

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

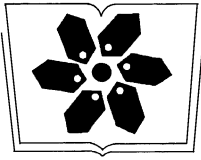
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 5 期      2012 年 3 月 (半月刊)

## 目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征 .....	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应 .....	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响 .....	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例 .....	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化 .....	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析 .....	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征 .....	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性 .....	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响 .....	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响 .....	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性 .....	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征 .....	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究 .....	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数 .....	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性 .....	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响 .....	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响 .....	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征 .....	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度 .....	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析 .....	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素 .....	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究 .....	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响 .....	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力 .....	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法 .....	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹 .....	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例 .....	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例 .....	邓晓红, 徐中民 (1587)
<b>专论与综述</b>	
台风对森林的影响 .....	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展 .....	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展 .....	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义 .....	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展 .....	黎慧娟, 彭静静 (1633)
<b>问题讨论</b>	
锡林郭勒盟生态脆弱性 .....	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
<b>研究简报</b>	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布 .....	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



**封面图说:** 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101140076

吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 刘亮. 福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性. 生态学报, 2012, 32(5): 1436-1441.

Wu W S, Chen Y L, Cai M M, Liu L. Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1436-1441.

## 福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性

吴文珊, 陈友铃\*, 蔡美满, 刘 亮

(福建师范大学生命科学学院, 福州 350108)

**摘要:**对福州 2 个样地 10 株大叶榕果内小蜂群落组成和物种多样性进行研究。全年在两个样地 267 个隐头果内共收集到小蜂 13458 只。发现大叶榕隐头果内有 7 种小蜂, 隶属小蜂总科 Chalcidoidea 中的榕小蜂科 Agaonidae、金小蜂科 Pteromalidae 的隐针榕小蜂亚科 Epichrysomallinae、锥尾榕小蜂亚科 Otitesellinae 和延腹榕小蜂亚科 Sycoryctinae; 广肩小蜂科 Eurytomidae、刻腹小蜂科 Ormyridae、姬小蜂科 Eulophidae, 其中榕小蜂科的 *Platyscapa coronata* 是大叶榕唯一的传粉者, 传粉方式为主动传粉; 非传粉榕小蜂的雄性多型现象普遍。传粉与非传粉小蜂的性比明显具有偏雌现象。传粉小蜂性比为  $0.19 \pm 0.07$ , 非传粉小蜂中 *Camarothorax bismasculus* 小蜂性比为  $0.36 \pm 0.10$ ; *Walkerella* sp. 小蜂性比为  $0.36 \pm 0.22$ , *Sycoscapter* sp. 小蜂性比为  $0.31 \pm 0.22$ , *Sycophila* sp. 小蜂性比为  $0.35 \pm 0.13$ 。雄性多型现象可能是导致非传粉小蜂性比提高的原因之一。根据各种榕小蜂发生数量及连续性, 可将大叶榕隐头果中的榕小蜂分为常见种和偶见种, *Platyscapa coronata*、*Camarothorax bismasculus*、*Walkerella* sp.、*Sycoscapter* sp. 和 *Sycophila* sp. 为常见种, *Omyrus* sp. 和 *Aprostocetus* sp. 为偶见种。偶见种的存在对常见种的数量几乎没有影响, 偶见种利用的是榕果内未饱和的一部分资源, 也可能是榕果为偶见种的发生预留了空间和资源。首次发现姬小蜂科的昆虫寄生在榕果内, 且有一定的种群数量, 为姬小蜂科昆虫分类及其生物学、生态学特性研究提供了基础资料。在大叶榕小蜂群落结构中, 传粉小蜂和非传粉小蜂的种类和数量呈现明显的季节性。冬—春季(12—翌年 5 月)榕果内小蜂的种类和数量较多, 传粉榕小蜂是优势种, 其重要值达到 0.42, 榕果种子结实率高; 夏—秋季(6—11 月间)小蜂种类和数量略少, *Camarothorax bismasculus* 和 *Sycophila* sp. 是优势种, 其重要值分别为 0.56 和 0.28, 而传粉小蜂的重要值仅为 0.025, 此期大叶榕榕果中几乎找不到传粉小蜂, 榕果结实率极低, 对大叶榕的繁殖利益有较大的负面影响。雨水和高温等不良气候, 可能是导致夏—秋季雄花期榕果内的传粉小蜂数量骤减的主要原因。两个实验样地的小蜂群落结构组成没有明显差异, 年变化趋势相似。研究结果为城市绿化和热带雨林生物多样性保护提供科学依据。

