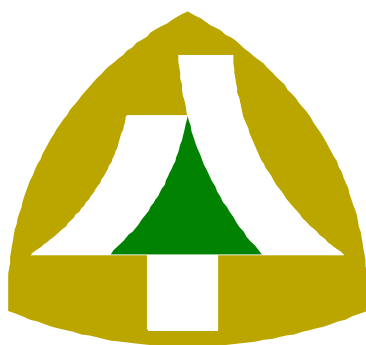


行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 100-08-8-01

行政院農業委員會林務局保育研究系列 100-13

池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查計畫

The fireflies resources census in Chihnan National Forest Recreation Area



委託機關：行政院農委會林務局花蓮林區管理處

執行機關：國立臺灣大學昆蟲學系昆蟲保育研究室

中華民國 101 年 5 月

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT	II
一、前言	1
(一)系統分類學.....	2
(二)發光生物學.....	3
(三)臺灣螢火蟲生物資源研究.....	9
二、材料與方法	11
(一)溫濕度及遮蔽度測量	11
(二)螢火蟲資源、蝸牛及蛇類調查	11
1. 陷阱調查法—飛行攔截板、黃色黏蟲板.....	11
2. 穿越線調查法—池南區及芎溪.....	12
3. 穿越線調查法—鯉魚山步道區.....	12
(三)黑翅螢標識再捕法	12
(四)各調查樣區螢火蟲相分析	13
(五)除草對於螢火蟲之影響試驗	14
(六)遊客數量對於螢火蟲族群之影響	14
三、調查結果	15
(一)各調查分區之螢火蟲生物資源.....	15
1. 全區	15
2. 池南區	17
3. 賞鳥遠眺步道	20
4. 野餐觀景步道	23
5. 芎溪區	26
(二)2011 年 5 月~2012 年 4 月之池南國家森林遊樂區螢火蟲生物資源.....	29
(三)各屬螢火蟲在區內之分布情況	38
(四)黑翅螢成蟲數量標識再捕法	43
(五)除草對窗螢、短角窗螢幼蟲之影響	44
(六)遊客數量對於螢火蟲族群之影響	45
(七)溫濕度、遮蔽度與螢火蟲之關係	46
(八)文獻紀錄與本調查發現之螢火蟲種類	47
四、池南國家森林遊樂區螢火蟲資源利用建議	48
(一)各分區螢火蟲生物資源利用建議	48
(二)各月份螢火蟲生物資源利用建議	50
(三)人為干擾對於螢火蟲成蟲之影響	51

(四)辦理賞螢活動時間及民眾應注意事項	52
引用文獻	53
附錄一 2011 年~2012 年池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查原始資料	59
附錄二 池南國家森林遊樂區黑翅螢成蟲族群數量估算	65
附錄三 除草對於窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲幼蟲影響試驗	66
附錄四 遊客數量對於螢火蟲族群之影響	64
附錄五 期初報告會議紀錄	66
附錄六 期中報告會記紀錄	70
附錄七 期末報告會議紀錄	73
附錄八 螢火蟲之照片及簡介	77
附錄九、池南區、荖溪及鯉魚山步道區穿越線調查路線圖	93
附錄十、飛行攔截版及黃色黏蟲板照片	96

表圖目錄

表一、2011年4月~2012年4月池南國家森林遊樂區暨荖溪之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份	16
表二、2011年5月~2012年4月池南區之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份	17
表三、2011年5月~2012年4月之池南區各月份螢火蟲幼成蟲數量	19
表四、2011年5月~2012年4月賞鳥遠眺之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份	20
表五、2011年5月~2012年4月之賞鳥遠眺步道各月份螢火蟲幼成蟲數量	22
表六、2011年4月~2012年4月野餐觀景步道螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份	23
表七、2011年5月~2012年4月之野餐觀景步道各月份螢火蟲幼成蟲數量	25
表八、2011年4月~10月荖溪區螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份	26
表九、2011年5月~2012年4月之荖溪區各月份螢火蟲幼成蟲數量	28
表十、2011年5月~2012年4月，各月份螢火蟲種類及 SHANON-WIENER INDEX、 SHANON-WIENER EVENNESS INDEX	29
表十一、2012年3~4月黑翅螢成蟲族群數量	43
表十二、除草區、非除草區及除草區上方之窗螢、短角窗螢幼蟲數量	44
表十三、2011年11月~2012年4月池南區、野餐觀景步道之氣溫、相對濕度及遮蔽度與中央 氣象局氣候資料之比較(中央氣象局花蓮氣候資料引用自中央氣象局官方網頁 HTTP://WWW.CWB.GOV.TW/V7/CLIMATE/DAILYPRECIPITATION/DP.HTM)	46
表十四、文獻紀錄之螢火蟲種類及本調查發現之螢火蟲種類	47
圖一、池南區之螢火蟲相組成	18
圖二、賞鳥遠眺步道之螢火蟲相組成	21
圖三、2011年5月~2012年4月野餐觀景步道之螢火蟲相組成	24
圖四、荖溪區之螢火蟲相組成	27
圖五、2011年5月各區螢種數量比例。	30
圖六、2011年6月各區螢種數量比例	30
圖七、2011年7月各區螢種數量比例。	31
圖八、2011年8月各區螢種數量比例。	31
圖九、2011年9月各區螢種數量比例。	32
圖十、2011年10月各區螢種數量比例	32
圖十一、2011年11月各區螢種數量比例	33
圖十二、2011年12月各區螢種數量比例	34
圖十三、2012年3月各區螢種數量比例	35
圖十四、2012年4月各區螢種數量比例	36
圖十五、2012年1月各區螢種數量比例	37
圖十六、2012年2月各區螢種數量比例	37

圖 十七、熠螢屬於各調查分區之數量	39
圖 十八、脈翅螢屬於各調查分區之數量	40
圖 十九、窗螢屬於各調查分區之數量	41
圖 二十、短角窗螢屬於各調查分區之數量	42
圖 二十一、2012/4/21 18:43~21:02 野餐觀景步道、環潭公路之黑翅螢光點數量與遊客 量之關係	45

摘要

2011 年 4 月至 2012 年 4 月，以穿越線調查法、飛行攔截板調查法及黃色黏蟲板，於池南國家森林遊樂區之池南區、野餐觀景步道、賞鳥遠眺步道、荖溪四樣區內進行調查，結果發現共有日行性螢火蟲 1 屬 1 種，夜行性螢火蟲 6 屬 17 種螢火蟲，合計 7 屬 18 種螢火蟲；分別為黑翅螢、紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢、大端黑螢、紋螢、梭德氏脈翅螢、姬脈翅螢、黃肩脈翅螢、黃脈翅螢、橙螢、蓬萊短角窗螢、紅胸窗螢、長胸窗螢、赤腹窗螢、山窗螢、赤腹櫛角螢、雲南扁螢及奧氏弩螢；經計算樣區內之夏農生物多樣性指數及夏農均勻度指數，顯示此四樣區內皆有優勢螢種存在，主要優勢螢種皆為黑翅螢，而各月主要螢種則各有不同。螢火蟲族群絕對豐度調查依標識再捕法，於 2012 年 3~4 月，選定鯉魚山野餐觀景步道之黑翅螢成蟲進行，3 月黑翅螢族群數量為 58.50 ± 11.03 隻，4 月為 1012.38 ± 49.56 隻。2011 年 7 月至 2011 年 9 月，在池南區進行除草對於窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲幼蟲之影響調查，顯示除草會使窗螢屬及短角窗螢屬幼蟲退縮至除草區上方之未除草區，但後續調查結果顯示當除草區之植被逐漸恢復，幼蟲數量亦逐漸增加，故推論現行除草方式對於窗螢屬及短角窗螢屬之較成熟幼蟲造成之影響為暫時性影響，並不造成窗螢屬及短角窗螢屬之成熟幼蟲數量減少。2012 年 4 月進行遊客數量對於螢火蟲成蟲族群數量影響之試驗，於鯉魚山之環潭公路及野餐觀景步道進行，結果顯示環潭公路之螢火蟲光點數量與遊客數量之相關係數為 0.44，未達顯著相關；而兩處之螢火蟲光點則無顯著差異，顯示目前之賞螢導覽方式及遊客量，並未對螢火蟲族群造成影響，但細分兩處螢種組成可知，造成兩處螢火蟲數量無顯著差異之原因，可歸因於黑翅螢成蟲數量遠多於其他螢種數量造成，遊客賞螢時，野餐觀景步道之紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢及梭德氏脈翅螢數量較環潭公路為多，此一結果顯示，不同螢種對於遊客所帶來之遊憩壓力反應可能不同，不過遊憩是否影響螢火蟲族群，仍需後續研究探討。

關鍵字：螢火蟲資源調查、人為干擾、螢科、林務局

Abstract

From April 2011 to April 2012, the fireflies' qualitative and quantitative censuses were constructed in 4 sampling site in Chihnan national forest recreation area. 7 genus 18 species fireflies were found, including *Luciola cerata* Olivier, *Luciola kagiana* Matsumura, *Luciola satoi* Jeng and Yang, *Luciola anceyi* Olivier, *Luciola filiformis* Olivier, *Curtos sauteri* (Olivier), *Curtos impolitus* (Olivier), *Curtos mundulus* (Olivier), *Curtos costipennis* (Gorham), *Diaphanes citrinus* Olivier, *Diaphanes formosus* Olivier, *Pyrocoelia formosana* (Olivier), , *Pyrocoelia sanguiniventer* (Olivier, 1911), *Pyrocoelia praetexta* (Olivier), *Pyrocoelia* sp., *Vesta impressicollis* Fairmaire, *Lamprigera yunnana* (Fairmaire) and *Drilaster olivieri* (Pic). The black-winged firefly, *L. cerata* was the most abundant species in four sampling sites. However the main firefly species were different in each month. The marking-release-recapture method was used for estimating the adult *L. cerata* number in March and April 2012. The average numbers were 58.50 ± 11.03 in March 2012 and 1012.38 ± 49.56 in April 2012. The results of impact of artificial weeding for fireflies larvae show that the artificial weeding was temporary impact for *Pyrocoelia* and *Diphanes* larvae in relative small weeding area, and would not reduce the larvae numbers. The results of impact of tourist numbers to the fireflies adult show that the fireflies-observation tourist would not affect the adults *L. cerata*, but not the other fireflies.

Keyword: Fireflies resources census, Artificial disturbance, Lampyridae, Forestry Bureau

一、前言

螢科 (Lampyridae) 屬於鞘翅目叩頭蟲總科 (Elateroidea)，與紅螢科 (Lycidae)、捕蠊螢科 (Phengodidae)、雌光螢科 (Rhagophthalmidae) 及擬螢科 (Drilidae) 等昆蟲近緣。本科全世界約有 2000 種 (McDermott, 1964, 1966, Nakane, 1991)。由於許多螢火蟲具有發光能力，因此在人類歷史上也吸引不少注意，尤其在東方文化中常成為詩詞歌賦繪畫的對象，在童詩童謠中也不乏對螢火蟲的吟詠 (Kanda, 1934; Yang, 1998)，足見其與人類生活之密切；也由於生物發光本身的奧秘，同時具有極大的應用潛能，對螢火蟲發光的研究相當繁多，不僅在行為生態學、發光生物學上，並廣泛運用在其他理論及應用生物學學門 (Lloyd, 1971, Travis, 1996, Taubes, 1997)；而在生物棲息地遭到破壞，生物多樣性快速消失的今天，螢火蟲在保育生物學上也扮演著指標種 (indicator species) 及旗艦種 (flagship species) 的角色 (Kobayashi, 1991; Mori, 1991, Ohba; 1993, Shibue, 1997; Yang, 1998)。由此可知螢科昆蟲的研究無論在理論、應用生物學、乃至保育學及民俗昆蟲學上都具有相當的重要性。

目前世界上螢科昆蟲的相關研究可分為應用及理論兩方面，應用方面主要是利用發光酵素 (Luciferase) 基因作為顯示基因 (Reporter gene)，當發光素與發光酵素結合會發出螢光，因而可由螢光之發生情況直接觀察標的基因是否表現或受到抑制，組織是否遭到標的病毒或細菌感染，目前所使用的發光酵素幾乎完全來自北美的 *Photinus pyralis* 螢火蟲，而利用發光素-發光酵素反應作為顯示基因的研究以遍及醫學 (Ardehali *et al.*, 1995)、肝炎 (Wu and Wu, 1998)、神經生理學 (Ahmed *et al.*, 2000)、藥學 (Jin *et al.*, 2000)、病毒學 (Taubes, 1997, Barco *et al.*, 2000)、微生物學 (Travis, 1996, Delorme *et al.*, 1999)、細胞學 (Kanno *et al.*, 2000)、昆蟲病理學 (Kanya and Kobayashi, 2000)、生物時鐘 (Travis, 1995)、類神經網路 (Soucek, 1996, 1997) 與植物光合作用 (Schmitz *et al.*, 1999) 等

研究；另外也利用發光酵素作為探針 (Probe)，以偵測食物或環境中的病菌或毒素 (Bradley, 1996, Hollis *et al.*, 2000)；至於理論研究方面，則可分為以下數點：

(一)系統分類學

螢科之科群高階分類變動十分頻繁，以總科級歸屬言，19 世紀時將之歸類為軟鞘類 (Malacodermata)，此用法一直沿用到 20 世紀早期；直到 Crowson (1955) 才排除一些親緣關係較遠的科，如擬花螢科

(Melyridae) 及郭公蟲科 (Cleridae) 等，之後並推論菊虎總科下各科間的親緣關係 (Crowson, 1972)。Crowson 的系統被多數甲蟲分類學者及昆蟲分類教科書採用，因此影響深遠，但在親緣系統學 (Phylogenetic systematics) 興起後，由於對親緣關係的建立與對系統的看法有了重大的發展，因此過去的分類系統成為首先被重新檢證的對象；Lawrence (1988) 建議將叩頭蟲總科、菊虎總科及偽長花蚤總科 (Artematopodoidea) 合併為叩頭蟲總科；Beutel (1995) 以幼蟲特徵重建叩頭蟲群 (Elateriformia) 各科的親緣關係，發現菊虎總科並非單系群，且菊虎科 (Cantharidae) 與叩頭蟲科等之關係密切，而原菊虎總科下之螢科、紅螢科等昆蟲則仍成為單系群，因此 Beutel 認為菊虎總科的存在有檢討之必要；Lawrence and Newton (1995) 便將菊虎總科取消，成員列於叩頭蟲總科之中；亞科級系統最早由 Olivier (1907) 奠基，其後數度大幅變動 (McDermott, 1964, 1966, Crowson, 1972)，由 9 亞科建制 7 亞科再變為 8 亞科，由於各作者對螢科見解不一，因此一些與螢科相近的科是否應納入螢科成為一個亞科便成為爭論的焦點；由於迄今尚未對螢科的亞科與近緣的科作親緣關係的分析，此一問題仍懸而未決，但也成為相當值得研究的方向；目前螢科隨亞科分類不同而有 80-92 屬不等的分類系統，而亞科間也極端不平衡，如螢亞科 (Lampyrinae) 便有 50 餘屬 1000 種以上，但 Pteroninae 亞科僅 2 屬 5 種，另有一些亞科乃「垃圾分類群」(Trash taxon)，包含一些

難以歸類的屬級分類群，如 Crowson (1972) 所創立的弩螢亞科

(Ototretinae) 連他個人都認為可能是非自然分類群，這些問題亦具有極大的研究價值；至於屬級種級的分類，由於多數螢科種類是在 19 世紀與 20 世紀初期發表，描述簡略且無附圖，模式標本散居各地博物館，尤其是在早期歐洲殖民地所發現的種類有許多含混之處卻不易澄清；目前螢科之分類多半為地區性研究，仍持續研究的地區包含北美洲、歐洲、俄羅斯、中美洲的墨西哥、亞洲的台灣及日本、新幾內亞及澳洲等地，而生物多樣性極高的東南亞、中國大陸、非洲與南美雨林的調查闕如或僅有少數報告發表(Fu and Ballantyne, 2006)。

分子生物技術的發展也使得親緣關係學有了新的工具，Suzuki *et al.* (1993, 1996b) 以異構酶為指標，檢視日本的姬螢 (*Hortaria parvula*) 與源氏螢 (*Luciola cruciata*) 生態型 (Ecological type) 的遺傳分化情況，由於不同生態型螢火蟲的閃光型式 (Flash pattern) 不同，足以形成生殖前隔離 (Pre-mating reproductive isolation)，因而牽涉「種的概念」(Species concept) 與「種化」(Speciation) 的重要問題，可惜未有進一步研究深入探討族群間是否產生生殖隔離或形成遺傳凝聚性 (Genetic cohesion)。Omiya *et al.* (1995) 解析日本數種螢火蟲發光酵素的 cDNA 序列，發現亞科間相似度低於 70%，而亞科內則在 80% 以上；Sala-Newby *et al.* (1996) 比較歐洲、北美洲數種螢火蟲的 cDNA 序列也得到類似的數據；Ye *et al.* (1997) 對於北美 *Photinus pennsylvanica* 的研究則顯示同屬間發光酵素 cDNA 僅有少量胺基酸的差異，這些結果顯示發光酵素 cDNA 序列可作為亞科及分類的依據，但因為發光酵素的選態壓力大，以其重建親緣關係則有待評估；Suzuki *et al.* (1996a) 以多種異構酶分析日本產熠螢亞科 (Luciolinae) 種類的親緣性，並檢討不同閃光形式的進化關係。

(二) 發光生物學

螢科的發光器結構、發光生理與閃光控制機制已被研究的十分透徹

(Buck, 1948, Buck and Case, 1961, Case and Buck, 1963, Buck *et al.*, 1963, Ghiradella, 1998)，目前對發光生物學的研究多集中於發光光譜、複眼對光色的敏感度、閃光型式(頻度、強度、間隔)、溝通系統(Communication system)、齊燦螢屬(*Pteroptyx*)的齊燦機制研究、發光功能、發光酵素研究等。

螢火蟲的發光光譜研究直到 1960 年代才利用光電光譜儀(photoelectric spectrometer)作精確的測量。Seliger and McElory (1964) 與 Biggle *et al.* (1967)對北美集中美洲的螢火蟲種類作體內(in vivo)測量，牙買加產螢火蟲的高峰發光波長(peak wavelength)在 552-582nm 間，與美國產者極為相似，而 *Pyrophorus plagiophthalmus* 則在種內有高度變異(547-594nm)。Seliger and McElory (1964)取不同種類螢火蟲的發光酵素及發光素結合，發光的光色為發光酵素來源種類的發光光色，而非發光素來源種類的發光光色，顯示發光酵素具有種專一性

(species-specificity)。Viviani and Bachara (1995)分析巴西 9 屬 25 種螢火蟲發光光譜，發現多數種類為黃綠光(高峰波長 548-573nm)，除兩個屬外(*Photuris* 及 *Bicellonychia*)，其他屬種的體內在體外發光光譜相差在 5nm 內，但若於體外測試時，降低 pH 值，則發光會轉為紅色，而叩頭蟲與捕蠅螢的發光酵素在體外測試時不受 pH 值影響。Lall *et al.* (1980)結合發光光譜及視網膜電圖(electroretinogram, ERG)資料推論，昏行性螢火蟲(於日落之前開始活動之螢火蟲)發出的黃光與負演對黃光的敏感性可能是對黃昏光線背景的適應，能增強自身閃光信號與周圍雜光的對比，以認出同種的發光；夜行性種類(日落之後才開始活動的螢火蟲)則由於雜光變少，複眼只要對光敏感便能確認同種個體，因此綠光乃是對夜行性的適應；然而此試驗以功能為唯一考量，且僅測試 4 種螢火蟲，若將親緣關係列入考量，應會發現其他例外。

Eguchi *et al.* (1984)測量日本 3 種日行性與 8 種夜行性螢火蟲的

ERG，發現除了 *Hotaria parvula* 雄蟲感應高峰光譜為 580 nm 外，其餘種類皆落於 500-540 nm 間，多數種類之發光光譜與 ERG 光譜有差異，但日行性與夜行性種類間無顯著差異；Lall and Lloyd (1989)測量 2 種北美日行性 *Lucidota* 螢火蟲視覺光譜，發現其在綠光與接近紫外光區有感應，與一般日行性昆蟲相同；其中 *L. luteicollis* 雄蟲仍保有幼蟲期的發光器，且可發光檸檬色光（lemon color，高峰光譜值 562 nm），但其視覺光譜與發光光譜不合，Lall and Lloyd 由觀察中得知該種類螢火蟲雄蟲並不利用光搜尋配偶，而是依賴視覺、嗅覺及觸覺，而雌蟲一般待在土表下或土穴洞口釋放費落蒙，在這類環境下，長波長光會轉變為短波長光，因此雄蟲的檸檬色光仍可能被雌蟲感應，認知其為同種雄蟲而非補食者。Lall (1993a, 1993b, 1994)對昏行性螢火蟲的行動光譜（action spectra 開始閃光活動的環境光譜）進行分析，他利用不同波長的水平及垂直光柱（beam）模擬開放及幽閉空間，發現 *Photinus scintillans* 螢火蟲雄蟲的複眼會同時接受長波長（黃光）與短波長（藍光）信號而開始在黃昏發光飛行；滯留於幽閉空間時，複眼接受長波長的黃光做出行為反應；進一步的研究發現雄蟲滯留在幽閉空間的時間為在開放空間的 15 倍，因此推論在自然環境中，昏行性的 *P. scintillans* 僅利用長波長信號或同時接後長波長光信號作為行為反應的門檻，當周圍光線降低至閾值以下，昏行性螢火蟲便開始發光行為，而與棲地環境型態無直接關連。Lall and Worthy (2000)研究另一種螢火蟲 *Photinus pyralis* 的行動光譜，發現光譜範圍極窄，集中在黃光，雌蟲僅對 480 nm 以上的光有反應，對 420-460 nm（藍光區）則無反應，ERG 顯示雌蟲對於 520-660 nm 的光敏感，而視覺光譜界收範圍僅為一個光色等級，因此雌蟲對光信號的偵測可能是無色差的（achromatic）。

Cronin *et al.* (2000)比較昏型性及夜行性螢火蟲視覺光譜的差異，發現昏型性種類具有桃紅色阻隔色素(pink screening pigments)，夜行者則有

黃色阻隔色素，而兩類型螢火蟲的視覺色素所接受的高峰光譜值亦有些微差異；而兩色素合併之後的接受光譜與視覺光譜之 ERG 所呈現者十分近似；故 Cronin *et al.* 推測昏型性種類的視覺光譜進化上，乃是朝向由光譜範圍寬廣的背景光中增大區辨能力(maximum discrimination)，以察覺同種個體的發光訊號；夜行性種類則是在增大光感應度(maximum sensitivity)與最大區辨能力間協調；Hariyama *et al.* (1998)發現日本的源氏螢及平家螢(*Luciola lateralis*)複眼對光有兩個感應敏感高峰，A1 視覺色素對紫外光敏感，而 A3 視覺色素對綠光敏感，兩種色素的含量雄蟲都較雌蟲為高，但雌蟲複眼背方 A1/A3 的比例高於複眼其他部分，但日本此二種螢火蟲接為夜行性螢火蟲，理論上雌蟲應對於來自背方的綠光敏感，與所得結果不甚相符，然 Hariyama *et al.* (1998)未對功能進行討論。

螢科昆蟲閃光模式之研究從 1930 年代開始就有紀錄，據 Buck(1937)利用碼表及目視觀察的方式觀察北美 1 種 *Photinus* 屬之螢火蟲發光，並計算其閃光間隔時間 (flash interval)；1960 年代至 1980 年代 Lloyd 及 Ohba 開始利用電子設備研究螢科昆蟲的閃光模式，二者都是利用光電轉換器 (photocell transducer)，將光電轉換器接在錄音機上，把螢科昆蟲所發出的閃光轉成聲音，利用錄音帶所記錄聲音的長短及兩段聲音之間的時間來計算螢科昆蟲閃光模式的閃光持續時間 (flash duration) 及閃光間隔時間，而 Moiseff and Copeland (2000) 則利用夜視攝影機於野外拍攝螢科昆蟲之閃光，於室內利用電影剪接機以 1 秒鐘 30 格畫面的速度檢查所拍攝之螢科昆蟲閃光之畫面，並計算其閃光持續時間及閃光間隔時間；Tamura *et al.* (2005)，利用夜視攝影機及影片編輯軟體(Adobe premier 6.0)研究日本之源氏螢 (*Luciola cruciata* Motschulsky) 不同族群間之閃光模式。

臺灣產螢火蟲發光行為研究，據 Ohba and Yang (2003) 及 Wu *et al.* (2010)研究黑翅螢閃光之結果，黑翅螢之溝通系統屬 HP system，且雄蟲

具二形性，雌蟲偏好之雄蟲體型較大，發光速率較快。

除螢科昆蟲發光模式之研究外，尚有利用數位錄影方式探討螢科昆蟲生活史之電腦系統，據 Ho *et al.* (2002)，利用電腦主機、影像擷取卡、CCD 監視器、紅外線燈源及影像處理軟體拍攝飼養於室內之台灣窗螢幼蟲，記錄其化蛹與羽化之過程，並記錄時間與動作行為。

