

國立彰化師範大學生物學系  
碩士學位論文

台灣銜蠓 *Forcipomyia taiwana* (Shiraki) 之  
族群變動及發生預測

Studies on population dynamics and forecasts of *Forcipomyia*  
*taiwana* (Shiraki) (Diptera: Ceratopogonidae)

研究生：顧仁傑 撰  
指導教授：林宗岐 博士  
中華民國九十九年八月

## 摘要

台灣缺蠓 (*Forcipomyia taiwana*) 是一種日行性昆蟲，族群日週期吸血活動 (diurnal blood-sucking activity) 由清晨開始逐漸上升，於上午十點至中午時刻達到高峰，黃昏時族群數則明顯下降。本研究藉由田間調查，記錄台灣缺蠓的出沒密度、吸血活動多寡，與溫度、濕度等氣象因子之關係。並嘗試估計其族群大小及變化趨勢，希望能從族群大小的變化趨勢中提前預測高峰期的來臨，及早以人類小腿誘集法誘集雌成蟲，將小黑蚊族群降低所需的社會成本與人力減低到最合理有效率的水準。台灣缺蠓雌成蟲在交配後伺機吸取人血為其一生中侵擾人類的階段，過去環保署以噴藥方式進行防治，不但效果有限，且會對環境造成二次公害。本文利用人體誘集法捕獲台灣缺蠓方法試圖降低期族群數量，處理區選定南投縣埔里國中試區，試驗分為兩階段進行，第一階段調查台灣缺蠓在不同季節的族群密度，第二階段大量誘捕台灣缺蠓雌成蟲，結果在處理前後之族群數量與密度比較皆顯示大量誘集台灣缺蠓雌成蟲可有效降低其族群密度。

關鍵詞：台灣缺蠓、族群變動、大量誘捕、氣象因子、無母數統計

## Abstract

*Forcipomyia taiwana* is a diurnal insect, population cycle of diurnal blood-sucking activity began to rise from the early morning, the peak at ten o'clock in the morning to noon and population size decreased significantly in evening. This research was studied by field investigation, recording the density of *Forcipomyia taiwana* in blood-sucking activity, and estimating the relationship between temperature, humidity and other meteorological factors with the density of *Forcipomyia taiwana*. We try to predict in advance of the arrival of the peak, and trap the female adults of *Forcipomyia taiwana* with human body trapping method as early as we can. Thus we can reduce the social costs of combating with this animal. The female adults of *Forcipomyia taiwana* start blood-sucking activity and harassment human after mating stage in their lives. At this stage, they seize opportunities to suck blood from human. EPA used to control the epidemic situation by spraying over the past, but it not only leads to limited effect, but also causes secondary pollution on the environment. In this paper, the human body trapping method was used to capture the female adults of *Forcipomyia taiwana*, and reduce the number of groups in selected test areas at Puli, Nantou County. Test is divided into two phases. At the first stage of the investigation we observe the population density in different seasons. At the second phase, we mass trapped females adults of *Forcipomyia taiwana*. As a result, the population size before and after treatment compared with the density of both shows that mass trapping female adults of *Forcipomyia taiwana* can effectively reduce their population density significantly.

Key words : *Forcipomyia taiwana*, population dynamics, mass trapping, meteorological factors, nonparametric statistics

# 目次

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目次.....	iii
圖目次.....	iv
表目次.....	v
前言.....	1
前人研究.....	3
材料與方法.....	20
台灣缺蠓誘集裝置及誘捕方式.....	20
台灣缺蠓的蟲源及處理試區.....	21
兩種密度監測技術相關性測試.....	27
氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化關係.....	27
氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係.....	28
大量誘捕對台灣缺蠓雌蠓族群密度之影響試驗.....	29
估計台灣缺蠓雌蠓族群大小.....	30
數據分析.....	31
結果.....	32
兩種密度監測技術相關性測試.....	32
氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化關係.....	37
氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係.....	42
大量誘捕對台灣缺蠓雌蠓族群密度之影響試驗.....	53
估計台灣缺蠓雌蠓族群大小.....	60
討論.....	62
兩種密度監測技術相關性測試.....	62
氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化關係.....	63
氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係.....	65
大量誘捕對台灣缺蠓雌蠓族群密度之影響試驗.....	68
估計台灣缺蠓雌蠓族群大小.....	69
結論.....	70
參考文獻.....	74

## 圖目次

圖一、人體誘集法與裝置示意圖.....	21
圖二、研究試區位置示意圖.....	22
圖三、樣區 A 環境與設施情形.....	24
圖四、樣區 B 環境與設施情形.....	25
圖五、樣區 C 環境與設施情形.....	25
圖六、樣區 D 環境與設施情形.....	26
圖七、樣區 E 環境與設施情形.....	26
圖八、7/3-7/5 及 8/1-8/3 台灣缺蠓密度與溫度關係圖.....	40
圖九、台灣缺蠓日週期數量與時間關係圖.....	41
圖十、台灣缺蠓在樣區 A、B、D、E 之季節消長 (2008.10 - 2010.7).....	47
圖十一、樣區 A、B、D、E 四個樣區之上個月日照 時數與台灣缺蠓族群季節性密度變化散布圖.....	51
圖十二、樣區 A、B、D、E 四個樣區之上個月降雨 日數與台灣缺蠓族群季節性密度變化散布圖.....	51
圖十三、台灣缺蠓族群密度與氣象因子在南投縣埔 里鎮樣區 A、B、D、E 之季節變化.....	52

## 表目次

表一、10 分鐘 ( $X_1$ ) 及 20 分鐘分鐘密度數據 ( $X_2$ ) 相關 係數分析.....	32
表二、10 分鐘 ( $\ln X_1$ ) 以及 20 分鐘分鐘密度數據 ( $\ln X_2$ ) 迴歸分析.....	33
表三、不同誘集蟲數下，10 分鐘 ( $\ln X_1$ ) 以及 20 分鐘 密度數據 ( $\ln X_2$ ) 相關係數分析.....	34
表四、不同誘集蟲數下，10 分鐘 ( $\ln X_1$ ) 以及 20 分鐘 分鐘密度數據 ( $\ln X_2$ ) 迴歸方程式分析表.....	36
表五、台灣缺蠓雌成蟲「20 分鐘誘集密度」與「10 分鐘 誘集密度」危害程度對照表.....	37
表六、樣區 D 及樣區 E 三日台灣缺蠓雌蟲密度與氣候因子 之相關係數.....	38
表七、以逐步迴歸分析於五個樣區 A、B、C、D、E 誘集 所得雌蟲數據與氣象因子的迴歸方程式 ( $p < 0.05$ ) .....	45
表八、A、B、C、D、E 五個樣區雌蟲季節性族群密度與 氣候因子之相關係數比較.....	46
表九、A、B、C、D、E 五個樣區雌蟲季節性族群密度之 相關係數比較.....	48
表十、氣候因子與平均誘集蟲數之相關係數.....	49

表十一、以逐步迴歸分析於樣區 A、B、D、E 誘集所得 雌蟲數據與氣象因子的迴歸方程式 ( $p < 0.05$ ).....	49
表十二、樣區 D 未經大量誘集處理前與對照組樣區 E 無 母數檢定表.....	54
表十三、樣區 D 經大量誘集處理後與對照組樣區 E 之無 母數檢定表.....	55
表十四、於樣區 D 及樣區 E 實施單人長時間誘集處理時 之每日時刻對照所誘得之蟲數.....	57
表十五、以 Hayne Extrapolation 與 Moran-Zippin 移除法 估算樣區台灣缺蠓雌成蟲族群.....	61

## 前言

台灣缺蠓(*Forcipomyia taiwana* (Shiraki)) 屬於雙翅目(Diptera) 蠓科(Ceratopogonidae) 缺蠓屬(*Forcipomyia*) 蠓蠓亞屬(*Lasiohelea*)，俗稱小黑蚊，是一種日間行動之吸血性昆蟲，通常飛行於 2 公尺以下之區域，叮咬人體小腿及腳踝等未受衣物掩蔽處，造成痛癢感，嚴重者產生過敏反應(黃，2000)。由於此缺蠓成蟲體長約 1.4 公厘(Sun, 1967)，並能穿越一般紗門縫隙侵入室內進一步危害，因此常使受害者被叮咬不易警覺。

台灣缺蠓主要出現於台灣與中國兩地的低海拔區域，在其他國家則尚未有其出沒之報導(陳，1980)。雖然此蠓目前在台灣尚未傳出有傳播任何疾病的記錄，但其雌成蟲嗜吸人血，吳和吳(1957)曾在中國福建省的雌成蟲體內分離出日本腦炎病毒，因此仍不能忽視潛在的致病可能。目前台灣缺蠓已遍佈全台灣，僅屏東及台東兩縣尚未發現蹤跡(謝，2007)，尤其於中、南部及花蓮山腳地區危害特別嚴重，衝擊當地風景區、旅館、商店、及住家，民眾生計及生活品質受到嚴重影響。

根據前人研究，台灣缺蠓屬日行性昆蟲，吸血活動自上午 10:00 逐漸增加，14:00 至 15:00 為吸血高峰(Sun, 1967)。Chen et al. (1981) 報導，吸血活動自早上 8:00 開始，於 14:00 達到活躍期，至黃昏時則完全消失。譚等(1989)研究顯示，台灣缺蠓之吸血活動於白天進行，12:00 至 15:00 為吸血活動高峰。由此可知台灣缺蠓在早上時段吸血活動逐漸開始，中午及下午吸血活動為高峰，黃昏時段蟲數則變少，顯示台灣缺蠓之行為有極明顯之日週期現象；一天之中，氣象因子亦



會隨上午、中午、至傍晚出現不同變化，台灣缺蠓日週期之吸血活動是否與氣象因子有密切之關係，尚值得探討。

而在季節性族群變動調查中，柳等（1964）於中國大陸閩南地區調查發現其族群密度在六月下旬為最高，而雨量對台灣缺蠓族群密度之影響較溫度為大。而在台灣臺南地區，探討台灣缺蠓族群密度之變化與溫度、降雨量、相對濕度、降雨日數、及日照時數等氣象因子之關係，結果顯示與上一個月的降雨日數、溫度及降雨量有顯著相關，而與當月的氣象因子進行分析，其結果顯示與溫度有顯著正相關（李和侯，1997）。在南投地區，族群密度與雨量、溫度作複迴歸，其迴歸式為  $Y = 5.74 X_1 (\text{溫度}) + 0.23 X_2 (\text{雨量}) - 90.18$ ， $R^2 = 0.348$ ，其結果亦顯示溫度是較重要之影響因子（Chuang et al., 2000）。所以綜合以上所述，台灣缺蠓之季節性族群變動在台南、南投、及中國大陸閩南等不同地區有些許不同，而氣象因子中之溫度、雨量及降雨日數可能影響台灣缺蠓季節性族群密度之變化。

張和葉（1997）利用水浴溫度、乳酸、及二氧化碳（CO<sub>2</sub>）模擬人體因子進行誘集，誘集效果每三小時可達 347 隻小黑蚊，此為物理防治方法；然而目前除以加強個人防護外，防治策略仍以藥劑為主：包括緊急藥劑防治（李和侯，1997；張和葉，1997）與冬季防治（王，1996；王等，1997），化學防治雖有立即成效，但效果較為短暫（李和侯，1997），此外長期施藥會造成環境及作物污染，且有抗藥品系產生之疑慮及環境污染等缺點（Day and Sjorgen, 1994; 陳，2004）。如使用物理防治將不致影響害蟲產生抗藥性，且對環境及其他生物衝擊的程度也能降低許多。因此，本研究擬使用物理防治方式大量誘集台灣缺蠓雌成蟲，並評估以此方式防治小黑蚊的成效。

## 前人研究

台灣銜蠓最早在 1913 年被日本昆蟲學家素木得一在台灣台中縣採得成蟲標本 (Shiraki, 1913)，定名為 (*Ceratopogon taiwanus*)，並且簡要描述其雌成蟲形態，之後素木氏再將其學名改為 *Lasiohelea taiwana*。有關台灣銜蠓進一步的形態描述則由 Tokunaga 於 1937 年發表，其後張 (1951) 亦於四川採集到雌蟲，並再次描述其形態，但除雌成蟲外部形態之外並未有其他方面的描述。1959 年，Tokunaga 與 Murachi 將 *Lasiohelea* 屬歸到 *Forcipomyia* 屬之下，此後台灣銜蠓之學名即為 *Forcipomyia (Lasiohelea) taiwana* (陳，1980)。

### 一、台灣銜蠓之分類地位：

台灣銜蠓屬於雙翅目 (Diptera)，蠓科 (Ceratopogonidae) 昆蟲。蠓科 (Ceratopogonidae) 昆蟲為雙翅目 (Diptera) 的小型昆蟲，全世界已知有 110 屬 6,000 多種 (Yu and Liu, 2006)，幼蟲生活於水中、土表或土壤中。多數蠓類叮咬無脊椎動物或吸食植物汁液，其中庫蠓屬 (*Culicoides*)、細蠓屬 (*Leptoconops*)、裸蠓屬 (*Austroconops*) 與銜蠓屬 (*Forcipomyia*) 等 4 屬已知會吸食脊椎動物血液 (Linley et al., 1983)，統稱吸血蠓類 (blood-sucking midges)。吸血蠓種類甚多，目前國際已記載的吸血蠓共有 1,700 餘種，其中以庫蠓屬 1,500 餘種最多，銜蠓屬則有 137 種 (Boorman, 1987; Meiswinkel et al., 1994)。台灣地區銜蠓屬之蠓蠓亞屬種類共有 24 種，其中僅台灣銜蠓與三地銜蠓 (*Forcipomyia anabaenae*) 確定吸食人血 (Lien, 1989, 1991)，而以台灣銜蠓危害最為嚴重。

## 二、台灣缺蠓之形態：

早期除雌蟲的外部形態外，對其他生長期之形態研究較為不足，於是 Sun (1967) 和 Sun et al. (1971) 初步建立實驗室飼養技術，針對卵、幼蟲、蛹及雌雄成蟲外部形態加以描述。裘和榮 (1980) 則藉由描述各齡期幼蟲、蛹、蟲卵的形態，用以區別台灣缺蠓與其他亞屬之差異。陳等 (1980) 則利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 對各蟲期形態特徵進行更細微的描述，使形態描述更加完整。莊 (1994) 成功在試驗室大量繁殖台灣缺蠓，對台灣缺蠓各齡期的生活史均有較詳盡的敘述。梁和曾 (2004) 曾將補捉後之台灣缺蠓雌成蟲放大 40 倍發現前端有一黑色針狀之口器長約 0.2 公厘，認為是雌成蟲依賴人血之原因，其它溫血脊椎動物則因皮膚較厚不易被吸血。

根據文獻，台灣缺蠓成蟲體長約 1.4 公厘，頭部黑色，觸角及口器深褐色，具複眼一對，雌成蟲兩複眼相連，雄成蟲則略分開 (周等，1999)。小顎鬚五節，第三節膨大，具一感覺窩，內具感覺毛約十多隻。觸角十四節，基節較大，雌蟲呈念珠狀 (moniliform)，雄蟲則為鑲毛狀。台灣缺蠓卵呈紡錘形或稱長橢圓形，長約 0.3 - 0.5 公厘，剛產出為淺黃色而後轉為深黑色。幼蟲孵化時，卵殼自末端約三分之一處斜裂，孵化後卵殼呈拖鞋狀 (王和葉，1997)。剛孵化之幼蟲體呈透明，老熟幼蟲體長約 2.5 - 2.7 公厘，黃褐色。前胸及最末一節各具一對之偽足，胸部三節及腹部一至八節各具兩對刺毛，呈火炬狀左右對稱。腹部最末兩節各具一對向後之角狀突起。蛹為裸蛹，長約 2 - 2.1 公厘，初蛹化時為淺褐色，至羽化前變為深褐色、頭粗尾細呈錐型，於前胸兩側具呼吸管一對，腹部背面除最後一節僅具兩個小突起外，其餘各節均著生四對瘤突，尾節之形狀雌雄不同，雄蟲尾部具一

對中央性片，此為雌雄蛹之主要區別（Sun, 1967；陳等，1980；王和葉，1997；周等，1999）。

### 三、台灣缺蠓之分布：

台灣缺蠓主要分布在中國大陸及台灣，中國大陸主要分布在四川省（張，1951）、福建省（包，1957；陳和蔡，1962；柳等，1964）、廣東省、廣西省（李，1975）、湖南省、湖北省、山東省（李，1975；裘和榮，1980；虞和劉，1982；譚等，1989），而台灣地區小黑蚊分布之調查顯示，從台北縣市、桃園縣、新竹縣、台中縣市、南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、花蓮縣、宜蘭縣(Chuang et al., 2000)、高雄縣（王，1997）等 12 縣之鄉鎮均已有採集記錄，其中以花蓮之秀林、新城、吉安、壽豐及瑞穗，台中市之大坑地區，台中縣之太平、霧峰，南投縣之竹山、鹿谷，台南縣之仁德、歸仁、關廟等地區發生最為嚴重（陳等，1982；莊，1994；李和侯，1997）。2002 年苗栗亦因小黑蚊為害而進行防治效果評估（李，2008）。2006 年調查結果顯示小黑蚊幾乎遍及全省，僅屏東及台東兩縣尚未發現其蹤跡（謝，2007）。在海拔高度分布方面，過去台灣缺蠓危害皆在海拔 150 公尺以下地區（莊，1994），目前漸漸提高至中海拔之範圍（200 - 400 公尺），1994 年最高曾在南投縣鹿谷鄉廣興村（海拔 350 公尺）發現，至 1996 年最高曾在南投縣信義鄉（海拔 470 公尺）發現（張和葉，1997），至今海拔 250 公尺以下者佔 78%，250~500 公尺者佔 15%；目前分布之最高紀錄為海拔 900 公尺，於南投縣魚池鄉九族文化村所調查獲得（謝，2007）。

#### 四、台灣缺蠓之生態習性：

台灣缺蠓之生活史包含卵、幼蟲、蛹、及成蟲四個蟲期，屬完全變態昆蟲。雄蟲不吸血，棲息於樹林及茂密竹林等地（柳等，1964）而以附近之露水或花蜜為食，在 25°C 下可活 22 日左右。雌成蟲嗜吸人血，一次飽血時間約 4~6 分鐘（譚等，1989）。於吸血後 3~4 日即可產卵（Sun, 1967；莊，1994），飽食血液之雌蟲平均約可產 35 粒卵。卵產於半遮陰且潮濕具有藻類或青苔之土壤表層，2~3 日之發育便孵化為幼蟲，幼蟲為陸生，分四個齡期，以魚腥藻等有機物為食，常出現在潮濕隱蔽場所。於排水不良之動物肥周圍之略濕地面及檳榔園、茶園及竹園等環境最常發生（柳等，1964）。在 28°C 下，幼蟲約需 16~18 日之發育生長即可化蛹。幼蟲在第四齡老熟時，會爬到水分較少處如飼育容器壁、土表、偶而在草莖部化蛹（裘和榮，1979；李，1996）。蛹常靜止不動，經過 3~5 日之發育即羽化為成蟲（Sun, 1967）。台灣缺蠓之族群約於早上時段開始即有吸血活動，隨後吸血活動之蟲數逐漸增加，在中午至下午時間達吸血活動高峰，至黃昏後則完全消失（譚等，1989；Sun, 1967；Chen et al., 1981）。

#### 五、台灣缺蠓之幼蟲孳生源與成蟲棲所

台灣缺蠓個體微小，故其成蟲棲息環境及幼蟲孳生地之研究調查相當困難。柳等（1964）於福建省利用飽和鹽水漂浮法調查幼蟲可能的孳生地，結果在樹蔭下腐植土發現幼蟲之陽性率（positive breeding rate）最高，而牆腳半遮蔭的青苔處次之；但過於潮濕且腐植質豐富的濕泥和完全向陽之土表未發現幼蟲。另於土壤分層調查中，認為其

