

國立臺灣博物館一〇四年度研究計畫成果報告

# 水生螢火蟲的飼育條件與生物特性研究

計畫主持人：歐陽盛芝

共同主持人：陳素瓊

國立臺灣博物館

中華民國一〇五年二月

# 水生螢火蟲的飼育條件與生物特性研究

歐陽盛芝\* 陳素瓊\*\*

\*國立臺灣博物館

\*\*國立宜蘭大學 園藝學系

## 摘要

本試驗主要探討黃緣螢 (*Aquatica ficta* (Olivier, 1909)) 的生物學基本資料，即不同溫度對黃緣螢生長發育的影響。本試驗以含水海綿片採取黃緣螢當日產卵，分置於 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $28\pm 1^{\circ}\text{C}$ 等3種溫度，光週期13L:11D條件的生長箱中，以川蠅 (*Semisulcospira libertine* (Gould, 1859)) 集體飼育至上陸化蛹，蛹至羽化為成蝶則採單集飼育，調查在不同溫度下各蟲期發育的變化，由試驗結果可知，各溫度組的卵孵化率皆高且無顯著差異。自卵至羽化成蟲期的存活率以 $22^{\circ}\text{C}$ 組的42.8%最低， $28^{\circ}\text{C}$ 組的68.2%最高。本種在 $22-28^{\circ}\text{C}$ 試驗溫度內均能完成生長發育，大致上溫度愈高其發育所需時間愈短；且完成整個發育階段所需時間，以 $22^{\circ}\text{C}$ 組的298.0日最長， $28^{\circ}\text{C}$ 組的262.9日最短。發育速率以蛹期最快，幼蟲期最慢。本種卵期的飼育溫度 ( $X$ ) 與發育速率 ( $Y$ ) 存在 $Y = -0.0458 + 0.0035 X$  ( $R^2 = 0.9999^{**}$ ) 直線迴歸關係。由此得知黃緣螢的發育臨界低溫和有效積算溫度，計算出本種在宜蘭地區一年可發生一代。

**關鍵詞：**黃緣螢、溫度、生長發育、存活率、發育日數、發育速率。

## 前言

黃緣螢 (*Aquatica ficta* (Olivier, 1909)) 屬於鞘翅目 (Coleoptera)

螢科 (Lampyridae) 熠螢亞科 (Luciolinae) 水螢屬 (*Aquatica*)，其中名是因兩片翅鞘間有淡黃色邊紋而命名。以往沿用的學名 *Luciola ficta* 現為同物異名，即本種原隸屬於熠螢屬 (*Luciola*)，但 2010 年中國與澳洲的螢科專家付新華等人根據親緣分類 (phylogenetic classification) 分析，以及行為和形態的證據，發表了一個新種武漢螢 (*Aquatica wuhana* sp. nov.)，以此屬級模式種在熠螢亞科下創建了一個新屬水螢屬 (*Aquatica* gen. nov.)，並將臺灣兩種幼生期水棲且具有氣管鰓 (tracheal gill) 的螢火蟲：黃緣螢和黃胸黑翅螢 (*Aquatica hydrophila* (Jeng, Lai & Yang, 2003)) 轉入該屬，首見主要以幼蟲腹側的氣管鰓為重要分類特徵 (Fu *et al.*, 2010; 方及何, 2013; 鄭及陳, 2014)，香港為了配合新屬名，將本種中名改為黃緣水螢 (饒, 2011b)。

全世界螢火蟲種類已記錄近 2,000 種，其中幼蟲屬於水生的類群僅記錄 11 種，只有 3 種水生螢類產於臺灣 (方及何, 2013)，分別是黃緣螢、黃胸黑翅螢和條背螢 (*Luciola substriata* Gorham, 1880)。黃緣螢雖非臺灣特有種，尚分布於香港、中國西南部如貴州、福建和華南各省、日本和韓國 (賴等, 1998; 鄭等, 1999; Jeng *et al.*, 2003; 饒, 2011a; 方及何, 2013)，仍被視為極珍貴的種類 (陳及陳, 1997)。

本種在臺灣廣泛分布於海拔 1,000 公尺以下地區 (鄭等, 1999)，尤其是在西部，而東部發現紀錄較少。楊等 (1997) 短期定點調查六座國家公園所產螢火蟲種類結果，黃緣螢出現在玉山、雪霸、陽明山、墾丁、金門等五座國家公園，僅未在太魯閣國家公園發現。但後來鄭明倫等調查前述六座國家公園及其週邊部分地區並查詢文獻紀錄，得知黃緣螢出現於陽明山國家公園、玉山國家公園和金門國家公園，分布地點為陽明山、竹子湖、馬槽、磺溪、礁溪、谷關、和社、南安和曾文水庫，水平分布屬廣布型，海拔分布屬山麓帶至山地下層帶 (鄭等, 1999)。後陳燦榮和鄭明倫再調查墾丁國家公園，認為本種已知最南的分布地點是屏東縣九如的玉泉村，但在墾丁是否為原生種仍存疑，且經訪談得知恆春生態農場內的黃緣螢很可能是由墾丁以外地區引進的物種，至少持續補充的個體是來自他處 (陳及鄭, 2009)。

