



# Formosan Entomologist

Journal Homepage: [entsocjournal.yabee.com.tw](http://entsocjournal.yabee.com.tw)

## Habitat Environmental Factors and Population Fluctuations of the Firefly, *Pyrocoelia analis* (Coleoptera: Lampyridae) 【Research report】

### 台灣窗螢(鞘翅目：螢科)棲地環境因子與族群變動【研究報告】

Wan-Chun Wu Jen Jiun Perng\*

吳婉君 彭仁君\*

\*通訊作者E-mail: [jjperng@nttu.edu.tw](mailto:jjperng@nttu.edu.tw)

Received: 2006/02/16 Accepted: 2006/06/12 Available online: 2007/03/01

### Abstract

The terrestrial firefly, *Pyrocoelia analis* Fabricius, is distributed at low elevations throughout Taiwan and occurs in a variety of habitats. This study compared differences in environmental factors of firefly habitats under different management regimes, and examined the influences of these environmental factors on fluctuations in its population. Four sampling sites in Pingtung County, southern Taiwan, were selected for this study. From May 2004 to August 2005, field surveys took place monthly. The PU site, at which no pesticides were used, is a weedy area on the roadside in a small village at Pingtung University of Science and Technology. The WG site is a managed betel palm (*Areca catechu* L.) plantation with wetter soil and a high coverage of weeds. The DP site is a managed betel palm plantation with a low coverage of weeds. The IT site is an abandoned betel palm plantation with drier soil and a high coverage of weeds. The results showed that the average air temperatures and relative humidities generally exhibited no significant differences among the sampling sites. The average firefly larval density (3.2 individuals (inds.)/m<sup>2</sup>) and male adults (7.4 counts/10 min) were highest at the PU site, followed by the WG site (1.7 inds./m<sup>2</sup> and 6.2 counts/10 min, respectively). At these two sites, the average soil water content, ground plant coverage and height, and prey density were also consistently higher. At the DP site, where the vegetative cover was thinnest (28.1%), firefly larval density (0.5 inds./m<sup>2</sup>) and male adults (2.2 counts/10 min) were significantly lower. At the IT site, where the soil water content was lowest (16.3%) but weed coverage was high (up to 85%), almost no larvae were found. The pooled data from the four sampling sites showed that prey density was significantly higher at the sampling points where firefly larvae were found than it was at sites where larvae were not found. Male adults occurred from February to October, and larvae occurred from April to October. Prey were found throughout the entire year, but their density levels were lower during winter. There were high positive correlations ( $r = 0.50\sim 0.80$ ) among male adult abundances, larval densities, and prey densities at each sampling site. Air temperature and soil water content were also positively correlated with firefly and prey densities ( $r = 0.21\sim 0.82$ ), indicating a consistent seasonal fluctuation pattern between firefly populations and these environmental factors.

### 摘要

為探討台灣窗螢(*Pyrocoelia analis* Fabricius)棲地環境因子差異對其族群發展的可能影響。本研究約自2004年6月至2005年8月止，每月分別在屏東縣內埔鄉其雄成蟲常出現之四個樣區調查一次：屏科大樣區為不施農藥之水土保持邊坡草地；五溝樣區為地面植物覆蓋度高且較潮濕的檳榔園；東片樣區為地面植物體覆蓋度低的檳榔園；義亭樣區為地面植物覆蓋度高但較乾燥的無管理檳榔園。調查期間各月平均氣溫與相對濕度在樣區間多無顯著差異。在屏科大樣區，其平均幼蟲密度之3.2 individuals (inds.)/m<sup>2</sup>及雄成蟲出現數7.4 counts/10 min都最高；五溝樣區皆次之，分別為1.7 inds./m<sup>2</sup>及6.2 counts/10 min，這兩樣區之平均土壤含水率、地面植物覆蓋度與高度和食餌密度也都同時較高；東片樣區幼蟲密度0.5 inds./m<sup>2</sup>及雄成蟲出現數2.2 counts/10 min相對偏低，其地面植物體覆蓋度僅28.1%；義亭樣區幾無發現幼蟲，地面植物覆蓋度達85.0%，但土壤含水率僅16.3%。合併四個樣區之資料分析：其幼蟲出現樣點之食餌密度為33.4 inds./m<sup>2</sup>，顯著高於無幼蟲出現樣點之13.7 inds./m<sup>2</sup>。其雄成蟲出現活動從2月到10月止，幼蟲則從5月到10月止，蝸牛等食餌全年都有發現，三者從5月至9月為較高活動期。雄成蟲出現數、幼蟲密度和食餌密度之季節變動消長，在各樣區具一致顯著正相關( $r = 0.50\sim 0.81$ )，而氣溫及土壤含水率也分別和這三者間具有正相關性( $r = 0.21\sim 0.82$ )，顯示其族群變動和棲地中氣溫、土壤含水率及食餌密度之季節變動型態趨於一致。

**Key words:** *Pyrocoelia analis*, population fluctuation, betel palm orchard, larval habitat, environmental factor

**關鍵詞:** 台灣窗螢、族群變動、檳榔園、棲地、環境因子。

Full Text: [PDF \(0.72 MB\)](#)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: <http://entsocjournal.yabee.com.tw>

## 台灣窗螢(鞘翅目：螢科)棲地環境因子與族群變動

吳婉君 國立屏東科技大學野生動物保育研究所 屏東縣內埔鄉學府路1號

彭仁君\* 國立台東大學生命科學研究所 台東市中華路684號

### 摘 要

為探討台灣窗螢(*Pyrocoelia analis* Fabricius)棲地環境因子差異對其族群發展的可能影響。本研究約自2004年6月至2005年8月止，每月分別在屏東縣內埔鄉其雄成蟲常出現之四個樣區調查一次：屏科大樣區為不施農藥之水土保持邊坡草地；五溝樣區為地面植物覆蓋度高且較潮濕的檳榔園；東片樣區為地面植物體覆蓋度低的檳榔園；義亭樣區為地面植物覆蓋度高但較乾燥的無管理檳榔園。調查期間各月平均氣溫與相對濕度在樣區間多無顯著差異。在屏科大樣區，其平均幼蟲密度之3.2 individuals (inds.)/m<sup>2</sup>及雄成蟲出現數7.4 counts/10 min都最高；五溝樣區皆次之，分別為1.7 inds./m<sup>2</sup>及6.2 counts/10 min，這兩樣區之平均土壤含水率、地面植物覆蓋度與高度和食餌密度也都同時較高；東片樣區幼蟲密度0.5 inds./m<sup>2</sup>及雄成蟲出現數2.2 counts/10 min相對偏低，其地面植物體覆蓋度僅28.1%；義亭樣區幾無發現幼蟲，地面植物覆蓋度達85.0%，但土壤含水率僅16.3%。合併四個樣區之資料分析：其幼蟲出現樣點之食餌密度為33.4 inds./m<sup>2</sup>，顯著高於無幼蟲出現樣點之13.7 inds./m<sup>2</sup>。其雄成蟲出現活動從2月到10月止，幼蟲則從5月到10月止，蝸牛等食餌全年都有發現，三者在5月至9月為較高活動期。雄成蟲出現數、幼蟲密度和食餌密度之季節變動消長，在各樣區具一致顯著正相關( $r = 0.50\sim 0.81$ )，而氣溫及土壤含水率也分別和這三者間具有正相關性( $r = 0.21\sim 0.82$ )，顯示其族群變動和棲地中氣溫、土壤含水率及食餌密度之季節變動型態趨於一致。

**關鍵詞：**台灣窗螢、族群變動、檳榔園、棲地、環境因子。

### 前 言

過去螢火蟲的研究多偏向於探討其生理、活動與發光型態(Kaufmann, 1965;

Dreisig, 1971; Yuma and Hori, 1990; Rooney and Lewis, 1999)，雖然國內外已有研究報導認為螢火蟲棲息地主要的環境因子包括氣溫、相對濕度、土壤濕度、植物覆蓋度、