幼蟲多數棲息於地表 1 公分之內，且發現幼蟲密度與當地降雨量和降雨天數有密切關係。

Chen et al. (1979) 報導，台灣缺蠓幼蟲之主要孳生源為房子或建築物之四周表土及樹蔭下之土壤表層，而且太濕或太乾皆不利幼蟲之生長。王和葉 (1997) 利用小型探照燈加上綠色鏡片，針對台灣缺蠓幼蟲孳生源調查，發現台灣缺蠓幼蟲之孳生源大多位於住家半徑 10 公尺內之範圍，其中於排水溝壁、花盆、圍牆壁、屋簷下及泵浦附近之土面上常有台灣缺蠓幼蟲之存在；另在河流周圍潮濕地上發現，距離河流 5 公尺處，富含魚腥藻及青苔之場所，平均每 10 平方公分有 0.80 隻幼蟲。

Chen et al. (1979) 在夜間利用真空吸蟲器調查可能之成蟲棲所，發現主要分布於雜草堆或灌木林中，且高度皆在 2 公尺以下。陳 (1980) 以人體誘集法調查成蟲之分布，結果顯示距離幼蟲孳生地 300 公尺內較多，而又以 100 公尺內更為顯著，其分布密度與幼蟲孳生地之距離間呈現指數曲線下降之趨勢。虞和劉 (1982) 經長期觀察成蟲的飛行活動，認為此為一種定向且非持續性的行為，因此雌蟲大多棲息於孳生源附近的植物叢中，等候寄主靠近而加以吸血。

## 六、台灣缺蠓之日週期活動

Sun (1967) 調查台灣缺蠓時，發現雌蟲自上午 10:00 至下午 17:00 於室外或侵入室內叮吸人血，吸血活動之高峰介下午 14:00 與 15:00 之間。一般台灣缺蠓在上午 8:00 始即具吸血活動，隨後開始上升，並於 14:00 到達高峰而後開始下降，至黃昏時則完全消失 (Chen et al., 1981)。譚等 (1989) 認為吸血活動只在白天進行，以中午 12:00 至

下午 15:00 為吸血高峰。張（1997）比較人體之小腿及小黑蚊誘集器調查台灣缺蠓之日週期，發現其高峰皆落在午後 16:30 至 17:00 之間。綜合以上所述台灣缺蠓為日行性昆蟲，吸血活動自早晨開始漸漸增加，中午至黃昏前達到高峰，至日落急遽下降。研究顯示台灣缺蠓於中午及下午吸血活動最為活躍。

## 七、台灣缺蠓之季節消長

柳等（1964）報導大陸閩南地區台灣缺蠓之族群密度在六月下旬最高，台灣缺蠓幼蟲之孳生與降雨量及降雨天數有密切關係，尤其當氣溫高於 25 °C 時，雨量之影響較溫度重要。

陳等（1982）以人體小腿誘集法於花蓮地區進行連續四年（1976 - 1979）密度調查，資料顯示自每年一月份起該蟲族群密度逐漸上升，至七月份達最高峰，八月至十二月則急遽下降，以路徑分析法測定族群變動與氣象因子間之關係，各因子對其族群單獨之影響程度依序為，日照時數 > 雨量 > 濕度 > 溫度。幼蟲之季節消長亦同時受溫度與雨量等因素之影響。

在台南地區，一年四季皆有缺蠓之發生，從十二月到次年二月間，台灣缺蠓雌成蟲密度較低，在七至十月則為族群密度之高峰期，其中尤以九月份之族群密度最高（李和侯，1997）。探討族群密度之變化與溫度、降雨量、相對濕度、降雨日數及日照時數等氣象因子之關係，結果顯示族群密度受前一個月之降雨日數、溫度及降雨量之影響較大，若以複迴歸分析，則顯示密度與當月溫度呈現顯著正相關（李和侯，1997）。

而於南投鹿谷鄉秀峰村及集集鎮隘寮社區，田間成蟲密度季節消長於六、七及八月達到最高峰，九月逐漸減少，十二月到次年二月間蟲數最低，直到次年三月後又逐漸發生，其每月族群之豐度與溫度及降雨量具有非常顯著相關，根據複迴歸結果指出溫度為台灣缺蠓猖獗之最重要的因子，隨著溫度上升(15 – 30 °C)密度也隨之增加(Chuang et al., 2000)。

## 八、台灣缺蠓的危害

台灣缺蠓為日間、室外吸血危害之小型的吸血性蚊子。常會造成常見的皮膚反應，而這種皮膚反應既痛且奇癢，同時出現紅色丘疹久而不退，其症狀依個人體質不同而異。除上述因叮咬造成個人身體之不適外，甚至可能影響該地經濟，尤其在中部地區小黑蚊引發的問題嚴重，以南投地區尤甚，南投鹿谷鄉魚蝦保護區清水溪沿岸一帶發現其大量分布，而使觀光事業受損甚鉅(黃，2000)。近年來，環保團體及研究單位為瞭解並防治其所造成的各種危害，已投注相當的人力及物力進行研究幼蟲孳生源調查及生態防治研究(王，1997)，但對於危害逐年加厲之小黑蚊至今仍無法有效控制族群密度，受害較嚴重之縣市僅能於成蟲密度較高之月份實施藥劑噴灑，稍減其危害程度，然而常因效果無法持續而成效不佳。

## 九、台灣缺蠓之防治

目前防治研究主要可分為化學、物理及綜合防治等三類。

### (一) 化學防治



張和葉(1997)在實驗室內使用 21 種藥劑測試對台灣缺蠓之藥效，結果顯示其在室內試驗之環境衛生用藥，分別對卵、幼蟲、蛹或成蟲都有極佳的效果。王(1997)針對商品藥劑進行藥效篩選，以除蟲菊精類對成蟲所產生的擊昏效果較有機磷類佳；對幼蟲之殺蟲效果，藥劑間並無差異；卵與蛹的試驗結果，是以有機磷類的陶斯松(Chlorpyrifos)或亞特松(Pirimiphos-methyl)藥劑之致死率較高。

在田間的化學防治上，1976 年台灣省傳染病研究所於花蓮縣秀林鄉首以二氯松(Dichlorvos)及馬拉松(Malathion)防治台灣缺蠓成蟲，施藥期間可使成蟲吸血活動降低，但停止施藥後短期間密度便再度升高。1982 年在台南縣歸仁、關廟等地，以大型噴霧車噴灑二氯松防治成蟲。1984 年接續在歸仁、龍崎、關廟等地利用超低容量(Ultra-Low Volume Spray, ULV)噴灑亞特松防治。1987 年在花蓮縣噴灑百滅寧(Permethrin)及陶斯松實施幼蟲防治，結果田間防治成本與效益皆以 40.8% 之陶斯松較佳(陳,1987)。周(1990)認為其孳生源過廣，使用殺蟲劑噴殺成蟲及幼蟲僅是治標方法，故提出防治台灣缺蠓的基本方法為清除其孳生源。莊(1994)指出各地環保單位針對台灣缺蠓普遍使用化學防治，其成效於施藥後僅能維持 3 - 5 天。謝(2007)測試幼蟲對昆蟲生長調節劑(Insect growth regulators, IGRs)之感受性，結果顯示二齡幼蟲對百利普芬(Pyriproxyfen)、氟芬隆(Flufenoxuron)及克福隆(Chlorfluazuron)之感受性均高於四齡，其中以百利普芬之藥效最佳。王(1997)於南投縣鹿谷鄉秀峰村田間實施冬季藥劑防治台灣缺蠓成蟲及幼蟲，使用熱霧機和超低容量噴灑法防治成蟲之成效並無差異，兩者皆有極

佳的成效，而使用生長調節劑（Sumilarv 0.5 粒劑）防治幼蟲之成效較差。

實施冬季藥劑防治，可延遲春季台灣鈹蠓族群之增長，並使其後之 6、7、8 月間族群密度不致遽增。李和侯（1997）利用亞特松行空間噴灑防治台灣鈹蠓成蟲，施藥成效最多維持約 7 日，藥劑處理一週後雌蟲數目又有逐漸增多之趨勢。李和曾（2006）在台中市大坑地區進行台灣鈹蠓之化學防治試驗，以熱煙霧機做空間噴灑防治成蟲，採用高壓動力噴霧機實施殘效噴灑以防治幼蟲。噴藥分為三階段，前期與中期均實施小黑蚊成蟲及幼蟲防治，後期則僅針對幼蟲進行防治。於供試期間，七個防治區之個別防治率皆介於 87 % - 97 %。

## （二）物理防治

物理防治的研究，主要利用台灣鈹蠓雌蟲吸血行為之偏好性加以誘集、或使用非化學藥劑之處理防治小黑蚊。張（1997）試驗不同條件對台灣鈹蠓之誘集效果，將其條件綜合製作成隔間式台灣鈹蠓自動誘集器，其中於比較不同來源之 CO<sub>2</sub> 時，以鋼瓶裝 CO<sub>2</sub> 之效果比人吹氣的效果好。而以誘集器調查鈹蠓之日週期活動與人小腿誘集結果相比，其誘集數量較低，但其誘集之高峰和人誘集相同，皆出現在下午四點半至五點之間。以水浴溫度、乳酸、CO<sub>2</sub> 設計模擬人體之誘集器進行成蟲誘集比較，綜合以上條件製作台灣鈹蠓自動誘集器，誘集效果每三小時達 347 隻小黑蚊雌蟲（張和葉，1997）。劉（2010）在台灣鈹蠓誘集器開發上使用不同光譜之光源試驗，發現發光二極體（Light-emitting diode, LEDs）誘集效果較日光燈為

優，其中以 8 顆 405 nm LEDs 之誘集效果最好；而化學物質方面：八烯醇、乳酸、及丙酮之較佳釋放速率分別為 0.7 mg/h、0.2 mg/h、4.8 mg/h，以八烯醇較具誘引力。二氧化碳則以 250 ml/min 釋放速率對台灣缺蠓之誘集效果較好。綜合以上結果，以八烯醇+二氧化碳+LEDs 三者組合之誘集器對台灣缺蠓之誘集效果最佳。鄧(2005)利用清水清除苗栗縣社區內喬、灌木樹葉樹幹上有機物作為清除食源之試驗假說，結果經水清洗後，小黑蚊數量由清洗前每單位時間之 5.6 隻減為 1.1 隻，經無母數統計分析顯示清洗防治效果十分顯著。

### (三) 綜合防治

李(1996)認為使用化學或物理防治短時間內極為有效，但只能治標，若配合教育宣導及環境整頓清除孳生源進行綜合防治才是治本之道。綜合防治採用方法：1. 環境整頓：清除孳生源，針對長有青苔藍綠藻類之表土進行清除，地面加鋪水泥或石板，或於社區密植韓國草類植物。2. 個人防護：戶外民眾可塗抹忌避劑(或防蚊液)或穿著長袖衣褲避免被叮咬。3. 物理防治：裝設細網目紗窗、紗門，以阻隔成蟲飛入室內。4. 化學防治：為緊急防治時之策略，於成蟲棲所做空間噴灑毒殺成蟲，於幼蟲孳生源施用殺幼蟲藥劑或生長調節劑。5. 教育宣導及社區參與：鼓勵社區居民共同參與防治工作，並加強宣導整頓環境及清除孳生源之要點。

## 十、族群大小估計

群體數目及相關參數的估計是一個重要問題，但由於時間、經費和試驗方式等方面的限制，一般只能調查到母群體的一部份，無

法調查到族群中的全部個體，因此利用此子群體中包含的資訊，使用捕獲再捕獲或捕獲移除等統計方法，可以得到有價值的估計值或進行假設檢驗等其他統計分析，還可對捕獲試驗方式提出設計建議。

### 1. 捕獲再捕獲法：Lincoln-Petersen 模型

此模型的應用記錄最早是在 1786 年，由 Laplace 應用其比例概念來估計法國的人口數目（Seber, 1982），隨後 Lincoln 於 1930 年再將其應用於北美的水鳥族群研究，而 Petersen 則是在魚類研究時對魚類進行標記（Byron, 2002）。此法是比較兩樣本的模型，第一次取樣中  $n_1$  隻被捕獲的動物被標記並放回野外群體中，接著第二次取樣中有  $n_2$  隻動物被捕獲，其中有  $m$  隻帶有第一次取樣所作的標記。第二次樣本中帶標記動物的比例應該近似整個群體中標記動物的比例  $\frac{n_1}{N}$ ，故群體總數  $N$  可以用：
$$N = \frac{n_1 \times n_2}{m}$$
來估計。此模型建立在以下的基本假設之上：群體是封閉的，即沒有出生、死亡和遷入、遷出的情況發生；所有動物被捕獲的機率相同；標記不會被遺失或忽略（Pollock, 1991）。由於在現實情況中經常有一個或若干假設不成立（往往使估計量產生嚴重偏差），因此此模型通常是不合適的。但是它給我們捕獲再捕獲的基本概念：標記帶有關於群體數目的資訊，此子群體模型可以推廣到母群體的情形。

### 2. 開放群體捕獲再捕獲法：Jolly-Seber 模型

Jolly (1965) 和 Seber (1965) 提出基本的開放群體模型。假設在某時刻進行捕獲抽樣，每次捕捉到的動物被做好標記並釋放回群體。由於出生、死亡、及遷移，群體數目在任意兩個捕獲時刻之間都會發

生變化。一般而言，不可能區分出生與遷入、或死亡與遷出，也不必將所有被捕獲的動物釋放回群體，因為不被釋放的動物可視為死亡或遷出。Jolly-Seber 模型假設動物之間沒有任何異質性，即所有動物在一次抽樣中被捕獲的機率相同（但每次抽樣中的機率不同），並且在任意相鄰的兩次抽樣之間的死亡率相同；不存在陷阱反應；標記不會被遺失或忽略；捕獲抽樣、作標記和釋放所用的時間很短，可以忽略。因為帶標記的動物可能死亡或遷出，第  $i$  次抽樣前帶標記的動物數目  $M_i$  是未知的，需要先行估計。注意到第  $i$  次捕獲之後，所有帶標記的動物可以分為兩類：第  $i$  次之前有標記，且第  $i$  次未被捕獲的  $M_i - m_i$  個，以及第  $i$  次捕獲後釋放回群體的動物數目  $R_i$  個（包括第  $i$  次時已有標記與第  $i$  次新做標記的動物），其中  $m_i$  是第  $i$  次捕獲到的帶標記動物數。這兩類動物在第  $i$  次之後至少被再捕獲一次的頻率應該近似相等，而它們至少被再捕獲一次的次數  $k_i$  與  $r_i$  是已知的，利用 Lincoln-Petersen 法，可以得到  $M_i$  的估計值：
$$M_i = m_i + \frac{k_i \times R_i}{r_i}。$$

### 3. 移除模型 (Removal Model)

有時由於捕獲方法導致動物死亡、商業利益、或環境衛生的考慮，被捕獲的動物不被釋放，而是永久性移出群體。為使參數可估，各個階段之間的捕獲機率（也稱為捕獲努力，catch effort）之比例應是已知的，其中最典型、也最簡單的情況是它們不隨時間變化，即捕獲機率为常數，對應背景為每次捕獲所用的時間或所花費的力量相同。如果只有兩次捕獲抽樣，令兩次捕獲的估計捕獲機率  $\frac{n_1}{N}$  和  $\frac{n_2}{N - n_1}$  相等，其中  $n_i$  是第  $i$  次捕到的動物數目 ( $i=1, 2$ )，則群體數目的估計為

$$N = \frac{n_1^2}{n_1 - n_2}。$$

而有  $k$  ( $k \geq 2$ ) 個捕獲階段的情形，最早由 Moran (1951) 和 Zippin (1956) 研究，而 Joan (1982) 將其應用於蟹蛛 (*Philodromus cespitum*) 的族群估計，之後又由 Seber (1982) 及 White (1982) 進行了較詳細的討論。設  $n_i$  為第  $i$  次捕到的動物數目 ( $i=1, 2, 3 \dots, k$ )， $P$  為任一動物在一個捕獲時刻被捕到的機率， $T = \sum_{i=1}^k n_i$ ，為整個過程中捕到的動物總數， $Q = \sum_{i=1}^k (k-i+1)n_i$ ，則似然函數 (likelihood function) 為一系列二項式分佈的乘積，整理之後為  $L = p^T (1-p)^{kn-Q} \times \frac{N!}{n_1!n_2!\dots n_k!(N-T)!}$ 。因此 MLE 是下列方程組的解：

$$\begin{cases} p = \frac{T}{kN - Q + T} \\ \frac{N-T}{N} = (1-p)^k \end{cases}$$

它具有強一致性 (strong consistency) 並且為漸近地常態分布 (asymptotically normal distribution)。此模型可以推廣到捕獲努力不同的各個階段，但其關係已知的所謂捕獲努力模型：第  $i$  次任一動物被捕到的概率為  $p_i = 1 - \exp(-\alpha f_i)$ ，其中  $f_i$  是第  $i$  次所花費的捕獲時間 ( $i=1, 2, \dots, k$ )， $\alpha$  是未知的參數。

## 十一、無母數統計理論與 K-S 檢定

一般統計方法通常假設母體分配已知，而採用樣本資料進行母體母數推估或檢定，然而當樣本無法符合檢定的母體假設，亦即當兩母體非常態分布也非對稱分布時，可以使用符號檢定，因為符號檢定不需要先前的母體假設。此種不需要關於母體分配假定之檢定，稱為自由分配 (Distribution-free) 的檢定，亦稱為無母數檢定 (Nonparametric

test)。

### **Kolmogorov-Smirnov Test (K-S 檢定法)**

Kolmogorov-Smirnov Test 亦可簡稱 KS-test 或 K-S 檢定法，是一種統計學上的數據分析技術，它專門針對分佈型數據組 (distributed data set) 進行測試，而非針對單一的離散數據 (single discrete data) (Young, 1977; Fasano and Franceschini, 1987; Justal et al., 1997; Chen and Hong, 1997; Kar and Mohanty, 2006; Meintanis, 2007)。K-S 檢定法被廣泛地應用來測試某一分佈型數據組是否出自某一參考分佈函數，例如均一分佈 (uniform distribution)、常態分佈 (normal distribution 或稱 Gaussian distribution)、指數分佈 (exponential distribution) 等等，在這種情況下的測試，稱為單一樣本測試 (OST, one-sample test)；而 K-S 檢定法也被廣泛地應用來測試某兩分佈型數據組是否出自同一分佈函數，在這種情況下的測試，稱為兩組樣本測試 (TST, two-sample test)。K-S 檢定法具有下列 3 項優點：

1. 不需對樣本數據組之分佈做任何假設，它是一種 non-parametric 及 distribution free 的測試技術。以 Student's t-test 為例，Student's t-test 假定受測數據組呈常態分佈，而且各數據組間的差別主要在平均期望值，若應用 Student's t-test 於非常態分佈數據組的測試，將可能增大測試錯誤的風險；另外 Chi squared test 則假定取樣誤差呈 Gaussian 分佈。
2. 使用數據組之累積密度函數 (CDF, cumulative density function) 曲線來進行測試，對 CDF 曲線之形狀及位置敏感，只在乎數據組間的相對分佈，與所使用之 X-軸的座標尺規 (scale) 無關，因此可依最佳視覺效果而隨意採用線性 (linear) 尺規或對數

(logarithmic) 尺規。

3. 將數據組以圖形方式顯示，使測試人員可目視偵測數據組是否呈常態分佈，以便更換適當的測試技術如 Student's t-test 來進行測試。本研究使用本統計方法，驗證大量誘捕對台灣缺蠔的防治是否具有顯著效果。