**关键词:**大叶榕; 群落结构; 多样性; 性比; 重要值

### Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou

WU Wenshan, CHEN Youling\*, CAI Meiman, LIU Liang

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

**Abstract:** *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* is a common monoecious landscape trees in Fuzhou. In this study, the structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *F. virens* Ait. var. *sublanceolata* were investigated based on 10 plants at two selected sites in Cangshan and Minhou town of Fuzhou. A total of 13458 fig wasps were collected from 267 syconia in different seasons. Seven fig wasp species were found, which belonged to Agaonidae, Epichrysomallinae, Otitesellinae, Sycoryctinae, Eurytomidae, Ormyridae and Eulophidae of Chalcidoidea, respectively. Among them, only

**基金项目:**福建省科技厅重点项目(2011N0014);福建省自然科学基金资助项目(2010J01141);福建省教育厅科技项目(JA10070);福建师范大学生物学国家级实验教学示范中心学生创新性研究项目(20111s026)

收稿日期:2011-01-14; 修订日期:2011-08-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenyouling2000@126.com

*Platyscapa coronata* of Agaonidae served as a pollinating agent for *F. virens* Ait. var. *sublanceolata* through a way of active pollination. Male polymorphism was common in the non-pollinating fig wasps. Both pollinating and non-pollinating fig wasps showed female-biased sex ratios. The sex ratio of pollinating fig wasps was  $0.19 \pm 0.07$ , and the sex ratios of non-pollinating fig wasps *Camarothorax bismasculus*, *Walkerella* sp., *Sycosapter* sp. and *Sycophila* sp. were  $0.36 \pm 0.10$ ,  $0.36 \pm 0.22$ ,  $0.31 \pm 0.22$  and  $0.35 \pm 0.13$ , respectively. Male polymorphism may be one of the reasons for the increase of sex ratio in the non-pollinating wasps. According to the number and continuity of occurrence, fig wasps could be classified into common species and occasional species. *Platyscapa coronata*, *Camarothorax bismasculus*, *Walkerella* sp., *Sycosapter* sp. and *Sycophila* sp. were common species, while *Omyrus* sp. and *Aprostocetus* sp. were occasional species. The presence of occasional species had little effect on the number of common species. Occasional species might use the unsaturated part of the resources in the fig fruit. It might also be that the fig fruit reserved space and resources for the occurrence of the occasional species. It was the first time that a certain number of Eulophidae parasitic insects were found in fig fruits. This provides the basic data for the taxonomy and the research of biological and ecological characteristics of Eulophidae insect.

The wasp community composition and structure differed greatly across seasons. In winter and spring (from December to May of next year), there were more species and higher numbers of fig wasps inside syconia, among which pollinating fig wasps were the dominant species with an importance index up to 0.42. This resulted in a high setting rate of fig seeds. In summer and autumn (from June to November), there were fewer species and lower numbers of fig wasps inside syconia, among which *Camarothorax bismasculus* and *Sycophila* sp. were dominant species with importance indexes up to 0.56 and 0.28, respectively, whereas the importance indexes of pollinating wasps was only 0.025. During this period, it was difficult to find pollinating wasps in the fig. Therefore, the setting rate of fig seeds was lower. The large proportion of non-pollinating had a great negative impact on the reproduction of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata*. Rain and high temperature might be the main causes of the dramatic decrease of the number of pollinating fig wasps inside syconia during the summer and autumn seasons. There were no significant differences in community structure and its annual change between the two sites. The results of this study provide a scientific basis for the urban greening and biodiversity conservation in tropical rain forests.