\*論文聯繫人  
e-mail: jjperng@nttu.edu.tw

食餌及照明燈光等 (Kaufmann, 1965; Bushman, 1984; Jeng *et al.*, 1999; Viviani, 2001; Ho, 2004), 但是這些環境因子多是根據螢火蟲出現之環境類型和相關文獻做歸納討論, 比較少針對其棲地環境因子加以調查分析比較。有的螢火蟲顯現出對微棲地環境的選擇具有差異, 此差異並會影響到它的生活史進行 (Gentry, 2003)。近年來已有台灣窗螢 (*Pyrocoelia analis* Fabricius) 之棲地分布類型 (Ho, 2004) 和實驗生物學報導 (Ho *et al.*, 2002; Ho and Huang, 2003), 此提供相關基礎生態研究之資訊。為瞭解螢火蟲棲地環境因子對其族群發展之影響, 本研究以台灣窗螢為研究對象, 調查比較其棲地環境因子在不同樣區之差異, 並分析探討環境因子與族群密度變動之關係。

台灣窗螢為台灣平地低海拔常見陸棲性螢火蟲, 其幼蟲出現棲息地環境類型可包括竹林、防風林、果園、河床、草地、茶園、闊葉樹林、菜園、農田、蔗田及檳榔園 (betel palm orchard) 等類型, 但基本上是屬於草地型的地表棲地 (Ho, 2004)。螢火蟲幼蟲生長在地面草生植物上, 由於受到植物體的庇護作用, 其受到外部環境因子變動的影響會相對較低 (Kaufmann, 1965)。地表植物覆蓋度對棲地之土壤含水率、相對濕度、氣溫及天敵等具有影響, 這些環境因子對螢火蟲 (Kaufmann, 1965; Yuma and Hori, 1990) 及其軟體動物食餌 (Martin and Sommer, 2004) 的生存與族群發展也有連帶影響。

檳榔 (*Arecae catechu* L.) 在台灣中南部栽種相當普遍, 使得台灣窗螢常在檳榔園被發現 (Ho, 2004)。由於其在屏東縣內埔鄉部份檳榔園田間不但常見且活動數量頗高, 為瞭解檳榔園中棲地環境因子差異對台灣窗螢族群發展之可能影響, 並能探討棲地環境因子與其族

群密度間之變動關係, 本研究選取台灣窗螢常出現之屏東科技大學後山, 及不同管理環境條件的檳榔園等四處樣區, 進行棲地環境因子調查, 包括氣溫、相對溼度、地表植物覆蓋度及高度、土壤溼度及食餌密度等, 同時調查台灣窗螢幼蟲及雄成蟲族群鄉對密度, 探討其變動關係與可能影響。期望本研究結果能作為日後螢火蟲棲地保育及休閒農業管理之依據, 並供棲地經營管理之參考。

## 材料與方法

### 一、調查樣區環境

本研究分別在屏東縣內埔鄉台灣窗螢雄成蟲常出現之屏東科技大學後山以及義亭村、東片村和五溝村檳榔園共設立四處樣區, 每月一次分別於此四樣區調查台灣窗螢族群及其棲地環境因子。

(1) 屏科大樣區—位於老埤村, 海拔高度 70~100 m, 為校區內不施農藥之水土保持馬路邊坡草地, 樣區內以巴拉草 *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf 居多, 樣區邊長有部份刺竹 *Bambusa stenostachya* Hackel、野桐 *Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell. -Arg. 及春不老 *Ardisia Squamulosa* Presl. 等。本樣區主要是沿著約 250 m 距離之道路兩旁坡面草生地面調查。以 GPS (GARMIN etrex Vista) 對本樣區定位測量所得之資料為 210607, 2505010。

(2) 義亭樣區—為義亭村一處無任何灌溉較乾燥的廢棄無管理檳榔園, 區內地面長滿草本植物, 以咸豐草 *Bidens pilosa* L. 為主。本區 GPS 定位之資料為 207632, 2502109。

(3) 東片樣區—為東片村一處持續經營管理之檳榔園, 管理最為頻繁。區內定時啟動噴水器灑水, 並定期廣泛噴灑除草劑, 也對樹上

檳榔噴灑農藥。本樣區植物種類和覆蓋度皆低，園內地面主要為枯枝葉。本區 GPS 定位之資料為 207348, 2504652。

(4)五溝樣區一為五溝村一處持續經營管理之檳榔園，以引入溝渠的方式灌溉，園內土壤含水率高，植物組成以喜潮濕之水蜈蚣 (*Kyllinga brevifolia* Rottb) 居多。區內除草劑使用量低且較為局部，因此園內地面植物生長所受影響不大，植物覆蓋度仍高。本區 GPS 定位之資料為 207645, 2502221。

義亭、東片和五溝三樣區面積各約為  $50 \times 30 \text{ m}^2$ ，三樣區週邊皆為有耕作之檳榔園。

## 二、調查方法

除屏科大樣區調查時間從 2004 年 7 月起開始外，義亭、東片和五溝三樣區都自 2004 年 6 月起，這四個樣區全部調查到 2005 年 8 月止。由於下雨會降低台灣窗螢夜間出現活動與發光，本研究分別於每月未下雨的日子進行調查一次，時間約從下午 5 點至晚上 10 點止，其族群密度與棲地環境因子調查項目與內容分述如下：

### (1)氣溫與溼度

每月調查時將溫溼度記錄器 (Sigma-II Termohygrograph no 7210) 置於樣區地面，在下午 5 點至晚上 10 點期間，每 10 分鐘記錄氣溫與溼度變化，再計算平均後，做為其當月之總平均值。

### (2)地面植物體種類與覆蓋度

在樣區內逢機取  $100 \times 100 \text{ cm}^2$  面積為一樣點之調查範圍，每次調查共取 10 個同樣作法之樣點，記錄其內地面植物體種類，並以目視概估每一樣點各種地面植物體所佔面積之百分比。

### (3)土壤含水率

在樣區內逢機取  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  面積為一樣點之調查範圍，將其地面枝葉挖開，取表土下之土壤為一樣本，每次調查共取 5 個同樣作法之樣點，將 5 個土壤樣本帶回實驗室，置於  $50^\circ\text{C}$  定溫烘箱內烘乾。烘乾期間每天測量每一土壤樣本重，直到樣本重量不變後，以下列公式計算每一土壤樣本含水率：

$$W = [(A - B) / (A - C)] \times 100\%$$

W：土壤含水率 A：濕土與容器重之和

B：乾土與容器重之和 C：容器重

### (4)雄成蟲調查數

各樣區在天黑開始進行調查，當觀察發現發光之台灣窗螢雄成蟲開始起飛活動時，便以 10 分鐘為單位，觀察出現活動之發光雄成蟲個體數，在每一樣區每月調查共進行 6 次，以最多一次 10 分鐘雄成蟲出現觀察數，做為該樣區當月 10 分鐘單位時間內其雄成蟲調查數 (counts/10 min)。

### (5)幼蟲密度與其棲地環境因子

在樣區內逢機取地面  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  面積為一樣點，目視檢查記錄樣點內發光台灣窗螢幼蟲數 (individuals, inds.)，在每一樣區每月調查共取 10 個同樣作法之樣點。同時，調查每一樣點內地面植物體種類與高度以及食餌種類與數量等幼蟲棲地環境因子，分別計算每一樣點地面植物體平均高度及平均食餌密度。將相關密度資料分別換算成為每  $1 \text{ m}^2$  面積單位之密度 (inds./ $\text{m}^2$ )。

### (6)有幼蟲出現位置之棲地環境因子調查

此調查是在前項逢機調查幼蟲密度後再進行的，並不是逢機的調查，而是在同樣區中，以主動搜尋地面有發光幼蟲出現的位置後，再對此位置同樣  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  面積，來記錄此面積內地面植物體種類與高度以及食餌種類與數量等幼蟲棲地環境因子，同樣也將相關密度資料分別換算成為每  $1 \text{ m}^2$  面積單位之

