

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

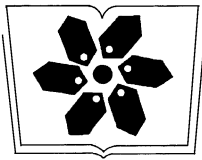
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

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 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201204120514

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.

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.

细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化

吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 吴敏霞, 严菊媛, 陈友铃*

(福建省发育与神经生物学重点实验室, 福建师范大学生命科学学院, 福州 350108)

摘要: 细叶榕为桑科榕属植物, 雌雄异株, 广泛分布于印度-澳大利亚 (Asia-Australasia) 榕树植物分布中心区, 它既是热带雨林的主要树种, 也是庭院和行道绿化的常见树种。通过全年定时、定点、定株观察与采集, 对福州 2 个样地 19 株细叶榕隐头果内小蜂群落结构及其动态进行研究。全年在两个样地 530 个隐头果内共收集到小蜂 26318 只。发现细叶榕隐头果内有 17 种小蜂, 隶属小蜂总科 Chalcidoidea 中的榕小蜂科 (Agaonidae)、隐针榕小蜂亚科 (Epichrysomallinae)、金小蜂科 (Pteromalidae)、广肩小蜂科 (Eurytomidae) 和刻腹小蜂科 (Ormyridae), 其中榕小蜂科的 *Eupristina verticillata* 是细叶榕唯一的传粉者, 传粉方式为主动传粉, 其性比为 0.16, 具明显偏雌现象; 非传粉小蜂中, 有翅雄蜂的榕小蜂 (*Odontofroggattia galili*, *O. quinifuniculus*, *O. corneri*, *Sycophila* sp. 1, *Sycophila* sp. 2, *Meselatus bicolor*) 的性比 (0.46—0.55) 较高, 无翅雄蜂的榕小蜂 (*P. taiwanensis*, *Sycoscapter gajimaru*, *W. microcarpae*) 的性比 (0.31—0.37) 较低, 而既具有翅雄蜂又具无翅雄蜂的非传粉榕小蜂 (*P. okinavensis*) 性比 (0.47) 居中。榕小蜂的性比可能与其交配行为策略有关。

在细叶榕小蜂群落结构中, 传粉小蜂 *E. verticillata* 的重要值占绝对优势, 非传粉小蜂 *O. galili* 和 *Sycophila* sp. 2 的重要值仅次于传粉小蜂。根据榕小蜂发生数量及连续性, 可将细叶榕隐头果中的榕小蜂分为常见种和偶见种, *E. verticillata*、*Odontofroggattia galili*、*Walkerella microcarpae*、*Sycophila* sp. 1、*Sycophila* sp. 2 和 *Philotrypesis okinavensis* 为常见种, 其余 11 个种为偶见种。传粉小蜂和非传粉小蜂的种类和数量呈现明显的季节性变化。2 月至 6 月期间, 每月出现的榕小蜂种类较少, 仅 3—4 种, 单果内平均有传粉小蜂 48.88 只, 非传粉小蜂 13.64 只; 7 月至翌年 1 月间, 每月出现的榕小蜂种类较多, 达 6—13 种, 单果内平均有传粉小蜂 24.38 只, 非传粉小蜂 18.89 只, 表明, 7 月—翌年 1 月单果内传粉小蜂数量相较于 2—6 月极显著降低 ($P < 0.001$), 而单果内非传粉小蜂数量极显著提高 ($P = 0.001$), 同时种类也显著增加。雄花期榕小蜂的种类与数量取决于雌花期产卵榕小蜂的种类与数量, 而雨量、气温以及雌花期花序果数量对产卵小蜂的数量, 以及小蜂产卵行为都可能产生影响。本研究结果可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: 细叶榕; 榕小蜂; 群落结构; 动态; 性比

Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of *Ficus microcarpa* Linn. f. in Fuzhou

WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, WU Minxia, YAN Juyuan, CHEN Youling*

Key Laboratory of Developmental Biology and Neurobiology, College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China

Abstract: *Ficus microcarpa* Linn. f. (*Ficus*, Moraceae) is a common monoecious tree, which is widely distributed in the fig center area of Asia-Australasia. It is both a main tree species in the tropical forest and a common tree species planted in the courtyard and street. In this study, we investigated the structure, biodiversity and dynamics of fig wasp community in syconia of 19 *F. microcarpa* plants at two selected sites by observation on and collection from the specific trees at specific

