

条背萤的形态和生物学研究

付新华¹, Ohba Nobuyoshi², 雷朝亮^{1*}

(1. 华中农业大学植物科技学院, 昆虫资源研究所, 武汉 430070; 2. Yokosuka City Museum, Yokosuka, 238, Japan)

摘要:首次在中国大陆发现水栖萤火虫条背萤 *Luciola substriata*。形态观察发现,条背萤成虫橙黄色,鞘翅末端灰黑色;发光器均为白色,雄虫发光器位于第5、6腹节,位于第5腹节的发光器呈带状,第6腹节的发光器呈“V”字形;雌虫的发光器呈带状,位于第5腹节;卵椭圆形,橙黄色。幼虫有两种形态,1~2龄具有7对呼吸鳃,3~6龄幼虫无呼吸鳃。幼虫具有一对发光器,位于第7腹节腹面;初蛹期仍保留幼虫形态的发光器,后呈现成虫的发光器,两种形态的发光器并存直至羽化。对条背萤生活史及习性调查发现,条背萤生活在水草较多的池塘、湖泊和流速缓慢的河流中。该虫1年发生1代,以幼虫在水中越冬,5月初老熟幼虫开始上岸化蛹。在25℃下,条背萤预蛹期平均为6.17天,蛹期平均为4.43天。成虫5月上旬至9月中旬发生。日落后的1 h内是条背萤成虫闪光求偶的最盛期。卵期平均12.5天。幼虫的猎物为静水椎实螺 *Lymnaea stagnalis*, 凸旋螺 *Gyraulus convexusculus* 等,天敌为克氏原螯虾 *Procambarus clarkii*、中华绒毛蟹 *Eriocheir sinensis*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 等。利用光谱仪对条背萤的发光光谱进行测定发现,条背萤的萤光光谱为425~603 nm,峰值为504 nm,颜色为黄绿混合色。

关键词: 条背萤; 形态; 生物学; 水栖萤火虫; 闪光求偶节律; 萤光光谱

中图分类号: Q965 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2004)03-0372-07

Morphological and biological observations on aquatic firefly *Luciola substriata* (Gorham) (Coleoptera: Lampyridae) in China

FU Xin-Hua¹, OHBA Nobuyoshi², LEI Chao-Liang^{1*} (1. Institute of Insect Resources Research, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Yokosuka City Museum, Yokosuka, 238, Japan)

Abstract: The aquatic firefly *Luciola substriata* (Gorham) was newly found in the mainland of China. The external morphological studies showed adults were yellow in the whole except that the head and the end of elytra were black in ventral view. The light organs of adults were all cream white. Males had two luminescent organs, the first one at the 5th abdominal segment is rectangular in shape whereas the second one at the 6th abdominal segment V-shaped. Females had only one luminescent organ in rectangular shape located at the fifth abdominal segment. Eggs were elliptic and yellow-orange in color. There were two types of larva. The 1st–2nd instar larva had 7 pairs of branched tracheal gills located laterally on the 1st–7th abdominal segment. The 3rd–6th instar larva had no gills. Larva had a pair of spot-shaped light organs located at the 7th abdominal segment. The larval light organs regressed and were replaced by adult lantern in the pupal stage. *Luciola substriata* was normally found in ponds, lakes and rivers with flourish duckweeds and other aquatic vegetation. The firefly occurred one generation per year. The last-instar larva climbed the strand and constructed earthen pupa cells, in which prepupal, pupal and preimaginal stages were spent till it matured in May next year. The prepupal stage lasted 6.17 days, and the pupal stage lasted 4.43 days, in room temperature. The imaginal period lasted from May to mid-September. The courtship flashing activity reached peak one hour after sunset. Eggs hatched after 12.5 days. Prey records included 2 species of aquatic snails, *Lymnaea stagnalis* and *Gyraulus convexusculus*. Three predators of this firefly were recorded: red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*), crab (*Eriocheir sinensis*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). The light spectrum emitted by *Luciola substriata* was measured as 425–603 nm with the peak 504 nm.

