

萤火虫发光机制浅探

全海天 刘厚甫 王源 何峥鸣

摘要 通过实验判断萤火虫的发光到底是由昼夜节律性或是光线的暗度所造成,也对其发光的动机进行浅探.

关键词 萤火虫 节律性

萤火虫是昆虫纲鞘翅目萤科中能够发光的昆虫的俗称。世界上已知的共有 2000 多种,我国已记载了 76 种。萤火虫对环境的反应敏感,是生态环境的指示物种。它的种群分布规律和历史变迁提供了一个典型的生态学例证,它的独特的观赏特性,丰富的文化和科学内涵使其具有较高的观赏价值。

萤火虫的成虫、幼虫和蛹都可发光,卵在临近孵化时,从卵壳外也可见到 2 个光点。成虫的发光器着生在腹部(通常是倒数第 2、3 节),从外表看只是一层银灰色的透明薄膜,这层薄膜中含有大量的荧光色素,薄膜内是数以千计的发光细胞,周围密布着小气管和纤细神经分支,再下面是反光层。发光细胞中的主要物质是荧光素和荧光素酶。当氧气通过小气管进入发光细胞时,荧光素在荧光素酶的催化下与氧气发生氧化反应发出荧光。萤火虫在神经系统的支配下,通过调节呼吸节律,控制氧气供应,便形成时明时暗的“闪光”。研究显示,萤火虫具有多种多样的闪光模式,闪光所传递的信号在它的求偶和婚配中发挥重要作用。萤火虫的这种闪光恰似墨暗中的万盏星点,构绘出奇妙景观,给人以无限的遐想空间。诗人杜牧在《秋夕》诗篇中写道:“银烛秋光冷画屏,轻罗小扇扑流萤”;白居易《长恨歌》和道:“夕殿萤飞思悄然,孤灯挑尽未成眠”,这些诗句成为了历代的绝妙佳句。还有流传在中国和东南亚地区的儿歌,“小小萤火虫,飞到西,飞到东,这边亮,那么亮,好像一盏小灯笼”,广为流传,影响颇深。

萤火虫不仅包含有昆虫生物学方面的一般知识,而且在萤火虫的发光机理和功能及其仿生学研究,萤火虫的生态学和生态环境保护等方面都有大量有趣的科学知识。萤火虫发光的效率非常高,几乎能将化学能全部转化为可见光,为现代电光源效率的几倍到几十倍;萤火虫发出来的光虽亮但几乎没有辐射热量,也不产生磁场,是一种非常理想的灯光。20 世纪 60 年代,人们模拟萤火虫发光的原理创造出了日光灯(荧光灯)。随着科学的发展,萤火虫的荧光素酶的应用也越来越广泛。如利用萤火虫的荧光素酶产生的荧光检查食物中细菌的含量。美国的生物化学家根据萤火虫的发光原理和机制,提出了电子转移反应原理,它可以解释腐蚀现象、光合作用等,并导致了激光器的开发和利用。近年来,人类对萤火虫发光特性的研究和利用正在走向一个新的层次,即在搞清萤火虫荧光素酶的氨基酸序列和荧光素酶基因的碱基序列的基础上,克隆出荧光素酶基因,并试图将荧光素酶基因转移到其它昆虫和其它生物上。萤火虫的幼虫以捕食蜗牛、蛞蝓等软体动物为主,是这些农作物害虫的重要天敌。萤火虫是生态环境的指示物种。凡是萤火虫种群分布的地区,都是生态环境保护得比较好的地方。而水质污染、植被破坏则会严重制约着萤火虫种群的生存和繁殖。

萤火虫原是一种分布广泛的昆虫,但随着世界范围的工业化和城市化进程,水体污染加剧,沼泽地的开发使湿地资源锐减以及河堤、湖堤等大量采用混凝土浇筑,使萤火虫的生态环境遭受严重破坏,萤火虫种群数量急剧下降。

天目山是国家重点保护的生态园区,动物和植被均保护得较好,且我们实习的时间正好是炎热的夏天(7.8~7.18),正是萤火虫出没的好季节,这给我们研究萤火虫提供了很大