**Key Words:** *Ficus virens* var. *sublanceolata*; community structure; diversity; sex ratio; importance index

大叶榕 (*Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner) 又名黄葛树、黄桷树, 为桑科榕属落叶大乔木, 雌雄同株, 主要分布于我国的华南和西南地区, 尤以重庆、四川、湖北等地最多, 在国外分布于斯里兰卡、越南、台湾岛、菲律宾、泰国、缅甸、印度、印度尼西亚、马来西亚、不丹、巴布亚新几内亚等地<sup>[1]</sup>。大叶榕喜光、耐旱、耐瘠薄、有气生根、适应能力强, 是福州地区绿化和观赏的主要树种, 常年挂果, 每年的 1—2 月和 6—7 月有 2 个明显的花序芽萌发高峰期, 单株每年结果 1—3 次。大叶榕隐头果内除了共生的传粉小蜂外, 还有大量的非传粉小蜂, 它们中有的造瘿者、有的是寄生者、复寄生者及寄居性小蜂, 彼此之间的关系复杂多样, 是研究隐头果内小蜂群落结构和多样性的一个很好的模型, 但相关研究在国内外均未见有报道, 只有陈勇曾报道了大叶榕的原变种雀榕 (*Ficus virens*) 与其传粉小蜂的共生关系, 以及二者在共生体系中的繁殖利益<sup>[2-3]</sup>。本课题组在 2009 年 3 月—2010 年 2 月间, 采集了 2 个样地 10 株大叶榕全年所有批次的隐头果, 对大叶榕隐头果内的小蜂群落结构及其多样性进行调查, 以期对榕-蜂协同共生研究提供基础资料, 为城市绿化和热带雨林生物多样性保护提供科学依据。

## 1 研究样地概况

样地 A 位于福建省福州市闽侯县旗山乡旗山公园 (119°12'E, 26°02'N); 样地 B 位于福州市仓山区上山大道 (119°18'E, 26°02'N)。两样地气候条件相似, 即全年冬短夏长, 温暖湿润, 无霜期达 326 d, 年平均日照数为 1700—1980h。年平均降水量为 900—2100 mm。年平均气温为 16—20℃, 最冷月 1—2 月, 平均气温达



6—10 ℃。最热月 7—8 月,平均气温为 24—29 ℃,年相对湿度约 77%。

## 2 研究方法

### 2.1 隐头果内小蜂群落调查

2009 年 3 月至 2010 年 2 月间,对样地 A 中的 4 株大叶榕(树龄约 10a,编号为 A1—A4)和 B 样地中的 6 株大叶榕(树龄约 20a,编号为 B1—B6)进行每周 1 次观察,记录其花序生育状况。在大叶榕的隐头果颜色变黄并且果壁开始变软、果内小蜂即将羽化出蜂前,用 120 筛目(20 cm×15 cm)的绢纱网袋对雄花期的榕果进行活体单果套袋(去除同枝条上非雄花期的榕果),每株套袋 30 个果(套袋后的榕果若在小蜂全部出飞前掉落,则不进行数据统计,表 1)。等榕小蜂开始自然羽化出飞后,每天傍晚换袋 1 次,收集网袋内的小蜂。待小蜂全部羽化出飞后,将枝上的榕果取下带回实验室,剖开榕果,收集榕果内(包括瘦花子房内)小蜂。在实验室内,借助 Olympus(SZX12-3141)体视显微镜,对收集到的榕小蜂进行分类、鉴定,统计单果内各种小蜂的数量,并将小蜂置于 75% 的酒精内保存。

表 1 实验样株与单果收蜂数量

Table 1 Individual and the number of fruits

年 Year 月 Month	2009									2010	
	3	4	5	6	7	8	9	11	12	1	2
单果数 Fruits number	20	20	28	12	32	16	60	40	12	8	20
样株 Individual	A1, A3	A2, B5	A4, B1	B2	A3, B3	A1	A2, A4, B1	A1, B4	B5	B3	B4, B6

### 2.2 数据分析

采用物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和重要值分析大叶榕隐头果内小蜂的群落结构<sup>[4-5]</sup>。

(1) Margalef<sup>[6]</sup> 丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln N$$

(2) Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = - \sum P_i \ln P_i, \text{ 式中 } P_i = N_i / N$$