黃緣螢棲息環境主要為靜止或流速較緩的水域，且為終年有水，植物被覆完整的地區，特別是水芹菜、水蘊菜、水稻、水芋與過溝蕨等作物的田間或邊緣的灌溉溝渠，底質為泥漿者為多(何及姜,1997)。幼蟲取食淡水貝類如小椎實螺 (*Austropeplea ollula*)、川蝸 (*Semisulcospira libertina*)、瘤蝸 (*Thiara granifera*) 等約 15 種，卻不喜歡捕食圓寶螺或福壽螺 (何及姜, 1997; 陳及陳, 1997)。水生的幼蟲在化蛹前會爬上陸地，在適當的地點造繭化蛹，然後羽化為成蟲。

黃緣螢屬夜間會發光的夜行性昆蟲，成蟲在臺灣全年可見，但以 4 月至 8 月豐度較高，常出現於 3 月至 10 月間 (Jeng *et al.*, 2003; 何等, 2006)。在民國五十年代時，本種為常見的昆蟲，每到仲夏的夜晚，在田園中飛舞，然而隨著經濟的開發，自然生態系也發生了改變，往昔常見的螢火蟲在不知不覺中也在我們的生活中消失了 (陳及陳, 1997)，其消失主因為：棲地遭到破壞 (濕地、沼澤地、山坡地的高度開發和森林的砍伐)、棲地的減少 (經濟發展及人口增加侵佔其棲地並減少其食物量)、人工光源的衝擊 (光害)、河道溝渠的水泥化、農藥的大量使用、水污染引起環境劣化 (環境污染)、外來種之引入等，例如福壽螺的引入，對水生螺貝類可能造成食物和空間的競爭，不利於本土螺貝類之生存，而外來種食蟲性魚類，亦能對原棲息河流、塘沼中之螢火蟲幼蟲造成不利影響 (楊等, 1997; 陳及林, 2003)。

大約 20 年前，國內學者專家們即針對黃緣螢之形態與棲地特性、棲地管理、食物偏好、保育與復育等相關問題進行探討 (何等, 2006)，近年來在分類和前述各方面研究有相當大的實質進展，故本種已成為以人工繁殖復育較成功的螢火蟲，甚至有因應休閒觀光的賞螢活動需求，未考慮其原始分布棲地而被胡亂野放之嫌。雖然現今賞螢活動的興起已喚起國人自然生態保育的觀念，但黃緣螢在野外的分布範圍與族群密度與早期相比仍差距頗大。

張錦洲以人工飼育方法在室內飼育黃緣螢，得知集體飼養容易造成幼蟲發育速率不一，由於密度與競爭，幼蟲期死亡率達 62.7%，且

羽化的成蟲容易出現大小不一的現象（張，1994）。賴胤就曾以黃緣螢為例，用圖文說明水生螢火蟲的集體飼養方法，依幼蟲齡期各使用初齡幼蟲飼養盒、中齡幼蟲飼養池、終齡幼蟲飼養池飼育（賴，2003）。惟鄭等（2013）認為集體飼養容易造成競爭、群聚細菌感染、或密度太大氧氣不足或糾結纏繞在一起而集體死亡、螢火蟲體型太小易從視野消失而不易觀察、化蛹用土壤未經殺菌而藏有寄生蟲及微生物，會降低螢火蟲的存活率等。故何等（2006）曾研發本種於幼蟲期單隻飼養的碎肉飼育法和上陸化蛹台，試圖改善前述缺點。由此可知，有關本種基本生物學之研究仍須持續進行，故本試驗探討人工集體飼育方式在不同溫度條件下對黃緣螢生長發育的影響，以做為未來人工飼育繁殖、保育、復育等之基礎。

## 材料與方法

### 一、供試蟲源及飼養方法

自宜蘭縣員山鄉雙連埤附近水芹菜田採集黃緣螢雌、雄成蟲，攜回國立宜蘭大學園藝學系的實驗室內飼養。飼養方法參照陳及陳（1997）的方式，只是盛裝含卵海綿片的透明塑膠盒較大（29x19x17 cm），已孵化的幼蟲自一齡開始即置入鋪有 10 cm 高海砂斜坡的水族箱（45x27x30 cm）內飼養，箱中放入打氣裝置以增加水中氧氣含量。

採集當地水生貝類川蝨（*Semisulcospira libertine* (Gould, 1859)）攜回實驗室內飼養做為螢火蟲食物，餵食螢火蟲幼蟲前先將川蝨敲碎後，再放入飼養用水族箱內以幫助初齡幼蟲取食，俟幼蟲成長至三齡時，便可直接放入完整川蝨活體，幼蟲會採取集體攻擊方式取食。另依陳及陳（1997）方法在海砂岸上放置一層潮濕水苔，老熟幼蟲會慢慢爬上水苔中靜待化蛹。將蛹體以軟鑷子挑起放入鋪有濾紙、含水棉花、活性炭各三層且保持濕潤的透明圓形玻璃皿（直徑 18 cm，高 3 cm）中，以利蛹存活。俟蛹快羽化前，再放入鋪有一層約 0.3 cm 含水海綿片的透明壓克力箱內供羽化成螢交尾和產卵。以此方式累代繁殖三代

以上，以此族群做為本試驗供試蟲源。

## 二、溫度對生長發育的影響

將 30 對黃緣螢雌、雄蟲置於鋪有含水海綿片的透明壓克力箱內，每日觀察，當俟雌螢產卵在海綿片後，取產卵 2 小時內的新鮮含卵海綿片，先計算供試卵數，然後放入含水的較小長方形透明塑膠盒（22x14x13 cm），並以保鮮膜覆蓋保濕，分置於 22±1°C、25±1°C、28±1°C 等 3 種溫度，光週期 13L：11D 條件的生長箱中觀察及記錄孵化卵數。

