

# 以數位錄影系統探討台灣窗螢幼蟲化蛹與羽化過程

何健鎔<sup>1,2</sup> 黃獻文<sup>1</sup> 蘇宗宏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

<sup>2</sup>國立中興大學昆蟲學系 台中市國光路250號

## 摘要

本研究自行規劃組裝之數位錄影系統，包括電腦系統主機與影像擷取卡、40G硬碟、12倍速光碟燒錄機、高畫質監視器CCD、紅外線燈源、影像作業軟體與相關周邊設備。本系統與錄影帶錄影系統和DV攝影系統相較下，其功能、資料管理、速度與可擴充性皆較佳，能夠有效地在夜間工作，適合作為夜行性螢火蟲活動的監視與記錄系統。在化蛹與羽化之發生頻度呈逢機分布，雌蟲化蛹平均所需時間 $58.37 \pm 26.89$  min，而雄蟲為 $64.50 \pm 47.96$  min。雌蟲羽化平均所需時間 $101.66 \pm 52.60$  min，而雄蟲為 $85.04 \pm 57.96$  min，兩者在雌雄之間無顯著差異(t-test,  $p > 0.05$ )。

**關鍵詞：**數位錄影系統、化蛹、羽化、螢火蟲、台灣窗螢

收件日期：2001年10月17日

接受日期：2002年4月15日

## 緒言

台灣窗螢 *Pyrocoelia analis* (Fabricius, 1801) 又名大陸窗螢，屬鞘翅目 Coleoptera，菊虎總科 Cantharoidea，螢科 Lampyridae 之昆蟲。根據國家公園的螢火蟲相調查與台灣產螢科的分類等研究報告中得知(楊 1996, 1997; 賴等 1998; 鄭等 1999; 張等 2000)，台灣窗螢為平原間常見螢火蟲。在台南縣地區，台灣窗螢主要棲地包括有都市公園、水庫草原與農田地區間，為普遍發生的螢火蟲(何 1997; 何等 1998)。近年來在中部地區偶有台灣窗螢大發生(outbreak)，經地方媒體報導，引起民眾好奇，前往觀賞發光景觀，是偶發性大發生現象(何 1998; 程 2000)。

研究螢火蟲夜間行為，常需要長期調查記錄，十分耗費體力，成本需求大，挑戰性也高，對於一般研究者而言，是一項阻力。

為克服這些研究工作上的困難，以自行規劃組裝夜間行為錄影工具，作為探討螢火蟲夜間活動的基本設備。目前將可利用的行為錄影方式簡單區分為三類，如圖1，第一類以 Hi8、DV、D8 等家庭用數位錄影機將螢火蟲行為錄下，利用播放系統在顯示器上觀察，再將數據記錄下來。Ohba 博士曾經利用數位錄影機探討螢火蟲捕食行為與交尾行為等(Ohba and Goto 1997; Ohba *et al.* 1996a, 1996b, 1997)，如圖1A。第二類是以監視器 CCD 以傳輸線接在錄放影機上，利用畫面分割與切換方式，可監看各組 CCD 情況，如圖1B。第三類是利用監視器 CCD 以傳輸線接在電腦上，以數位影像儲存於硬碟中，可長時間錄影，如圖1C。為解決夜間長時間記錄螢火蟲活動之困難，本系統以第三類為規劃設置的基本架構，裝置數位影像系統記錄台灣窗螢幼蟲化蛹與羽化過程。

