

篇名

《台灣螢火蟲 生態導覽》研析  
—— 螢火蟲的發光機制

作者

曉明女中。高二戊班。20 號。張玉嫻

書籍基本資料

台灣螢火蟲生態導覽：最詳細賞螢情報圖最完整野外大圖鑑

著作人：陳燦榮

出版項：一九九九年/出版一刷/田野影像/台北市

## 螢火蟲的發光機制

### 壹●前言

前些天我的書房飛進一隻螢火蟲，驚訝注視牠的同時，覺得這真是一次難得的相遇，曾經，螢火蟲是飛滿鄉間田野的，小巷旁的樹叢裡、池塘旁的草皮上無一處不可見，而如今，意外撞見一隻螢火蟲，就足以讓我高興上一整天。因為牠身上背負的那盞燈總是那樣的神秘，古今中外不知有多少人對螢火蟲產生好奇，古早一代的傳言，說牠是腐草或竹根變的，要不然就是，從死人的指甲爬出來的〈註一〉。一直到二十世紀大家才恍然大悟，知道螢火蟲不是稻草幻化而成的。小時候對螢火蟲沒有很深了解的我，常常以為抓了螢火蟲一不小心就會被牠的火燙到，原來那有著生命魔力的螢光，是一種高效能的「冷光」，發光時幾乎不發熱，能將大多數的能量直接轉換成光，我們也從中獲得靈感，發展許多新的發光產品〈註二〉。執著對螢火蟲所發出的冷光有著高度的好奇，因而動身前往圖書館一探螢火蟲發光的神奇魔力。

### 貳●正文

#### 一、螢火蟲為什麼發光

早期學者提出的假設有求偶、溝通、照明、警示、展示及調節族群等功能；但是目前除了求偶、溝通、警示之外，其他功能只是科學家觀察的結果，都只是臆測。

#### 01. 溝通

不同種類的螢火蟲發光的方式、發出光的頻率或顏色也會不大相同。日本的螢火蟲協會理事長大場信義博士曾做過一個實驗，他比較在「系魚河駿河灣」東岸及西岸，同種的水生螢火蟲「源氏螢」雌蟲、雄蟲互動所發出光的頻率，發現到只是相隔一個河灣，東岸與西岸就有其不同的溝通語言〈發光頻率不同〉。除此，在美國佛羅里達州有一個相當特別的發現，絕大部分的螢火蟲在成蟲後，因口器退化，除吸取水分外是不再進食的，他們卻發現有一種螢火蟲的雌蟲，會藉由模仿他種螢火蟲的發光頻率，吸引該種螢火蟲的雄蟲誤判，前來並加以捕食。〈註三〉

#### 02. 求偶

螢火蟲的成蟲兩性皆能發光，但雄蟲比雌蟲發光為強。成蟲發光與交尾有關，所以雌雄間相互發光視為一種「交尾訊號」。由於一般在天空飛的成蟲絕大部份是雄蟲，而雌蟲通常只在草叢裡爬行，加上有些雌蟲像陸生的臺灣山窗螢、臺灣窗

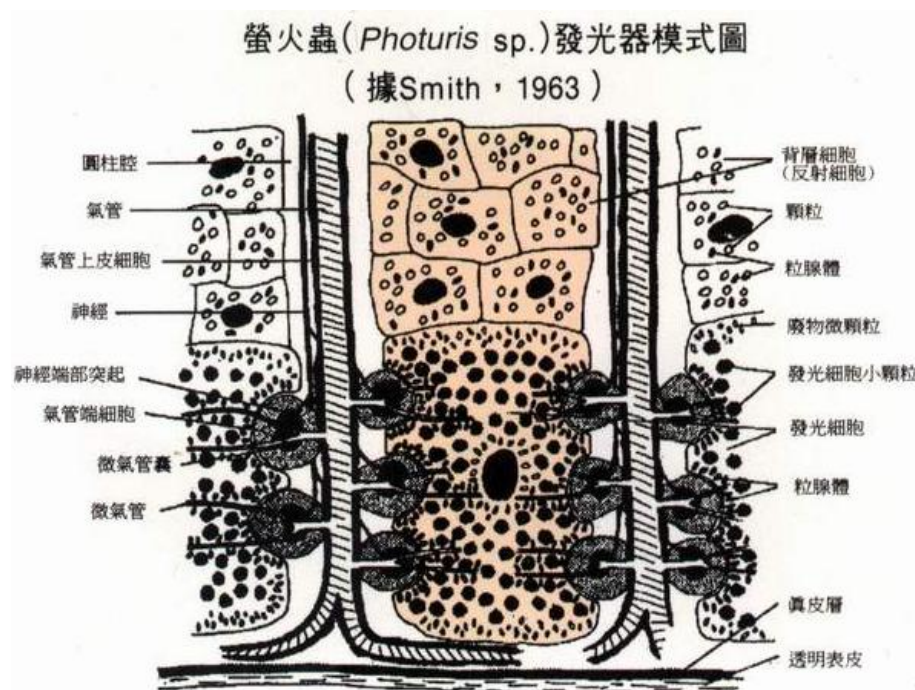
螢、雲南扁螢，甚至和雄蟲有完全不同的外貌，這時牠們爲了求偶，便一閃一閃的發出光來傳訊交尾訊號。

