

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

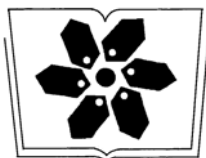
中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

中国生态学会
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33卷第19期

2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201305271204

陈友铃,陈晓倩,吴文珊,王钊,卢冰.笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性.生态学报,2013,33(19):6246-6253.

Chen Y L, Chen X Q, Wu W S, Wang Z, Lu B. Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6246-6253.

笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性

陈友铃,陈晓倩,吴文珊*,王钊,卢冰

(福建师范大学生命科学学院,福建省发育与神经生物学重点实验室,福州 350117)

摘要:笔管榕为桑科榕属落叶乔木,雌雄同株,为福建地区的常见树种。笔管榕榕果内生活着多种榕小蜂,它们与笔管榕共同构成了榕树-榕小蜂共生体系。通过全年(2011年7月至2012年7月间)对福州地区不同样地的30株笔管榕进行的定时、定点、定株观察与采集,在15批次830个榕果中,共收集到50817头榕小蜂。笔管榕榕果内有7种小蜂,隶属于小蜂总科中的6个科(亚科)7个属,其中榕小蜂科的 *Platyscapa ishiiana* 为传粉小蜂,其余6种为非传粉小蜂,分别属于金小蜂科、广肩小蜂科、姬小蜂科及隐针榕小蜂亚科。非传粉小蜂中的 *Philotrypesis* sp.、*Acophila mikii*、*Otitesella ako*、*Sycophila* sp. 和 *Sycobiomorpha* sp. 小蜂几乎在全年的每个月都可采集到,属常见种。*Aprostocetus* sp. 全年仅收集到2头,为偶见种。笔管榕榕果内的榕小蜂种类在不同月份、不同季节没有明显变化,但不同种类榕小蜂的数量变化明显。在笔管榕榕小蜂群落结构中,全年有9个月均是传粉小蜂占优势,但在1月、9月和11月的采集批次中,非传粉小蜂占优势。非传粉小蜂(*Acophila mikii*、*Sycophila* sp.、*Philotrypesis* sp. 和 *Otitesella ako*) 常呈爆发性发生,每批次中往往是1—2种的非传粉小蜂数量较多,但不同批次,数量较多的非传粉小蜂种类往往不同,因此在小蜂群落结构中未见某种非传粉小蜂占明显优势。福州地区笔管榕榕果内小蜂群落的多样性指数为0.72,均匀度指数为0.37,丰富度指数为0.55,优势集中性指数为0.68。分析了6种小蜂的性比,结果表明:传粉小蜂的性比极度偏雌,非传粉小蜂虽然也偏性,但均高于传粉小蜂,推测榕小蜂性比与雄蜂的翅型和交配场所有关。非传粉小蜂的数量和传粉小蜂总数、雌蜂数和雄蜂数均呈极显著负相关,和性比呈极显著正相关关系,说明非传粉小蜂对传粉小蜂的雌、雄蜂都有负面影响,且传粉小蜂雌蜂减少的幅度大于传粉小蜂雄蜂,从而导致其性比升高。非传粉小蜂中 *Acophila mikii*、*Sycobiomorpha* sp.、*Otitesella ako* 为造瘿类群,*Philotrypesis* sp.、*Sycophila* sp. 属于寄居者或寄生者类群,非传粉小蜂中的寄生或寄居类群与造瘿类群相比,对传粉小蜂的负面影响更大。研究结果为榕-蜂协同进化研究,以及城市绿化和生物多样性保护提供科学依据。

关键词:榕树-榕小蜂;群落结构;性比;互利共生

Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou

CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan*, WANG Zhao, LU Bing

Provincial Key Laboratory for Developmental Biology and Neurosciences, College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China

Abstract: *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. (*Ficus*, Moraceae), a kind of deciduous and monoecious tree, is a common tree species in Fujian Province. There are various species of fig wasps in its syconia, constituting a fig-fig wasp symbiotic system with *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. From July 2011 to July 2012, thirty plants of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. from different sites in Fuzhou were observed and collected at regular intervals. A total of 50817 fig wasps were collected from 830 syconia in 15 batches. Seven fig wasp species, belonging to 6 families, 7 genera were found. *Platyscapa ishiiana* was the unique pollinator, whereas the others were non-pollinating fig wasps, belonging to families Pteromalidae, Eurytomidae, Eulophidae and subfamily Epichrysomallinae, respectively. Among the non-pollinating fig wasps, *Philotrypesis* sp., *Acophila mikii*, *Otitesella ako*, *Sycophila* sp., *Sycobiomorpha* sp. were common species, which could be collected almost all year round; whereas *Aprostocetus* sp. was rare, only two individuals were collected in the whole

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31270440);福建省科技厅重点项目(2011N0014);福建省高等学校学科带头人培养计划资助项目;福建师范大学生物学拔尖人才班科研训练项目(201002)