K-S 檢定法應用方式如下：

設  $X_1, X_2, \dots, X_m$  為第 1 族群之隨機樣品

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  為第 2 族群之隨機樣品

兩樣品互為獨立，且觀測值依大小順序排列。

假設檢定：

$H_0$ ：兩族群分布相同，即  $F(X) = F(Y)$

$H_1$ ：兩族群分布不同，即  $F(X) \neq F(Y)$

統計分析：

1. 將欲被分析之第一組  $m$  個樣本數據組從小到大依序排列，即  $G_m(X)$ ；建構出第一組樣本數據組之 CDF 分佈曲線；
2. 將欲被分析之第二組  $n$  個樣本之數據組從小到大依序排列，即  $F_n(X)$ ；建構出第二組樣本數據組之 CDF 分佈曲線；
3. 求取  $G_m(x)$  與  $F_n(x)$  間之最大垂直差距的絕對值（稱為  $D_{m,n}$ ）；若各組  $G_m(X)$  及  $F_n(Y)$  差距小，表示兩族群之分布可能相同。 $D_{m,n}$  計算方法如下式： $D_{m,n} = \max |G_m(X) - F_n(Y)|$
4. 當實測  $D < D_{\alpha/2, m, n}$ ，則接受  $H_0$ ，反之則接受  $H_1$ 。 $D_{\alpha/2, m, n}$  可經由查表獲得。



## 十二、其他吸血蠓科昆蟲之研究

Bishop et al. (1998) 於實驗室內，測試 *Culicoides brevitarsis* (Kieffer) 在不同光照時間下對成蟲羽化的影響，結果發現黑暗會抑制此蟲羽化，光對其羽化及羽化之數量則有正面的影響。Cribb (2000) 於實驗室內，測試 *Forcipomyia (Lasiohelea) townsvillensis* 雌成蟲對於不同產卵基質之偏好，結果顯示雌蠓血餐後平均於  $4 \pm 0.2$  天後產卵，而飽血之雌蠓每隻平均則產下  $42 \pm 29$  顆卵，另有 13 % 的飽血雌蠓體內無卵的發育，而只有 5.5 % 之未完全飽血之雌蠓體內有卵發育。在產卵地點的試驗方面，以濕濾紙、濕沙粒、濕沙質土、長草之濕土、發霉的瓊脂培養基，以及含腐草之瓊脂培養基為基質分別進行測試，結果發現雌蠓只於濕濾紙上產卵，其卵平均於  $3.3 \pm 0.2$  天後孵化，孵化率平均為 43 %。在不同相對溼度下，雌成蟲之存活曲線試驗方面，於 35-98% RH 下可存活 20-30 日，其 50 % 死亡時間為 3 - 14 日，顯示 *F. townsvillensis* 可在濕度多變的環境下生存。另外，Cribb (2000) 認為在實驗室中穩定的食物供給下，減少了成蟲飛行的需要，使其壽命可能比在野外存活者長。而在幼蟲飼養行為之試驗結果中，幼蟲不可能在完全裸露的泥土中生存。

Mercer et al. (2003) 曾以各種基質飼育 *Culicoides periurban* 以及 *Culicoides insinuatus* 之幼蟲，結果顯示此兩種幼蟲皆有多數可自法國梧桐（中南美洲農作物）之腐爛的莖、花、及果實中羽化，而新鮮者則無。另在有機質含量較高的泥濘及土壤上也有少數幼蟲能羽化，但有機質含量較低的基質上則無任何羽化的情況。

而 Nunamaker 和 Lockwood (2001) 曾對 *Culicoides sonorensis* 的卵進行各項測試，結果發現將其蟲卵去卵殼、透化，以及充填冷

凍保護劑 (cryoprotectant) 等處理後，仍有多數的卵 (80.3%) 可孵化成幼蟲，然而將卵予以脫水則大幅減少其孵化率。Schmidtman et al. (2000) 對 *Culicoides variipennis* 複合種幼蟲之棲息地進行基底土壤分析後，發現不同種之間對鹽度的容忍性差異極大，如 *C. occidentalis* 棲息於加州夢娜湖 (Mono Lake)，其所能容忍的鹽度可達太平洋的 2.5 倍，遠超過其他種。根據土壤分析結果推測，鹽度因子會影響 *C. variipennis* 複合種之間的分佈。

在澳洲，Brei et al. (2003) 於試驗發現食物壓力會影響到蠓科 *Culicoides molestus* (Skuse) 幼蟲的存活。而 Cribb et al. (2003) 在研究調查 *C. molestus* 幼蟲棲地的特徵，結果得到即使在環境外表相同的蠓侵擾區及未受蠓侵擾地區，兩者棲地土壤之化學性質也有明顯不同，其中以土壤中陰、陽離子之濃度含量為影響其基本生長之環境因子。而此棲地土壤性質之不同，則為當地人類活動之後所造成的不同結果。在祕魯地區，Mercer et al. (2003) 對吸血蠓科昆蟲 *Culicoides paraensis* 進行樣區成蟲數及其樣區內幼蟲發育基質的調查，結果顯示此蟲的數量比例會隨著當地之地理位置的不同而有顯著差異。而且不論調查時降雨的強度大小為何，於乾、溼季月份中白天所收集到之蟲數比例是相似的。另外收集腐爛的大香蕉 (platoon) 基質中，發現有少數 *C. paraensis* 羽化，少量有機質的基質中則無此成蟲產生。在祕魯地區，*C. paraensis* 主要是從後院、花圃、較大的種植園、及人類血源可獲得之處大量孳生。上述 8 種吸血蠓科昆蟲之相關研究，可作為未來研究台灣缺蠓之參考。

# 材料與方法

## 一、台灣缺蠓採集裝置及誘捕方式

本研究主要針對小黑蚊雌成蟲進行族群密度調查，並於研究樣區以人體小腿誘捕。以往之相關研究資料指出，人體分泌之乳酸或  $\text{CO}_2$  等物質有相當誘引效果（張，1997；張和葉，1997；劉，2010），且台灣缺蠓雌成蟲嗜吸人血以產卵繁衍後代，故採以相關研究誘捕小黑蚊效果較佳之「人體誘集法」，即於試區試驗點裸露小腿部分來誘引雌成蟲，並在其停留於小腿上而尚未吸血之前，儘快以吸蟲管將其吸入，如圖一所示，每次誘捕時間 10 或 20 分鐘，分別誘捕並記錄數量。

本試驗誘集工具使用吸塵器，連接透明塑膠管、紗布、與寶特瓶組合而成之誘蟲器（圖一），調查方法為裸露人小腿部分來誘引雌成蟲。

1. 「10 分鐘密度調查」為以每人單隻裸露的小腿誘集 10 分鐘，記錄所誘集之蟲數（隻／小腿／10 分鐘），以平均捕獲之雌蟲數目作為台灣缺蠓族群密度之依據，每個樣區每次調查 10 分鐘。
2. 「20 分鐘密度調查」之田間調查地、調查方式、調查時間皆與「10 分鐘密度調查」相同，以人體誘集法進行台灣缺蠓吸血活動之調查，差別只在調查時以每人單隻裸露的小腿分別誘集 20 分鐘（隻／小腿／20 分鐘），以所誘集之蟲數作為台灣缺蠓族群密度之依據。

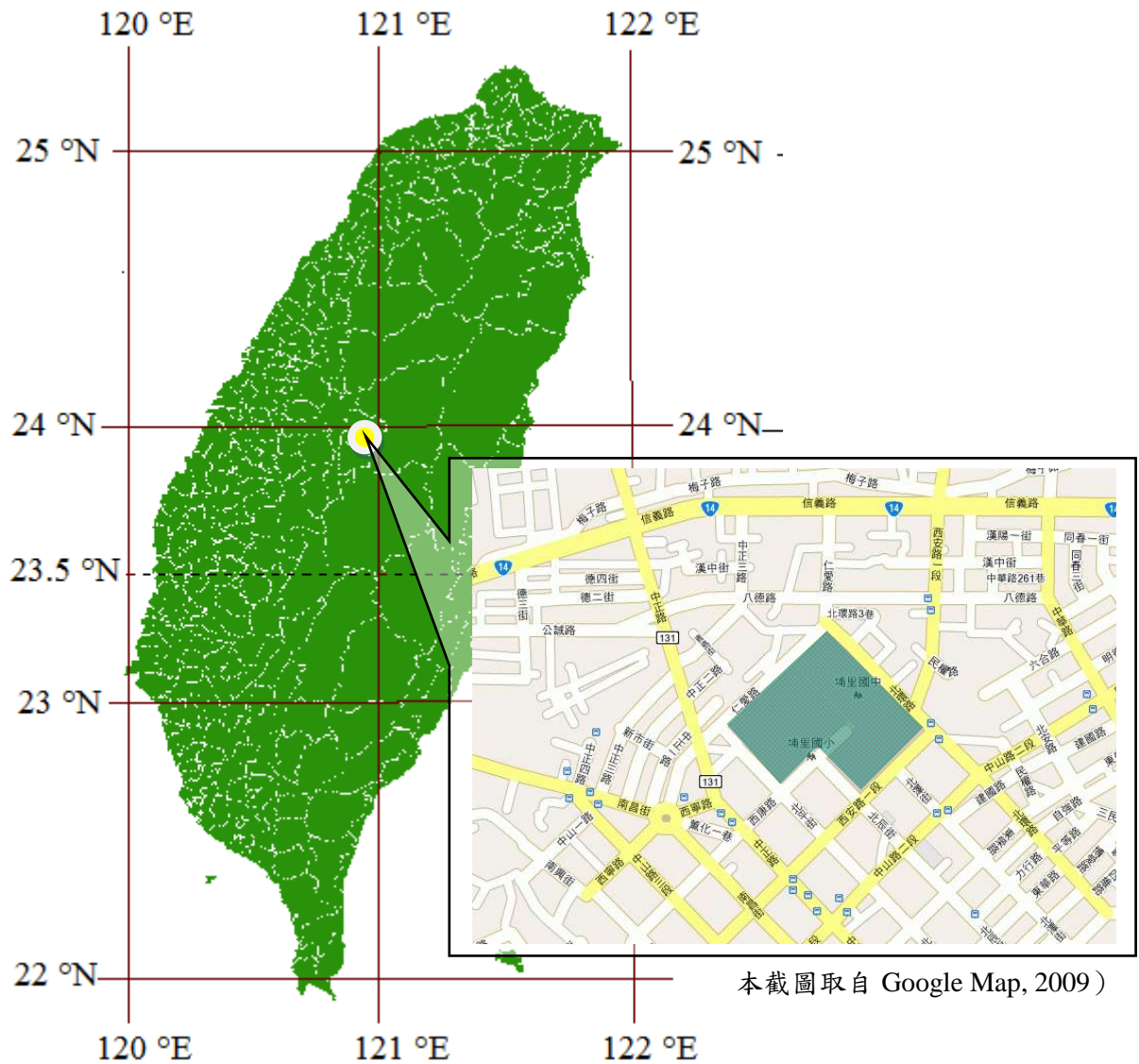


圖一、人體誘集法：以自製小黑蚊捕蟲器用人體誘集法捕捉台灣鉅蠓，待雌蟲被人體吸引而停在小腿上時將其吸入瓶中。

## 二、 台灣鉅蠓的蟲源及處理試區

本試驗所有蟲源皆採自南投縣立埔里國中，埔里國中位於南投縣內之埔里鎮，如圖二所示，埔里鎮位於台灣的地理中心，隸屬於南投縣，居南投縣境北部，東面和東北面為仁愛鄉，南面為魚池鄉，西面與西北距離台中 58 公里，往東距霧社 23 公里，往南距日月潭約 10 公里。地形上屬於典型的陷落盆地，同時是濁水溪和北港溪間盆地群中，位置最北，面積最大的一個盆地，四周群山起伏環繞，中央平坦，於山谷間呈星狀輻射，海拔約在 380 公尺到 700 公尺之間。氣候條件以 2009 年為例，平均溫度介於 22°C 到 23°C 之間，最冷的月份為 1 月，月均溫 13.2°C，最熱的月份是 7 月，最高溫度約 33°C。年雨量為 1,797 公厘，全年降雨約 112 日，以 8 月份最多，月雨量達 784.5 公厘，2 月份雨量最少，月雨量只有 3 公厘。埔里人口約 86000 多人，民風純樸，為中型鄉鎮。農作物以花卉、筴白筍、甘蔗、百香果、及

檳榔等為主。目前鎮公所全力發展觀光、休閒、「Long Stay」。觀光的發展使血源增加，部份地區台灣缺蟻肆虐嚴重。



圖二、研究試區位置示意圖：試區位於南投縣埔里鎮境內，約位於台灣之地理中心。實驗選於埔里鎮內之埔里國中進行 (E120°58'4.49"; N23°58'10.39")。

實驗所在校區約略成長方形、西北—東南向分布，全校師生約 2000 人，校內種植各式喬木與草皮，多處樹蔭濃密，部分場地小黑蚊肆虐嚴重，師生為小黑蚊所騷擾，影響教學活動，故進行本研究。

本研究試區選定五點進行小黑蚊誘捕試驗，誘捕試驗包括背景資料調查及試驗後之資料調查。環境溫度最高溫約 35°C，最低溫約 15°C，全年均溫約 23~25°C。考量一般小黑蚊可能飛行距離為 50 公尺左右（鄧，2005），故試驗點與試驗點間距離設定至少 50 公尺以上。各分布點之環境特性說明如下：

- 樣區 A：位於操場與籃球場之間草地，屬學校女壘隊以及體育課師生活動地點，附近有排水溝，地坪鋪面原本種植草皮，種植高大樹木，故部分區域樹蔭濃密，而另一部分區域則日照充足。98 年 9 月中旬學校施工改鋪水泥磚表面（圖三）。
- 樣區 B：籃球場旁，屬學生活動地點，附近有排水溝，與樣區 1 相距約 50 公尺，因球場旁種植整排喬木，部分區域樹蔭濃密，日照中等（圖四）。
- 樣區 C：位於操場跑道旁停車場，靠近操場地區較為空曠，風力稍大，無遮蔭，故中午時分日照強烈。（圖五）
- 樣區 D：位於位於操場司令台南側，附近種植喬木，與樣區 3 相距約 150 公尺，距離教室等學生人群聚集處較遠，僅體育課或綜合活動課有學生在此集合，本試驗點因有數棵喬木具有遮蔭效果，亦較接近迎風面（圖六）。

- 樣區 E：校門口警衛室。附近有教師辦公室及學生教室，時常有師生在此活動，附近有排水溝，地面種植草皮，日照中等（圖七）。



圖三、圖中顯示樣區 A 環境與設施情形，2009 年九月中旬學校施工改鋪水泥磚表面。a.施工前（2008.10-2009.9）；b.施工後（2009.9-2010.8）。



圖四、樣區 B 環境與設施（籃球場旁）。



圖五、樣區 C（地面畫白線處）。





圖六、樣區 D（位於位於操場司令台南側）。



圖七、樣區 E（位於校門口警衛室旁）。

### 三、兩種密度監測技術相關性測試

本試驗選於南投縣埔里鎮內之埔里國中為田間調查地，試驗區選擇校內籃球場旁樹蔭（樣區 B）、操場西南側司令台（樣區 D）、及校門口警衛室旁（樣區 E）三個試驗地點，其分佈位置如圖。每一測定點均同時進行「10 分鐘密度」及「20 分鐘密度」調查。自 2010 年 3 月 8 日起至 2010 年 6 月 19 日止，於每日上午 10:00 至下午 16:00 間隨機進行取樣，調查台灣缺蠓雌蟲密度，再將調查結果按蟲數分為 1-20 隻、21-50 隻、及 50 隻以上等三組，比較兩種調查方式產生之數據的相關性。

#### 分析方法

兩組原始資料經數值轉換後，進行相關係數分析，由具相關關係之資料進行迴歸分析後，以迴歸方程式探討模式之可行性。本試驗以 Excel 2007 先行分組製圖，再進行迴歸分析，迴歸線之信賴界限（confidence limit）為 $\pm 99\%$ 。

### 四、氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化之關係

本調查選於南投縣埔里鎮內之埔里國中為田間調查地，於 2010 年 7 月 3 日至 7 月 5 日在校內操場西南側司令台（樣區 D）、以及 8 月 1 日至 8 月 3 日在校門口警衛室旁（樣區 E），分別在這兩處樣區以人體誘集法對台灣缺蠓吸血活動進行單日長時間不間斷密集調查，調查自每日早上 9:30 至下午 16:30 止，誘集小黑蚊時，也記錄雌蟲被捕獲時的時間及當時的溫度（air temperature）、相對濕度（relative humidity）、風速（wind velocity）、與光強度（light intensity）。將實驗所得之台灣缺蠓族群密度數據分別與溫度、相

對濕度、當日雨量、風速、及光照度等氣象資料進行逐步複迴歸 (Stepwise Multiple Regression) 分析探討影響台灣缺蠓吸血活動之氣象因子，以了解其日週期族群密度變化與溫度、相對濕度、降雨量、風速、光照度等氣象因子之關係。

## 五、氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係

埔里地區台灣缺蠓族群密度監測調查自 2008 年 10 月 22 日起至 2010 年 7 月 31 日止，選定南投縣埔里鎮內之埔里國中為田間調查地，選擇校內操場北側草皮 (樣區 A)、籃球場旁樹蔭 (樣區 B)、停車場 (樣區 C)、操場西南側司令台 (樣區 D)、及校門口警衛室旁 (樣區 E) 五個試驗地點，以人體誘集法進行台灣缺蠓吸血活動之調查，固定選擇下午 15:30 - 16:30 之間一個小時進行調查，記錄台灣缺蠓密度與調查當時相關氣象因子之數值。

### 台灣缺蠓雌蟲 10 分鐘密度調查

調查時以每人單隻裸露的小腿誘集 10 分鐘，記錄所誘集之蟲數 (隻/小腿/10 分鐘)，以平均捕獲之雌蟲數目作為台灣缺蠓族群密度之依據；同時測量當地相對濕度 (relative humidity)、溫度 (air temperature)、及風速 (wind velocity) 等相關值，自 2008 年 10 月 22 日起至 2010 年 7 月 31 日為止，每 3 - 4 天調查一次，調查時間固定於該日 15:30 至 16:30 之間進行。

將上述台灣缺蠓族群密度數據依「日」為單位配合溫度、相對濕度、當日雨量、光照度、及風速等氣象資料進行逐步複迴歸 (stepwise multiple regression) 分析探討影響台灣缺蠓吸血活動之氣象因子，此為逐日比較所得之資料；再依「月」為單位計算該月

台灣缺蠓平均密度，配合該地本月月均溫、上月月均溫、本月平均濕度、上個月平均濕度、本月降雨量、上個月降雨量、本月降雨日數、上個月降雨日數、本月日照時數、上個月日照時數、及平均風速等共十一個氣象因子進行逐步複迴歸，以了解其每月族群密度之變化與相關氣象因子數值之關係。

## 六、大量誘捕 (Mass Trapping) 對台灣缺蠓雌蠓族群密度之影響試驗

### 1. 30 人集體大量誘捕試驗

本試驗選擇台灣缺蠓大量發生、密度集中之下午 13:30 - 16:30，30 人持續三小時以人體誘集法誘捕台灣缺蠓，再延續調查數日，觀察雌成蟲密度變化情形。

### 2. 單人長時間誘捕試驗

第一次自 2010 年 7 月 3 日起自上午 9:30 至下午 17:30 連續三日對樣區 D 進行大量捕捉，再調查接下來連續數日密度變化情形；第二次自 2010 年 8 月 1 日起自上午 9:30 至下午 17:30 連續三日對樣區 E 進行大量捕捉，再調查接下來連續數日的密度變化情形；預期以大量誘捕方式獲得部分防治效果；並利用移除法 (Removal Method) 進行線性迴歸，觀察變動情形估計該樣區台灣缺蠓族群大小。

分析方法使用成對母體平均數差異 T 檢定 (T-test) 檢驗和無母數統計分析方法 Kolmogorov-Smirnov 檢定法 (K-S 檢定法)，分析處理前、處理後對小黑蚊密度之分布是否具顯著變化。