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31270440); 福建省自然科学基金资助项目 (2010J01141); 福建省科技厅重点项目 (2011N0014); 福建省教育厅科技项目 (JB10014)

收稿日期: 2012-04-12; 修订日期: 2012-08-20

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

time and season all year around. A total of 26,318 fig wasps were collected from 530 syconia in different seasons. Seventeen fig wasp species belonging to Agaonidae, Epichrysomallinae, Otitesellinae, Sycoryctinae, Eurytomidae and Ormyridae of Chalcidoidea were collected. Among them, only *Eupristina verticillata* of Agaonidae served as a pollinator for *F. microcarpa* through a way of active pollination. The sex ratio in this pollinating fig wasp species was 0.16, with a very strong female-bias phenomenon. In the non-pollinators, the sex ratio is higher (0.46—0.55) in the species with winged male wasps (*Odontofroggattia galili*, *O. quinifuniculus*, *O. corneri*, *Sycophila* sp. 1, *Sycophila* sp. 2 and *Meselatus bicolor*), lower (0.31—0.37) in the species with wingless male wasps (*Philotrypesis taiwanensis*, *Sycoscapter gajimaru*, *Walkerella microcarpae*), and medium (0.47) in the species with both winged and wingless male wasps (*Philotrypesis okinavensis*). The results suggested that the sex ratio of fig wasps may be related to the strategy of mating behavior.

In the structure of fig wasp community in *F. microcarpa*, the importance index was dominant in the pollinating fig wasps, but was much smaller in non-pollinating species *O. galili* and *Sycophila* sp. 2. According to the number and continuity of occurrence, fig wasps could be classified into common species and occasional species. *E. verticillata*, *Odontofroggattia galili*, *Walkerella microcarpae*, *Sycophila* sp. 1, *Sycophila* sp. 2 and *Philotrypesis okinavensis* were common species, while the remaining 11 were occasional species. The composition and structure of wasp community differed greatly across seasons. From February to June, there were fewer (only 3—4) species inside syconia, with 48.88 pollinating wasps and 13.64 non-pollinating wasps in a single fig on average, respectively. From July to January of next year, there were more (as many as 6—13) species inside syconia, with 24.38 pollinating wasps and 18.89 non-pollinating wasps in a single fig on average, respectively. The results suggested that the number of pollinating wasps in the latter period reduced greatly compared with that in the former period ($P < 0.001$); whereas for the non-pollinating wasps, both the number of species and that of wasps were significantly increased ($P = 0.001$). The species and the number of fig wasps in the male-flower phase depended on the species and the number of spawning wasps in the female-flower phase. However, the rainfalls, temperature and the number of syconia in the female-flower phase may affect on the number of spawning wasps and the spawning behavior of wasps. The results of this study provide a scientific basis for urban greening and biodiversity conservation in tropical rain forests.

Key Words: *Ficus microcarpa* Linn. f.; fig wasps; community structure; dynamics; sex ratio

榕树是桑科 (Moraceae) 榕属 (*Ficus*) 植物的总称, 是一个重要的植物类群, 主要分布在热带、亚热带地区。全世界榕树约有 800 多种, 中国有近百种, 占世界榕树总数的 12% 左右^[1]。福建省目前已记载的榕树有 24 种及 7 变种^[2]。榕树榕果内的封闭环境孕育着许多生命体, 榕小蜂就是其中最常见的类群。榕树-榕小蜂共生体系起源于大约 9000 万年前。榕树-榕小蜂的互惠共生是植物与其传粉者间相互作用的最典型的特例, 几乎每一种榕树均由一种特定的榕小蜂传粉, 而榕小蜂也只能在特定的榕树隐头花序内才能繁衍后代^[3]。

细叶榕 (*Ficus microcarpa* Linn. f.) 隶属于桑科榕属, 主要分布于我国的云南、贵州、湖北、台湾、福建、广东、广西、浙江等地。在国外分布于斯里兰卡、印度、缅甸、泰国、日本 (琉球、九州)、菲律宾、越南、马来西亚、巴布亚新几内亚和澳大利亚北部、东部直至加罗林群岛等地^[1]。福州古榕树的树龄长, 历史悠久, 榕属植物的自然起源与栽培历史为全国之最。细叶榕是福州市的市树, 也是福建省的省树, 常见于庭院和行道绿化。