收稿日期:2013-05-27; **修订日期:**2013-07-25

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

the year. The fig wasp species in *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. did not show obvious changes in different months and different seasons, but the numbers of different fig wasp species changed obviously. Among the 12 months of the year, there are 9 months dominated by pollinators, but January, September and November were dominated by non-pollinators. Some species of non-pollinators (*Aophila mikii*, *Sycophila* sp., *Philotrypesis* sp. and *Otitesella ako*) often occurred explosively. In general, there were 1—2 species dominating in the non-pollinator population in each batch, but the dominant species usually altered across batches. Therefore, there was not a single species consistently dominating among the non-pollinators. The community of wasps in *Ficus superba* Miq. var. *japonica* in Fuzhou exhibited a diversity index of 0.72, evenness index of 0.37, richness index of 0.55 and dominant concentration index of 0.68. The sex ratios in the 6 fig wasp species were analyzed. The sex ratio in the pollinator species was extremely biased to female, while those in the non-pollinator species were less biased. It could be inferred that the sex ratio of fig wasps is related to the wing type of male wasps and the place of mating. The number of non-pollinators showed extremely significant negative correlations with the total number of pollinators, the number of female pollinators, and the number of male pollinators, but an extremely significant positive correlation with the sex ratio of pollinators. These results suggest that non-pollinators have negative impacts on both female and male pollinators, but the effect on female pollinators is greater than that on male pollinators, resulting in its sex ratio increased. Among the non-pollinator species, *Acophila mikii* Ishii., *Sycobiomorpha* sp., and *Otitesella ako* Ishii belong to gall-makers, while *Philotrypesis* sp. and *Sycophila* sp. belong to inquilines or hyperparasitics, which displayed greater negative impacts on pollinating wasps. The results of this study provide a scientific basis for fig-fig wasps coevolution research, urban greening and biodiversity conservation.

Key Words: fig-fig wasps; community structure; sex ratio; mutualism

榕树是桑科 (Moraceae), 榕属 (*Ficus*) 植物的统称, 全世界已知的榕树约有 750 种, 主要分布在热带和亚热带地区, 是热带雨林地区关键植物类群之一^[1-3]。榕树依靠榕小蜂传粉来完成有性繁殖, 同时榕小蜂利用榕果内的雌花子房才能繁衍后代, 大多数的榕树由专一性、特定的榕小蜂传粉^[4-5], 只有少数种类的榕树可同时拥有几种传粉小蜂, 也只有少数种类的传粉小蜂能同时为几种榕树传粉^[6]。榕果内除传粉小蜂外, 还寄生着多种非传粉小蜂, 某些榕树榕果内的非传粉小蜂种类甚至高达 20—30 余种^[7-9], 有些学者认为非传粉小蜂与榕树间也可能存在着专一性^[10-11]。非传粉小蜂不能为榕树传粉, 但它们利用榕-蜂共生体系繁衍后代^[10], 研究认为榕果内的小蜂群落中错综复杂的种间关系和适量的种群数量是维系这个共生系统平衡的关键^[11-13]。

笔管榕 (*Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq.) 为榕属落叶乔木, 雌雄同株。笔管榕主要分布于我国台湾、福建、广东、广西、浙江、海南、云南南部等地, 在国外多分布于缅甸、泰国、中南半岛诸国、马来西亚至日本琉球等地^[14]。笔管榕适应性强, 可作为行道树, 根、叶可以入药。笔管榕榕果内除了与榕树成一对一共生关系的传粉小蜂之外, 还寄生了 6 种非传粉小蜂^[15], 目前关于笔管榕及其隐头果内的小蜂的相关研究很少, 主要是笔管榕榕果内的传粉小蜂和非传粉小蜂的种类及形态描述^[15-20], 对其榕果内小蜂群落结构以及种间关系还未进行系统的研究。本文通过对福州地区的笔管榕进行一年的定期追踪观察, 从笔管榕榕果内榕小蜂的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数、重要值、性比等多个方面来分析笔管榕隐头果内榕小蜂的群落结构及年动态变化规律, 从数量角度对传粉榕小蜂与不同生物学特性的非传粉榕小蜂之间关系进行探讨, 了解传粉小蜂与非传粉小蜂的性比特点, 以及榕小蜂性比与翅型之间的相关性, 为榕树-榕小蜂共生体系稳定性研究提供第一手资料。

1 材料与方法

1.1 材料与样地

笔管榕的榕果单生或成对腋生或簇生于叶痕腋部及落叶的老枝上, 有时也生于主干上, 榕果球形, 表面有白色圆斑点, 具长约 5 mm 的梗, 成熟时红色或紫色。笔管榕的传粉小蜂为榕小蜂科 (Agaonidae) 的 *Platyscapa ishii*ana, 其余 6 种为非传粉小蜂, 分别为隶属金小蜂科 (Pteromalidae) 的 *Philotrypesis* sp. 和 *Otitesella ako*, 广肩小蜂科 (Eurytomidae) 的 *Sycophila* sp., 隐针榕小蜂亚科 (Epichrysomallinae) 的 *Acophila mikii* 和 *Sycobiomorpha* sp., 以及姬小蜂科 (Eulophidae) 的 *Aprostocetus* sp.^[15]。本实验研究样地分别为样地 A: 福州旗山 (26°3' 30"N, 119°18' 49"E), 共有样株 17 棵 (标记为 A1—A17); 样地 B: 福州鼓楼区 (26°3' 30"N, 119°18' 49"E), 共有样株 5 棵 (标记为 B1—B5); 样地 C: 福州台江区 (26°3' 11"N, 119°18' 52"E), 共有样株 5 棵 (标记为 C1—C5); 样地 D: 福州仓山区 (26°2' 28"N, 119°18' 51"E), 共有样株 3 棵 (标记为 D1—D3), 总计 30 株样本 (株龄均在 30a 以上)。福州全年冬短夏长, 温暖湿润, 属于海洋性亚热带季风气候。