接著由各處理組選取 50 隻剛孵化的一齡幼蟲，做 3 重覆，即每種溫度各取 150 隻供試幼蟲，放入前述含水的較小長方形透明塑膠盒，盒內鋪有 5 cm 高海砂斜坡讓幼蟲在水邊休息，並在海砂岸上放置一層潮濕水苔供其化蛹。將蛹體以軟鑷子挑起單隻放入鋪有濾紙和含水棉花的透明圓形塑膠盒（內徑 9 cm，高 5.5 cm，容量約 250 ml）中，並編號區別，俟蛹羽化後再更換飼養容器供成螢活動和交尾產卵。試驗期間，供試蟲及飼育容器皆依處理組別分置於前述設定不同溫度條件之生長箱中。每日如飼養方法分組依齡期提供敲碎川蝽或完整川蝽為食物，觀察並記錄黃緣螢生長發育狀況和存活數。本試驗因幼蟲在水中集體飼養，不易分辨齡期，故將整個幼蟲期作為一個發育階段處理。又因本種完成生活史所需日數較長，故各組的發育日數係取樣確實完成整個發育階段者據以統計。

## 三、資料分析

本試驗所得的生物學基本資料包含孵化率、各蟲期存活計、發育日數、發育速率等數據皆以 SAS System version 9.1 for windows 統計軟體（PROC MEANS, SAS Institute, 2003）計算出平均值（Mean）和標準誤差（Standard Error）。並以最小顯著差異（Least significant difference-LSD）進行平均值之間的顯著性差異比較。黃緣螢各蟲期的發育臨界低溫和有效積算溫度係根據本試驗所得的各蟲期資料，依鄒

(1980) 所提之有效積算溫度公式來計算。

## 結果與討論

### 一、黃緣螢的存活率

黃緣螢在  $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $28\pm 1^{\circ}\text{C}$  等 3 種溫度，光週期 13L:11D 條件下以川蝮飼育的各蟲期存活率如表 1。其中各溫度組的供試卵數依序各的為 463、760、777 粒，孵化率分別為  $98.7\pm 0.1$ 、 $97.4\pm 0.2$ 、 $98.0\pm 0.1\%$ ，可知 3 組的孵化率皆高且差別不大，以  $22^{\circ}\text{C}$  時最高， $25^{\circ}\text{C}$  時最低，經最小顯著差異 (LSD) 分析結果，三組之間皆無顯著差異存在 ( $p < 0.05$ )。幼蟲期存活率在  $22^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $28^{\circ}\text{C}$  組分別為  $60.7\pm 0.6$ 、 $84.7\pm 2.5$ 、 $76.7\pm 6.1\%$ ，以  $25^{\circ}\text{C}$  組最高， $22^{\circ}\text{C}$  組最低，二者相差 24.60%，三組之間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。蛹期的存活率依序分別為  $22^{\circ}\text{C}$  組  $79.1\pm 0.3\%$ 、 $25^{\circ}\text{C}$  組  $88.2\pm 0.1\%$ 、 $28^{\circ}\text{C}$  組  $84.3\pm 0.2\%$ ，以  $25^{\circ}\text{C}$  組最高， $22^{\circ}\text{C}$  組最低，其中  $25^{\circ}\text{C}$  組和  $28^{\circ}\text{C}$  組間無顯著差異存在，但此兩組和  $22^{\circ}\text{C}$  組間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。自卵發育至羽化成蟲期，以  $25^{\circ}\text{C}$  組存活 105 隻最高，存活率為  $68.2\pm 2.2\%$ ，其次為  $28^{\circ}\text{C}$  組存活 83 隻，存活率是  $54.2\pm 6.2\%$ ，最低的  $22^{\circ}\text{C}$  組僅存活 65 隻，存活率只有  $42.8\pm 0.7\%$ ，三組之間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。

Ho *et al.* (2010) 在室溫  $18-30^{\circ}\text{C}$ ， $80\pm 5\%$  RH 條件下飼養本種，得知卵孵化率為 95%。較本試驗 3 種溫度組結果均低，究其原因可能受室溫變化溫差影響所致。何等 (2006) 和 Ho *et al.* (2010) 的幼蟲期死亡率依齡期各為 18.75% (第一齡)、11.25% (第二齡)、1.25% (第三齡)、3.75% (第四齡)、11.25% (第五至七齡)、8.75% (成熟上陸幼蟲)、1.25% (造繭幼蟲)，經筆者換算存活數和存活率，整個幼蟲期共存活 35 隻存活率為 43.75%，蛹期存活 34 隻存活率為 97.14%。和本試驗 3 種溫度處理結果比較，其幼蟲期存活率較低而蛹期存活率較高。依 Ho *et al.* (2010) 本種完成生活史的死亡率總和為 57%，換算成存活率為 43%。略高於本試驗自卵發育至羽化成蟲期的

22°C組，卻低於本試驗的 25°C組和 28°C組。

本試驗各蟲期的累積存活率如圖 1。其中幼蟲期的累積存活率，3 溫度組依序為 59.9、82.5、75.2%，蛹期的累積存活率分別為 47.4、72.7、63.4%。由圖 1 明顯可知，3 種溫度組的卵孵化率相當接近，其後 3 個蟲期的累積存活率，皆是 25°C組最高，其次為 28°C組，最低為 22°C組，且各溫度組的自卵發育至羽化成蟲期，僅 22°C組低於 50%。何等 (2006) 以碎肉飼育法飼育幼蟲至終齡的死亡率可達 53.75%，認為存活率雖不是很高，但對於此幼蟲期長超過一年又肉食性的昆蟲而高，已經是好的結果。相較之下，本試驗結果亦類似。