作者简介: 付新华,男,1978年生,山东青岛人,博士生, E-mail: fu_e@21cn.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: ioir7207@sina.com

收稿日期 Received: 2003-12-23; 接受日期 Accepted: 2004-04-01

Key words: Aquatic firefly; *Luciola substriata*; morphology; biology; courtship flashing rhythm; light spectrum

萤火虫泛指鞘翅目萤科(Coleoptera: Lampyridae)昆虫,全世界已记录 2 000 多种,分布在温带,亚热带和热带地区(Mcdermott, 1964)。其独特的发光原理及体内两种发光物质荧光素酶和荧光素已广泛应用于临床医学、环境监测等领域(Robert, 1998),从而使它可能成为一种非常有价值的资源昆虫。独特的发光行为不仅使它成为一类重要的观赏性昆虫,而且是研究昆虫种内信息交流及信息交流信号进化的实验对象。萤火虫依照成虫的活动规律分为昼行性、昼夜两行型和夜行型;依照幼虫生活的环境,分为陆栖、水栖和半水栖三类(Ohba, 1988)。国内少有萤火虫方面的研究报道,国外则在陆栖萤火虫的发光机制(Robert, 1998)及其信号通讯系统的行为生态学研究(Lloyd, 1966; Branham, 1996)报道较多。水栖萤火虫是一类非常稀有的萤火虫,仅分布于亚洲及牙买加等地区(Bushman, 1984),日本及中国台湾有少量研究报道(Ohba, 1988, 1996; 陈素复等, 1997; 何健镭等, 1998)。近年来由于环境恶化及人为捕捉等原因导致萤火虫数量大量减少,特别是一些稀有的水栖类萤火虫种类已濒临灭绝(Ohba, 1996)。

条背萤 *Luciola substriata* (Gorham) 于 1998 年在我国首次记录于台湾(何健镭等, 1998)后,再无新的研究报道。作者在 2000 年研究陆生萤火虫时,在湖北省武汉市采集到了条背萤。经过调查研究发现,条背萤分布在湖北省武汉、洪湖、孝感等地区的湖泊江河内。为了保护及开发利用这种珍稀的水栖萤火虫资源,本文对条背萤的形态和生物学特性进行了研究。

1 材料和方法

1.1 供试虫源

条背萤的成虫,发育中及老龄幼虫均采自湖北省武汉市华中农业大学附近的鱼塘。

1.2 方法

1.2.1 形态描述: 利用 Nikon Fx-35 型解剖镜对条背萤的 4 种虫态的活体标本及酒精浸泡标本进行观察,采用九宫格法绘图及 SONY DSC-F717 型数码相机拍摄。

1.2.2 人工饲养: (1)卵的采集:室温 25℃、水温 22℃下,在一个长方形的玻璃缸(40 cm × 25 cm × 25

cm)内用土堆一个三角形斜坡(20 cm × 25 cm × 20 cm),在水缸中加入 5 cm 高的水,并在水面上铺满紫萍 *Spirodela polyrhiza*。将采集到的雌雄成虫放入水缸内,并用纱网罩住玻璃缸防止成虫逃逸。交配后的雌虫降落到漂浮在水中紫萍上,在紫萍的背面产卵。每天检查紫萍背面是否着卵。(2)初龄幼虫的饲养:在一个 27 cm × 20 cm × 6 cm 的透明塑料盒内保持 3 cm 深度的水,将着卵的紫萍放入塑料盒,使卵浸没于水中,在室温 25℃、水温 22℃下孵化。幼虫孵化后,加入刚孵化的水生螺类作为食物进行饲养。(3)发育中龄幼虫的饲养:将从野外采集到的发育中龄幼虫移入一个无盖的长方形玻璃缸(70 cm × 50 cm × 50 cm)进行饲养,缸内注入 30 ~ 40 cm 深度的清水,缸底铺一层 2 ~ 3 cm 厚经过消毒的水草沙,放少许水草、木块、石块、枯叶,在玻璃缸的上面安装抽水过滤装置,使水缸内的水保持循环流动。缸内水温控制在 22℃。在缸的上面放置一盏日光灯(40 W),光照时间每天 12 h。从野外采集条背萤的食物水生螺类投入缸内,每隔 15 天更换一次水。(4)蛹化及羽化:当饲养在大型饲养缸内的老熟幼虫越冬至第二年 4 月底时,在一个 60 cm × 40 cm × 20 cm 的透明玻璃缸内铺一层 2 cm 厚的水草砂,在缸的一端堆一个长 30 cm,高 15 cm 的泥土斜坡。将老熟幼虫及水生螺类放入玻璃缸内继续饲养。当发现幼虫上岸做蛹室时,用手术刀将蛹室切割下来放入一个直径 5 cm、高 3 cm 的透明小塑料盒内,小盒内有湿润的脱脂棉以保持蛹室湿润,盖上盖子以防止成虫羽化逃逸。在蛹室上方开一个小口,每天观察化蛹及羽化情况。计算雌雄蛹的预蛹期(老熟幼虫做好蛹室至化蛹的时间)和蛹期。