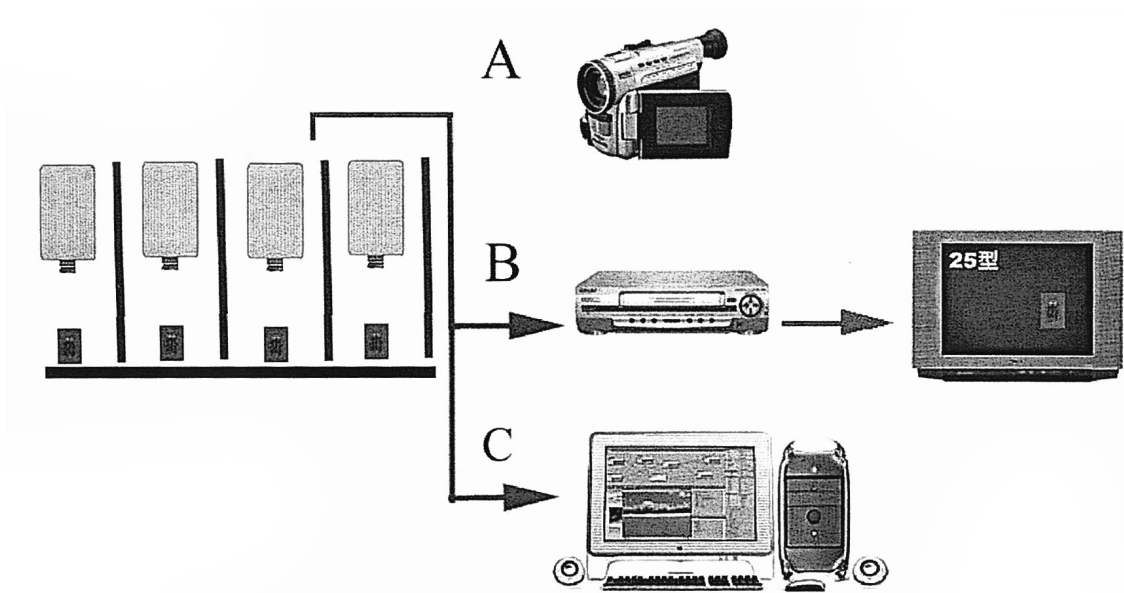


圖1. 錄影系統之類別。A，DV攝影系統；B，錄放影機錄影系統；C，數位錄影系統。

Fig. 1. Types of the recording systems. (A, digital video camera system; B, video system; C, digital video system).

## 材料與方法

### 一、數位錄影系統規劃與設置

- (一) 系統主機：選購個人電腦一部，工業級電腦主機板、Pentium III CPU、17吋彩色電腦螢幕、40G硬碟、12倍速光碟燒錄機。
- (二) 影像擷取卡：本系統裝置高畫質影像擷取卡2式，每式可接4枚監視器CCD，每台電腦最多可擴充到4式影像擷取卡。
- (三) 監視器CCD：4支CCD監視器接在一張影像擷取卡，共8支。高畫質監視器CCD，具感光耦(CMOS)1/3吋，日夜兩用，彩色41萬畫素，水平解析度420條電視掃描線，最高可達540條電視掃描線，0 lux照度需求，自動電子快門，具自動逆光補正開關功能。鏡頭之焦點距離

6.0 mm，背後焦點距離7.5 mm，光圈值1.8。

- (四) 紅外線燈源：夜間錄影時需要投射紅外線燈源，以調整最佳之對比色，以能夠擷取螢火蟲發光的影像為主，並能清楚的呈現活動的情形。
- (五) 其它材料：監視器自由固定架、接頭、電源線、插座、延長線、同軸連接線材等等。
- (六) 影像作業軟體：以Windows 98 作業系統，按下Windows的開始鍵並選擇程式集，進入CHATEAU V4.0應用程式。螢幕上會出現已經設定啓用的影像視窗開始錄影或監視，可以同時錄影8個鏡頭或監視8個畫面。每張卡有不同的環境設定。錄影時可同時播放多個已存檔的影像檔案，可同時觀看多張已儲存的靜態圖片。以上功能可同時執行。