### 03. 警示

通常螢火蟲卵、幼蟲、及蛹都會發光，推測此行爲對保護自己生命安全有重要性，用以恫嚇外敵之用。近幾年，有學者驗證了警示說：1999年，學者奈特（Michael Knight）等人發現，誤食螢火蟲成蟲的蜥蜴會死亡，證實成蟲的發光除了找尋配偶之外，還有警告其他生物的作用；學者安德伍德（Todd Underwood）等人在1997年以老鼠做的試驗，證實幼蟲的發光對於老鼠具警示作用〈註四〉。

## 二、螢火蟲如何發光

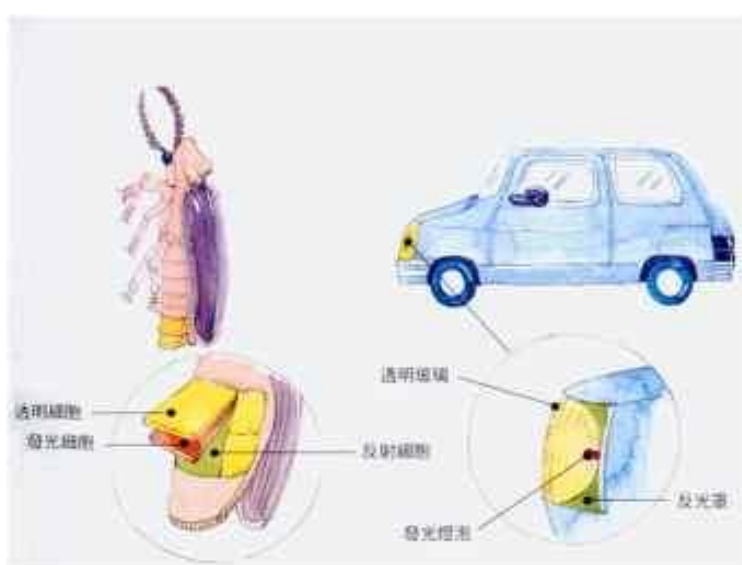
### 01. 螢火蟲的發光器



《圖一》↑

螢火蟲的發光器是由發光細胞、氣管系、反射層及神經表皮所組成，其模式圖如《圖一》所示。發光細胞恰位於真皮層下方，在其後有數層背層細胞或反光細胞層，在發光器上方覆蓋透明的表皮，在透明表皮下方發光細胞呈圓柱體狀排列，與表皮成直角方向，每一個圓柱體有氣管和神經分布其上，並由各氣管發出許多分支進入發光細胞間，此分支微氣管常與表皮平行。〈註五〉

發光細胞中含有大量的發光顆粒，每個發光細胞都有一腔以頸部與外側細胞直接連，推測在此顆粒中含有發光物質，小顆粒多在背面和腹面。粒線體除了微氣管和氣管細胞間相接處外，其他部分都有分布。在背層細胞或反光細胞也有顆粒，通常稱為尿酸顆粒，此可形成一反射層。還有貯藏的氧化螢光素，可提供昆蟲發光之用。估計螢火蟲的兩個燈籠有發光細胞二萬五千個，能形成六千個圓柱體，有八十至一百個氣管端細胞。〈註六〉