雖然國內確有人實際從事黃緣螢的飼養、研究和復育等，但卻較少發表有關其存活率或不同溫度試驗等基本生物學特性的相關研究報告。由本試驗結果可知，在 22-28°C溫度範圍內飼育黃緣螢，均可生長發育完成其生活史，且存活率在 42.8-68.2%，飼育條件以 25°C組的存活率最高；本種卵孵化率相當高，死亡率較高時期發生在幼蟲期，故若想提高其存活率，應著重在幼蟲期階段。

## 二、黃緣螢的發育期

本試驗觀察得知黃緣螢的幼蟲期可分為五齡，偶有個體可發育到六齡甚至七齡，因在水中集體飼育不易辨識齡期，故未分齡紀錄個體齡期，直到老熟幼蟲化蛹後才轉換成單隻觀察紀錄，因此有關幼蟲期的發育日數，係扣除發育至六、七齡等極端值個體，只取樣確實完成整個發育階段者據以統計的結果。

關於本種幼蟲齡期，張 (1994)、葉 (1999) 和 Jeng *et al.* (2003) 報導在實驗室內飼養有 6 個齡期，而何等 (2006) 和 Ho *et al.* (2010) 則觀察到幼蟲蛻皮 4 至 6 次，終齡幼蟲為五齡至七齡。據 Morita and Tojo (1985) 指出鱗翅目斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*) 於不同齡期絕食結果，增加蛻皮次數，但頭殼寬度超過 1.65 mm 的個體，於下一齡必定成為末齡幼蟲，而低於此閾值下幼蟲會反覆蛻皮，以達到此閾值。因此，本種會出現幼蟲齡期不一致的原因，應為溫度和食物等飼養條件

造成頭殼寬度未達閾值而延長齡期導致化蛹時間延後。

不同溫度下黃緣螢各蟲期的平均發育日數如表 2。本種發育期普遍較長，其中 22°C、25°C、28°C 組的卵期發育日數依序為 32.4±0.1、24.3±0.2、19.3±0.1 日，三組之間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。幼蟲期各為 256.9±0.6、259.3±2.5、238.3±6.1 日，其中 22°C 組和 25°C 組間無顯著差異存在，但此兩組和 28°C 組間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。蛹期分別為 8.7±0.3、5.3±0.1、4.5±0.2 日，三組之間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。自卵發育至羽化成蟲期則為 298.0±0.7、288.8±2.2、262.9±6.2 日，其中 22°C 組和 25°C 組間無顯著差異存在，但此兩組和 28°C 組間皆存在顯著差異 ( $p < 0.05$ )。由此可知，各蟲期在 22-28°C 試驗溫度內均能完成生長、發育之過程，除了 25°C 組的幼蟲期平均發育日數略長於 22°C 組外，其餘各蟲期的發育日數皆隨飼育溫度升高而減少，即溫度愈高其發育所需時間愈短；且完成整個發育階段所需時間，以 22°C 組幾近 10 個月為最長，即使最短的 28°C 組平均發育日數亦長達近 9 個月，其原因乃幼蟲期過長所致。

陳及陳 (1997) 在室溫下飼養黃緣螢，卵期平均 16.2 日，幼蟲期 75.3 日，蛹期 5.2 日，自卵至成蟲羽化所需時間為 111 日，可知除了蛹期較本試驗 28°C 組長外，其餘各蟲期之發育日數均較本試驗短，尤以幼蟲期的發育日數未達本試驗者的一半時間，其發育明顯快很多。張 (1999) 報導本種卵期平均約 25 日，幼蟲期約 90 日，蛹期約 7 日，完成一個世代平均約 120 日，與本試驗 22°C 組比較，可知其各蟲期的發育時間皆較短，較近似陳及陳 (1997) 結果，但張 (1999) 在水溫 22.5±2.5°C，光週期 14L:10D 條件飼育，取樣幼蟲飼育至 50% 羽化成蟲結果，深水型飼育缸之飼育日數為 148 日，淺水型飼育缸之飼育日數為 167 天，以人工飼育飼養結果則為 208 日，雖然日數均較長，卻仍比本試驗所得短，究其原因可能是其僅計算到供試幼蟲 50% 羽化成蟲，未再將剩餘 50% 尚未羽化的幼蟲所需發育日數所致。

Ho *et al.* (2010) 在室溫 18-30°C，80±5%RH 條件下飼養結果，卵期平均為 19.1 日，幼蟲期為 328.9 日加上陸幼蟲期 10.9 日和造繭幼蟲

期 14.7 日，共需 354.5 日，蛹期為 5.6 日，從卵至羽化成蟲期的發育日數為 379.2 日（即卵期、幼蟲期、蛹期總和），可知其卵期較本試驗者短，幼蟲期略長於本試驗的 28°C 組卻略短於本試驗的 22°C 組和 25°C 組，而其蛹期略長於本試驗的 25°C 組和 28°C 組，只短於本試驗的 22°C 組。但基本上其發育所需日數較近似本試驗結果。

根據本種發育日數可計算黃緣螢各蟲期的平均發育速率如圖 2。其中 22°C、25°C、28°C 組的卵期發育速率依序為 0.0309、0.0412、0.0518，幼蟲期各為 0.0039、0.0039、0.0042，蛹期分別為 0.1149、0.1887、0.2222，自卵發育至羽化成蟲期則為 0.0034、0.0035、0.0038。除了 22°C 組和 25°C 組的幼蟲期平均發育速率相同外，其餘各蟲期的發育速率皆隨飼育溫度升高而增加，即溫度愈高其發育速率愈快；比較各蟲期可知，各溫度組皆以蛹期的發育速率最快，而幼蟲期的發育速率相當慢，幾僅為卵期之十分之一。