细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, 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良好的模型。细叶榕隐头果内的榕小蜂种类已有相关报道^[4-6], 林淑玲对广州细叶榕榕果的年发育状况做过研究^[7], 但关于细叶榕隐头果内榕小蜂群落结构及其动态变化的相关研究在国内外尚未见报道。本课题组在 2010 年 11 月至 2011 年 11 月间, 采集了 2 个样地 19 株细叶榕全年 18 批次的隐头果, 对细叶榕隐头果内的小蜂群落结构及年动态变化进行调查, 以期榕-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 材料与方法

1.1 材料与样地

细叶榕为常绿大乔木,雌雄同株,其榕果成对腋生,或生于已落叶枝的叶腋,成熟时榕果呈黄色、粉红色,或绛紫色。榕果扁球形,无总梗,雌花、雄花和瘿花同生于一榕果内。

实验样地位于福建省福州市金山区(119°16'02E,26°02'59N,样地 A)和福州市闽侯镇(119°12'48E,26°01'48N,样地 B)。样地 A 中有 63 株细叶榕,树龄约 15a,编号为 A1-63;B 样地中有 22 株细叶榕,树龄约 10a,编号为 B1-22。两样地气候均属于海洋性亚热带季风气候,全年冬短夏长,温暖湿润,年平均日照数为 1650—1985h;年平均降水量为 950—2350mm;年平均气温为 15—22℃,最热月 7—8 月,平均气温为 25—29℃;最冷月 1—2 月,平均气温达 5—10℃;年相对湿度约 78%。

1.2 研究方法

1.2.1 隐头果内小蜂群落调查

2010 年 11 月至 2011 年 11 月间,对 A、B 样地中的细叶榕进行每周 1 次定时、定点标记观察,记录其花序生育状况。每月采集一批果壁刚开始变红变软的雄花期榕果,进行单果收蜂实验:在实验室中将榕果掰开,单果放入 25mL 的广口瓶中,并用 120 筛目的绢纱网封住瓶口,放到实验台上进行自然光照,一般在 3—5d 后,榕果内的榕小蜂基本羽化完成,用脱脂棉蘸取乙醚将榕小蜂熏死,还未羽化的小蜂利用解剖针将它们从虫瘿内挑出,借助于体视显微镜(Nikon SMZ800)对榕小蜂进行分类、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。

1.2.2 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细叶榕隐头果内小蜂的群落结构^[8-9]。

$$(1) \text{Margalef}^{[10]} \text{ 丰富度指数} \quad D = (S-1) / \ln N$$

式中, S 为样地中小蜂的总种数, N 为样株所有物种个体数量总和。

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

式中, $P_i = N_i / N$, N_i 为 i 物种的个体数量。

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

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

式中, $R. A.$ 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。

(5) 性比 由群落中某种小蜂的雄蜂数量占整个种群数量的比例来表示^[11],即先计算每种小蜂单个榕果的性比,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^[12];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^[13-14]。

采用 SPSS 16.0 软件计算分析数据。

2 结果

2.1 榕小蜂群落结构特征

从 2010 年 11 月到 2011 年 11 月间,在两个样地 19 株细叶榕植株上,共收集了 18 批榕小蜂(表 1),其中 2 月份的雄花期榕果特别少,仅采集到 12 个榕果进行单果收蜂实验。全年共收集到 26318 只小蜂,隶属于小蜂总科中的 6 个科(亚科)的 17 个种。细叶榕榕果内的传粉小蜂为 *Eupristina verticillata*,其传粉方式为主动传粉。细叶榕单果中榕小蜂的种类通常有 1—3 种,最多可达 7 种;单果内平均小蜂 50 只左右,最多 146 只/果,最少 4 只/果。从表 1 可以看出,同一时期在不同样地(例如,8 月的 B20/A63 样株)、或同一样地的不同样株(例如,8 月的 B20/B22 样株)之间,以及同一样株在不同的季节(例如,样株 B20 在 8 月/11 月)细叶榕隐头果内榕小蜂的种类、数量均有差异。