## 七、估計台灣缺蠓雌蠓族群大小

以往要了解一個地區的台灣缺蠓危害情況普遍進行防治前後台灣缺蠓的族群密度調查，以每人單隻裸露的小腿誘集 20 分鐘所誘集之蟲數（隻/小腿/20 分鐘）作為台灣缺蠓族群密度之依據；然而除了透過密度調查之外，亦可觀察計算其族群大小，如此可以減少在每日不同時間採得台灣缺蠓密度不同產生的誤差造成誤判，例如在兩個危害程度相同的地區，甲地在傍晚 17:00 調查，乙地調查中午 12:00 時段，結果就不相同。因此密度調查須將調查時間加入考慮的因素，而觀察其族群大小是否減少是另一個方法，來清楚了解一個地區台灣缺蠓的防制前的數量與防治後的現存數。

一般估計族群大小最常使用的是「標示再捕捉法」（Capture-recapture or mark-release）。封閉族群（closed population）適用林肯-彼得森指數法（Lincoln-Peterson Index）或貝利修正法（Bailey, 1952），而開放族群（open population）使用 Jolly-Seber 模式物種存活曲線。根據前人研究，台灣缺蠓的在無風的環境下飛行能力弱，一般很少移動超過 50 公尺的距離（鄧，2005）。這顯示台灣缺蠓一般在無外力協助之下少有「遷入」及「遷出」情形發生，偏向封閉族群（closed population）。然而上述任何一種方法估計都需要有捕捉、做記號、再捕捉的過程，而小黑蚊個體微小僅 1.4 公厘，難以做記號；其次，以人體誘集法誘捕所得均為雌成蟲，根據前人研究台灣缺蠓雌蟲在飽血、產卵後不久即死亡（葉和王，2000），難以符合「標示再捕捉法」的另外兩個條件：（1）記號不會消失與（2）蟲再被捕的機率相同。此外台灣缺蠓已是肆虐嚴重之騷擾性害蟲，將誘捕得之雌成蟲再放回自然環境使其產卵，會造成嚴重「公

害」。因此本試驗採用「移除法」(Removal Method)估計樣區內的台灣缺蠓雌蟲的族群大小，採用以下兩種方法估計：

### 1. Hayne Extrapolation Method

Hayne Extrapolation Method 的基本原理是：對一個封閉種群進行連續捕捉，累積捕獲量逐漸增加，種群數量逐漸減少；以累積捕獲量為應變數 Y、單位時間昆蟲的捕獲量為自變數 X，求二者間的迴歸方程，當 X=0 時，Y 值就是昆蟲總量估計值 (Davis, 1982)。本研究採用簡單線性迴歸計算 Y 值。

### 2. Moran-Zippin Method

使用 Moran-Zippin 移除法 (Moran-Zippin Method) 估計樣區內台灣缺蠓的族群大小。計算公式為：

$$\text{台灣缺蠓總族群：} N = \frac{\sum C_i}{1-q^2}$$

$$N \text{ 的標準差 } S_N = \sqrt{\frac{N(N-\sum C_i) \sum C_i}{(\sum C_i)^2 - N(N-\sum C_i) \frac{(kp)^2}{1-p}}} \quad R = \frac{\sum C_i (t-1)}{\sum C_i}$$

式中，t 為取樣次數 (t=1,2,3,...)，C<sub>i</sub> 為第 i 次取樣時該蠓被捕獲的個體總數，q、p、R 均為係數，原文獻提供了依據 R 值求 1 - q<sup>2</sup> 和 p 的圖解方法，k 為取樣總次數 (Moran, 1951; Zippin, 1956; Zippin, 1958; Joan, 1982)。

## 八、數據分析

全部數據之統計分析使用 Microsoft® Excel 2007 與 StatPro 軟體 (Christian et al., 2009) 進行統計分析之比較。

## 結果

### 一、兩種密度監測技術相關性測試

台灣缺蠓 10 分鐘以及 20 分鐘密度調查數據分為樣區 B、樣區 D、樣區 E 三組，所得資料各有 208、132、136 筆。為進行相關性分析，先試行將原始資料進行資料轉換分析，比較自然對數 (ln) 轉換，進而求取與原始資料之相關係數分析如表一。經檢視原始資料與轉換後兩者之相關係數分析結果，在  $p < 0.05$  之顯著水準情況下，兩種轉換資料間之相關係數均達 0.80 以上，顯示其 Root mean squar error 差異甚小，為求資料處理方便乃採用自然對數轉換，再進行相關分析。

表一、10 分鐘 ( $X_1$ ) 以及 20 分鐘密度數據 ( $X_2$ ) 相關係數分析

Variables	Density					
	$X_2$	$X_1$	$\ln(X_2)$	$\ln(X_1)$	$X_2^{0.2}$	$X_1^{0.2}$
$X_2$	1.00					
$X_1$	0.91	1.00				
$\ln(X_2)$	0.93	0.83	1.00			
$\ln(X_1)$	0.90	0.93	0.92	1.00		
$X_2^{0.2}$	0.96	0.86	0.99	0.93	1.00	
$X_1^{0.2}$	0.91	0.96	0.91	0.99	0.92	1.00

三組 10 分鐘之數據資料經自然對數轉換，並以 10 分鐘密度之數據為自變數，20 分鐘密度之數據為應變數，進行迴歸分析後各組之截距、斜率及  $R^2$  值均詳列於表二。

表二、10 分鐘 ( $\ln X_1$ ) 以及 20 分鐘分鐘密度數據 ( $\ln X_2$ ) 迴歸分析

Location	Intercept (S.E.)	t-value (p)	Slope (S.E.)	t-value (p)	R <sup>2</sup>
Plot B	1.0301 (0.081)	12.69 (p < 0.001)	0.4773 (0.089)	5.31 (p < 0.001)	0.38
Plot D	2.0562 (0.134)	15.32 (p < 0.001)	0.5385 (0.046)	11.68 (p < 0.001)	0.55
Plot E	1.7205 (0.180)	9.54 (p < 0.001)	0.4882 (0.110)	4.43 (p < 0.001)	0.32
All Data	0.8761 (0.070)	12.42 (p < 0.001)	0.9328 (0.029)	32.14 (p < 0.001)	0.85

S.E. : Standard Error

表二資料顯示，樣區 B 與樣區 E 之 R<sup>2</sup> 值極為接近，顯示這兩處樣區的 10 分鐘密度值對於解釋迴歸式有幾乎相同的效力。而三組 10 分鐘密度之迴歸 R<sup>2</sup> 值均低於 0.6，遠低於三組全部之 R<sup>2</sup> 值 0.85，顯示將三個樣區數據同時納入迴歸式，對於解釋回歸方程式的變異量較佳。

此外，誘得蟲數之多寡可能也會影響短時間內觀察計數的正確性，因而再將資料依照蟲數予以區分為 1 - 20 隻、21 - 50 隻、以及 50 隻以上三組加以分析與比較（表三）。

由表三得知，蟲數在 n = 1 - 20 以及 n = 21 - 50，兩種不同蟲數密度區間的 r 值差異不大，n > 50 組的相關係數高於另外兩組，此外將 B、D、E 三個樣區合計數據之相關係數普遍高於只考慮其中單一個樣



區。顯示誘集數愈大 ( $n > 50$ )、樣本數愈多，對於解釋迴歸式變異量愈佳。

表三、不同誘集蟲數下，10 分鐘( $\ln X_1$ )以及 20 分鐘密度數據( $\ln X_2$ )  
相關係數分析

Location	Range midge numbers			
	n=1-20	n= 21-50	n > 50	All data
Plot B	0.6492	0.6363	0.8147	0.7323
Plot D	0.5012	0.5900	0.8039	0.7095
Plot E	0.5185	0.5091	0.8905	0.7680
All Data	0.6165	0.6686	0.8395	0.9194

10 分鐘密度之資料分析結果顯示當  $n < 50$  時兩種密度調查方法相關性較低；但  $n > 50$  組資料之 10 分鐘密度與 20 分鐘密度調查結果具高相關性，因此可以試行發展此兩種調查方法間的相關模式。然分析樣區 B 所得之方程式截距為 1.0301、樣區 D 所得之方程式截距為 2.0562、樣區 E 所得之方程式截距為 1.7205，對照 Student's T 表皆呈現極顯著 ( $P < 0.001$ )，與理論上「田間無蟲時，兩種方法的觀察值均應為 0 隻」的假設不一致。因此，設定常數項為零、試以  $y=bx$  求其迴歸，結果如表四，所得  $R^2$  顯著提升到 0.75 甚至達 0.99 以上 ( $R^2$  為解釋原點位置變異之能力)。進行此一校正時，1-20 隻、21-50 隻、及 50 隻以上全部資料等三組分析資料的截距

呈不顯著，故可校正為通過原點， $n=1-20$  這一組迴歸方程式對於原點位置之變異解釋能力達 75% 以上，其餘三組解釋能力均達 93% 以上。所有資料經校正所得之方程式，可優先作為 10 分鐘密度估計 20 分鐘密度之模式（其中  $Y=\ln(x_1)$ ， $X=\ln(x_2)$ ）。

進一步由 1-20 隻、21-50 隻、50 隻以上、及全部資料所得四種關係式  $Y=1.3798X$ 、 $Y=1.4846X$ 、 $Y=1.2387X$ 、及  $Y=1.2687X$  式中，由 20 分鐘密度估算相對於 10 分鐘密度（表五）。以 20 分鐘密度估計，嚴重危害（第 5 級）與嚴重危害（第 4 級）之分界指標 100 隻/20 分鐘之相對 10 分鐘密度值為 41.5 隻，嚴重危害（第 4 級）與中度危害（第 3 級）之分界指標 50 隻/20 分鐘之相對 10 分鐘密度值為 21.8–23.5 隻，中度危害（第 3 級）與輕度危害（第 2 級）之分界指標 10 隻/20 分鐘之相對值為 5.3 隻/10 分鐘，輕度危害（第 2 級）與無危害（第 1 級）之分界指標 1 隻/20 分鐘之相對值亦為 1 隻/10 分鐘。

表四、不同誘集蟲數下，10 分鐘 ( $\ln X_1$ ) 以及 20 分鐘分鐘密度數據  
( $\ln X_2$ ) 迴歸方程式分析表

Independent variable and dependent variable	Intercept (S.E.)	t-value (p)	Slope (S.E.)	t-value (p)	R2
n=1-20					
$\ln X_2=a+b \ln X_1$	1.0301 (0.081)	12.69 (p < 0.001)	0.4773 (0.089)	5.31 (p < 0.001)	0.38
$\ln X_2=b \ln X_1$	0 N/A	N/A N/A	1.3798 (0.115)	11.95 (p < 0.001)	0.75
n=21-50					
$\ln X_2=a+b \ln X_1$	1.7205 (0.180)	9.54 (p < 0.001)	0.4882 (0.110)	4.43 (p < 0.001)	0.32
$\ln X_2=b \ln X_1$	0 N/A	N/A N/A	1.4846 (0.062)	23.70 (p < 0.001)	0.93
n>50					
$\ln X_2=a+b \ln X_1$	2.0562 (0.134)	15.32 (p < 0.001)	0.5385 (0.046)	11.68 (p < 0.001)	0.55
$\ln X_2=b \ln X_1$	0 N/A	N/A N/A	1.2387 (0.011)	116.59 (p < 0.001)	0.99
All data					
$\ln X_2=a+b \ln X_1$	0.8761 (0.070)	12.42 (p < 0.001)	0.9328 (0.029)	32.14 (p < 0.001)	0.85
$\ln X_2=b \ln X_1$	0 N/A	N/A N/A	1.2687 (0.014)	89.74 (p < 0.001)	0.98

S.E. : Standard Error

表五、台灣缺蠓雌成蟲「20分鐘誘集密度」與「10分鐘誘集密度」  
危害程度對照表

調查方式	嚴重危害		中度危	輕度危	無危害
	第5級	第4級	第3級	第2級	第1級
20分鐘密度 (隻/小腿/20分)	>100	51-100	11-50	1-10	0
10分鐘密度 (隻/小腿/10分)	>41.5	21.8-41.5	5.3-21.8	1-5.3	0

## 二、氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化關係

由樣區 D 7/3-7/5 三日密度調查數據分析及長條圖趨勢互相比較，可發現三日台灣缺蠓的日週期變化極為相似，但與氣候因子的相關性則各有不同。其日週期密度變化與溫度皆有正相關，且有一日達極顯著水準，另外兩日則無。而在日週期密度變化與濕度之關係方面，有一日與濕度成輕微正相關，且達極顯著水準（ $p < 0.001$ ），另有兩日與濕度呈負相關，沒有達極顯著水準；此外風速與光強度與此三日之間的密度變化皆無達顯著水準，相關係數如表六所示。上述結果顯示在台灣缺蠓的日週期變化過程中，此四項氣候因子中之溫度與濕度是較重要的影響因子，而與溫度成正相關，並普遍與濕度呈負相關。

將樣區 D 三日全天台灣缺蠓雌成蟲族群數量對氣象因子之溫度（ $X_1$ ）、濕度（ $X_2$ ）、風速（ $X_3$ ）、光強度（ $X_4$ ）以 Enter method 帶入所有變數進行複迴歸，所得結果方程迴歸式為  $Y = -237.8423 + 7.493 X_1 - 0.1916 X_2 - 2.581 X_3 + 0.0483 X_4$ ， $R^2 = 0.4865$ 。再經逐步迴

歸分析 (Stepwise Regression Procedure) , 顯示只有溫度 ( $p < 0.05$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子, 所得迴歸方程式為  $Y = -245.4345 + 8.3724 X_1$ ,  $R^2 = 0.2015$ 。或  $Y = 4.894 X_1^2 - 297.39 X_1 + 4520.2$ ,  $R^2 = 0.5091$ 。

表六、樣區 D 及樣區 E 三日台灣缺蠓雌成蟲密度與氣候因子之相關係數

	Date	Meteorological Factors			
		T	RH	W	Light
Female	7/3	0.5442	-0.4977*	-0.1250	0.4612
Midge	7/4	0.5303***	0.0623***	0.0381	0.1217
Density	7/5	0.6572	-0.4178	0.1061	0.1354
in plot D	7/3-7/5	0.4489*	-0.3217	-0.1124	0.1440
Female	8/1	0.5442	-0.4977	-0.1250	0.0611
Midge	8/2	0.8424**	-0.5549	0.1204	0.4820
Density	8/3	0.6844*	-0.4792	0.05475	0.1369
in plot E	8/1-8/3	0.6364***	-0.3749	-0.0225	0.2187
All data		0.5643**	-0.2116	-0.0640	0.1919

\* :  $p < 0.05$       \*\* :  $p < 0.01$       \*\*\* :  $p < 0.001$

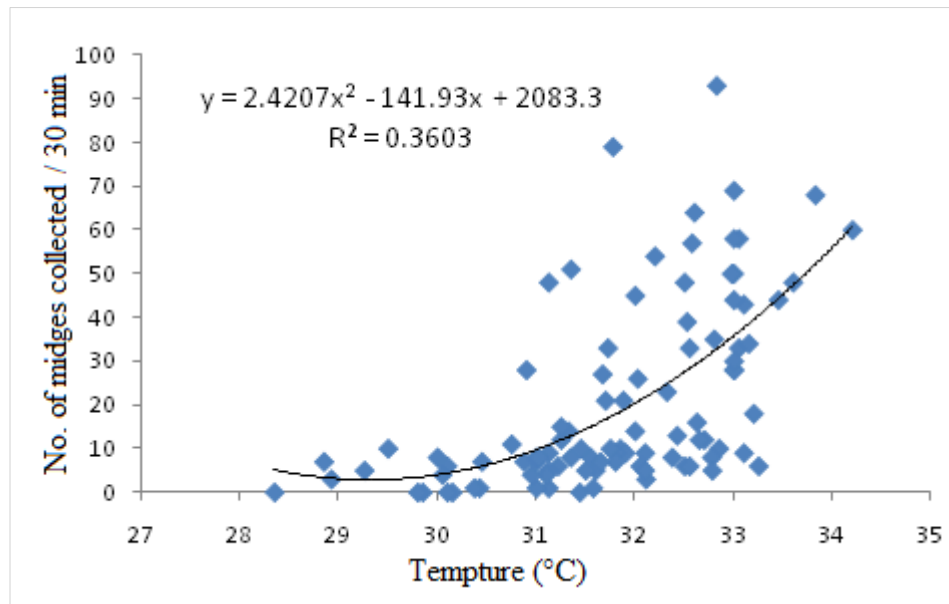
T: Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ );      RH: Relative humidity (%RH);  
W: Wind Velocity (m/s);      Light: Light Intensity (lux)

由樣區 E 8/1-8/3 三日密度調查數據分析及長條圖趨勢互相比較，可發現三日台灣缺蠓的日週率變化亦極相似。但與氣候因子的相關性亦各有不同。其日週期密度變化與溫度皆有正相關，且有一日達極顯著水準( $p < 0.01$ )、一日達顯著水準( $p < 0.05$ )，另一日則無；而其日週期密度變化與濕度普遍呈負相關、與光強度成輕微正相關、與風速之相關性則各有不同，但除溫度之外，其日週期密度變化與其餘所有氣候因子(濕度、風速、光強度)皆沒有達顯著水準，如表六所示。上述結果顯示在此三日台灣缺蠓的日週期變化與溫度成正相關，與濕度呈負相關，而溫度是較重要的影響因子。

另外再將樣區 E 三日全天台灣缺蠓雌成蟲族群數量對氣候氣象因子溫度 ( $X_1$ )、濕度 ( $X_2$ )、風速 ( $X_3$ )、光強度 ( $X_4$ ) 以 Enter method 進行複迴歸，所得結果方程迴歸式為  $Y = -380.2522 + 11.8475 X_1 + 0.1085 X_2 + 2.4246 X_3 + 0.0185 X_4$ ， $R^2 = 0.4986$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure)，顯示只有溫度 ( $p < 0.001$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子，所得迴歸方程式為  $Y = -347.8192 + 11.5801 X_1$ ， $R^2 = 0.4050$  或  $Y = 3.5557X_1^2 - 211.85 X_1 + 3155.4$ ， $R^2 = 0.5055$ 。

以上兩個連續三日之調查結果相似，因此將六天的台灣缺蠓密度數據合併進行迴歸分析。將樣區 D、E 共六日全天候台灣缺蠓雌成蟲族群數量對氣候氣象因子溫度 ( $X_1$ )、濕度 ( $X_2$ )、風速 ( $X_3$ )、光強度 ( $X_4$ ) 以 Enter method 進行複迴歸，所得結果方程迴歸式為  $-302.1931 + 9.8434X_1 - 0.0845X_2 + 0.4853 X_3 + 0.0207 X_4$ ， $R^2 = 0.3323$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure)，仍顯示僅溫度 ( $p < 0.001$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子，所得迴歸

方程式為  $Y = -303.7 + 10.211 X_1$ ， $R^2 = 0.3185$ ，或  $Y = 2.4207 X_1^2 - 141.93X_1 + 2083.3$ ， $R^2 = 0.3603$ （圖八）。