黃緣螢在不同溫度 ( $X$ ) 時各齡幼蟲之發育速率 ( $Y$ ) 經直線迴歸分析結果，其中幼蟲期、蛹期及卵至羽化成蟲期的直線迴歸方程式及  $R^2$  值依序分別為： $Y = 0.0028 + 0.0001 X$  (迴歸係數  $R^2 = 0.7500$ )、 $Y = -0.2718 + 0.0179 X$  ( $R^2 = 0.9551$ ) 及  $Y = 0.0019 + 0.0001 X$  ( $R^2 = 0.9231$ )，經  $t$  測驗 ( $t$ -test) 分析得知，此三條迴歸直線之相關關係均不存在，僅卵期的  $Y = -0.0458 + 0.0035 X$  ( $R^2 = 0.9999$ ) 直線迴歸方程式存在極顯著的正相關關係 ( $p \leq 0.01$ )，故圖 3 僅呈現卵期的迴歸直線，由此明顯得知黃緣螢的發育速率確隨溫度升高而呈直線關係增加，且隨溫度以 0.0035 倍呈等比加速。

根據上述在不同溫度各蟲期之平均發育日數之資料，可依公式計算出黃緣螢各蟲期之發育臨界低溫及有效積算溫度 (表 3)。由結果顯示，卵期、幼蟲期、蛹期及卵至羽化成蟲期等各蟲期之發育臨界低溫分別為 13.42、-9.04、8.13、及 -5.45°C；發育有效積溫各為 281.39、8826.57、89.41 及 8793.96 日度。本種以幼蟲期的 -9.04°C 發育臨界低溫為最低，最高者為卵期的 13.42°C。由表 3 卵至羽化成蟲期的有效積算溫度可推測黃緣螢在室內飼養或野外發生一年的代數，以宜蘭地區

在 1981-2010 年的月平均溫度為例，根據本種發育臨界低溫及氣象局所提供的全年溫度記錄計算出有效積算溫度為 10238.40 日度（附錄 1），除以表 3 的數據得到 1.16，故黃緣螢在宜蘭地區一年僅可發生一代。

陳及陳（1997）根據本種發育所需日數，認為一年可在室內飼養 2 至 3 代，張（1994）指述集體飼養繁殖幼蟲時控制食物、空間和溶氧量條件下，一年可出現 2 至 3 代成蟲，此與本試驗結果明顯不符。Ho *et al.* (2010) 則說明黃緣螢成蟲發生高峰在 4 月至 8 月，在野外幾乎不可能一年發生 3 代，基於幼蟲期需 307 至 337 日和幼蟲齡期會重疊而斷定一年發生 2 代的可能性，在野外因幼蟲發育速率會影響代數，本種完成一世代即需要一年，此明顯與本試驗所得結果相同。

至於本種幼蟲期為何那麼長？根據 Ho *et al.* (2010) 指出其在集集的野外調查，發現黃緣螢幼蟲出現在 3 月至 10 月，越冬幼蟲從 11 月至次年 1 月期間較少活動且避免進食，等到 2 月溫度回升時才開始活動變得活躍且開始獵食，大部分在一年內完成生活史，其室內試驗結果近似於野外觀察結果。由此可知，本種幼蟲期會受季節溫度影響，進入越冬狀態而延長發育日數，即使在控制試驗溫度條件下，亦會出現幼蟲發育快慢等不一致的現象。

無論在室內人工繁殖或野外復育這種一年只有一代，最多 2 代的物種，困難度相對提高。因此，本試驗結果除能了解黃緣螢的基本生物學知識外，更能建立人為室內繁殖飼育技術，以運用於教學、研究、及休閒農業等方面。

## 參考文獻

- 方華德、何健鎔。2013。保育類黃胸黑翅螢之屬級更名與生物學概述。自然保育季刊，(81): 59-62。
- 何健鎔、姜碧惠。1997。台灣地區二種幼蟲水生的螢火蟲。自然保育季刊，(17): 42-46。

- 何健鎔、姜碧惠、楊平世。2006。飼養黃緣螢 (*Luciola ficta*) (鞘翅目：螢科) 之新方法。台灣昆蟲，26: 77-85。
- 陳仁昭、林穎明。2003。蝴蝶與螢火蟲的生態和保育 (農業推廣手冊 31)。國立屏東科技大學農業推廣委員會，59 頁。
- 陳素瓊、陳仁昭。1997。黃緣螢 (*Luciola ficta*) 之飼育。宜蘭農工學報，14: 25-32。
- 陳燦榮、鄭明倫。2009。墾丁國家公園螢火蟲資源調查及應用期末報告。墾丁國家公園管理處，31 頁。
- 張錦洲。1994。臺灣產黃緣螢人工飼育之研究。國立中興大學昆蟲學研究所，碩士論文，48 頁。
- 楊平世、賴郁雯、陳明發、葉淑丹。1997。國家公園螢火蟲復育研究計畫報告。內政部營建署國家公園管理處，42 頁+6 圖。
- 鄒鍾琳。1980。昆蟲生態學。上海科學技術出版社，上海，第 25-55 頁。
- 鄭秀玲、林俐玲、林肇源。2013。砂岩對黃緣螢生長水質影響之研究。水土保持學報，45(1): 571-584。
- 鄭明倫、陳燦榮。2014。臺灣常見熠螢之學名更動。自然保育季刊，(85): 64-71。
- 鄭明倫、賴郁雯、楊平世。1999。臺灣六座國家公園螢火蟲相概要 (鞘翅目：螢科)。中華昆蟲，19(1): 65-91。
- 賴胤就。2003。台灣螢火蟲家族。多識界圖書文化有限公司，中和市，臺灣，347 頁。
- 賴郁雯、佐藤正孝、楊平世。1998。臺灣螢科名錄—鞘翅目：多食亞目：螢科。中華昆蟲，18(3): 207-215。
- 饒戈。2011a。Newly known and newly recognized fireflies in Hong Kong。蟲訊 (香港昆蟲學會通訊)，2011(2): 9-12。
- 饒戈。2011b。關於螢火蟲的中文命名原則和香港的螢火蟲中文名稱。蟲訊 (香港昆蟲學會通訊)，2011(2): 13-16。
- Fu, X. H., L. A. Ballantyne, and C. L. Lambkin. 2010. *Aquatica* gen nov.