(3) Pielou 均匀度指数

$$J = H / \ln S$$

(4) 重要值公式

$$I. V. = (R. A. + R. F. ) / 2$$

式中,  $N_i$  为  $I$  物种的个体数量,  $N$  为样株所有物种个体数量总和,  $S$  为样地中小蜂的总种数,  $R. A.$  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。群落中各种小蜂的性比由雄蜂数量占整个种群数量的比例来表示<sup>[7]</sup>, 为保证数据的有效性, 将性比大于 0.5 的榕果数据删除<sup>[8-9]</sup>。所有计算分析都采用 SPSS 16.0 软件。

## 3 结果

### 3.1 小蜂群落结构特征

在全年两个样地 10 株大叶榕植株上, 共收集到了 19 批次共计 267 个隐头果(单果收蜂)内的 13458 只小蜂, 隶属于小蜂总科中的 7 个科(亚科)的 7 个种(表 2)。单个隐头果内寄生的小蜂种类 2—7 种, 变幅较大, 单果内平均小蜂 50 只左右, 最多 149 只/果, 最少 11 只/果。两样地中, 除了 10 月份没收到榕小蜂外, 其余月份均有小蜂活动。大叶榕榕果内的传粉小蜂为 *Platyscapa coronata*。大叶榕非传粉小蜂的雄性多型现象普遍。*C. bimaculinus* 小蜂的雄蜂有具翅和不具翅两种类型。有翅型雄蜂与雌蜂外形较相似, 复眼发达, 具翅两对, 能够在榕果外与雌虫交配; 无翅型雄蜂与雌蜂外形差异较大, 体型较小, 复眼退化, 无翅, 只能在榕果内与雌虫交配, 存活寿命比有翅型雄蜂短。*Walkerella* 的成熟雌虫虽均无翅, 但从表型特征上可分为 3 类: 第 1 类体型微小, 且上颚不发达, 善于在花间穿越寻找雌虫并与其交配; 第 2 类上颚粗短, 善于在瘦花子房上咬出小孔让雌蜂出瘦以便与期交配; 第 3 类体型较大, 上颚细长, 能为争夺雌蜂进行格斗。雄性榕小蜂的这种多型性可能是由于生活环境的特殊性和不同的生殖策略引起的。不同物种的雄虫因为有不同的生殖策略会表现出不同

的形态特征和生物学特征,而同一物种的雄性,也可能会因为分化出不同的生殖策略而表现出两种或更多的表型特征。

表 2 大叶榕隐头果内榕小蜂年发生规律

Table 2 Distribution of fig wasps on *F. virens* Ait. var. *sublanceolata* in a year

科/亚科 Family/Sub-family	榕小蜂种类 Fig wasp species	月份 Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	
Agaonidae/Agaoninae	<i>Platyscapa coronata</i>	565	1396	980	1096	892	43	17	0	0	0	866	
Pteromalida/Epichrysomallinae	<i>Camarothorax bismasculus</i>	72	204	228	225	204	247	414	350	1904	787	68	
Pteromalidae/Otitesellinae	<i>Walkerella</i> sp.	120	150	36	79	52	20	4	24	34	0	170	
Pteromalidae/Sycoryctinae	<i>Sycoscapter</i> sp.	156	195	80	32	85	24	110	0	97	0	176	
Eurytomidae/Eurytominae	<i>Sycophila</i> sp.	150	40	48	68	76	71	115	102	89	230	68	
Eulophidae	<i>Aprostocetus</i> sp.	23	24	4	51	9	4	2	0	2	0	42	
Ormyridae	<i>Ormyrus</i> sp.	31	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	

在大叶榕小蜂群落结构中,传粉小蜂和非传粉小蜂的种类和数量呈现明显的季节性。冬—春季(12—5月)榕果内小蜂的种类和数量较多,传粉小蜂占优势(在样地 A 和样地 B 中分别占 70.91% 和 63.65%),榕果种子结实率高;夏—秋季(6—11月)小蜂种类和数量少,*Camarothorax bismasculus* 小蜂和 *Sycophila* sp. 小蜂占优势,前者在样地 A 和样地 B 的小蜂群落结构中分别占 81.75% 和 72.50%,后者分别占 9.38% 和 21.11%,此期的榕果结实率极低。两个样地中,榕果内的小蜂群落结构组成没有明显差异,年变化趋势相似(表 3)。传粉小蜂在夏秋季数量锐减,以及非传粉小蜂的大量存在,对大叶榕的繁殖利益有较大的负面影响。