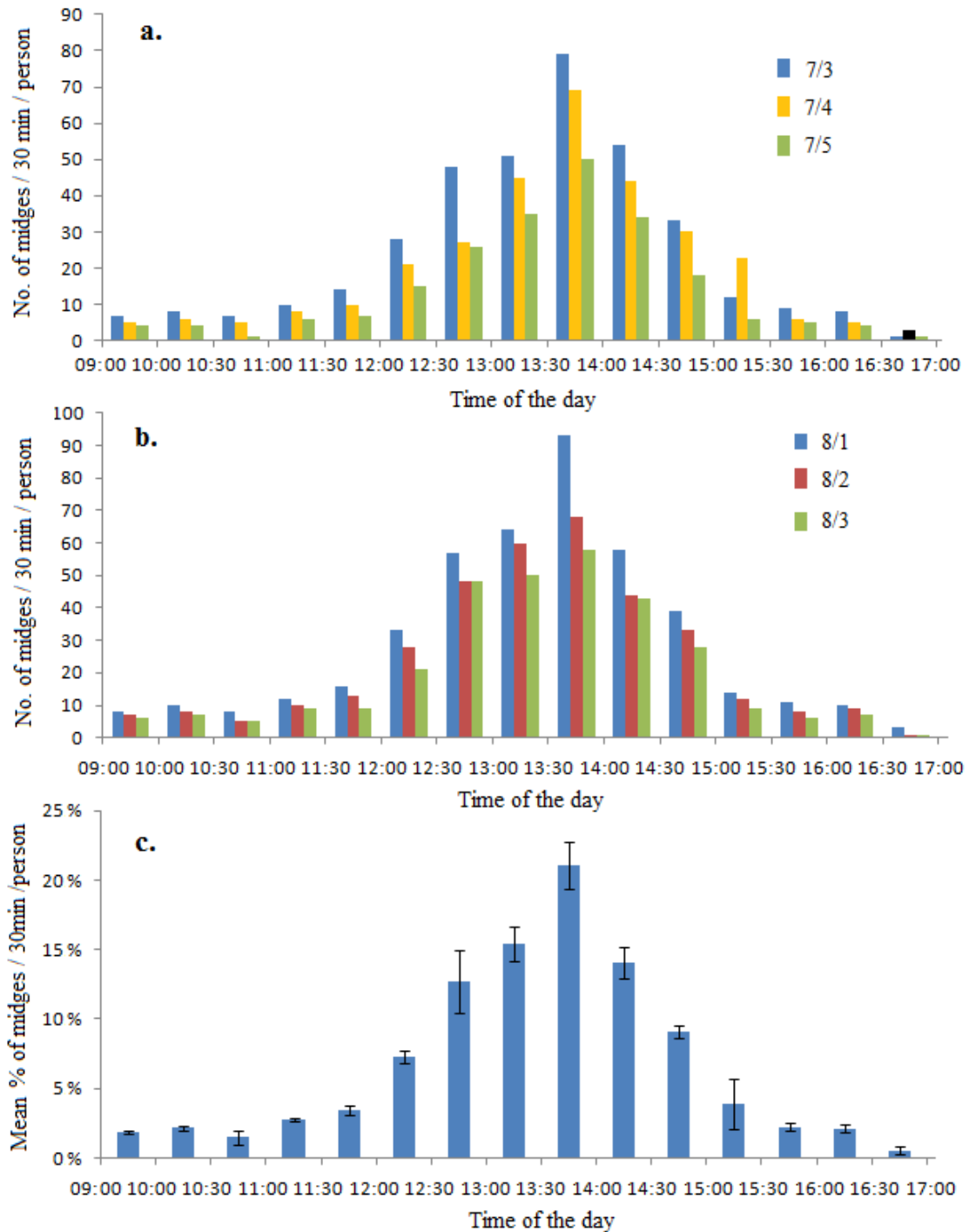


圖八、7/3-7/5 及 8/1-8/3 台灣缺蠓密度與溫度關係圖。

上述結果顯示雌蟲之密度與溫度皆有顯著正相關，並且多達顯著水準；而與濕度皆有負相關，但大多沒有達到顯著水準，而與風速、光強度則分別有不同之相關性，但皆沒有達到顯著水準；相關係數如表六所示。顯示在白天之中，台灣缺蠓雌蟲密度隨溫度愈高、濕度愈低而有升高趨勢，中午時分是一天溫度最高與濕度最低的時刻，台灣缺蠓的密度於此時也達到高峰期。

圖九 a 為 7/3-7/5 之台灣缺蠓日週期數量與時間關係圖，圖九 b 為 8/1-8/3 之台灣缺蠓日週期數量與時間關係圖，因每日捕捉之台灣缺蠓數量會隨季節而變化，因此將其數量轉換成百分比表示。圖九 c 為每日自上午 9:00 至下午 17:00，每小時誘集蟲數占全天誘集蟲數比例，

分別為 1.8、3.5、6.0、19.5、35.5、22.5、5.8、及 2.6 % ，其中，上午 11:00 至下午 15:00 間四小時間之誘集蟲數占全天之 83.5 % 。



圖九、台灣鉅蠓日週期數量與時間關係圖，呈現三日間每日台灣鉅蠓之日週期族群變動情形。(a. 7/3-7/5; b. 8/1-8/3; c. 以百分比表示，每 30 分為單位)。



### 三、氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係

本樣區台灣缺蠓族群密度長期監測調查自 2008 年 10 月 22 日至 2010 年 7 月 31 日，期間 647 日，調查 306 日。在五個處理試驗地點之台灣缺蠓族群密度調查中，於樣區 A 族群數量共誘集得 430 隻，樣區 B 為 344 隻，樣區 C 為 81 隻，樣區 D 為 953 隻，樣區 E 為 568 隻。

#### 1. 依日為單位分析

將樣區 A 誘集之族群蟲數對測得之氣候氣象因子（溫度、相對濕度、當日雨量、光強度、風速）以 Enter method 帶入所有變數作複迴歸，所得結果迴歸方程式為  $Y = 1.9134 + 0.2463 X_1(\text{溫度}) - 0.0944 X_2(\text{濕度}) + 0.0075 X_3(\text{當日雨量}) - 0.8297 X_4(\text{風速}) + 0.0048 X_5(\text{光強度})$ ， $R^2 = 0.6091$ 。然而此方法是帶入所有的預測變項一次進入迴歸方程式，而不考慮個別變數是否顯著，因此再以逐步法（stepwise method）逐步挑選（stepwise selection）自變數進行複迴歸分析，結果顯示溫度（ $p < 0.001$ ）、相對濕度（ $p < 0.001$ ）、及風速（ $P < 0.001$ ）是影響台灣缺蠓族群出沒數密度的重要因子，其餘兩項氣象因子皆無達顯著水準，所得其迴歸方程式為  $Y = 4.9292 + 0.2436 X_1(\text{溫度}) - 0.0953 X_2(\text{相對溼度}) - 0.8387 X_4(\text{風速})$ ， $R^2 = 0.7007$ （表七）。

其中尤以溫度與濕度兩項皆達極顯著相關之水準（ $p < 0.001$ ），因此由蟲數對溫度作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = 0.3177 X_1 - 3.5098$ ， $R^2 = 0.5346$ （Y 為蟲數； $X_1$  為溫度）；由蟲數對相對濕

度作曲線迴歸所得到之曲線迴歸方程式為  $Y = -0.1426 X_2 + 13.127$  ,  
 $R^2 = 0.406$  (Y 為蟲數;  $X_2$  為相對濕度)。

由樣區 B 台灣缺蠓雌成蟲族群數量對氣候氣象因子以 Enter method 帶入所有變數進行複迴歸, 所得結果方程迴歸式為  $Y = 8.3584 + 0.1836 X_1 - 0.0580 X_2 - 0.0151 X_3 - 0.8581 X_4 - 0.0073 X_5$ ,  $R^2 = 0.5487$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure), 顯示溫度 ( $p < 0.001$ )、相對濕度 ( $p < 0.01$ )、及風速 ( $p < 0.05$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子, 其他兩項氣象因子皆無達顯著水準, 所得方程式迴歸式為  $Y = 4.2065 + 0.1811 X_1$  (溫度)  $- 0.0609 X_2$  (相對溼度)  $- 0.8897 X_4$  (風速),  $R^2 = 0.2851$  (表七)。

而單純由樣區 B 蟲數 (Y) 對溫度 ( $X_1$ ) 作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = 0.2234 X_1 - 2.177$ ,  $R^2 = 0.216$ ; 由樣區 B 蟲數 (Y) 對相對溼度 ( $X_2$ ) 作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = -0.0899 X_2 + 8.8007$ ,  $R^2 = 0.155$ 。

樣區 C 之蟲數稀少, 一次最多僅捕獲 4 隻。由樣區 C 族群數量對氣候氣象因子以 Enter method 帶入所有變項進行複迴歸, 所得結果迴歸式為  $Y = 1.2234 - 0.0050 X_1 - 0.0330 X_2 - 0.0003 X_3 - 0.16667 X_4 + 0.0001 X_5$ ,  $R^2 = 0.3355$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure), 顯示溫度 ( $p < 0.05$ ) 及濕度 ( $p < 0.001$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子, 其他氣象因子皆無達顯著水準, 所得迴歸方程式為  $Y = 2.2590 - 0.0327 X_2$  (相對濕度)  $- 0.1704 X_4$  (風速),  $R^2 = 0.3344$  (表七)。而單純由樣區 C 蟲數 (Y) 對濕度 ( $X_2$ ) 作曲線

迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = -0.0325X_2 + 2.1153$ ,  $R^2 = 0.3143$ 。  
而單純由樣區 C 蟲數 (Y) 對風速 ( $X_4$ ) 作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = -0.1574 X_2 + 0.5017$ ,  $R^2 = 0.0172$ 。

由樣區 D 台灣缺蠓雌成蟲騎樓族群數量對氣候氣象因子以 Enter Method 作複迴歸，所得結果方程迴歸式為  $Y = -3.6970 + 0.3891 X_1 - 0.0598 X_2 + 0.0486 X_3 - 1.0911 X_4 + 0.0048X_5$ ,  $R^2 = 0.5007$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure)，顯示溫度 ( $p < 0.001$ )、濕度 ( $p < 0.01$ )、風速 ( $p < 0.01$ )、當日雨量 ( $p < 0.05$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子，僅光強度無達顯著水準，所得迴歸方程式為  $Y = -0.7032 + 0.3900 X_1$  (溫度) -  $0.0587 X_2$  (相對濕度) +  $0.0491 X_3$  (當日雨量) -  $1.0564 X_4$  (風速)， $R^2 = 0.4964$  (表七)。

而單純由樣區 D 蟲數 (Y) 對溫度 ( $X_1$ ) 作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = 0.4508X_1 - 6.5772$ ,  $R^2 = 0.4431$ ; 對相對溼度 ( $X_2$ ) 作曲線迴歸所得到之直線迴歸方程式為  $Y = -0.1254 X_2 + 12.6380$ ,  $R^2 = 0.1308$ 。

由樣區 E 台灣缺蠓雌成蟲族群數量對氣候氣象因子作複迴歸，所得結果方程迴歸式為  $Y = 6.889 + 0.1759 X_1 - 0.096X_2 + 0.0075X_3 - 1.1109X_4 - 0.0011X_5$ ,  $R^2 = 0.6179$ 。再經逐步迴歸分析 (Stepwise Regression Procedure)，顯示溫度 ( $p < 0.001$ )、濕度 ( $p < 0.001$ )、風速 ( $p < 0.001$ ) 是影響台灣缺蠓雌成蟲族群密度之重要因子，其他兩項氣象因子皆無達顯著水準，所得方程式迴歸式為  $Y = 6.2017 + 0.1752X_1$  (溫度) -  $0.0952X_2$  (相對濕度) -  $1.1017X_4$  (風速)， $R^2 = 0.3143$

(表七)。而單純由樣區 E 蟲數 (Y) 對溫度 ( $X_1$ ) 作曲線迴歸所得之直線迴歸方程式為  $Y = 0.2234X_1 - 2.177$ ,  $R^2 = 0.216$ ; 對相對溼度 ( $X_2$ ) 作曲線迴歸所得之直線迴歸方程式為  $Y = -0.0899X_2 + 8.8007$ ,  $R^2 = 0.155$ 。

表七、以逐步迴歸分析於五個樣區 A、B、C、D、E 誘集所得雌蟲數據與氣象因子的迴歸方程式 ( $p < 0.05$ )

Location	Regression function	$R^2$
Plot A	$Y = 4.9292 + 0.2436 X_1 - 0.0953 X_2 - 0.8387 X_4$	0.7007
Plot B	$Y = 4.2065 + 0.1811 X_1 - 0.0609 X_2 - 0.8897 X_4$	0.2851
Plot C	$Y = 2.2590 - 0.0327 X_2 - 0.1704 X_4$	0.3344
Plot D	$Y = -0.7032 + 0.3900 X_1 - 0.0587 X_2 + 0.0491 X_3 - 1.0564 X_4$	0.4964
Plot E	$Y = 6.2017 + 0.1752 X_1 - 0.0952 X_2 - 1.1017 X_4$	0.3143

$X_1$ : Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ );  $X_2$ : Relative humidity (%RH);  
 $X_3$ : Day rainfall (mm);  $X_4$ : Wind speed (m/s); Y: No.of females / 10min

由以上分析結果發現：溫度對台灣缺蠓族群密度變化的影響呈現正相關，並且在樣區 A、B、D、E 四個樣區皆達到顯著差異；而濕度、風速對台灣缺蠓族群密度的影響則呈現負相關，且在所有樣區都達到顯著差異；而當日雨量對台灣缺蠓族群密度變化的影響分別呈現正相關（樣區 C、D）與負相關（樣區 A、B、E），然而僅在樣區 D 達到顯著差異；光強度對台灣缺蠓族群密度變化的影響也分別呈現正相關

(樣區 C、D、E) 與負相關 (樣區 A、B) ，然而在所有樣區皆沒有達到顯著差異；如表八所示。此項調查結果顯示五個樣區彼此氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化的關係有相似之處。

表八、A、B、C、D、E 五個樣區雌蟲季節性族群密度與氣候因子之相關係數比較

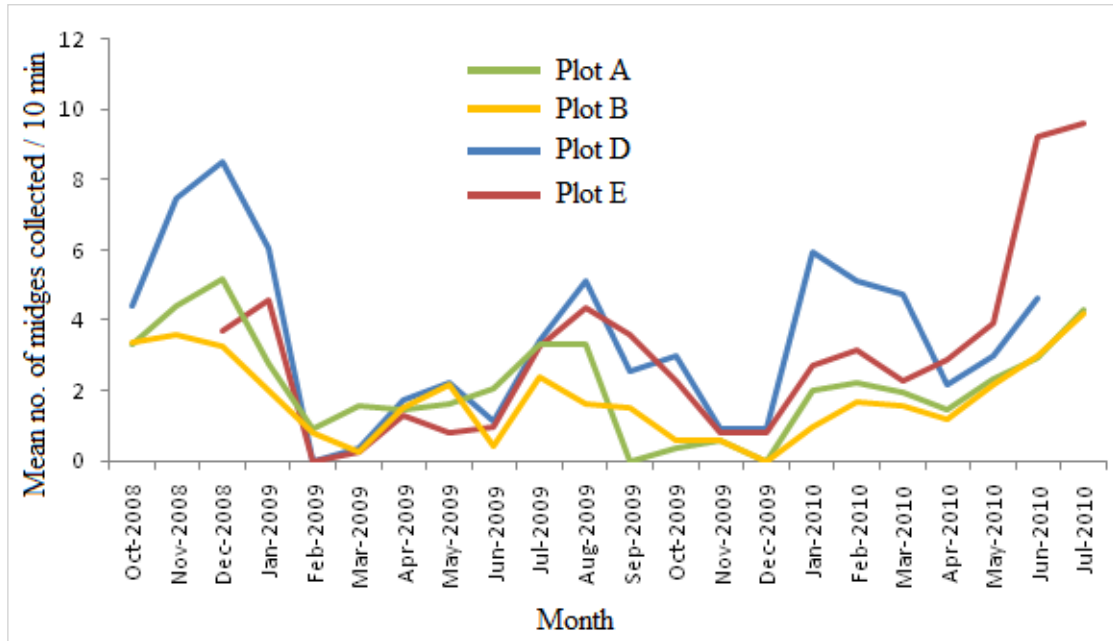
	溫度	相對溼度	當日雨量	風速	光強度
樣區 A	0.7167***	-0.5330***	-0.0445	-0.0985***	-0.0379
樣區 B	0.4511***	-0.3728**	-0.1087	-0.1038*	-0.1206
樣區 C	0.2388	-0.5606***	0.0449	-0.131*	0.1821
樣區 D	0.6670***	-0.3655**	0.0967*	-0.2571**	0.5072
樣區 E	0.6155***	-0.6227***	-0.0504	-0.2704***	0.0680

\* :  $p < 0.05$       \*\* :  $p < 0.01$       \*\*\* :  $p < 0.001$

## 2. 依月為單位分析

以月為單位之族群密度監測調查結果顯示於圖十，樣區 C 因數量太小結果沒有呈現，結果顯示樣區 A、B、D、E 之季節性族群變動皆有相似的情形：自 2008 年 12 月後，密度呈下降趨勢，2009 年 4 月至 5 月上旬，密度呈逐漸增加趨勢，而 6 月下旬之密度稍減，7 月下旬至 8 月達最高峰，9 月後密度鉅降，10 月後平均密度每 10 分鐘已減至 1 隻以下，溫度則自 12 月初降至 20°C 以下，此情形持續至隔年之 2010 年 1 月上旬，此時月均溫為 22.5°C，密度開始增加，至 4 月下旬

稍降，五月起又隨即增加，至 7 月下旬密度每十分鐘已有 10 隻以上，為最高峰時期。



圖十、台灣銹蟎在南投縣埔里鎮樣區 A、B、D、E 之季節消長 (2008.10-2010.7)。

綜合此次調查結果，台灣銹蟎危害之高峰為夏季之七、八月之間，而十二月開始至隔年一月間有較低之族群密度。再比較每月平均誘集密度（蟲數/每 10 分鐘）在五個樣區 A、B、C、D、E 之間的相關情形，結果顯示依月為單位分析時樣區 A、B、D、E 間隻數據相似性較高，而樣區 C 與 A、B、D、E 四個樣區皆達顯著差異 ( $p < 0.05$ )，如表九所示。

表九、A、B、C、D、E 五個樣區雌蟲季節性族群密度之相關係數比較

	plot A	plot B	plot C	plot D	plot E
plot A	1				
plot B	0.7908 <sup>a</sup>	1			
plot C	0.4383 <sup>b</sup>	0.3719 <sup>b</sup>	1		
plot D	0.6051 <sup>a</sup>	0.6150 <sup>a</sup>	0.3013 <sup>b</sup>	1	
plot E	0.6059 <sup>a</sup>	0.6041 <sup>a</sup>	0.2144 <sup>b</sup>	0.8658	1

<sup>a,b</sup> Mean separation within columns by Tukey's honestly significant difference test at  $p < 0.05$

在此將樣區 A、B、D、E 之調查誘集之平均蟲數配合氣象資料，探究其族群密度之變化與本月月均溫、上月月均溫、本月平均濕度、上個月平均濕度、本月降雨量、上個月降雨量、本月降雨日數、上個月降雨日數、本月日照時數、上個月日照時數、及平均風速等共十一個氣象因子之關係。經由 Pearson 相關分析之結果顯示（表十），本地之台灣缺蠓雌成蟲族群密度變動主要與本月均溫（ $p < 0.01$ ）、本月雨量（ $p < 0.01$ ）、本月日照時數（ $p < 0.05$ ）、本月降雨日數（ $p < 0.001$ ）、風速（ $p < 0.05$ ）、上個月雨量（ $p < 0.05$ ）、及上個月降雨日數（ $p < 0.001$ ）七項氣候因子達到顯著相關，其中與本月及前一個月之降雨日數有極顯著之正相關（ $p < 0.001$ ），而其餘氣候因子也有不同程度之相關，結果如表八所示。而單純由月平均誘得蟲數（Y）對上述氣候因子作線性迴歸所得到之直線迴歸方程式如表十一所示。

表十、氣候因子與平均誘集蟲數之相關係數（1. 表示本月；2. 表示上月）

Y	T	RH	R	DS	RD	W
1	0.7537**	0.4368	0.6137**	-0.325*	0.5710***	0.2775*
2	0.5876	0.5467	0.5680*	0.7414	0.8972***	

\* :  $p < 0.05$       \*\* :  $p < 0.01$       \*\*\* :  $p < 0.001$

T: Tempture (°C) ; RH: Relative Humidity (%RH) ; R: Rainfall (mm) ;  
 DS: Duration of Sunshine (h) ; RD: Raining Day (d) ;  
 W: Wind Velocity (m/s) ; Y: Mean no. of Midges Collected.