的便利。

1. 材料和方法

1.1 材料

材料为两种不同的萤火虫，一种萤火虫的幼虫，两个标本盒，手电筒，白炽灯。其中这三种萤火虫的形态特征如下：

- i. 大小.第一中最常见,体型小,翅橙黄色,第二种体型较大,翅黑色,第三种为细长的虫子,有足,形态多体节,身体全黑
- ii. 捕获地点.第一种在路边草地,第二种在溪边水上的水草,第三种在溪边有青苔的岩石上.
- iii. 发光方式.萤火虫发光板有两节,第一中最常见的发光类型为前一小节以一定频率闪动数秒,然后突然暗下来,再两小节全亮,再重复.第二种一般先是第一小节两边亮,后中间亮,最后两小节一齐亮,整个过程不到一秒.这也是一个周期.第三种则亮极短时间,再暗数秒.然后重复.
- iv. 频率.统计多个数据我们发现,,第一,二种频率差不多,约为 100 次/分,后一种极小,约 10 次/分.

1.2 方法

1.2.1 发光与节律性和光线的明暗

a) 在白天模拟黑夜,用两种方法

在白天,将装有萤火虫的标本盒置于光线很暗的环境中,一段时间后,可看到有的萤火虫开始发光

将萤火虫分成两份,第一份在临睡前便一直置于暗柜中,第二份则放在桌面上.至第二天七点,此时天已亮.可观察到第一份的萤火虫仍有部分发光,而第二份则不发光.在白天,将装有萤火虫的标本盒置于光线很暗的环境中,一段时间后,可看到有的萤火虫开始发光

b) 在黑夜模拟白天,也用两种方法

在户外,用手电筒强光照射标本盒中的萤火虫,结果荧光很快熄灭,一段时间后,熄灭手电筒,萤火虫又慢慢开始发光

在傍晚时分将萤火虫分成两组,第一组一直置于床头灯照射下,,另一组则放在户外作对照.结果第二组在天黑后便开始发光,,而至十点第一组始终不发光,至较暗的地方则开始发光,再拿至床头灯下依然不熄灭,,用强光照射下则熄灭

1.2.2 发光动机初探

我们当初设计此实验室便想验证其发光的动机是否是为了吸引异性.事实上,如果有足够的雌雄性.,这个设想不难验证.原先我们也想着定能完成.第一天是我们也曾捉到一堆正在交尾的萤火虫,但当时未采取任何行动,后来才知道,一般为雄虫先发光,若雌虫响应才发光,亦即发光有先后关系,说明白一点,就是要想获得雌虫,一般要捉到正在交尾的一对.显然几率很小.确实如此,后来的几天我们去捉时,均无所获.故此实验便无法验证.但据资料显示,吸引异性确为发光动机之一.

此外,我们也进行了其他实验,如用手捏,用强风吹,用水滴弹打等,发光均较一般时明显.因此,发光也可能与受攻击等有关

2. 结果与讨论

由以上实验:萤火虫的发光与否与光线的明暗有关,无昼夜节律性;其发光的目的是为了相互之间的信息交流,如求偶。

萤火虫发光只与光线的强弱有关,这是可以理解的。我们认为萤火虫发光是为了相互之

间的信息交流，而在白天萤火虫多处于蛰伏状态，且白天光线较强，萤火虫发出的光相对来说微不足道，起不到信息交流作用，徒然浪费能量而已。所以萤火虫在白天是不会发光的。

我们曾经试图想把萤火虫的发光频率作为一种种的鉴别特征，但经试验，发现不同的种并无特征的发光频率，所以我们认为这种想法是错误的。我们认为萤火虫发光频率的变化其实可以作为一种相互之间交流信息的一种手段，就如蜜蜂以跳 8 字舞作为一种信息交流手段一样。那萤火虫有没有其他的信息交流手段呢，如信息素之类的？这我们不太清楚，我们认为萤火虫已采用了通过发光作为信息交流手段，虽然萤光的转化率极高，但毕竟是一种耗能的过程，而且萤火虫的运动方式主要是飞翔，不像蚂蚁之类的爬行动物，信息素并非是最佳的信息传导方式。所以萤火虫一般不会再采用信息素这种更加耗能的信息传播方式。

参考文献

1. *让萤火虫与人类共荣* 张志恒 吴电 生态经济，人与自然
2. *昆虫记* 法布尔
3. *磷火 磷光 荧光 萤光* 袁培耀 中学物理参考 第 30 卷 第 3 期 2001 年 3 月