

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

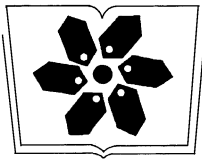
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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/stxb201210221465

孙芳, 陈中正, 段毕升, 贺张, 谢磊, 胡好远. 蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响. 生态学报, 2013, 33(14): 4354-4360.

Sun F, Chen Z Z, Duan B S, He Z, Xie L, Hu H Y. Mating behavior of *Pachycrepoideus vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4354-4360.

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数 对雌蜂繁殖的影响

孙 芳, 陈中正, 段毕升, 贺 张, 谢 磊, 胡好远*

(安徽师范大学生命科学学院, 安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室, 芜湖 241000)

摘要:多数昆虫能够进行多次交配, 随寄生蜂雄蜂交配次数的增加, 雄蜂体内精子减少, 雌蜂获得的精子数量减少, 产下更多的单倍体卵, 发育为雄性后代; 一些单寄生性的寄生蜂雌蜂一生仅能够交配 1 次。描述了蝇蛹金小蜂雌雄蜂的交配行为, 探讨了雄蜂交配次数对雌蜂后代产量等的影响以及雌蜂的可交配次数。结果表明, 交配过程包括求偶、交尾前期、交尾和交尾后期; 雄蜂已交配的次数并不能够显著影响其配偶的寿命、产卵期和后代总数量, 但显著影响到其配偶的雌、雄后代数量和性比。随雄蜂交配次数的增加, 与之交配的雌蜂的后代雄性百分比显著增大, 雌蜂在产卵期内更早地出现较多雄性后代, 体内精子不足的现象更加明显。无论已交配的蝇蛹金小蜂雌蜂在产卵期中是否出现精子不足, 均不能再次完成交配。

关键词:蝇蛹金小蜂; 性比; 交配; 行为; 进化策略

Mating behavior of *Pachycrepoideus vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females

SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, HE Zhang, XIE Lei, HU Haoyuan*

College of Life Sciences, Anhui Normal University, Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui Province, Wuhu 241000, China

Abstract: Most insects can mate multiple times. With the increasing of male mating frequency, male parasitoid wasps would have less sperm, and the female partners would gain less sperm during copulation, which will make them lay more unfertilized eggs, developing into male offspring. Some solitary female parasitoid wasps can only mate once in the life span. In this article, the mating behavior of the solitary endoparasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani, was described, with the pupae of houseflies as the hosts, and the effects of male mating frequency on the production of the female partners and the possible mating times of the mated females were studied. The results showed that the mating behavior of *P. vindemmiae* included courtship, precopulatory, copulation, and postcopulatory, which lasts (41.21 ± 83.16) s, (26.05 ± 17.99) s, (2.62 ± 0.62) s, and (30.43 ± 11.44) s, respectively. When mated with males for the 1st, 3rd, 6th, 9th, 12th, and 15th times, the longevity of the females was (11.18 ± 7.17) d, (10.82 ± 8.51) d, (9.09 ± 5.74) d, (9.36 ± 4.74) d, (9.64 ± 3.47) d, and (13.45 ± 7.03) d, respectively, and the oviposition duration was (9.73 ± 7.52) d, (9.82 ± 8.51) d, (7.55 ± 5.20) d, (8.18 ± 4.71) d, (8.55 ± 3.50) d, and (11.64 ± 7.50) d, respectively. The total progeny number was (57.00 ± 39.15) , (50.18 ± 35.52) , (44.18 ± 24.62) , (42.55 ± 15.69) , (47.27 ± 18.23) , and (62.09 ± 37.55) , respectively, and the male proportion was (0.21 ± 0.19) , (0.17 ± 0.06) , (0.27 ± 0.22) , (0.43 ± 0.31) , (0.45 ± 0.30) , and (0.63 ± 0.34) , respectively. The mating frequency of males did not significantly affected longevity,

基金项目:国家自然科学基金(31172145); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20113424120005); 安徽省教育厅自然科学基金(KJ2011A133); 重要生物资源保护和利用研究安徽省重点实验室基金和大学生创新性实验计划项目(201210370006, 201210370019)资助

收稿日期: 2012-10-22; 修订日期: 2013-06-30

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

oviposition duration and total progeny number of the female partners, but significantly affected the production of female and male progeny and offspring sex ratio, respectively. With the increasing of male mating times and with the increasing of female oviposition duration, daily female offspring number per foundress decreased, but male offspring number increased. When males mated for the 1st, 3rd, 6th, 9th, 12th, and 15th times, females laid offspring with male proportions higher than 50% on the 8th, 17th, 11th, 6th, 5th, 2nd day, respectively. The interaction of female ages and mating frequency affected offspring sex ratio significantly. After mated with the males which had mated multiple times, females laid more male offspring earlier, which suggests the sperm limitation in females was more obviously when they had mated with multiply mated males. Mated females could not finish mating again neither just after mating nor after they had laid eggs for 8 days, which suggests females might mate only once in their life span, no matter whether they lack sperm or not.