表十一、以逐步迴歸分析於樣區 A、B、D、E 誘集所得雌蟲數據與氣象因子的迴歸方程式 ( $p < 0.05$ )

Factors	Regression function	R <sup>2</sup>
T	$Y = 0.4134 T - 3.9349$	0.5757
R	$Y = 0.0055 R + 3.0766$	0.3781
DS	$Y = -0.0138 DS + 5.9398$	0.1095
RD	$Y = 0.1653 RD + 2.195$	0.3254
LR	$Y = 0.003 LR + 3.3328$	0.3275
LDS	$Y = 0.2662 LDS + 1.15$	0.8098
LRD	$Y = -0.0305 LRD + 8.3101$	0.5498

T: Tempture (°C) ; R: Rainfall (mm) ; DS: Duration of Sunshine (h) ;  
 RD: Raining Day (d) ; LR: Rainfall of Last month (mm) ;  
 LDS: Duration of Sunshine (Last month) (h) ;  
 LRD: Raining Day of Last month (d) ; Y: Mean no. of Midges Collected.

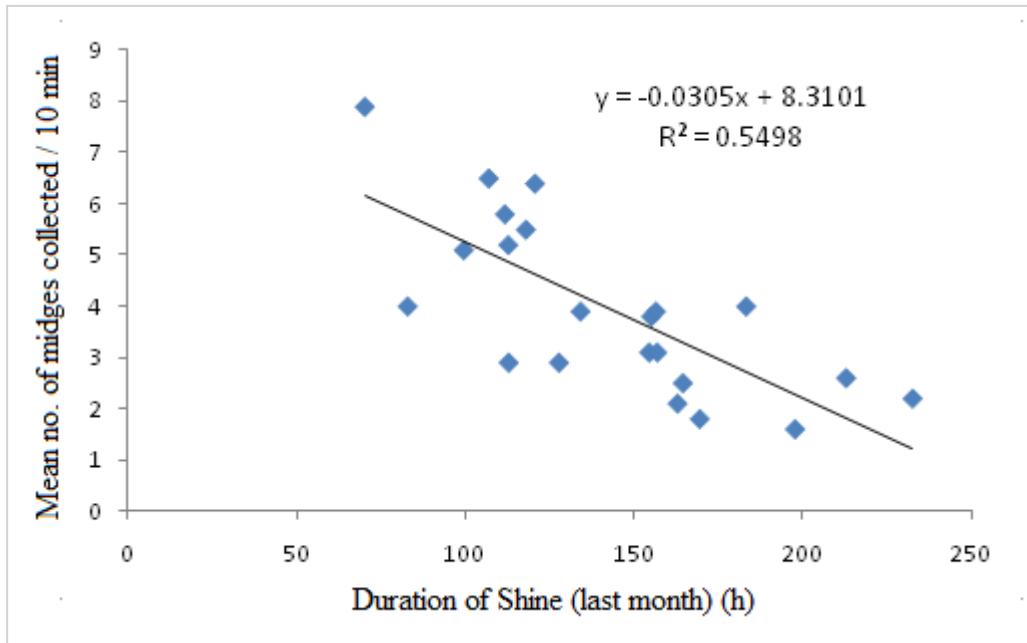


進一步以 Enter method 帶入所有氣象因子作為變數同時進行複回歸，每月均溫 (T)、月平均相對濕度 (RH)、月降雨量 (R)、每月降雨日數 (RD)、日照時數 (DS)、風速 (W)、上月均溫 (LT)、上月平均相對濕度 (LRH)、上月降雨量 (LR)、上月降雨日數 (LRD)、上月日照時數 (LDS) 所得適配的標準化複回歸方程式為：  

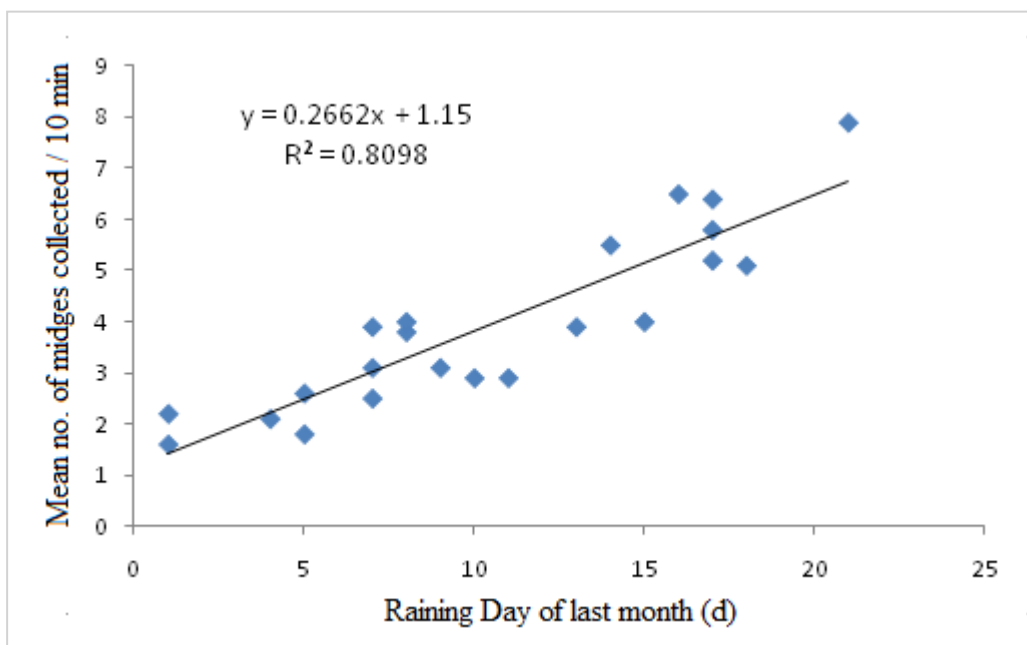
$$Y(\text{台灣缺蠓蟲數}/10 \text{ 分鐘}) = 0.4092 + 0.1411 T - 0.0634 RH + 0.0019 R + 0.1364 RD + 0.0154 DS - 5.8498 W + 0.0139 LT + 0.0132 LRH + 0.0007 LR + 0.0122 LDS + 0.2246 LRD, R^2 = 0.9896。$$

再以逐步分析法 (Stepwise Selection) 考驗每一自變項在進入與離開此複迴歸模式時是否達顯著水準，分析之結果顯示，當溫度、相對濕度、降雨量、降雨日數、日照時數、及風速等氣候因子逐一進入迴歸模式中時，本月均溫 ( $p < 0.05$ )、本月雨量 ( $p < 0.01$ ) 兩項因子可達顯著水準，而上月日照時數 ( $p < 0.001$ ，圖十一) 及上月降雨日數 ( $p < 0.001$ ，圖十二) 則可達極顯著水準，結果顯示上月日照時數和上月降雨日數對於族群密度最具有影響力。所得迴歸式為： $Y = -6.0785 + 0.3775 LRD + 0.0024 R + 0.0268 LSD + 0.0975 LT, R^2 = 0.9365。$

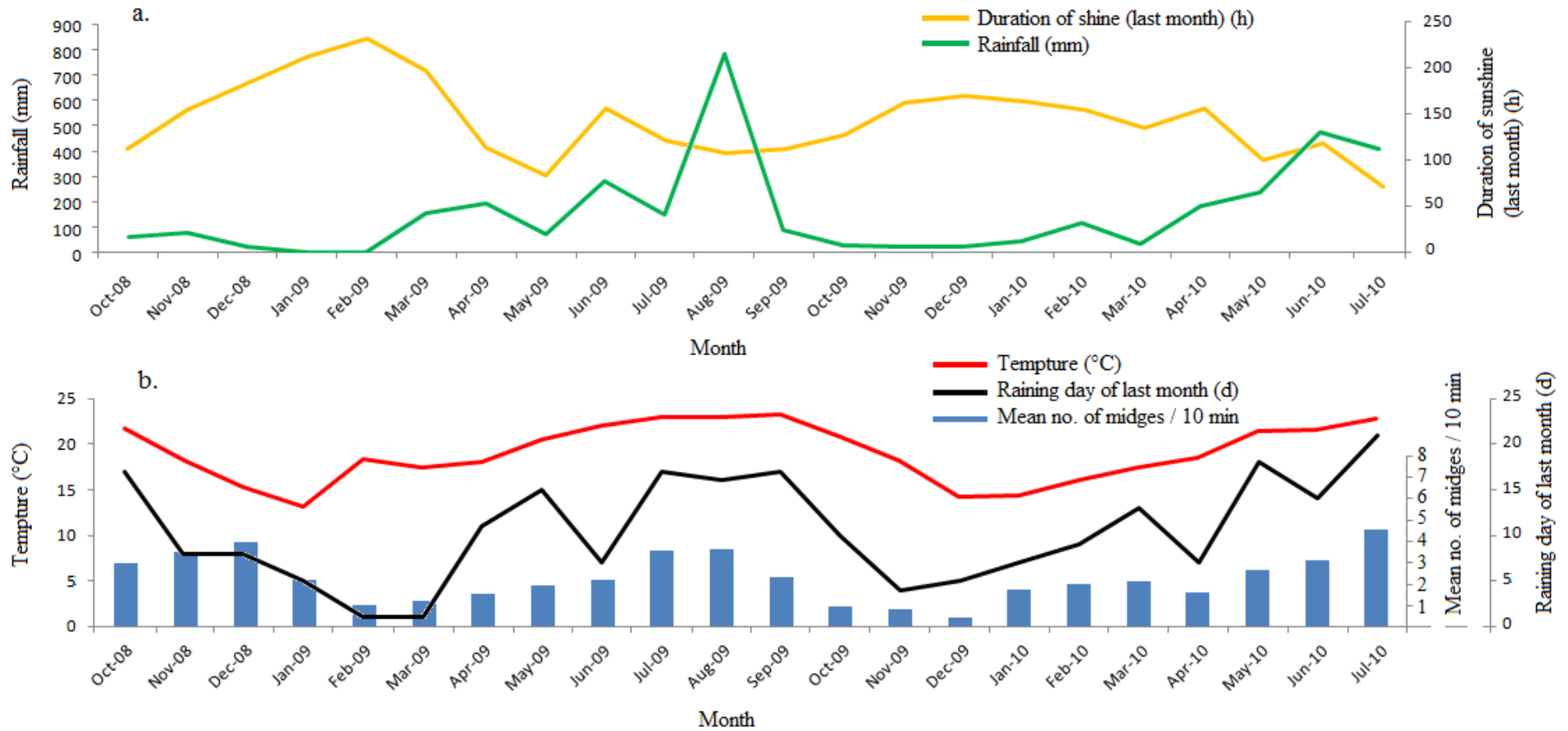
再將降雨日數與族群密度作直線迴歸分析，結果顯示其族群密度 (Y) 明顯受上月降雨日數影響，所求得方程式如下： $Y(\text{台灣缺蠓蟲數}/10 \text{ 分鐘}) = 0.2662 LRD + 1.15, R^2 = 0.8098$  (圖十二)。將 A、B、D、E 四個樣區台灣缺蠓季節性族群密度調查結果與上月日照時數、當月降雨量、當月均溫、及上月降雨日數同時顯示於圖十三 a、b。



圖十一、南投縣埔里鎮樣區 A、B、D、E 四個樣區之上個月日照時數與台灣鈹蠓族群季節性密度變化散布圖。



圖十二、南投縣埔里鎮樣區 A、B、D、E 四個樣區之上個月降雨日數與台灣鈹蠓族群季節性密度變化散布圖。



圖十三、台灣鈹蠓族群密度與氣象因子在南投縣埔里鎮樣區 A、B、D、E 之季節變化 (a. 當月降雨量：橘色線、上月日照時數：綠色線；b. 溫度：紅色線、上月降雨日數：黑色線、台灣鈹蠓雌蟲數/10 分鐘：藍色柱狀圖)。

#### 四、大量誘捕 (Mass Trapping) 對台灣缺蠓雌蠓族群密度與族群大小影響

##### (一) 30 人集體大量誘捕試驗

本試驗於 2010 年 6 月 23 日，選擇台灣缺蠓大量發生、密度集中之下午 13:30-16:30，30 人持續三小時以人體誘集法誘捕台灣缺蠓，再繼續調查接下來數日雌成蟲的密度變化情形。

- 第 0 日 (6/22) 在 13:30-13:50 期間共誘得台灣缺蠓雌成蟲 69 隻/20 分鐘；此為試驗前密度調查。
- 第 1 日 (6/23) 自 13:30-16:30，連續三小時，進行 30 人集體誘集試驗，共誘得雌成蟲 450 隻。
- 第 2 日 (6/24) 在 13:30-13:50 時段，僅誘得 20 隻/20 分鐘；顯示多人集體大量誘集台灣缺蠓對其密度有抑制的效果。
- 第 6 日 (6/28) 再於原地 13:30-13:50 時段，可誘得 58 隻/20 分鐘；顯示台灣缺蠓密度已逐漸恢復，且恢復速率極快。

再依據無母數統計分析 Kolmogorov-Smirnov 檢定法 (K-S 檢定法)，設兩樣區互為獨立，且觀測值依大小順序排列。假設檢定：

$H_0$ ：表處理組 (樣區 D)、對照組 (樣區 E) 兩試區小黑蚊族群分布相同。

$H_1$ ：表處理組 (樣區 D)、對照組 (樣區 E) 兩試區小黑蚊族群分布不同。

將組距 (Class interval) 定為 3 隻，進行無母數統計分析如表十二。

表十二、樣區 D 未經大量誘集處理前與對照組樣區 E 無母數檢定表

No. of <i>F. taiwana</i> collected	Frequency in plot E	Frequency in plot D	G (X)	F (X)	D=  G(X)-F(X)
0-3	1	1	5.00%	5.00%	0.00%
4-7	2	4	9.52%	20.00%	10.48%
8-11	4	3	19.05%	15.00%	4.05%
12-15	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
16-19	0	2	0.00%	10.00%	10.00%
20-23	1	0	4.76%	0.00%	4.76%
24-27	1	4	4.76%	20.00%	15.24%
28-31	2	0	9.52%	0.00%	9.52%
32-35	1	2	4.76%	10.00%	5.24%
36-39	1	0	4.76%	0.00%	4.76%
40-43	5	1	23.81%	5.00%	18.81%
44-47	1	1	4.76%	5.00%	0.24%
48-51	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
52-55	2	2	9.52%	10.00%	0.48%
Total	21	20	100.00%	100%	

30 人大量誘集處理前，實測  $D = |\max (G(X) - F(X))| = 0.1881 < D_{0.025, 21, 20} = 0.1905$  (查表得)，故不接受  $H_1$ ，表示在大規模誘集處理之前樣區 D 與樣區 E 小黑蚊分布情形相同。

表十三、樣區 D 經大量誘集處理後與對照組樣區 E 無母數檢定表

No. of <i>F. taiwana</i> collected	Frequency in plot E	Frequency in plot D	G (X)	F (X)	D=  G(X)-F(X)
0-3	3	10	13.04%	38.46%	25.42%
4-7	1	6	4.35%	23.08%	18.73%
8-11	5	5	21.74%	19.23%	2.51%
12-15	0	2	0.00%	7.69%	7.69%
16-19	1	0	4.35%	0.00%	4.35%
20-23	1	3	4.35%	11.54%	7.19%
24-27	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
28-31	1	0	4.35%	0.00%	4.35%
32-35	5	0	21.74%	0.00%	21.74%
36-39	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
40-43	3	0	13.04%	0.00%	13.04%
44-47	3	0	13.04%	0.00%	13.04%
48-51	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
Total	23	26	100.00%	100.00%	

而在經過 30 人在台灣缺蠓密度高峰期連續三小時誘集處理後，再次進行 K-S 檢定，結果如表十三所示，實測  $D = |\max(G(X) - F(X))| = 0.2542 > D_{0.025, 23, 26} = 0.1742$ ，故可接受  $H_1$ ，表示兩試區小黑蚊分布不同，以樣區 E 較高，顯示未經大量誘集處理之地點小黑蚊族群密度較高。

## (二) 單人長時間誘集小黑蚊單人長時間誘捕試驗

本試驗第一次自 2010 年 7 月 3 日起自上午 9:30 至下午 17:30 連續三日對樣區 D 進行大量捕捉，調查連續數日台灣缺蠓雌成蟲的密度變化情形；第二次自 2010 年 8 月 1 日起自上午 9:30 至下午 17:30 連續三日對樣區 E 進行大量捕捉，再調查接下來連續數日的密度變化情形；預期以大量誘捕方式獲得部分防治效果；並利用移除法 (Removal Method) 進行線性迴歸，觀察其族群變動情形估計該樣區台灣缺蠓族群大小。分析方法使用成對母體平均數差異 T 檢定 (T-test) 檢驗與無母數統計分析方法 Kolmogorov-Smirnov 檢定法 (K-S 檢定法)，分析處理前、處理後對小黑蚊密度之分布是否具顯著變化。

第一次試於樣區 D 驗結果如表十四所示。假設母體為常態分配，假設檢定：

- $H_0$ ：表處理前、後試區 D 小黑蚊族群分布相同
- $H_1$ ：表處理前、後試區 D 小黑蚊族群分布不同

以  $\alpha$  值=0.05 對 7/3 與 7/4 之樣本進行成對母體平均數差異 T 檢定。計算結果  $t$  值=2.3196 >  $t_{0.05}(15) = 1.753$ (查表得)，落入拒絕域，顯示檢定結果應拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理一日後試區 D 小黑蚊族群分布不同，已達顯著水準。

再以  $\alpha$  值=0.05 對 7/3 與 7/5 之樣本進行成對母體平均數差異 T 檢定。計算結果  $t$  值=4.4546 >  $t_{0.05}(15) = 1.753$ (查表得)，落入拒絕域，顯示檢定結果應拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理二日後試區 D 小黑蚊族群分布不同，達顯著水準，且比 7/4 之效果更顯著。

表十四、於樣區 D 及樣區 E 實施單人長時間誘集處理時之每日時刻對照所誘得之蟲數

Time of the day	No.of midge females collected in Plot D			No.of midge females collected in Plot E		
	7/3	7/4	7/5	8/1	8/2	8/3
09:30-10:00	7	5	4	8	7	6
10:00-10:30	8	6	4	10	8	7
10:30-11:00	7	5	1	8	5	5
11:00-11:30	10	8	6	12	10	9
11:30-12:00	14	10	7	16	13	9
12:00-12:30	28	21	15	33	28	21
12:30-13:00	48	27	26	57	48	48
13:00-13:30	51	45	35	64	60	50
13:30-14:00	79	69	50	93	68	58
14:00-14:30	54	44	34	58	44	43
14:30-15:00	33	30	18	39	33	28
15:00-15:30	12	23	6	14	12	9
15:30-16:30	9	6	5	11	8	6
16:00-16:30	8	5	4	10	9	7
16:30-17:00	1	3	1	3	1	1
17:00-17:30	0	0	0	0	0	0



第二次於樣區 E 試驗結果亦如表十四所示。假設母體為常態分配，假設檢定：

- $H_0$ ：表處理前、後試區 E 小黑蚊族群分布相同
- $H_1$ ：表處理前、後試區 E 小黑蚊族群分布不同

以  $\alpha$  值 = 0.05 對 8/1 與 8/2 之樣本進行成對母體平均數差異 T 檢定。計算結果  $t$  值 = 3.2313 >  $t_{0.05}(15) = 1.753$  (查表得)，落入拒絕域，表示檢定結果應拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理一日後試區 E 小黑蚊族群分布不同，已達顯著水準。

