

胸窗萤的生殖习性

王余勇 郑霞林 付新华 雷朝亮*

(华中农业大学植物科学技术学院 昆虫资源研究所 武汉 430070)

Reproductive behavior of the terrestrial firefly, *Pyrocoelia pectoralis*. WANG Yu-Yong, ZHENG Xia-Lin, FU Xin-Hua, LEI Chao-Liang* (Institute of Insect Resources Research, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The reproductive systems of male and female adults of the *Pyrocoelia pectoralis* Olivier were described. The mating and ovipositing behavior was also observed in field and laboratory. Each female can mate immediately after emergence and had several different from males in whole life. The duration of mating usually lasted for (82.5 ± 34.8) min ($n=15$). In this process, the male attracted to the female first, before the male coupled with the female. The competitive behavior among mating males of *P. pectoralis* was ubiquitous. The longevity of the female adult lasted for (8.87 ± 2.06) d ($n=30$), and the average number of eggs was (72.03 ± 34.38) ($n=30$) at $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. The total number of eggs laid by mated female was correlated with female's initial mass ($y=235.28x-20.38$, $R^2=0.7283$, $df=43$, $P<0.01$), and the percentage of the egg laid everyday was also correlative to the day-age ($y=1.5339e^{-0.9148x}$, $R^2=0.9987$, $df=5$, $P<0.01$). The result of factor analysis showed that morphological and physiological factors, influenced mainly female fecundity.

Key words firefly, *Pyrocoelia pectoralis*, reproductive behavior

摘 要 研究胸窗萤 *Pyrocoelia pectoralis* Olivier 雌、雄成虫生殖系统、交配和产卵行为。描述雌雄成虫在求偶过程中的多种行为：寻找、竞争、抱对、交配、受精。雌雄交配时间可持续 (82.5 ± 34.8) min ($n=15$)，雌雄均有多次交配现象。雌虫羽化后可立即交配产卵。在 $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 室温下，雌虫寿命 8.87 ± 2.06 d ($n=30$)，雌萤平均产卵量为 72.03 ± 34.38 粒 ($n=30$)，产卵量与雌虫体重呈正相关关系 ($y=235.28x-20.38$, $R^2=0.7283$, $df=43$, $P<0.01$)；而产卵日龄与每日产出率呈指数函数关系 ($y=1.5339e^{-0.9148x}$, $R^2=0.9987$, $df=5$, $P<0.01$)。因子分析结果显示，影响雌虫生殖力的因子可以归为外部形态因子和内在生理因子。

关键词 萤火虫，胸窗萤，生殖习性

胸窗萤 *Pyrocoelia pectoralis* Olivier 属于鞘翅目 Coleoptera，花萤总科 Cantharoidea，萤科 Lampyridae，窗萤属 *Pyrocoelia*。分类上最早记录于1883年^[1]。早期文献记载该种仅分布于中国大陆，但无详细的描述以及相关后续研究^[1]。作者调查显示：胸窗萤广泛分布于湖北武汉、鄂州、宜昌、秭归、孝感等地。在武汉地区完成1个世代需要1~2年，以幼虫或卵越冬；成虫发生于每年的10~11月。胸窗萤幼虫是同型巴蜗牛 (*Bradybaena similaris* Férussac) 和灰巴蜗牛 (*Bradybaena ravidissima* Benson) 的重要天敌之一，具有潜在的经济价值。但是，近年来由于人

为破坏及自然环境的改变等因素，造成胸窗萤栖息地环境恶化，种群数量急剧下降。建立专门的“复育”场所，创造安全的栖息环境已经成为保护和利用该种萤火虫所要解决的重要问题之一。为此，作者对胸窗萤的生殖习性进行了研究，以期为该种萤火虫的人工饲养和保护提供参考。现将结果报道如下。