Key Words: *Pachycrepoideus vindemmiae*; sex ratio; mating; behavior; evolutionary strategy

对于多数昆虫而言, 雄性常常与多个雌性进行交配, 雌性也往往能接受雄性个体的多次交配^[1-2]。毫无疑问, 多次交配对于昆虫种群的延续有重要意义。对于雄性而言, 与更多的雌性进行交配能够获得更多后代; 而对于雌性而言, 多次交配也往往能够促进后代数量的增加^[1]。然而, 有资料表明, 多数寄生蜂的雌蜂仅具有单个配偶, 一些寄生蜂雌蜂一生仅交配 1 次, 而雄蜂可与多头雌蜂进行交配^[3-6]。随寄生蜂雄蜂交配次数的增加, 交配时提供给雌性的精子数量趋于减少, 但这些雄性仍能持续交配, 对其配偶的繁殖产生影响^[4-7]。寄生蜂的雄性个体一般为未受精的单倍型卵发育, 而雌性个体由受精的二倍型卵发育^[8]。雌蜂体内精子相对缺乏时, 将产出更高比例的未受精卵, 后代的雄性比例显著增加^[9]。

蝇蛹金小蜂 (*Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani) 是多种蝇类害虫蛹期常见寄生蜂种类, 属于小蜂总科 (Chalcidoidea) 金小蜂科 (Pteromalidae) 金小蜂亚科 (Pteromalinae), 为世界范围内的广布种^[10]; 在单个寄主体内一般仅有单头后代能完成发育, 为单寄生性寄生蜂, 并且寄生时, 能将寄主麻痹, 属于抑性寄生蜂^[11-12]。前期研究表明, 雌蜂产卵后期, 寄生蜂后代雄性比例增加, 表现出产卵者体内储存的精子数量出现缺乏^[13-14]。这可能与雄蜂的交配次数相关, 随雄蜂交配次数的增加, 与之交配的雌蜂获得的精子数量可能趋于减少, 从而出现更高比例的雄性后代。蝇蛹金小蜂雄蜂的交配次数, 可能对雌蜂的繁殖产生影响。本文在对蝇蛹金小蜂交配行为过程描述的基础上, 探讨了雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响程度, 并探讨了雌蜂再次交配的可能性。

1 材料与方法

1.1 材料来源与饲养

供试家蝇 (*Musca domestica*) 采自安徽师范大学赭山校区食堂附近, 并参照何凤琴^[15]的方法在室内进行人工饲养, 以获得家蝇蝇蛹。蝇蛹金小蜂为实验室常年饲养的芜湖株系^[13], 经中国科学院动物研究所肖晖副研究员鉴定。在人工气候箱内进行培养, 温度为 (25±1) °C, 光照强度为 60% (约 2000 lx) (L:D=14:10), 相对湿度为 RH=(50±5)%。饲养寄生蜂的培养器皿为直径 5 cm、高 9 cm 的透明玻璃杯, 蝇蛹和雌蜂比例为 10:1, 同时饲以 10% 的蜂蜜水。

实验前, 对家蝇幼虫饲养密度定量化, 以获得大小一致的蝇蛹 (长度在 6.0—6.5 mm 之间), 使用直尺 (精确到 0.5 mm) 对所用的蝇蛹进行测量, 获得近似等同大小的蝇蛹, 用作寄生蜂繁殖, 以确保寄生蜂后代大小近似。

1.2 蝇蛹金小蜂交配行为的研究

蝇蛹金小蜂为单寄生性寄生蜂, 一般在单头寄主体内仅能够羽化成熟单头后代^[11-13]。将即将羽化寄生蜂的寄主用 2 mL 冻存管单头分装, 获得未交配过的雌蜂和雄蜂。同时以脱脂棉沾取 10% 蜂蜜水补充营养, 喂食 1d。