再以  $\alpha$  值 = 0.05 對 8/2 與 8/3 之樣本進行成對母體平均數差異 T 檢定。計算結果  $t$  值 = 3.7747 >  $t_{0.05}(15) = 1.753$  (查表得)，落入拒絕域，表示檢定結果應拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理二日後試區 E 小黑蚊族群分布不同，達顯著水準，且比 8/2 之效果更顯著。

上述統計是在台灣缺蠓母體分布為常態分布的假設下所進行，一般而言樣本數夠大可無條件假設樣本常態分布，然而為求謹慎起見將樣區 D 及樣區 E 三日台灣缺蠓族群分布數據使用 Lilliefors test for normality 檢驗其是否符合常態分布，結果顯示 7/3 日之  $D_{7/3}$  值 = 0.2761、7/4 日之  $D_{7/4}$  值 = 0.2431、7/5 日之  $D_{7/5}$  值 = 0.2924、8/1 日之  $D_{8/1}$  值 = 0.2851、8/2 日之  $D_{8/2}$  值 = 0.2865、8/3 日之  $D_{8/3}$  值 = 0.3329。皆大於樣本數 16 時之  $D_{0.05}(16)$  值 = 0.2132。顯示此六日之台灣缺蠓族群分布非屬於常態分布。因此進一步進行無母數分析 K-S 檢定，檢定處理前、後試區 D 及樣區 E 小黑蚊族群分布是否不同。

依據無母數統計分析 Kolmogorov-Smirnov 檢定法(K-S 檢定法)，設兩樣區互為獨立，且觀測值依大小順序排列。假設檢定：

- $H_0$ ：表樣區 D 處理前、後試區小黑蚊族群分布相同
- $H_1$ ：表樣區 D 處理前、後試區小黑蚊族群分布不同

以  $\alpha$  值=0.05 對 7/3 與 7/4 之樣本進行無母數統計 K-S 檢定。計算結果  $D$  值= $|\max(F_{7/3}(X) - F_{7/4}(X))| = 0.3125 > D_{0.025,16,16} = 0.2033$  (查表得)，檢定結果拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理一日後，位於樣區 D 之小黑蚊族群分布不相同，達顯著水準，表示經過單人大量誘集至第二日，對減少此處台灣缺蠓族群已有效果出現。

再以  $\alpha$  值=0.05 對 7/3 與 7/5 之樣本進行無母數統計 K-S 檢定。計算結果  $D$  值= $|\max(F_{7/3}(X) - F_{7/5}(X))| = 0.4375 < D_{0.025,16,16} = 0.2033$  (查表得)，檢定結果拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理二日後，樣區 D 的小黑蚊族群分布已顯著不同，且 7/3 之族群大於 7/5 之族群，表示經過單人連續大量誘集至第三日，對減少此處台灣缺蠓族群在統計上已有顯著效果呈現。

然而此方法若在不同樣區(樣區 E)實施效果不知是否同樣顯著，故再假設檢定：

- $H_0$ ：表樣區 E 處理前、後試區小黑蚊族群分布相同
- $H_1$ ：表樣區 E 處理前、後試區小黑蚊族群分布不同

以  $\alpha$  值=0.05 對 8/1 與 8/2 之樣本進行無母數統計 K-S 檢定。計算結果  $D$  值= $|\max(F_{8/1}(X) - F_{8/2}(X))| = 0.1875 < D_{0.025,16,16} = 0.2033$  (查

表得)，檢定結果接受  $H_0$ ，未達顯著水準，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理至第二日，樣區 E 小黑蚊族群分布相同，單人大量誘集至第二日還未有顯著效果。

再以  $\alpha$  值=0.05 對 8/1 與 8/3 之樣本進無母數統計 K-S 檢定。計算結果  $D$  值= $|\max (F_{8/1}(X)-F_{8/3}(X))| = 0.3750 > D_{0.025,16,16} = 0.2033$ ，落入拒絕域，結果拒絕  $H_0$ ，顯示經單人長時間大量誘集處理前與處理至第三日後試區 E 小黑蚊族群分布不同，且 8/1 之族群大於 8/3 之族群，表示此處理對減少台灣缺蠓族群在不同樣區(樣區 E)仍然有效，並且能達到統計上之顯著水準。

## 五、估計族群大小

根據三日連續大量捕捉的蟲數配合「去除法」(Removal Method) 估計樣區內的台灣缺蠓雌蠓族群數量。自 7/3 至 7/5，於每日 8:00-17:30，單人長時間誘及小黑蚊，第一日共誘捕得 369 隻、第二日 307 隻、第三日 216 隻；而自 8/1 至 8/3，第一日共誘捕得 436 隻、第二日 354 隻、第三日 307 隻；誘捕結果顯示所誘捕之蟲數隨單人長時間誘捕之日數增加而逐日減少，此外比較試驗前後台灣缺蠓之密度也顯示其密度下降，兩種數據顯示：單人長時間誘集台灣缺蠓之處理，也能達到降低其密度之效果，然而效果不如多人集體誘集明顯而有快速成效。另外進行移除法計算結果顯示(表十五)：

### 1. Hayne Extrapolation Method 直線迴歸估計結果：

對第一次在樣區 D 進行單人長時間大量誘捕所做之直線迴歸式為  $Y = -3.3407 X + 1639$ ， $R^2 = 0.9569$ ；表示 7 月 6 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 1639 隻時，即能消除該地所有的雌

成蟲。而對第二次在樣區 E 進行單人長時間大量誘捕所做之直線迴歸式為  $Y = -5.0335 X + 2614.9$ ， $R^2 = 0.987$ ；顯示 8 月 3 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 2614 隻時，即能消除該地所有雌成蟲。

## 2. Moran-Zippin Method 估計結果：

結果顯示 7 月 6 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 1655 隻時，即能消除該地所有的雌成蟲。8 月 3 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 2675 隻時，即能消除該地所有的雌成蟲。

表十五、以 Hayne 外推法與 Moran-Zippin 移除法估算樣區台灣缺蠓雌成蟲族群

Trapping Days	7/3-7/5		8/1-8/3	
	Daily Capture	Accumulated Capture	Daily Capture	Accumulated Capture
1 <sup>st</sup>	369	369	436	436
2 <sup>nd</sup>	307	676	354	790
3 <sup>rd</sup>	216	892	307	1097
Estimation <sup>1</sup>	1639		2614	
Estimation <sup>2</sup>	1655		2675	

Estimation<sup>1</sup>: Population estimation by Hayne Extrapolation Method.

Estimation<sup>2</sup>: Population estimation by Moran -Zippin Capture-Removal Method.

## 討 論

### 一、兩種密度監測技術相關性測試

考量小黑蚊盛行的地區，每 20 分鐘密度往往超過 100 隻以上，未來作為實際應用之估算方程式，可採用  $n > 50$  隻的資料。此一台灣缺蠓密度 10 分鐘監測所得的試驗結果與現行 20 分鐘密度監測具有正相關，而  $n > 50$  組所獲得資料之相關性高於 1-20 及 21-50 組。全部資料經統計分析後，求取台灣缺蠓雌蟲「10 分鐘密度監測」與「20 分鐘密度監測」兩者之間達到統計顯著水準之相關換算係數。

此一模式在台灣缺蠓活動適溫期均可適用，但噴灑過藥劑後的 2-3 天內，活蟲數與鄰近地區有落差時，會影響調查結果。

依本試驗結果，若需在一個選定地區測試台灣缺蠓密度時，可遵循下列步驟進行監測：

由擬調查之中心點算起半徑 50 公尺之外圍選取各處，於日間 11:00 -15:00 之間進行調查。以每人單隻裸露的小腿誘集 10 分鐘，記錄所誘集之蟲數（隻/小腿/10 分鐘），若蟲數在 50 隻以下，可以 3 處調查之總蟲數作為密度調查結果較準確。

「10 分鐘密度」調查蟲數經換算後可求得「20 分鐘密度」(表五)，蟲數在 42 隻以上相當於「20 分鐘密度」的嚴重危害(第 5 級)，21.8 - 41.5 隻相當於嚴重危害(第 4 級)，5.3 - 21 隻相當於中度危害(第 3 級)，1 - 5.3 隻相當於輕度危害(第 2 級)，1 隻以下屬於無危害(第 1 級)。未來於田間進行台灣缺蠓密度監測時，建議以每組三人或單人分三次進行估測，期能減少人為誤差，而獲致均一之監測基準。

## 二、氣象因子與台灣銜蠓日週期族群變化關係

本試驗執行期間為 2010 年 7 月 3 日至 7 月 5 日及 8 月 1 日至 8 月 3 日，調查數據以統計分析。

劉（2010）於 2005 年 8 月 24 日起至 9 月 5 日止，扣除天候不佳因素，連續十日在台中縣太平市監測台灣銜蠓密度，探討其密度與氣象因子之關係，結果指出雌成蟲吸血活動與相對濕度都具有顯著的負相關性，與本實驗結果大致相符合，這顯示相對濕度愈低吸血活動之雌成蟲數目明顯較多。此現象可能是造成早晚時段誘集之蟲數較少，而中午時段誘集之蟲數相對較多之原因之一。然而與前人研究相比，本實驗決定係數  $R^2$  均在 0.6 以下甚至低於 0.2，而前人研究的水準  $R^2$  值皆在 0.7 至 0.98 之間（劉，2010），推測其原因，可能是調查時間長短不同所導致，劉（2010）調查之時間為 8 月 24 日起至 9 月 5 日止連續十日，期間氣候因子與環境條件均比較相似，然而本研究調查時間為 2008 年 10 月至 2010 年 7 月止，期間經歷四季與各式環境變化，所以氣候因子溫度與濕度對台灣銜蠓密度影響的決定係數減弱，例如同樣是  $27.1^{\circ}\text{C}$ ，發生在 2010 年七月早上 8 點，另一次是在 2010 年四月接近中午，台灣銜蠓的數量就會是不一樣的。

此外，謝（2007）研究指出年度族群數量變動與環境溫度、相對濕度與降雨日數皆有非常顯著之正相關，然而劉（2010）與本研究此部分的結果卻與相對濕度呈現顯著負相關，推測其原因，可能是劉（2010）與本研究使用從早上至傍晚每日不同時間的台灣銜蠓密度數據比較，因此呈現出台灣銜蠓在單日之內日週期活動的情況，

根據前人及本實驗研究，台灣缺蠓密度最高的時間為每日中午時分（11:30-13:30），此時刻正是每日溫度最高，以及濕度最低的時段，所以其密度隨濕度上升而下降，與濕度呈現負相關，也許有部分是巧合，所以造成台灣缺蠓密度長期與濕度呈正相關，但是短期（單日內）卻與濕度呈負相關的現象。

由前述結果中得知，台灣缺蠓雌成蟲之出現密度與時間的分布情形不屬於常態分布，故無法以常態分布曲線描述日週期族群變化，因此必須用其他迴歸曲線來描述期日週期的族群活動變化。

台灣缺蠓之日週期活動隨時間而有顯著變化，故在此認為除溫度與濕度之外，尚需加入第三個變因「時間」。陳（2005）在實驗室中控制溫度與濕度，給予台灣缺蠓成蟲日夜相反的環境，觀察其活動及產卵行為，結果發現在日夜倒置的實驗環境下，台灣缺蠓雌成蟲的活動與產卵行為與對照組無顯著差異。此一結果顯示，台灣缺蠓有內在活動的調控機制、或生物時鐘（Bio Clock），此機制受光線刺激，並使台灣缺蠓在每日固定時間成群活動。

加入時間因子後，時間與台灣缺蠓日週期密度相關係數達 0.8 - 0.9，比溫度和相對濕度更為顯著，另外進行逐步回歸分析，結果顯示只有時間因素與台灣缺蠓之雌蟲密度達顯著差異，加入時間變因後，進行逐步複回歸分析， $R^2$  值可達到 0.9 以上。由台灣缺蠓發生密度與氣候因子相關性分析探討，可知台灣缺蠓的日週期活動發生受時間與氣候因子影響，以時間之影響最為重要；而氣候因子方面則以溫度效應最為明顯，此結果可提供防治時機研擬之參考。

### 三、氣象因子與台灣鈹蠓季節性族群變化關係

埔里地區台灣鈹蠓族群密度季節性監測調查自 2008 年 10 月至 2010 年 7 月期間，為瞭解台灣鈹蠓在田間的發生情形，於埔里地區以埔里國中作為樣區進行台灣鈹蠓族群密度長期監測調查，從五個田間調查地之台灣鈹蠓雌成蟲誘集結果發現樣區 D 之蟲數最多，其次為樣區 A、樣區 E、與樣區 B，而樣區 C 蟲數最少。過去的文獻資料中顯示：年度族群數量變動與溫度及雨量有關(Yeh and Chuang, 1996；李和侯，1997)，尤其以溫度是重要因子，而本試驗結果發現，台灣鈹蠓吸血活動與相對濕度及溫度有密切的關係，而且因地點不同而有差異。過去在季節性調查中發現族群密度與溫度有呈現顯著正相關（李和侯，1997），本試驗亦顯示在樣區 A、B、D、E 之台灣鈹蠓雌成蟲吸血活動也與溫度具有顯著正相關。

在樣區 A、樣區 B，族群密度與溫度及相對濕度皆有關，在樣區 C 與相對濕度及風速有關，而在樣區 D 與溫度、相對濕度、當日雨量、光照度、風速皆有關。

在南投縣埔里鎮調查台灣鈹蠓之族群密度消長，調查結果指出兩地高峰出現於七、八月間，十月開始密度逐漸減少，隔年三月底至四月初開始逐漸增多，顯示台灣鈹蠓之發生具有季節性。

Chuang et al. (2000) 在南投地區調查發現，族群密度由十二月到次年二月間的成蟲數為最低，四及五月成蟲數逐漸上升，六至八月為最高峰，自九月份後族群數量隨之減少，與本試驗之季節消長類似。



謝(2007)研究發現當均溫高於 20°C 時，溫度影響效應降低；與本實驗結果相似，比較月均溫線發現，冬季溫度下降則成蟲密度隨之減少，而四月溫度上升密度隨之增加，溫度低於 20°C 時密度明顯下降，溫度回升超過 20°C 時密度會開始大量發生，Chuang et al. (2000) 推論台灣缺蠓族群密度下降，可能因為冬季血源取得不易所致。因此冬季台灣缺蠓族群密度降低，除溫度對其幼蟲發育之影響外，血源取得不易亦為影響因子之一。

本研究將台灣缺蠓密度資料與調查前一個月間之氣象資料進行分析比較，探究其密度變化與溫度、相對濕度、降雨量、降雨日數、與日照時數之關係。經由迴歸分析結果顯示：台灣缺蠓之族群密度之變動與前一月份之降雨量 ( $p < 0.05$ )、降雨日數 ( $p < 0.001$ ) 皆有非常顯著之正相關；日照時數 ( $p < 0.001$ ) 呈現非常顯著之負相關；而將台灣缺蠓密度資料與調查當月之氣象資料進行分析比較，經由 Pearson 相關分析之結果顯示本月降雨日數 ( $p < 0.001$ )、本月均溫 ( $p < 0.01$ )、本月雨量 ( $p < 0.01$ )、本月日照時數 ( $p < 0.05$ )、風速 ( $p < 0.05$ ) 與台灣缺蠓成蟲密度亦有顯著正相關。以複迴歸逐步法進行分析，則以前一月份之降雨日數 ( $p < 0.001$ ) 及前一月份之日照時數 ( $p < 0.001$ ) 之影響最為重要。

陳等 (1982) 利用路徑分析法得到對族群變動影響程度，依序為日照時數、雨量、濕度及溫度之結果，而以複迴歸表示時，則以日照時數及溫度較為重要。李和侯 (1997) 在台南地區進行密度調查，結果指出族群密度與上一個月之受降雨日數、溫度及降雨量有顯著相關，且與當月溫度呈顯著之正相關。Chuang et al. (2000) 於南投地區進行 4 年季節消長調查，每月之族群豐度與溫度和降雨

量具有高度相關性，根據複迴歸分析結果指出溫度是造成缺蠓之最  
重要因子。

而由台灣缺蠓發生密度與季節性氣候因子相關性分析探討，可  
知台灣缺蠓的發生受當月與前一個月之氣候因子影響極大，其中  
前一月份之降雨日數( $p < 0.001$ )及前一月份之日照時數( $p < 0.001$ )  
之影響最為明顯，此結果可提供台灣缺蠓族群變動及發生預測之參  
考依據，亦可作為防治時機之參考。

陳（1980）說明台灣缺蠓於 4 m/s 風速下，其活動力與風速呈  
正相關性，並認為氣候因子中以風速對日週期活動影響最大，甚至  
高於濕度與溫度。張（1997）認為環境風速應是影響誘集的主因，  
一般風大的天氣中以人體也常誘不到蟲體，除影響台灣缺蠓出沒外，  
誘引因子如溫度、CO<sub>2</sub> 及味道等，被風所吹散也是應考慮的因素。  
而本研究取樣誘集台灣缺蠓為減少風力的影響，皆儘量選擇在無風  
或風速很小的狀況下進行，絕大多數調查數據平均風速介於 0-1.2  
m/s 之間，可能因此減少風速對台灣缺蠓誘集數目影響之顯著性。  
謝（2007）研究調查發現台灣缺蠓成蟲密度與前三至四週之風速有  
較高之正相關，故推測田間適量的風速（ $< 2.1$  m/s）也許對成蟲之  
吸血或飛行有所幫助。

#### 四、大量誘捕 (Mass Trapping) 對台灣缺蠔雌蠔族群密度與族群大小影響

本研究實施 30 人集體大量誘捕試驗，選擇台灣缺蠔大量發生、密度集中之下午 13:30-16:30，30 人持續三小時以人體誘集法誘捕台灣缺蠔，再繼續調查接下來數日雌成蟲的密度變化情形。結果發現在大量誘集隔日族群密度明顯下降到僅前一日之 24.6%；而另外實施單人長時間誘捕試驗，連續三日對樣區進行大量捕捉，再調查接下來連續數日的密度變化情形，結果連續三日誘捕蟲數共 346、303、及 213 隻，至第二日時效果仍不明顯，所捕獲蟲數為原本 87.6%，至第三日全天所能捕獲之蟲數降至原本 61.5%，才有較明顯效果；而第二次連續三日誘蟲數分別為 409、391、及 278 隻，顯示與第一次類似的結果：第二日所誘得蟲數仍有第一日之 95.6%、至第三日則僅能捕獲第一日 67.9% 的雌成蟲。以上結果顯示單人全日對台灣缺蠔實施大量誘捕，必須至第三日開始才可見到效果，防治的效率較差，而多人大量誘捕之時效性較佳，而且將族群降低的效果也較明顯。

大量誘捕 (Mass Trapping) 技術常見於田間農作物害蟲之防治，此法一般使用昆蟲性費洛蒙 (Sex Pheromone) 達到大量誘捕、誘殺、或交配干擾 (Mating disruption) 以達到防治之目的 (Sheng, 2003)。而在應用於台灣缺蠔之誘集方面，劉 (2010) 利用發光二極體 (Light-emitting diode, LEDs)、八烯醇、與二氧化碳三者組合之誘集器開發台灣缺蠔之誘集器；張 (1997) 亦曾應用不同 CO<sub>2</sub> 來源、溫度、氣味、及顏色因子設計誘集器誘捕台灣缺蠔，而比較以人小腿及誘集器時，則以人小腿的平均誘集蟲數比誘集器所得之結果高，

因此本研究嘗試以人體誘集法大量誘集台灣缺蠓之雌成蟲，結果顯示大量誘集對台灣缺蠓確有降低其族群大小之效果。

然而不論是上述何種大量誘捕方式皆需要持續進行誘捕工作，例如在本研究中，無論是 30 人大量誘捕或單人長時間之誘捕後，若無持續進行誘捕，至誘捕結束後第三日其雌成蟲數目已恢復至原本 84.1%，顯示其恢復速率驚人。