Lloyd (1966) 研究 *Photinus* 屬的閃光模式，發現在兩性溝通時，雌蟲會藉雄蟲的閃光長度、間隔與數目以辨識並選擇雄蟲，而雄蟲則以雌蟲的延遲回應時間得知雌蟲的反應；Landa *et al.* (1996) 研究熠螢 *Luciola mingrelica* 的閃光也得到類似的結論；Lloyd *et al.* (1989) 研究四種泰國海岸的熠螢 (*Luciola*) 閃光，發現其一般的閃光信號系統與其他地區的熠螢類似；Makino *et al.* (1994) 建立一套電腦分析系統以紀錄並分析閃光型式，包含分析軟體與其他硬體裝備；Ohba *et al.* (1995b) 並利用這套設備對日本的螢火蟲進行閃光型式分析；Forrest and Eubanks (1995) 研究北美 *Photuris versicolor quandrifulgens* 雄蟲的閃光，發現共有 5 種不同的型式，並會隨時間的推移而轉換，但雄性族群密度和競爭與閃光型式的改變無顯著關連，而可能與可交配雌蟲的數量、發光所需能量或降低被捕食風險有關。

螢火蟲溝通系統的分類最早由 Lloyd (1966) 提出，Lloyd 將其分為三種模式：(一) 無翅雌蟲發光吸引不發光的雄蟲；(二) 兩性成蟲以種的發光模式相互答應；(三) 日行性，以費落蒙傳達訊息。Ohba (1983) 在研究日本的螢火蟲溝通模式後，將其區分為六大類：HP、LL、LC、PR、CR、LB 型；前三型具有閃光模式，HP 型雌蟲的延遲回答時間一定，LL 型雄、雌蟲答應的時間不規則，而 LC 型雄蟲接近雌蟲時會圍繞雌蟲步行，發出不同形式的閃光；PR 型兩性成蟲皆發連續光，但雌蟲無翅；CR 型基本上為日行性，以費落蒙交信，但夜幕時會發微弱的光輔助搜尋；LB 型則為日行性，僅靠費落蒙交信。在形態上，6 種溝通模式的螢火蟲具有

某種趨勢 (trend)，如雄蟲觸角長度隨日行性程度而增長，複眼大小則反之。Ohba and Goto (1990) 並發現具有類似溝通系統的螢火蟲在實驗室內可行種間雜交。然而這些區分方式是否適用於其他地區的螢火蟲則有待進一步研究。

齊燦螢屬分布於亞洲印度洋沿岸與西太平洋熱帶地區，由於雄成蟲會聚集於一處同步閃爍故名。由於雄蟲齊燦的機制與在進化生態學上的意義十分特別，因此吸引許多研究 (Buck and Buck, 1966, 1968, 1976；Lloyd, 1973；Copeland and Moiseff, 1997)。Buck 等人的研究推論同步閃爍的建立並非依賴視覺，而是類似人類節奏感(sense of rhythm)的神經調控機制。

螢火蟲成蟲的發光可能具有溝通、展示、警戒、照明、調節族群等功能 (Lloyd, 1971)，但是除溝通與性擇外，其他的能假說多半是觀察或臆測；Knight *et al.* (1999) 證實蜥蜴誤食螢火蟲可致死，間接證實警示說。幼蟲的發光功能一直是被討論的課題之一。已知的螢科幼蟲都會發光 (Crowson, 1972)，許多有關幼蟲發光功能的假設曾被提出，如用以照明、區隔 (spacing)、警示 (aposematal display)、假眼(eye-spot/pseudo-head)等 (Sivinski, 1981；Buschman, 1988；Underwood *et al.*, 1997)。但僅 Underwood *et al.* (1997) 以實驗驗證警示說，其結果支持幼蟲的發光的確對脊椎動物具有警示作用。

在發光酵素結構方面，Steghen *et al.* (1998) 發現 *Photinus pyralis* 有兩個結合核苷酸接合區 (nucleotide binding site)，與 ATP 接合處放出的主要為波長 575nm 的光，與 dATP 接合者則放出 610nm 的光；Cho *et al.* (1999) 發現平家螢 (*Luciola lateralis*) 具有 2 個發光酵素基因對偶子 (allele) Luc1 與 Luc2，兩者鹼基序列大致相同，但 Luc2 有部分缺失 (deletion)，與 Luc1 有 7 個鹼基的差異導致 2 個胺基酸的不同。

(三)臺灣螢火蟲生物資源研究

臺灣螢火蟲資源之生物學研究起於日治時代由歐陸及日籍昆蟲學家發表或紀錄臺灣多數的螢火蟲種類，1990年代後，臺灣本土昆蟲學家投入螢火蟲生物學研究工作，使得近年來台灣螢火蟲生物學研究比往昔為多，包括螢火蟲資源調查(Ho, 1997, 1998, 2001; Ho *et al.*, 1998; Jeng *et al.*, 1999a; Chang *et al.*, 2000; Ho and Su, 2000; Chen, 2003)、螢火蟲之分類 (Lai *et al.*, 1998; Jeng *et al.*, 1998a, 1998b, 1999b, 2000, 2001, 2002, 2003a, 2003b, 2006; Jeng and Yang, 2003)、人工飼養技術 (Chang, 1994; Chen and Chen, 1997; Ho *et al.*, 2006)、螢火蟲發光行為(Ohba and Yang, 2003; Wu *et al.*, 2010)、交尾行為(Jeng *et al.*, 2005)、演化(Adam *et al.*, 2011)、生活史相關研究(Chen *et al.*, 1998; Ho *et al.*, 2002a, 2002b, 2003; Ho and Huang, 2003)及螢火蟲資源經營管理 (Yeh, 1999)等；近年來螢火蟲研究人員除積極進行墾丁地區之螢火蟲相，並發現新種螢火蟲，對於黑翅螢(*Luciola cerata*)雄蟲的二型性及性擇關係亦有初步認識，且除自然科學研究外，與螢火蟲相關之社會科學(Ho *et al.*, 2009)研究亦有所成果。

在螢火蟲生物資源調查方面，有關臺灣各國家公園的螢火蟲相已有報告發表 (Yang, 1996)，Jeng *et al.* (1999a)對國家公園的螢火蟲資源也有深入分析研究；至於非屬國家公園之自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國有林自然保護區、沿海保護區、水源保護區或森林遊樂區的螢火蟲資源則多為定性調查資料；而舉辦賞螢活動之主辦單位，由於欠缺定量調查資料而無法評估賞螢活動對螢火蟲族群數量之影響。

由於對森林中螢火蟲相缺乏全年性調查報告，據 Yang (1998) 之報告大多數森林遊樂區及休閒農場內的工作人員，對於遊樂區範圍內的螢火蟲資源，多是利用自己的經驗加以判斷，或是委由民間生態社團進行調查，但由於某些螢火蟲之分類特徵不明顯，如紋胸黑翅螢(*Luciola*

filiformis Olivier)及擬紋螢(*Luciola cutithorax* Pic)，且端黑螢形之螢火蟲之形態分類及分類位階仍不清楚，故容易出現種類鑑定錯誤，也無法精確掌握不同種螢火蟲出現時間，因此在賞螢活動時難免會發生資訊錯誤之現象。另一方面，如對所要保護之物種缺少種類分佈範圍、發生期長短、發生數量等資料，也極難做出正確的保育決策。

池南國家森林遊樂區擁有豐富螢火蟲資源，亦是臺灣東部地區重要賞螢地點之一，近鯉魚潭此一重要賞螢季活動舉辦地點，卻無詳細的螢火蟲資源調查紀錄，故池南國家森林遊樂區螢火蟲資源名錄建立之急迫程度較高；然大多數螢火蟲生活史較長，生物發光現象微弱而較難發現，故須至少一年以上之調查時間，方能建立完整資料，其調查結果可提供花蓮縣府與林務局，共同舉辦鯉魚潭賞螢季時之基本生物學資料。

二、材料與方法

(一)溫濕度及遮蔽度測量

以 Lutron 公司生產之數位溫濕度計 HD-3008，於 2011 年 11 月~2012 年 4 月測量螢火蟲棲息地之溫濕度，在進行池南區及野餐觀景步道之穿越線調查時，如發現有螢火蟲幼蟲或成蟲，則為將探測棒放置在發現螢火蟲幼蟲之土表或成蟲處，測量土表該處或成蟲處之氣溫(°C)及相對濕度(%)，各點所測得之氣溫、相對濕度測量值計算其平均值及標準差，遮蔽度測量於發現幼蟲或成蟲處，以圓形密度計(spherical densitometer, model C)測量該處之遮蔽度，同樣計算平均值及標準差。

(二)螢火蟲資源、蝸牛及蛇類調查

於 2011 年 4 月及 5 月之前期調查得知，荖溪、池南區及鯉魚山步道區之螢火蟲活動時間皆集中於夜間七點至九點，適合進行調查之時間僅兩小時，考量調查方式之效率及調查結果完整，故以陷阱調查法為主，穿越線調查為輔，進行區內螢火蟲資源調查，於進行穿越調查法時，以採集地棲息蝸牛為主，如遇樹棲型蝸牛，雖非螢火蟲幼蟲之食餌，但仍將其採集，如遇蛇類活動，則以攝影方式拍攝蛇類照片，將所取得之蝸牛個體及蛇類照片，送請台北教育大學自然教育科學系之吳書平老師進行蝸牛種類鑑定，而蛇類照片則送請臺灣大學生態及演化所李承恩先生進行種類鑑定，而螢火蟲資源調查法則如下所述：

1. 陷阱調查法—飛行攔截板、黃色黏蟲板

利用組合式衣架及透明塑膠布，於衣架下方放置水盤，水盤內放置丙二醇溶液，用以蒐集陷阱放置點附近之昆蟲，此方式可同時採集日間及夜間活動之螢火蟲，於池南區內之土地公廟旁設置 1 座飛行攔截板陷阱，荖溪之穿越線調查區設置 1 座飛行攔截板陷阱，於鯉魚山步道區之野餐步道、健身步道及賞鳥遠眺步道各設置 1 座飛行攔截板，合計 4 座，2012 年 1 月後，由於攔截版因氣候因素毀損，且於調查期間必無採集到

任何日行性螢火蟲，故於 2012 年 1 月後採用黃色黏蟲板於原處採集昆蟲，黃色黏蟲板乃利用長 48 公分、寬 34 公分之塑膠盤，內製 4 張 21.5 公分長、15.5 公分寬之黃色黏蟲紙，將黏蟲紙採集之昆蟲以有機溶液脫膠之後，保存於 95% 之酒精溶液中；而飛行攔截版及黃色黏蟲板之設置如附錄。

2. 穿越線調查法—池南區及荖溪

由於池南區及荖溪相鄰，故於調查第一日之夜間，設置兩組人力，同時進行池南區及荖溪之夜間螢火蟲調查。

池南區設一條穿越線，路徑為售票亭前之車道(蝴蝶園區)—人行道路—土地公廟—森林浴步道—蹦蹦車鐵道—環溪步道，採集路徑兩旁之螢火蟲幼蟲及成蟲，據 2011 年五月之前期調查，完成此一穿越線調查之時間為 1.5 小時。

荖溪設一條穿越線，路徑為過荖溪便橋後之產業道路，同樣以 1.5 小時的採集時間，調查夜間活動之螢火蟲種類。

3. 穿越線調查法—鯉魚山步道區

於調查第二夜進行鯉魚山步道區之螢火蟲穿越線調查，於鯉魚山步道區設置兩條穿越線，第一條路徑為登山步道—野餐觀景步道—環潭公路；第二條穿越線路徑則由產業道路上山抵達電視轉播站後，由賞鳥步道終點—遠眺步道，再循原路折回，此兩條穿越線之調查時間如同池南/荖溪區，亦為 1.5 小時。

池南區、荖溪及鯉魚山步道區的調查路線圖請參照附錄九。

(三)黑翅螢標識再捕法

於 2012 年 3 月 28~31 日及 2102 年 4 月 19~21 日，於野餐步道，利用 Bailey triple catch method 估算黑翅螢成蟲數量，方式為調查第 1 夜 18 時 40 分至 19 時 30 分，將採集到之黑翅螢成蟲利用油漆筆在翅鞘塗上綠色點後釋回，第 2 夜 18 時 40 分至 19 時 30 分於原處捕抓黑翅螢，並點算有第 1 夜標記之黑翅螢

成蟲數量後，將無標記至黑翅螢翅鞘用油漆筆點上銀點後釋回，作為第 2 夜標記之記號，第 3 夜 18 時 40 分至 19 時 30 分同樣於原處採集黑翅螢，並點算第 1 夜及第 2 夜標記之黑翅螢數量，之後利用公式估算調查第 2 頁之黑翅螢數量，公式如下：

基本公式：

$$N2=a2n2r31/r21r32$$

$$\text{Var}N2=N22 \left(\frac{1}{r21}+\frac{1}{r32}+\frac{1}{r31}-\frac{1}{n2} \right)$$

$N2$ =第 2 天的族群總量估值；

$a2$ =第 2 天所標示的個體數；

$n2$ =第 2 天捕捉到的個體數；

$r21$ =第 2 天所捕捉到的第一天標示個體數；

$r31$ =第 3 天所捕捉到的第一天標示個體數；

$r32$ =第 3 天所捕捉到的第二天標示個體數。

(四)各調查樣區螢火蟲相分析

池南區、荖溪及野餐觀景步道區螢火蟲穿越線調查之調查結果，利用計算軟體 Excel 2007 建置各調查樣區之螢火蟲相對豐度原始資料，再根據原始資料，做出各調查樣區之螢火蟲幼成蟲出現月份表；根據調查全期，於各調查樣區所發現之各種螢火蟲之幼蟲及成蟲數量總和，做出各樣區螢火蟲相組成百分比圖；根據各調查樣區各月份所發現之幼蟲、成蟲數量作成各區逐月數量曲線圖，用以瞭解各調查樣區之螢火蟲種類、幼蟲成蟲容易發現之月份、全期各調查樣區之主要優勢螢種及各月份之主要螢種。

利用 Shanon-Wiener index (夏農-威佛指數) 及 Shanon-Wiener evenness index (夏農-威佛均勻度指數) 分析各調查樣區之螢火蟲相，採用夏農指數的原因為夏農指數較不忽略採集量較少的個體，而本調查有些螢火蟲種類僅發現 1 頭，故採用此二指數分析各調查樣區螢火蟲相。

由於熠螢屬、脈翅螢屬、窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲相對豐度資料較於櫛角螢屬、扁螢屬及弩螢屬之相對豐度資料為多，故針對熠螢屬、脈翅螢屬、窗螢屬及短角窗螢屬，以種級為單位，做出熠螢屬、脈翅螢屬、窗螢屬及短角窗螢屬在調查樣區內之數量圖，用以判別熠螢屬、脈翅螢屬、窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲在區內之分布情況

(五)除草對於螢火蟲之影響試驗

於 2011 年 7 月~9 月，在池南區土地公廟周邊之森林浴步道，進行除草對於窗螢屬及短角窗螢屬幼蟲數量影響之研究，由於除草工作乃花蓮林管處委託除草工人進行除草，故除草方式為將工作範圍內之草本植物之地面部，利用手持式除草機全部切除，在花蓮林管處之協助下，保留靠近池南教育中心之草地作為未除草之對照組，於對照組範圍內劃設 5 個 500 cm X 30 cm 之樣區；除草區及除草區上方之未除草區域為試驗組，分別劃設 5 個 500 cm X 30 cm 之樣區，合計共三處理 15 個樣區，由於 7 月之後之短角窗螢及窗螢幼蟲體型及發光器較其他種類幼蟲為大，且易發現，故利用目視法點算各樣區內之短角窗螢及窗螢幼蟲數量。

(六)遊客數量對於螢火蟲族群之影響

2012/4/21 18:40~21:02，於野餐觀景步道入口處及環潭公路賞螢入口處(土地公廟旁)，利用 2 台數位單眼相機(皆為 Canon 7D 搭配 18-135 mm 之變焦鏡頭，均接上三腳架)，以快門時間 30 秒、光圈 3.5 之條件拍攝螢火蟲生物發光景象，每 3 分鐘於兩處同時拍攝螢火蟲生物發光景象，所得之螢火蟲光點照片以軟體 Imagepro Plus version 5.1，估算每張照片中之光點數量，用以代表此二處之螢火蟲數量，環潭公路遊客數量則以點算快門時間 30 秒內，通過入口處柵欄之遊客數作為代表，由於野餐步道僅有協同攝影者 1 人，故遊客數為 1，之後利用螢火蟲光點數量及遊客數量之相關系數評估遊客數量對於螢火蟲族群之影響。

三、調查結果

(一)各調查分區之螢火蟲生物資源

1. 全區

於調查期間內，共發現 7 屬 18 種螢火蟲，分別為分別為黑翅螢(*Luciola cerata* Olivier)、紅胸黑翅螢(*Luciola kagiana* Matsumura)、小紅胸黑翅螢(*Luciola satoi* Jeng and Yang)、大端黑螢(*Luciola anceyi* Olivier)、紋螢(*Luciola filiformis* Olivier)、梭德氏脈翅螢(*Curtos sauteri* (Olivier))、姬脈翅螢(*Curtos impolitus* (Olivier))、黃肩脈翅螢(*Curtos mundulus* (Olivier))、黃脈翅螢(*Curtos costipennis* (Gorham))、橙螢(*Diaphanes citrinus* Olivier)、蓬萊短角窗螢(*Diaphanes formosus* Olivier)、紅胸窗螢(*Pyrocoelia formosana* (Olivier))、長胸窗螢(*Pyrocoelia* sp.)、赤腹窗螢(*Pyrocoelia sanguiniventer* (Olivier, 1911))、山窗螢(*Pyrocoelia praetexta* (Olivier))、赤腹櫛角螢(*Vesta impressicollis* Fairmaire)、雲南扁螢(*Lamprigera yunnana* (Fairmaire))及奧氏弩螢(*Drilaster olivieri* (Pic))，而各螢種之成蟲期及幼蟲期如表一所示。

表一、2011年4月~2012年4月池南國家森林遊樂區暨荖溪之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份

學名	中文名	調查月份												
		Apr-11	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dec-11	Jan-12	Feb-12	Mar-12	Apr-12
<i>Luciola cerata</i>	黑翅螢	A	A							L			A	A
<i>Luciola kagiana</i>	紅胸黑翅螢	A								L			A	A
<i>Luciola satoi</i>	小紅胸黑翅螢													
<i>Luciola anceyi</i>	大端黑螢	A								L			A	A
<i>Luciola filiiformis</i>	紋螢	A	A										A	A
<i>Curtos sauteri</i>	梭德氏脈翅螢	A												A
<i>Curtos impolitus</i>	姬脈翅螢		A	A	A	A	A	A	A					
<i>Curtos mundulus</i>	黃肩脈翅螢		A	A	A									
<i>Curtos costipennis</i>	黃脈翅螢		A	A	A	A	A	A	A					
<i>Diaphanes formosus</i>	蓬萊短角窗螢		L	L/A	A					L	L	L		
<i>Diaphanes citrinus</i>	橙螢			L	L	L/A	L/A							
<i>Pyrocoelia formosana</i>	紅胸窗螢			L	L	L	L	L	L	L	L	L		
<i>Pyrocoelia sanguiniventer</i>	赤腹窗螢													
<i>Pyrocoelia</i> sp.	長胸窗螢					L	L	L						
<i>Pyrocoelia praetexta</i>	山窗螢				L	L	L	A	A					
<i>Lamprigera yunnana</i>	雲南扁螢				L	L	L	L						
<i>Vesta impressicollis</i>	赤腹櫛角螢			L										
<i>Drilaster olivieri</i>	奧氏弩螢													

2. 池南區

調查期間於池南區共發現 6 屬 15 種螢火蟲，分別為黑翅螢、紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢、大端黑螢、姬脈翅螢、黃肩脈翅螢、黃脈翅螢、梭德氏脈翅螢、蓬萊短角窗螢、橙螢、山窗螢、長胸窗螢、紅胸窗螢、雲南扁螢、奧氏弩螢，此 15 種螢火蟲之成蟲及幼蟲分布月份如表二

表二、2011 年 5 月~2012 年 4 月池南區之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份

種類	調查月份											
	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dec-11	Jan-12	Feb-12	Mar-12	Apr-12
黑翅螢	A							L			A	A
紅胸黑翅螢								L			A	A
小紅胸黑翅螢											A	A
大端黑螢								L			A	A
姬脈翅螢	A	A			A	A	A					
黃肩脈翅螢	A											
黃脈翅螢	A				A	A	A					
梭德氏脈翅螢												A
蓬萊短角窗螢	L	L/A	A					L	L	L		
橙螢		L	L	L/A	L/A							
山窗螢			L	L	L	A	A					
長胸窗螢				L	L							
紅胸窗螢						L		L	L	L		
雲南扁螢					L							
奧氏弩螢											A	

利用 Shanon-Wiener index 及 Shanon-Wiener evenness index 分析池南區螢火蟲相，其數據分為 1.88 及 0.69，顯示池南區內有優勢種螢火蟲，進一步分析池南區知螢火蟲相組成得知，池南區優勢種螢火蟲分別為黑翅螢(46%)、紅胸黑翅螢(12%)及小紅胸黑翅螢(9%)(圖一)

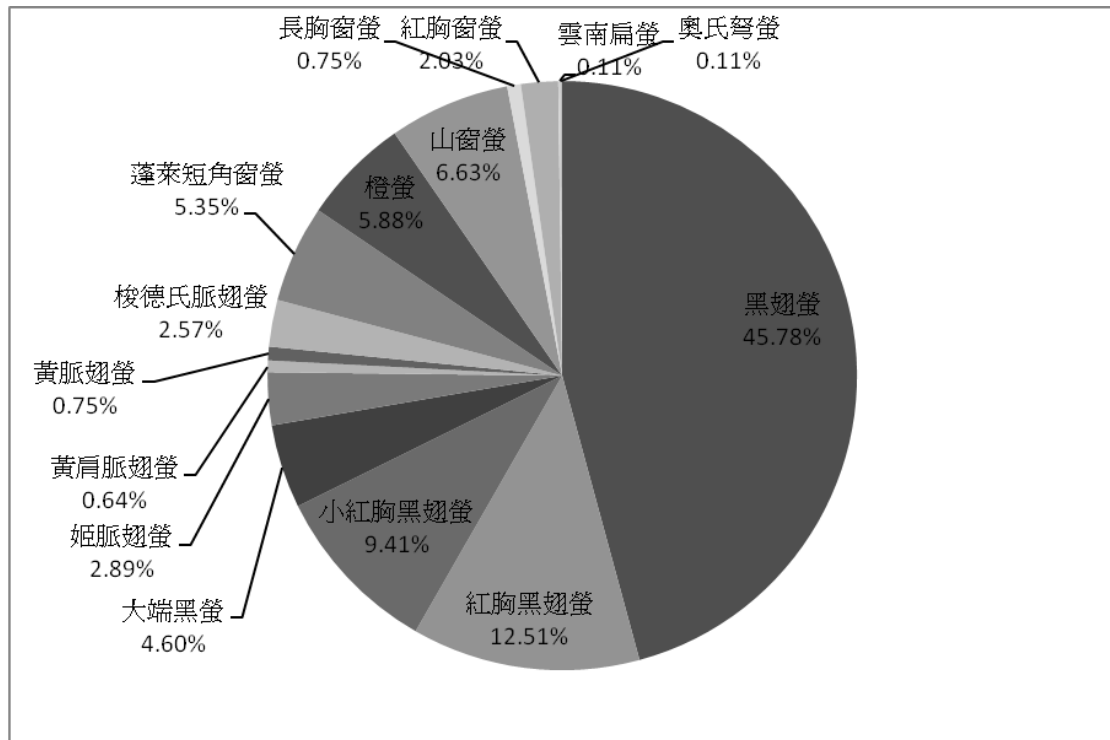


圖 一、池南區之螢火蟲相組成

池南區內各螢火蟲數量則如表三，5月黑翅螢成蟲數量最多，6月則為蓬萊短角窗螢成蟲，7月為山窗螢幼蟲、8月~9月為山窗螢及橙螢幼/成蟲、10~11月為山窗螢成蟲、12月為黑翅螢幼蟲、1~2月為蓬萊短角窗螢幼蟲、3~4月為黑翅螢成蟲。

表 三、2011 年 5 月~2012 年 4 月之池南區各月份螢火蟲幼成蟲數量

	2011/5/25	2011/6/26	2011/7/13	2011/8/29	2011/9/24	2011/10/29	2011/11/4	2011/12/3	2012/1/12	2012/2/14	2012/3/30	2012/4/19
黑翅螢成蟲	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	264
黑翅螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0
紅胸黑翅螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
紅胸黑翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	87
小紅胸黑翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	84
大端黑螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	5	0
大端黑螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
姬脈翅螢成蟲	8	5	0	0	6	3	5	0	0	0	0	0
黃肩脈翅螢成蟲	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
黃脈翅螢成蟲	4	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
梭德氏脈翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
蓬萊短角窗螢成蟲	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蓬萊短角窗螢幼蟲	6	3	0	0	0	0	0	6	12	15	0	0
橙螢成蟲	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
橙螢幼蟲	0	3	0	21	25	0	0	0	0	0	0	0
山窗螢成蟲	0	0	0	0	0	25	3	0	0	0	0	0
山窗螢幼蟲	0	0	2	20	12	0	0	0	0	0	0	0
長胸窗螢幼蟲	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0
紅胸窗螢幼蟲	0	0	0	0	0	6	2	0	5	6	0	0
雲南扁螢幼蟲	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
奧氏弩螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