密度。本調查目的在於增加幼蟲出現位置棲地環境因子之資料。

### 三、統計分析

#### 1. 各樣區台灣窗螢與棲地環境因子之比較

(1) 將四個樣區每月調查之平均氣溫(圖一 A)、平均相對溼度(圖一 B)、平均地面植物體覆蓋度(圖一 C)、平均地面植物體高度(圖一 D)、平均土壤含水百分率(圖一 E)、平均食餌密度(圖二 A)、平均幼蟲密度(圖二 B)、單位時間雄成蟲調查數(圖二 C)，分別繪出其全年各月變化趨勢圖。

(2) 將每一樣區各變數之每月調查資料視為一重覆，因此各變數調查月份總次數即為重覆總數，但是台灣窗螢幼蟲密度及雄成蟲調查數只取有個體出現月份之資料進行分析，各變數重覆總數如表一。將各變數先以 one-way ANOVA 統計方法，分別分析比較其在四樣區間是否具有顯著差異，若有顯著差異則再以 LSD 分別檢驗兩兩樣區間是否具有顯著差異，都以  $\alpha = 0.05$  為檢驗顯著水準(表一)。

#### 2. 台灣窗螢與棲地環境因子之月份變化相關性

將台灣窗螢與棲地環境因子等變數，分別進行皮爾森線性相關 (Pearson linear correlation) 分析，以瞭解同一變數在不同樣區間或同一樣區不同變數間全年各月份變化之關聯程度。

#### 3. 有幼蟲及無幼蟲樣點棲地環境因子比較

對於包括台灣窗螢幼蟲密度(本材料方法二 2(5))和其幼蟲出現位置(本材料方法二 2(6))調查中有發現幼蟲之樣點，以及幼蟲密度調查中未發現幼蟲之樣點，將這兩種樣點同時有調查地面植物體高度和食餌密度兩個棲地因子，分別以 *t*-test 統計方法，加以比較分析這兩個幼蟲棲地環境因子，在有幼蟲及無幼蟲兩種樣點間是否具有差異。

## 結 果

### 一、各樣區間台灣窗螢與棲地環境因子之比較

#### 1. 平均氣溫

在調查期間，所有各月調查時平均氣溫之總平均值，在四個樣區間並無顯著性差異 ( $F_{3,55} = 0.47$ ;  $p = 0.7034$ )，但以在屏科大樣區稍低 ( $24.8^{\circ}\text{C}$ )，在東片樣區較高 ( $26.0^{\circ}\text{C}$ ) (表一)。

在四個樣區中，各月平均氣溫變化趨勢都相當一致(圖一 A)，在 5~8 月達到最高 ( $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ )，8 月後氣溫逐漸下降，至 12 月與隔年 1 月降至最低溫 ( $17\sim 21^{\circ}\text{C}$ )，而從 2 月開始氣溫明顯上升。

#### 2. 平均相對溼度

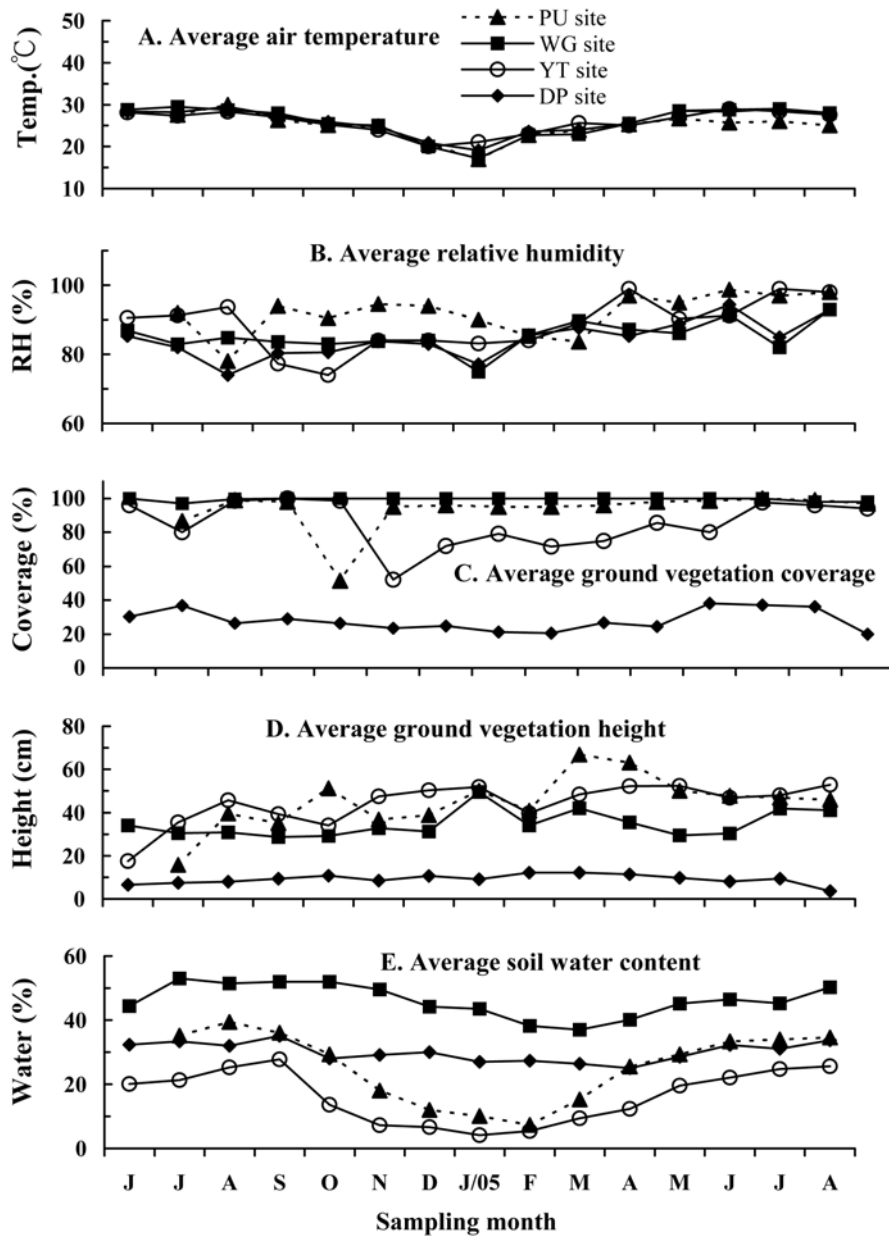
所有各月調查時平均相對濕度之總平均值，在少部份樣區間具顯著性差異 ( $F_{3,55} = 4.95$ ;  $p = 0.0041$ )：以在屏科大樣區的 92.0% 顯著最高；不同管理作法之三個檳榔園樣區間則無顯著差異，不過以在東片樣區之 84.4% 為較低 (表一)。

在四個樣區都維持於相當高水平之平均相對濕度數值(圖一 B)，全都在 74~99% 之間變動。以整體季節相對變化程度而言，春夏大致要稍高於秋冬。

#### 3. 地面植物體覆蓋度

所有各月平均地面植物體覆蓋度之總平均值，於多數樣區間具顯著性差異 ( $F_{3,55} = 166.66$ ;  $p < 0.0001$ )：以在五溝樣區的 99.5% 和屏科大樣區的 93.2% 顯著最高，但這兩者之間並無顯著性差異；其次為義亭樣區的 85.0%；而以東片樣區的 28.1% 顯著最低 (表一)。

各月平均地面植物體覆蓋度變化幅度(圖一 C)，大部份以在五溝樣區(都在 97% 以上)及屏科大樣區(除了 10 月為 57% 偏低外，都



圖一 2004年6月至2005年8月屏東縣內埔鄉四樣區台灣窗螢棲地環境因子各月調查平均值：氣溫(A)、相對濕度(B)、地面植物覆蓋度(C)、地面植物高度(D)及土壤含水率(E)之變動趨勢。PU site (屏科大樣區)：為屏科大校區不施農藥之水土保持邊坡草地；WG site (五溝樣區)：土壤潮濕且雜草覆蓋度高的有管理檳榔園；DP site (東片樣區)：雜草覆蓋度低的有管理檳榔園；YT site (義亭樣區)：為無任何灌溉較乾燥但雜草覆蓋度高的廢棄檳榔園。

Fig. 1. Fluctuation trends of average values of environmental factors: air temperature (A), relative humidity (B), ground vegetation coverage (C), ground vegetation height (D), and soil water content (E) in habitats of *Pyrocoelia analis*, from June 2004 to August 2005 monthly at four sampling sites in Pingtung County, southern Taiwan. The PU site, without usage of pesticide, is a weedy area on the roadside in a small village in Pingtung University of Science and Technology; the WG (Wu-gou) site is a managed betel palm plantation with wetter soil and high coverage of weeds; the DP (Don-pen) site is a managed a betel palm plantation with low coverage of weeds; the YT (Yi-tin) site is an abandoned betel palm plantation with drier soil and high coverage of weeds.