1.2.3 野外调查: 在湖北省武汉市华中农业大学附近条背萤生存的长方形鱼塘(20 m × 30 m)内调查其猎物及天敌;调查条背萤幼虫捕食、发光、上岸化蛹行为和幼虫上岸化蛹时间,成虫羽化时间及成虫产卵行为等。

1.2.4 条背萤发光光谱的测定: 用光谱仪(Ocean Optics Inc PC1000)测定条背萤的发光光谱。光谱仪与电脑连接,夜晚在暗室内将探测头垂直放置于活体条背萤成虫发光器上方 3 ~ 4 mm 处,当探测头采集到条背萤的闪光脉冲后,光谱分析软件得出一组波长与相对光强的数据。输入 Excel 软件,绘制光谱图。

1.2.5 条背萤成虫发光节律的观测: 8月初在上述野外调查的鱼塘,从 20:00 至次日凌晨 5:30 连续 30 天人工观察记录雄成虫起飞时间,每 30 min 雄虫平均飞行闪光求偶的虫数,平均停留在叶片上闪光求偶的雌雄虫数和平均闪光求偶总虫数。

2 结果

2.1 形态特征

2.1.1 成虫: 虫体橙黄色,雄虫体长约 10.02 ± 3.12 mm ($n = 23$) ($\text{mean} \pm \text{SD}$),雌虫体长约 10.86 ± 2.24 mm ($n = 25$)。鞘翅末端为灰黑色。头部突出于前胸背板外。雄性复眼发达,黑色,近球形,占头部比例较大。雌虫复眼较雄虫略小。雌雄虫触角丝状,共 11 节。触角长约 3.80 ± 0.67 mm ($n = 19$)。上颚浅黑色,镰刀状,末端较尖。下颚须 4 节,下唇须 3 节。

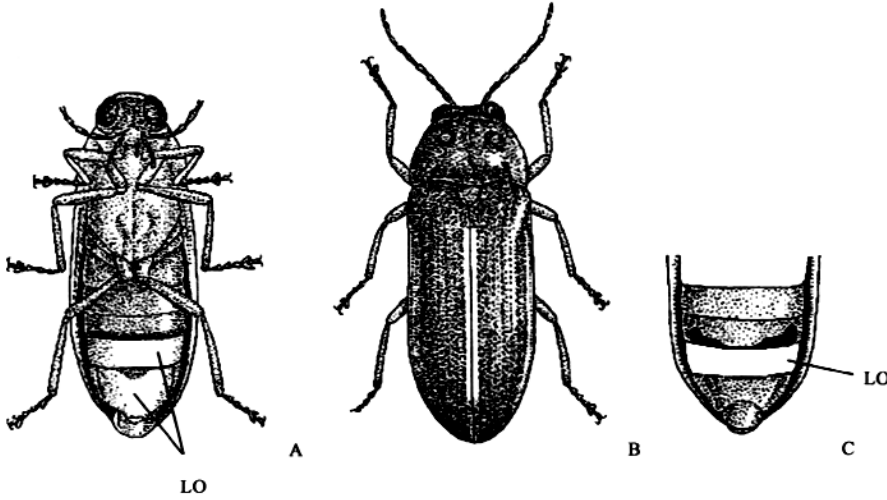


图 1 条背萤的成虫

Fig. 1 Adults of *Luciola substriata*

A. 雄性成虫腹面 Male adult in ventral view; B. 雄性成虫背面 Male adult in dorsal view;
C. 雌性成虫腹部 Abdomen of female adult in ventral view; LO, 发光器 Light organ.