1.2 研究方法

从 2011 年 7 月到 2012 年 7 月, 对样地中的 30 株笔管榕每周观察 1 次, 记录其花序的发育状况。每月采集一批成熟但未出

蜂的 D 期花序进行单果收蜂实验^[21]: 在实验室中将榕果剖开, 单果放入广口玻璃瓶中, 瓶口用 120 目的纱布封住, 放到实验台上(自然光照), 待小蜂基本出飞完全后(一般 3—5 d), 用冷冻处死小蜂。在体视显微镜(Nikon SMZ800)下将未羽化出的小蜂用解剖针从虫囊中挑出, 对小蜂进行鉴定, 统计单果中榕小蜂的种类和数量, 小蜂保存到装有 75% 酒精的 EP 管中, 并贴上标签。

1.3 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笔管榕隐头果内榕小蜂的群落结构^[22-23]。其中:

$$(1) \text{ Margalef 丰富度指数}^{[24]} \quad D = (S-1) / \ln N$$

$$(2) \text{ Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H = -\sum P_i \ln(P_i), \text{ 式中 } P_i = N_i/N$$

$$(3) \text{ Pielou 均匀度指数} \quad J = H/\ln S$$

$$(4) \text{ 重要值公式} \quad I.V. = (R.A. + R.F.) / 2$$

$$(5) \text{ Simpson 物种优势集中性指数} \quad C = \sum (P_i)^2, \text{ 式中 } P_i = N_i/N$$

(6) 性比 由群落中某一种小蜂的雄蜂数量占据整个种群数量的比例来表示^[25], 即先计算单个榕果内每种小蜂的性比, 然后计算平均值和标准差。用两种形式统计数据: ①采用寄生有某种小蜂的全部榕果数据统计性比^[9, 26]; ②只统计性比小于和等于 0.5 的榕果(有效榕果)数据, 将性比大于 0.5 的榕果以及只有雌蜂或雄蜂的榕果数据删除^[9, 27-28]。

以上公式中, S 为样地中小蜂的总种数, 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, $R.A.$ 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。用 Levene 方法进行样本总体方差齐性检验。小蜂性比差异用 one-way anova 方差分析, 用最小显著差数法(LSD)比较每两组间的差异程度。所有计算分析均采用 Excel2003 和 SPSS 16.0 软件。

2 结果与分析

2.1 榕小蜂群落结构特征

福州地区的笔管榕榕果发育株间异步, 一年四季基本上都能采集到雄花期榕果(11 月和 6 月笔管榕植株上雄花期榕果较少)。2011 年 7 月—2012 年 7 月间, 在福州地区的 30 株笔管榕上分 15 批次收集了 830 个榕果内的 50817 头小蜂, 隶属于小蜂总科(Chalcidoidea)中的 6 个科(亚科)的 7 个种(表 1)。笔管榕榕果内的榕小蜂种类在不同季节没有明显变化, 5 月份仅收集到 2 种小蜂, 其他月份出现的榕小蜂种类为 4—6 种。单个榕果中榕小蜂的种类通常有 1—3 种, 最多可达 5 种; 单个榕果中小蜂的总数最多 185 头, 最少仅 2 头(没有被产卵或传粉的笔管榕榕果, 在雌花凋亡后还能在树上挂果长达数周)。同一时期在不同样地(例如, 10 月的 A4/B1 样株)、或同一样株在不同的时期(例如, 样株 A4 在 10 月/5 月), 笔管榕榕果内榕小蜂的种类、数量均有差异。在 9 月、11 月和 1 月, 单果中传粉小蜂的数量明显少于非传粉小蜂, 在其他月份传粉小蜂为优势种。统计笔管榕榕果内小蜂群落结构多样性各指标, 结果表明: 笔管榕榕果内小蜂群落结构的多样性指数为 0.72, 均匀度指数为 0.37, 丰富度指数为 0.55, 优势集中性指数为 0.68。

群落中的榕小蜂分为常见种和偶见种, 常见种的发生具有连续性, 而偶见种没有连续性。在 7 种榕小蜂中, *Aprostocetus* sp. 为偶见种(全年仅收集到 2 头), 其余 6 个种为常见种。传粉小蜂 *Platyscapa ishiana* 每月均可采集到, 同时全年数量也最多; 非传粉小蜂中的 *Otitesella ako*, *Acophila miki*, *Sycobiomorpha* sp. 和 *Sycophila* sp. 几乎每月都会出现, 数量有时多有时少; 而非传粉小蜂中的 *Philotrypesis* sp. 小蜂的发生有明显的周期性, 主要出现在 7—11 月, 但其全年总数量却多于其他非传粉小蜂。在收集的 15 批次的榕小蜂中, 每批次榕小蜂的种类与单果中榕小蜂的平均数呈负相关, 其回归方程 $y = -3.8696x + 73.152$ ($R^2 = 0.0349$, $P > 0.01$), 每批次单果传粉小蜂平均数和非传粉小蜂平均数呈显著负相关($y = -0.1919x + 19.803$, $R^2 = 0.291$, $0.01 < P < 0.05$), 单果中传粉小蜂个体数与非传粉小蜂个体数之间呈极显著相关($y = -0.1514x + 18.564$, $R^2 = 0.1376$, $P < 0.01$)。