表一 屏東縣內埔鄉四樣區台灣窗螢族群密度及棲地環境因子(平均值 ± SE)比較

Table 1. Comparisons of habitat environmental factors and population densities (mean ± SE) of *Pyrocoelia analis* among four sites in Pingtung Co., southern Taiwan

	PU site <sup>1)</sup>	WG site <sup>2)</sup>	DP site <sup>3)</sup>	YT site <sup>4)</sup>	F-test
Temperature (°C)	24.8 ± 3.1a (n <sup>5)</sup> =14)	25.9 ± 3.7a (n=15)	26.0 ± 3.1a (n=15)	25.8 ± 2.7a (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 0.47; p = 0.703
Relative humidity (%)	92.0 ± 6.0a (n=14)	85.3 ± 4.3b (n=15)	84.4 ± 5.4b (n=15)	88.6 ± 7.5ab (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 4.95; p = 0.004
Weed coverage (%)	93.2 ± 12.5a (n=14)	99.5 ± 1.0a (n=15)	28.1 ± 6.3c (n=15)	85.0 ± 13.9b (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 166.66; p < 0.0001
Weed height (cm)	44.9 ± 12.4a (n=14)	34.7 ± 6.1b (n=15)	9.1 ± 2.3c (n=15)	44.1 ± 9.6a (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 58.60; p < 0.0001
Soil water content (%)	25.7 ± 10.9b (n=14)	46.2 ± 5.2a (n=15)	30.1 ± 3.0b (n=15)	16.3 ± 8.3c (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 42.34; p < 0.0001
Prey density (inds./m <sup>2</sup> )	11.7 ± 6.1bc (n=14)	17.0 ± 8.4b (n=15)	30.1 ± 16.5a (n=15)	9.1 ± 3.7c (n=15)	F <sub>3,55</sub> = 13.06; p < 0.0001
Larval density (inds./m <sup>2</sup> )	3.2 ± 1.9a (n <sup>6)</sup> =8)	1.7 ± 0.7b (n=9)	0.5 ± 0.4c (n=9)	0.0 ± 0.0c (n=9)	F <sub>3,31</sub> = 18.32; p < 0.0001
Male adults (counts/10 min)	7.4 ± 2.8a (n <sup>6)</sup> =11)	6.2 ± 2.7ab (n=12)	2.2 ± 0.7c (n=12)	4.7 ± 3.8b (n=12)	F <sub>3,43</sub> = 7.84; p = 0.0003

Different letters for the same variable between sites within a row indicate a significant difference by the LSD multiple comparison ( $p < 0.05$ ).

<sup>1)</sup> The PU site, without usage of pesticide, is a weedy area on the roadside in a small village in Pingtung University of Science and Technology; <sup>2)</sup> The Wu-gou site is a managed betel palm orchard with wetter soil and high coverage of weeds; <sup>3)</sup> The Don-pen site is a managed betel palm orchard with low coverage of weeds; <sup>4)</sup> The Yi-tin site is an abandoned betel palm orchard with drier soil and high coverage of weeds; <sup>5)</sup> Replicates: the number of survey months (June 2004~Aug. 2005, but July 2004~Aug. 2005 at the PU site); <sup>6)</sup> The zero values of data in sampling months were excluded from this analysis.

在 87% 以上)最高；其次為義亭樣區的 52~100%；而以東片樣區的 20~39% 為最低。兩個覆蓋度較低的義亭及東片樣區，其各月覆蓋度變化趨勢，在秋末及冬季略低於其它時間。

植物體覆蓋種類在各樣區間具有相當差異：屏科大樣區以巴拉草佔 40.7% 最多，鬼針草佔 15.6% 次之；東片樣區地面雜草植物幾乎都被除光，而以枯葉堆佔 95.7% 最多，平伏白花菜(*Cleome rutidosperma* DC)佔 3.2% 次之；五溝樣區以水蜈蚣佔 24.6% 最多，兩耳草(*Paspalum conjugatum* Bergius)佔 13.2% 次之；義亭樣區以鬼針草佔 39.2% 最多，兩耳草佔 14.3% 次之。

#### 4. 地面植物體高度

所有各月平均地面植物體高度之總平均值，在部份樣區間具顯著性差異( $F_{3,55} = 58.60$ ;  $p < 0.0001$ )：以屏科大樣區與義亭樣區都在 44~45 cm 範圍內顯著最高，但這兩者之間並

無顯著性差異；其次為五溝樣區的 34.7 cm；而以大都為枯枝葉堆之東片樣區的 9.1 cm 顯著最低(表一)。

各月平均地面植物體高度之變化幅度(圖一 D)，大部份以在屏科大樣區的 15~67 cm 與義亭樣區的 17~53 cm 較高；其次為五溝樣區的 28~50 cm，但其變化幅度較小；而以東片樣區的 3~12 cm 顯著最低，其變化幅度也最小。四個樣區地面各月平均地面植物體高度，並無明顯季節型態。

#### 5. 土壤含水率

調查期間，所有各月調查時平均土壤含水率之總平均值，在部份樣區間具顯著性差異( $F_{3,55} = 42.34$ ;  $p < 0.0001$ )：以在五溝樣區的 46.2% 顯著最高；其次為兩者之間無顯著差異之屏科大樣區與東片樣區；義亭樣區的 16.3% 顯著最低(表一)。

全部調查期間，各月平均土壤含水率高低程度(圖一 E)，都以在引水灌溉的五溝樣區最

高，義亭樣區各月皆最低。對於各月平均土壤含水率變動幅度穩定性而言，以東片樣區 25~35% 變化較小最穩定；其次為五溝樣區的 37~52%；相對的，屏科大樣區 7~40% 與義亭樣區 4~28% 變動幅度較大，這兩個樣區之土壤含水率季節變化，以在秋冬季明顯較低。

#### 6. 地面食餌密度

調查期間，所有各月平均地面食餌密度 (inds./m<sup>2</sup>) 之總平均值，在部份樣區間具顯著性差異 ( $F_{3,55} = 13.06; p < 0.0001$ )：以在東片樣區的 30.1 inds./m<sup>2</sup> 顯著最高；其次為五溝樣區的 17.0 inds./m<sup>2</sup>；而以屏科大樣區 11.7 inds./m<sup>2</sup> 與義亭樣區 9.1 inds./m<sup>2</sup> 顯著最低，但這兩者之間並無顯著性差異(表一)。

調查期間，各月平均地面食餌密度之變動消長趨勢(圖二 A)，在四樣區間頗為一致，各樣區之間的相關係數都在 0.57~0.74 之間，一致具有顯著的正相關性 ( $p: 0.03\sim 0.005$ )。春夏期間食餌密度相對較高，秋冬季期間則較低，而以冬季四個樣區都明顯最低。各月平均地面食餌密度之變化幅度(圖二 A)，大部份以在東片樣區 6~54 inds./m<sup>2</sup> 最高；其次為五溝樣區 6~39 inds./m<sup>2</sup>；最低為屏科大樣區 2~23 inds./m<sup>2</sup> 及義亭樣區 1~14 inds./m<sup>2</sup>，兩者變化幅度小。在各樣區地面食餌種類具有部份差異，其中，在屏科大樣區，扁蝸牛 *Bradybaena similaris* Ferussac 佔最多 (75.4%)，其次為皺足蛞蝓 *Laevicaulis alte* Ferussac (12.9%)；五溝樣區中，扁蝸牛亦佔最多 (76.9%)，其次為細錐蝸牛 *Allopeas pyrgula* Schmacker et Boettger (19.5%)；在義亭樣區，扁蝸牛雖佔最多，但僅 48.7%，其次為 43.7% 的細錐蝸牛；東片樣區中，以細錐蝸牛佔 66.2% 最多，其次為 24.1% 的扁蝸牛。