form mainland China with a description of *Aquatica wuhana* sp. nov. (Coleoptera: Lampyridae: Luciolinae). *Zootaxa*, 2530: 1-18.

Ho, J. Z., P. H. Chiang, C. H. Wu, and P. S. Yang. 2010. Life cycle of the aquatic firefly *Luciola ficta* (Coleoptera: Lampyridae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 13: 189-196.

Jeng, M. L., J. Lai, and P. S. Yang. 2003. Lampyridae: a synopsis of aquatic fireflies with description of a new species (Coleoptera). *Water Beetles of China*, 3: 539-562.

Morita, M., and S. Tojo. 1985. Relationship between starvation and supernumerary ecdysis and recognition of the penultimate-larval instar in the common cutworm, *Spodoptera litura*. *Insect Physiol.*, 31: 307-313.

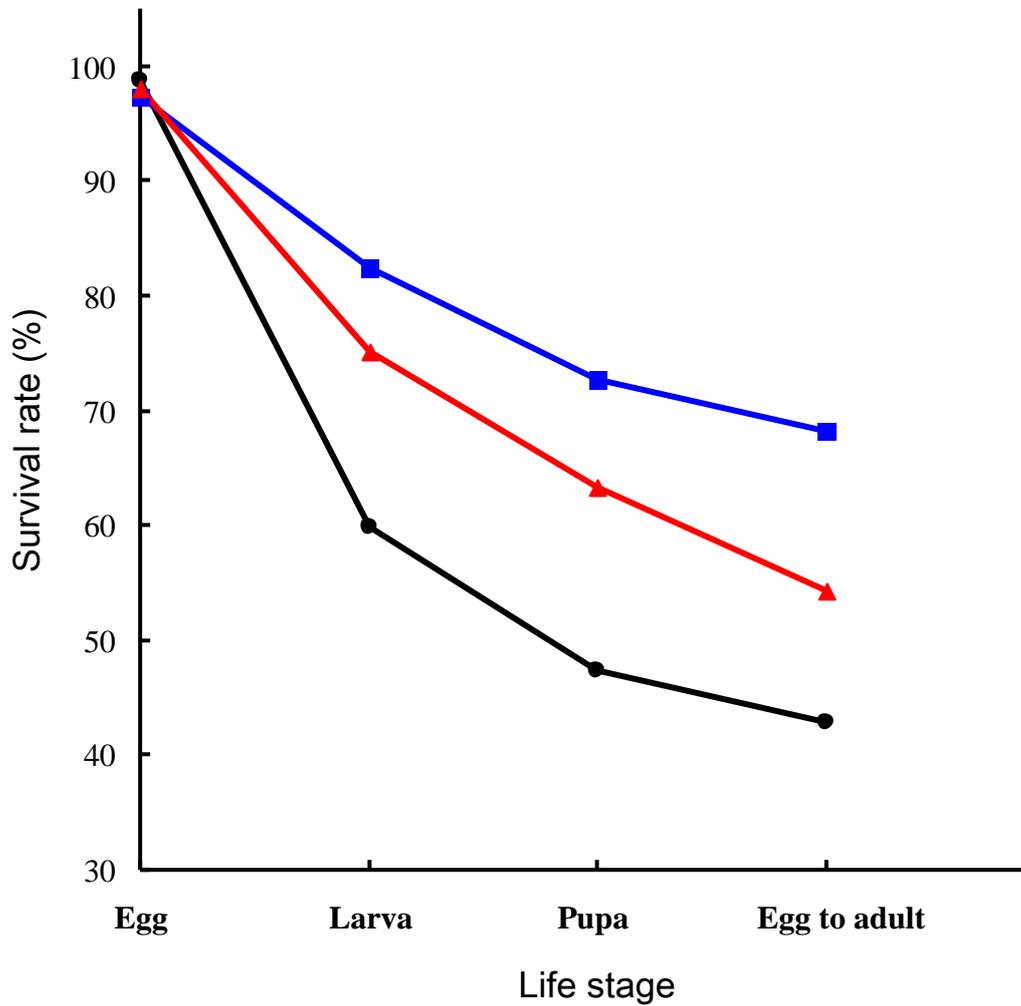


圖1. 不同溫度下的黃緣螢各蟲期累積存活率 (—●— 22°C ; —■— 25°C ; —▲— 28°C)。

Fig 1. The cumulative survival rate of *Aquatica ficta* under different temperatures (—●— 22°C ; —■— 25°C ; —▲— 28°C).