2.2 榕小蜂的年动态变化

笔管榕 6 种常见榕小蜂的年动态变化规律各不相同(图 1)。传粉小蜂的单果平均数量呈规律性波动。非传粉小蜂中的 *Acophila mikii*、*Philotrypesis* sp.、*Otitesella ako* 具有爆发性大量出现的现象, 其中 *Acophila mikii* 在 1 月份数量明显高于其他月份, 平均每个果内达到 28 头; *Philotrypesis* sp. 在 9 月、10 月存在爆发性增多现象, 单果中 *Philotrypesis* sp. 小蜂数目达 14—23 头; *Otitesella ako* 在 7 月出现高峰, 小蜂平均 10 头/果, 其他月份这类小蜂的数量均较少或未收集到。*Acophila mikii* 和 *Philotrypesis* sp. 分别在 1 月和 9 月的爆发性增多, 造成单果中非传粉小蜂的平均数量高于传粉小蜂, 成为该期榕小蜂群落结构的优势种。在 *Acophila mikii*、*Philotrypesis* sp.、*Otitesella ako* 爆发性增多的批次中, 单果中 *Scophila* sp. 小蜂的平均数量均明显上升, 前者以及传粉小蜂可能都是 *Scophila* sp. 小蜂的宿主。单果中 *Sycobiomorpha* sp. 小蜂的平均数量全年都维持较低的水平, 即使在数量最多的 2 月, 单果小蜂平均数量也在 3 头以下。

表 1 笔管榕榕果内榕小蜂年发生规律

Table 1 Districition of fig wasps on *Ficus superba* var. *japonica* in a year

科/亚科 Family/Sub-family	榕小蜂种类 Species of fig wasps	月 Month(2011)												月 Month(2012)							总计 Total	百分比/% Percentage
		7	8	9	10	10	11	12	1	2	2	3	4	4	5	7						
Agonidae/Agoninae	<i>Platyscapa ishiiana</i>	1253	3875	206	7115	1116	58	4461	229	458	2681	6105	3785	2186	7005	1197	41730	82.12				
Pteromalidae/Otiteseellinae	<i>Otiteseella ako</i>	371	543	77	238	52	0	4	47	75	0	127	13	0	4	196	1747	3.44				
Pteromalidae/Sycoryctinae	<i>Philotrypsis</i> sp.	29	51	1442	1020	303	18	0	0	21	0	0	0	0	0	378	3262	6.42				
Family? /Epichrysomallinae	<i>Acophila mikii</i>	2	10	3	73	25	7	193	2022	83	9	86	120	116	0	0	2749	5.41				
	<i>Sycobiomorpha</i> sp.	2	3	0	20	0	11	2	13	60	70	72	61	6	0	0	320	0.63				
Eurytomidae/Eurytominae	<i>Sycophila</i> sp.	2	14	249	5	0	168	100	294	45	48	21	2	0	0	59	1007	1.98				
Eulophidae	<i>Aprostocetus</i> sp.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.004				
每批次榕小蜂总数/Number of fig wasp		1659	4496	1977	8471	1496	264	4760	2605	742	2808	6411	3981	2308	7009	1830	50817					
榕果数目/Number of syconium		38	88	64	77	17	29	66	70	22	39	74	73	53	92	28	830					
每批次榕小蜂的种类/Wasp species each batch		6	6	5	6	4	6	5	5	6	4	5	5	3	2	4						
单果小蜂平均数/Average number of wasps per fruit		44	51	31	110	88	9	72	32	34	72	87	46	44	68	65	61					
样株/Individual		A9	A12	B5	A4	B1	A12	C4	A7	A5	A5	B4	A17	D1	A4	D1						