前胸背板为橙黄色,有一对浅黄色的斑点。胸足的基节、转节和腿节为黄色,腿节和胫节均多毛。跗节和爪均黑色。鞘翅多毛,长约 7.27 ± 1.86 mm ($n = 16$),末端灰黑色,并遮住腹部。中缝处有 1 条明显的灰白色条纹(图 1B)。可见腹节 6 节,雄虫第 3 可见腹节、雌虫第 4 节下方有 1 条黑带,中间纤细而两边较粗。成虫发光器均为白色,雄虫第 5、6 腹节为发光器,位于第 5 腹节的发光器呈带状,第 6 腹节的发光器呈“V”字形(图 1A);雌虫第 5 腹节为发光器,带状(图 1C)。雄虫外生殖器较小,阳基为三叶型,阳基鞘狭长。

2.1.2 卵: 椭圆形,长约 0.85 ± 0.14 mm ($n = 27$),橙黄色(图 2)。卵在发育过程中,颜色不发生变化。

2.1.3 幼虫: 有两种形态。1~2 龄幼虫浅灰色。虫体扁平,多毛。头细长,上颚呈镰刀状,末端尖锐。有一对侧单眼。前、中、后胸背板侧缘密生细长刺毛,具一黑色“八”字纹。足扁平,桨状。有 7 对呼吸



图 2 条背萤产在紫萍 *Spirodela polyrhiza* 背面的卵团

Fig. 2 Egg mass laid by adults of *Luciola substriata* on reverse side of duckweed *Spirodela polyrhiza*

鳃,分别位于腹部第 1~7 节,呼吸鳃多毛。腹部 1~7 节背板有 2 列等距对称的刺。尾节呈燕尾状,有粘附器官(图 3A)。3~6 龄幼虫形态与 1~2 龄幼

虫差别非常大。体色灰褐色,虫体呈船形,老龄幼虫长约 16.40 ± 3.84 mm ($n = 25$)。呼吸鳃消失,体表光滑。触角4节,灰褐色。一对侧单眼,黑色,位于触角后方。前胸背板呈尖梯形,最大宽度为2.26 mm。中、后胸背板呈矩形。足扁平。腹部背面有2列对称的纵脊,腹面沿中线左右各有一条等距对称的凹裂线。第7腹节腹面有2条白色小点,为其发光器。尾节呈燕尾状,有粘附器官(图3B,C)。

2.1.4 蛹: 体长约 9.62 ± 2.78 mm ($n = 18$)。蛹最初颜色为乳白色,发育至第3天开始褐化。发育后期的蛹前、中、后胸均为橙黄色,中胸较宽,鞘翅芽橙黄色。蛹可见腹节6节,第4腹节下方有一黑色的凹槽形图案。雄蛹发光器位于第5、6腹节,与雄成虫发光器形状一致。后胸背板及第1~5腹节背板的后侧各有1对小突起。雌蛹初期,第6腹节有1对小而圆的发光器,即保留的幼虫发光器;蛹发育到中期,第5腹节变为乳白色带状,呈现明显的成虫发光器,同时幼虫发光器并存直至羽化(图4)。

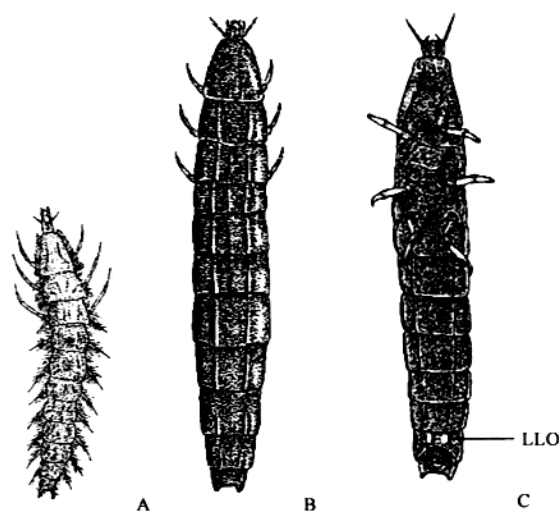
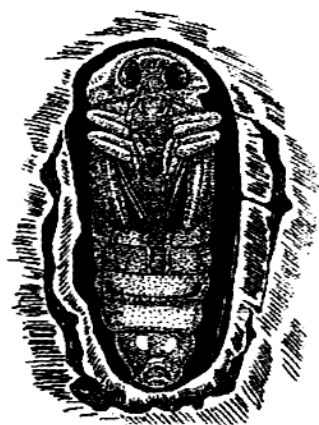


图3 条背萤的幼虫

Fig. 3 Larvae of *Luciola substriata*

A. 1~2龄幼虫背面观 1st-2nd instar larvae in dorsal view; B. 3~6龄幼虫背面观 3rd-6th instar larvae in dorsal view; C. 3~6龄幼虫腹面观 3rd-6th instar larvae in ventral view. LLO: 幼虫发光器 Larval light organ.