在直径 4 cm、高 5 cm 的特制玻璃杯中, 放置 1 头未交配的雄蜂和雌蜂, 同时以脱脂棉沾取 10% 蜂蜜水补

充寄生蜂的营养。记录寄生蜂交配前的搜寻、求偶、交尾前期、交尾和交尾后期的时间长度,共记录 11 组;对交配的各阶段进行拍照。各阶段参照 King 和 Kuban^[16]:

求偶 从雄蜂追逐雌蜂至攀爬到雌蜂背上;

交尾前期 从雄蜂攀爬到雌蜂背上到雌蜂生殖孔打开;

交尾 从雌蜂生殖孔打开至雄性交配器抽出;

交尾后期 交尾结束至雄蜂从雌蜂背上离开。

1.3 蝇蛹金小蜂雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响

上述 11 组寄生蜂交配结束后,取出雌蜂,每间隔 10 min,分别再次给予 1 头未交配的雌蜂,各组雄蜂均连续交配 15 头雌蜂。将交配后雌蜂按顺序编排,供下一步实验使用。

雄蜂交配次数对雌蜂繁殖影响的实验分为 6 个处理组,分别以雄蜂第 1、3、6、9、12 和 15 次交配的雌蜂为产卵者,每处理组均为 11 个重复。在上述的特制玻璃杯中引入 1 头雌蜂,接入 10 头 1—2 日龄家蝇蛹,同时以脱脂棉沾取 10% 蜂蜜水补充营养。每天定时取出杯中蝇蛹,再放入 10 头 1—2 日龄的蝇蛹并更换蜂蜜水棉球。实验持续至产卵者全部死亡。每日将各杯中更换后的家蝇蛹分别装入直径 1 cm、高 5 cm 的冻存管中,棉塞封口。定期记录各管内羽化的雄蜂和雌蜂数量,管内蝇蛹在体式显微镜下镜检,记录未能成功钻出寄主蛹的寄生蜂后代。统计获得每头雌蜂的雌雄后代日产量、总产量和性比。

1.4 蝇蛹金小蜂雌蜂交配次数

将上述的其余交配次序时获得的雌蜂分为 2 组。第 1 组(雄蜂第 2、4、7、10 和 13 次交配的雌蜂各 11 头)在交配完成 10 min 后,对每头雌蜂均分别给予 1 头未交配的雄蜂,观察交配是否能够再次完成,如交配不能在 10 min 内完成则更换 1 头雄蜂,如果雄蜂连续更换 3 次,均不能完成交配,则将该雌蜂视为不能再次交配。第 2 组(雄蜂第 5、8、11 和 14 次交配的雌蜂各 11 头)每日分别给予 10 头 1—2 日龄的新鲜蝇蛹并喂饲蜂蜜水,寄生 8 d 后,再分别给予未交配过的雄蜂,按上述方法记录其是否具有交配能力。

1.5 数据分析

在 R2.13.0 软件^[17-18]中使用广义线性模型(Generalized Linear Model, GLM)分析了雌蜂产卵期和交配次数对寄生蜂后代数量、后代性比的影响。数量数据使用泊松分布模型,性比比例数据使用二项分布模型。建立模型后,根据模型的 HF (残差/df)值判定数据与泊松分布或二项分布的符合程度。较大的 HF 值($HF > 1$)意味着偏离泊松分布或二项分布,会导致显著性检验程度被高估;用近似泊松分布(quasipoisson)或近似二项分布(quasibinomial)进行模型拟合,对最后获得的模型用 F 检验进行分析^[18]。其它分析使用 SPSS11.5 软件完成。

2 结果与分析

2.1 蝇蛹金小蜂交配行为

蝇蛹金小蜂雌雄蜂交配行为主要过程图 1 所示。在雄蜂搜寻发现雌蜂后,经历求偶、交尾前期、交尾和交尾后期,完成交配。

搜寻和求偶 实验条件下,雌蜂发现雄蜂的历时为(85.55 ± 52.99)s;当雄蜂发现雌蜂后,震动翅膀追逐雌蜂,捕获雌蜂后,从雌蜂后面爬到雌蜂背上,整个求偶过程历时(41.21 ± 83.16)s。

交尾前期 交尾前,雄蜂用前足抱握雌蜂的胸部,中和后足抱握雌蜂腹部,有时以后足支撑身体,并以触角不断敲打雌蜂的触角,短暂接触后,雌蜂打开生殖孔,交尾前期历时(26.05 ± 17.99)s。