表 1 细叶榕榕果内榕小蜂年发生规律

Table 1 Districion of fig wasps on <i>Ficus microcarpa</i> in a year																										
科/亚科 Family/Sub-family	榕小蜂种类 Species of fig wasps	月 Month (2010)												月 Month(2011)												总计 Total
		11	12	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	8	8	9	10	11	11	11						
Agonidae	<i>Eupristina verticillata</i>	2341	1578	1388	313	1402	1470	2099	1362	1686	583	590	46	7	7	665	49	455	1190	17231						
Epichrysomallinae	<i>Odontofroggata galili</i>	141	71	44		329	99	234	581	646	344	412	41	843	31	36	62	2	65	3981						
	<i>O. quinifuniculus</i>	242												1	145	115	99	20	622							
	<i>O. corneri</i>	9								16			65	676	2		36	802								
	<i>O. ishiui</i>	3	4	7	2												4	3	23							
	<i>Meselatus bicolor</i>	78												436					514							
	<i>Eufroggatisca</i> sp.												50						50							
Pteromalidae/	<i>Walkerella microcarpae</i>	89	37	4	119					16	10	37	48	13	37	22	1		433							
Otiteseellinae	<i>Micranisa</i> sp.																8		8							
Pteromalidae/	<i>Philotrypesis okinawensis</i>	135	39	7	23	2				14	10	28	122	13	37	7	28	1	466							
Sycoryctinae	<i>P. taiwanensis</i>														106	3	36		145							
	<i>sycosapter gajamaru</i>	5		1											85		48		139							
	<i>Sycoryctes moneres</i>															11	26	37								
Eurytomidae/	<i>Sycophila</i> sp. 1	92	2	3							5	50	33	185	72	12	1	49	504							
Eurytominae	<i>Sycophila</i> sp. 2	11	7	62		15	6	2	1	31	65	112	151	308	148	178	183	21	35	1336						
	<i>Eurytoma</i> sp.	8											2						10							
Ormyridae	<i>Ormyrus</i> sp.	11											4						15							
榕小蜂总数/Number of fig wasps		3165	1738	1516	1516	1746	1577	2335	1944	2363	1038	1139	910	1362	1218	1331	439	615	1425	26318						
单果数/Fruits number		50	30	30	30	30	21	31	34	30	30	30	25	30	26	31	30	30	30	530						
榕小蜂种类/Wasp species		13	7	8	8	3	4	3	3	3	6	6	11	7	8	9	9	11	9	19						
单果小蜂平均数/ Average number of wasps per fruit		63	58	51	51	58	75	75	57	79	35	38	36	45	47	43	15	21	48	50						
样株/Individual		A1, A11, A14/A61		B16	B16	A22	B24	B24	B14	A7	A14	B21	B20	A63	B22	A60	B23	B20	A17							
		A21	A62						B23										A19							

在细叶榕小蜂群落结构中,榕小蜂的种类和数量呈现明显的季节性。2月至6月期间,每月出现的榕小蜂种类较少,仅3—4种,7月至翌年1月间,每月出现的榕小蜂种类较多,达6—13种,即使10月份单果中榕小蜂平均数目仅15只,但榕小蜂种类也多达9种。2—6月份平均单个细叶榕榕果内的传粉小蜂为48.88只($SD=33.50, N=176$),7月—翌年1月份平均单个细叶榕榕果内的传粉小蜂为24.38只($SD=28.37, N=354$),二者之间差异极显著($P<0.001$);2—6月份平均单个细叶榕榕果内的非传粉小蜂为13.64只($SD=16.10, N=176$),7月—翌年1月份平均单个细叶榕榕果内的传粉小蜂为18.89只($SD=17.33, N=354$),二者之间差异极显著($P=0.001$);表明7月—翌年1月单果内传粉小蜂数量相较于2—6月极显著降低,而单果内非传粉小蜂数量极显著提高,同时种类也显著增加。单果中小蜂种类与平均数量之间呈负相关,其回归方程为 $y=-2.8782x+68.783$ ($R^2=0.2565$);单果中传粉小蜂平均数量与非传粉小蜂平均数数量之间呈负相关,其回归方程为 $y=-0.3622x+28.692$ ($R^2=0.4176$)。

群落中的榕小蜂分为常见种和偶见种,常见种的发生具相对的连续性,而偶见种则没有连续性。在17种榕小蜂中 *E. verticillata*、*Odontofroggattia galili*、*Walkerella microcarpae*、*Sycophila* sp. 1、*Sycophila* sp. 2 和 *Philotrypesis okinavensis* 为常见种,其余11个种为偶见种。在细叶榕榕果内每月都能收集收到传粉小蜂 *E. verticillata*,但有时也会出现传粉小蜂急剧减少的现象,例如在2011年的8月份,平均单果中出现的传粉小蜂数目为0.74只($SD=5.42, n=81$)。为了排除实验误差造成的影响,8月份在不同时间、不同样地、不同植株进行3批次的单果收蜂实验,所得结果相似。从表2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。这可能是两样地之间相距不远,样株的树龄和生长环境相似的缘故。