* 通讯作者, E-mail: iior@mail.hzua.edu.cn

收稿日期: 2006-05-26, 修回日期: 2006-07-11

1 材料与方法

1.1 供试昆虫及饲养

胸窗萤幼虫、成虫均采自湖北省武汉市南湖附近潮湿草地及灌木丛,于室内(25±2)℃条件下人工饲养。饲养方法:将老熟幼虫置于铺有湿润吸水纸的透明塑料盒内(规格:3 cm×4 cm×5 cm)单头饲养,饲养盒加盖以防止幼虫逃逸,盒盖上打小孔便于通气。每日供给灰巴蜗牛(*B. ravidarvada* Benson)活体,隔天补充食物并更换吸水纸,直至羽化。

1.2 生殖系统观察

选取羽化后1~3 d的雌雄成虫,用乙醚麻醉后,将其固定在装有解剖液(配方:NaCl 0.65 g;KCl 0.25 g;CaCl₂·2H₂O 0.03 g;NaHCO₃ 0.02 g;蒸馏水 100 mL)的蜡盘中,解剖观察成虫生殖系统。描述方法参考 Jeng 等的方法^[2]。

1.3 求偶行为观察

参考付新华等的方法并加以改进^[3]。10月中旬,胸窗萤成虫发生期,在其栖息地每隔3 m放置1个求偶台。日落后,将室内羽化1 d的未交配雌萤放入求偶台,观察成虫求偶行为。用摄像机(Sony Digitalzoom DCR-TRV530E PAL)及夜视仪(Super Night 1000DX)拍摄雌雄萤在整个求偶过程中的闪光信号。将拍摄的录像转录成 mpeg 格式进行分析,记录各阶段闪光信号的特征。

1.4 生殖力

待老熟幼虫化蛹后,将其单头置于编号的塑料盒中,盒底铺有湿润吸水纸。羽化当日称重,并测量雌萤的体长、体宽。将当日羽化的雌萤与野外采集的雄萤进行配对,24 h后取出雄萤。观察交配后的雌虫产卵行为,记录雌萤产卵开始和终止日期、每日产卵量、雌萤死亡日期,计算出产卵前期、产卵期、产卵后期。将停止产卵的雌萤称重后并解剖,记录未产出的卵量,得到总怀卵量和体重变化量。

1.5 数据分析

采用 MS EXCEL 和 SAS (The SAS System for Windows v. 6.12) 软件进行回归分析和因子分

析^[4]。重复数据计算平均数和标准差。

2 结果

2.1 生殖系统特征

胸窗萤成虫具雌雄二型性,雌雄内外生殖器在蛹末期已经发育完成,模式图见图1。

雄性生殖系统(封底彩插图版 V: A): 胸窗萤雄性内生殖器包括2个近球形精巢、1对输精管、1对膨大的贮精囊、1条射精管和2条短小的附腺。

雌性生殖系统(封底彩插图版 V: B): 产卵管粗而短,端部具有1对突起,具有黄褐色细毛。生殖腔前方连接2个生殖附腺,输卵管一侧具有1圆形储精囊;2条侧输卵管长度可达胸部;卵巢管成对排列于侧输卵管上,分布于整个腹部和胸部。卵巢管无滋养细胞,每条卵巢管内含3~6粒大小各异的球形卵细胞。雌萤外生殖器无明显膨大的交配囊。

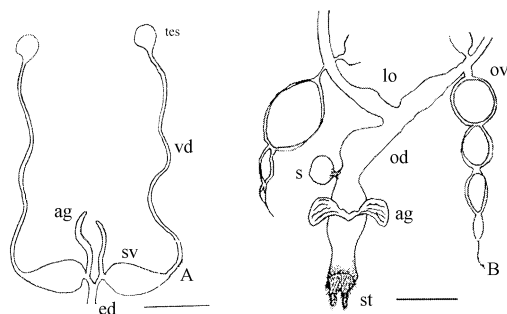


图1 雌雄成虫生殖器

A. 雌虫生殖系统 B. 雄虫外生殖器

tes. 精巢 vd. 输精管 ag. 附腺 sv. 贮精囊 ed. 射精管
st. 突起 ag. 附腺 s. 储精囊 od. 输卵管 lo. 侧输卵管
ov. 卵巢管 标尺=0.5 mm