← 《圖二》

螢火蟲腹部的氣孔及氣管細胞非常發達，藉以吸收大量的空氣與螢光素反應來發光，當螢火蟲發光時，神經可以傳達訊號，控制發光頻率；光再經由反射層向表皮透射。如果將發光器的構造比喻成汽車的車燈如《圖二》，發光細胞就有如車燈的燈泡，而反射層細胞就有如車燈的燈罩，會將發光細胞所發出的光集中反射出去。所以雖然只是小小的光芒，在黑暗中卻讓人覺得相當明亮。而螢火蟲的發光器會發光，起始於傳至發光細胞的神經衝動，使得原本處於抑制狀態的螢光素被解除抑制。螢火蟲的發光細胞內有一種含磷的化學物質，稱為螢光素，在螢光素的催化下氧化，伴隨產生的能量便以光的形式釋出。由於反應所產生的大部份能量都用來發光，只有 2~10% 的能量轉為熱能，所以當螢火蟲停在我們的手上時，我們不會被螢火蟲的光給燙到，所以有些人稱螢火蟲發出來的光為「冷光」。

〈註七〉

## 02.發光器會依階段、性別、種類而不同〈註八〉

#### A.依階段不同：

幼蟲、蛹和成蟲的發光器是隨著生活期的不同而有所差異，幼蟲期時發光器在第八腹節的兩側；蛹和成蟲的發光器是在腹板末端二節。

#### B.依性別不同：

雌雄性別在發光器的形態有明顯的差異，是配偶識別的重要特徵，此外發光器形態的不同，亦可能產生不同的光譜，以傳達不同的語言訊息。

#### C.種類不同：

不同種類螢火蟲發光顏色也有所不同，如黃綠螢的光較偏黃色，紅胸黑翅螢的光為橙色。每種螢火蟲發光時間和頻率也不同，閃光都有特定節奏，只有同種的螢火蟲才能相互辨認對方所發出光的訊號，而這種訊號對成蟲而言，往往就是求偶的信號，以達辨認對方，互相會合，進行交尾（求偶）。

### 03.發光的物理和化學性

螢火蟲的發光作用，主要為螢光素與螢光酶的氧化作用所產生。螢光素和螢光酶在常溫、常壓下使發光反應進行非常有效率，和三磷酸腺甘（ATP）作用產生複雜的氧化還原反應，這種反應是連續性的進行著。螢光素由於 ATP 在鐵和螢光酶存在的情況下開始活動，且可產生線苷螢光素，藉有機氧化氫而使之氧化。如再遇有螢光酶時，則形成活動腺苷螢光素，當其衰退時，則變成低能量腺苷螢光素而行發光。在此反應過程所利用的熱能為直接來自於氧化過程，而非來自 ATP，此為釋能一重要步驟。在此反應所釋出熱能為百分之九十八，能量和效率非常高。〈註九〉

#### 三、其他會發光的生物

自然界裡會發光的生物有很多，許多不同動物和植物，都有發光的能力，通常在節肢動物有能力發光的有：海蜘蛛類、真甲殼類、倍足類、唇族類及昆蟲類等。而昆蟲類有發光能力的有：彈尾目中的水跳蚤科、雙翅目中的蕈蠅科、鞘翅目的螢科、叩頭蟲科、擬螢科、莞菁科，及北美筒蠶蟲科、同翅目、白蠟蟲科等蟲類可以自行發光。〈註十〉

#### 四、不會發光的螢火蟲

根據螢火蟲成蟲出來活動的時間不一樣，可以分為夜行性、日行性、日夜行性等



三大類，其中不會發光的螢火蟲正屬於日行性螢火蟲。

### 01. 夜行性

所謂夜行性，就是只在夜晚活動的螢火蟲，大部分我們在夏日晚上看到飛行空中的成蟲都屬於夜行性，一般這類所發出的光都相當明亮，如：「熠螢屬」、「脈翅螢屬」極大部分的「窗螢屬」種類都是。