交尾 雌蜂打开生殖孔,雄蜂后退,将交配器插入雌蜂的生殖孔,并不停用触角敲打雌蜂的腹部。交尾期历时(2.62 ± 0.62)s。

交尾后期 交尾结束后,雄蜂向前移动到交尾前期的位置,仍会继续用触角不断敲打雌蜂的触角,这时雌蜂的生殖孔仍处于打开状态。随后雌蜂开始爬行,摆脱雄蜂,交尾后期历时(30.43 ± 11.44)s。

2.2 蝇蛹金小蜂交配次数对雌蜂后代繁殖的影响

雄蜂可以与多头雌蜂连续交配,雄蜂连续交配 15 次的雌蜂仍能产雌性后代,表明这时雄蜂仍能够提供精

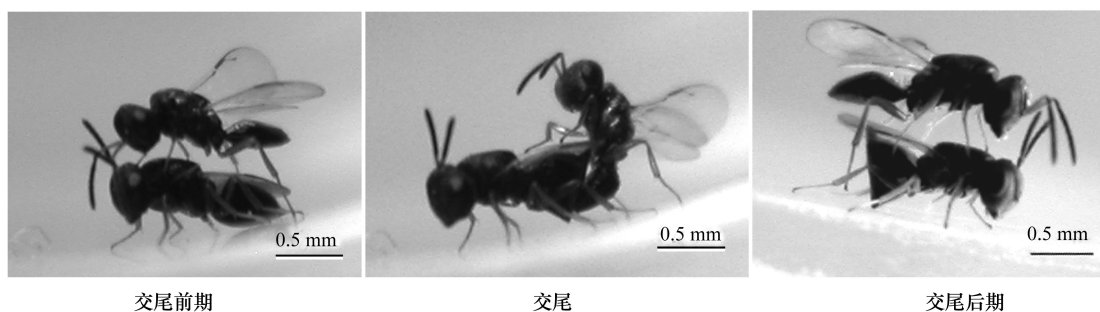


图1 蝇蛹金小蜂交配行为主要阶段

Fig.1 Main phases of mating behavior of *P. vindemmiae*

子。雄蜂交配第1、3、6、9、12和15次时,雌蜂寿命分别为 (11.18 ± 7.17) d、 (10.82 ± 8.51) d、 (9.09 ± 5.74) d、 (9.36 ± 4.74) d、 (9.64 ± 3.47) d和 (13.45 ± 7.03) d,雌蜂产卵期历时分别为 (9.73 ± 7.52) d、 (9.82 ± 8.51) d、 (7.55 ± 5.20) d、 (8.18 ± 4.71) d、 (8.55 ± 3.50) d和 (11.64 ± 7.50) d(图2)。雄蜂的交配次数对雌蜂的寿命并无显著影响($F_{5,60} = 0.73$, $P = 0.61$),对雌蜂的产卵期历时也无显著影响($F_{5,60} = 0.58$, $P = 0.72$)。

各交配次数时产卵者后代总产量分别为 (57.00 ± 39.15) 、 (50.18 ± 35.52) 、 (44.18 ± 24.62) 、 (42.55 ± 15.69) 、 (47.27 ± 18.23) 和 (62.09 ± 37.55) 头(图3);单个产卵者所有后代的雄性百分比分别为 (0.21 ± 0.19) 、 (0.17 ± 0.06) 、 (0.27 ± 0.22) 、 (0.43 ± 0.31) 、 (0.45 ± 0.30) 和 (0.63 ± 0.34) 头。交配次数对后代总产量无显著影响($F_{1,578} = 0.26$, $P = 0.61$);但随雄蜂交配次数的增加,各产卵者的雌蜂后代总数量显著减少($r = -0.38$, $P < 0.01$),雄蜂后代总数量则显著增加($r = 0.36$, $P < 0.01$),单个产卵者总后代的雄性百分比也随交配次数的增加而显著增大($r = 0.52$, $P < 0.01$)。

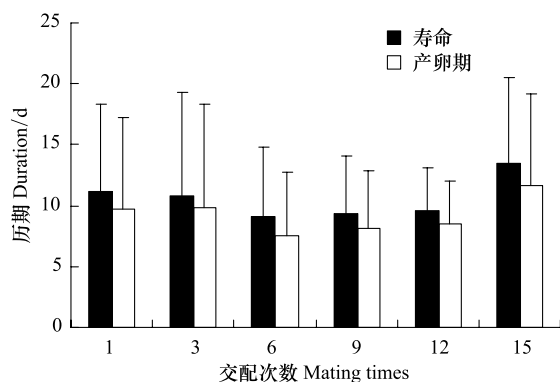


图2 蝇蛹金小蜂雄蜂各交配次数时雌蜂的寿命和产卵期

Fig.2 Longevity and oviposition duration of *P. vindemmiae* females when mated with males mated different times

