative relationship between *Ceratosolen fusciceps* and *Apocrypta* in different study sites

- [7] Ramirez B W. Host specificity of fig wasp (Agaonidae). *Evolution*, 1970, **24**: 680~ 691.
- [8] Anstett M C, M Hossaert-McKey, and F Kjellberg. Figs and fig pollinators: evolutionary conflicts in a coevolved mutualism. *Trends in Ecology and Evolution*, 1997, **12**(3): 94~ 99.
- [9] Compton S G, van Noort S. Southern African fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea): resource utilization and host relations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1992, **95**: 423~ 435.
- [10] Ma W L, Chen Y, Li H Q. A summarize of the study on fig trees and its pollinators. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(2): 209~ 215.
- [11] Kerdelhué C, M E Hochberg, and J Y Rasplus. Active pollination of *Ficus sur* by two sympatric fig wasp species in West Africa. *Biotropica*, 1997, **29**(1): 69~ 75.
- [12] Rasplus J Y. The one-to-one specificity of the *Ficus*-Agaoninae mutualism: how casual? In: L J G van der Maesen, X M van der Burgt, J M van Medenbach de Rooy eds. *The Biodiversity of African Plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 639~ 649.
- [13] Kerdelhue C, and J Y Rasplus. Non-pollinating afro-tropical fig wasps affect the fig-pollinator mutualism. *Oikos*, 1996, **77**(1): 163~ 166.
- [14] Kerdelhué C, and J Y Rasplus. Non-pollinating afro-tropical fig wasps affect the fig-pollinator mutualism in *Ficus* within the subgenus *Sycomorus*. *Oikos*, 1996, **75**: 3~ 14.
- [15] West S A, Herre E A, Windsor D M, et al. The ecology and evolution of the New World non-pollinating fig wasp communities. *Journal of Biogeography*, 1996, **23**: 447~ 458.
- [16] Weibes G D, Yu D W, West S A. Pollination and parasitism in functionally dioecious figs. *Proceedings of the Royal Society London Series B*, 2001, **268**: 651~ 659.
- [17] Bronstein J L. The non-pollinating wasp fauna of *Ficus pertusa*: exploitation of a mutualism? *Oikos*, 1991, **61**: 175~ 186.
- [18] Kerdelhué C, J P Rossi, and J Y Rasplus. Comparative community ecology studies on old world figs and fig wasps. *Ecology*, 2000, **81**(10): 2832~ 2849.
- [19] Yang D R, Wang R W, Song Q S, et al. Rule of seasonal changes of the *Ceratosolen* sp. in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Forest Research*, 2000, **13**(5): 477~ 484.
- [20] Yang D R, Zhao T Z, Wang R W, et al. Study on pollination ecology of fig wasp (*Ceratosolen* sp.) in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Ecological Research*, 2001, **20**(2): 125~ 130.
- [21] Sun R Y, Li B, Zhu G Y, et al. *General Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1992. 52~ 195.
- [22] Cornell H V, and J H Lawton. Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: theoretical perspective. *Journal of Animal Ecology*, 1992, **61**: 1~ 12.

参考文献

- [1] 吴征镒主编. 云南植物志, 第六卷. 北京: 科学出版社, 1995, 595~ 671.
- [2] 许再富. 榕树——滇南热带雨林生态系统中一类关键植物. 生物多样性, 1994, **2**(1): 21~ 23.
- [3] 赵庭周, 杨大荣, 许继宏. 榕树在热带雨林中的地位和综合利用价值. 林业科学研究, 2001, **14**(4): 441~ 445.
- [4] 杨大荣, 李朝达, 杨兵. 西双版纳热带雨林榕树动物群落结构与多样性研究. 动物学研究, 1997, **18**(2): 189~ 196.
- [5] 杨大荣, 彭艳琼, 张光明, 等. 西双版纳热带雨林榕树种群变化与环境的关系. 环境科学, 2002, **23**(5): 29~ 35.
- [6] 马炜梁, 陈勇, 李宏庆. 榕树及其传粉者研究综述. 生态学报, 1997, **17**(2): 209~ 215.
- [7] 杨大荣, 王瑞武, 宋启示, 等. 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, 2000, **13**(5): 477~ 484.
- [8] 杨大荣, 赵庭周, 王瑞武, 等. 西双版纳热带雨林聚果榕小蜂传粉生态学. 动物学研究, 2001, **22**(2): 125~ 130.
- [9] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 等. 普通生态学. 北京: 高等教育出版社, 1992, 52~ 195.