1. 影像視窗：可以直接啓動或關閉影像擷取卡上個別的鏡頭。若新啓動的鏡頭原本並未在主視窗開啓錄影視窗，則必須再按一次錄影鍵，開啓新的錄影視窗。本系統可執行8個分割畫面。
2. 錄影視窗：CHATEAU系統中採用了智慧型影像動態偵測技術，比對兩個連續的圖像，如果有某種程度的變動，CHATEAU系統才執行錄影及其他相關警報的觸發，若影像都沒有變化的話，CHATEAU系統就會採取固定時間錄影，使得影像檔案容量能夠被壓縮的更小，進而減少儲存硬碟的空間，延長錄影時間。
3. 動態偵測功能：在錄影中，如框選了一個偵測區域，系統會針對所選擇的區域進行動態偵測。系統允許每個鏡頭最多設定三個偵測區。觸動偵測區啓動錄影功能只有在偵測區域內的影像改變才會啓動錄影，設定方式請參閱警報設定內容中觸動偵測區啓動影像錄影。
4. 拍照：在錄影中可以擷取靜止圖片。影像是以BMP檔案格式儲存，可以使用其它影像處理軟體進行編輯、處理，或是用印表機將其列印出來，可以立即進行討論與分析。
5. 放影：放影視窗按下按鍵可以選擇想要播放的影像檔案，螢幕將顯示搜尋影像資料的畫面，選擇要搜尋的日期，然後按下全部列出鍵，會依照時間順序排列當天所有的影像檔案。標示出每一個影像檔案錄影的時間、錄製的CHATEAU卡名稱、攝影鏡頭名稱、檔案大小、影像性質，並且有排序之功能，因此從影像檔案清單播放影像檔案點選需要的檔案然後按下開啓鍵，CHATEAU系統會開始播放該影像檔。
6. 慢速放影：播放影像時每按慢速放影鍵一次，播放影像的速度會減慢。按第一次變為正常播放速度的二分之一；按第二次變為正常播放速度的四分之一；按第三次變為正常播放速度的六分之一；按第四次變為正常播放速度的八分之一；按第五次以後變為正常播放速度的十分之一。
7. 快速放影：播放影像時每按快速放影鍵一次，影像的播放速度將加速。按第一次變

表1. 三種錄影系統在價格、儲存設備與功能特性與效率之比較

Table 1. Comparison of costs, storage equipment, and functional quality and efficiencies among the three recording system

Items	Digital video system	Video system	Digital video camera system
Storage equipment	Hard disk	180m Video tape	120m Video tape
Functional quality and efficiencies			
Image quality	Common	Common	Good
Broadcasting system	Quick	Slow	Slow
Search system	Quick	Slow	Slow
Camera system	Quick	Slow	Slow
Space of storage	Small	Big	Big
Extension	Good	Common	Common
Costs (NT\$)	80,000	80,000	60,000

為正常播放速度的二倍；按第二次變為正常播放速度的四倍；按第三次變為正常播放速度的六倍；按第四次變為正常播放速度的八倍；按第五次以後變為正常播放速度的十倍。

8. 向前尋找：此按鍵功能和傳統錄放影機的快速前進鍵類似。在放影時按下該按鍵，影片將前進一段時間播放。其效果與直接使用滑鼠將時間軸指標向右移動相同。

## 二、蟲源與飼育方法

幼蟲於1998年5月間採自雲林縣西螺鎮廢棄田地中，攜回研究室累代飼養至第三代，單隻飼養幼蟲，飼養方法是將舒潔牌抽取式白色衛生紙對摺二次後，植入透明塑膠盒中(高度 6 cm，底部直徑 8 cm，開口直徑 9.5 cm)，以塑膠滴管注入5 ml之去離子水，每日飼養供給扁蝸牛活體，加蓋後並在蓋子畫上十字孔(2 cm x 2 cm)；隔日，將衛生紙抽換，再行注入少許去離子水。將飼育盒放置於陰暗通風處，俟其幼蟲進入前蛹期，分別編號作為錄影之供試蟲源。

## 三、錄影方式與條件環境

黃色塑膠盒(W x L x H = 5.5 cm x 7.5 cm x 5.2 cm)底層鋪設白色衛生紙，加入1滴去離子水，以保持潮濕狀態，選擇1隻前蛹期幼蟲放入黃色塑膠盒中為一組，置於錄影台上，一枚監視器CCD錄製一組，對焦後以滿格影像取景錄影。為了減少錄影時的相互干擾，以厚紙板區隔每組蟲，夜間來臨啟動光感應紅外線投射器加以補光，以利夜間錄影。當蟲體化蛹完成，換取另一組。羽化時的處理方式與化蛹同。另以DATA LOGGER溫度記錄器記錄室內溫度變化，每週整理分析研究中之溫度變化。化蛹後，以微量天秤(METTLER/德國AE100)測量當日蛹重量。