表2 不同样地细叶榕隐头果内小蜂群落的多样性指标比较

Table 2 Species diversity index of fig wasps community in the syconia of *F. microcarpa* 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 index
A	0.90±0.38	0.51±0.17	0.76±0.03
B	0.87±0.48	0.46±0.19	0.90±0.52
P	0.62	0.99	0.62

$P>0.05$ 表示 A、B 两个样地差异不显著

2.2 榕小蜂的性比

从表3可以看出,两种性比计算方法所得出的传粉小蜂的性比均表现出明显的偏雌性,这与其他种类的传粉榕小蜂性比类似^[12,15-17]。非传粉小蜂的性比明显高于传粉小蜂。*Odontofroggattia ishii*, *Eufroggattisca* sp. ,

表3 细叶榕不同种类榕小蜂性比

Table 3 The sex ratio of different kinds of fig wasps in the syconia of *Ficus microcarpa*

榕小蜂种类 Species	总榕果数 Total number of figs	有效榕果数 Effective number of figs	有效榕果的百分比 Percentage of effective figs%	性比① Sex ratio①	性比② Sex ratio②
<i>Eupristina verticillata</i>	353	302	85.55	0.16±0.18	0.14±0.10
<i>Odontofroggattia galili</i>	252	133	52.78	0.46±0.28	0.33±0.14**
<i>O. quinifuniculus</i>	77	39	50.65	0.51±0.29	0.36±0.12**
<i>O. corneri</i>	40	25	62.50	0.47±0.23	0.38±0.09*
<i>Sycophila</i> sp. 1	103	35	33.98	0.52±0.31	0.41±0.10*
<i>Sycophila</i> sp. 2	225	83	36.89	0.55±0.32	0.39±0.09**
<i>Meselatus bicolor</i>	20	11	55.00	0.51±0.22	0.37±0.10*
<i>P. okinavensis</i>	102	50	49.02	0.47±0.33	0.37±0.11**
<i>P. taiwanensis</i>	27	12	44.44	0.31±0.28	0.36±0.12
<i>Sycosapter gajimaru</i>	31	20	64.51	0.32±0.28	0.32±0.11
<i>W. microcarpae</i>	88	46	52.27	0.37±0.32	0.35±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之间差异显著($P<0.05$), ** 表示差异极显著($P<0.01$)

Micranisa sp., *Sycoryctes moneres*, *Eurytoma* sp. 和 *Ormyrus* sp., 这 6 种非传粉小蜂因可用于统计性比的有效榕果数极少, 其性比有待进一步研究, 在此暂不列入讨论的范围。

在采用将性比统计方法②(即删除大于 0.5 的榕果数据)计算性比时, 非传粉小蜂用于统计性比的有效榕果率仅达到 33.98%—62.50%, 且对于大部分榕小蜂(雄蜂仅无翅型一种的榕小蜂除外)种类, 两种性比统计结果差异显著(表 3), 因此, 据性比统计方法①计算得出的性比更接近事实。

依据性比统计方法①计算得出的结果表明: 非传粉小蜂的性比高于传粉小蜂, 且有的非传粉小蜂的性比大于 0.5。在非传粉榕小蜂的性比中, 具有翅雄蜂的非传粉榕小蜂(*Odontofroggattia galili*, *O. quinifuniculus*, *O. corneri*, *Sycophila* sp. 1, *Sycophila* sp. 2, *Meselatus bicolor*) 性比(0.46—0.55)较高, 具无翅雄蜂的非传粉榕小蜂(*P. taiwanensis*, *Sycosapter gajimaru*, *W. microcarpae*) 性比(0.31—0.37)较低, 而既具有翅雄蜂又具无翅雄蜂的非传粉榕小蜂(*P. okinavensis*) 性比(0.47)居中, 这与 Fellowes 等人^[18]的研究结果一致。