#### 7. 台灣窗螢幼蟲密度

從 2004 年 11 月到 2005 年 4 月調查 6 個月期間，四個樣區都未發現台灣窗螢幼蟲出現活動，將這些都未發現幼蟲月份的資料，不放入本項計算分析。將每樣區有幼蟲出現月份 (5~10 月) 資料分別計算其各月份平均幼蟲密度，再將其算出各樣區每月幼蟲密度總平均值 (表一)，此值在部份樣區間具顯著性差異 ( $F_{3,31} = 18.32; p < 0.0001$ )：以在屏科大樣區的 3.2 inds./m<sup>2</sup> 顯著最高；其次為五溝樣區；而以東片樣區與義亭樣區顯著最低，但這兩者之間並無顯著性差異。

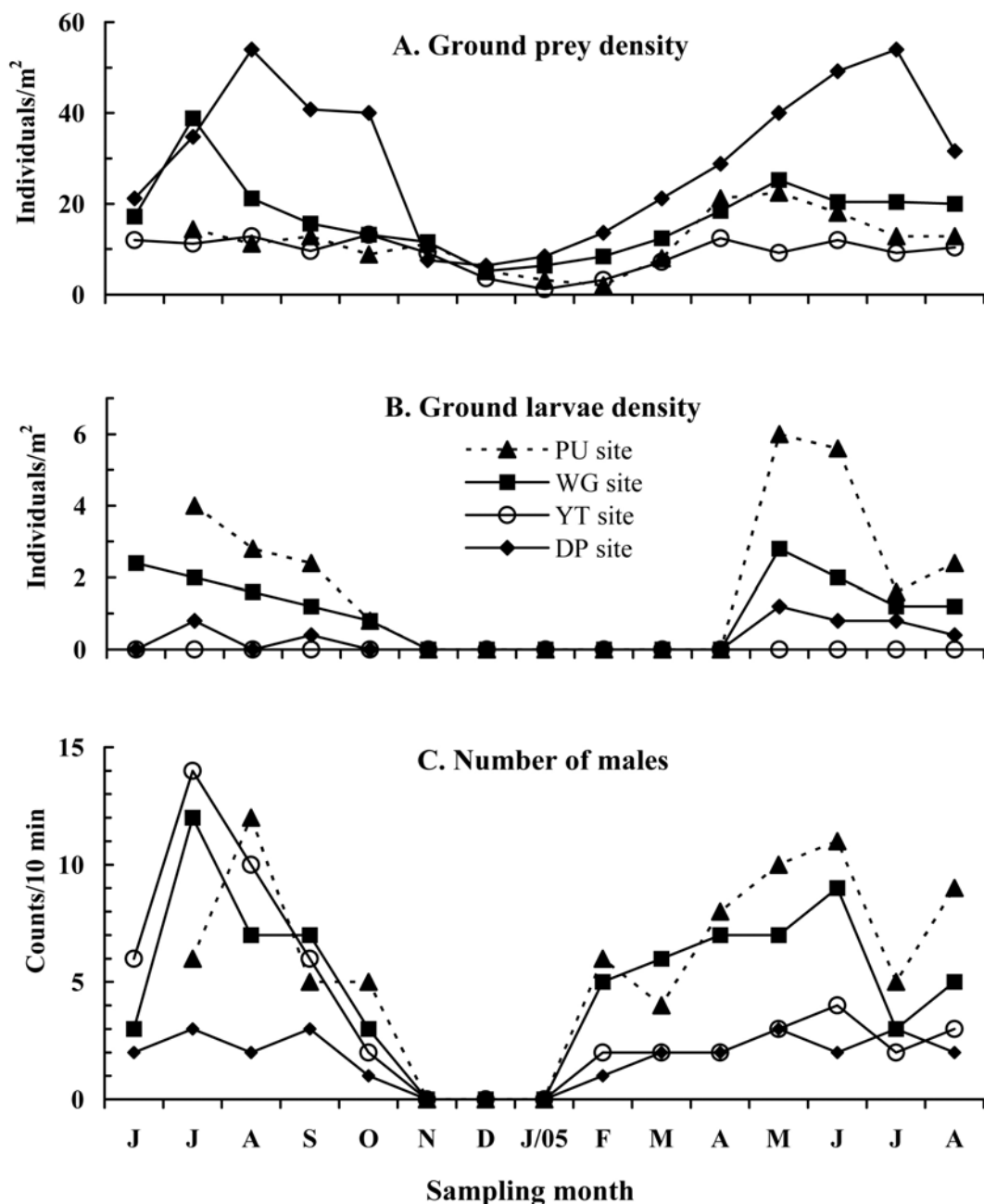
除了義亭樣區在幼蟲密度調查項目中未發現幼蟲(只在 2005 年 7 月幼蟲出現位置調查項目中找到少數幼蟲個體)，無法進行相關分析外；在其餘三個樣區，其各月平均台灣窗螢幼蟲密度變動消長(圖二 B)，全部相當一致，它們之間的相關係數高達 0.86~0.97 之間，一致具有極顯著的正相關性 ( $p < 0.0001$ )。台灣窗螢幼蟲從 2004 年 11 月至隔年 4 月都未發現活動個體，然而，在 2005 年 5 月時即達密度最高峰，其後，便隨月份增加而逐漸下降，至 11 月又降為零。

各月平均台灣窗螢幼蟲密度之變化幅度(圖二 B)，以屏科大樣區在 0.8~5.6 inds./m<sup>2</sup> 之間變化最大；其次為五溝樣區 0.8~2.8 inds./m<sup>2</sup> 之間次之；東片樣區 0.4~1.2 inds./m<sup>2</sup> 之間再其次，義亭樣區則都為 0 inds./m<sup>2</sup>。

#### 8. 台灣窗螢雄成蟲數

2004 年 11 月至 2005 年 1 月調查 3 個月期間，四個樣區都未發現台灣窗螢雄成蟲出現活動。將樣區月份(2~10 月)中有出現台灣窗螢雄成蟲之資料，加以分析後，其各樣區每月雄成蟲調查數(counts/10 min)之平均值 (表一)，在部份樣區間具顯著性差異 ( $F_{3,43} = 7.84; p = 0.0003$ )：以在屏科大樣區 7.4





圖二 2004年6月至2005年8月屏東縣內埔鄉四樣區台灣窗螢各月平均食餌密度(A)、幼蟲密度(B)及10分鐘雄成蟲調查數(C)之變動趨勢。PU site (屏科大樣區)：為屏科大校區不施農藥之水土保持邊坡草地；WG site (五溝樣區)：土壤潮濕且雜草覆蓋度高的有管理檳榔園；DP site (東片樣區)：雜草覆蓋度低的有管理檳榔園；YT site (義亭樣區)：為無任何灌溉較乾燥但雜草覆蓋度高的廢棄檳榔園。

Fig. 2. Fluctuation trends of average values of prey density (A), larvae density (B), and number of males counted in 10 min (C) of the firefly population, *Pyrocoelia analis*, from June 2004 to August 2005 monthly at four sampling sites in Pingtung County, southern Taiwan. The four sites are described in the legend of Fig. 1.

counts/10 min 顯著最高；其次為五溝樣區與義亭樣區；而以東片樣區 2.2 counts/10 min 顯著最低。

各月份單位時間雄成蟲調查數之變動消長趨勢(圖二 C)，在四樣區間大部份頗為一致，各樣區之間的相關係數都在 0.49~0.79 之間，多具有顯著的正相關性( $p$ : 0.072~0.0007)。四個樣區雄成蟲於 2 月期間開始出現活動，在春夏 4~8 月為相對出現數量高峰，入秋逐漸降低，11 月至隔年 1 月便未發現活動個體。