## 四、資料分析與記錄

將開啓影像檔案放影，該檔案係以每小時為單位的錄影模式，因此可依其時間序列分別放影記錄。由於放影時間過長，為節省時間可以快速放影與向前尋找來找到發生時間，再利用慢速放影觀察記錄其細微之行為動作；另開啓EXCEL 2000，以小視窗分別記錄其時間與動作行為。

化蛹過程主要是從前胸背板的開裂開始，到蛻下表皮間的時間；蛹體體色變黑後，由前胸背板開裂，到成蟲從蛹皮中爬出，到前翅黑化間的時間。每隻行為過程，先用硬碟存檔，經整理後，刪除不必要的影像，以光碟燒錄機將重要過程用檔案燒錄，編號永久保存。也可利用拍照功能，擷取靜止圖片，存成BMP檔案格式。再經過Photoshop或其它影像處理軟體進行編輯、處理，將可組成6格或8格重要畫面，以表現其化蛹和羽化過程，儲存重要圖片檔，也可用彩色噴墨印表機列印。

## 結果與討論

### 一、行為錄影系統設置與比較

觀察行為發展期的過程中，能夠利用方便與有效器材是非常重要的，從早期的相機、8 mm錄影機、16 mm錄影機、Hi8錄影機、V8錄影機、D8錄影機、DV與BETACAM錄影機等等系統。監視器CCD數位影像漸漸取代了部分傳統底片，又製程與畫質的改進，輕巧方便的監視器CCD成為行為錄影的良好工具。傳統上，利用錄放影機來儲存類比式之影像資料，目前錄影帶最長錄影時間180分鐘；而通常用的Hi8、D8、DV8等攝影機120分鐘，需要經常更換錄影帶，如果是監看夜間的昆蟲活動，需要人力的補充外；錄影帶成本較高，如果長時間觀察下，容易累積相當多的觀察帶，造成儲存空間明顯不

夠，將來找尋又不方便。改由電腦硬碟儲存，由於硬碟儲存空間大，價格低廉，合適儲存大量資料，再經資料分門別類依序整理，利用光碟燒錄機將重要資料燒錄成光碟片備份永久保存，其優缺點之比較如表1。此外在長時間的錄影下，需使用工業級電腦主機板，以免工作時間長，發生當機現象，加裝不斷電系統，也可以減低停電所造成之影響。

傳統錄影系統僅能觀察記錄1個體，如果要處理4個體，就需要架設4台監視器CCD，並連接4台錄放影機，這樣所花費的成本相當高。本系統所架設數位錄影系統一次可以觀察記錄8個體(最高可以擴充到16監視器CCD)，從效率與成本上比較，是較為經濟的研究工具。

在放影功能上，可慢速放影，不遺漏細微的行為動作；快速放影，對於蒐尋發生的時間，具有良好的功能；此外向前尋找，直接使用滑鼠將時間軸指標向右移動相同，可達快速蒐尋的效果。

資料整理與記錄需要許多人力，如用傳統的錄放影機與DV攝影機，需要在電視螢幕前長時間觀察，畫質較差，記錄者眼睛容易疲倦，如果使用電腦螢幕或液晶顯示螢幕，畫質佳且效果好，比較上是較佳的設置方式。在Windows 98作業系統下，另可開啓EXCEL的小視窗，一邊觀察一邊鍵入資料，

快速且方便。目前也有許多相當好之行為分析軟體，如Noldus行為分析軟體，雖然功能強大，包含後續的統計分析，可運用於行為科學研究，但其軟體價格較高，從經濟成本上考量，對於基礎生物學的研究，本系統可接受度較高。

隨著科技進步，監視器CCD的品質日益提高，畫質更佳；電腦系統處理資料速度快，硬碟能儲存資料的容量高。影像擷取卡影像模式更多且更好，未來電腦主機系統的擴充性高，考量未來發展空間，數位行為錄影系統將是今日做行為研究上的良好設備。