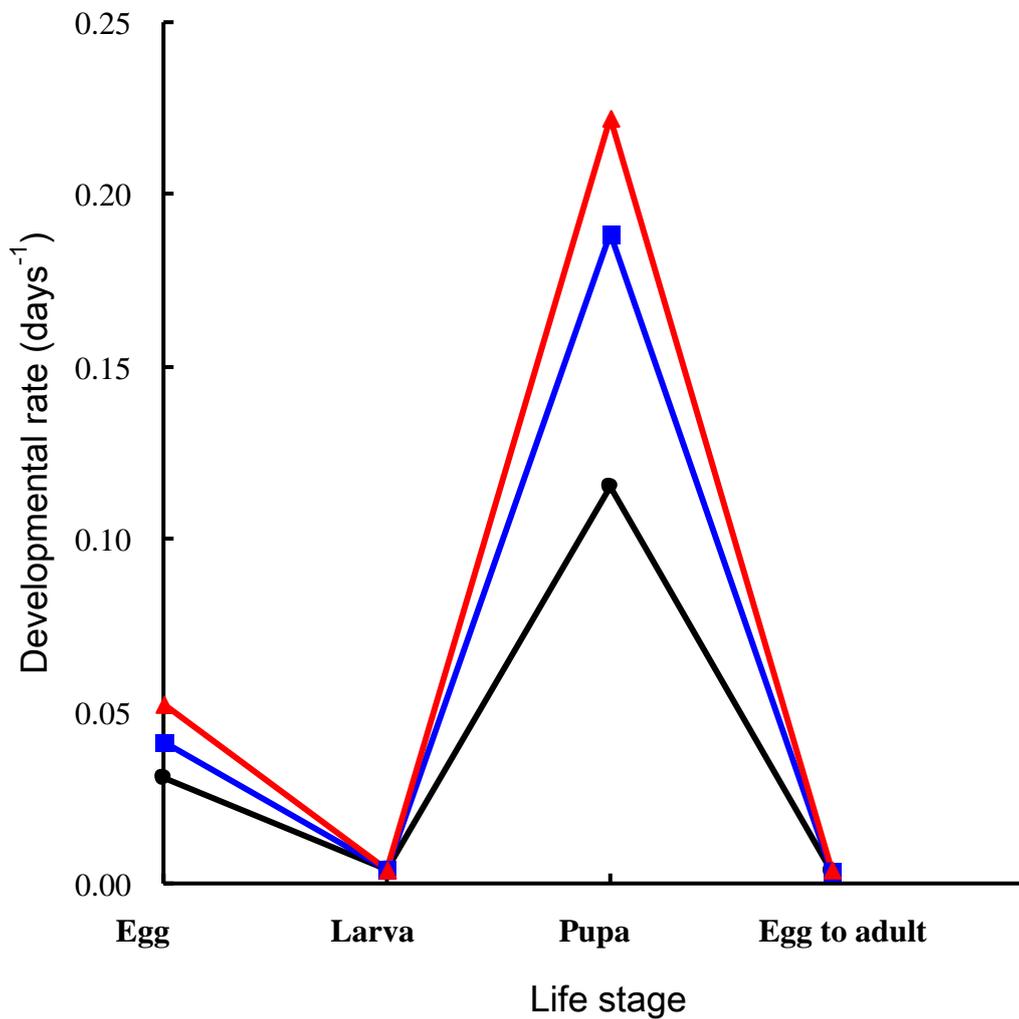


圖2. 不同溫度下的黃緣螢各蟲期發育速率 (—●— 22°C ; —■— 25°C ; —▲— 28°C)。

Fig 2. The developmental rate of various development stages of *Aquatica ficta* under different temperatures (—●— 22°C ; —■— 25°C ; —▲— 28°C).