2.2 生殖习性

2.2.1 羽化与性成熟: 野外调查发现, 胸窗萤成虫于每年10月上旬开始出现, 中旬达到高峰, 随后明显下降, 11月初基本不见成虫。通常雄萤先于雌萤出现。雌萤羽化后能立即进行求偶及交配活动。

2.2.2 求偶与交配行为: 日落后, 栖息于植被中的雌、雄成虫开始闪光, 闪光时间和间隔时间

均较长。大约 5~20 min 后,雄萤从植被中飞起,开始寻找雌萤。雄萤飞行方式多样。求偶初期,大多数雄萤会大范围快速飞行以寻找雌虫,飞行速度约 2~4 m/s,飞行高度离地面约 5 m 左右。此时闪光信号的持续时间为 4~7 s,间隔时间 3~9 s。当雄萤发现雌萤时,通常会在雌萤栖息地上空缓慢飞行,速度约 0.3~0.7 m/s,距离地面约 0.5~2 m,闪光信号持续时间约 2~8 s,间隔 2~6 s。雄萤定位雌萤后,迅速降落至雌萤附近。雄萤飞行寻找和定位过程中,雌萤通常将尾部发光器向侧上方翘起,发出持续时间为 3~6 s 的单脉冲闪光信号。另外,雄萤降落后,快速爬行搜索雌萤。此时雄萤触角呈“V”形并不断摆动。雄萤对雌萤刚爬过或停留过的草茎和枯枝能表现出较强的兴奋行为,具体反应为急促爬行、触角摆动速度明显加快、头部直接与草茎和枯枝表面接触等,个别雄萤甚至伸出外生殖器试图交尾。雄萤的上述行为反应说明,雌萤可以通过爬行后留下的信息化

合物吸引雄萤前来交配。

交配开始时,雄萤爬上静息闪光的雌萤背部,用足抱住雌萤,跗节紧紧抓住雌萤腹部两侧,停在雌萤背面。利用触角、下颚须及下唇须在雌萤背板上摩擦,并用足来回快速敲击雌萤体躯;雌萤在雄萤的刺激下很快便开始交尾。交尾过程中,雌萤通常静息不动,腹部末端弯曲,抱住雌萤外生殖器(见封底彩插图版 V: B)。胸窗萤交配时间约为 $(82.5 \pm 34.8) \text{ min}$ ($n=15$),个别交配时间超过 23 h。交配期间少见有闪光。交配结束,雌、雄萤分开并各自迅速离开(表 1)。胸窗萤在交尾过程中具有强烈的竞争现象,1 头雌萤周围常出现 2 头及以上雄萤前来竞争(见封底彩插图版 V: A);竞争的雄萤利用其前胸背板或鞘翅末端将正在交尾的雌雄成虫分开,从而获得交尾机会。雌、雄萤均能多次交尾。胸窗萤的求偶和交配活动受外界条件的影响极大。降雨、大风、满月及人工光源等均能干扰成虫的求偶和交配活动。

表 1 胸窗萤求偶交配行为序列

行为序列		观察样本量 (对)	求偶环节持续时间 (min)
雄萤	雌萤		
静止闪烁	静止闪烁	23	13.6±6.9
起飞、远距离搜索,发出求偶信号	缓慢爬行或静止,发出光信号求偶	20	32.6±12.8
低空飞行,定位雌萤、降落	闪烁	15	9.5±5.7
触觉刺激、闪光;伸出外生殖器 (此阶段可见雄虫间的竞争行为)	静止闪烁,伸出外生殖器	15	6.7±3.4
交尾、少有闪烁	交尾、少有闪烁	15	82.5±34.8