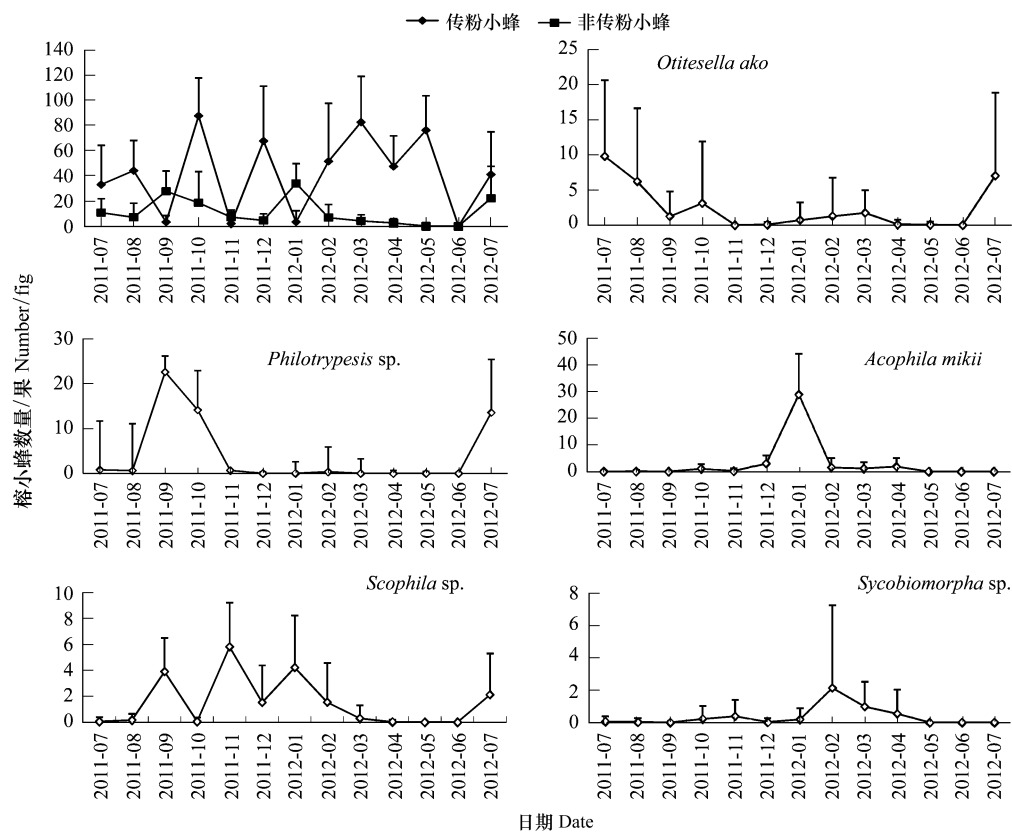


图 1 笔管榕榕小蜂种群动态

Fig.1 Population dynamic of fig wasps in *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq.

2.3 榕小蜂的重要值比较

统计笔管榕榕果内不同种类榕小蜂的重要值,结果表明:在全年 12 批次中,有 9 批次均是传粉小蜂的重要值最大,即传粉小蜂占优势,剩余的 3 批次中,传粉小蜂的重要值明显小于非传粉小蜂,即非传粉小蜂占优势。重要值年平均结果(表 2)表明:传粉小蜂的重要值极显著高于非传粉小蜂,而各种非传粉小蜂之间的重要值没有显著差异。在不同批次中,重要值最大非传粉小蜂的种类往往是不同的,表明在 *Acophila mikii*、*Sycophila* sp、*Philotrypesis* sp. 和 *Otitesella ako* 小蜂多为爆发性发生。

表 2 笔管榕榕果内不同种类榕小蜂的重要值比较

Table 2 Important value of the fig wasp community of different species

榕小蜂种类 Wasp species	<i>Platyscapa ishiiana</i>	<i>Otitesella ako</i>	<i>Philotrypesis</i> sp.	<i>Acophila mikii</i>	<i>Sycophila</i> sp.	<i>Sycobiomorpha</i> sp.
重要值 Important value	0.70±0.33 A	0.14±0.15 B	0.15±0.25 B	0.16±0.25 B	0.21±0.26 B	0.05±0.06 B

平均值后面大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$)

2.4 非传粉小蜂对传粉榕小蜂繁殖率的影响

笔管榕的非传粉小蜂均在果外产卵,造瘿类非传粉小蜂与传粉小蜂抢占产卵资源,寄生或寄居类非传粉小蜂常寄生或寄居于传粉小蜂,寄居类非传粉小蜂与传粉小蜂争夺食物资源,寄生类非传粉小蜂则直接导致传粉小蜂死亡。使用 SPSS 16.0 软件包分析不同类群的非传粉小蜂数量与传粉小蜂数量之间的相关性(表 3),结果表明:非传粉小蜂数量、造瘿类非传粉小蜂数量,以及寄生或寄居类非传粉小蜂数量,与传粉小蜂的总数量、雌蜂数和雄蜂数均呈极显著负相关;与传粉小蜂的性比呈显著正相关,即非传粉小蜂数量增加,可造成传粉小蜂的性比升高,这是因为非传粉小蜂数量(造瘿类非传粉小蜂数量,以及寄生或寄居类非传粉小蜂数量)对传粉小蜂雌蜂的影响略大于雄蜂(表 3)。在榕果中,传粉小蜂的雌蜂所在的虫瘿的位置,比较于雄蜂较靠近果壁(果托),因而易受到非传粉小蜂攻击^[29]。表 3 数据还表明,笔管榕寄生或寄居类群非传粉小蜂,对传粉类群的影响明显大于造瘿类群非传粉小蜂。

表 3 非传粉小蜂数量与传粉小蜂数量及性比间的相关关系

Table 3 The relationship between non-pollinators numbers and pollinator numbers and sex ratios

传粉小蜂 Pollinator numbers	非传粉小蜂数量 Non-pollinators numbers		造瘿类非传粉小蜂数量 Gall-makers numbers		寄生或寄居类非传粉小蜂数量 Hyperparasitics or inquiline numbers	
	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>
雌蜂数量 Female	-0.483	<0.01	-0.290	<0.01	-0.385	<0.01
雄蜂数量 Male	-0.436	<0.01	-0.262	<0.01	-0.355	<0.01
总数 Total	-0.503	<0.01	-0.302	<0.01	-0.401	<0.01
性比 Sex ratio	0.164	<0.01	0.082	<0.05	0.161	<0.01