3. 賞鳥遠眺步道

賞鳥遠眺步道共發現 5 屬 11 種螢火蟲，分別為紋螢、黑翅螢、黃脈翅螢、姬脈翅螢、黃肩脈翅螢、梭德氏脈翅螢、蓬萊短角窗螢、橙螢、山窗螢、紅胸窗螢、雲南扁螢，此 11 種螢火蟲之成蟲及幼蟲期如表四。

表 四、2011 年 5 月~2012 年 4 月賞鳥遠眺之螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份

種類	調查月份											
	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dec-11	Jan-12	Feb-12	Mar-12	Apr-12
紋螢	A										A	A
黑翅螢								L			A	A
黃脈翅螢		A										
姬脈翅螢		A				A	A					
黃肩脈翅螢			A									
梭德氏脈翅螢												A
橙螢		L	L	L	L/A							
蓬萊短角窗螢		A										
紅胸窗螢		L				L	L	L	L	L		
山窗螢				L	L	A	A					
雲南扁螢			L									

利用 Shanon-Wiener index 及 Shanon-Wiener evenness index 分析賞鳥遠眺步道之螢火蟲相，其數據分為 1.61 及 0.61，顯示賞鳥遠眺步道內亦有優勢種螢火蟲，進一步分析螢火蟲相組成得知，本區優勢種螢火蟲分別為黑翅螢(32%)、紋螢(23%)及山窗螢(12%)(圖二)

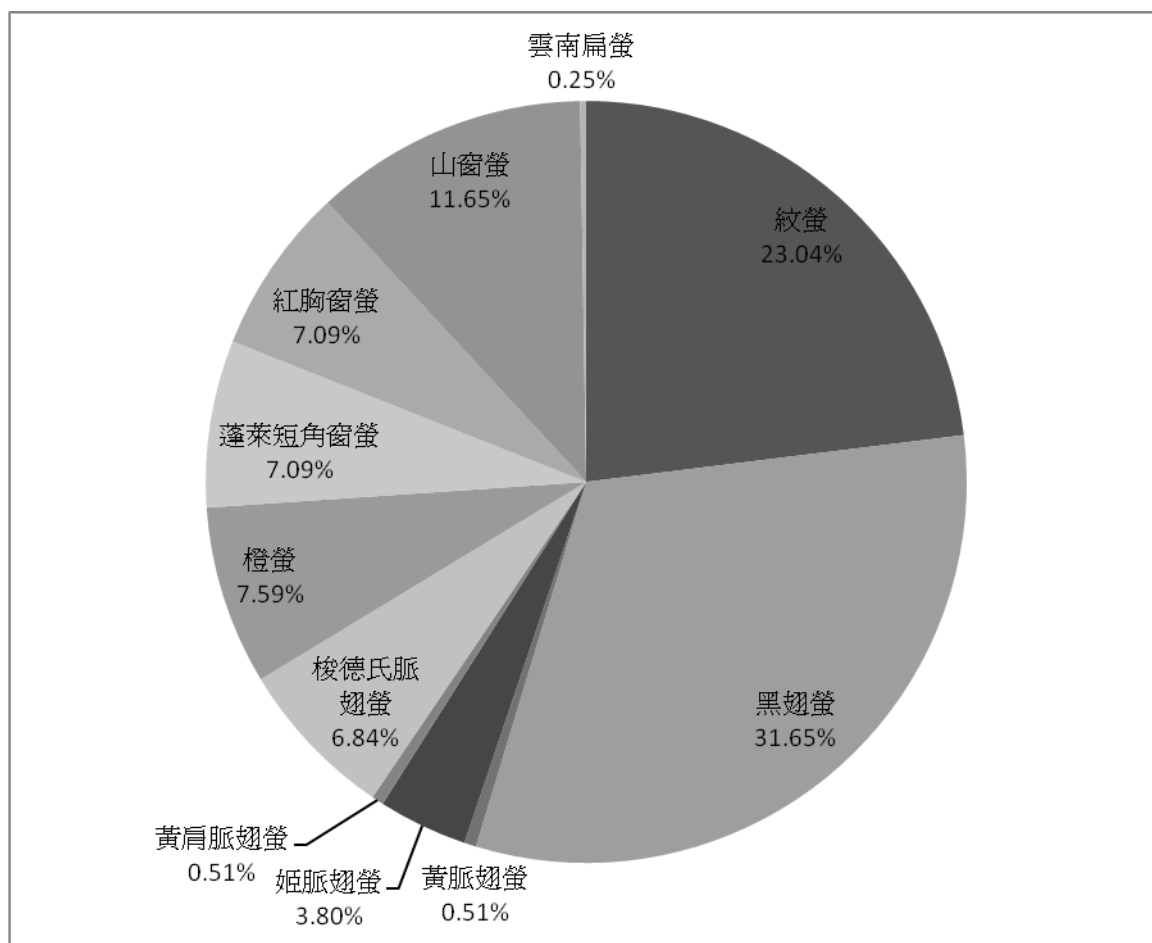


圖 二、賞鳥遠眺步道之螢火蟲相組成

賞鳥遠眺步道各螢火蟲數量則如表五，5 月紋螢成蟲數量最多，6 月則為姬脈翅螢成蟲，7 月為黃脈翅螢成蟲、8 月~9 月為山窗螢幼蟲及橙螢幼/成蟲、10~11 月為山窗螢成蟲、12 月為黑翅螢幼蟲、1~2 月為蓬萊短角窗螢幼蟲、3 月為黑翅螢成蟲、4 月為紋螢成蟲。

表 五、2011 年 5 月~2012 年 4 月之賞鳥遠眺步道各月份螢火蟲幼成蟲數量

	2011/5/25	2011/6/26	2011/7/13	2011/8/29	2011/9/24	2011/10/29	2011/11/4	2011/12/3	2012/1/12	2012/2/14	2012/3/30	2012/4/19
紋螢成蟲	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	73
黑翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	70
黑翅螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
黃脈翅螢成蟲	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
姬脈翅螢成蟲	0	8	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
黃肩脈翅螢成蟲	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
梭德氏脈翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
橙螢成蟲	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
橙螢幼蟲	0	1	0	12	15	0	0	0	0	0	0	0
蓬萊短角窗螢成蟲	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蓬萊短角窗螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	9	8	9	0	0
紅胸窗螢幼蟲	0	2	0	0	0	8	1	0	9	8	0	0
山窗螢成蟲	0	0	0	0	0	11	16	0	0	0	0	0
山窗螢幼蟲	0	0	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0
雲南扁螢幼蟲	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4. 野餐觀景步道

野餐觀景步道共發現 6 屬 14 種螢火蟲，分別為黑翅螢、紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢、姬脈翅螢、黃肩脈翅螢、黃脈翅螢、梭德氏脈翅螢、蓬萊短角窗螢、橙螢、山窗螢、紅胸窗螢、赤腹窗螢、雲南扁螢、赤腹櫛角螢，此 14 種螢火蟲之成蟲期及幼蟲期如表六所示。

表 六、2011 年 4 月~2012 年 4 月野餐觀景步道螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份

種類	調查月份											
	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dec-11	Jan-12	Feb-12	Mar-12	Apr-12
黑翅螢	A							L			A	A
紅胸黑翅螢											A	A
小紅胸黑翅螢												A
黃脈翅螢					A							
姬脈翅螢	A			A	A	A						
黃肩脈翅螢		A	A									
梭德氏脈翅螢												A
橙螢				L/A	A							
蓬萊短角窗螢												
紅胸窗螢		L						L	L	L		
山窗螢				L	L	A	A					
赤腹窗螢												A
雲南扁螢						L	L					
赤腹櫛角螢		L										

同樣計算野餐觀景步道螢火蟲相之 Shanon-Wiener index 及 Shanon-Wiener evenness index 分別為 1.61、0.61，結果顯示野餐觀景步道亦有優勢種螢火蟲，而其種類為黑翅螢、山窗螢及紅胸黑翅螢(圖三)

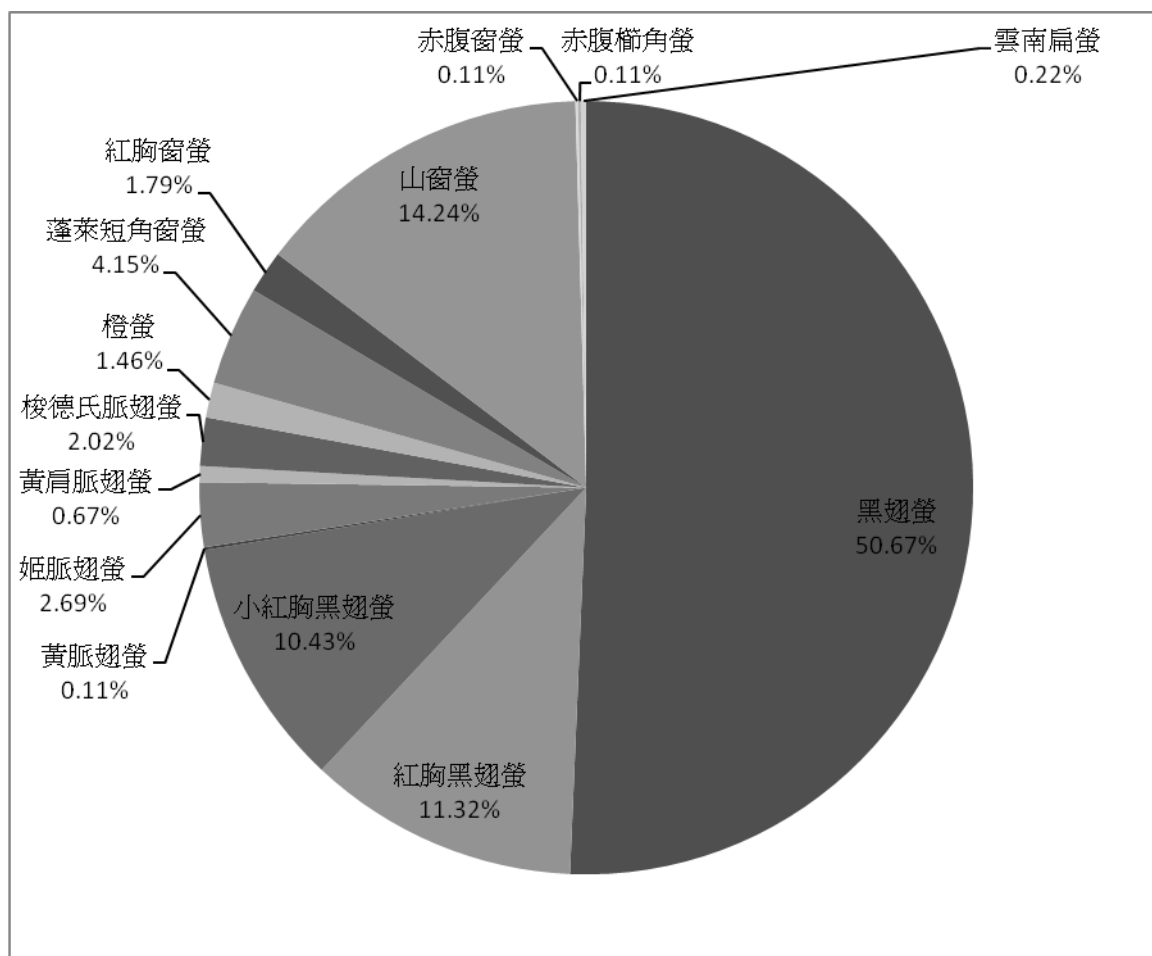


圖 三、2011 年 5 月~2012 年 4 月野餐觀景步道之螢火蟲相組成

野餐觀景步道之各種螢火蟲族群數量可見於表七，5 月以黑翅螢成蟲數量最多，6 月為黃肩脈翅螢及蓬萊短角窗螢、7 月為黃肩脈翅螢，8~9 月山窗螢幼蟲、10~11 月以山窗螢成蟲、12 月黑翅螢幼蟲、1~2 月蓬萊短角窗螢、3~4 月黑翅螢為優勢螢種。

表 七、2011 年 5 月~2012 年 4 月之野餐觀景步道各月份螢火蟲幼成蟲數量

	2011/5/25	2011/6/26	2011/7/13	2011/8/29	2011/9/24	2011/10/29	2011/11/4	2011/12/3	2012/1/12	2012/2/14	2012/3/30	2012/4/19
黑翅螢成蟲	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	366
黑翅螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0
紅胸黑翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100
小紅胸黑翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93
黃脈翅螢成蟲	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
姬脈翅螢成蟲	3	0	0	8	7	6	0	0	0	0	0	0
黃肩脈翅螢成蟲	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
梭德氏脈翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
橙螢成蟲	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0
橙螢幼蟲	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
蓬萊短角窗螢成蟲	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蓬萊短角窗螢幼蟲	0	1	0	0	0	0	0	12	12	7	0	0
紅胸窗螢幼蟲	0	1	0	0	0	0	0	3	6	6	0	0
山窗螢成蟲	0	0	0	0	0	39	56	0	0	0	0	0
山窗螢幼蟲	0	0	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0
赤腹窗螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
雲南扁螢幼蟲	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
赤腹櫛角螢幼蟲	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. 荖溪區

荖溪區共發現 4 屬 6 種螢火蟲，分別為黑翅螢、黃肩脈翅螢、梭德氏脈翅螢、蓬萊短角窗螢、橙螢、山窗螢，是四個調查樣區中種類數及採集個體數最少的樣區，而此 6 種螢火蟲之成蟲期及幼蟲期如表五所示。

表 八、2011 年 4 月~10 月荖溪區螢火蟲種類及成蟲(A)、幼蟲(L)出現月份

種類	調查月份											
	May-11	Jun-11	Jul-11	Aug-11	Sep-11	Oct-11	Nov-11	Dec-11	Jan-12	Feb-12	Mar-12	Apr-12
黑翅螢	A							L			A	A
黃肩脈翅螢		A										
梭德氏脈翅螢												A
蓬萊短角窗螢		A	A									
橙螢				A	A							
山窗螢						A	A					

同樣計算荖溪區螢火蟲相之 Shanon-Wiener index 及 Shanon-Wiener evenness index 分別為 0.43、0.24，結果顯示荖溪區亦有優勢種螢火蟲，而其種類為黑翅螢(圖四)。

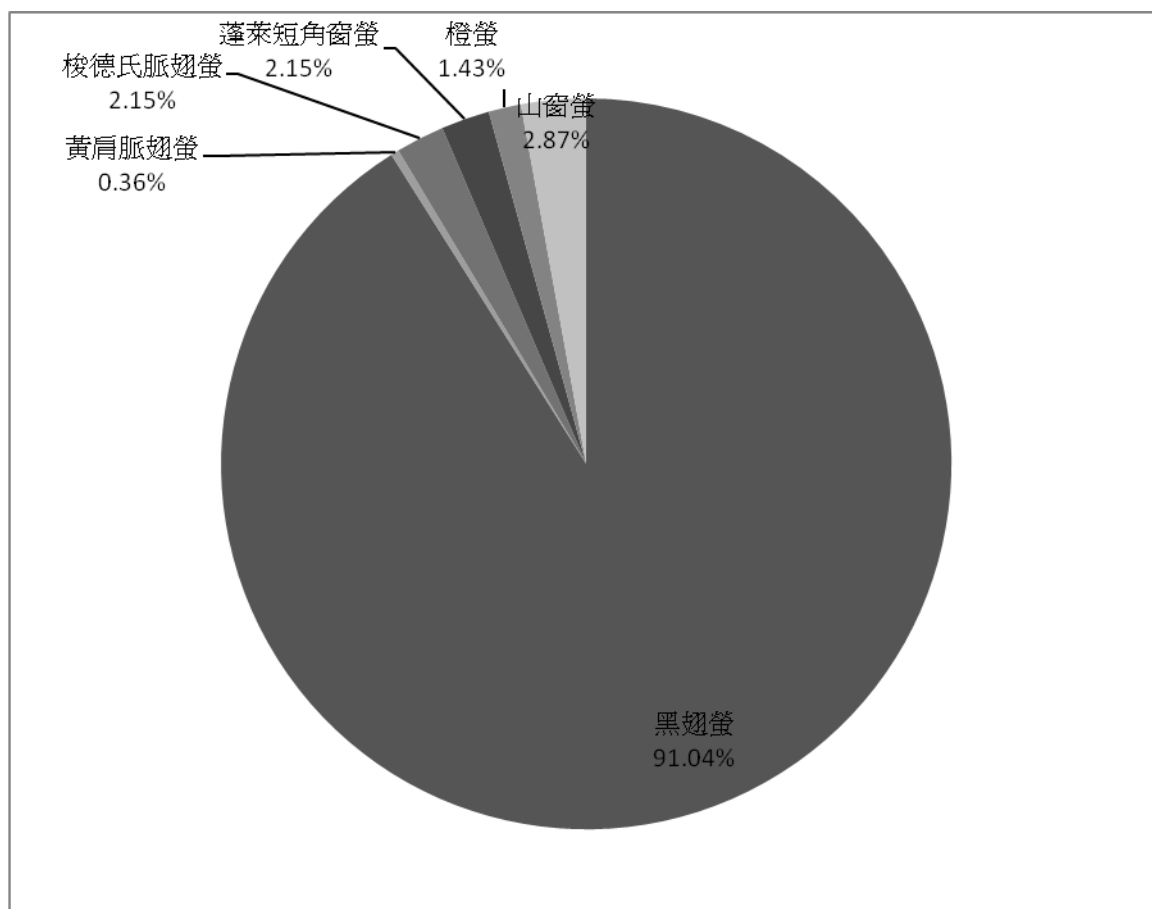


圖 四、荖溪區之螢火蟲相組成

荖溪區之各種螢火蟲族群數量可見於表九，5 月以黑翅螢成蟲數量最多，6 月為蓬萊短角窗螢、7 月以後雖有橙螢及山窗螢幼蟲或成蟲出現，但數量皆不多，直至 2012 年 3~4 月才有數量較多之黑翅螢成蟲出現。

表 九、2011 年 5 月~2012 年 4 月之荖溪區各月份螢火蟲幼成蟲數量

	2011/5/25	2011/6/26	2011/7/13	2011/8/29	2011/9/24	2011/10/29	2011/11/4	2011/12/3	2012/1/12	2012/2/14	2012/3/30	2012/4/19
黑翅螢成蟲	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	189
黑翅螢幼蟲	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0
黃肩脈翅螢成蟲	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
梭德氏脈翅螢成蟲	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
蓬萊短角窗螢成蟲	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
橙螢成蟲	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
山窗螢成蟲	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0

(二)2011 年 5 月~2012 年 4 月之池南國家森林遊樂區螢火蟲生物資源

各月份出現之螢種及 Shanon-Wiener index、Shanon-Wiener evenness index 如表十，各月份經由 Shanon-Wiener index、Shanon-Wiener evenness index 比較可知，除 2012 年 1~2 月外，其餘各月份有其優勢螢種存在，故進一步分析各月份之螢相組成，發現 5 月以池南區之黑翅螢為數量最多之區域及種類(圖五)，6 月份為池南區的蓬萊短角窗螢及賞鳥遠眺步道的黃肩脈翅螢(圖六)，7 月份為野餐觀景步道的黃肩脈翅螢及蓬萊短角窗螢(圖七)，8 月為池南區之橙螢及山窗螢(圖八)，9 月為池南區及賞鳥遠眺步道之橙螢(圖九)，10 月則為池南區及野餐觀景步道的山窗螢(圖十)，11 月為野餐觀景步道的山窗螢(圖十一)，十二月為野餐觀景步道的黑翅螢幼蟲(圖十二)，三月為池南區的黑翅螢成蟲(圖十三)，4 月為野餐觀景步道的黑翅螢成蟲(圖十四)，2012 年 1~2 月無優勢螢種，此二月份之螢種組成則如圖十五、圖十六。

表 十、2011 年 5 月~2012 年 4 月，各月份螢火蟲種類及 Shanon-Wiener index、Shanon-Wiener evenness index

調查月份	Shanon-Wiener index	Shanon-Wiener evenness index
2011 年 5 月	1.54	0.79
2011 年 6 月	1.19	0.86
2011 年 7 月	0.88	0.8
2011 年 8 月	1.14	0.64
2011 年 9 月	0.84	0.52
2011 年 10 月	0.84	0.52
2011 年 11 月	0.54	0.33
2011 年 12 月	1.06	0.66
2012 年 1 月	0.66	0.96
2012 年 2 月	0.66	0.96
2012 年 3 月	0.64	0.36
2012 年 4 月	1.16	0.6