♂

♀

图4 条背萤蛹腹面观

Fig. 4 Pupae of *Luciola substriata* in ventral view.

2.2 生活史

条背萤在武汉地区1年发生1代,以幼虫在水中越冬。幼虫水生,老熟幼虫上岸化蛹,成虫在陆地上发出具有种特异性的闪光进行求偶交配,交配后的雌萤将卵产在水中的植物上。条背萤各虫态发生不整齐,5月初老熟幼虫开始上岸化蛹;在25℃下,雄虫预蛹期平均为 6.36 ± 1.5 天 ($n = 14$),蛹期平均

为 4.43 ± 1.01 天 ($n = 14$);雌虫预蛹期平均为 5.89 ± 1.45 天 ($n = 9$),蛹期平均为 4.44 ± 0.73 天 ($n = 9$)。成虫5月上旬至9月中旬发生,有两个高峰期,分别是5月上旬和8月上旬;卵5月中旬至10月初出现,5月中旬和8月中旬为产卵盛期。卵期 12.5 ± 3.75 天 ($n = 32$)。条背萤在湖北省的年生活史见表1。

表 1 条背萤在湖北省的年生活史
Table 1 Life cycle of *Luciola substriata* in Hubei Province, China

1 ~ 4 月 Jan. - Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 ~ 12 月 Nov. - Dec.
---	---	---	---	---	---	---	---
	△△△	△△△	△△△	△△△	△		
	++	+++	+++	+++	++		
	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●	

- 幼虫, △ 蛹, + 成虫, ● 卵

2.3 习性

2.3.1 生境及猎物、天敌调查：条背萤生活在水草较多的池塘、湖泊和流速较慢的河道里，生境内常见的几种水草为紫萍 *Spirodela polyrhiza*、槐叶蘋 *Salvinia natans*、荇菜 *Hydrocharis dubia*、凤眼莲 *Eichhornia crassipes* 等。幼虫只捕食活的小型水生螺类，幼虫既可在水下也可在贴近水面的水生植物上捕食水生螺类。其猎物主要是静水椎实螺 *Lymnaea stagnalis*，凸旋螺 *Gyraulus convexusculus*。当幼虫发现猎物后，缓慢爬近水生螺类并迅速用尖锐发达的上颚紧咬住水生螺类的头部，同时利用尾部末端的粘附器官附着在漂浮植物或水底，若水生螺类剧烈地摆动螺壳以摆脱幼虫的捕食，幼虫则将腹部卷曲缠绕在螺壳上，持续攻击取食。幼虫的天敌有克氏原螯虾 *Procambarus clarkii*、中华绒毛蟹 *Eriocheir sinensis*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 等。

2.3.2 幼虫游泳、发光及筑造蛹室行为观察：条背萤的幼虫既可在水面上游动，也可在水底潜行。1~2 龄幼虫具有独特的呼吸器官——呼吸鳃，可在水中呼吸。当幼虫发育至 3 龄时，呼吸鳃蜕掉，利用发达的气管进行呼吸，内部解剖发现气门连接着粗大的银白色气管，可以储存大量的氧气以供幼虫在水底长时间觅食和捕食，但幼虫仍必须不时浮出水面补充氧气。幼虫在水面上的运动姿势非常独特，游动时腹部朝上，呈仰泳姿态，腹部末端可上下左右摆动，起推进和转向的作用，足则向后划水。5~9 月的夜晚，幼虫腹部朝上，发出微弱的闪光。初龄幼虫即可发光。10~11 月，幼虫进入越冬状态，停止发光，幼虫静伏在水底的枯叶或者淤泥上不动，温度适宜时幼虫在水底缓慢爬行觅食。

幼虫发育成熟时从水中爬上岸寻找合适场所筑蛹室化蛹。幼虫并不在土中钻洞做蛹室，而是寻找湿润的土壤凹陷，然后倒爬进去，在土壤凹陷的周围衔土筑蛹室。当蛹室的四壁筑好后，幼虫爬出衔土，最后将蛹室的顶部封死。蛹室呈半球形，顶部较四