二、化蛹

在室內環境(26.0-29.2°C ; 99 % RH ; 正常日照)條件下，將編號的前蛹放置於錄影台上，開啓數位行為錄影系統，資料檔案經燒錄機備份儲存。經整理已儲存影像檔案，描述台灣窗螢幼蟲化蛹過程。幼蟲在化蛹前身體倒立或側立，進入前蛹期，前蛹期 $2.5 \pm 0.6$  day，腹部朝上，慢慢上下擺動，前胸側板最先裂開，開裂至後胸處，再經連續的上下擺動，向前推出，完成蛻皮，剛蛻皮之蛹為白色。另以快拍模式，將化蛹過程影像擷取下，經整理如圖2。雌性蛹體型較大，僅存有翅芽；雄性蛹體型較小，有明顯翅芽，容易區別。雌蛹重 $1.2496 \pm 0.599$ g (n = 53)；雄蛹重 $0.3578 \pm 0.1057$  g (n = 52)；以t-test檢定，有

表2. 台灣窗螢化蛹與羽化所需時間

Table 2. Time duration for the pupation and emergence processes of *P. analis*

Process	Sex	Number of samples	Time duration (min)		
			Mean $\pm$ SD	Maximum	Minimum
Pupation	Male	42	64.50 $\pm$ 47.96	213	29
	Female	43	58.37 $\pm$ 26.89	145	31
Emergence	Male	47	85.04 $\pm$ 57.96	347	26
	Female	51	101.66 $\pm$ 52.60	354	36