2.3 细叶榕隐头果内榕小蜂的重要值比较

由图 1 可知, 在 2—6 月份仅出现 6 种榕小蜂, 其重要值从大到小依次为 *E. verticillata*, *O. galili*, *W. microcarpae*, *Sycophila* sp. 2, *P. okinavensis* 和 *O. ishii*, 传粉榕小蜂的重要值达到 0.7985, 远远高于其他种类的榕小蜂, 其次为 *O. galili*, 其重要值为 0.2527。在 7—翌年 1 月 17 种榕小蜂均有出现, 传粉小蜂的重要值仍据首位, 但仅为 0.5290, 显著降低($P=0.039$); 非传粉小蜂中 *Sycophila* sp. 2 的重要值比较 2—6 月表现为极显著提高($P=0.001$); *Philotrypesis okinavensis* 榕小蜂的重要值显著提高($P=0.025$); *O. galili* 的重要值位居第三, 与 2—6 月比较没有显著差异。

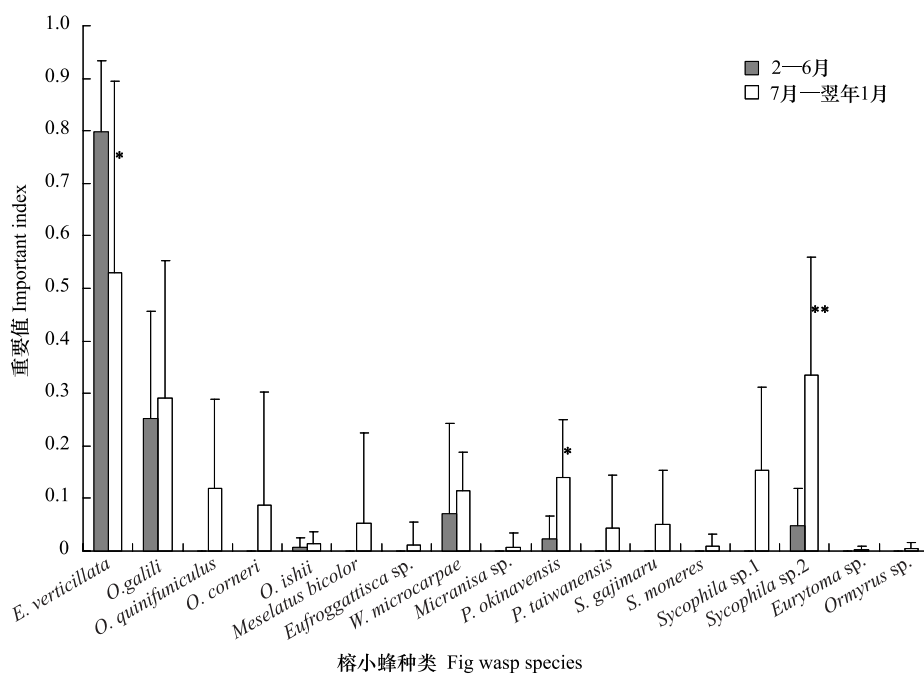


图 1 细叶榕隐头果内不同小蜂的重要值

Fig. 1 The important index of the fig wasps in syconia of *F. microcarpa*

比较榕小蜂在 A 和 B 样地的重要值可知, 传粉小蜂 *E. verticillata* 的重要值分别为 0.6783 和 0.5593, 均为两个样地的最高值, *O. galili* 和 *Sycophila* sp. 2 榕小蜂的重要值仅次于传粉小蜂, 其余榕小蜂的重要值都小于 0.2。 *Eufroggattisca* sp.、*Micranisa* sp. 两种榕小蜂在 A 样地不存在, 其余种类在 A、B 样地均存在, 其重要值均没有显著差异。