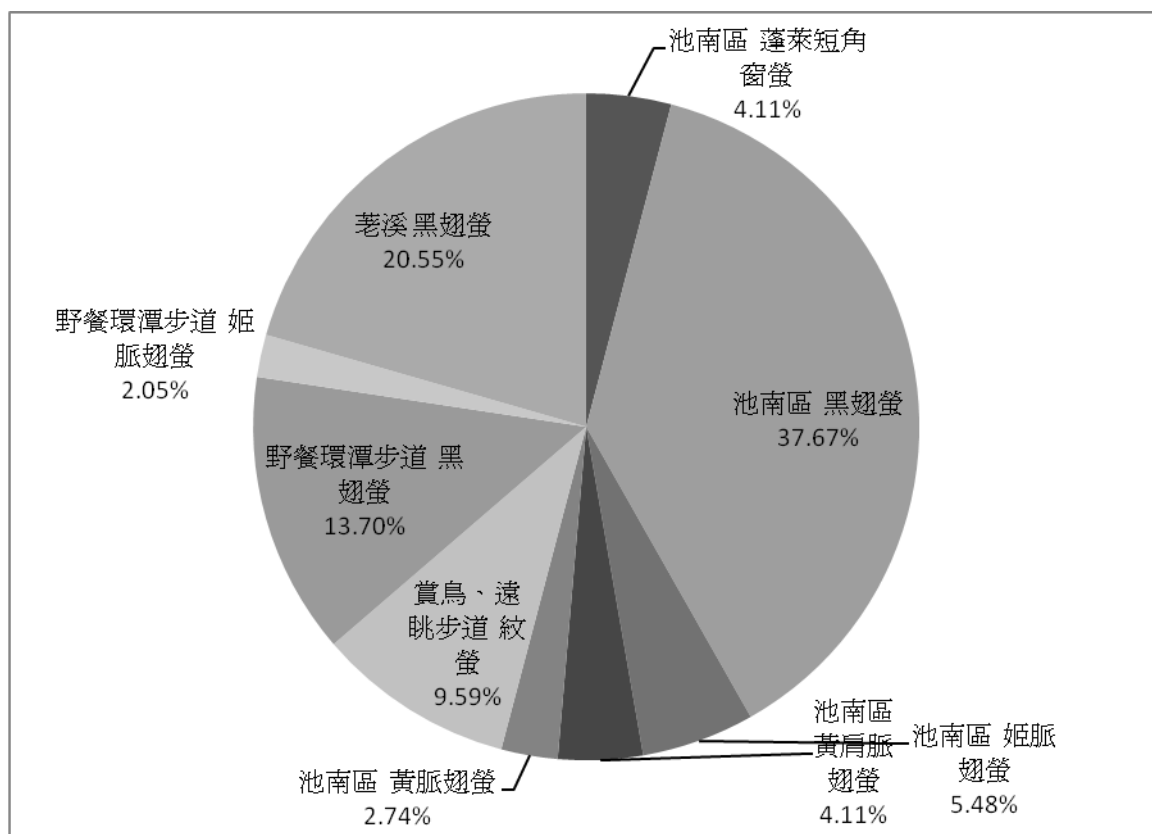


圖 五、 2011 年 5 月各區螢種數量比例。

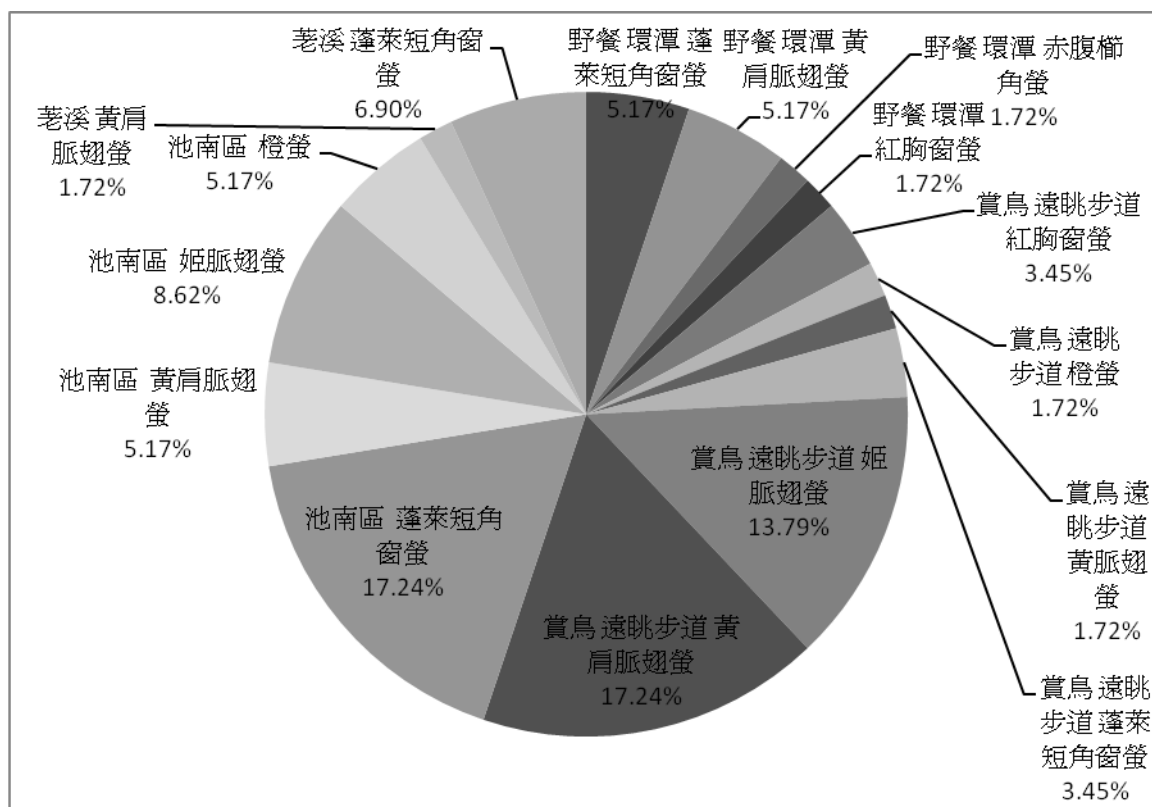


圖 六、 2011 年 6 月各區螢種數量比例

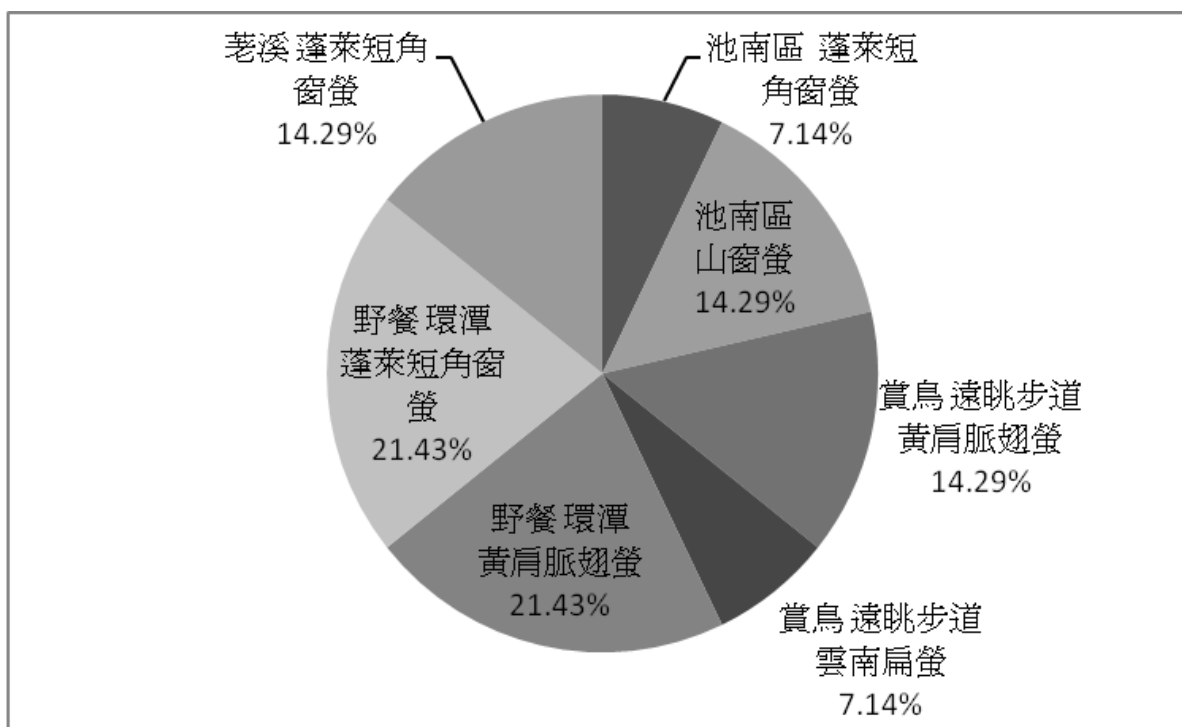


圖 七、2011 年 7 月各區螢種數量比例。

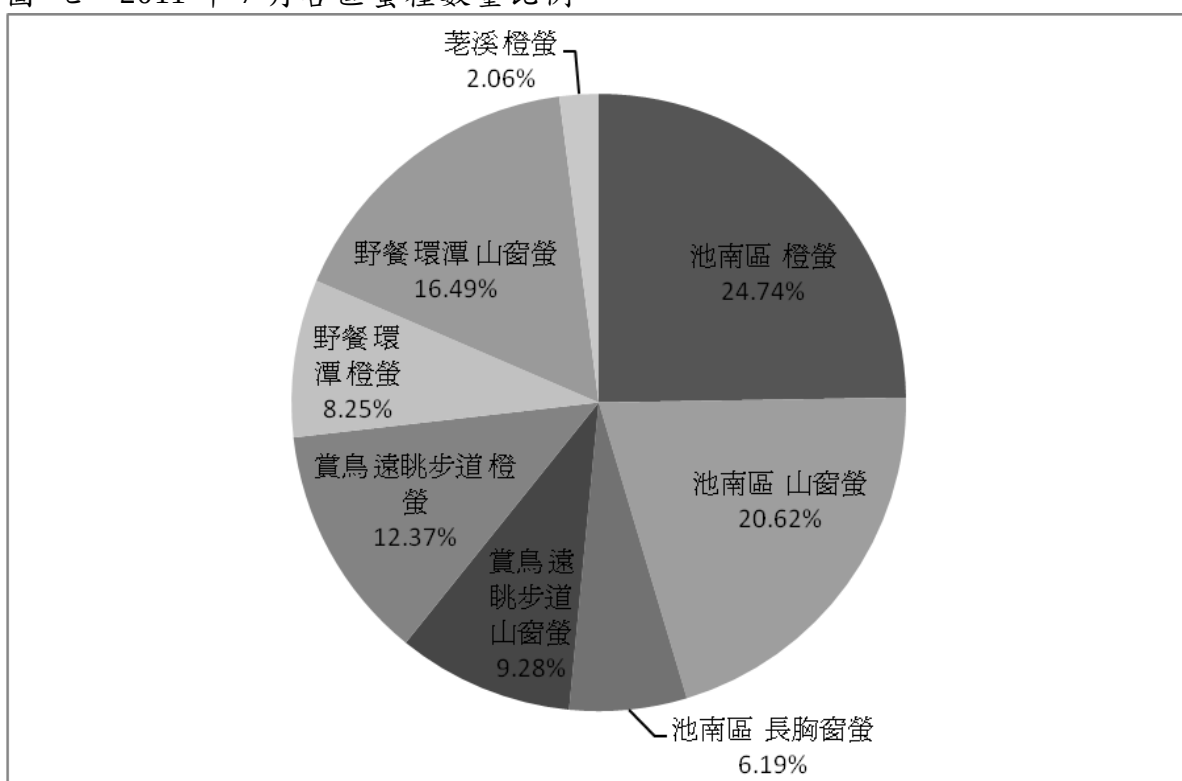


圖 八、2011 年 8 月各區螢種數量比例。

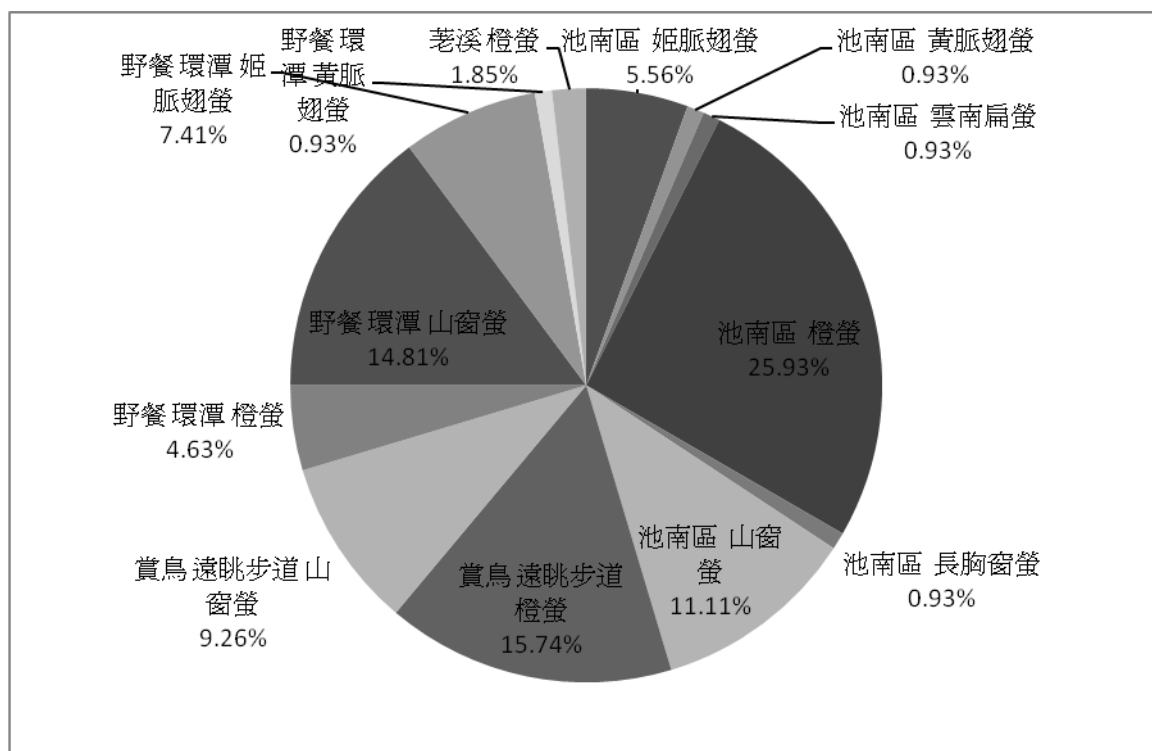


圖 九、2011 年 9 月各區螢種數量比例。

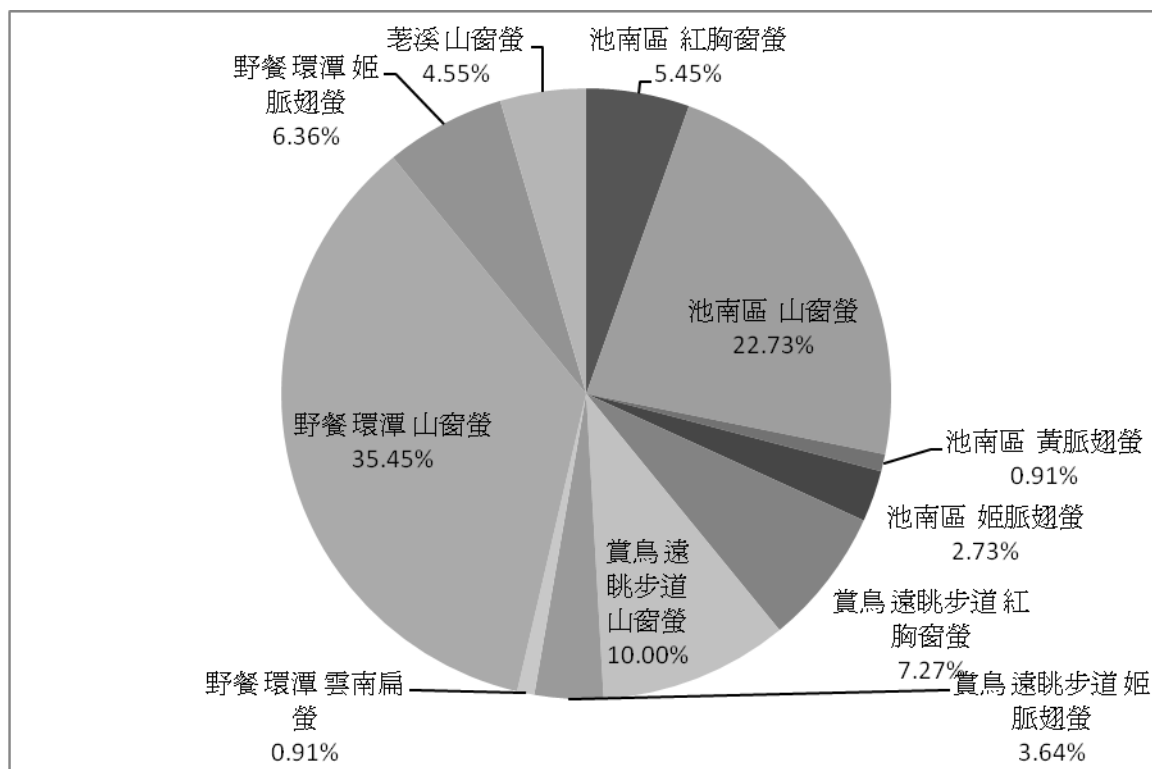


圖 十、2011 年 10 月各區螢種數量比例

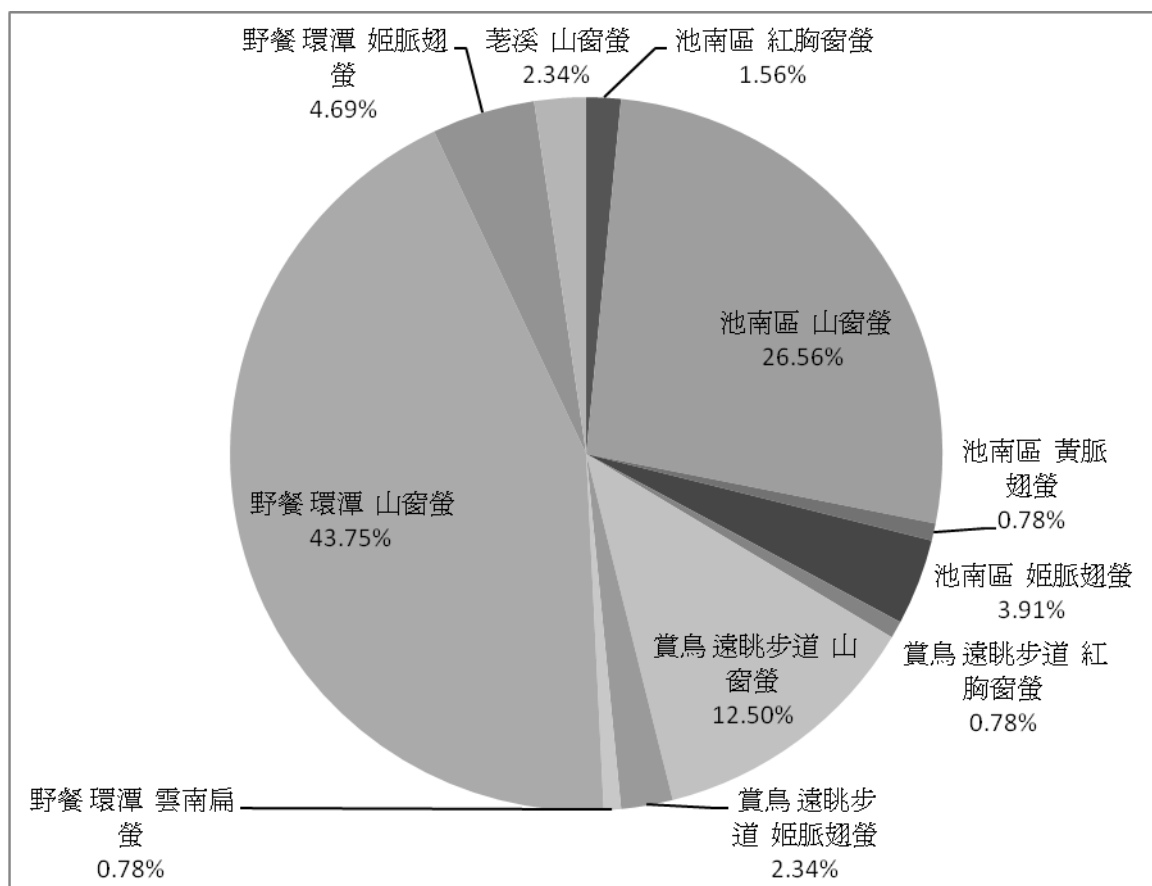


圖 十一、2011 年 11 月各區螢種數量比例

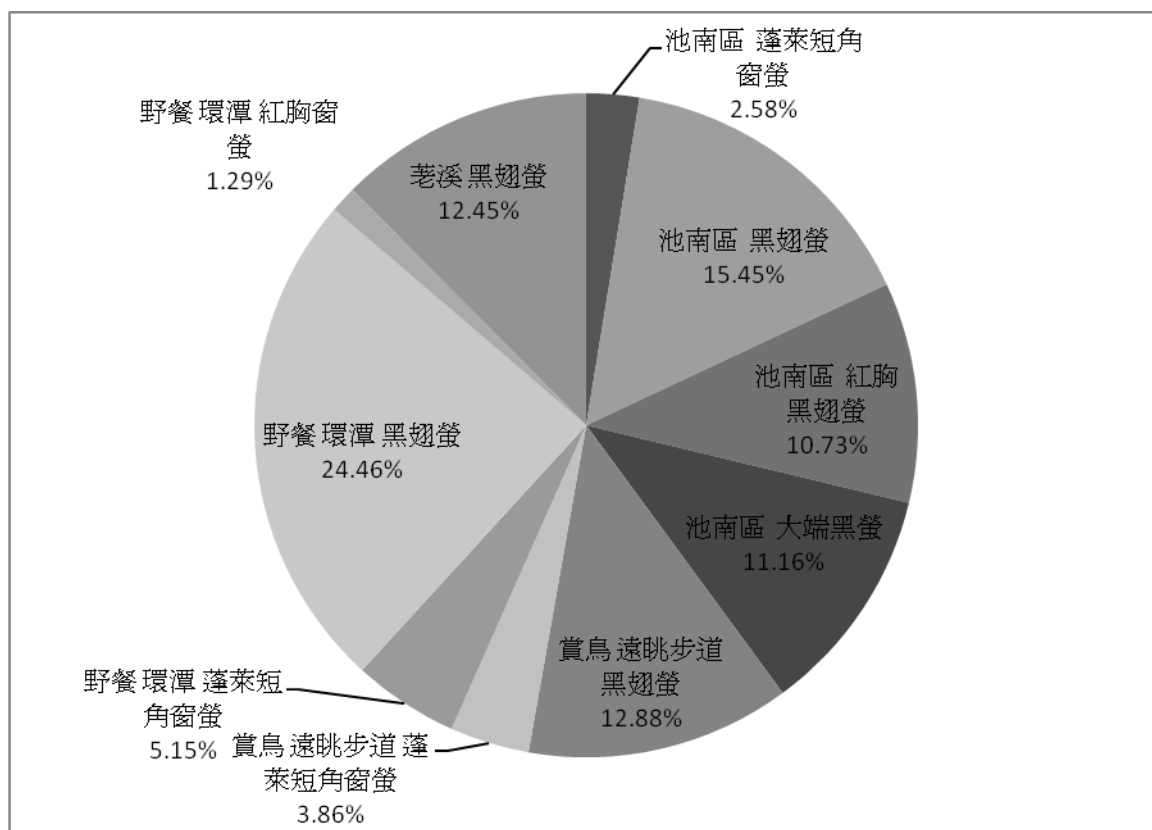


圖 十二、2011 年 12 月各區螢種數量比例

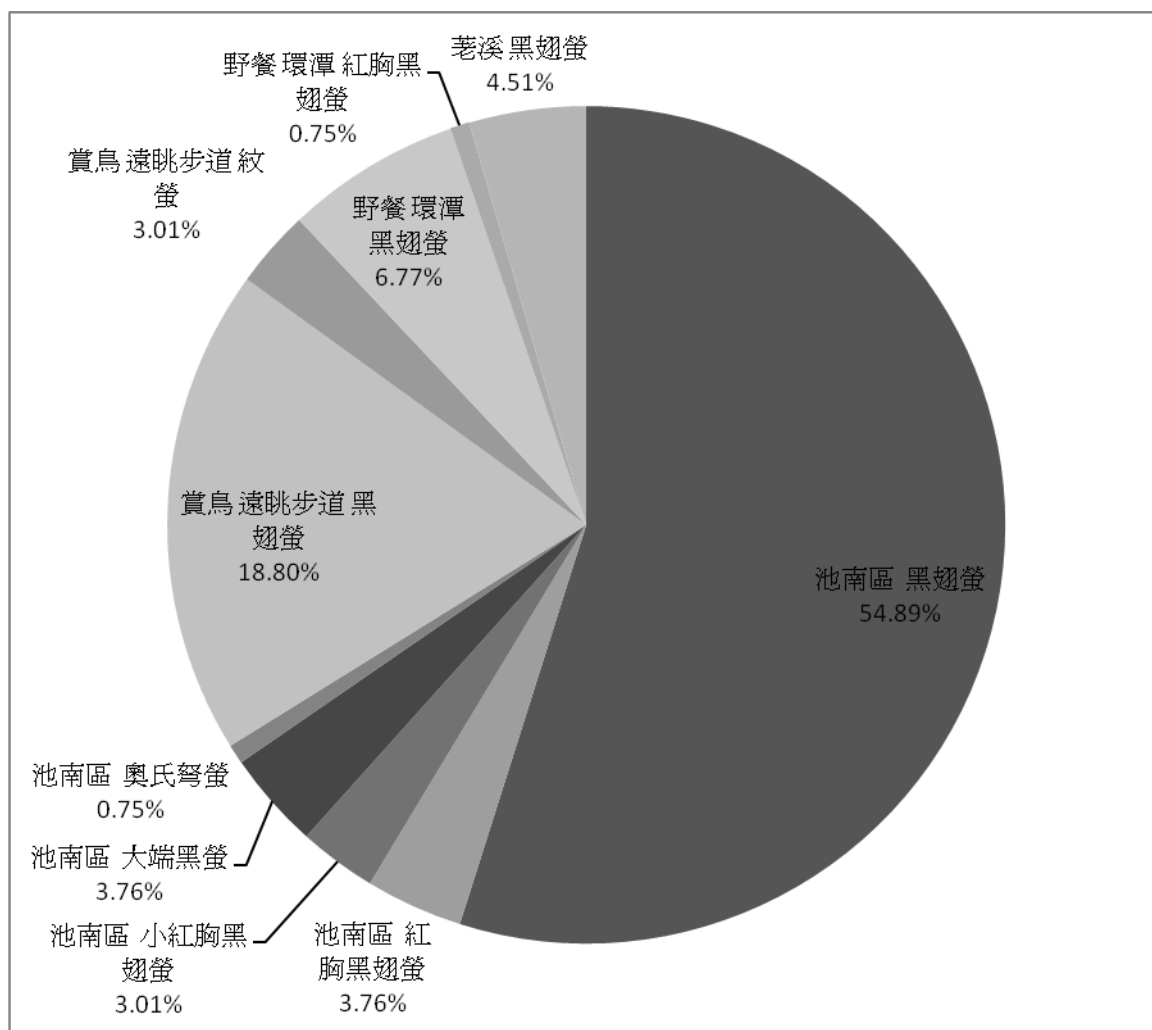


圖 十三、2012 年 3 月各區螢種數量比例

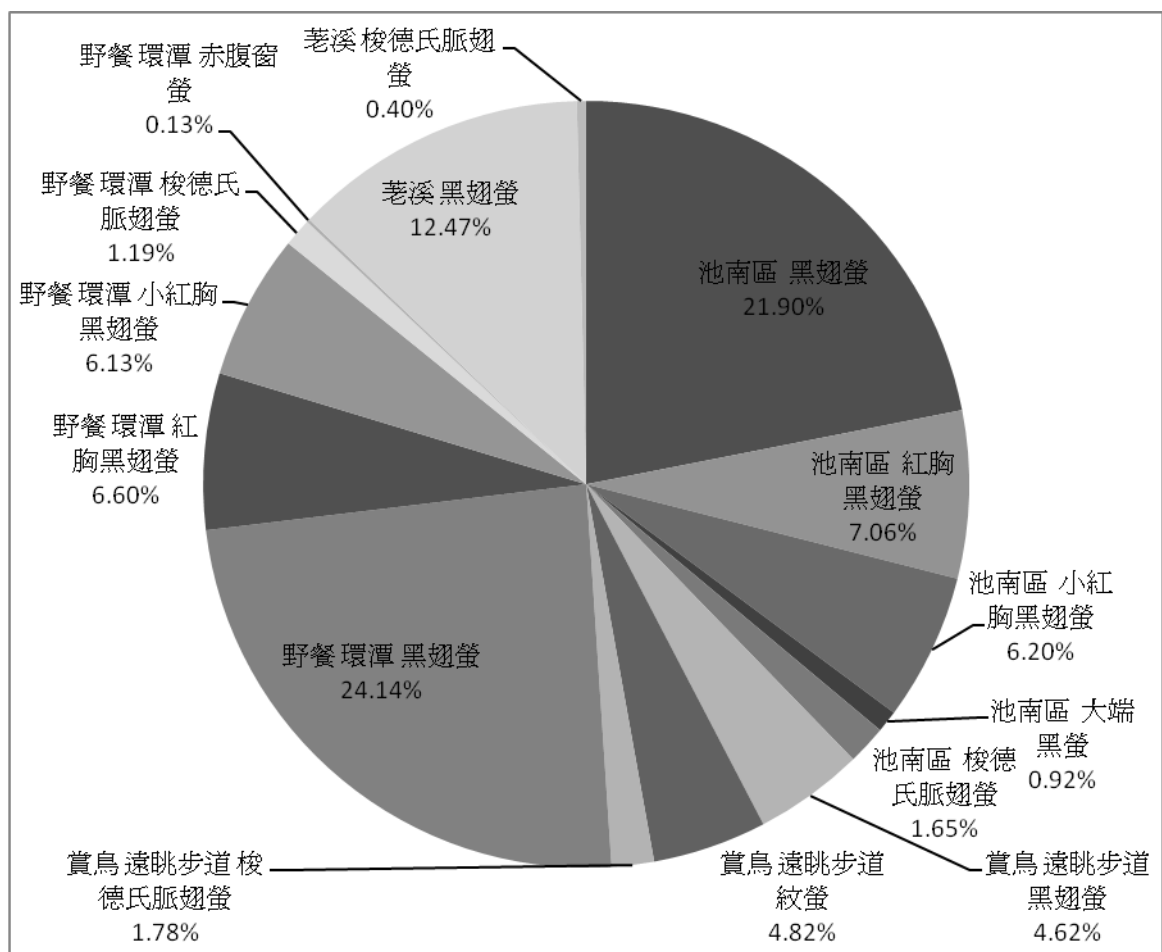


圖 十四、2012 年 4 月各區螢種數量比例

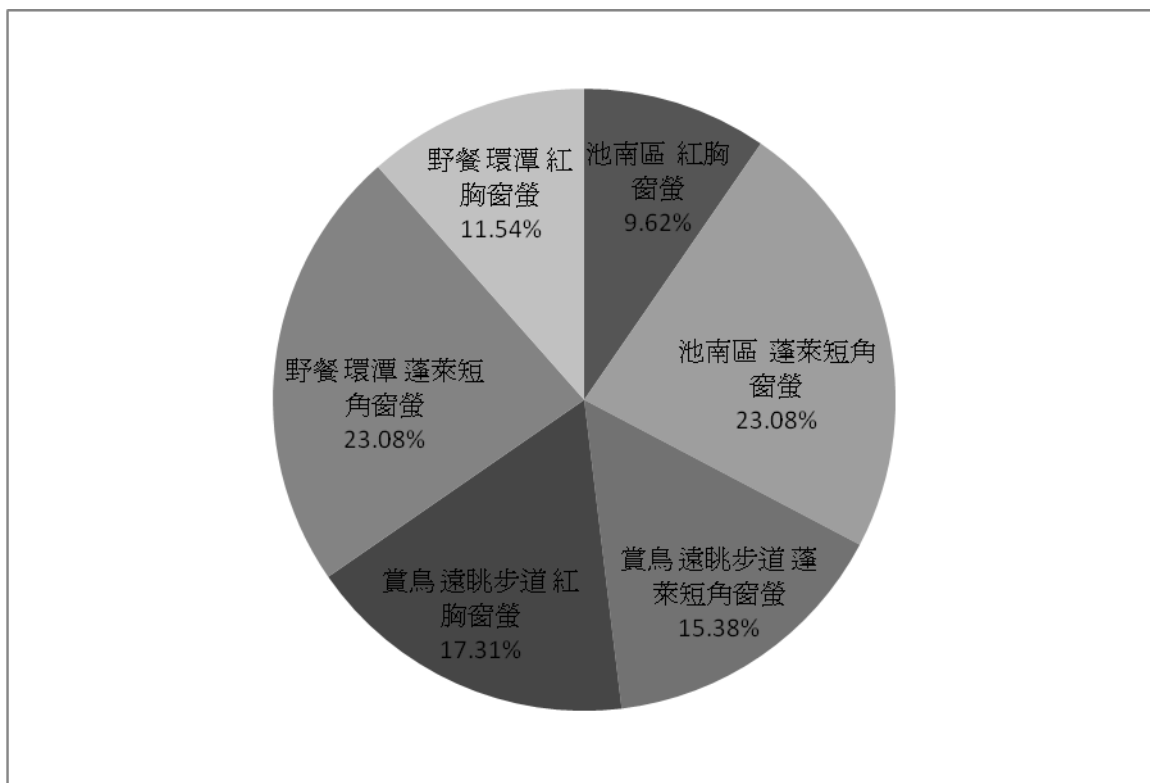


圖 十五、2012 年 1 月各區螢種數量比例

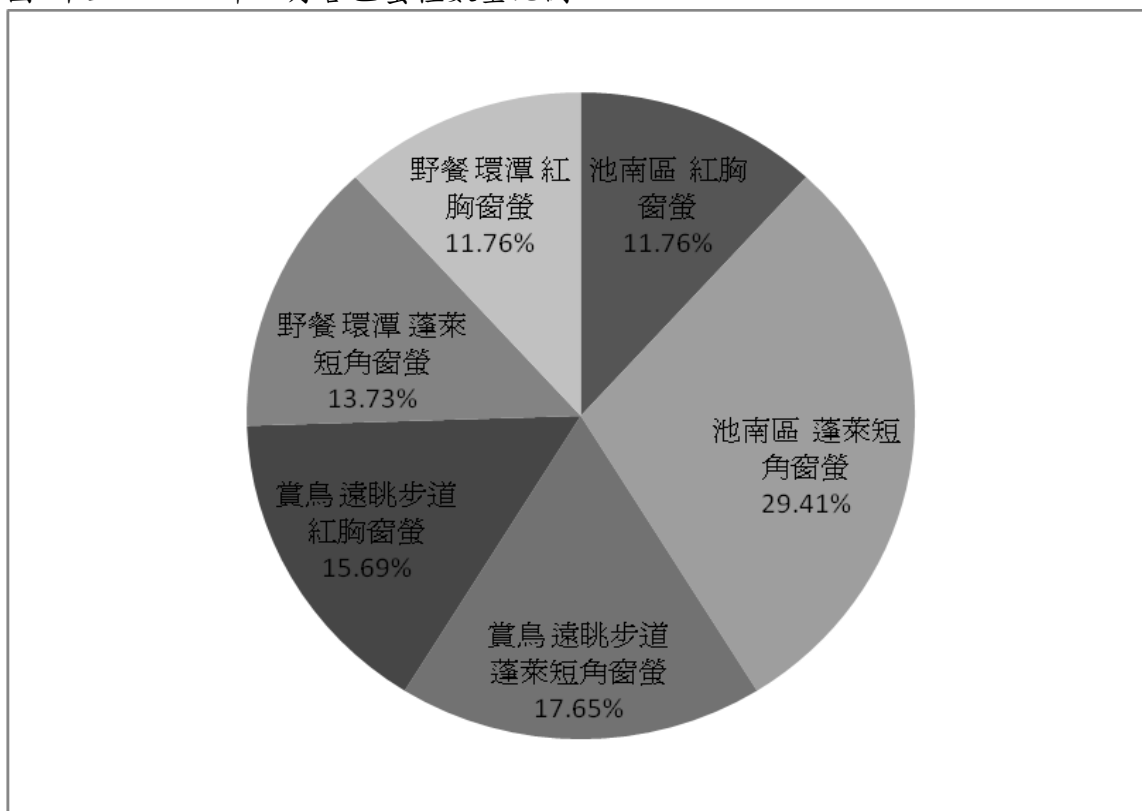


圖 十六、2012 年 2 月各區螢種數量比例

(三)各屬螢火蟲在區內之分布情況

熠螢屬之螢火蟲，在區內共發現 5 種，分別為黑翅螢、紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢、大端黑螢、紋螢；熠螢屬螢火蟲成蟲出現於 3~5 月份，4 月份以黑翅螢成蟲數量最多，多集中於池南區及野餐觀景步道(圖十七)。

脈翅螢屬螢火蟲之時間空間分佈如圖十八，於區內共發現 4 種脈翅螢：姬脈翅螢、黃肩脈翅螢、黃脈翅螢、梭德氏脈翅螢，由圖十八可知脈翅螢屬螢火蟲由 4 月至 10 月皆可發現其蹤跡，但數量不若黑翅螢多。

由圖十九可知，區內共發現 4 種窗螢屬螢火蟲，分為山窗螢、紅胸窗螢、長胸窗螢、赤腹窗螢，6 月份之後，區內即可發現窗螢屬螢火蟲之活動，而至 10 月，山窗螢為優勢螢種。

短角窗螢屬於區內目前僅記錄 2 種，分別為橙螢及蓬萊短角窗螢，5 月後即可發現其活動(圖二十)。

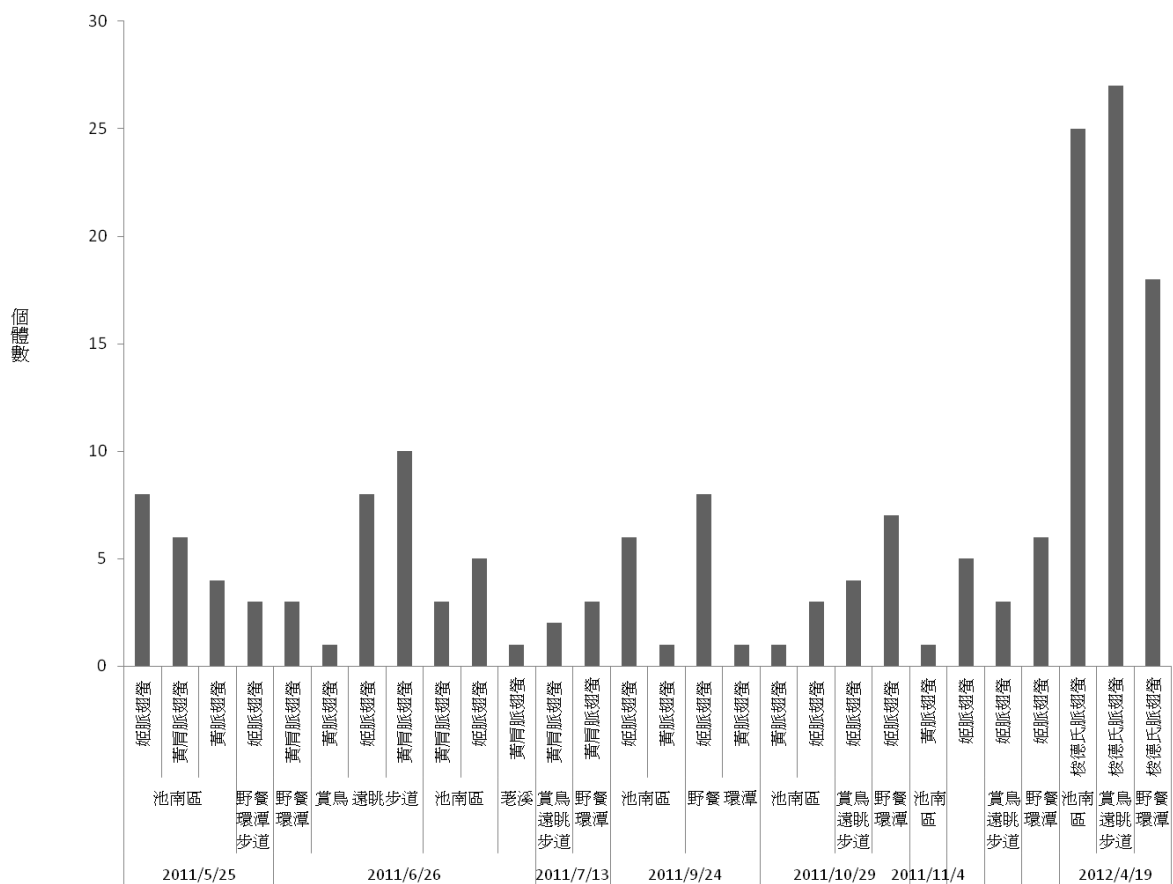


圖 十八、脈翅螢屬於各調查分區之數量

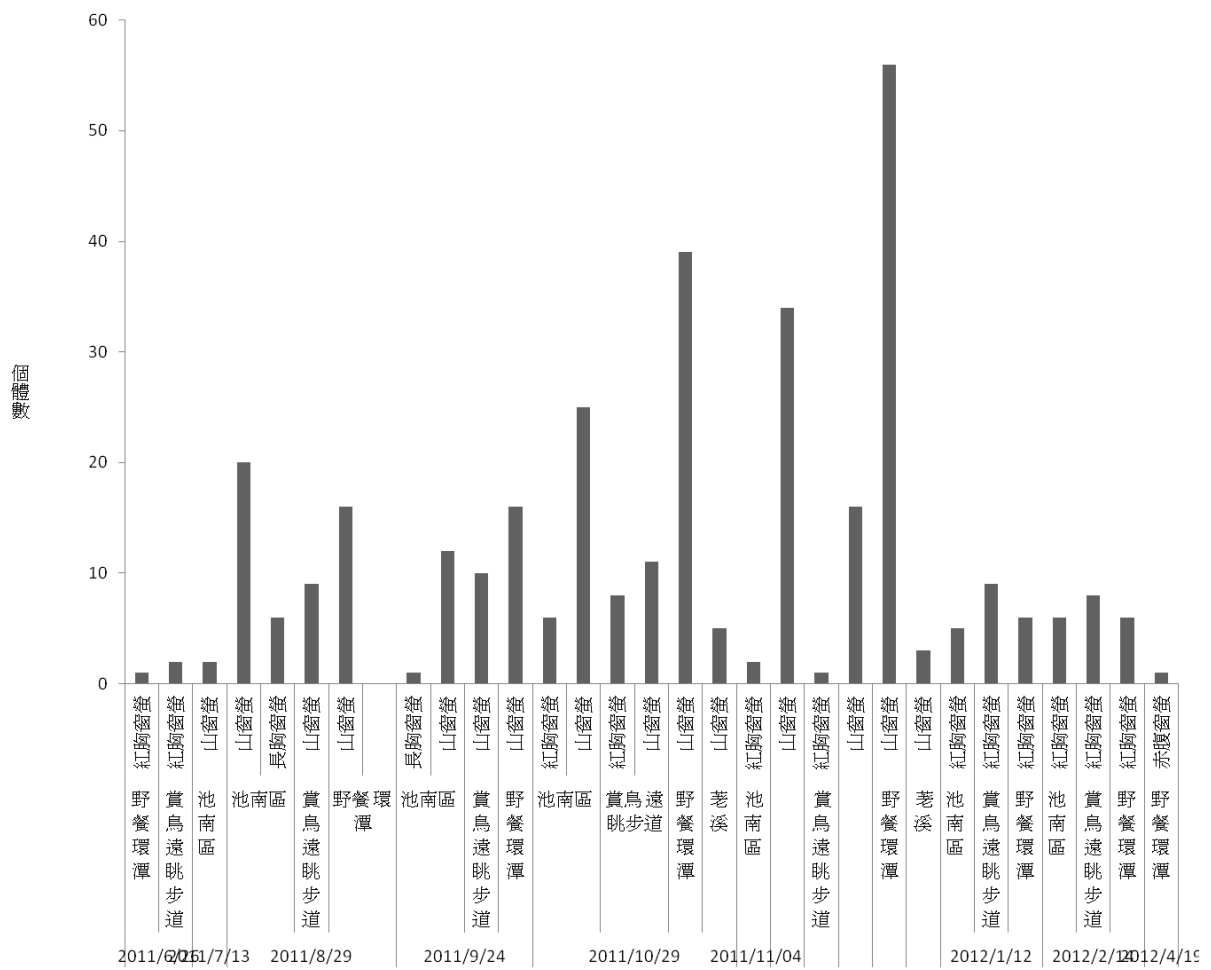


圖 十九、窗螢屬於各調查分區之數量

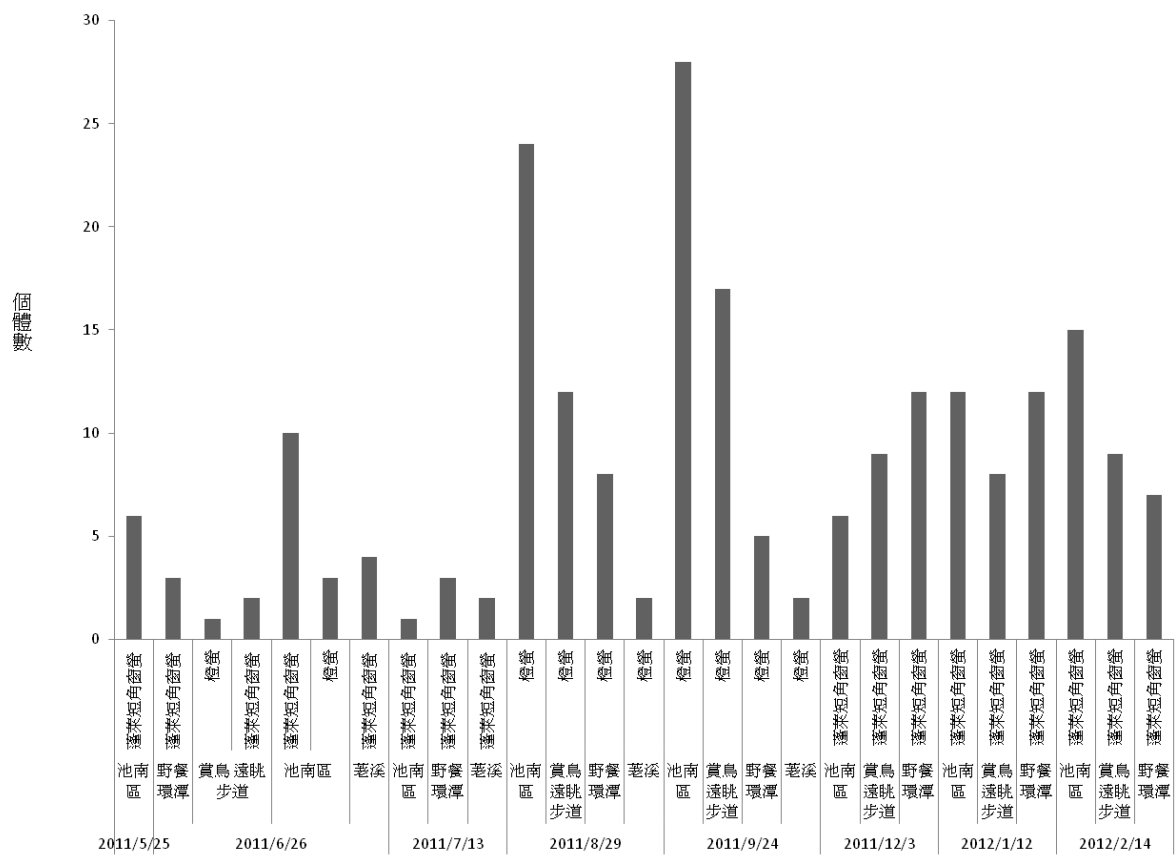


圖 二十、短角窗螢屬於各調查分區之數量

(四)黑翅螢成蟲數量標識再捕法

2012 年 3 月 28~30 日及 4 月 19~21 日，於野餐步道利用 Bailey triple catch method 估算 3 月 29 日及 4 月 20 日之黑翅螢成蟲數量，黑翅螢成蟲數量估算值及再捕率如表時一，由於再捕率較高(Wu and Yang, 2008)，顯示該處黑翅螢成蟲族群相對封閉或黑翅螢的擴散能力較低，但也可能顯示除該棲地外，週邊地區因有光汙染，使得黑翅螢族群無法擴張。