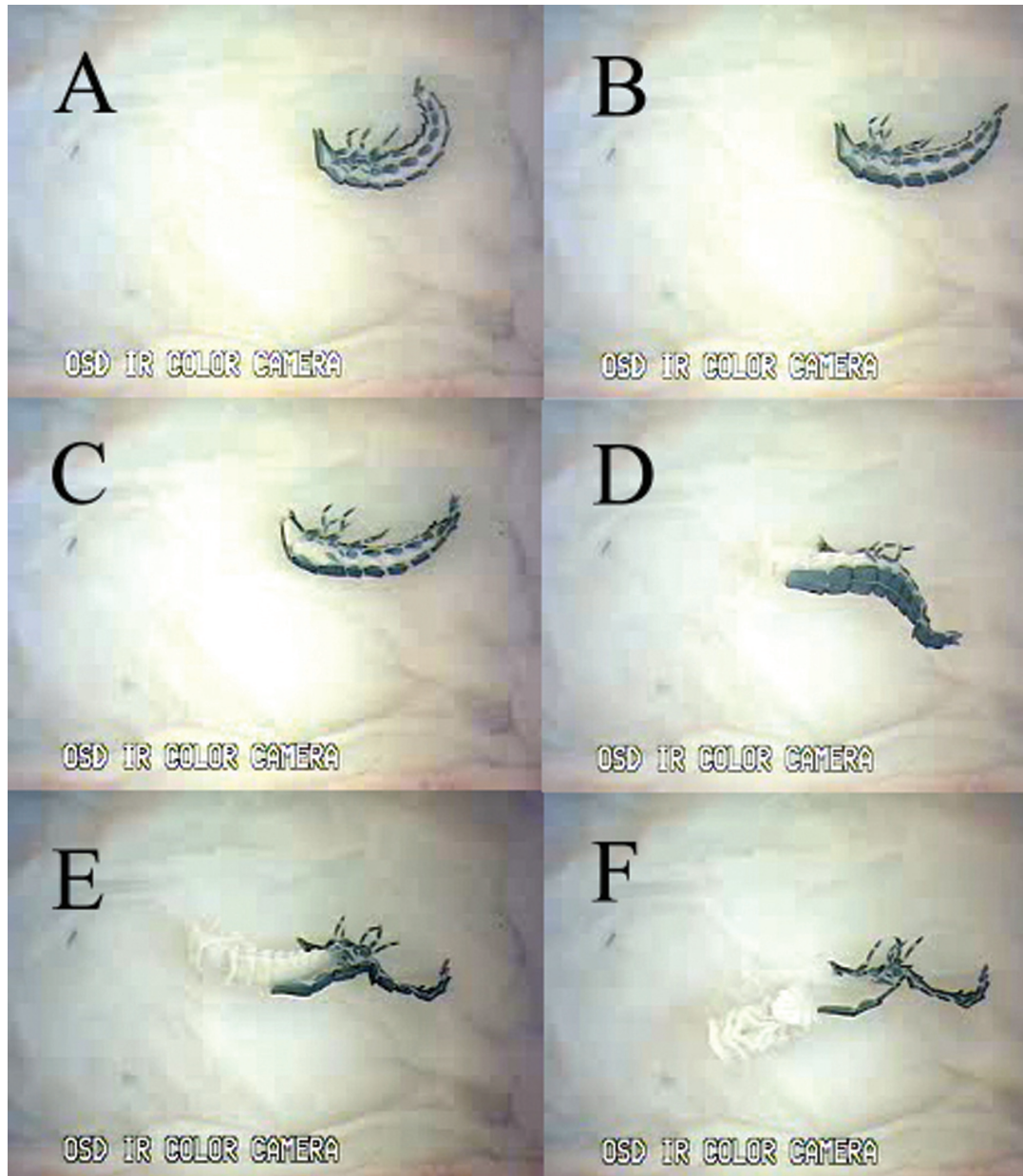


圖2. 台灣窗螢化蛹過程。A，幼蟲在化蛹前身體倒立或側立，進入前蛹期；B，腹部朝上，慢慢上下擺動；C，前胸側板最先裂開；D，開裂至後胸處；E，再經連續的上下擺動，向前推出；F，完成蛻皮，剛蛻皮之雄蛹為乳白色。

**Fig. 2.** The pupation process of *P. analis* (A, prepupa with body upside down or laying laterally; B, prepupa with body slowing and moving ventrally up and down; C, occurrence of cleft from front to both lateral sides of the pleural prothorax; D, cleft enlarged to thorax; E, pupa moving up and down out of the cleft; F, completion of pupation with formation of milky colored pupa).

顯著差異( $p < 0.05$ )。

從頻度分布圖得知化蛹時間無明顯發生高峰(圖3)，經計算離散係數 $CD = 1.14$ ，接近於1；再將頻度分布作成次數分布圖後，以卡方檢定，其 $\chi^2$ 值為 $0.802 < \chi^2_{0.05}$ ， $df = 5$ ，未達差異顯著水準，化蛹時間之分布屬卜瓦松分布(Poisson distribution)，是逢機分布型式。雌蟲化蛹平均所需時間 $58.37 \pm 26.89 \text{ min}$  ( $n = 43$ )，雄蟲化蛹平均所需時間 $64.50 \pm 47.96 \text{ min}$  ( $n = 42$ )，以t-test檢定，沒有顯著差異( $p > 0.05$ )。

### 三、羽化

在室內環境( $26.0-29.2^\circ\text{C}$  ;  $99\% \text{ RH}$  ; 正常日照)條件下，將編號的蛹體放置於錄影台

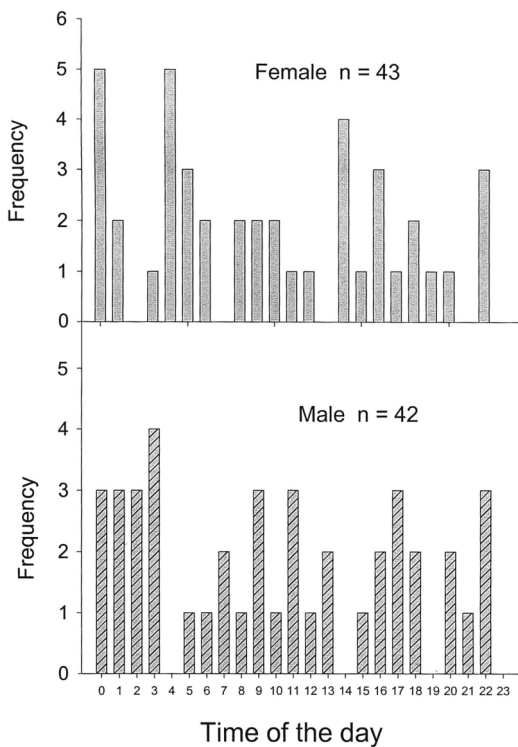


圖3. 臺灣窗螢化蛹時間頻度分布。

Fig. 3. Frequency distribution of pupation of *P. analis*.