雄蜂的交配次数对雌蜂的寿命和产卵期历时无显著影响

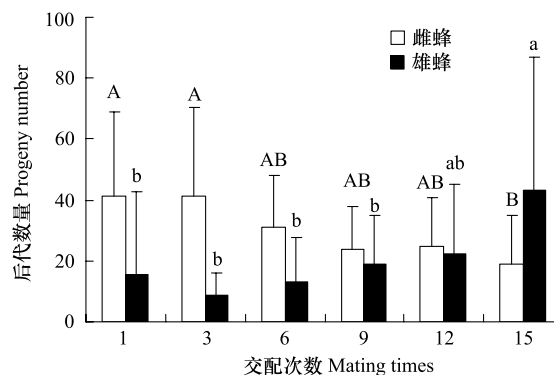


图3 蝇蛹金小蜂雄蜂各交配次数时后代数量

Fig.3 Progeny number of *P. vindemmiae* females when mated with males mated different times

不同大写字母表示雌蜂各处理间 0.05 水平差异显著,不同小写字母表示雄蜂各处理组间 0.05 水平差异显著

雄蜂交配第1、3、6、9、12和15次时,雌蜂日后代产量和性比如图4所示。在各交配次数下,日后代总数中,雄性百分比超过50%情况分别出现在第8、17、11、6、5和2天。后代雌蜂产量极显著地受亲代雄蜂交配次序的影响($F_{1,578} = 169.35$, $P < 0.01$),随亲代雄蜂的交配次数增加,后代雌蜂数量显著减少;亲代雌蜂日龄也对后代雌蜂产量有极显著影响($F_{1,577} = 563.17$, $P < 0.01$),随亲代雌蜂产卵期延长,后代雌蜂数量显著减少;交配次序和日龄间的交互作用对后代雄蜂产量存在极显著影响($F_{1,576} = 133.32$, $P < 0.01$),表明交配次序和雌蜂日龄的影响并不是独立的,亲代雄蜂的交配次数越多,产卵者后代雌蜂数量越显著地随产卵期延长而减少(图4)。

后代雄蜂产量受亲代雄蜂交配次序影响极显著 ($F_{1,578}=223.08$, $P<0.01$), 随亲代雄蜂交配次数的增加, 后代雄蜂数量显著增加; 亲代雌蜂日龄也对后代雄蜂产量有显著影响 ($F_{1,577}=4.10$, $P=0.04$), 在亲代雌蜂产卵后期, 后代中雄蜂显著增多; 交配次序和日龄间的交互作用对后代雄蜂产量有极显著影响 ($F_{1,576}=8.25$, $P<0.01$), 在与已交配多次的雄蜂进行交配后, 雌蜂后代的雄蜂数量更显著地增加 (图 4)。

蝇蛹金小蜂后代性比受亲代雄蜂交配次序影响极显著 ($F_{1,578}=401.75$, $P<0.01$), 随亲代雄蜂交配次数的增加, 后代雄性百分比极显著增加; 亲代雌蜂日龄也对后代性比有极显著影响 ($F_{1,577}=337.23$, $P<0.01$), 在亲代雌蜂产卵后期, 后代雄性百分比显著增大; 交配次序和日龄间的交互作用对后代性比有极显著影响 ($F_{1,576}=48.29$, $P<0.01$), 在与多次交配的雄蜂进行交配后, 雌蜂后代的雄性百分比更显著地增加 (图 4), 雌蜂产卵期内更早地出现精子不足。