表 十一、2012 年 3~4 月黑翅螢成蟲族群數量

調查月份	黑翅螢成蟲族群估算量	再捕率
2012/03/28~30	58.50±11.03	32.05%
2012/04/19~21	1011.38±49.56	15.01%

(五)除草對窗螢、短角窗螢幼蟲之影響

2011 年 7~9 月，土地公廟後方步道之除草區、非除草區及除草區上方之窗螢及短角窗螢幼蟲數量如表十二，由表十二可知剛除草完畢時，除草區內幾乎無法發現任何螢火蟲幼蟲，而幼蟲皆退縮至除草區上方的未除草區域，但非除草區及除草區上方的數據並無顯著差異，顯示除草之後，幼蟲並非水平擴散至非除草區，而是往上移動至除草區上方之非除草區域棲息，除草對於幼蟲的影響時間約為 2 個月，因至 2011 年 9 月份調查時，除草區、非草區及除草區上方的幼蟲數量已無顯著差異，故可推知，於除草後 2 個月左右，除草區之植被已回復至幼蟲適合棲息之狀態。

表 十二、除草區、非除草區及除草區上方之窗螢、短角窗螢幼蟲數量

	2011 年 7 月	2011 年 8 月	2011 年 9 月
非除草區	5.00±0.32 ^a	12.40±0.51 ^a	13.00±0.70 ^a
除草區	0.40±0.24 ^b	8.60±0.40 ^b	13.40±0.68 ^a
除草區上方	5.00±0.32 ^a	12.80±0.58 ^a	13.40±0.81 ^a

(六)遊客數量對於螢火蟲族群之影響

2012/4/21 18:43~21:02 之遊客數量與環潭公路及野餐觀景步道螢火蟲光點數量如圖二十一，該夜環潭公路之賞螢遊客量平均為 15.68 ± 2.03 (人)、環潭公路螢火蟲光點數量平均為 89.06 ± 6.39 (個)，野餐觀景步道螢火蟲光點數量平均為 89.31 ± 6.64 (個)、遊客數量僅協同攝影者 1 人，兩處之螢火蟲光點數量無顯著差異，而環潭步道螢火蟲光點數量與遊客數之相關係數為 0.44，未達顯著相關，顯示目前之賞螢導覽方式及遊客量，並未對螢火蟲族群造成影響，但細分兩處之螢種組成可知，造成兩處螢火蟲數量無顯著差異之原因，可歸因於黑翅螢成蟲數量遠多於其他螢種數量造成，遊客賞螢時，野餐觀景步道之紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢及梭德氏脈翅螢數量較環潭公路為多，此一結果顯示，不同螢種對於遊客所帶來之遊憩壓力反應不同。

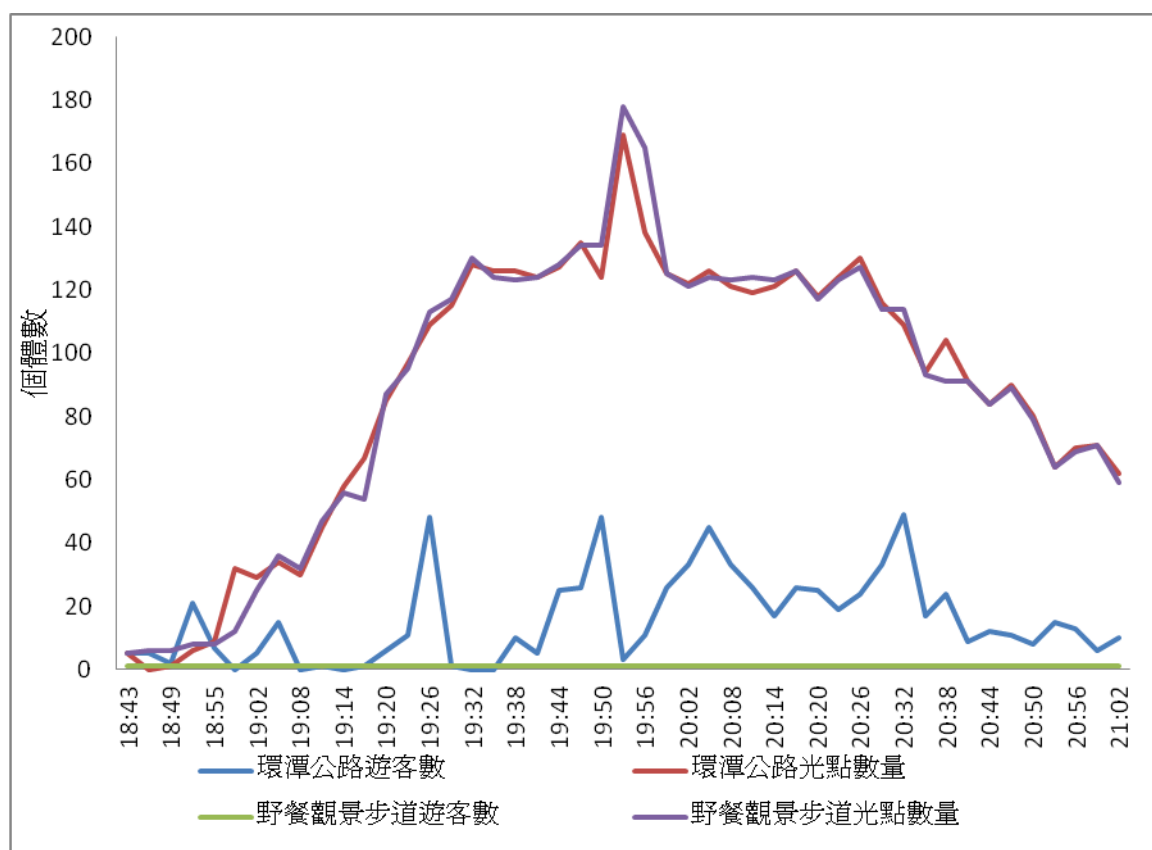


圖 二十一、2012/4/21 18: 43~21:02 野餐觀景步道、環潭公路之黑翅螢光點數量與遊客量之關係

(七)溫濕度、遮蔽度與螢火蟲之關係

2011 年 11 月至 2012 年，池南區及野餐觀景步道之氣溫及相對濕度如表十三，由表十三顯示，此二處發現螢火蟲處之平均相對濕度，均較花蓮縣相對濕度平均值為高，而平均氣溫差距較小，據 Jeng *et al.* (1999)，森林之遮蔽度是影響螢火蟲種類數多寡的因素之一，而遮蔽度亦會影響螢火蟲微棲地之相對濕度，而比較兩處之遮蔽度與溼度，可知，野餐觀景步道遮蔽度較低池南區為低，故相對溼度亦較池南區為低，然池南區共發現 6 屬 15 種螢火蟲，Shanon-Wiener 多樣性指數 1.88，野餐觀景步道為 6 屬 14 種，Shanon-Wiener 多樣性指數 1.61，結果相差不多，故推測此二處溼度雖有差異，但二處相對濕度皆較花蓮縣之相對濕度平均值為高，故此二處均為合宜螢火蟲棲地。