上，開啓數位行為錄影系統，資料檔案經燒錄機備份儲存。將開啓影像檔案進行整理，描述羽化過程。蛹在羽化前，複眼、胸部與腹部略轉為黑色，雄性翅芽略脹，足部也略為張開，腹部朝上，慢慢上下擺動，由前胸側板中線最先裂開，再經連續的上下擺動，頭部與胸部出來後，慢慢向前推出，將身體轉正後，羽化退出蛹殼，剛羽化的成蟲為白色，需經一段時間後，身體變黑。另以快拍模式，將化蛹過程之影像擷取出，經整理如圖4。

從頻度分布圖得知羽化時間無明顯發生高峰(圖5)，經計算離散係數 $CD = 1.09$ ，接近於1；再將頻度分布作成次數分布圖後，以卡方檢定，其 $\chi^2$ 值為 $0.191 < \chi^2_{0.01}$ ， $df = 6$ ，未達差異顯著水準，其羽化時間分布屬卜瓦松分布，為逢機分布型式。雌蟲化蛹平均所需時間 $58.37 \pm 26.89 \text{ min}$  ( $n = 43$ )，雄蟲化蛹平均所需時間 $64.50 \pm 47.96 \text{ min}$  ( $n = 42$ )，以t-test檢定，沒有顯著差異( $p > 0.05$ )。從圖5得知雌蟲與雄蟲在羽化時間無明顯的發生高峰，雌蟲羽化平均所需時間 $101.66 \pm 52.60 \text{ min}$  ( $n = 51$ )，雄蟲羽化平均所需時間 $85.04 \pm 57.96 \text{ min}$  ( $n = 47$ )，由於雌蟲體型較大，而在羽化時所需時間較長，以t-test檢定，則沒有顯著差異( $p > 0.05$ )。

### 謝誌

本研究蒙研究室同仁姜碧惠與張秀始小姐協助養蟲工作與相關試驗，程文貴先生協助野外台灣窗螢採集，謹此申謝。

### 引用文獻

何健銘。1997。黑暗中的小燈籠—螢火蟲。台灣省特有生物研究保育中心出版。



**圖4.** 台灣窗螢雄蛹羽化過程。A，蛹之複眼、胸部與腹部略轉為黑色；B，雄性翅芽略脹，發光器發出黃綠色螢光；C，足部也略為張開；D，腹部朝上，慢慢上下擺動，且側翻；E，由前胸背板中線最先裂開；F，頭部與胸部出來後，慢慢向前推出；G，將身體轉正後，退出蛹殼，乳白色；H，漸漸地身體變黑。

**Fig. 4.** The emergences process of *P. analis* (A, the compound eyes, thorax and abdomen of pupa turn dark; B, the wing bug swelled and yellow greenish light emitted from the light organ; C, extension of legs slowly; D, the body upside down or laying laterally; E, occurrence of cleft from the central of prothorax; F, head and thorax moving from molt slowly; G, body turned and came from the molt with milky color; H, body color turned black litter by litter).

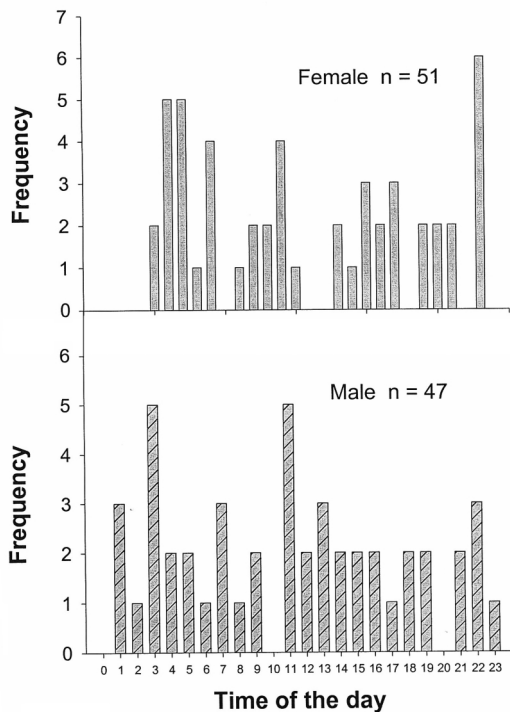


圖5. 台灣窗螢幼蟲羽化時間頻度分布。

Fig. 5. Frequency distribution of emergence of *P. analis*.