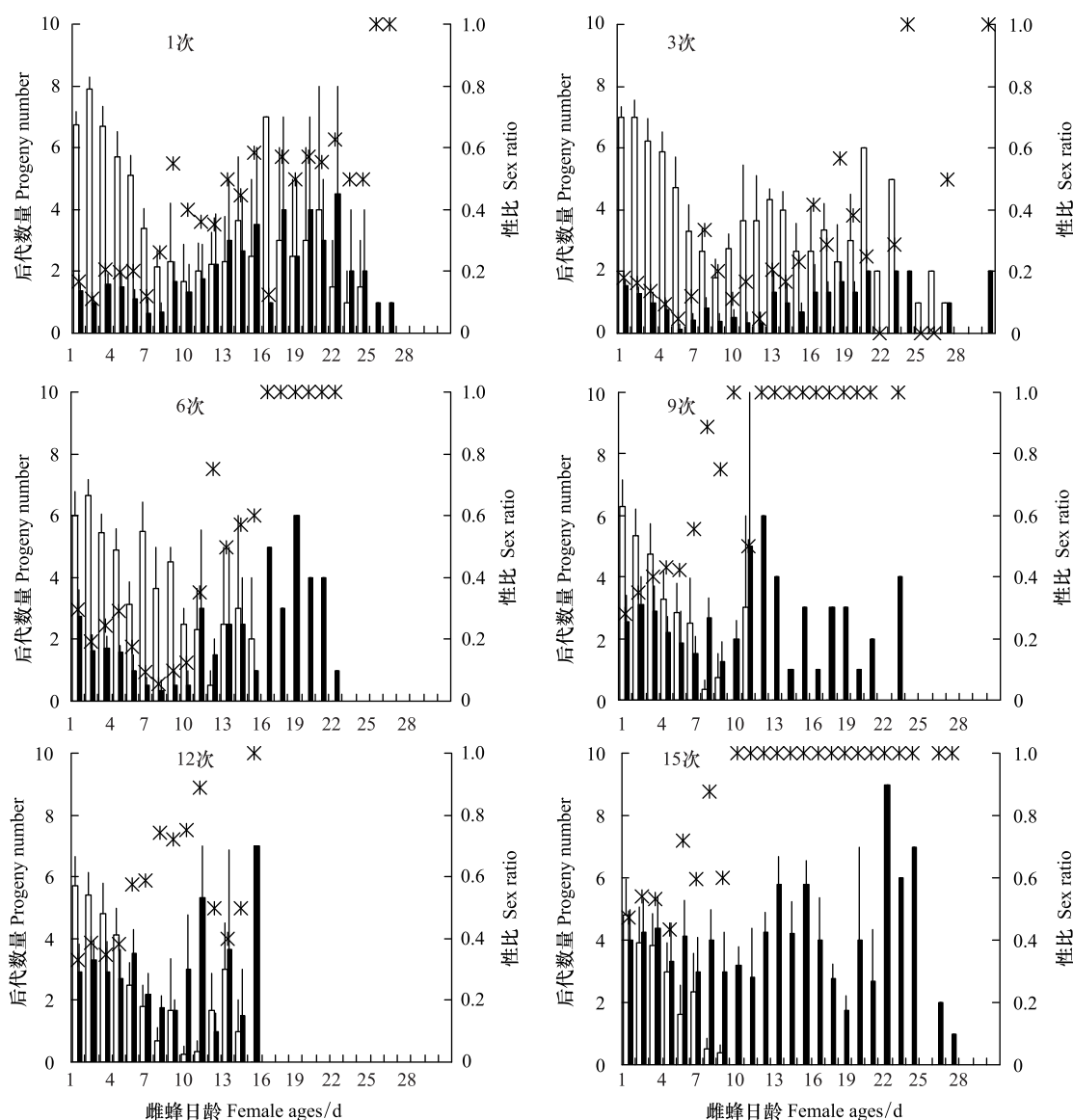


图 4 蝇蛹金小蜂雄蜂各交配次数下雌蜂每天的后代数量和性比

Fig. 4 Daily progeny number and sex ratio of *P. vindemmiae* females when mated with males mated different times

空心和实心数列分别代表雌蜂和雄蜂, * 代表性比

2.3 蝇蛹金小蜂雌蜂的交配次数

雄蜂第 2、4、7、10、13 次交配的雌蜂在完成交配的 10min 后, 所有雌蜂均不能与雄蜂再次完成交配 ($N=$

55); 虽然雄蜂仍具有追逐已交配的雌蜂的行为, 甚至能够爬到雌蜂的背上, 但雌蜂的生殖孔不能再次打开。已交配的雌蜂产卵 8 d 后, 再次给予未交配过的雄蜂时, 所有雌蜂仍不能再次完成交配 ($N=44$)。