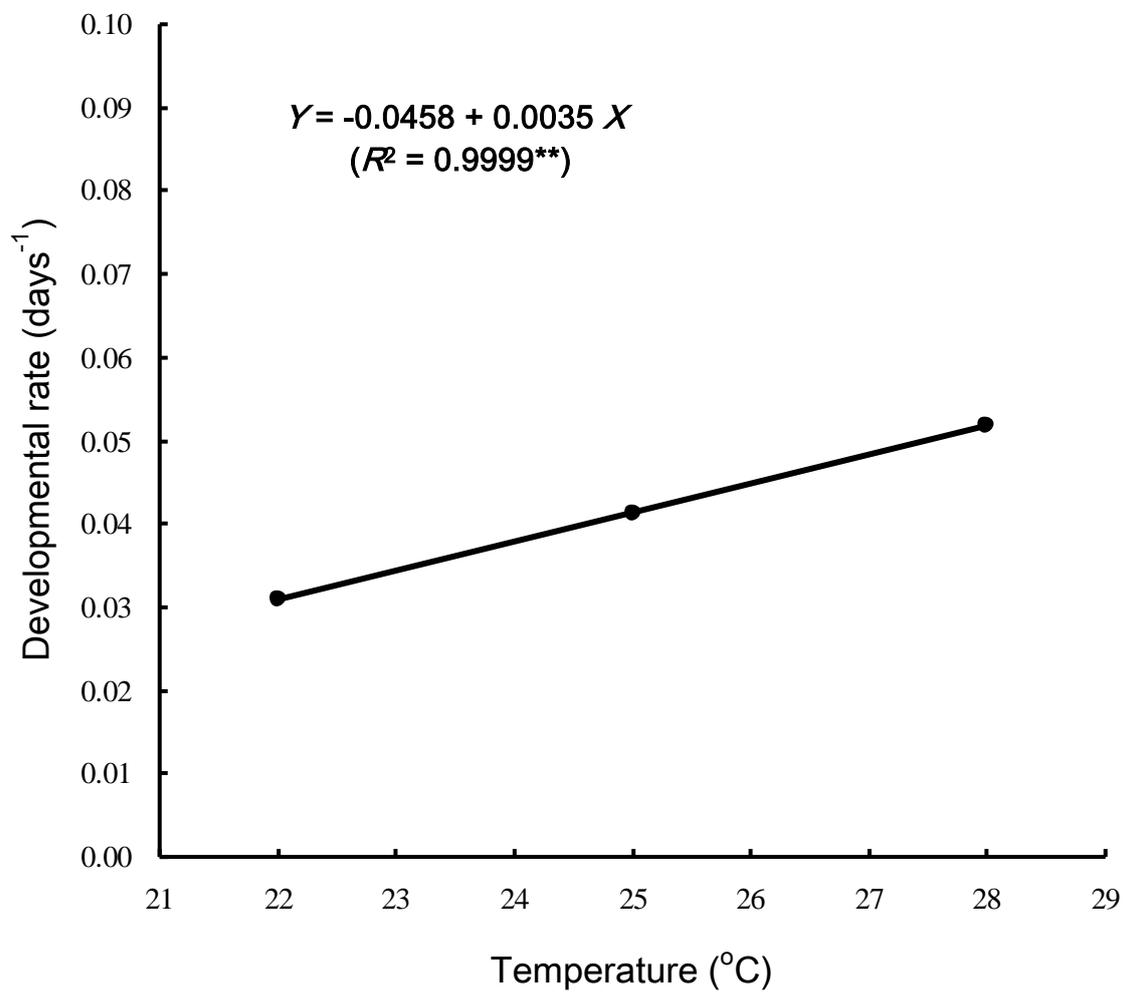


圖3. 不同溫度下的黃緣螢卵期發育速率 (Y) 和溫度 (X) 之關係。  
Fig 3. The relationship between developmental rate and temperature of egg stage of *Aquatica ficta* under different temperatures.

表1. 不同溫度下的黃緣螢各蟲期存活率

Table 1. The survival rate of various development state of *Aquatica ficta* under different temperatures

Life stage	Survival rate (%) <sup>1)</sup>		
	22°C	25°C	28°C
<b>Egg</b>	98.7±0.1a	97.4±0.2a	98.0±0.1a
<b>Larva</b>	60.7±0.6c	84.7±2.5a	76.7±6.1b
<b>Pupa</b>	79.1±0.3b	88.2±0.1a	84.3±0.2a
<b>Egg to adult</b>	42.8±0.7c	68.2±2.2a	54.2±6.2b

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

表 2. 不同溫度下的黃緣螢各蟲期發育日數

Table 2. The developmental periods of various development stages of *Aquatica ficta* under different temperatures

Life stage	Developmental period (Mean±SE, days) <sup>1)</sup> (n) <sup>2)</sup>		
	22°C	25°C	28°C
<b>Egg</b>	32.4±0.1a (457)	24.3±0.2b (740)	19.3±0.1c (761)
<b>Larva</b>	256.9±0.6a (34)	259.3±2.5a (72)	238.3±6.1b (52)
<b>Pupa</b>	8.7±0.3a (34)	5.3±0.1b (72)	4.5±0.2c (52)
<b>Egg to adult</b>	298.0±0.7a (34)	288.8±2.2a (72)	262.9±6.2b (52)

1) Means within a row followed by the same letter are not significantly different at 5% confidence level according to LSD.

2) n in parentheses is the number of observed.

表 3. 黃緣螢各蟲期的發育臨界低溫 and 有效積算溫度

Table 3. The lower developmental threshold temperature and accumulative effective temperature for various development stages of *Aquatica ficta* under a temperature range from 22 to 28°C

Life stage	Lower developmental threshold temperature (°C)	Accumulative effective temperature (K, degree-days)
Egg	13.42	281.39
Larva	-9.04	8826.57
Pupa	8.13	89.41
Egg to adult	-5.45	8793.96

**附錄1. 宜蘭地區從1981年至2010年間的月平均溫度及有效積算溫度**  
**Appendix 1. Monthly average temperatures and accumulative effective**  
**temperatures from 1981-2010 in Ilan**

<b>Month</b>	<b>Average temperature (°C)<sup>1)</sup></b>	<b>Accumulative effective temperature (K, degree-days)<sup>2)</sup></b>
<b>Jan.</b>	16.3	674.25
<b>Feb.</b>	16.9	648.15
<b>Mar.</b>	18.9	754.85
<b>Apr.</b>	21.7	814.50
<b>May</b>	24.4	925.35
<b>June</b>	26.8	967.50
<b>July</b>	28.6	1055.55
<b>Aug</b>	28.3	1046.25
<b>Sept.</b>	26.5	958.50
<b>Oct.</b>	23.6	900.55
<b>Nov.</b>	20.6	781.50
<b>Dec.</b>	17.5	711.45
<b>Average</b>	22.5	<b>Sum</b> 10238.40

1) The date is according to Central Weather Bureau (Website: [http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthly\\_Mean/Taiwan\\_tx.htm](http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthly_Mean/Taiwan_tx.htm)).

2)  $K = \text{Days} \times (\text{Average temperature} - \text{lower developmental threshold temperature})$ .