2.5 榕小蜂的性比

传粉小蜂的性比约为 0.13,极度偏雌,而非传粉小蜂的性比在 0.3 左右,均高于传粉小蜂。5 种非传粉小蜂中,雄蜂为无翅型的 *Otitesella ako* 和 *Philotrypesis* sp.小蜂的性比较低,雄蜂具有翅和无翅两种类型的 *Sycobiomorpha* sp.小蜂的性比居中,雄蜂为有翅型的 *Sycophila* sp.小蜂的性比较高,这与 Fellowes^[30] 和吴文珊等人^[9] 的研究结果一致,推测榕小蜂性比与雄蜂的翅型有关。*Acophila mikii* 小蜂的雄蜂为有翅型,但其性比在 5 种非传粉小蜂中是最低的,这可能是由于 *Acophila mikii* 小蜂产卵早(A 后期),它极有可能又被 *Sycophila* sp.和 *Philotrypesis* sp.小蜂复寄生,且复寄生小蜂可能更倾向于攻击 *Acophila mikii* 小蜂的雄蜂,致使其性比降低。

表 4 可见,用两种方法计算传粉小蜂和 *Sycophila* sp.小蜂的性比具极显著差异,*Sycophila* sp.小蜂有效榕果仅为 69.09%,这意味着若采用方法 1 计算性比,将有近 30%的榕果数据未被统计,因此,用方法 2 计算小蜂性比有可能更接近事实。

表 4 笔管榕不同种类榕小蜂性比的相关数据

Table 4 Relative datas of the sex ratio of different kinds of fig wasps in *Ficus superba* var. *japonica* Miq.

榕小蜂种类 Species	总榕果数 Total number	有效榕果数 Valid syconia	有效榕果的 百分比/% Percentage%	性比① Sex ratio	性比② Sex ratio ②
<i>Platyscapa ishiiana</i>	647	604	93.35	0.16±0.19	0.13±0.09**
<i>Otitesella ako</i>	159	128	80.50	0.36±0.21	0.33±0.11
<i>Philotrypesis</i> sp.	145	121	83.45	0.34±0.16	0.34±0.10
<i>Acophila mikii</i>	230	202	87.83	0.30±0.19	0.29±0.13
<i>Sycophila</i> sp.	220	152	69.09	0.45±0.22	0.39±0.12**
<i>Sycobiomorpha</i> sp.	81	67	82.72	0.40±0.23	0.37±0.12

①、② 指据性比统计方法①、② 计算所得结果; ** 表示性比①、②之间差异极显著($P<0.01$); 无 * 表示差异不显著($P>0.05$)

常常可以看到,在单个榕果内,某种小蜂只有雄蜂或雌蜂的现象(表 5),只有传粉小蜂的雄蜂的榕果数略多于只有雌蜂的榕果数,而单性后代的榕果内雄蜂数量极显著多于雌蜂($P<0.01$),这可能是由于寄生类非传粉小蜂攻击雌蜂的几率大于雄蜂^[29];同时,只有非传粉小蜂的雄蜂的榕果数略少于只有雌蜂的榕果数,具有翅型雄蜂的 *Acophila mikii* 和 *Sycophila* sp.小蜂,其单性后代的榕果内雄蜂数量略多于雌蜂($P>0.05$),具无翅型雄蜂的 *Otitesella ako* 和 *Philotrypesis* sp.小蜂,以及具有翅、无翅两种类型雄蜂的 *Sycobiomorpha* sp.小蜂,其单性后代的榕果内雌蜂数量略多于雄蜂($P>0.05$)。

表 5 小蜂单性后代的分布

Table 5 Distribution of single sex offspring reproduced by fig wasps

榕小蜂种类 Species	榕果数 Number of figs	榕果数量 Number of figs		榕果百分比% Percentage of figs		小蜂数量 Number of fig wasps	
		只有雌蜂 Only females	只有雄蜂 Only males	只有雌蜂 Only females	只有雄蜂 Only males	只有雌蜂 Only females	只有雄蜂 Only males
<i>Platyscapa ishiiana</i>	647	14	17	2.16	2.63	7.57±18.26	49.06±35.95**
<i>Otitesella ako</i>	159	11	7	6.92	4.40	6.00±7.00	1.71±1.11
<i>Philotrypesis</i> sp.	145	11	1	7.59	0.69	2.27±1.10	2.00
<i>Acophila mikii</i>	230	14	3	6.09	1.30	1.50±1.50	2.67±1.53
<i>Sycophila</i> sp.	220	13	9	5.91	4.09	1.15±0.40	1.33±1.00
<i>Sycobiomorpha</i> sp.	81	6	6	7.41	7.41	7.50±13.52	3.33±3.93