2.2.3 生殖力:自然条件下,雌虫通常将卵产于土缝、落叶及其它隐蔽场所。室内观察发现,初产的卵近椭圆形,浅黄色,卵壳柔软。卵壳外表包被一层浅褐色具有特殊气味的粘稠状分泌物。雌虫产卵 1~6 次,聚集成堆,最大值达 117 粒/雌;单头雌萤产卵量为 (72.03 ± 34.38) 粒 ($n=30$),最大值达 208 粒。交配产卵的雌萤寿命为 $(8.87 \pm 2.06) \text{ d}$ ($n=30$),产卵前期 $(1.93 \pm 0.94) \text{ d}$ ($n=30$),产卵期 $(3.07 \pm 1.08) \text{ d}$ ($n=30$),产卵后期 $(3.87 \pm 1.20) \text{ d}$ ($n=30$)。未交配的雌萤亦能产卵,但其特征值与交配雌萤存在差异(表 2)。

胸窗萤雌萤产卵量(y)与雌萤初始重量

表 2 交配与未交配雌萤生殖特征比较

(样本量: $n=30$)

	交配雌虫	未交配雌虫	t 值
成虫寿命(d)	8.87 ± 2.06	6.93 ± 1.46	4.19**
产卵前期(d)	1.93 ± 0.94	1.73 ± 0.74	0.91
产卵期(d)	3.07 ± 1.08	2.33 ± 0.66	3.17**
产卵后期(d)	3.87 ± 1.20	2.87 ± 0.94	3.61**
总怀卵量(粒/雌)	102.76 ± 38.62	95.90 ± 21.46	0.84
产卵量(粒/雌)	72.03 ± 34.38	40.62 ± 14.47	4.53**
日均产卵量(粒/雌/d)	25.68 ± 15.26	14.66 ± 7.15	3.53**
产出率(%)	68.99 ± 13.38	41.53 ± 8.70	9.27**

* 表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$ 。

(x)呈正相关关系: $y=235.28x-20.382$ ($R^2=0.7283$, $df=43$, $P<0.01$),回归方程极显著(图 2)。另外,胸窗萤雌萤羽化当天即可交配

产卵。雌萤交配后第 1 d 的平均产卵量最大, 随后逐渐减少, 3 d 左右能将体内 85% ~ 90% 的卵产出。每日产卵率(y)与产卵日龄(x)的

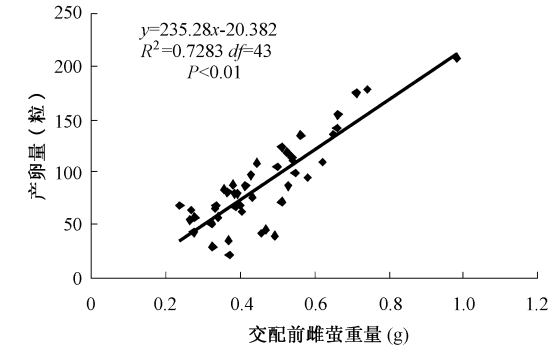


图 2 胸窗萤雌萤交配前重量与产卵量之间关系

进一步研究雌虫生殖力特征, 对交配雌萤的体长(x_1)、体宽(x_2)、体重(x_3)、产卵量(x_4)、总怀卵量(x_5)、体重变化量(x_6) 6 个特征值的观测数据进行因子分析(表 3), 结合胸窗萤的生物学特征可得: f_1 可以作为外部形态因子, 其方差贡

$$\begin{cases} f_1 = 0.389\ 6x'_1 + 0.415\ 3x'_2 + 0.355\ 2x'_3 - 0.286\ 3x'_4 - 0.049\ 1x'_5 - 0.008\ 8x'_6 \\ f_2 = -0.148\ 0x'_1 - 0.183\ 4x'_2 - 0.083\ 3x'_3 + 0.586\ 1x'_4 + 0.362\ 7x'_5 + 0.318\ 5x'_6. \end{cases}$$

(公式 1)

表 3 采用方差极大正交旋转变换后的公因子系数及公因子方差

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	λ_j	%	$\sum_j$
f_1	0.903 0	0.921 2	0.906 8	0.106 6	0.441 3	0.488 2	2.930 9	48.85	48.85
f_2	0.265 6	0.220 2	0.368 9	0.975 9	0.810 6	0.767 2	2.453 2	40.89	89.74
h_i^2	0.886 0	0.897 2	0.958 3	0.963 8	0.851 8	0.826 9	5.384 0		