屏科大樣區各月份單位時間雄成蟲調查數在 4~12 counts/10 min 之間，五溝樣區在 3~12 counts/10 min 之間，兩樣區各月份變化相當接近與一致，且有明顯較高水平；出現個體數水平最低者為東片樣區的 1~3 counts/10 min；而出現個體數變動比較大的是義亭樣區的 2~14 counts/10 min，在 2004 年調查期間，其出現量與較高出現水平之前兩樣區較為相當，但 2005 年調查期間，其出現量則與較低出現水平之義亭樣區較相當。

## 二、台灣窗螢與各棲地環境因子之月間變化關係

以皮爾森相關係數分析台灣窗螢單位時間雄成蟲調查數、平均幼蟲密度、食餌密度、地面植物體覆蓋度、地面植物體高度、氣溫、相對濕度與土壤含水率之間各月份變化相關性。發現台灣窗螢單位時間雄成蟲調查數、幼蟲密度及食餌密度三者相互之間，在各樣區內一致具有顯著的正相關性(表二)。而其它環境因子中，以氣溫和土壤含水率分別和台灣窗螢單位時間雄成蟲調查數、幼蟲密度與食餌密度之間具有正相關性(表二)。

### 1. 各樣區雄成蟲調查數、平均幼蟲密度與食餌密度間之月份變化相關性

除了義亭樣區未發現幼蟲出現外，在 4 個個別樣區內，雄成蟲調查數、平均幼蟲密度與食餌密度三個變數彼此間之相關係數值，分別在 0.50~0.80 之範圍內，大多具有顯著正相關性( $p$ : 0.057~0.0004)。顯示雖然在不同環境條件之樣區內，台灣窗螢族群與其食餌密度間之變動消長具有頗高的一致性。

### 2. 各樣區棲地環境因子與台灣窗螢和食餌間之月份變化相關性

#### (1) 氣溫

除了義亭樣區未有幼蟲出現外，在其餘 3 個個別樣區內，氣溫和幼蟲密度各月份變化之相關係數值分別在 0.56~0.79 之範圍內( $p$ : 0.028~0.0005)。在 4 個個別樣區內，氣溫和單位時間雄成蟲調查數之相關係數值分別在 0.58~0.81 之範圍內( $p$ : 0.023~0.0003)。在 4 個個別樣區內，氣溫和食餌密度之相關係數值分別在 0.63~0.82 之範圍內( $p$ : 0.017~0.0002)。

#### (2) 土壤含水率

除了義亭樣區未有幼蟲出現外；在東片樣區與引水灌溉之五溝樣區內，土壤含水率和幼蟲密度之相關係數值分別為 0.36 ( $p = 0.19$ ) 與 0.44 ( $p = 0.11$ )；但在屏科大樣區，其相關係數值則達 0.67 ( $p = 0.009$ )。

在東片樣區與引水灌溉之五溝樣區內，土壤含水率和單位時間雄成蟲調查數之相關係數值分別僅為 0.42 ( $p = 0.12$ ) 和 0.21 ( $p = 0.45$ )；但在屏科大樣區，其相關係數值則達 0.67 ( $p = 0.009$ )；在義亭樣區內，其相關係數值亦達 0.62 ( $p = 0.013$ )。

在東片樣區與引水灌溉之五溝樣區內，土壤含水率和食餌密度之相關係數值分別為 0.44 ( $p = 0.1$ ) 和 0.47 ( $p = 0.079$ )；但在屏科大樣區，兩者相關係數值達 0.65 ( $p = 0.012$ )；在義亭樣區內，其相關係數值則達

表二 屏東縣內埔鄉四樣區台灣窗螢族群密度及棲地環境因子相關係數表

Table 2. Correlation coefficients between habitat environmental factors and population densities of *Pyrocoelia analis* at four sites in Pingtung Co., southern Taiwan

PU site	Larval density	Male adults	Weed height	Weed coverage	Prey density	Temperature	RH	Soil water content
Larval density	1.00							
Male adults	<b>0.70</b>	1.00						
Weed height	-0.28	0.08	1.00					
Weed coverage	0.16	0.15	0.02	1.00				
Prey density	<b>0.67</b>	<b>0.62</b>	0.10	0.20	1.00			
Temperature	<b>0.57</b>	<b>0.72</b>	-0.24	0.00	<b>0.63</b>	1.00		
RH	0.26	-0.05	-0.01	0.10	0.51	-0.08	1.00	
Soil water content	<b>0.67</b>	<b>0.67</b>	-0.27	-0.05	<b>0.65</b>	<b>0.82</b>	0.21	1.00
DP site	Larval density	Male adults	Weed height	Weed coverage	Prey density	Temperature	RH	Soil water content
Larval density	1.00							
Male adults	<b>0.69</b>	1.00						
Weed height	-0.25	-0.20	1.00					
Weed coverage	0.83	0.70	-0.09	1.00				
Prey density	<b>0.58</b>	<b>0.75</b>	-0.21	0.64	1.00			
Temperature	<b>0.56</b>	<b>0.81</b>	-0.47	0.63	<b>0.82</b>	1.00		
RH	0.44	0.24	-0.20	0.25	0.06	0.25	1.00	
Soil water content	<b>0.36</b>	<b>0.42</b>	-0.69	0.35	<b>0.44</b>	<b>0.57</b>	0.00	1.00
WG site	Larval density	Male adults	Weed height	Weed coverage	Prey density	Temperature	RH	Soil water content
Larval density	1.00							
Male adults	<b>0.53</b>	1.00						
Weed height	-0.42	-0.39	1.00					
Weed coverage	-0.29	-0.39	-0.14	1.00				
Prey density	<b>0.72</b>	<b>0.80</b>	-0.31	-0.70	1.00			
Temperature	<b>0.79</b>	<b>0.63</b>	-0.49	-0.45	<b>0.79</b>	1.00		
RH	0.25	0.41	-0.23	-0.03	0.22	0.46	1.00	
Soil water content	<b>0.44</b>	<b>0.21</b>	-0.46	-0.42	<b>0.47</b>	<b>0.51</b>	-0.12	1.00
YT site	Larval density	Male adults	Weed height	Weed coverage	Prey density	Temperature	RH	Soil water content
Larval density	1.00							
Male adults	- <sup>1)</sup>	1.00						
Weed height	-	0.44	1.00					
Weed coverage	-	0.38	0.29	1.00				
Prey density	-	<b>0.50</b>	0.32	0.55	1.00			
Temperature	-	<b>0.58</b>	0.27	0.64	<b>0.78</b>	1.00		
RH	-	0.20	0.29	0.17	0.29	0.47	1.00	
Soil water content	-	<b>0.62</b>	0.19	0.75	<b>0.68</b>	<b>0.89</b>	0.39	1.00

Footnotes are the same as in Table 1.

<sup>1)</sup> No larva was found at this site.