表 十三、2011 年 11 月~2012 年 4 月池南區、野餐觀景步道之氣溫、相對濕度及遮蔽度與中央氣象局氣候資料之比較(中央氣象局花蓮氣候資料引用自中央氣象局官方網頁 <http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/dailyPrecipitation/dP.htm>)

調查月份	池南區			野餐觀景步道			中央氣象局 花蓮氣候資料	
	平均 氣溫 (°C)	平均 相對溼度(%)	遮蔽度	平均 氣溫 (°C)	平均 相對溼度(%)	遮蔽度	平均 氣溫 (°C)	平均 相對溼度(%)
Nov-11	21.8±0.54	98.3±0.69	80	22.5±0.98	84.7±0.59	73	23.0	78
Dec-11	16.4±0.16	95.3±0.78	83	18.2±0.99	85.8±0.61	75	18.9	74
Jan-12	18.2±0.31	85.8±0.31	81	19.0±1.04	97.0±0.61	72	17.8	76
Feb-12	15.9±0.17	92.3±0.66	81	16.4±1.04	95.3±0.29	71	18.7	77
Mar-12	20.8±0.39	92.8±0.61	84	22.3±0.96	91.0±0.48	74	20.8	75
Apr-12	21.7±0.67	92.4±0.54	84	22.3±0.87	89.9±0.47	75	22.8	76

(八)文獻紀錄與本調查發現之螢火蟲種類

據文獻，花蓮地區之螢火蟲種類共 18 種(表十四)，本調查於池南國家森林遊樂區內共發現 7 屬 18 種，與文獻紀錄之種類比較可知，本調查尚無記錄神木螢、赤腹窗螢、突胸窗螢及日行性之紅弩螢及高山弩螢，然神木螢為中高海拔螢火蟲，故出現於池南國家森林遊樂區轄內的可能性不高，而本調查亦發現文獻未記載之姬脈翅螢、梭德氏脈翅螢、長胸窗螢、小紅胸黑翅螢。

表 十四、文獻紀錄之螢火蟲種類及本調查發現之螢火蟲種類

屬名	文獻記錄種類(據 Jeng <i>et al.</i> , 1999, Chen 2003)	本調查發現種類
弩螢	奧氏弩螢	奧氏弩螢
	紅弩螢	
	高山弩螢	
熠螢	紋螢	紋螢
	紅胸黑翅螢	紅胸黑翅螢
	黑翅螢	黑翅螢
	大端黑螢	大端黑螢
		小紅胸黑翅螢
脈翅螢	黃脈翅螢	黃脈翅螢
	黃肩脈翅螢	黃肩脈翅螢
		姬脈翅螢
		梭德氏脈翅螢
窗螢	紅胸窗螢	紅胸窗螢
	山窗螢	山窗螢
	赤腹窗螢	赤腹窗螢
	突胸窗螢	
		長胸窗螢
短角窗螢	橙螢	橙螢
	蓬萊短角窗螢	蓬萊短角窗螢
	神木螢	
扁螢	雲南扁螢	雲南扁螢
櫛角螢	赤腹櫛角螢	赤腹櫛角螢

四、池南國家森林遊樂區螢火蟲資源利用建議

(一)各分區螢火蟲生物資源利用建議

池南區土地公廟附近之自導式步道及森林浴步道是池南區螢火蟲成蟲及幼蟲之主要採集處，池南區 6 屬 15 種螢火蟲皆採自此處，而池南區環溪步道則是熠螢屬幼蟲之主要採集處，而黑翅螢幼蟲主要取食節肢動物屍體，故建議如池南區內有樹木需修枝時，修剪下來的樹枝堆積於土地公廟附近之自導式及森林浴步道及環溪步道旁，增加其他節肢動物棲息空間，以作為黑翅螢幼蟲的合適棲所，而其餘種類螢火蟲幼蟲，多取食扁蝸牛(*Bradybaena similaris*)，由於扁蝸牛偏好棲息於濕度較高的地表植被，故建議亦可鋪設稻草，保持土壤濕度，營造扁蝸牛合宜棲地，而為其他螢火蟲幼蟲之食餌；而除草方式及除草強度由試驗結果可知，現行除草方式並不影響窗螢屬及短角窗螢屬幼蟲之數量，僅使幼蟲在除草後暫時棲息於未除草區，當除草區植被逐漸回復後，幼蟲仍會利用該處做為棲息地；池南區並非賞螢季賞螢活動之主要賞螢地點，但由 2012 年 3 月之調查得知，仍有民眾集合於池南區售票亭附近賞螢，而土地公廟附近則有民眾攜帶數位單眼相機拍攝螢火蟲，而人工光源對於螢火蟲之影響，已有試驗證實，被 LED 燈手電筒及閃光燈照射過之山窗螢成蟲，其壽命較無照射人工光源之對照組少 3 天，由於山窗螢成蟲之壽命僅 6~10 天，相差 3 天，等於減少 30~50%之成蟲壽命，故建議在賞螢活動舉辦時，池南區仍需有志工宣導減少使用人工光源。

賞鳥步道及遠眺步道之交會處，為此兩條步道之主要採集點，紋螢僅發現於此處，由野外採集經驗可知，相較於黑翅螢，紋螢對於人為干擾及光污染之承受能力較低，但此處之人為因素僅有登山健行遊客存在，人為干擾較少，故建議減少賞鳥遠眺步道交會處之除草強度及頻度，並於每年 3~4 月持續監測此處之紋螢成蟲族群數量。

野餐觀景步道沿途於各月份皆可發現不同種類之螢火蟲成蟲，然幼蟲卻多集中於此步道木棧橋下之植被，故即使植被生長繁茂，對於步道遊客影響仍較小，故建議在除草時，不需割除野餐觀景步道木棧橋下之植被；環潭公路是賞螢季之主要賞螢地點，由試驗可知，遊客量雖不影響環潭公路之黑翅螢數量，但卻影響紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢及梭德氏脈翅螢之成蟲數量，當賞螢活動進行時，野餐觀景步道此 3 種螢火蟲數量較環潭公路為多，此一結果顯示，不同螢種對於遊客所帶來之遊憩壓力反應

不同，而黑翅螢存在並不能保證其他螢火蟲也同時存在，除不同螢種對於遊憩壓力之反應不同外，是否影響後續族群表現，如遊憩壓力是否影響螢火蟲成蟲壽命，仍需後續研究。

荖溪是螢火蟲種類及數量最少的一區，主要採集區域在便橋後的兩公里道路範圍內，此處螢火蟲種類及數量較其他三區為少的原因可歸因於遮蔽度較其他三區為低，較為開闊，並不適螢火蟲幼蟲棲息。

(二)各月份螢火蟲生物資源利用建議

除 1、2 月種類數較其他月份為少，且無優勢螢種外，其餘各月份皆有其優勢螢種，但考量各螢種對於人為干擾反應不一，適合一般民眾觀賞之螢種為 3-5 月之黑翅螢成蟲，及 10-11 月之山窗螢成蟲，舉辦地點以環潭公路為最佳選擇，賞螢導覽志工培訓及較深度之螢火蟲生態導覽，則可於野餐觀景步道及池南區，於 5-10 月舉辦，以脈翅螢屬螢火蟲成蟲、窗螢屬及短角窗螢屬幼蟲作為主要觀賞螢種；熠螢亞科之脈翅螢屬及螢亞科之窗螢屬成蟲於夜間活動時間不同，脈翅螢屬螢火蟲夜間活動時間較長，於日落之後直至下午 9 時，仍能發現脈翅螢屬成蟲活動，但窗螢屬成蟲夜間活動時間僅集中於日落之後 1 小時內，造成此差異原因為此兩屬螢火蟲之求偶方式差異所致，脈翅螢屬螢火蟲一如熠螢屬螢火蟲，以光信號溝通找尋交配對象，而窗螢屬螢火蟲則以性費落蒙化學信號作為找尋配偶的方式，故觀賞 10-11 月之山窗螢，建議活動舉辦時間為下午六時~七時。

(三)人為干擾對於螢火蟲成蟲之影響

人工除草及賞螢季之賞螢遊客，是本調查認為池南國家森林遊樂區最主要的人為干擾模式，試驗證實，現行之人工除草方式並不影響幼蟲數量，僅暫時干擾幼蟲分布，且除草區植被回復後，幼蟲活動範圍亦隨之恢復，而最不影響螢火蟲幼蟲的除草月份為 1~2 月；在現行賞螢季之導覽方式設計之下，賞螢遊客數量雖不影響黑翅螢成蟲數量，但是否會影響到其他螢種，例如紅胸黑翅螢、小紅胸黑翅螢及大端黑螢，不同螢種對於遊憩壓力之反應如何，遊憩壓力如何定義，綜觀國內外文獻，目前仍無相關論述，實待後續相關研究，方能釐清。

(四)辦理賞螢活動時間及民眾應注意事項

賞螢活動舉辦可區分為兩類型，第一類型為大眾型賞螢活動，以黑翅螢成蟲生物發光景觀為主要特色，配合花東縱谷風景管理處，於每年4月中旬至下旬之鯉魚潭賞螢季為舉辦時間，舉辦地點以環潭公路為最佳選擇，另考量黑翅螢成蟲之夜間活動週期變化情況，最佳賞螢時間為下午六點半至下午九點；參與大眾型賞螢活動之民眾應注意下列事項：

1. 賞螢裝備：包有紅色玻璃紙的普通手電筒、防蚊液、雨衣。
2. 服裝：長袖衣褲、運動鞋或登山鞋為宜。
3. 注意事項：

並非任何天氣都適合去賞螢嗎，下大雨或滿月的夜晚，螢火蟲活動會受到雨水或月光的影響，所以最好避開這些時段；賞螢時如需照明，需使用貼上紅色玻璃紙之傳統燈泡手電筒；不可任意捕抓螢火蟲，也不可用手電筒或照相機閃光燈照射螢火蟲；賞螢時勿走進步道兩旁之草叢內，以免防蛇咬。

第二類型為深度賞螢活動，以賞螢導覽志工或其他有賞螢經驗之民眾為主要對象，於野餐觀景步道及池南區，每年5-10月舉辦，以脈翅螢屬成蟲及窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲幼蟲之生物發光景觀為主要特色，最佳賞螢時間亦為下午六點半至下午九點，參與深度賞螢活動之民眾，其裝備及服裝同大眾型賞螢活動，但近距離觀察螢火蟲時，可用罩上紅色玻璃紙的傳統燈泡手電筒做為觀察時之光源。

引用文獻

- Adam, S., K. Stanger-Hall, M. L. Jeng, and S. M. Lewis. 2011. Correlated evolution of female and flightlessness with male spermatophore production in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Evolution* 64(4): 1099-1113.
- Ahmed, S. M., Rzigalinski, B. A., Willoughby, K. A., Sitterding, H. A. and Ellis, E. F. 2000. Stretch-induced injury alters mitochondrial membrane potential and cellular ATP in cultured astrocytes and neurons. *Journal of neurochemistry* 74: 1951-1960.
- Ardehali, A. Fyfe, A., Laks, H., Drinkwater, D. C. Jr., Qiao, J. H. and Lusi, A. J. 1995. Direct gene transfer into donor hearts at the time of harvest. *Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 109: 716-720.
- Barco, A., Feduchi, E. and Carrasco, L. 2000. A stable Hela cell line that inducibly expresses poliovirus 2Apro: effect on cellular and viral gene expression. *Journal of virology* 74: 2383-2392.
- Beutel, R. G. 1995. Phylogenetic analysis of Elateriformia (Coleoptera: Polyphaga) based on larval characters. *Journal of zoological and evolutionary research* 33:145-171.
- Biggley, W. H., Lloyd, J. E. and H. H. Seliger. 1967. The spectral distribution of firefly light II. *J. gen. physiol.* 50: 1681-1691.
- Bradley, D. 1996. Firefly enzyme will bring dirty food factories to light. *New scientist* 152: 2056.
- Buck, J.B. 1937. Studies on the firefly. II. The signal system and color vision in *Photinus pyralis*. *Physiol. Zool* 10(4): 412-419.
- Buck, J.B. 1948. The anatomy and physiology of the light organ in fireflies. *Annals of New York Academic of Science* 49: 397-482.
- Buck, J. B., and E. M. Buck. 1966. Biology of synchronous flashing of fireflies. *Nature* 211: 562-564.
- Buck, J. B., and E. M. Buck. 1968. Mechanism of rhythmic synchronous flashing of fireflies. *Science* 159: 1319-1327.
- Buck, J. B., and E. M. Buck. 1976. Synchronous fireflies. *Scientific American* 234: 74-85.
- Buck, J. B., and J. F. Case. 1961. Control of flashing in fireflies. I. The lantern as a neuroeffector organ. *Biol. bull.* 121: 234-256.
- Buck, J.B., Case, J.F. and F. Jr. Hanson. 1963. Control of flashing in fireflies. III. Peripheral excitation. *Biol. bull.* 125: 251- 269.
- Buschman, L. L. 1988. Light organs of immature fireflies (Coleoptera: Lampyridae) as eye-spot/false-head displays. *Colepot. bull.* 42: 94-97.
- Chang, J. C. 1994. Studies on Artificial Rearing of Aquatic Firefly, *Luciola ovalis* Hope, in Taiwan. Master thesis, Dept. Entomology of National Chung-Hsing University, Taichung. 48 pp. (in Chinese)
- Chang, N. T., Z. C. Chen, and W. C. Hsu. 2000. List of Lampyridae in the Nanjenshan ecological research site of Kenting national park -- comments on comparisons of similarity. *Chinese J. Entomol.* 20: 57-61. (in Chinese)
- Chen R. J. 2003. The firefly of Taoyuan. The nature resources of Taoyuan County series no. 8. 101 pp. (in Chinese)
- Chen, S. C. and R. Z. Chen. 1997. The rearing of the firefly, *Luciola ficta*. *Journal of I-Lan Institute of Agriculture and Technology* 14: 25-32. (in Chinese)
- Chen, S. C., R. Z. Chen, and S. C. Ohyang. 1998. The life history of the firefly, *Pyrocoelia praetexta*. **Journal of I-lan institute of technology** 1: 53-58. (in Chinese)
- Case, J.F. and J. B. Buck. 1963. Control of flashing in fireflies. II. Central nervous aspects.

- Biol. bull. 125: 234-250.
- Cho, K. H., J. S. Lee., Y. D. Choi., and K. S. Boo. 1999. Structural polymorphism of the luciferase gene in the firefly, *Luciola lateralis*. Insect molecular biology. 8:193-200.
- Copeland, J. and A. Moiseff. 1997. The effect of duration and flash shape on entrainment in *Pteroptyx malacca*, a synchronic southeast Asian firefly. J. Insect Physiol. 43: 965-971.
- Cronin, T.W., Jarvilehto, M., Weckstrom, M. and A.B. Lall. 2000. Tuning of photoreceptor spectral sensitivity in fireflies (Coleoptera: Lampyridae). J. comp. physiol.,A 186: 1-12.
- Crowson, R. A. 1955. The natural classification of the families of Coleoptea. Nathaniel Lloyd, London.
- Crowson, R. A. 1972. A review of the classification of Cantharoidae (Coleoptera) , with the definition of two new families, Cneoglossidae and Omethidae. Revista de la Universidad Madrid. 21 (82) : 35-77.
- Delorme, C., Ehrlich, S. D. and Renault, P. 1999. Regulation of expression of the Lactococcus lactis Hsitudine operon. Journal of bacteriology 181: 2026-2037.
- Eguchi, E., Nemoto, A., Meyer, R.V.B. and N. Ohba. 1984. A comparative study of spectral sensitivity curves in 3 diurnal and 8 nocturnal species of Japanese fireflies. J. Insect Physiol. 30: 607-612.
- Forrest, T.G. and M.D. Eubanks. 1995. Variation in the flash pattern of the firefly, *Photuris versicolor quadrifulgens* (Coleoptera: Lampyridae). J. insect behav. 8: 33-45.
- Fu, X. H., and L. Ballantyne. 2006. *Luciola lei* sp. nov., a new species of aquatic firefly (Coleoptera: Lampyridae: Luciolinae) from mainland China. Canadian Entomologist 138: 339-347.
- Ghiradella, H. 1998. The anatomy of light production: the fine structure of the firefly lantern. pp. 363-381. In Harrison, F.W. and Locke, M. (eds.) Microscopic anatomy of invertebrates. Volume IIA. Insecta. Wiley-Liss Inc., New York. 381 pp.
- Hariyama, T., Terakita, A., Sakayori, M., Katsukura, Y., Ozaki, K. and Y. Tsukahara. 1998. Chromophore distribution and ultraviolet visual pigment in the compound eyes of the Japanese fireflies *Luciola cruciata* and *L. lateralis* (Coleoptera: Lampyridae). J. comp. physiol.,A 183: 165-170.
- Ho, J. Z. 1997. The lantern in the dark--firefly. The Taiwan Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan. (in Chinese)
- Ho, J. Z. 1998. An outbreak of *Lychnuris analis* in the Shilo area. Nature Conservation Quarterly 24: 48-53. (in Chinese)
- Ho, J. Z. 2001. Guide to the fireflies in Hsinchu County. The Taiwan Endemic Species Research Institute published. Nantou, Chichi. (in Chinese)
- Ho, J. Z., and S. 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: 305-312. (in Chinese)
- Ho, J. Z., and T. H. Su. 2000. Biodiversity and conservation of fireflies (Coleoptera: Lampyridae) in Taiwan. pp. 517-530. In: Y. S. Chow, F. K. Hsieh, S. H. Wu, and W. H. Chou, eds. Proceedings of the 2000' Cross-strait Symposium on Bio-diversity and Conservation. National Museum of Natural Science Press, Taichung. (in Chinese)
- Ho, J. Z., C. H. Wu, Y. H. Chen, and P. S. Yang. 2009. New trend of ecological industry- as example of value and development of firefly watching activities in Mt. Ali area. Formosan Entomol. 29: 279-292.

- Ho, J. Z., P. H. Chiang, and P. S. Yang. 2006. A new rearing method for an aquatic firefly, *Luciola ficta* (Coleoptera: Lampyridae). Formosan entomol. 26: 77-85. (in Chinese)
- Ho, J. Z., S. W. Huang, and T. H. Su. 2002a. Using a digital video system to study pupation and emergence of the firefly *Pyrocoelia analis* (Fabricius). Endemic species research 22: 31-40. (in Chinese)
- Ho, J. Z., S. W. Huang, and T. H. Su. 2002b. 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 S. W. Huang. 2003. Rearing methods and life cycle of *Pyrocoelia analis* (Coleoptera: Lampyridae). BioFormosa 38(2): 79-87. (in Chinese)
- Ho, J. R., C. J. Lin., and J. T. Yen. 1998. The inventory fireflies fauna in Tainan county (Coleoptra:Lampyridae). The Ecology and Conservation of the Fireflies Symposium. 74-84. (In Chinese)
- Hollis, R. P., Killham, K. and Glover, L. A. 2000. Design and application of a biosensor for monitoring toxicity of compound to eukaryotes. Applied and environmental microbiology 66: 1676-1679.
- Jeng, M. L., and P. S. Yang. 2003. A supplementary account to the genus *Diaphanes* (Coleoptera: Lampyridae) of Taiwan. J. Kansas Entomol. Soc. 76: 477-483.
- Jeng, M. L., P. S. Yang, and M. Satô. 1998a. The genus *Cyphonocerus* (Coleoptera, Lampyridae) from Taiwan and Japan, with notes on the subfamily Cyphonocerinae. Elytra 26: 379-198.
- Jeng, M. L., P. S. Yang, M. Satô, J. Lai, and J. C. Chang. 1998b. The genus *Curtos* (Coleoptera, Lampyridae, Luciolinae) of Taiwan and Japan. Jpn. J. syst. Ent. 4: 331-347
- Jeng, M. L., J. Lai, and P. S. Yang. 1999a. A synopsis of the firefly fauna at six national parks in Taiwan (Coleoptera: Lampyridae). Chinese J. Entomol. 19: 65-91. (in Chinese)
- Jeng, M. L., J. Lai, P. S. Yang, and M. Satô. 1999b. On the validity of the generic name *Pyrocoelia* Gorham (Coleoptera, Lampyridae, Lampyrinae), with a review of Taiwanese species. Jpn. J. syst. Ent. 5: 347-362.
- Jeng, M. L., J. Lai, P. S. Yang, and M. Satô. 2000. Notes on the taxonomy of *Lamprigera yunnana* (Fairmaire) and the genus *Lamprigera* Motschulsky (Coleoptera: Lampyridae). Jpn. J. syst. Ent. 6: 313-319.
- Jeng, M. L., J. Lai, P. S. Yang, and M. Satô. 2001. Revision of the genus *Diaphanes motschulsky* (Coleoptera: Lampyridae: Lampyrinae) of Taiwan. Jpn. J. syst. Ent. 7: 203-235.
- Jeng, M. L., P. S. Yang, and M. Satô. 2002. Notes on the morphology and systematics of the genus *Pristolycus* Gorham (Coleoptera: Lampyridae). Jpn. J. Syst. Entomol. 8: 87-108.
- Jeng, M.-L., J. Lai, and P.S.Yang. 2003a. Lampyridae: a synopsis of aquatic fireflies with description of a new species(Coleoptera). pp. 539–562. In: M. A. Jäch, and L. Ji, eds. Water Beetles of China. Vol.III. Zoologisch Botanische Gesellschaft in Österreich and wiener Coleopterologenverein, Vienna, Austria.
- Jeng, M. L., P. S. Yang, and J. Lai. 2003b. Notes on the genus *Luciola* (Coleoptera: Lampyridae, Luciolinae) of Taiwan. Spec. Bull. Jpn. Soc. Coleopterol. 6: 247-262.
- Jeng, M. L., T. R. Chen, and P. S. Yang. 2005. *Luciola anceyi* (Coleoptera: Lampyridae), a firefly capable of all-day mate-finding. Formosan Entomol. 25: 131-137. (in Chinese)
- Jeng, M. L., M. Satô, and P. S. Yang. 2006. The genus *Lucidina* of Taiwan (Coleoptera: Lampyridae). J. Kansas Entomol. Soc. 79.
- Jin, Y., Seikh, F., Detillieux, K. A. and Cattini, P. A. 2000. Role for earlygrowth response-1 protein in alpha-asrenergic stimulation of fibroblast groth factor-2 promoter activity in

- cardiac myocytes. *Molecular pharmacology* 57: 984-990.
- Kanaya, T. and J. Kobayashi. 2000. Purification and characterization of an insect haemolymph protein promoting in vitro replication of the *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus. *Journal of general virology* 81: 1135-1141.
- Kanda, S. 1934. Notes on the name of fireflies. *Animal & Plant* 2: 2043-2046 (in Japanese)
- Kanno, T. Naito, S. and Shimamoto, K. 2000. Post-transcriptional gene silencing in cultured rice cells. *Plant and cell physiology* 41: 321-326.
- Knight, M., R. Glor., S. R. Gonzalez., A. Adler., and T. Eisner. 1999. Firefly toxicosis in lizards. *J. chem. Ecol.* 25: 1981-1986.
- Kobayashi, H. 1991. A report of restoration of natural environment for firefly from Shiojiri city. p. 65-73. *In: The association of natural restoration of Japan (ed.) Environment for fireflies. Reconquista, Special No. 1. Tokyo: Saiteku. 136 pp. (in Japanese)*
- Lall, A. B. 1993a. Action spectra for the initiation of bioluminescent flashing activity in males of twilight-active firefly *Photinus scintillans* (Coleoptera: Lampyridae). *Journal of Insect Physiology* 39: 123-127.
- Lall, A. B. 1993b. Nightly increase in visual sensitivity correlated with bioluminescent flashing activity in the firefly *Photuris versicolor* (Coleoptera: Lampyridae). *J. exp. zool.* 265 : 609-612.
- Lall, A. B. 1994. Spectral cues for the regulation of bioluminescent flashing activity in the males of twilight-active firefly *Photinus scintillans* (Coleoptera: Lampyridae) in nature. *Journal of Insect Physiology* 40: 359-363.
- Lall, A. B. and J. E. Lloyd. 1989. Spectral sensitivity of the compound eyes in two day-active fireflies (Coleoptera: Lampyridae: *Lucidota*). *Journal of Comparative Physiology A: Sensory Neural and Behavioral Physiology* 166: 257-260.
- Lall, A. B. and K. M. Worthy. 2000. Action spectra of the female's response in the firefly *Photinus pyralis* (Coleoptera: Lampyridae): evidence for an achromatic detection of the bioluminescent optical signal. *Journal of Insect Physiology* 46: 965-968.
- Lai, J., M. Satô, and P. S. Yang. 1998. Checklist of Lampyridae of Taiwan - Coleoptera: Polyphaga: Lampyridae. *Chinese J. Entomol.* 18: 207-215. (in Chinese)
- Lall, A. B., Seilger, H. H. and W. H. Biggley. 1980. Ecology of colors of firefly bioluminescence. *Science* 210: 560-562.
- Landa, S. B., Drobchenko, E. A. and V. Y. Bolshakov 1996. Analysis of light communication mechanism of fireflies *Luciola mingrelica* (Coleoptera: Lampyridae). III. Principles of recognition of light communication signals. *Sensornye Sistemy* 10(3): 65-78.
- Lawrence, J. F. 1988. Rhinorhipidae, a new beetle family from Australia, with comments on the phylogeny of the Elateriformia. *Invertebrate taxonomy* 2: 1-53.
- Lawrence, J. F. and A. F. Jr. Newton. 1995. Families and subfamilies of Coleoptera (with selected genera, notes, references and data on family-group names). pp 779-1006. *In: Pakaluk, J. and Slipinski, S. A. (ed.) Biology, Phylogeny, and Classification of Coleoptera: Papers celebrating the 80th birthday of Roy A. Crowson Vol. II. Muzeum Instytut Zoologii Pan, Warszawa. 1092 pp.*
- Lloyd, J. E. 1966. Studies on the Flash Communication System in *Photinus* fireflies. Miscellaneous publications by Museum of Zoology, University of Michigan, No. 130. 95 pp.
- Lloyd, J. E. 1971. Bioluminescent communication in insects. *Annu. rev. entomol.* 16: 97-122.
- Lloyd, J. E. 1973. Model for mating protocol of synchronously flashing fireflies. *Nature* 245:

268–270.