3 讨论

目前, 对萤火虫生殖特性的研究, 主要集中于北美洲 *Photinus* 属 *P. ignitus* Fall, *P. marginellus* L., *P. collustrans* LeConte^[5~7] 和亚洲窗萤属 *Pyrocoelia rufa*, *P. fumosa* 等少数几种^[8]。Van der Reijden 等研究认为 *P. ignitus* 和 *P. marginellus* 雄萤具有 4 对生殖器附腺, 精包在 1 对附腺中形成并经过交配传递到雌萤体内, 雌萤不仅能受精, 还可以从精包中获得额外的营养物质以供卵细胞的发育^[9]。Hayashi 和 Suzuki 研究了 10 属 20 种雄萤的生殖系统发现, 窗萤属 *P. nufa* 和 *P. fumosa* 雄萤仅有 1 对短

关系用非线性回归方程表示为: $y = 1.533\ 9e^{-0.9148x}$ ($df = 5$, $R^2 = 0.998\ 7$, $P < 0.01$), 回归方程极显著(图 3)。

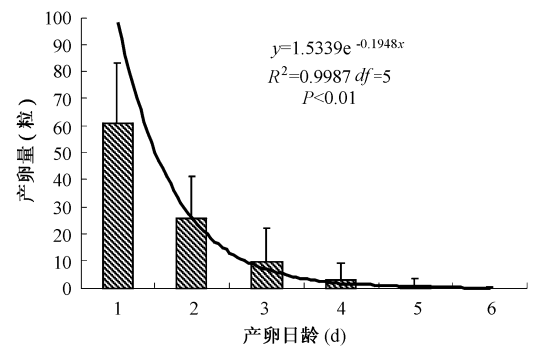


图 3 胸窗萤雌萤产卵日龄与日产卵率之间关系

献率为 48.85%, 即体长、体宽、体重三者的值越大, 则 f_1 越大; f_2 在产卵量、总怀卵量和体重变化量上有较大的载荷, 方差贡献率为 40.89%, 可以作为内在生理因子。两因子累计贡献率达 89.74%, 标准化因子得分模型见公式 1。

小的附腺, 不产生精包^[8]。本研究结果显示胸窗萤雄萤生殖系统与 *P. rufa*, *P. fumosa* 类似; 雌萤卵巢管属于无滋式卵巢管, 卵细胞发育所需要的营养物质可能主要来自幼虫期的积累。

胸窗萤求偶过程中, 雌萤发出频率相对稳定的闪光信号, 对雄萤的闪光信号并无相应的回应行为。推测胸窗萤雌、雄成虫的闪光信号无严格的“应答模式^[9,10]”, 雌萤的发光姿势和闪光信号可能仅对雄萤产生视觉刺激作用。另外, 胸窗萤雌萤可以通过释放信息化合物吸引雄萤前来交配, 该特征与 *P. nufa* 相似, 属于 PR

型^[9,10]。

胸窗萤成虫不取食,为不需要营养型。雌萤羽化后可立即交配并产卵。雌萤体重与产卵量之间呈正相关,与北美萤火虫 *P. collustrans* 类似^[8]。因子分析结果显示,外部形态因子与内在生理因子是影响生殖力的两大因子。但是,刺激产卵的具体机制以及各因子的具体作用都还有待进一步研究。

致谢 承蒙日本横须贺市自然人文博物馆大场信义博士及美国佛罗里达大学昆虫和线虫学系 Lloyd 教授寄送部分研究资料并给与指导。华中农业大学昆虫资源研究所王俊刚、王小平、赵福、王柏海、熊强、袁洪海等协助开展野外调查。

在此表示诚挚的谢意!

参 考 文 献

1 McDermott F. A. *Trans. Am. Entomol. Soc.*, 1964, **90**(1): 1~72.

2 Jeng M. L., Lai J., Yang P. S. *Jpn. J. syst. Ent.*, 1999, **5**(2): 347~362.

3 付新华, Ohba N., 王余勇, 雷朝亮. 昆虫学报, 2005 **48** (2): 227~231.