壁薄，以利于成虫破土而出。幼虫上岸寻找合适蛹室场所及筑造蛹室时，并不发光，这与其他种类的水生萤火虫完全不同(Ohba, 1996)。蛹室做好后，老熟幼虫在蛹室内度过预蛹期，并蜕皮化蛹。当蛹受到惊扰时，蛹会持续发光。

2.3.3 成虫羽化、闪光求偶节律及产卵行为观察：成虫刚羽化时，鞘翅柔软，呈浅黄色，幼虫发光器与成虫发光器同时并存，此时成虫仍在蛹室内静息，当蛹室内的成虫受惊扰时，两种发光器会同时持续发光。几小时后幼虫发光器消失，鞘翅变硬，颜色变深，随后成虫钻出蛹室。由于条背萤在幼虫阶段储存了大量的脂肪等营养物质，成虫阶段不取食任何固体食物，只补充少量的水分。

日落后，栖息在草丛中的成虫开始闪光。此时成虫的闪光频率非常低，闪光时间较长，间隔时间也较长。随后雄成虫从草丛中起飞，并发出种间特异性闪光。而雌成虫则在草丛中发出求偶光信号，当雄成虫发现雌虫发出的光信号后，飞至雌虫附近盘旋并降落，随后雌雄虫进行复杂的求偶闪光信号交流并交配。8 月上旬为成虫发生高峰期之一，在此期间平均日落时间为 19:55。在 600 m² 范围内的鱼塘观察发现，雄成虫在成虫第一次闪光 3.49 ± 2.87 min ($n = 39$) 后起飞。天气状况适宜时，条背萤成虫求偶活动在日落后 30 min 达到高峰，此时飞行闪光求偶的雄虫数为 14.1 ± 3.49 头 ($n = 30$)，停留在叶片闪光求偶的雌雄虫数为 18.2 ± 3.98 头 ($n = 30$)，随后逐渐减少，次日凌晨 5 点左右雄虫平均飞行闪光求偶虫数降至为 0，停留在叶片闪光求偶雌雄虫数降至 1.45 ± 1.81 头 ($n = 30$)。在风力较强、雨天、满月等不适合成虫闪光求偶活动的天气下，求偶闪光活动在成虫日落后 85.08 ± 34.54 min ($n = 13$) 达到高峰，随后逐渐减少直至停止。条背萤成虫在天气状况适宜下的闪光求偶节律见图 5。

条背萤的产卵行为非常独特。交配过的雌虫会降落到漂浮在水中的水草或浮萍上，用足抓住漂浮

植物的边缘,尾部伸到水下,在水生植物的背面产卵。卵在漂浮植物的背面整齐排列,并被雌虫分泌的一层透明胶状物所粘贴覆盖(图 2)。卵发育至中

期时,发出非常微弱的光。这种现象一直持续至卵孵化。卵发育至末期时,卵上所覆盖的透明胶状物逐渐解离,以利于幼虫破壳而出。

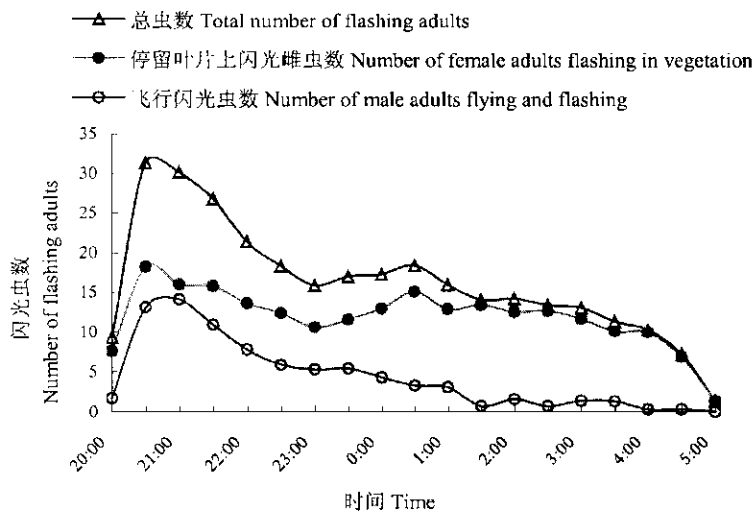


图 5 条背萤在天气状况适宜下的闪光求偶节律
Fig. 5 Flashing rhythm of *Luciola substriata* for courtship under favorable weather conditions