- Lloyd, J.E., Wing, S.R. and T. Hongtrakul. 1989. Flash behavior and ecology of Thai *Luciola* fireflies (Coleoptera: Lampyridae). Fla. entomol 72: 80-85.
- Makino, T., Suzuki, H. and N. Ohba. 1994. Computer analysis system for firefly flash patterns. Science. rept. Yokosuka City Mus. 42: 27-56. (in Japanese)
- McDermott, F. A. 1964. The taxonomy of the Lampyridae (Coleoptera). Transactions of the American Entomological Society 90: 1-72.
- McDermott, F. A. 1966. Lampyridae. In: W. O. Steel, (ed.), Coleopterorum catalogus supplementa. Pars 9 (edition secunda). W. Junk, S-Gravenhage, 149pp.
- Moiseff, A. and J. Copeland. 2000. Mechanisms of synchrony in the north American firefly *Photinus carolinus* (Coleoptera: Lampyridae). J. insect behavior 8(3): 395–407.
- Mori, S. 1991. Reconstruction of the natural waterside for the revival of firefly. p. 35-48. In: The association of nature restoration of Japan, (ed.) Environment for fireflies. Reconquista special No. 1. Tokyo: Saiteku. 136 pp. (in Japanese)
- Nakane, T. 1991. Lampyrid insects of the world. p.3-11. In: The association of nature restoration of Japan, (ed.) Environment for fireflies. Reconquista special No. 1. Tokyo: Saiteku. 136 pp. (in Japanese)
- Ohba, N. and P. S. Yang. 2003. Flash patterns and communication system of Taiwanese firefly, *Luciola cerata* Oliver. Sci. Rept. Yokosuka City Mus. 50: 1-12. (in Japanese)
- Ohba, N. 1983. Studies on the communication system of Japanese fireflies. Science. rept. Yokosuka City Mus. 30: 1-62.
- Ohba, N. 1993. Rearing and observation of fireflies. Tokyo: Heart Publ. 167 pp. (in Japanese)
- Ohba, N. and Y. Goto. 1990. Experimental mating in closely related species of Japanese fireflies. Science. rept. Yokosuka City Mus. 38: 1-5. (in Japanese)
- Ohba, N., Suzuki, H. and T. Yamasaki. 1995. Luminescent pattern of Japanese fireflies based on computer analysis. Science. rept. Yokosuka City Mus. 43: 17-24. (in Japanese)
- Olivier, E. 1907. Coleoptera. Fam. Lampyridae. In: Wytsman, P., (ed.), Genera insectorum. Fasc. 53. Verteneuil & Desmet, Brussels, 74 pp.
- Omiya, Y., Ohba, N., Toh, H. and Tsuji, F. I. 1995. Cloning, expression and sequence analysis of cDNA for the luciferase from the Japanese fireflies: *Pyrocoelia miyako* and *Hotaria parvula*. Photochemistry and photobiology 62: 309-313.
- Sala-Newby, G. B., Thomson, C. M. and Campbell, A. K. 1996. Sequence and biochemical similarities between the luciferase of the glow worm *Lampyris noctiluca* and the firefly *Photinus pyralis*. Biochemical Journal 313: 761-767.
- Schmitz, O., Tsinoremas, N. F., Schaefer, M. R., Anandan, S. and Golden, S. S. 1999. General effect of photosynthetic electron transport inhibitors on translation precludes their use for investigating regulation of D1 biosynthesis in *Synechococcus* sp. Strain PCC7942. Photosynthesis research 62: 261-271.
- Seliger, H. H. and W. D. McElroy. 1964. The colors of firefly bioluminescence: enzymes configuration and species-specificity. Proceedings of National Academy of Science, U.S.A. 52: 71-81.
- Shibue, K. 1997. Conservation of fireflies as an index of “rural landscape”. Insectarium 34(5): 40-41.
- Sivinski, J. M. 1981. The nature and possible functions of luminescence in Coleoptera larvae. Coleopt. bull. 35: 167-179.
- Soucek, B. 1996. The quantum mind. Periodicum biologorum 98: 67-75.
- Soucek, B. 1997. The quantum mind theory. Periodicum biologorum 99: 3-18.

- Steghen, J. P., Min, K. L. and J. C. Bernengo. 1998. Firefly luciferase has two nucleotide binding sites: effects of nucleotide monophosphate and CoA on the light-emission spectra. *Biochem. j.* 336: 109-113.
- Suzuki, H., Sato, Y., Fujiyama, S. and Ohba, N. 1993. Genetic differentiation between two ecological types of the Japanese firefly, *Hotaria parvula*: an electrophoretic analysis of allozymes. *Zoological science* 10: 697-703.
- Suzuki, H., Sato, Y., Fujiyama, S. and Ohba, N. 1996a. Allomyzic differentiation between two ecological types of flashing behavior in Japanese firefly, *Luciola cruciata*. *Japanese journal of entomology* 64: 682-691.
- Suzuki, H., Sato, Y., Fujiyama, S. and Ohba, N. 1996b. Biochemical systematics of Japanese fireflies of subfamily Luciolinae and their flash communication system. *Biochem. genet.* 34: 191-200.
- Tamura, M., J. Yokoyama, N. Ohba, and M. Kawata. 2005. Geographic differences in flash intervals and pre-mating isolation between populations of Genji firefly, *Luciola cruciata*. *Ecol. entomol.* 30: 241-245.
- Taubes, G. 1997. Firefly gene lights up lab animal from inside out. *Science* 276: 5321
- Tarvis, J. 1995. Lighting up biological clocks. *Science news* 148: 108-109.
- Travis, J. 1996. Following the inner light. *Science news* 150: 220-221.
- Underwood, T. J., Tallamy, D. and J.D. Pesek. 1997. Bioluminescence in firefly larvae: a test of the aposematic display hypothesis (Coleoptera: Lampyridae). *J. insect behav.* 10: 365-370.
- Viviani, V. R. and E. H. Bachara. 1995. Bioluminescence of Brazilian fireflies (Coleoptera : Lampyridae) : spectral distribution and pH effect on luciferase-elicited colors, comparison with elaterid and phengodid luciferases. *Photochem. Photobiol.* 62:490-495.
- Wu, C. H. and G. Y. Wu. 1998. Targeted inhibition of hepatitis c virus-directed gene expression in human hepatoma cell lines. *Gastroenterology* 114: 1304-1312.
- Wu, C. H. and P. S. Yang. 2008. Survey of the firefly resources in Tungshih forest. *Formosan Entomol.* 28: 195-209. (In Chinese)
- Wu, C. H., M. L. Jeng, A. South, J. Z. Ho, and P. S. Yang. 2010. Evidence for two male morphs of *Luciola cerata* Olivier (Coleoptera: Lampyridae) exhibiting distinct mating behavior, with implication for sexual selection. *The coleopterists bulletin*, 64(3): 235-242.
- Yang, P. S. 1996. The ecological study of fireflies in Sheipa National park. Shei-Pa National Park Headquarters. 30 pp.
- Yang, P. S. 1998. The study of the fireflies in Taiwan in the past and future. pp. 1-9. *In: The Ecology and Conservation of the Fireflies Symposium.* (in Chinese)
- Yeh, S. D. 1999. The habitat management and food preference of aquatic firefly, *Luciola ficta* (Coleoptera: Lampyridae). Master thesis, Dept. Entomology of National Taiwan University, Taipei. 50pp. (In Chinese)
- Ye, L., Buck, L. M., Schaeffer, H. J. and Leach, F. R. 1997. Cloning a sequencing of a cDNA for firefly luciferase from *Photinus pennsylvanica*. *Biochemica et Biophysica Acta* 1339: 39-52.

附錄一 2011 年~2012 年池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查原始資料

採集日期	地點	中文名	學名	幼蟲數量	雄成虫數量	雌成虫數量
2011-04-24	環潭 健身	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	NA	NA	NA
2011-04-24	環潭 健身	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	NA	NA	NA
2011-04-24	環潭 健身	大端黑螢	<i>Luciola anceyi</i> Olivier	NA	NA	NA
2011-04-24	環潭 健身	梭德氏脈翅螢	<i>Curtos sauteri</i> Olivier	NA	NA	NA
2011-05-25	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	6	0	0
2011-05-25	池南區	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	51	4
2011-05-25	池南區	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	8	0
2011-05-25	池南區	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	4	2
2011-05-25	池南區	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	1	3
2011-05-25	賞鳥、遠眺步道	紋螢	<i>Luciola filiformis</i> Olivier	0	14	0
2011-05-25	健身 野餐	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	20	0
2011-05-25	健身 野餐	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	3	0
2011-05-25	荖溪	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	25	5
2011-06-26	野餐 環潭	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	1	2	0
2011-06-26	野餐 環潭	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	1	2
2011-06-26	野餐 環潭	赤腹櫛角螢	<i>Vesta impressicollis</i> Fairmaire	1	0	0
2011-06-26	野餐 環潭	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	1	0	0
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	2	0	0
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	1	0	0
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	0	1
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	0	2	0
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	8	0
2011-06-26	賞鳥 遠眺步道	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	2	8
2011-06-26	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	3	7	0

2011-06-26	池南區	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	1	2
2011-06-26	池南區	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	3	2
2011-06-26	池南區	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	3	0	0
2011-06-26	荖溪	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	1	0
2011-06-26	荖溪	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	0	4	0
2011-07-13	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	0	1	0
2011-07-13	池南區	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	2	0	0
2011-07-13	賞鳥 遠眺步道	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	0	2
2011-07-13	賞鳥 遠眺步道	雲南扁螢	<i>Lamprigera yunnana</i> (Fairmaire)	1	0	0
2011-07-13	野餐 環潭	黃肩脈翅螢	<i>Curtos mundula</i> Olivier	0	0	3
2011-07-13	野餐 環潭	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	0	3	0
2011-07-13	荖溪	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	0	2	0
2011-08-29	池南區	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	21	3	0
2011-08-29	池南區	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	20	0	0
2011-08-29	池南區	長胸窗螢	<i>Pyrocoelia</i> sp.	6	0	0
2011-08-29	賞鳥 遠眺步道	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	9	0	0
2011-08-29	賞鳥 遠眺步道	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	12	0	0
2011-08-29	野餐 環潭	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	16	0	0
2011-08-29	野餐 環潭	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	6	0	0
2011-08-29	荖溪	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	0	2	0
2011-09-24	池南區	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	6	0
2011-09-24	池南區	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	0	1
2011-09-24	池南區	雲南扁螢	<i>Lamprigera yunnana</i> (Fairmaire)	1	0	0
2011-09-24	池南區	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	25	3	0
2011-09-24	池南區	長胸窗螢	<i>Pyrocoelia</i> sp.	1	0	0

2011-09-24	池南區	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	12	0	0
2011-09-24	賞鳥 遠眺步道	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	15	2	0
2011-09-24	賞鳥 遠眺步道	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	10	0	0
2011-09-24	野餐 環潭	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	0	5	0
2011-09-24	野餐 環潭	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	16	0	0
2011-09-24	野餐 環潭	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	8	0
2011-09-24	野餐 環潭	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	1	0
2011-09-24	荖溪	橙螢	<i>Diaphanes citrinus</i> Olivier	0	2	0
2011-10-29	池南區	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	6	0	0
2011-10-29	池南區	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	25	0
2011-10-29	池南區	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	0	1
2011-10-29	池南區	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	3	0
2011-10-29	賞鳥 遠眺步道	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	8	0	0
2011-10-29	賞鳥 遠眺步道	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	11	0
2011-10-29	賞鳥 遠眺步道	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	4	0
2011-10-29	野餐 環潭	雲南扁螢	<i>Lamprigera yunnana</i> (Fairmaire)	1	0	0
2011-10-29	野餐 環潭	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	39	0
2011-10-29	野餐 環潭	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	7	0
2011-10-29	荖溪	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	5	0
2011-11-04	池南區	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	2	0	0
2011-11-04	池南區	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	34	0
2011-11-04	池南區	黃脈翅螢	<i>Curtos costipennis</i> (Gorham)	0	0	1
2011-11-04	池南區	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	5	0
2011-11-04	賞鳥 遠眺步道	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	1	0	0
2011-11-04	賞鳥 遠眺步道	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	16	0

2011-11-04	賞鳥 遠眺步道	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	0	3	0
2011-11-04	野餐 環潭	雲南扁螢	<i>Lamprigera yunnana</i> (Fairmaire)	1	0	0
2011-11-04	野餐 環潭	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	56	0
2011-11-04	野餐 環潭	姬脈翅螢	<i>Curtos impolita</i> (Olivier)	6	0	0
2011-11-04	荖溪	山窗螢	<i>Pyrocoelia praetexta</i> Olivier	0	3	0
2011-12-03	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	6	0	0
2011-12-03	池南區	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	36	0	0
2011-12-03	池南區	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	25	0	0
2011-12-03	池南區	大端黑螢	<i>Luciola anceyi</i> Olivier	26	0	0
2011-12-03	賞鳥 遠眺步道	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	30	0	0
2011-12-03	賞鳥 遠眺步道	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	9	0	0
2011-12-03	野餐 環潭	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	12	0	0
2011-12-03	野餐 環潭	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	57	0	0
2011-12-03	野餐 環潭	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	3	0	0
2011-12-03	荖溪	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	29	0	0
2012-01-12	池南區	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	5	0	0
2012-01-12	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	12	0	0
2012-01-12	賞鳥 遠眺步道	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	8	0	0
2012-01-12	賞鳥 遠眺步道	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	9	0	0
2012-01-12	野餐 環潭	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	12	0	0
2012-01-12	野餐 環潭	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	6	0	0
2012-01-12	池南區	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	6	0	0
2012-02-14	池南區	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	15	0	0
2012-02-14	賞鳥 遠眺步道	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	9	0	0
2012-02-14	賞鳥 遠眺步道	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	8	0	0

2012-02-14	野餐 環潭	蓬萊短角窗螢	<i>Diaphanes formosus</i> Olivier	7	0	0
2012-02-14	野餐 環潭	紅胸窗螢	<i>Pyrocoelia formosana</i> Olivier	6	0	0
2012-02-14	荖溪	NA	NA	NA	NA	NA
2012-03-30	池南區	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	73	0
2012-03-30	池南區	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	0	5	0
2012-03-30	池南區	小紅胸黑翅螢	<i>Luciola satoi</i> Jeng & Yang	0	4	0
2012-03-30	池南區	大端黑螢	<i>Luciola anceyi</i> Olivier	0	5	0
2012-03-30	賞鳥 遠眺步道	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	25	0
2012-03-30	賞鳥 遠眺步道	紋螢	<i>Luciola filiformis</i> Olivier	0	4	0
2012-03-30	野餐 環潭	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	9	0
2012-03-30	野餐 環潭	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	0	1	0
2012-03-30	野餐 環潭	小紅胸黑翅螢	<i>Luciola satoi</i> Jeng & Yang	0	0	0
2012-03-30	荖溪	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	6	0
2012-04-19	池南區	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	264	68
2012-04-19	池南區	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	0	87	20
2012-04-19	池南區	小紅胸黑翅螢	<i>Luciola satoi</i> Jeng & Yang	0	84	10
2012-04-19	池南區	大端黑螢	<i>Luciola anceyi</i> Olivier	0	12	2
2012-04-19	池南區	梭德氏脈翅螢	<i>Curtos sauteri</i> (Olivier)	0	24	1
2012-04-19	賞鳥 遠眺步道	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	58	12
2012-04-19	賞鳥 遠眺步道	紋螢	<i>Luciola filiformis</i> Olivier	0	64	9
2012-04-19	賞鳥 遠眺步道	梭德氏脈翅螢	<i>Curtos sauteri</i> (Olivier)	0	24	3
2012-04-19	野餐 環潭	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	291	75
2012-04-19	野餐 環潭	紅胸黑翅螢	<i>Luciola kagiana</i> Matsumura	0	84	16
2012-04-19	野餐 環潭	小紅胸黑翅螢	<i>Luciola satoi</i> Jeng & Yang	0	82	11
2012-04-19	野餐 環潭	梭德氏脈翅螢	<i>Curtos sauteri</i> (Olivier)	0	15	3
2012-04-19	野餐 環潭	赤腹窗螢	<i>Pyrocoelia sanguiniventer</i>	0	1	0

(Olivier)						
2012-04-19	荖溪	黑翅螢	<i>Luciola cerata</i> Olivier	0	156	33
2012-04-19	荖溪	梭德氏脈翅螢	<i>Curtos sauteri</i> (Olivier)	0	6	0

附錄二 池南國家森林遊樂區黑翅螢成蟲族群數量估算

採集日期	總捕抓數	再標記個體數	r21	r32	r31	日再補率	週再補率
2012-03-28	10	10	0	0	0	0	0
2012-03-29	13	9	4	0	0	0.31	0
2012-03-30	9	6	0	1	2	0.33	0.32
2012-04-19	332	332	0	0	0	0	0
2012-04-20	358	323	35	0	0	0.1	0
2012-04-21	316	252	0	49	15	0.2	0.15

附錄三 除草對於窗螢屬及短角窗螢屬螢火蟲幼蟲影響試驗

調查日期	各調查區	幼蟲數量	調查日期	各調查區	幼蟲數量	調查日期	各調查區	幼蟲數量
2011-07-13	除草區 1	0	2011-08-29	除草區 1	8	2011-09-24	除草區 1	11
	除草區 2	1		除草區 2	9		除草區 2	13
	除草區 3	0		除草區 3	10		除草區 3	14
	除草區 4	0		除草區 4	8		除草區 4	15
	除草區 5	1		除草區 5	8		除草區 5	14
	非除草區 1	4		非除草區 1	12		非除草區 1	12
	非除草區 2	5		非除草區 2	13		非除草區 2	14
	非除草區 3	6		非除草區 3	12		非除草區 3	11
	非除草區 4	5		非除草區 4	11		非除草區 4	13
	非除草區 5	5		非除草區 5	14		非除草區 5	15
	除草區上方 1	4		除草區上方 1	11		除草區上方 1	11
	除草區上方 2	5		除草區上方 2	13		除草區上方 2	12
	除草區上方 3	5		除草區上方 3	12		除草區上方 3	15
	除草區上方 4	6		除草區上方 4	14		除草區上方 4	14
	除草區上方 5	5		除草區上方 5	14		除草區上方 5	15

附錄四 遊客數量對於螢火蟲族群之影響

拍攝時間	環潭步道光點	環潭步道遊客	野餐步道光點	野餐步道遊客
2012-04-12 18:43	5	5	5	0
2012-04-12 18:46	0	5	6	0
2012-04-12 18:49	1	2	6	0
2012-04-12 18:52	6	21	8	0
2012-04-12 18:55	9	7	8	0
2012-04-12 18:58	32	0	12	0
2012-04-12 19:01	29	5	25	0
2012-04-12 19:04	34	15	36	0
2012-04-12 19:07	30	0	32	0
2012-04-12 19:10	45	1	47	0
2012-04-12 19:13	58	0	56	0
2012-04-12 19:16	67	1	54	0
2012-04-12 19:19	85	6	87	0
2012-04-12 19:22	97	11	95	0
2012-04-12 19:25	109	48	113	0
2012-04-12 19:28	115	1	117	0
2012-04-12 19:31	128	0	130	0
2012-04-12 19:34	126	0	124	0
2012-04-12 19:37	126	10	123	0
2012-04-12 19:40	124	5	124	0
2012-04-12 19:43	127	25	128	0
2012-04-12 19:46	135	26	134	0
2012-04-12 19:49	124	48	134	0
2012-04-12 19:52	169	3	178	0
2012-04-12 19:55	138	11	165	0
2012-04-12 19:58	125	26	125	0
2012-04-12 20:01	122	33	121	0
2012-04-12 20:04	126	45	124	0
2012-04-12 20:07	121	33	123	0
2012-04-12 20:10	119	26	124	0
2012-04-12 20:13	121	17	123	0
2012-04-12 20:16	126	26	126	0
2012-04-12 20:19	118	25	117	0
2012-04-12 20:22	124	19	123	0
2012-04-12 20:25	130	24	127	0
2012-04-12 20:28	116	33	114	0

2012-04-12 20:31	109	49	114	0
2012-04-12 20:34	94	17	93	0
2012-04-12 20:37	104	24	91	0
2012-04-12 20:40	91	9	91	0
2012-04-12 20:43	84	12	84	0
2012-04-12 20:46	90	11	89	0
2012-04-12 20:49	80	8	79	0
2012-04-12 20:52	64	15	64	0
2012-04-12 20:55	70	13	69	0
2012-04-12 20:58	71	6	71	0
2012-04-12 21:01	62	10	59	0

附錄五 期初報告會議紀錄

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查計畫」
期初報告審查會議紀錄

一、開會時間：100 年 6 月 28 日（星期二）上午 10 時 00 分

二、開會地點：本處 3 樓會議室

三、主持人：莊秘書明順 紀錄：吳玫霏

四、出（列）席單位及人員：詳如簽到單

五、主席致詞（略）

六、與會委員、人員意見：

委員	委員意見	回覆情形
黃老師 國靖	1. 至目前調查次數不多，僅能比較 4、5 月份調查所得，為何 4 月的種類僅幾種與 5 月的種類不同？ 2. 採樣路線圖應於報告中呈現。 3. 除草試驗區相連，是否會互相影響，樣區設置建議再考量。 4. 遊客高峰期與螢火蟲密度的比較是否相對？ 5. 建議於文中再補充調查方法，英文摘要用字、學名書寫務必正確。	1. 4 月之前期調查以確定調查路線為主，僅進行定性調查，而 4 月及 5 月之種類不同乃因，種類間之生活史不同所致。 2. 將依建議修正。 3. 將除草試驗區改至樟樹林，並將原本 4 個相鄰的 50 x 3 公尺的處理樣區，改成間隔的小樣區。 4. 遊客量及高峰期如對螢火蟲密度造成影響，會反應於密度之上，因螢火蟲會往人為干擾較少處移動，但如人為干擾不影響螢火蟲，則螢火蟲密度因無更動。 5. 將依建議修正
梁技士 勝評	1. 針對除草高度試驗，選擇路線可能有造林地例行除草問題，是否能調整至樟樹林區內進行。	1. 將依建議調整至樟樹林區內進行除草高度試驗。

委員	委員意見	回覆情形
黃技士 子銘 (提供 書面意 見)	1. 本計畫除調查螢火蟲資源外，亦將採集蝸牛及拍攝蛇類照片，並建立名錄，建請於計畫執行完畢後，將所調查之照片提供本局處無償使用，俾利後續網頁、摺頁之應用。 2. 本計畫將採集螢火蟲個體製成酒精浸液標本，請執行團隊依據野生動物保育法相關規定，事先提出申請。 3. 有關螢火蟲資源調查結果與池南森林遊樂區分區管理建議(p15)中提及將螢屬類螢火蟲及幼蟲棲息地設置為生態保護區，而黑翅螢及山窗螢成蟲棲息地作為育樂設施區，是否與目前池南森林遊樂區之分區情形造成衝突，請說明。相關調查成果應確實納入遊樂區整體規劃中考量。 4. 氣候變遷因素是否影響螢火蟲之發生期，請執行團隊列入考量研析。 5. 期初報告中提及池南森林遊樂區擁有豐富螢火蟲資源，鯉魚潭亦為重要賞螢季活動辦理地點，建請執行團隊協助提供國內外賞螢活動之辦理方式及應注意事項，以為後續活動辦理之參考。	1. 本計畫拍攝之照片，將無償提供給貴局處使用。 2. 由於採集之螢火蟲為非保育類野生動物，顧已依規定向花蓮縣政府提出採集申請。 3. 目前之調查成果其實為池南森林遊樂區分區經營管理之結果，育樂設施區之遮蔽度較森林保育區或生態保護區為少，且人為活動較多，而只有黑翅螢及山窗螢成蟲較能忍受人為干擾，而幼蟲較無法忍受人為干擾，故多出現於賞鳥、遠眺步道或土地公廟之自導步道，而此些地區為池南森林遊樂區之森林保育區。 4. 氣候變遷會影響螢火蟲之發生期，固本計畫亦會參照花蓮地區氣象站資料，同時亦會攜帶溫濕度計、遮蔽度計，測量螢火蟲微棲地之溫濕度及遮蔽度。 5. 鯉魚潭之賞螢季在縱管處及民間社團協力之下，是國內賞螢品質相當好之賞螢活動，但可參照日本日間賞螢之模式，於日間帶領遊客於螢火蟲棲地進行其他物種之生態導覽，於夜間賞螢時，僅導覽人員佩戴手電筒，將光汙染減至最少。
新城站 張技佐 詠嬋	1. 調查成果可否呈現各種螢火蟲的成蟲、幼蟲、出沒區域？ 2. 幼蟲受的干擾是否可列入考慮？如：踩踏頻杜、除草干擾。 3. 為方便閱讀，建議文內加註圖所在頁碼。	1. 依建議於期中、期末報告上，將調查成果標示依種類、幼成蟲，標示於地圖之上。 2. 2011年7~9月將進行除草高度對於幼蟲之干擾試驗，而人類踩踏頻度之影響亦會直接影響到本試驗之結