## 五、估計族群大小

在引用 Hayne Extrapolation Method 及估計台灣缺蠓雌成蟲之族群大小之結果顯示 7 月 6 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 1639 隻時，即能消除該地所有的雌成蟲。8 月 3 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 2614 隻時，即能消除該地所有雌成蟲。而在引用 Moran-Zippin Method 之結果則有類似的結果，其顯示：7 月 6 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 1655 隻時，即能消除該地所有的雌成蟲。8 月 3 日當時若繼續誘捕台灣缺蠓累計至 2675 隻時，即能消除該地所有的雌成蟲。

Hayne Extrapolation Method 與 Moran-Zippin Method 兩種族群大小估計結果呈現相似的情形，然而任何估計方法都有誤差存在，本估計法算出的估計族群數量適合估計利用大量誘捕法所獲得的「累積蟲數」，樣區內每日均有新羽化出的台灣缺蠓雌成蟲，「累積蟲數」並不能精確表示某時刻之台灣缺蠓總族群大小。

本次調查結果顯示在樣區內台灣缺蠓大量發生之前、或是剛開始大量發生（7/3-7/5）之時，若實施大量誘捕則可大幅降低所需誘

捕的假設目標蟲數（1639 隻或 1655 隻），即可達到消除所有雌成蟲之目標；然而若等到台灣鈹蠓已大量發生（8/1-8/3），並達發生高峰時才進行大量誘捕，則需要誘捕更多雌蟲才能達到假設目標蟲數（2614 隻或 2675 隻），達到消除該地所有雌成蟲的目標，從而消除其危害。

## 結論

本研究主要以兩階段進行，第一階段調查台灣缺蠓在不同季節的族群密度，第二階段大量誘捕台灣缺蠓雌蟲。

在台灣缺蠓之族群密度調查部分，本文嘗試開發更便捷之調查方法。過去對於台灣缺蠓之密度調查，廣泛採用在田間以人體誘集法進行 20 分鐘之密度調查。本文試以人體誘集法實施 10 分鐘密度調查，進行兩種密度監測技術之相關性測試，先試行將原始資料進行轉換分析，比較自然對數 (ln) 轉換，進而以 10 分鐘密度之數據為自變數，20 分鐘密度之數據為應變數，進行迴歸分析，並設定常數項為零進行校正，校正後  $R^2$  值顯著提升到 0.75 甚至達 0.99 以上，求得兩種台灣缺蠓密度調查數據之轉換方式，所得之方程式可作為 10 分鐘密度估計 20 分鐘密度之模式，其危害分級之指標 (表五) 亦可換算應用。

其次，本文針對氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化關係進行探討，結果顯示在台灣缺蠓的日週期變化過程中，時間是影響族群密度最重要的因子，而除時間之外，氣象因子中之溫度與濕度是較重要的影響因子，而與溫度成正相關，並普遍與濕度呈負相關。其日週期族群密度可依所得之迴歸式進行估計與預測。

而在氣象因子與台灣缺蠓季節性族群變化關係方面，本文分別「依日為單位」與「依月為單位」分析五個樣區內之季節性族群變動與氣象因子之關係。

在「依日為單位進行族群密度變化分析」部分，結果顯示溫度對台灣缺蠓族群密度變化的影響普遍呈現正相關，並且在樣區 A、B、

D、E 四個樣區皆達到顯著差異，與日週期族群密度調查結果相似；而濕度、風速對台灣缺蠓族群密度的影響則呈現負相關，且在所有樣區都達到顯著差異，亦與日週期族群密度調查結果相似；而其他氣象因子與族群密度變化之關係則呈現分歧：當日雨量對台灣缺蠓族群密度變化的影響分別呈現正相關(樣區 C、D)與負相關(樣區 A、B、E)，然而僅在樣區 D 達到顯著差異；光強度對台灣缺蠓族群密度變化的影響也分別呈現正相關(樣區 C、D、E)與負相關(樣區 A、B)，然而在所有樣區皆沒有達到顯著差異(表八)。此項調查結果顯示五個樣區彼此氣象因子與台灣缺蠓日週期族群變化的關係有相似之處。

而在「依月為單位進行族群密度變化分析」部分，以逐步迴歸分析之結果顯示，當溫度、相對濕度、降雨量、降雨日數、日照時數、及風速等氣候因子逐一進入迴歸模式中時，本月均溫( $p < 0.05$ )、本月雨量( $p < 0.01$ )兩項因子可達顯著水準，而上月日照時數( $p < 0.001$ )及上月降雨日數( $p < 0.001$ )則可達極顯著水準，結果顯示上月日照時數和上月降雨日數對於棲群密度最具有影響力。其季節性族群密度亦可依所得之迴歸式進行估計與預測。所得迴歸式為： $Y = -6.0785 + 0.3775 \text{LRD} + 0.0024 \text{R} + 0.0268 \text{LSD} + 0.0975 \text{LT}$ ， $R^2 = 0.9365$ 。

最後，進行第二階段之台灣缺蠓大量誘捕試驗，本試驗分為 30 人集體大量誘捕試驗以及單人長時間誘捕試驗，比較處理前、後之族群數量與密度，以 T-test 與無母數 K-S 檢定分析，結果顯示上述兩種台灣缺蠓雌成蟲大量誘集試驗皆可有效降低其族群密度，而以 30 人集體大量誘捕之效率較佳。

在無外力協助之下，台灣缺蠓一般活動範圍較小，因此本研究使用之人體誘集法之大量誘集十分適合定點誘集，然而誘集地點的選擇與誘集效果有很大的關係，在熟悉的環境可根據個人平時經驗或附近居民的訪查了解台灣缺蠓大量發生的區域，而在陌生的環境研究人員則可根據前人研究選擇光線充足、潮濕滋生藻類等台灣缺蠓可能孳生之場所進行誘捕。

台灣缺蠓雌成蟲在交配後伺機吸取人血才是其一生中侵擾人類的階段，因此本研究認為未來對台灣缺蠓之防治，除幼蟲防治與棲地整頓外，亦可考慮由台灣缺蠓雌成蟲之物理防治著手，從族群大小的變化趨勢中提前預測其發生高峰期，及早以人類小腿誘集法或其他有效之誘集器大量誘集雌成蟲，如此可將小黑蚊族群降低所需的社會成本與人力減低到最合理有效率的水準。



## 參考文獻

- 王惠鵬。1997。南投地區台灣缺蠓之化學防治。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。72 頁。
- 王凱淞、葉金彰。1997。台灣缺蠓幼蟲孳生源調查。行政院環保署第九屆病媒防治技術研討會論文集。111-123 頁。行政院環境保護署。
- 王惠鵬、葉金彰、莊益源。1997。台灣缺蠓之田間防治實務。行政院環保署第九屆病媒防治技術研討會論文集。151-175 頁。行政院環境保護署。
- 石正人、吳文哲、柯俊成、陳錦生、鄭巖、李學進、唐立正。1994。環境衛生用藥藥效試驗方法規範。100 頁。行政院環境保護署。
- 包鼎成。1957。台灣缺蠓成蟲的習性。昆蟲知識 3 (6)：272-3。
- 李鐵生。1975。兩廣的吸血蠓(雙翅目：蠓科)。中國昆蟲學報 18 (4)：433-436。
- 李學進。1996。小黑蚊的生態及綜合防治。第八屆病媒防治技術研討會論文集。15-23 頁。
- 李學進、侯豐男。1997。臺南地區台灣缺蠓之季節消長及藥劑防治。行政院環保署第九屆病媒防治技術研討會論文集。125-136 頁。行政院環境保護署。
- 李學進、曾國政。2006。小黑蚊之危害及防治。環境衛生用藥及病媒防治技術研討會論文集。265-280 頁。
- 吳皎如、吳樹吟。1957。由糠蚊科蠓屬 *Lasiohelea* 台灣蠓蠓分離出乙型腦炎病毒。微生物學報 5：22-26。
- 周欽賢。1990。如何防治小黑蚊。台灣環境衛生 22 (2)：54-56。
- 周欽賢、連日清、王正雄。1999。醫學昆蟲學。536 頁。南山堂出版社。台北。
- 柳忠婉、丁爾成、蔡連來、梁玉寬。1964。台灣蠓蠓孳生地調查。中國昆蟲學報 13 (5)：757-760。
- 張本華。1951。四川省三種吸血蠓蠓(墨蚊)的分類研究。中國昆蟲學報 1 (3)：280-285。

- 張伯熙。1997。台灣缺蠓之殺蟲劑篩選及其誘集研究。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。68 頁。
- 張伯熙、葉金彰。1997。物理方法誘集小黑蚊。行政院環保署第九屆病媒防治技術研討會論文集。137-150 頁。行政院環境保護署。
- 陳伯中。1982。台灣本地淡水綠藻、藍綠藻之培養及其利用價值之研究。國立中興大學理工學報 19: 185-189。
- 陳錦生。1980。花蓮地區台灣缺蠓之形態及族群動態研究。國立台灣大學植物病蟲害學研究所論文。98 頁。
- 陳錦生。1987。花蓮地區台灣缺蠓（小黑蚊）幼蟲防治試驗。14 頁。行政院環境保護署。
- 陳佩琇。2005。食物及濕度對台灣缺蠓 *Forcipomyia taiwana*（雙翅目：蠓科）發育之影響。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。69 頁。
- 陳亢川、蔡連來。1962。福建省吸血蠓種的分類研究。昆蟲學報 11:394-400。
- 陳錦生、連日清、徐世傑。1980。台灣缺蠓之形態及掃描電子顯微鏡觀察（雙翅目：蠓科）。國立中興大學昆蟲學報 15：211-226。
- 陳錦生、徐世傑、連日清。1982。花蓮地區台灣缺蠓季節消長研究。國立台灣大學植物病蟲害學刊 9: 68-90。
- 黃杏英。2000。台灣缺蠓叮咬後之血清病學研究。中山醫學院生物化學研究所碩士論文。60 頁。
- 莊益源。1994。台灣缺蠓之生活史及其在南投地區之季節消長。國立中興大學昆蟲學研究所碩士論文。52 頁。
- 梁昇、曾俊傑。2004。坡地整治工程區位與台灣缺蠓之關係。水土保持學報 36(4): 307-318。
- 虞以新、劉康南。1982。中國蠓蠊的研究。科學出版社。北京。84 頁。
- 裘明華、蔡雲龍。1979。台灣缺蠓的生活史研究（雙翅目：蠓科）。中國昆蟲學報 22 (4)：437-442。

- 裘明華、榮雲龍。1980。台灣缺蠓幼期的形態（雙翅目：蠓科）。中國昆蟲學報 23 (1)：66-75。
- 葉金彰、王凱淞。2000。小黑蚊之生態及防治。145-159 頁。居家害蟲生態與防治技術（李學進、王俊雄編著）。國立中興大學農業推廣中心。
- 鄧勝軒。2005。坡地社區小黑蚊防治之研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。66 頁。
- 劉文勇。2010。臺灣缺蠓(雙翅目：蠓科)之飼育技術、吸血習性及其誘集器開發。國立中興大學昆蟲學系博士論文。151 頁。
- 謝伯岳。2007。台灣缺蠓 *Forcipomyia taiwana* (Shiraki)的產卵習性、族群動態與對昆蟲生長調節劑感受性之研究。國立中興大學昆蟲學系碩士論文。83 頁。
- 譚璟憲、薛景珉、柯衛。1989。台灣缺蠓吸血和生殖的觀察。中國昆蟲學報 32 (1)：52-57。
- Bailey, N. T. J. 1952. Improvements in the interpretation of re-capture data. J. Animal Ecol. 21:120-127.
- Bishop, A. L., H. J. McKenzie, I. M. Barchia, and L. J. Spohr. 1998. Effects of lighting regimens on the emergence and numbers of *Culicoides brevitarsis* Kieffer (Diptera: Ceratopogonidae) in emergence chambers. Aust. J. Entomol. 37: 319-322.
- Boorman, J. 1987. A Name list of World Austroconops, Leptoconops and *Forcipomyia* (subgenera *Lasiohelea* and *Dacnoforcipomyia*) to 1985(Diptera : Ceratopogonidae). Cah. ORSTOM Ent. med. Et Parasitol., numero special 1987: 53-62.
- Brei, B., B. W. Cribb, and D. J. Merritt. 2003. Effects of seawater components on immature *Culicoides molestus* (Skuse) (Diptera: Ceratopogonidae). Aust. J. Entomol. 42: 119-123.
- Byron K. Williams, James D. Nichols, Michael J. Conroy. 2002. Analysis and management of animal populations: modeling, estimation, and decision making. New York: Academic Press. 290-291.
- Author, A. A. (1993). Book title. Location: Publisher.

- Chen, C. S., Y. N. Lin, C. L. Chung, and H. Hung. 1979. Preliminary observations on the larval breeding sites and adult resting places of a bloodsucking midge, *Forcipomyia (Lasiohelea) taiwana* (Shiraki) (Diptera: Ceratopogonidae). Bull. Soc. Entomol. National Chung Hsing Univ., Taiwan. 14: 51-59.
- Chen, C. S., J. C. Lien, Y. N. Lin, and S. J. Hsu. 1981. The diurnal biting pattern of a bloodsucking midge *Forcipomyia (Lasiohelea) taiwana* (Shiraki) (Diptera: Ceratopogonidae). Chinese J. Microbiol. Immunol. 14: 54-56.
- Christian S. Albright, Wayne L. Winston, Christopher Zappe. 2009. Data Analysis and Decision Making with Microsoft® Excel, Revised (3<sup>rd</sup> ed.). South Melbourne: Cengage Learning.
- Chuang, Y. Y., C. S. Lin, C. H. Wang, and C. C. Yeh. 2000. Distribution and seasonal occurrence of *Forcipomyia taiwana* (Diptera: Ceratopogonidae) in the Nantou area in Taiwan. J. Med. Entomol. 37 : 205-209.
- Cribb, B. W. 2000. Oviposition and maintenance of *Forcipomyia (Lasiohelea) townsvillensis* (Diptera: Ceratopogonidae) in the laboratory. J. Med. Entomol. 37 : 316-318.
- Cribb, B. W., B. Brei, A. W. Ridley, and D. J. Merritt. 2003. Occurrence of immature *Culicoides molestus* (Skuse) (Diptera: Ceratopogonidae) in relation to habitat characteristics. Aust. J. Entomol. 42: 114-118.
- Davis, D. E. 1982. Handbook of census methods for terrestrial vertebrates. CRC Press Inc. 344-369.
- Day, J. F., and R. D. Sjorgen. 1994. Vector control by removal trapping. Am. J. Trop. Med. Hyg. 50 : 126-133.
- Fasano, G. and Franceschini, A. 1987. A Multidimensional Version of the Kolmogorov-Smirnov Test. Mon. Not. R. Astr. Soc. 225: 155-170.
- Hayne, D. W. 1949. Two methods for estimating animal populations. J. Mammal. 30:399-411.
- Joan P. Jass. 1982. Regression estimate of population size for the crab spider *Philodromus cespitum*. (Araneae, Philodromidae). J. Arachnol. 10:15-18.
- Jolly G M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. Biometrika. 52: 225-247.

- Justal, Ana, Daniel Pana, and Ruben Zamar. 1997. A Multivariate Kolmogorov-Smirnov Test of Goodness of Fit. *Statistics and Probability Letters*. 35: 251-259.
- Kar, Chinmaya and A.R. Mohanty. 2006. Multistage gearbox condition monitoring using motor current signature analysis and Kolmogorov–Smirnov test. *Journal of Sound and Vibration*. 290: 337-368.
- Lien, J. C. 1989. Taxonomic and ecological studies on the biting midges of the subgenus *Lasiohelea*, genus *Forcipomyia* from Taiwan. *J. Taiwan Mus.* 42: 37-77.
- Lien, J. C. 1991. Seven new species and four new record of *Forcipomyia* subgenus *Lasiohelea* from Taiwan (Diptera: Ceratopogonidae). *J. Taiwan Mus.* 44: 83-116.
- Meiswinkel, R., E. M. Nevill, and G. J. Venter. 1994. Vectors: *Culicoides* spp. *Infectious Diseases of Livestock with Special Reference to Southern Africa*, vol 1, pp. 68-89. Oxford University press, Cape Town.
- Meintanis, Simos G. 2007. A Kolmogorov–Smirnov type test for skew normal distributions based on the empirical moment generating function. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 137: 2681-2688.
- Mercer, R. D., G. R. Spinelli, D. M. Watts, and R. B. Tesh. 2003. Biting rates and developmental substrates for biting midges (Diptera: Ceratopogonidae) in Iquitos, Peru. *J. Med. Entomol.* 40: 807-812.
- Moran P. A. P. 1951. A mathematical theory of animal trapping. *Biometrika*, 38: 307-311.
- Nunamaker, R. A. and J. A. Lockwood. 2001. Cryopreservation of embryos of *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae). *J. Med. Entomol.* 38(1): 55-58.
- Pollock K H. 1982. A capture-recapture design robust to unequal probability of capture. *Journal of wildlife manage*, 4 6: 757-760.
- Pollock K H. 1991. Modeling capture, recapture and removal statistics for estimation of demographic parameters for fish and wildlife populations: past, present and future. *Journal of the American Statistical Association*, 86: 226-238.

- Schmidtman, E. T., R. J. Bobian, and R. P. Belden. 2000. Soil chemistries define aquatic habitats with immature populations of the *Culicoides variipennis* complex (Diptera: Ceratopogonidae). *J. Med. Entomol.* 37(1): 58-64.
- Seber G. A. F. 1965. A note on the multiple-recapture census. *Biometrika*, 52: 249-259.
- Seber G. A. F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*. 2nd edition. New York: Macmillan.
- Sheng, C. F., W. J. Xuan, F. Ge, J. W. Su. 2003. Suppression of rice stem borer, *Chilo suppressalis*, by mass trapping using synthetic sex pheromone in paddy field. *Rice Sci.* 11: 52-66.
- Shiraki, T. 1913. Investigation on general injurious insects. *Taiwan Sotokufu Noji Shikenjo Tokubetsu Hokodu* 8 : 286-297.
- Sun, W. K. C. 1967. Study of a biting midge, *Forcipomyia (Lasiohelea) taiwana* (Shiraki) (Diptera: Ceratopogonidae). I. Description of the complete life cycle of the midge reared in the laboratory. *Biol. Bull. Tunghai Univ., Taiwan, Taichung.* 29: 1-10.
- Sun, W. K. C. 1974. Laboratory colonization of biting midges (Diptera: Ceratopogonidae). *J. Med. Entomol.* 11: 73-79.
- Sun, W. K. C., H. M. Chang, and H. P. Chang. 1971. Study of a biting midge, *Forcipomyia (Lasiohelea) taiwana* (Shiraki) (Diptera: Ceratopogonidae). II. The immature stages of the midge. *Chinese Bioscience* 1: 36-40.
- Tokunaga, M. 1937. Sandfly (Ceratopogonidae, Diptera) from Japan. *Tenthredo* 1: 233-337.
- White G C., erson D R, Burnham K P, Otis D L. 1982. *Capture-recapture and Removal Methods for Sampling Closed Populations*. Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory.
- Young, Ian T. 1977. Proof without Prejudice: Use of the Kolmogorov-Smirnov Test for the Analysis of the Histograms from Flow Systems and Other Sources. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry.* 25(7): 935-941.
- Yeh, C. C. and Y. Y. Chuang. 1996. Colonization and bionomics of *Forcipomyia taiwana* (Diptera: Ceratopogonidae) in the laboratory. *J. Med. Entomol.* 33: 445-44.

- Yu, Y. X., and J. H. Liu. 2006. World species of bloodsucking midges (Diptera: Ceratopogonidae). Military Medical Science press, Beijing.
- Zippin C. 1956. An evaluation of the removal method of estimating animal populations. *Biometrics*. 12: 163-189.