0.68 ( $p = 0.005$ )。

3. 各樣區棲地環境因子間之月份變化相關性

在東片樣區與引水灌溉之五溝樣區內，氣溫  
和土壤含水率之相關係數值分別為 0.57 ( $p$

= 0.027) 和 0.51 ( $p = 0.054$ );但在屏科大樣區，兩者相關係數值高達 0.82 ( $p = 0.0003$ );在義亭樣區內，其相關係數值則更高達 0.89 ( $p = 0.00001$ )。

### 三、有幼蟲及無幼蟲樣點棲地環境因子比較

針對台灣窗螢幼蟲有出現期間，將其幼蟲調查取樣資料中，有出現及無出現台灣窗螢幼蟲之樣點，加以比較其樣點內食餌密度之差異，顯示幼蟲出現之樣點內食餌密度(33.4 inds./m<sup>2</sup>)高於無幼蟲出現樣點(13.7 inds./m<sup>2</sup>)，兩平均值間具顯著性差異( $p < 0.001$ );比較其樣點內地面植物體高度差異，顯示幼蟲出現之樣點內地面植物體高度(36.2 cm)略高於無幼蟲出現樣點(33.1 cm)，但兩者平均值差異顯著性較低( $p = 0.06$ )。

## 討 論

本研究結果顯示台灣窗螢雄成蟲單位時間雄成蟲調查數與幼蟲密度之月份變動趨勢，在屏東內埔鄉不同調查樣區間，分別具有相當程度之顯著正相關，代表台灣窗螢在地區性季節消長變動上之一致性。在此季節變動趨勢一致性基礎上，將有助於探討環境因子對其可能產生之影響。它們的可能影響關係可由兩個方向來看，第一個是找出與台灣窗螢變動趨勢一致之環境因子，這樣的環境因子有可能是驅動台灣窗螢族群變動之主要生態因子;第二個是當其族群豐度水平在特定樣區出現差異時，可檢視各環境因子是否在同一樣區內也發生明顯不同，以比較探討環境因子對其可能產生之影響。

在本研究非生物性環境因子中，氣溫和土壤含水率兩者之間，具有顯著正相關。這個結果顯示：本研究調查之氣溫和土壤含水率月份

變動趨勢，能夠共同反映季節的變化型態。其中以在各樣區皆一致變化之氣溫因子最為典型。土壤含水率雖然在樣區間較不一致，但是，這乃是因為它的變動，較易受到人為管理之影響，例如，在人為高度灌溉管理之五溝樣區及東片樣區，土壤含水率較高且變化較小，其變動較不具明顯季節性，使得其與氣溫之相關性較低;但是在低度灌溉管理之屏科大樣區及無管理之義亭樣區，土壤含水率受季節降雨影響大，由於其與氣溫之季節性變化型態明顯較為類似且一致，因而有顯著的相關性。

氣溫及土壤含水率分別和台灣窗螢幼蟲、雄成蟲及其食餌密度之月份變動，也在各樣區皆具顯著正相關。由於氣溫本身對於昆蟲等變溫動物之發育成長具有直接影響，它的季節性變化並是啟動生活史運作之重要生態因子(Hughes *et al.*, 1984)。一種樹棲性螢火蟲之雄性幼蟲會在氣溫較暖的微棲地環境化蛹，使其羽化較雌蟲提早，此會影響其生活史之進行(Gentry, 2003)。在本研究調查中，氣溫同時與台灣窗螢幼蟲、雄成蟲及食餌密度皆有相當一致之變動關係，此也代表其對變溫動物所具有之共同影響。氣溫對螢火蟲的活動數量具有影響，但過低氣溫並會限制其活動(Kaufmann, 1965)。

以陸棲型螢火蟲而言，土壤長期潮濕是普遍需要的棲地環境條件之一，另外，當雨後或相對濕度高時也較易發現其個體活動(Bushman, 1984; Viviani, 2001)。有些螢火蟲會因季節或環境之乾旱而局限於足夠潮濕的地方(Kaufmann, 1965)。而土壤含水率並且與需要在較高土壤濕度環境生長之蝸牛等食餌動物亦有較大關連和影響(Martin and Sommer, 2004)。一種樹螢幼蟲也會在較大且較粗的樹幹上化蛹，顯示幼蟲對微棲地之利用有其差異性(Gentry, 2003)。在本研究調查資

料中，土壤含水率最低之義亭樣區，台灣窗螢雄成蟲出現數並不低，顯示附近週邊仍有一定螢火蟲族群，但是，本樣區發現幼蟲的機率卻極小，其食餌密度也相對最低，此相對突顯了台灣窗螢幼蟲與其食餌動物對潮濕環境此生態特性之需要。雖然，較高含水率樣區有較高食餌密度，但並非最高含水率樣區便有最高食餌密度，其它因素包括土壤的 pH 值及可溶性鈣量高低，也會影響蝸牛之生長與密度 (Martin and Sommer, 2004)。

在生物性環境因子中，食餌密度分別和台灣窗螢幼蟲與成蟲之月份變動，在各樣區皆具有相當程度之顯著正相關，此顯示台灣窗螢族群與其食餌族群在地區性季節消長變動上之一致性。本研究另外針對台灣窗螢幼蟲有出現期間，將所有幼蟲調查取樣中，有出現及無出現台灣窗螢幼蟲之樣點，分析顯示幼蟲出現之樣點內食餌密度(33.4 inds./m<sup>2</sup>)顯著高於無幼蟲出現樣點(13.7 inds./m<sup>2</sup>)，顯然食餌密度高低對台灣窗螢幼蟲確實有顯著之影響。食餌密度將影響台灣窗螢獲得食物之相對難易度，也是一個和台灣窗螢可能具有捕食者－獵物密度依變關係之生物因子。另外，食餌物種之組成種類，也是一個重要之因素。在本研究多數樣區中，以扁蝸牛 *Bradybaena similaris* Ferussac 為主，但在最高食餌密度之東片樣區，其食餌則以細錐蝸牛 *Allopeas pyrgula* Schmacker et Boettger 為主，雖然，台灣窗螢幼蟲可取食非洲大蝸牛及台灣椎實蝸牛之切塊處理蝸體(Ho et al., 2003)，但是根據已有之實驗室餵食研究報告，台灣窗螢幼蟲取食活體扁蝸牛可完成生活史(Ho et al., 2003)。在不同耕作管理方式下，地面植物體組成與覆蓋度都有相當之差異，這將影響蝸牛等食餌動物之取食與生長。而殺草劑等農藥之使用，也都會影響食餌之種類與密度高低，本研究觀察

發現台灣窗螢幼蟲取食被農藥污染之蝸牛體容易導致死亡。以上這些因素都會進一步影響台灣窗螢族群之發展。

整體而言，在屏科大樣區，台灣窗螢平均幼蟲密度 3.2 inds./m<sup>2</sup> 及成蟲調查數 7.4 counts/10 min 都最高；而有管理檳榔園的五溝樣區皆次之，分別為 1.7 inds./m<sup>2</sup> 及 6.2 counts/10 min，同時，這兩樣區之平均土壤含水率、地面植物覆蓋度與高度和食餌密度也都相對較高，使得棲地中之幾個主要環境因子都達到較適宜之狀態，使台灣窗螢族群在這兩樣區能較穩定發展維持；而有管理檳榔園的東片樣區其幼蟲密度 0.5 inds./m<sup>2</sup> 及雄成蟲出現數 2.2 counts/10 min 都偏低，可能因地面植物體覆蓋度僅 28.1% 所致；而無管理檳榔園的義亭樣區其地面植物覆蓋度雖高達 85%，但土壤含水率卻僅 16.3%，可能因較乾燥致使本區幾無發現幼蟲，但其雄成蟲出現數 4.7 counts/10 min 卻不低，顯示附近田間仍有一定族群生長活動。

根據本研究對台灣窗螢與其環境因子調查平均值和變動趨勢在不同樣區之比較，可看出這些棲地環境因子對台灣窗螢之可能影響，與先前多數陸棲型螢火蟲之報導相當一致。從本研究對棲地環境因子在不同管理條件下分析比較之結果卻顯示出：在棲地土壤乾燥、植物覆蓋度低或使用農藥的其中任一條件下，都不利於台灣窗螢族群發展；相對的，在台灣窗螢族群發展較佳之屏科大及五溝樣區，其棲地環境都同時滿足了地表潮濕、植物覆蓋度高且維持一定食餌密度等共同條件，其中，更以完全不施用農藥之屏科大樣區之台灣窗螢族群發展最佳。