委員	委員意見	回覆情形
		果。 3. 依建議更正加註頁碼。
南華站 許技正 芳嘉	1. 請加入目錄及前人研究。 2. 參考文獻請再次確認更正。 3. 第 12 頁已有說明調查螢火蟲目的，但尚未說明蝸牛、蛇類及螢火蟲間的關係。 4. 第 13 頁調查樣區位置圖之圖示請統一，另鯉魚山步道區未有圖示。 5. 第 14 頁”合宜”承載量，實際上是指”最大”承載量？遊客承載量紀錄的是每季或每個時段？另對本案遊客量控管機制可否提出建議。 6. 第 15 頁倒數第 3 行應是「森林生態保育區」非「生態保護區」，並請提出管理建議（如：環境營造及維護注意事項）。 7. 第 16 頁 4 月調查資料有敘述未列表，5 月調查資料有列表未說明，請統一。	1. 依建議於期中、期末報告加入。 2. 依建議於期中、期末報告更正。 3. 蝸牛為幼蟲食餌，而蛇類為進行服務建議簡報時，貴處希望本團隊加入蛇類調查，以作為維護夜間生態觀察之參考。 4. 依建議於期中、期末報告，統一格式，並於圖上進行標示。 5. 遊客承載量之試驗，所獲得之結果為最大承載量，單位為每夜；另會與賞螢生態導覽之承辦單位「花蓮縣棲地保護協會」商討，適合的遊客量控管機制。 6. 依建議更正，並於期中、期末報告中提出管理建議 7. 依建議統一。
玉里站 蘇技士 文記	1. 請詳列所調查到的螢火蟲種類，若有幼蟲、成蟲及成群飛螢的照片更佳。 2. 為提升環境教育內容及遊客賞螢興趣，建議製作相關影片，內容應包括螢火蟲種類、生命史，螢火蟲多寡如何代表環境品質的良窳…。	1. 本調查成果將詳列區內各分區之螢火蟲資源，並建立完整螢火蟲種類名錄，拍攝之個體照片，群體生物發光照片，均將無償提供貴局處使用。 2. 林務局已另有計畫補助”戀戀火金姑”之生態影片拍攝，且影片已拍攝完畢並結案，本計畫所獲得之成果，除將印行成紙本外，亦會提供電子檔案，並燒錄成光碟。

委員	委員意見	回覆情形
育樂課	1. 報告格式請依照林務局規定。 2. 調查方法請再補充，並將攜回研究室的個體分析一併納入。	1. 期中、期末報告依林務局規定。 2. 在期中、期末報告中，會詳述飛行攔截網架設法、材料及架設地點；攜回研究室之標本會先進行種類鑑定，之後浸置於 95% 藥用酒精，作為酒精標本。

七、 結論：請計畫執行單位依與會委員、人員意見納入修正，本計畫期初報告審查通過。

八、 散會：12 時 00 分

附錄六 期中報告會記錄

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查計畫」
期中報告審查會議紀錄

一、開會時間：100 年 12 月 5 日（星期一）上午 10 時 30 分

二、開會地點：本處 3 樓會議室

三、主持人：莊秘書明順 紀錄：吳玫霏

四、出（列）席單位及人員：詳如簽到單

五、主席致詞（略）

六、與會委員、人員意見：

委員	委員意見	回覆情形
黃老師 國靖	1. 書面報告有諸多錯誤，請修正。（如：摘要應善用標點符號並注意文法、部分數據前後不符、參考文獻前後文不符及排序有誤等...）。 2. 調查方法應將採樣點、方法、地圖等一併加入。 3. 第 15 頁除草”高度”建議刪去，並補充遮蔽度調查方法，如：如何算出、使用工具、計算方式。 4. 第 17 頁表 1 所用顏色不易區分，內容請配合內文修正（黃肩脈翅螢、長胸窗螢）。 5. 第 20 頁圖 2，Y 軸請補上個體數，且幼蟲、成蟲應分別看，更具生態意義。 6. 第 22-23 頁野餐觀景部分，文、圖、表的數量應一致。 7. 第 26 頁之圖 8 請修正為圖 9，圖 9 修正為圖 10；第 31 頁圖 15 請修正為圖 16、圖 16 修正為圖 17。圖 11-15 文中均未有文字說明。	1. 依建議修正 2. 將加入採樣點地圖、陷阱照片 3. 依建議刪除，並加入遮蔽度測量儀使用法及計算方式 4. 將統一顏色，一種螢火蟲只用一種顏色 5. 將補上個體數，並將幼蟲、成蟲數量分開計算 6. 依建議修正為一致 7. 依建議修正並補充說明

委員	委員意見	回覆情形
	8. 第 33 頁有關除草的推論有問題，請再思考。 9. 第 34 頁第 1 行 17 種、第 2 行 15 種，數字有誤請修正。 10. 本計畫目前只作 canopy，建議增加濕度量測。	8. 與梁勝評委員討論後，目前之調查結果僅可顯示”除草”並不影響非除草區螢火蟲數量，而 7~9 月之螢火蟲數量有差異，應是除草強度造成，因 7 月時除草強度大，除草後螢火蟲微棲地植被幾乎被除光，故除草區螢火蟲數量極少，而 8、9 月雖仍有除草，但強度較低，且植被逐漸回復，故螢火蟲幼蟲數量逐漸上升 9. 依建議修正 10. 依建議增加濕度量測
紀課長 有亭	1. 荖溪樣點便道不通應可步行進入。 2. 設置樣點應有明顯的告示牌（美耐板）。 3. 建議環境因素（如：濕度、刈草等）一併納入考量。 4. 本計畫調查所得種數與縱管處委託陳燦榮老師調查結果 40 多種差距甚大，請補充說明。	1. 之後將步行進入荖溪區調查 2. 將製作告示牌，載明陷阱用途 3. 依建議修正 4. 本調查目前仍未發現日行性螢火蟲，之後會採用黃色黏蟲板，希望能採集到日行性種類，而陳燦榮老師之調查結果包含了許多冬天出現的中高海拔螢火蟲，而本調查地區為低海拔山區，故無法記錄到中高海拔山區隻螢火蟲
黃技士 子銘 （書面 意見）	1. 各螢火蟲調查樣區若有座標值，建議請研究團隊，協助將調查資料鍵入國家森林遊樂區環境監測系統，俾利建立長期生態及物候資料庫。 2. 第 28 頁，圖十部分之圖示文字重疊，請研究團隊予以調整。 3. 本次調查資料相當寶貴，建議貴處後續可運用製作主題摺頁。	1. 以參加長期生態及物候資料庫研習會，會於本報告結案前，將原始資料上傳 2. 依建議修正 3. 由於合約並無規定製作主題摺頁，如欲製作摺頁，需另案進行
梁技士 勝評	1. 建議於圖、表%後加註數量。 2. 何種螢火蟲具觀賞價值？建議連同出現時間、地點及特色加入說明。	1. 依建議於期末報告中修正 2. 依建議於期末報告中修正並提出說明

委員	委員意見	回覆情形
玉里站 高技佐 雋	1. 建議圖表增加各月各區各種調查的數量結果，配合圓餅圖能更了解每月螢火蟲狀況，另外成蟲、幼蟲也請註明。 2. 建議詳述調查樣點位置、地圖、調查方法、時間間隔、捕捉方法及標本處理方法等等資訊。 3. 建議期末時除提供蛇、蝸牛照片外，請加強說明與螢火蟲（成/幼）關係。 4. 請加上遮蔽度數據加強說明與討論。 5. 請增加關於成/幼蟲出現時間與各地優勢種的可能原因，可配合第 4 點數據進行討論。	1. 依建議更正 2. 依建議更正並補充照片 3. 目前調查結果並無發現蛇類，如發現將依合約之內容請專家鑑定並載明於期末報告中，蝸牛目前僅發現兩種：盾蝸牛及斑卡拉蝸牛，將載明於期末報告中，並會說明螢火蟲幼蟲與蝸牛之關係。 4. 依建議修正 5. 依建議修正
育樂課	1. 請於期末報告加入未來保育對策之建議。 2. 本計畫招標時所訂之各項計畫目標，請於期末報告中一併呈現。	1. 本次期中報告僅 2011 年 5~10 月之調查結果，依服務建議書內容尚有一次除草對於熠螢屬螢火蟲影響試驗、賞螢遊客人數對於熠螢屬螢火蟲影響將於 2012 年 3 月進行試驗 2. 於此兩試驗完成後，將於期末報告提出未來保育對策之建議，並呈現合約內容所規定之各項計畫目標。

七、結論：請計畫執行單位依與會委員、人員意見納入期末報告修正，本計畫期中報告審查通過。

八、散會：12 時 00 分

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「池南國家森林遊樂區螢火蟲資源調查計畫」
期末報告審查會議紀錄

一、開會時間：101 年 6 月 5 日（星期二）上午 10 時 30 分

二、開會地點：本處 3 樓會議室

三、主持人：莊秘書明順 紀錄：吳玫霏

四、出（列）席單位及人員：詳如簽到單

五、主席致詞（略）

六、與會委員、人員意見：

委員	委員意見	回覆情形
黃老師 國靖	1. 表一資料是否具有可信度？是否有採集誤差？據此即可看出生活史？物種資料、部分地區、月份只有成蟲或幼蟲記錄，為什麼？ 2. 圖一、二出現 0%物種，數據處理請修正。 3. 各調查地區之表、圖所呈現之螢火蟲種數不相符，請仔細核對。 4. 各派圖所標示之螢火蟲比例是包括成蟲+幼蟲？ 5. 除草對螢火蟲影響，建議如下： 方法宜補充說明。 所指窗螢、短角窗螢，是屬或種？ 除草方式應說明。 摘要➡除草方式...並不造成螢火蟲幼蟲數量減少...，應更嚴謹說明結果是指什麼？如物種只針對窗螢屬及短角窗螢屬之螢火蟲。不同時間、幼蟲數量、齡期等，是否有不同結果？ 6. 再捕率較高（32.05%、15.01%）如何	1. 表一可看出池南國家森林遊樂區內，18 種螢火蟲容易發現的時間及階段，雖無法看出生活史，但仍可發現較成熟之幼蟲及成蟲，但螢火蟲之蛹期，皆於土表之下營造土繭化蛹，故無法發現蛹期。 2. 依建議修正 3. 依建議修正 4. 各個派圖之比例均為成蟲加幼蟲 5. 依建議修正 6. 再捕率只要超過 3%，則標識再捕法所得之數據資料視為可信，將依建議增補文獻 7. 幼蟲困擾較大，因前三齡之幼蟲體型小，較難發現，故本調查採集到之幼蟲多為較成熟之幼蟲 8. 不同螢種對於遊憩壓力的不同反應，可能味道、氣流或光汙染造成，但都需要後續試驗證實 9. 依建議修正

委員	委員意見	回覆情形
	定義？請舉證（文獻報告）支持此論點。 7. 成蟲、幼重調查上存在困擾是否相同？ 8. 不同螢種對遊客所帶來之遊憩壓力反應不同嗎？為什麼？evident?solution? 9. 報告仍有許多錯漏，宜應修正。摘要太冗長，再精簡。	
紀課長 有亭	1. 表一、四均有標明成、幼蟲，圖 1~18 卻沒有標示，應一致以利閱覽。 2. 請建議最不影響螢火蟲的除草時間。	1. 依建議修正 2. 為 1~2 月，會放入相關建議中
梁技士 勝評	1. 野餐”環潭”步道建議改成野餐”觀景”步道。 2. 「池南森林遊樂區」請改成「池南國家森林遊樂區」。 3. 環潭公路不屬於鯉魚山步道區範圍。	1. 依建議修正 2. 依建議修正 3. 依建議修正
新城站 廖主任 拯民	1. 請問閃光燈會減少山窗螢壽命，對其他螢火蟲亦影響嗎？ 2. 建議將本調查所得 18 種螢火蟲之照片、習性等資料加放於附錄，以利推廣。	1. 由於螢火蟲均同屬螢科昆蟲，且皆為負趨光性昆蟲，對其他螢火蟲因亦有影響。 2. 依建議放入附錄
新城站 張技佐 詠嬋	1. <討論>”分區利用之建議”的段落、建議事項可以條列方式呈現、凸顯重點。 2. 有關山窗螢成蟲受手電筒照射影響壽命之研究中，請問其照射之頻度或時間多長？ 3. 建議圖面上各區步道螢火蟲組成比例圖可統一放在一張地圖上呈現。 4. 有關遊客數量對螢火蟲族群影響之試驗，是否僅餘 2012/4/21 進行 1 天次的試驗而已？一般而言，試驗至少應進行 3 次重覆。另，遊客數量對螢火蟲族群影響之試驗，其環境變因造成各區原本的族群數量不同之因素難以排	1. 依建議修正 2. 該試驗方式如下： (一)、光源準備 五種色光 LED 燈泡(藍、綠、紅、紫、橘) 高亮度 LED 手電筒(分別罩五色玻璃紙及不罩) 傳統手電筒(分別罩五色玻璃紙及不罩) (二)、光源檢定 測定上述所有光源在 5cm~30cm(5cm 為一單位)的光譜 (三)、照光 每日晚間六點開始(螢火蟲開始發光後)，以各種光源 5cm~30cm 的範圍(5cm

委員	委員意見	回覆情形
	除，此不顯著之結論是否有待討論。 5. 原始調查數據再附於附錄中。 6. 表格及圖表眾多，請統合同一性質者可一併呈現比較，並說明各表格所呈現之數據計數方式等。	為一單位)照山窗螢 觀察其反應並比較 3. 依建議修正，但可能出現比例圖過小之問題。 4. 進行遊客量試驗，需有大量賞螢遊客的賞螢步道及無遊客之賞螢步道同時進行比較，故僅合適在星期六日進行。進行遊客量試驗之地點，為同一塊螢火蟲棲息地之上下步道(環潭步道、野餐步道)，故已將環境變因減小。 5. 原始調查數據已上傳林務局的 morpho 系統，但原始資料仍會以紙本附錄，附在成果報告中。 6. 依建議修正
南華站 許技正 芳嘉	1. 報告格式請依林務局規定格式製作。 2. 摘要請加入關鍵字及英摘。目錄沒有數字標題。 3. 報告中有調查記錄 18 種螢火蟲，可否於附錄附上名錄及彩色照片供參？ 4. 第 6 頁的理論研究建議可改為文獻回顧或前人研究。 5. 蛇類、蝸牛調查於結論未見有討論議題。 6. 調查路線圖要附上。 7. 同一作者之引用文獻，見議按發表年限排序。 8. 引用文獻少第 6 頁的 Newton(1995)及 Olivier(1907)2 篇文獻。 9. 報告第 44 頁有提及黑翅螢棲地營造方法，可否另外補充山窗螢、脈翅鼠、短角窗螢屬等之棲地營造方法，以供參考。	1. 依規定修正 2. 依規定修正 3. 依建議修正 4. 依建議修正 5. 1 年的調查過程中，於螢火蟲棲息地附近，發現 2 種蝸牛，但未發現蛇類，發現之蝸牛種類，將依建議修正，列入調查名錄結果中 6. 依建議修正 7. 依建議修正 8. 依建議修正 9. 依建議修正於建議中
萬榮站 陳技士	1. 本計畫除草樣區大小是否足夠下結論？	1. 除草試驗之結果只能印證，當除草範圍小時，只影響窗螢屬及短角窗螢屬幼蟲

委員	委員意見	回覆情形
怡心		分佈，但當全面除草時，仍會造成螢火蟲幼蟲數量減少。
玉里站 蘇技士 文記	3. 報告第 17 頁共發現 6 屬 18 種，但簡報資料有 7 屬，請確認。 4. 請具體建議適宜的辦理賞贏活動時間及民眾應注意事項；並提供閃光燈影響螢火蟲壽命相關資料。	1. 報告書誤植，應為 7 屬 18 種 2. 依建議修正，但閃光燈影響螢火蟲壽命之試驗，並非本計畫之正式試驗，而是計畫執行者吳加雄指導的高中生科展試驗，故僅能提供試驗結果，但無法提供原始資料。
育樂課	1. 請改善報告書之排版，如字型、行距、編號、換頁、目錄等，以利閱讀。 2. 前言偏重研究方面之論述，建議加強國內調查、實際應用相關資料。 3. 調查樣區、材料與方法等，建議輔以圖片、照片說明。 4. 請依契約規範提出相關建議。 5. 期初、期中及期末會議紀錄請併入成果報告附錄。 6. 第 16 頁黑翅螢標識再補法，請加入調查時間（如第 1 夜 19 時至 21 時）。 7. 圖二、四、六、八所用顏色不易分辨物種，請改善並加註個體數之數量。 8. 第 40 頁，...再補率較高，顯示該處黑翅螢成蟲族群相對封閉。不知是否還有其他意義？ 9. 表十請調整於 1 頁完整呈現。	1. 依建議修正 2. 依建議修正 3. 依建議修正 4. 已有提出相關建議，會將相關建議獨立為一章節，以利審定 5. 依建議修正 6. 依建議修正 7. 依建議修正 8. 再捕率高除顯示黑翅螢成蟲族群相對封閉外，也顯示黑翅螢的擴散能力較低，或除該棲地外，週邊地區因有光汙染，使得黑翅螢族群無法擴張。 9. 依建議修正

七、結論：本計畫期末報告審查原則通過，請計畫執行單位依與會委員、人員意見納入成果報告修正，成果報告需先送交各委員核可後，再行付印供本處驗收、付款。

八、散會：12 時 00 分

附錄八 螢火蟲之照片及簡介



黑翅螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 1500 公尺以下無光害的山區，在每年的 3-5 月，於無光害的山區道路、河岸或較空曠的草地上，都可發現其蹤跡，成蟲數量多且發光會同時明滅，故為賞螢季之主要觀賞螢種。



紅胸黑翅螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下之山區，與黑翅螢同時出現，但數量遠少於黑翅螢，成蟲偏好於林間暗處飛行，發光頻率快，發光顏色橙紅色。



小紅胸黑翅螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下之山區，與黑翅螢同時出現，但數量遠少於黑翅螢，成蟲偏好於林間暗處飛行，發光頻率快，發光顏色橙紅色。



紋螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 1000 公尺以下山區，雄蟲偏好於林間高處活動，而雌蟲則於地表活動，雄蟲發光頻率快，發光顏色橙紅色。



大端黑螢(方華德攝)

幼蟲陸生，棲息於海拔 2000 公尺以下山區，雄蟲偏好聚集在林間高處活動，發光頻率快，由於成蟲發生期亦為油桐開花期，成蟲會聚集在花叢中吸食花蜜，是臺灣目前少數會訪花的螢火蟲。



梭德氏脈翅螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於低海拔山區，成蟲發生期長，是夏季常見螢火蟲，成蟲發光持續，發光頻率較慢。



黃肩脈翅螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 1000 公尺以下山區，是夏季常見螢火蟲，也是數量較多的脈翅螢種類。



黃脈翅螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於低海拔山區，目前除分佈外，對其生態瞭解不多。



紅胸窗螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下山區，雄成蟲白天活動，但夜間也會發光，但發光微弱不明顯。



長胸窗螢(方華德攝)

幼蟲陸生，此螢種之生態資料仍相當缺乏。



山窗螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下山區，成蟲發生期為每年 9-11 月，為秋季常見螢火蟲，雄蟲發光持續，不閃爍，是臺灣體型最大之螢火蟲種類。



蓬萊短角窗螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 1500 公尺以下山區，雄成蟲發光持續不閃爍，是秋季常見螢火蟲。



橙螢(吳加雄攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下山區，數量多，是秋季常見螢火蟲，雄成蟲發光持續不閃爍。



雲南扁螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下山區，幼蟲發光亮度強，但成蟲不容易發現。



赤腹櫛角螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 2000 公尺以下山區，雄蟲發光微弱。



奧氏弩螢(方華德攝)

幼蟲陸生，主要棲息於海拔 1400 公尺以下山區，日行性螢火蟲。

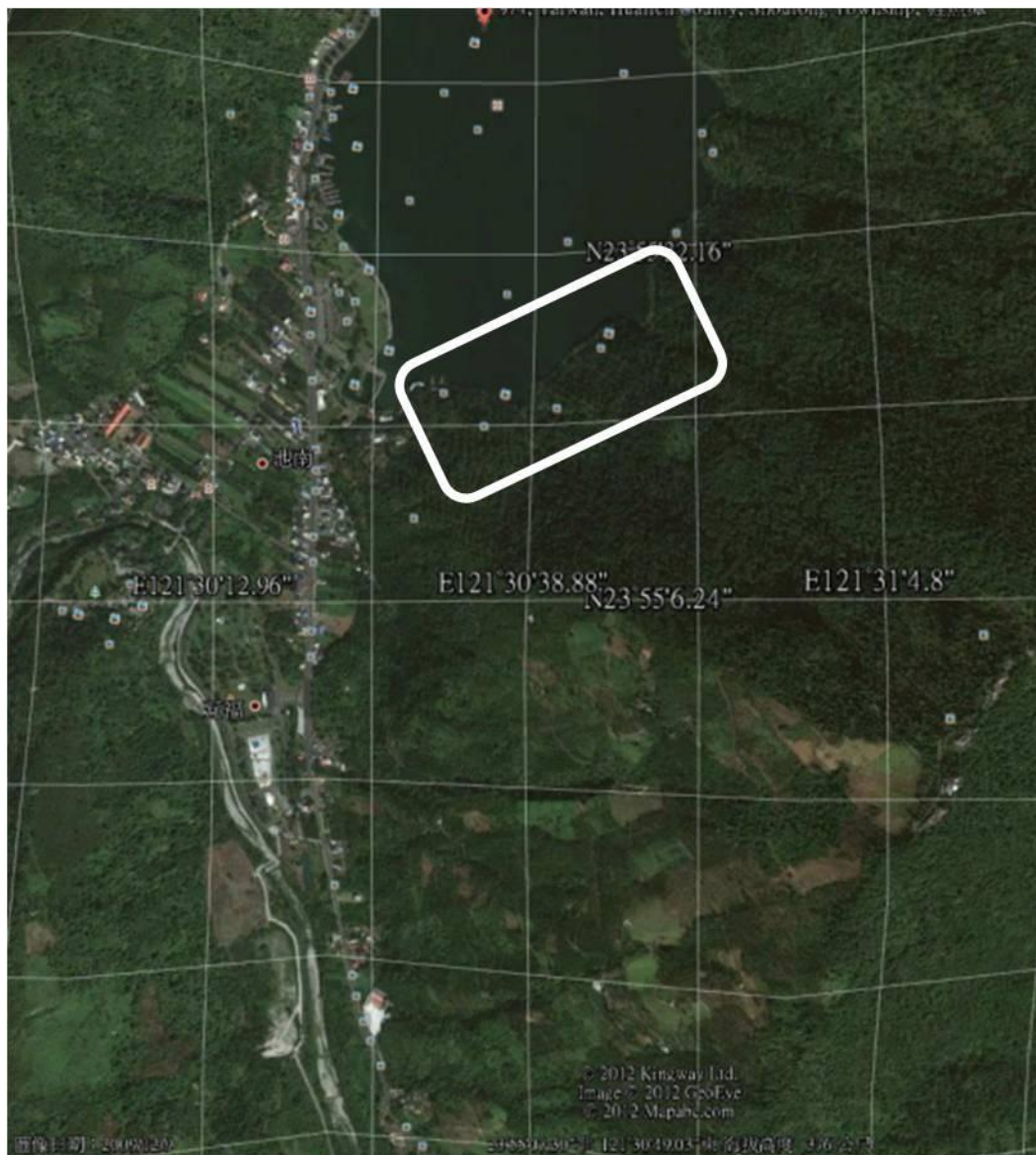
附錄九、池南區、荖溪及鯉魚山步道區穿越線調查路線圖



池南區穿越線調查路線



荖溪穿越線調查路線



鯉魚山步道區穿越線調查路線

附錄十、飛行攔截版及黃色黏蟲板照片



飛行攔截版



黃色黏蟲板