表 3 小蜂群落中各类小蜂比例/%

Table 3 Percentage of different wasp in fig wasp communities

小蜂种类 Fig wasp species	样地 A(Study site A)		样地 B(Study site B)	
	12—5 月 Month	6—11 月 Month	12—5 月 Month	6—11 月 Month
<i>Platyscapa coronata</i>	70.91	0.51	63.65	3.06
<i>Camarothorax bismasculus</i>	15.49	81.75	9.38	72.50
<i>Walkerella</i> sp.	2.93	1.90	8.41	1.39
<i>Sycoscapter</i> sp.	4.82	6.34	10.47	1.67
<i>Sycophila</i> sp.	3.96	9.38	5.78	21.11
<i>Aprostocetus</i> sp.	1.89	0.13	1.67	0.28
<i>Ormyrus</i> sp.	0	0	0.64	0

从表 4 可以看出 A、B 样地的多样性指数、均匀度指数、丰富度指数没有显著差异。可能是由于 A 样地虽然样株数量少,树龄短,但植被覆盖度,人为干扰相对较少,可以给小蜂提供适宜繁殖环境,而 B 样地地处闹市街道,但样株树龄长,数量多,小蜂群落结构的稳定性较高的缘故。

表 4 不同样地大叶榕隐头果内小蜂群落的多样性指标比较

Table 4 Species diversity index of fig wasp community in the syconia of *F. virens* Ait. var. *sublanceolata* in different study sites

样地 Study site	多样性指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Pielou evenness index	丰富度指数 Abundance
A	0.71±0.25	0.19±0.33	0.75±0.05
B	0.90±0.34	0.23±0.38	0.77±0.05
P	0.36	0.28	0.91

$P > 0.05$  表示 A、B 两个样地差异不显著

### 3.2 小蜂性比

统计 267 个单果中小蜂的性比,并结合平时大量剖果即,共详细统计了 1500 多个隐头果,选择统计量不

少于 200 个果的 5 种榕小蜂检测其性比,而其他 2 种非传粉小蜂数量少,检测其性比进行统计,结果显示传粉小蜂性比为  $0.19 \pm 0.07$ ,呈现出明显的偏雌性,这与其他种类的传粉榕小蜂性比类似。非传粉小蜂中 *Camarothorax bismasculus* 小蜂性比为  $0.36 \pm 0.10$ ; *Walkerella* sp. 小蜂性比为  $0.36 \pm 0.22$ , *Sycoscapter* sp. 小蜂性比为  $0.31 \pm 0.22$ , *Sycophila* sp. 小蜂性比为  $0.35 \pm 0.13$ ,呈现出略偏雌性。Fellowes 等人研究了 44 种非传粉榕小蜂性比,发现具有翅雄虫的非传粉榕小蜂性比较高,具无翅雄虫的非传粉榕小蜂性比较低,而既具有翅雄虫又具无翅雄虫的非传粉榕小蜂性比居中<sup>[10]</sup>。本文中, *Sycoscapter* sp. 和 *Sycophila* sp. 的雄虫具有翅, *Walkerella* sp. 的雄虫无翅,而 *Camarothorax bismasculus* 的雄虫则有的具翅,有的无翅雄虫这些小蜂的性比种类间没有显著差异,非传粉小蜂的雄性多型现象也可能是导致性比提高的原因之一。

### 3.3 小蜂的重要值

在榕果中的小蜂的重要值越大,说明其占领的瘿花数量越多,该种小蜂的个体数量也就越多。由于榕果内各种小蜂在群落中的作用和地位各不相同,表现在重要值上也不一样<sup>[11]</sup>。在 12—5 月中,传粉榕小蜂雌蜂的重要值最大,达到 0.42,表明大叶榕榕果内传粉小蜂所占用的瘿花数量最多(图 1)。传粉雌蜂数量越多,大叶榕的种子产出率也会随之增加,保障了大叶榕的有性繁殖能力。*Camarothorax bismasculus*、*Walkerella* sp.、*Sycoscapter* sp.、*Sycophila* sp. 几种非传粉小蜂的重要值差异不大, *Ormyrus* sp. 的重要值最小,说明其所占用的瘿花数也最少,竞争力最弱。6—11 月份中, *Camarothorax bismasculus* 的重要值最高,达到 0.56,表明其所占用