### 02. 日行性

日行性的成蟲只在白天才出來活動，因為是白天所以不需要發光照明，因此發光器幾乎已經退化，成為不會發光的螢火蟲。雖然這類的成蟲不會發光，但仍具備螢科昆蟲的型態特徵，更何況他們的幼蟲還是會發光，只是在成蟲時退化了，所以仍歸為螢火蟲。日行性的螢火蟲有：「弩螢屬」、「黑脈螢屬」等等。因為牠們無法藉光來傳遞求偶訊息，在求偶過程中，視覺和嗅覺是十分重要的；所以，牠們是藉複眼和性費洛蒙來找對象的。

### 03. 日夜行性

這類的螢火蟲主要還是白天出來活動，但在夜晚還是可以發現他們的蹤跡，日夜行性的成蟲，不論是雌蟲、雄蟲，所發出的光不過是兩個小點而已，因此晚上如果不仔細觀察還是很難發現牠們，這類的螢火蟲有「櫛角螢屬」、及部分「雙櫛角螢屬」。〈註十一〉

## 參●結論

微觀一隻小小的螢火蟲，發現其中有好多的奧妙，自古至今許多人對牠抱持著好奇的心，除了欣賞牠們漫天飛舞的田野情趣，也希望牠的魔光能為自己生活帶來怎樣的便利，古代車胤借螢火的亮光讀書，而如今螢火蟲的發光已被運用於追蹤老鼠的癌症轉移實驗，另外，京都大學的中津亨副教授也有表示，螢火蟲的冷光是以非常精巧的分子裝置在控制的，如進一步研發將有助於未來開發省能源的發光系統〈註十二〉。可見螢火蟲對人類的奉獻還真不少，但目前的螢火蟲已逐漸稀少，這都是因為牠們生存的環境已經受到破壞，如果再不好好維護並且加以改善，恐怕下一代的人類只能從參考書裡窺探螢火蟲的身影了。

## 肆●引註資料

註一、陳燦榮。《台灣螢火蟲 生態導覽》。(1999)。田野影像。28 頁

註二、EbioTW-春日賞螢 <http://www.dan-studio.com/theme/ix-firefly.htm>

- 註三、陳燦榮。《台灣螢火蟲 生態導覽》。(1999)。田野影像。30 頁
- 註四、科學人雜誌網站 <http://sa.ylib.com/circus/circusshow.asp?FDocNo=675&CL=8>
- 註五、關崇智。《昆蟲生理學》。〈1987〉。國立編譯館。287 頁
- 註六、關崇智。《昆蟲生理學》。〈1987〉。國立編譯館。290 頁
- 註七、陳燦榮。《台灣螢火蟲 生態導覽》。(1999)。田野影像。29 頁
- 註八、螢火蟲發光目的  
[http://class.kids.yam.com/attach/2005/4/14/hongchangwu\\_attach\\_e7ix0ryy.doc](http://class.kids.yam.com/attach/2005/4/14/hongchangwu_attach_e7ix0ryy.doc)
- 註九、關崇智。《昆蟲生理學》。〈1987〉。國立編譯館。291 頁
- 註十、關崇智。《昆蟲生理學》。〈1987〉。國立編譯館。285 頁
- 註十一、陳燦榮。《台灣螢火蟲 生態導覽》。(1999)。田野影像。33 頁
- 註十二、日科學家解開大型螢火蟲發黃綠光之謎  
<http://www.epochtimes.com/b5/6/3/16/n1256409.htm>

#### 伍●參考書目

1. EbioTW-春日賞螢 <http://www.dan-studio.com/theme/ix-firefly.htm>
2. 日科學家解開大型螢火蟲發黃綠光之謎  
<http://www.epochtimes.com/b5/6/3/16/n1256409.htm>
3. 科學人雜誌網站 <http://sa.ylib.com/circus/circusshow.asp?FDocNo=675&CL=8>
4. 螢火蟲發光目的  
[http://class.kids.yam.com/attach/2005/4/14/hongchangwu\\_attach\\_e7ix0ryy.doc](http://class.kids.yam.com/attach/2005/4/14/hongchangwu_attach_e7ix0ryy.doc)
5. 陳燦榮。《台灣螢火蟲 生態導覽》。(1999)。田野影像。
6. 關崇智。《昆蟲生理學》。〈1987〉。國立編譯館。
7. 戀戀螢火蟲—螢火蟲生態之旅  
<http://travel.network.com.tw/tourguide/mtravel/firefly/f4.asp>