3 讨论

3.1 不同榕树榕果内小蜂群落多样性比较

比较福州地区笔管榕、大叶榕和细叶榕榕果内小蜂群落结构多样性各指标(表6),结果表明:笔管榕榕果内小蜂群落结构的多样性指数、均匀度指数和丰富度指数均低于大叶榕和细叶榕,表明笔管榕榕果内非传粉小蜂的种类最少,数量最少,且分布不均匀,由此表明笔管榕传粉小蜂在其群落结构的稳定性最佳;而笔管榕榕果内小蜂群落结构的优势集中性指数最高,表明笔管榕传粉小蜂在其群落中的优势度明显高于大叶榕、细叶榕传粉小蜂在其群落中的优势度,即表明笔管榕传粉小蜂在其群落结构中占据最重要的地位。

表6 不同榕树榕果内小蜂群落多样性比较

Table 6 Species diversity index of fig wasps community in the syconia of different ficus

榕树种类 <i>Ficus species</i>	多样性指数(<i>H</i>) Shannon-Wiener index	均匀度指数(<i>J</i>) Pielou evenness index	丰富度指数(<i>D</i>) Abundance index	优势集中性指数(<i>C</i>) Simpson index
笔管榕 (<i>F. superba</i> var. <i>japonica</i>)	0.72	0.37	0.55	0.68
细叶榕 (<i>F. macrocarpa</i>) ^[10]	1.29	0.46	1.57	0.46
大叶榕 (<i>F. virens</i> var. <i>sublanceolata</i>) ^[20]	1.35	0.65	0.98	0.32

3.2 榕果内榕小蜂为单性的原因

榕果内某种榕小蜂只有雄蜂或雌蜂的现象较为普遍,造成榕果内某种榕小蜂只有雌性或只有雄性的原因可能是:(1)未经交配的繁殖母蜂产下的卵均发育出雄蜂;(2)已交配的繁殖母蜂,因其产卵数量较少(例如,传粉小蜂在进入苞片通道的过程中伤残过度,导致无力产卵或过早死亡;非传粉小蜂在果外产卵,产卵器穿越果壁十分费时费力,故产卵数量有限,同时复杂的外界环境经常造成产卵中断),或在发育过程中,榕小蜂的雌性或雄性被其他非传粉小蜂寄居或寄生造成死亡;或因先天不足或后天营养不良而夭折,例如,最新研究表明,榕小蜂的卵若产在未发生双受精的胚珠内存活率较低^[31],从而造成性别配比缺损。

3.3 传粉小蜂与非传粉小蜂的性比差异

传粉小蜂在果内产卵,笔管榕雌花期花序腔内产卵的繁殖雌蜂数量多为1—3头,局域配偶竞争水平高,故后代性比偏雌;非传粉小蜂在果外产卵,同一只小蜂可以在不同榕果上产卵,同一个榕果上也可以同时有多种非传粉小蜂产卵,局域配偶竞争水平降低,故后代性比高于传粉小蜂^[9, 32-33]。

大量实验数据表明:传粉小蜂的性比明显小于非传粉小蜂,非传粉小蜂中,雄蜂为无翅型的榕小蜂的性比小于雄蜂具有翅和无翅两种类型的榕小蜂的性比,更小于雄蜂有翅型的榕小蜂的性比^[9, 30],表明榕小蜂性比可能与其交配方式有关,行果外交配的榕小蜂,由于果外榕小蜂的活动空间大,雄蜂需要花费较多的体力和时间需找雌蜂交配,因此,为满足雌蜂的交配需要更多的雄蜂,故行果外交配的榕小蜂性比,高于行果内交配的榕小蜂的性比。传粉小蜂交配发生在果内的虫瘿内,雄蜂找寻还在虫瘿内的雌蜂交配,雄蜂为找寻配偶所花费的体力和时间大大节省,因此,只需少量的雄蜂就可完成与雌蜂的交配,故传粉小蜂的性比明显偏雌。*Acophila mikii* 雄蜂有翅,但性比在笔管榕非传粉小蜂中是最低的,*Acophila mikii* 小蜂性比与上述推理相左的原因在于:在小蜂群落中 *Acophila mikii* 小蜂产卵早,易成为其他复寄生性非传粉小蜂的寄主,因此,雄花期统计的小蜂性比可能无法反映 *Acophila mikii* 小蜂的真实性比。

致谢:感谢浙江大学吴为人教授对本文写作的帮助。

References:

- [1] Berg C C. Classification and distribution of *Ficus*. Experientia, 1989, 45(7): 605-611.
- [2] Berg C C, Wiebes J T. African fig trees and fig wasps // Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Verhandelingen Afdeling Natuurkunde, Tweede Reeks. Amsterdam, New York: North-Holland Publishing Co., 1992, 89: 298-298.
- [3] Weiblen G D. How to be a fig wasp. Annual Review of Entomology, 2002, 47(1): 299-330.
- [4] Compton S G. One way to be a fig. African Entomology, 1993, 1(2): 151-158.
- [5] Janzen D H. How to be a fig. Annual Review of Ecology and Systematics, 1979, 10(1): 13-51.
- [6] Machado C A, Robbins N, Gilbert M T P, Herre E A. Critical review of host specificity and its coevolutionary implications in the fig/fig-wasp mutualism. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(S1): 6558-6565.
- [7] Compton S G, Hawkins B A. Determinants of species richness in southern African fig wasp assemblages. Oecologia, 1992, 91(1): 68-74.
- [8] Gu H Y, Yang D R. Community structure and species diversity of fig wasps from *Ficus altissima*. Biodiversity Science, 2003, 11(3): 188-196.
- [9] Wu W S, Zhang Y J, Li F Y, Wu M X, Yan J Y, Chen Y L. Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of *Ficus microcarpa* Linn. f. in Fuzhou. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6535-6542.
- [10] Bai L F, Yang D R, Shi Z H, Peng Y Q, Zhai S W. Community structure of fig wasp in *Ficus benjamina* in different habitats. Biodiversity Science,