在屏東內埔鄉本研究之 4 個調查樣區，台灣窗螢幼蟲出現活動月份都為 5~10 月，未出現月份為 11 月到隔年 4 月，雄成蟲出現

活動月份都為 2~10 月，未出現月份為 11 月到隔年 1 月。雄成蟲在 2 月時便開始出現活動，比幼蟲提早了約 3 個月。雖然，Ho (2004) 在台南縣新營台糖廠內，於 1 月份曾有發現少數台灣窗螢雄成蟲活動，不過，也仍以 2~3 月為其一個高峰出現活動期。因此，整體而言，冬季低溫期間，為台灣窗螢族群主要不活動時期。Ho *et al.* (2003) 在中部實驗室室溫飼養之未齡幼蟲，從 9 月開始減少活動，一直到隔年 3 月氣溫回升，才又開始取食並化蛹。在美國佛羅里達州也發現不一樣的螢火蟲種類在秋冬具有類似的延遲發育為蛹之情形 (Bushman, 1984)。根據本研究資料，11 月份幼蟲都以較末齡體長個體構成，推論其在冬季期間應該主要是以蛹期及末齡幼蟲期度過。雖然，在美國麻州以標記釋放法研究，發現螢火蟲 *Ellychnia corrusca* (L.) 成蟲具越冬能力，且能在隔年 3 月初即進行交配繁殖 (Rooney and Lewis, 2000)。然而，在 25~28 °C 室溫下飼養，台灣窗螢雌成蟲壽命平均 12.8 天，產卵期平均 5.1 天，產卵後期平均 1.8 天 (Ho *et al.*, 2002)，因此台灣窗螢成蟲是否具有越冬能力，則有待進一步研究。

本研究結果顯示氣溫、溼度、地面植物體高度、地面植物體覆蓋度、食餌量以及土壤含水率都是台灣窗螢棲息地的重要環境因子。其中，季節性的氣溫變化影響台灣窗螢各季之生長與活動，並同時影響食餌動物之生長與密度消長。土壤含水率也相當重要，因蝸牛等食餌動物喜好潮濕的環境，而地面生長覆蓋的植物有助保持土壤濕度並供蝸牛等取食。維持一定密度水平之食餌動物將使螢火蟲幼蟲在取食時不必花費太多能量並減低可能的風險。以上幼蟲棲地各主要環境因子環環相扣，形成維繫螢火蟲族群的生存關鍵。

## 誌 謝

本研究承蒙 Mr. Daniel P. Chamberlin 修改英文摘要，白欣澤、黃明俊、李沛緯、倪松瑞、盧敬智、林雅惠、丁厚尹、張鎮光等人協助野外調查，謹此申謝。

## 引用文獻

- Buschman, L. L.** 1984. Larval biology and ecology of *Photuris* fireflies (Lampyridae: Coleoptera) in northcentral Florida. *Kansas Entomol. Soc.* 57: 7-16.
- Dreisig, H.** 1971. Control of the glowing of *Lampyris noctiluca* in the field (Coleoptera: Lampyridae). *J. Zool.* 165: 229-244.
- Gentry, E.** 2003. On sexual selection in Florida's *Pyrocoelia borealis* (Coleoptera: Lampyridae). *Fla. Entomol.* 86: 114-123.
- Ho, J. Z.** 2004. Occurred fluctuation, distribution and habitat characters of the firefly, *Pyrocoelia analis*. *Formosan Entomol.* 24: 117-128. (in Chinese)
- Ho, J. Z., and H. W. Huang.** 2003. Effects of temperature and egg size on egg duration, hatching rate, and starvation tolerance of first instar larvae of the firefly, *Pyrocoelia analis*. *Formosan Entomol.* 24: 305-311. (in Chinese)
- Ho, J. Z., H. W. Huang, and T. H. Su.** 2002. Egg production and ovipositional behavior of the firefly, *Pyrocoelia analis* (Fabricius). *Formosan Entomol.* 22: 43-51. (in Chinese)

- Ho, J. Z., T. H. Su, and H. W. Huang.** 2003. Rearing methods and life cycle of *Pyrocoelia analis*. *Bioformosa* 38: 79-87. (in Chinese)
- Hughes, R. D., Jones, R. E. and Gutierrez, A. P.** 1984. Short-term patterns of population change: the life system approach to their study. pp. 309-357 *In*: C. B. Huffaker and R. L. Rabb, eds. *Ecological Entomology*. Wiley and Sons, New York.
- Jeng, M. L., J. Lai, and P. Yang.** 1999. A synopsis of the firefly fauna at six national parks in Taiwan (Coleoptera: Lampyridae). *Chinese J. Entomol.* 19: 65-91. (in Chinese)
- Kaufmann, T.** 1965. Ecological and biological studies on West African firefly *Luciola discicollis* (Coleoptera: Lampyridae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 80: 414-426.
- Martin, K., and M. Sommer** 2004. Effects of soil properties and land management on the structure of grassland snail assemblages in SW Germany. *Pedobiologia* 48: 193-203.
- Rooney, J. A., and S. M. Lewis.** 1999. Differential allocation of male-derived nutrients in two lampyrid beetles with contrasting life-history characteristics. *Behav. Ecol.* 10: 97-104.
- Rooney, J. A., and S. M. Lewis.** 2000. Notes on the life history and mating behavior of *Ellychnia corrusca* (Coleoptera: Lampyridae). *Fla. Entomol.* 83: 324-334.
- Viviani, V. R.** 2001. Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) from southeastern Brazil: habitats, life history, and bioluminescence. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 94: 129-145.
- Yuma, M., and M. Hori.** 1990. Seasonal and age-related changes in the behaviour of the Genji firefly, *Luciola cruciata* (Coleoptera, Lampyridae). *Jpn. J. Entomol.* 58: 863-870.

收件日期：2006年2月16日

接受日期：2006年6月12日

# Habitat Environmental Factors and Population Fluctuations of the Firefly, *Pyrocoelia analis* (Coleoptera: Lampyridae)

Wan-Chun Wu Institute of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung 912, Taiwan  
Jen Jiun Perng\* Institute of Life Science, National Taitung University, Taitung 950, Taiwan

## ABSTRACT

The terrestrial firefly, *Pyrocoelia analis* Fabricius, is distributed at low elevations throughout Taiwan and occurs in a variety of habitats. This study compared differences in environmental factors of firefly habitats under different management regimes, and examined the influences of these environmental factors on fluctuations in its population. Four sampling sites in Pingtung County, southern Taiwan, were selected for this study. From May 2004 to August 2005, field surveys took place monthly. The PU site, at which no pesticides were used, is a weedy area on the roadside in a small village at Pingtung University of Science and Technology. The WG site is a managed betel palm (*Areca catechu* L.) plantation with wetter soil and a high coverage of weeds. The DP site is a managed betel palm plantation with a low coverage of weeds. The IT site is an abandoned betel palm plantation with drier soil and a high coverage of weeds. The results showed that the average air temperatures and relative humidities generally exhibited no significant differences among the sampling sites. The average firefly larval density (3.2 individuals (inds.)/m<sup>2</sup>) and male adults (7.4 counts/10 min) were highest at the PU site, followed by the WG site (1.7 inds./m<sup>2</sup> and 6.2 counts/10 min, respectively). At these two sites, the average soil water content, ground plant coverage and height, and prey density were also consistently higher. At the DP site, where the vegetative cover was thinnest (28.1%), firefly larval density (0.5 inds./m<sup>2</sup>) and male adults (2.2 counts/10 min) were significantly lower. At the IT site, where the soil water content was lowest (16.3%) but weed coverage was high (up to 85%), almost no larvae were found. The pooled data from the four sampling sites showed that prey density was significantly higher at the sampling points where firefly larvae were found than it was at sites where larvae were not found. Male adults occurred from February to October, and larvae occurred from April to October. Prey were found throughout the entire year, but their density levels were lower during winter. There were high positive correlations ( $r = 0.50\sim 0.80$ ) among male adult abundances, larval densities, and prey densities at each sampling site. Air temperature and soil water content were also positively correlated with firefly and prey densities ( $r = 0.21\sim 0.82$ ), indicating a consistent seasonal fluctuation pattern between firefly populations and these environmental factors.

**Key words:** *Pyrocoelia analis*, population fluctuation, betel palm orchard, larval habitat, environmental factor

\*Correspondence address  
e-mail: jjperng@nttu.edu.tw