131 頁。南投縣。

何健鎔。1998。西螺地區台灣窗螢大發生。自然保育季刊 24: 48-53。

何健鎔、林春基、顏仁德。1998。台南縣螢火蟲資源調查。國立台灣大學農學院實驗林研究報告 12(2): 121-127。

張念臺、陳仁昭、許文綺。2000。南仁山長期生態研究區螢火蟲相調查—並論生態區之相似性比較。中華昆蟲 20: 57-61。

程文貴。2000。西螺台灣窗螢再發光。自然保育季刊 32: 34-37。

楊平世。1996。雪霸國家公園螢火蟲生態研究。內政部營建署雪霸國家公園管理處出版。30 頁。苗栗縣。

楊平世。1997。國家公園螢火蟲復育研究計

畫。內政部營建署出版。42 頁。台北市。

鄭明倫、賴郁雯、楊平世。1999。台灣六座國家公園螢火蟲相概要(鞘翅目：螢科)。中華昆蟲 19: 65-91。

賴郁雯、佐藤正孝、楊平世。1998。台灣產螢科名錄(鞘翅目：多食亞目：螢科)。中華昆蟲 18: 207-215。

Ohba, N., Y. Goto, and I. Kawashima. 1996a. External morphology and behavior of *Rhagophthalmus ohbai* Wittmer, 1994 (Coleoptera: Rhagophthalmidae) and its habitat. Science Report Yokosuka City Museum 44: 1-19.

Ohba, N., Y. Takai, Y. Goto, and I. Kawashima. 1996b. External morphology and behavior of adult male of *Lucidina okadai* Nakane et Ohba (Coleoptera: Lampyridae) and its habitat. Science Report Yokosuka City Museum 44: 33-45.

Ohba, N., and Y. Goto. 1997. Competitive behavior of mating males in the firefly, *Pyrocoelia abdominalis* (Coleoptera: Lampyridae). Science Report Yokosuka City Museum 45: 39-44.

Ohba, N., Y. Goto, and I. Kawashima. 1997. Behavior and adult female morphology and firefly, genus *Stenocladus* (Coleoptera: Lampyridae) in Japan. Science Report Yokosuka City Museum 45: 23-37.

# Using a Digital Video System to Study Pupation and Emergence of the Firefly *Pyrocoelia analis* (Fabricius)

Jen-Zon Ho<sup>2</sup>, Hsien-Wen Huang<sup>1</sup> and Tsong-Hong Su<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Taiwan Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan

<sup>2</sup>Department of Entomology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan

## Abstract

We set up a digital video system that connected to the main system of personal computer with an image card, a 40G hard disk, a 12X CDR, and a high quality CCD. It was provided with infrared light as its illumination source. This system was found to be better than the video system and the digital video camera system in functional quality and efficiencies, such as image view, storage, transfer and extension, and data collection and management. The digital video system is a useful monitoring system particularly suitable for studies on activities of nocturnal fireflies. In this study the digital video system was tested to monitor the pupation and emergence of the firefly *Pyrocoelia analis* Fabricius. The results showed that occurrence of the pupation and emergency during 24 hours of the day were the random phenomena without a peak occurrence. The time duration for the pupation was  $58.37 \pm 26.89$  min for females and  $64.50 \pm 47.96$  min for males, while for the emergence was  $101.66 \pm 52.60$  min for females, and  $85.04 \pm 57.96$  min for males. However, there was no sexual significant difference in these two characters (t-test,  $p > 0.05$ ).

**Key words:** digital video system, pupation, emergence, firefly, *Pyrocoelia analis*

Received: October 17, 2001

Accepted: April 15, 2002