- 2006, 14(4): 340-344.
- [11] Ulenberg S A. The phylogeny of the genus *Apocrypta* Coquerel in relation to its hosts *Ceratosolen* Mayr (Agaonidae) and *Ficus* L. // Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Verhandelingen Afdeling Natuurkunde, Tweede reeks. Amsterdam, Netherlands: North-Holland Publishing Co., 1985, 83: 149-176.
- [12] Kerdelhué C, Rossi J P, Rasplus J Y. Comparative community ecology studies on old world figs and fig wasps. *Ecology*, 2000, 81(10): 2832-2849.
- [13] 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.
- [14] Zhang X S, Wu Z Y, Cao Z Y. *Flora of China*. Beijing: Science Press, 1998, 23(1): 95-96.
- [15] Chen X Q, Wu W S, Sun L L, Chen Y L, Zheng C F. Fig Wasp Species of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou, Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2013, 29(2): 109-118.
- [16] Grandi G. Imenotteri dei fchi dell fauna olartica e indo-malese. *Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova*, 1923, 51: 101-108.
- [17] Wiebes J T. Agaonid fig wasp from *Ficus salicifolia* Vahl and some related species of the genus *Platyscapa* Motschoulsky (Hym., Chalc.). *Netherlands Journal of Zoology*, 1977, 27(2): 209-223.
- [18] Wiebes J T, van Wetenschappen K N A. The Indo-Australian Agaoninae: Pollinators of Figs. Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1994.
- [19] Ishii T. Fig chalcidoids of Japan. *Japanese Journal of Entomology*, 1934, 8(2): 84-100.
- [20] Feng G. Preliminary Survey of Fig Waps Community in China, Focusing on Taxonomy of Epichrysomallinae and *Sycoscapter* (Hymenoptera: Chalcidoidea) [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [21] 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.
- [22] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley, 1975.
- [23] Sun R Y, Li B, Zhu G Y, Shang Y C. *General Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1993: 52-195.
- [24] Margalef D R. Information theory in ecology. *General Systems; Yearbook of the International Society for the Systems Sciences*, 1958, 3: 36-71.
- [25] 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.
- [26] Wang Z J, Zhang F P, Peng Y Q, Yang D R. Reproductive strategy and impact on the fig-pollinator mutualism of one non-pollinating fig wasp species. *Biodiversity Science*, 2009, 17(2): 168-173.
- [27] 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.
- [28] Pereira R A S, Prado A P d. Non-pollinating wasps distort the sex ratio of pollinating fig wasps. *Oikos*, 2005, 110(3): 613-619.
- [29] Yu H, Compton S G. Moving your sons to safety: galls containing male fig wasps expand into the centre of figs, away from enemies. *PLoS One*, 2012, 7(1): e30833.
- [30] Fellowes M D, 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.
- [31] Jansen-González S, de Padua Teixeira S, Pereira R A S. Mutualism from the inside: coordinated development of plant and insect in an active pollinating fig wasp. *Arthropod-Plant Interactions*, 2012, 6(4): 601-609.
- [32] Hamilton W D. Extraordinary sex ratios. *Science*, 1967, 156(3774): 477-488.
- [33] Song B, Peng Y Q, Yang D R. The role of foundress relatedness in the offspring sex ratio of fig wasp *Diaziella yangi* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(4): 411-416.

参考文献:

- [8] 谷海燕, 杨大荣. 高榕小蜂群落结构及物种多样性的初步研究. *生物多样性*, 2003, 11(3): 188-196.
- [9] 吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 吴敏霞, 严菊媛, 陈友铃. 细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化. *生态学报*, 2012, 32(20): 6535-6542.
- [10] 白莉芬, 杨大荣, 石章红, 彭艳琼, 翟树伟. 垂叶榕隐头果内小蜂群落结构与生境关系的初步研究. *生物多样性*, 2006, 14(4): 340-344.
- [13] 徐磊, 杨大荣, 彭艳琼, 王秋艳, 张光明. 西双版纳聚果榕隐头果内小蜂群落结构及种间关系. *生态学报*, 2003, 23(8): 1554-1560.
- [14] 张秀实, 吴征镒, 曹子余. *中国植物志*. 北京: 科学出版社, 1998, 23(1): 95-96.
- [15] 陈晓倩, 吴文珊, 孙伶俐, 陈友铃, 郑翠芳. 福州笔管榕 (*Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq.) 榕果中榕小蜂的种类. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 29(2): 109-118.
- [20] 冯贵. 中国榕小蜂群落初探及 *Epichrysomallinae* 和 *Sycoscapter* 的分类 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [21] 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.
- [23] 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, 1993: 52-195.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Symaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

编 辑	《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	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	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 90.00 元