3 讨论

随寄生蜂雄蜂交配次数的增加, 交配时能提供给雌性的精子数量趋于减少^[4-7, 20-22]。佣小蜂 *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae) 雄蜂羽化后, 体内的精子数量是固定的, 不会再产生新的精子^[19]; 但这些精子枯竭的雄性还能持续交配, 从而导致与之交配的雌蜂体内精子数量的降低, 引起产卵后期寄生蜂后代雄性比例的更显著增大^[19-20]。与初次交配时体内精子数量相比, 交配 7 次后, 寄生蜂 *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) 雄蜂体内精子数量减少近一半, 导致给予雌蜂精子不足, 雌蜂的雄性后代增加^[7]。本研究结果显示, 随着蝇蛹金小蜂雄蜂交配次数的增加, 与之交配的雌蜂后代雄性比例显著增大, 雌蜂在产卵期中更早地出现精子不足; 但精子不足的雄蜂仍能继续交配。

在雌雄交配策略方面, 寄生蜂雄蜂一般可以同多个雌蜂进行交配, 而一些种类的雌蜂常常仅能交配 1 次, 这种现象在单寄生性(在单头寄主内产下单个卵)寄生蜂中可能更加普遍^[3]。在单寄生性寄生蜂中, 蝇蛹佣小蜂 (*S. endius*) (Hymenoptera: Pteromalidae) 雌蜂在一生中常常仅能交配 1 次, 即使在产卵后期精子枯竭时^[4-6]; 寄生蜂 *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae) 的大多数雌蜂一生仅能交配 1 次, 少数的再次交配行为与雌蜂体内的精子数量并无相关性^[21]。对聚寄生性(在单头寄主内产下多个卵)寄生蜂 *Cephalonomia hyalinipennis* (Hymenoptera: Bethyidae) 的研究表明, 已交配的雌蜂可与雄蜂再次交配, 但交配持续时间明显延长^[22]; 聚寄生性寄生蜂丽蝇蛹集金小蜂 (*Nasonia vitripennis*) (Hymenoptera: Pteromalidae) 雌蜂也能够再次进行交配^[23-24]。聚寄生性寄生蜂在单个寄主体内往往存在多头后代, 并存在亲属间的竞争, 雌蜂多次交配可能会有助于减少这种竞争; 而这种竞争在单寄生性种类中并不存在, 有助于单寄生性寄生蜂形成单次交配现象^[3]。本研究结果也表明, 在蝇蛹金小蜂交配完成后, 所有雌蜂均不能与雄蜂再次完成交配; 已交配的雌蜂产卵 8d 后, 多数雌蜂后代中雄性百分比已经开始增加, 表明雌蜂体内的精子已经减少, 但雌蜂仍不能再次完成交配。可见, 无论交配对象是否提供足够的精子以及精子是否出现不足, 蝇蛹金小蜂雌蜂均仅能完成单次交配, 其一生中可能仅能完成单次交配。

对于多数昆虫而言, 雌性多次交配可以增加适合度^[1]。然而, 雌雄个体在交配时, 常常具有不同交配倾向, 导致性别间冲突产生^[25-26]。对于雄性而言, 其适合度主要体现在与高质量雌性进行交配的能力, 它们进化形成多种策略来控制雌性的再次交配能力, 并可能影响到雌性的后代产量和寿命^[26-27], 通过减少其它雄性与雌性的接触和交配, 来实现自身利益最大化^[26-28]。在受精时, 雄性不仅仅传递精子, 也包括一些雄性附属腺体分泌的肽聚糖等生物活性物质; 这些物质降低了雌性的生理反应, 产生对其它雄性的不应性, 这种雄性交配主导地位可能是引起雌蜂单次交配行为产生的重要原因^[29]。

References:

- [1] Armqvist G, Nilsson T. The evolution of polyandry: multiple mating and female fitness in insects. *Animal Behaviour*, 2000, 60 (2): 145-164.
- [2] Reynolds J D. Animal breeding systems. *Trends in Ecology & Evolution*, 1996, 11 (2): 68-72.
- [3] Ridley M. Clutch size and mating frequency in parasitic hymenoptera. *American Naturalist*, 1993, 142 (5): 893-910.
- [4] King B H, Fischer C R. Male mating history: effects on female sexual responsiveness and reproductive success in the parasitoid wasp *Spalangia endius*. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 2010, 64 (4): 607-615.
- [5] King B H, Bressac C. No fitness consequence of experimentally induced polyandry in a monandrous wasp. *Behaviour*, 2010, 147 (1): 85-102.
- [6] King B H, Saporito K B, Ellison J H, Bratzke R M. Unattractiveness of mated females to males in the parasitoid wasp *Spalangia endius*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2005, 57 (4): 350-356.
- [7] Damiens D, Boivin G. Male reproductive strategy in *Trichogramma evanescens*: sperm production and allocation to females. *Physiological Entomology*, 2005, 30 (3): 241-247.
- [8] Charnov E L. The theory of sex allocation. Princeton: Princeton University Press, 1982.
- [9] Godfray H C J. Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology. Princeton: Princeton University Press, 1994.