榕果内的瘿花数量最多,其次是 *Sycophila* sp., 重要值为 0.28(图 1),这一时期传粉榕小蜂的重要值很小,仅为 0.025,表明非传粉小蜂占据了主要的生存空间,导致传粉榕小蜂数目的急剧下降,此期大叶榕榕果中几乎找不到传粉小蜂,从而使大叶榕授粉率和种子产出率极低,不利于大叶榕的繁殖利益。

## 4 讨论

大叶榕榕果中传粉小蜂的发生数量存在明显的季节性,12—5 月传粉榕小蜂 *Platyscapha coronata* 是优势种;6—11 月非传粉榕小蜂 *Camarothorax bismasculus*, *Sycophila* sp. 是优势种。

12—5 月大叶榕榕果发育的间花期平均为  $(67 \pm 12)$  d,由此推算,在 6—11 月内进入雄花期的榕果,其雌花期应在 3—8 月,由于福州地区的 3—5 月为多雨的春季,连绵不断的雨水造成此期出飞的传粉小蜂大量死亡,未能进入雌花期花序产卵,导致雄花期在 6—8 月的榕果内的传粉小蜂数量骤减,当这批数量不多的传粉小蜂从榕果内出飞时又遇夏季高温天气,小蜂寿命缩短,进入雌花期花序产卵的小蜂数量降低,因此雄花期在 9—11 月的榕果内传粉小蜂数量仍然是极低的。由此可见,可能是雨水和高温不良气候使 6—11 月榕果内小蜂群落的组成和结构明显不同于 12—5 月。6—11 月大叶榕榕果发育的间花期平均为  $(43 \pm 7)$  d,可见非传粉小蜂占优势的榕果的间花期大幅缩短,推测榕果内不同种类小蜂的发育期并不一致,但在寄主胁迫下可产生趋同效应,同时,6—11 月福州地区气温较高,可能也是造成小蜂发育时间缩短的原因之一。

榕树隐头果内的非传粉小蜂常见于金小蜂科 Pteromalidae 的 Otitesellinae、Sycoryctinae、Epichrysomallinae、Sycophaginae、Sycoecinae 等亚科、广肩小蜂科 Eurytomidae、刻腹小蜂科 Ormyridae、长尾小蜂科 Torymidae、偶见于跳小蜂科 Encyrtidae、茧蜂科 Braconidae、姬小蜂科 Eulophidae<sup>[12-26]</sup>。根据各种榕小蜂发生数量及连续性,可将大叶榕隐头果中的榕小蜂分为常见种和偶见种,常见种为 *Platyscapha coronata*, *Camarothorax bismasculus*, *Walkerella* sp., *Sycoscapter* sp. 和 *Sycophila* sp., 共 5 种,偶见种包括 *Ormyrus* sp. 和 *Aprostocetus* sp. 种,它们的存在对常见种的数量几乎没有影响,偶见种利用的是榕果内未饱和的一部分资源,也可能是榕果为偶见种的发

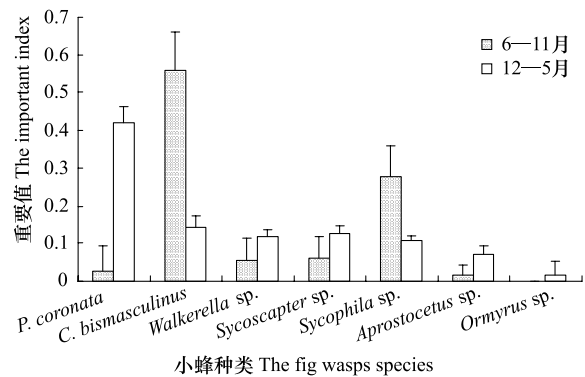


图 1 大叶榕隐头果内不同小蜂的重要值

Fig. 1 The important index of the fig wasps in syconia of *F. virens* Ait. var. *sublanceolata*