4 讨论

4.1 细叶榕榕小蜂的物种多样性

福州细叶榕榕果内的榕小蜂有 17 种, 其中 6 种为常见种, 其余 11 种为偶见种。榕小蜂种类的季节性变

化明显,2—6 月份基本上只能采集到榕小蜂常见种(2 月采集到 2 只偶见种 *O. ishii* 除外),*O. ishii* 以外的 10 种偶见种都只出现在 7 月—翌年 1 月份;出现榕小蜂种类最多的月份为 11 月,达到 13 种;全年只在 11 月份采集到 *Micranisa* sp.,且数量很少,仅 8 只;全年 18 批次中有 6 批次采集到 *O. ishii*,但合计数量仅 23 只。因此,只有长期观察,定时、定点采集,才能准确掌握榕小蜂的物种多样性。福州细叶榕榕果内有 12 属 17 种榕小蜂^[6],台湾细叶榕榕果内有 13 属 20 种榕小蜂^[5],香港细叶榕榕果内有 12 属 20 种榕小蜂^[4],海南细叶榕榕果内有 9 属 18 种榕小蜂,由于不同地区细叶榕榕果内的榕小蜂种类有所不同,即使去除部分因资料不足尚无法鉴定的种类,细叶榕榕果内的榕小蜂种类仍多达 34 种,表明细叶榕榕小蜂的物种多样性极为丰富。

4.2 榕小蜂种类与数量的动态变化原因

细叶榕单果内传粉小蜂数量在两个不同时段(2—6 月/7 月—翌年 1 月)发生显著变化,其原因在于:2—6 月份羽化成熟的榕小蜂,是由 11—4 月份进入榕果内的小蜂产的卵发育形成的。由于在 11—4 月份福州地区的平均降水量(28.65mm)较低,且月均温为 7—20℃ 之间,而榕小蜂存活的最适温度为 10—15℃^[19],因此此期出飞的细叶榕传粉小蜂的存活率较高、存活时间较长,而 11—4 月份处于雌花期的榕果较少,从而导致单果内传粉小蜂的数量较多。相反,在 5—8 月间福州地区的平均降水量(197.83mm)较高,且月均温为 22.4—29.8℃ 之间,而高温与多雨环境不利榕小蜂存活^[19],因此此期出飞的细叶榕传粉小蜂的存活率较低、存活时间较短,而 5—8 月间处于雌花期的榕果较多,因此单果内传粉小蜂的数量较少。

榕果内雌花子房是传粉小蜂和非传粉小蜂共同利用的资源,由于榕果内传粉小蜂数量与非传粉小蜂数量呈负相关,因此,当 7 月—翌年 1 月份平均单个细叶榕榕果内的传粉小蜂数量较 2—6 月份极显著降低时,平均单个细叶榕榕果内的非传粉小蜂数量就极显著提高,必然的非传粉小蜂的种类也随之增加。

2—6 月细叶榕单果内小蜂种类之所以稀少,还可能存在以下几个原因:1)2—6 月份 B 期榕果内传粉小蜂的数量骤增,占用了较多的雌花资源,对非传粉小蜂的产卵和发育造成威胁。2)有些非传粉小蜂可能存在寄主转移现象。例如,*P. taiwanensis* 和 *P. okinavensis* 小蜂可以自由地在细叶榕与垂叶榕(*F. benjamina*)上产卵^[20]。3)榕果内除了有榕小蜂外,还寄生有蝇类、蛾类和甲虫等昆虫^[21],榕果外还有蚂蚁等其他生物共同影响着榕小蜂的群落结构和榕树的生长,它们的种类和数量及季节性变化可能对榕小蜂群落结构产生影响。

4.3 细叶榕榕小蜂的性比特征

细叶榕传粉小蜂的性比明显偏雌性,其非传粉小蜂的性比明显高于传粉小蜂,这可能是由于传粉小蜂进入细叶榕雌花期花序腔内产卵的小蜂(繁殖雌性)数量多为 1—2 只,局域配偶竞争水平高,故后代性比偏雌;而非传粉小蜂在果外产卵,繁殖雌性数量较多,局域配偶竞争水平降低,后代性比高于传粉小蜂^[17,22]。有的细叶榕非传粉小蜂的性比大于 0.5,表明非传粉小蜂存在性比偏雄的可能。假如后代性比偏雄是由于繁殖雌蜂未交配或交配不成功,产下全部为雄性的后代的缘故^[17],那就说明与传粉小蜂比较,非传粉小蜂交配机会少或交配成功率低,进而说明,对于榕小蜂而言,果内交配的方式比果外交配更适合榕小蜂的繁衍生息。无翅型雄蜂在雌蜂未出虫瘿或未出榕果时交配,榕果内腔有限的空间,使无翅型雄蜂以较少的雄蜂数就可以实现较高的交配率;有翅型雄蜂多在雌蜂从榕果出飞后进行交配,榕果外的空间巨大,雄蜂将耗费大量的时间与体力寻找配偶,同时,不良环境也使小蜂的存活率降低,因此,有翅型雄蜂需要较多的个体数,才能维持与无翅型雄蜂相同的交配率,表明榕小蜂的性比与其交配行为策略有关。