- [10] Noyes J S. Interactive catalogue of world Chalcidoidea (CD-ROM). London: Taxapad and the Natural History Museum, 2002.
- [11] Wang X G, Messing R H. Two different life-history strategies determine the competitive outcome between *Dirhinus giffardii* (Chalcididae) and *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pteromalidae), ectoparasitoids of cyclorrhaphous Diptera. *Bulletin of Entomological Research*, 2004, 94 (5): 473-480.
- [12] Tormos J, Beitia F, Bockmann E A, Asis J D, Fernandez S. The preimaginal phases and development of *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera, Pteromalidae) on mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Microscopy and Microanalysis*, 2009, 15 (5): 422-434.
- [13] Chen Z Z, Liu J B, He Z, Duan B S, Hu H Y. Strategies of *Pachycrepoideus vindemmiae* parasitizing pupae of houseflies. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (6): 1765-1769.
- [14] Hu H Y, Chen Z Z, Duan B S, Zheng J T, Zhang T X. Effects of female diet and age on offspring sex ratio of the solitary parasitoid *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani, 1875) (Hymenoptera, Pteromalidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 2012, 56 (2): 259-262.
- [15] He F Q. Massive rearing of the houseflies. Beijing: Jin Dun Publishing House, 2006: 39-67.
- [16] King B H, Kuban K A. Should he stay or should he go: male influence on offspring sex ratio via postcopulatory attendance. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2012, 66 (8): 1165-1173.
- [17] R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>. 2011.
- [18] Crawley M J. The R book. Chichester: John Wiley and Sons, 2007.
- [19] Gerling D, Legner E F. Developmental history and reproduction of *Spalangia cameroni* parasite of synanthropic flies. *Annals of the Entomological Society of America*, 1968, 61 (6): 1436-1443.
- [20] King B H. Sperm depletion and mating behavior in the parasitoid wasp *Spalangia cameroni* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Great Lakes Entomologist*, 2000, 33 (2): 117-127.
- [21] Steiner S, Henrich N, Ruther J. Mating with sperm-depleted males does not increase female mating frequency in the parasitoid *Lariophagus distinguendus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2008, 126 (2): 131-137.
- [22] Pérez-Lachaud G. Reproductive costs of mating with a sibling male: sperm depletion and multiple mating in *Cephalonomia hyalinipennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2010, 137 (1): 62-72.
- [23] Grillenberger B K, Van de Zande L, Bijlsma R, Gadau J, Beukeboom L W. Reproductive strategies under multiparasitism in natural populations of the parasitoid wasp *Nasonia* (Hymenoptera). *Journal of Evolutionary Biology*, 2009, 22 (3): 460-470.
- [24] Burton-Chellew M N, Beukeboom L W, West S A, Shuker D M. Laboratory evolution of polyandry in the parasitoid wasp *Nasonia vitripennis*. *Animal Behaviour*, 2007, 74 (5): 1147-1154.
- [25] Chapman T, Arnqvist Gr, Bangham J, Rowe L. Sexual conflict. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18 (1): 41-47.
- [26] Snook R R. Sexual selection: conflict, kindness and chicanery. *Current Biology*, 2001, 11 (9): R337-R341.
- [27] Chapman T, Liddle L F, Kalb J M, Wolfner M F, Partridge L. Cost of mating in *Drosophila melanogaster* females is mediated by male accessory gland products. *Nature*, 1995, 373 (6511): 241-244.
- [28] Zhu D H. Sperm competition and adaptive significance of prolonged post-copulatory mounting in *Oxya yezoensis* (Orthoptera: Catantopidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (1): 84-88.
- [29] Gillott C. Male accessory gland secretions: modulators of female reproductive physiology and behavior. *Annual Review of Entomology*, 2003, 48 (1): 163-184.

参考文献:

- [13] 陈中正, 刘继兵, 贺张, 段毕升, 胡好远. 蝇蛹金小蜂对家蝇蛹的寄生策略. *应用昆虫学报*, 2011, 48 (6): 1765-1769.
- [15] 何凤琴. 家蝇规模化养殖. 北京: 金盾出版社, 2006.
- [28] 朱道弘. 小翅稻蝗的精子竞争及交配行为的适应意义. *生态学报*, 2004, 24 (1): 84-88.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《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 骆世明

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 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 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