生预留了空间和资源。本实验首次发现姬小蜂科的昆虫 *Aprostocetus* sp. 寄生在榕果内,且有一定的种群数量,为姬小蜂科昆虫分类及其生物学、生态学特性研究提供了基础资料和科学依据。

#### References:

- [ 1 ] Zhang X S, Wu Z Y, Cao Z Y. Flora of China. Vol 23, No1. Beijing: Science Press, 1998: 95-97.
- [ 2 ] Chen Y, Li H Q, Ma W L. A study on pollination ecology of *Ficus virens* and its insect pollinators. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10): 1569-1574.
- [ 3 ] Chen Y, Li H Q, Ma W L. Mutualism systems of six fig species (*Ficus* spp.) and their fig wasps in Fujian Province. *Journal of Jishou University: Natural Science Edition*, 2003, 24(1): 20-25.
- [ 4 ] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley, 1975.
- [ 5 ] Sun R Y, Li B, Zhu G Y, Shang W C. *General Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1992: 52-195.
- [ 6 ] Margalef D R. Information theory in ecology. *General Systematics*, 1958, 3: 36-71.
- [ 7 ] West S A, Herre E A. Partial local mate competition and the sex ratio: a study on non-pollinating fig wasps. *Journal of Evolutionary Biology*, 1998, 11(5): 531-548.
- [ 8 ] West S A, Herre E A, Compton S G, Godfray H C J, Cook J M. A comparative study of virginity in fig wasps. *Animal Behaviour*, 1997, 54(2): 437-450.
- [ 9 ] Pereira R A S, do Prado A P. Non-pollinating wasps distort the sex ratio of pollinating fig wasps. *Oikos*, 2005, 110(3): 613-619.
- [ 10 ] Fellowes M D E, Compton S G, Cook J M. Sex allocation and local mate competition in old world non-pollinating fig wasps. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1999, 46(2): 95-102.
- [ 11 ] Xu L, Yang D R, Peng Y Q, Wang Q Y, Zhang G M. The community structure and the interspecific relationship of the fig wasps in syconia of *Ficus racemosa* L. in Xishuangbanna, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1554-1560.
- [ 12 ] Jia X C, Chen Y Z, Zhao N X. A review of *Ficus* and *Agaonidae* classification. *Guihaia*, 2004, 24(5): 407-410.
- [ 13 ] Weiblen G D. How to be a fig wasp. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47: 299-330.
- [ 14 ] Compton S G, Hawkins B A. Determinants of species richness in southern African fig wasp assemblages. *Oecologia*, 1992, 91(1): 68-74.
- [ 15 ] Xu L, Yang D R, Peng Y Q, Wei Z D. *Ficus* and the wasp community within syconia in Xishuangbanna. *Forest Research*, 2005, 18(4): 497-503.
- [ 16 ] Yang D R, Li C D, Yang B. Studies on animal structure and biodiversity on *Ficus* in the tropical rain of Xishuangbanna, China. *Zoological Research*, 1997, 18(2): 189-196.
- [ 17 ] Zhen W Q, Zhu C D, Yang D R, Huang D W. Pollinator fig wasp and fig propagation. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47(1): 99-105.
- [ 18 ] Yang D R, Xu Lei, Peng Y Q, Wei Z D, Duan Z B. Species composition and diversity of fig wasps and figs in Yunnan. *Biodiversity Science*, 2004, 12(6): 611-617.
- [ 19 ] Compton S G, Rasplus J Y, Ware A B. African fig wasp parasitoid communities // Hawkins B, Sheehan W, eds. *Parasitoid Community Ecology*. Oxford: Oxford University Press, 1994: 343-368.
- [ 20 ] Bronstein J L. The non-pollinating wasp fauna of *Ficus pertusa*: exploitation of a mutualism? *Oikos*, 1991, 61(2): 175-186.
- [ 21 ] Kerdelhue C, Rasplus J Y. Non-pollinating a frotropical fig wasps affect the fig-pollinator mutualism in *Ficus* within the subgenus *Sycomorus*. *Oikos*, 1996, 75(1): 3-14.
- [ 22 ] Hawkins B A, Compton S G. African fig wasp communities: undersaturation and latitudinal gradients in species richness. *Journal of Animal Ecology*, 1992, 61(2): 361-372.
- [ 23 ] Cardona W, De Ulloa P C, Kattan G. Non-pollinating fig wasps associated with *Ficus andicola* (Moraceae) in the Central Andes of Colombia. *Revista Colombiana de Entomologia*, 2007, 33(2): 165-170.
- [ 24 ] Xiao J H, Wang N X, Li Y W, Murphy R W, Wan D G, Niu L M, Hu H Y, Fu Y G, Huang D W. Molecular approaches to identify cryptic species and polymorphic species within a complex community of fig wasps. *PLoS ONE*, 2010, 5(11): e15067-e15067.
- [ 25 ] McLeish M J, van Noort S, Tolley K A. African parasitoid fig wasp diversification is a function of *Ficus* species ranges. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, 57(1): 122-134.
- [ 26 ] Astrid C, Roula J Z, Gwenaëlle G, Arnaud C, Peng Y Q, Yang D R, Rosichon U, Santinelo P R A, Finn K, van Noort S, Carole K, Rasplus J Y. Out of Australia and back again: the world-wide historical biogeography of non-fig wasps (Hymenoptera: *Sycophaginae*). *Journal of Biogeography*, 2011, 38(2): 209-225.