4 余家林. 农业多元试验统计. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 204~218.

5 Demary K. C. *J. Insect Physiol.*, 2005, **51**(7): 837~841.

6 Van der Reijden E. D., Monchamp J. D., Lewis S. M. *Can. J. Zool.*, 1997, **75**(8): 1202~1205.

7 Wing S. R. *J. Insect. Behav.*, 1989, **2**(6): 841~847.

8 Hayashi F., Suzuki H. *Entomol. Sci.*, 2003, **6**(1): 3~10.

9 Ohba N. *Integr. Comp. Biol.*, 2004, **44**(3): 225~233.

10 付新华, 王俊刚, Ohba N., 雷朝亮. 生态学报, 2005, **25** (6): 1439~1444.

双斑蟋若虫后足的再生观察^{*}

李 华 张晓欢 那 杰^{**}

(沈阳师范大学化学与生命科学学院 沈阳 110034)

The hind leg regeneration in the nymphs of *Gryllus bimaculata*. LI Hua, ZHANG Xiao-Huan, NA Jie^{} (College of Chemistry and Life Sciences, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)**

Abstract In order to explore the regeneration ability of hind leg of nymphs of *Gryllus bimaculata* de Geer, its regeneration process in our laboratory was observed preliminarily. The result showed that the hind legs of nymphs of *G. bimaculatus* have the ability of regeneration assuredly. Moreover, elongating growth of the regenerated legs only occurred in the process of molting, as same as normal legs. The process of regeneration consists of three phases: emergence phase, “limb bud” phase, and valgate phase. The regeneration ability was closely related with time and position of amputation; the farther amputation from body center, the stronger ability of regeneration; the earlier amputation, the stronger ability of regeneration.

Key words *Gryllus bimaculata*, nymph, hind legs, regeneration

摘 要 研究蟋蟀若虫是否具有再生的能力,在实验室内对直翅目蟋蟀科的双斑蟋 *Gryllus bimaculata* de Geer 若虫后足的再生情况进行初步观察。结果表明:双斑蟋若虫的后足确实具有再生的能力,且再生足的伸长生长与正常足一样,均出现于虫体蜕皮时。再生的过程主要分为3个阶段:突起期、“肢芽”期、短小足期。实验结果还表明:再生能力与断肢发生的时间及断肢部位有关;断肢部位离肢体越远,再生能力越强;断肢发生的时间越早,再生能力越强。

关键词 双斑蟋, 若虫, 后足, 再生

再生(regeneration)是生物肌体的一部分在损坏、自然脱落或截肢之后全部或部分重新生成的现象,包括生理性再生和病理性再生。生理性再生指正常生命活动进行的再生,如鸟类羽毛的脱换、人体红细胞的新旧更替等;病理性再生指由损伤(包括意外损伤和试验损伤等)

^{*} 辽宁省教育厅基金项目(No. 2004c054)和沈阳师范大学主任基金项目(No. Sy200403)。

^{**} 通讯作者, E-mail: hxnj@syml.edu.cn

收稿日期: 2006-05-08 修回日期: 2006-05-25 接受日期: 2006-

06-26

图版IV 钱明惠等：双斑恩蚜小蜂的生殖方式及其在烟粉虱体内的发育（正文见 P397）



图4 (a~l). 双斑恩蚜小蜂的胚后发育: a. 1龄幼虫初期 b. 1龄幼虫末期 c. 2龄幼虫初期 d~f. 2龄末3龄初期 (d. 即将蜕皮 e. 正在蜕皮 f. 蜕皮结束) g. 3龄幼虫初期 h. 3龄幼虫末期 (C形) i. 3龄幼虫末期 j. 烟粉虱体内的蚜小蜂预蛹 k. 烟粉虱体内的蚜小蜂蛹 l. 蛹

图版V 王余勇等：胸窗萤的生殖习性(正文见 P415)

A. 竞争行为 B. 交配