2.3.4 条背萤萤光光谱测定：萤火虫发光的光谱具有种间特异性,不同萤火虫发出光的光谱不同。萤光光谱是由萤火虫体内荧光素的化学结构所决定的,同种萤火虫各个虫态及雌雄个体所发出光的光谱均一致(Robert, 1998)。在光谱的测定时,条背萤

发出光的强弱仅能决定相对光强的大小,波长则是定值。经测定,条背萤的成虫的萤光光谱为 425 ~ 603 nm, 峰值为 504 nm, 颜色为黄绿混合色(绿光 577 ~ 492 nm, 黄光 591 ~ 577 nm)(图 6)。

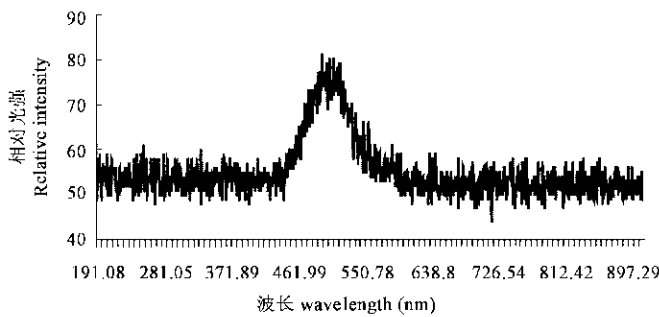


图 6 条背萤成虫的萤光光谱图
Fig. 6 Spectrum of fluorescent emitted by *Luciola substriata* adults

3 讨论

近年来由于条背萤生活环境日益遭到破坏,种群数量急剧下降。为了保护珍稀的水栖萤火虫,日本及中国台湾都采取了大量措施,如尽量避免条背萤生存的湖泊河流堤坝水泥化及避免家庭及工业废水直接向湖泊河流排放而造成水体污染等(Ohba, 1996)。而在我国,尚未引起人们的关注,更无相应的保护措施。为了保护利用这种水栖萤火虫资源,

除对条背萤天然生境进行保护,加强条背萤的人工复育显得尤为重要。这包括条背萤生境的恢复和条背萤的人工饲养。而在室内的人工饲养中,萤火虫初龄幼虫的猎物——初孵水生螺类的获得相当困难及初龄幼虫的死亡率极高,这都是制约条背萤复育的瓶颈,在以后的工作中须重点解决。

致谢 中国台湾屏东科技大学陈仁昭教授寄送部分研究资料;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及指导;长江大学李传仁教

授给予指导及仔细审阅初稿;华中农业大学水产学院张世平教授鉴定水生植物及螺类;朱达美先生帮助绘图;靖湘峰、陈仁富、王余勇、吴璟等帮助采集昆虫及调查,一并致谢。

参 考 文 献 (References)

- Branham MA, 1996. Flashing males win mate success. *Nature*, 381: 745 - 746.
- Buschman LL, 1984. Biology of the firefly *Pyroactomena lucifera* (Coleoptera: Lampyridae). *Florida Entomologist*, 67(4): 529 - 542.
- Chen SF, Chen RZ, 1997. The rearing of aquatic firefly *Luciola ficta*. *The Magazine of Yilan Science University*, 14: 25 - 32. [陈素复, 陈仁昭, 1997. 黄缘萤 (*Luciola ficta*) 之饲养. 宜兰农工学报, 14: 25 - 32]
- He JR, Zhu JS, Zhu JC, 1998. The new aquatic larva (*Luciola substriata*) found in Taiwan. *Natural Protection*, 22: 7 - 51. [何健谔, 朱建升, 朱建昌, 1998. 一种幼虫水生萤类的新发现一条背萤. 自然保育季刊, 22: 7 - 51]
- Lloyd JE, 1966. Studies on the flash communication system in *Photinus* fireflies. *University of Michigan Museum of Zoology, Miscellaneous Publication*, 130: 1 - 93.
- Mcdermott FA, 1964. The taxonomy of Lampyridae (Coleoptera). *Trans. Am. Entomol. Soc.*, 90: 1 - 72.
- Ohba N, 1988. Aquatic glowworm. *Insect and Nature*, 23(7): 8 - 13.
- Ohba N, 1996. Ecological study of the firefly *Luciola owadai* and conservation of its habitat. *Insect and Nature*, 31(6): 17 - 21
- Robert AL, 1998. Bioluminescence Methods and Protocols. Totowa, New Jersey: Humana Press. 1 - 25.

(责任编辑:袁德成)