#### 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: 95-97.
- [ 2 ] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 雀榕及其传粉昆虫传粉生态研究. *生态学报*, 2001, 21(10): 1569-1574.
- [ 3 ] 陈勇, 李宏庆, 马炜梁. 福建省6种榕树及其传粉小蜂共生体系的比较. *吉首大学学报: 自然科学版*, 2003, 24(1): 20-25.
- [ 5 ] 孙儒泳, 李博, 诸葛阳, 尚玉昌. 普通生态学. 北京: 高等教育出版社, 1992: 52-195.
- [ 11 ] 徐磊, 杨大荣, 王秋艳, 张光明. 西双版纳聚果榕隐头果内小蜂群落结构与种间关系. *生态学报*, 2003, 23(8): 1554-1560.
- [ 12 ] 贾效成, 陈始竹, 赵南先. 榕属与榕小蜂科分类研究进展. *广西植物*, 2004, 24(5): 407-410.
- [ 15 ] 徐磊, 杨大荣, 彭艳琼, 魏作东. 西双版纳榕树及其隐头果内的小蜂群落. *林业科学研究*, 2005, 18(4): 497-503.
- [ 16 ] 杨大荣, 李朝达, 杨兵. 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*, 1997, 18(2): 189-196.
- [ 17 ] 甄文全, 朱朝东, 杨大荣, 黄大卫. 传粉榕小蜂与榕树的繁衍. *昆虫学报*, 2004, 47(1): 99-105.
- [ 18 ] 杨大荣, 徐磊, 彭艳琼, 魏作东, 段柱标. 云南省榕小蜂和榕树的物种组成及多样性. *生物多样性*, 2004, 12(6): 611-617.



# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake ..... CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets .....  
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular  
mycorrhizal fungi ..... YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert  
area ..... CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks .....  
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated  
broadleaved mixed forest ..... LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,  
China ..... XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth .....  
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland .....  
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants .....  
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...  
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats .....  
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature .....  
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River .....  
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves .....  
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission fluxes from double-  
cropping paddy field ..... TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert .....  
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir .....  
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids .....  
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon  
and nitrogen isotope analysis ..... LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ..... ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) .....  
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* .....  
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) .....  
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island .....  
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing ..... WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province .....  
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river  
basin ..... DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests ..... LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems .....  
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species .....  
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters .....  
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms .....  
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China ..... XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica .....  
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

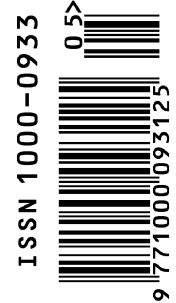
第 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

<b>编 辑</b>	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主 编</b>	冯宗炜	<b>Editor-in-chief</b>	FENG Zong-Wei
<b>主 管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主 办</b>	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出 版</b>	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, China
<b>印 刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发 行</b>	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100071, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
<b>订 购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营 许 可 证</b>	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元