致谢:中国科学院动物研究所为本研究鉴定榕小蜂标本,浙江大学吴为人教授帮助写作,特此致谢。

References:

- [1] Zhang X S, Wu Z Y, Cao Z Y. Flora of China. Vol 23, No1. Beijing: Science Press, 1998: 112-113.
- [2] Zhang Y T. Flora of Fujian. Vol 1. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1982: 439-456.
- [3] Machado C A, Joussetin E, Kjellberg F, Compton S G, Herre E A. Phylogenetic relationships, historical biogeography and character evolution of fig-pollinating wasps. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences, 2001, 268(1468): 685-694.
- [4] Hill D S. Figs (*Ficus* spp.) of Hong Kong. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1967, 99-101.

- [5] Chen Y R, Chuang W C, Wu W J. Chalcid wasps on *Ficus microcarpa* L. in Taiwan (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Journal of Taiwan Museum*, 1999, 52(1): 39-79.
- [6] Zhang Y J, Chen Y L, Wu W S. Chalcid wasps on *Ficus microcarpa* Linn. f. in Fuzhou. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2011, 27(5): 73-78.
- [7] Lin S L, Zhao N X, Chen Y Z. Phenology and the production of seeds and wasps in *Ficus microcarpa* in Guangzhou, China. *Symbiosis*, 2008, 45(1/3): 101-105.
- [8] Pielou E C. *Ecological diversity*. New York: Wiley, 1975.
- [9] Sun R Y, Li B, Zhu G Y, Shang W C. *General ecology*. Beijing: Higher Education Press, 1992: 52-195.
- [10] Margalef D R. *Information theory in ecology*. *General Systematics*, 1958, 3: 36-71.
- [11] 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.
- [12] Wang Z J, Peng Y Q, Yang D R. Reproductive strategies and impact on the fig-pollinator mutualism of one nonpollinating fig was species. *Zoological Research*, 2009, 30 (Suppl): 170-174
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Peng Y Q, Yang D R, Wang Q Y. Adjustment and stabilization of sex ratio in *Ceratosolen solmsi* marchali. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1347-1351
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Dai Z C, Chen Y L, Liu L, Zheng C F, Wu W S. Effects of different storage conditions on survival of *Wiebesia pumilae*. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2010, 26(6): 109-120.
- [20] Zhou M J, Xiao J H, Bian S N, Li Y W, Niu L M, Hu H Y, Wu W S, Murphy R W, Huang D W. Molecular approaches identify known species, reveal cryptic species, and verify host specificity of Chinese *Philotrypesis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Molecular Ecology Resources*, 2012, 12(4): 598-606
- [21] Ma G C, Hu H Y, Huang D W. Adaptive evolution of insects to figs. *Journal of Anhui Normal University: Natural Science Edition*, 2009, 32(4): 364-368.
- [22] Hamilton W D. Extraordinary sex ratios. *Science*, 1967, 156(3774): 477-488.

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: 112-113.
- [2] 张尧姪. 福建植物志(第1卷). 福州: 福建科学技术出版社, 1982: 439-456.
- [6] 张彦杰, 陈友铃, 吴文珊. 福州细叶榕(*Ficus microcarpa* Linn. f.) 榕果中榕小蜂的分类. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2011, 27(5): 73-78.
- [12] 王振吉, 彭艳琼, 杨大荣. 三种榕小蜂性比研究. 动物学研究, 2009, 30 (Suppl): 170-174.
- [15] 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.
- [16] 彭艳琼, 杨大荣, 王秋艳. 对叶榕传粉小蜂性比率的调节和稳定. 生态学报, 2005, 25(6): 1347-1351.
- [17] 宋波, 彭艳琼, 杨大荣. 母体亲缘关系在杨氏榕树金小蜂后代性比调节中的作用. 昆虫学报, 2008, 51(4): 411-416.
- [19] 戴志聪, 陈友铃, 刘亮, 郑翠芳, 吴文珊. 贮藏条件对薔荔榕小蜂存活的影响. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2010, 26(6): 109-120.
- [21] 马光昌, 胡好远, 黄大卫. 昆虫对榕树的适应进化. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2009, 32(4): 364-368.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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:1000717	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 70.00 元