行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 100-07-1-01

蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之族群密度監測及性費洛蒙防治可行性之研究

Population monitoring of the cycad scale *Aulacaspis yasumatsui*, its predatory beetle and sex pheromone development potential assessment

委託機關：行政院農業委員會林務局臺東林區管理處

執行機關：國立中興大學昆蟲學系

中華民國 101 年 12 月

摘要

在臺灣北部之蘇鐵植株，自 2000 年開始，發現蘇鐵遭受蘇鐵白輪盾介殼蟲(*Aulacaspis yasumatsui* Takagi)的危害，之後開始蔓延全臺。因為蘇鐵白輪盾介殼蟲除危害一般園藝蘇鐵植株之外，更侵入位於臺東之臺東蘇鐵自然保留區，嚴重威脅保留區內之臺東蘇鐵。研究團隊自 2003 年從泰國引進捕食性天敵--雙色出尾蟲（*Cybocephalus nipponicus*）進行生物防治評估，並於 2005 年開始釋放至田間，作為防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之用。另外，本土天敵-臺灣方頭出尾蟲亦於全臺各地之蘇鐵上陸續被發現。本計畫之主要目的是持續進行臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區之蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵出尾蟲之族群數量與消長監測，以及進行有關利用性費洛蒙防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之可能性研究。計畫的監測結果顯示於臺東縣延平事業區第 19 與 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲族群消長方面，調查樣株上之蘇鐵白輪盾介殼蟲族群量於夏季時較高，但是之後有逐漸下降之趨勢，此趨勢與前幾年之調查結果相似。但值得注意的是捕食性天敵-臺灣方頭出尾蟲之族群量一直偏少，推測是因為近年來蘇鐵白輪盾介殼蟲之疫情較緩和，以及氣溫較低而造成。在全島分佈調查資料亦顯示，蘇鐵白輪盾介殼蟲與兩種天敵出尾蟲皆已廣泛分佈於臺灣低海拔各地；但在臺東蘇鐵自然保留區內，則僅有臺灣方頭出尾蟲能存活，顯示此地可能有不利泰國雙色出尾蟲生長之因子。另外，分析過去的族群及氣象資料發現，蘇鐵白輪盾介殼蟲較臺灣方頭出尾蟲更能耐受低溫，所以一年約可繁殖七代；而臺灣方頭出尾蟲則僅能繁殖五代。這資料也反映在族群密度之變化上，臺灣方頭出尾蟲僅能局部的控制蘇鐵白輪盾介殼蟲族群。最後，有關嘗試尋找蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙部分，雖然已從蘇鐵白輪盾介殼蟲之雌蟲抽取到數個可能為性費洛蒙之物質，並嘗試進行結構分析，但因量太少而無法得到結果。另外，在大量飼養蘇鐵白輪盾介殼蟲方面以製備性費洛蒙抽取材料時發現，於夏季時，蘇鐵白輪盾介殼蟲之性比似乎有變化，以雄蟲較多，影響雌性費洛蒙之抽取。所以有關蘇鐵白輪盾介殼蟲之性比或生殖方式，亦是未來需要再進一步探討的問題。

關鍵字：臺東蘇鐵、蘇鐵白輪盾介殼蟲、臺灣方頭出尾蟲、性費洛蒙

Abstract

Since 2000, the cycad tree over northern Taiwan has been found to be infested by the cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi; then it started to spread all over Taiwan. Except infected the ornamental cycad trees, this scale also invaded the reserved area of the endemic cycad and has caused serious damage to the cycads. The research team has imported one natural enemy of this scale, the predator beetle *Cybocephalus nipponicus*. Then, the beetle has been evaluated and released to field for controlling of the cycad scale. In addition, a local beetle *Cybocephalus flavocapitis* was also identified sich 2003. The purpose of this research project was to continue apply the past experience to monitor the population dynamic of the scale and the predatory beetle, and to evaluate the effect of control. The monitoring result on population dynamic of the scale and its natural enemy showed that the population density of the scale achieved the peak point during early summer time. Although the imported beetle *C. nipponicus* has been released in the reserved area, none of the beetle can be found again. The major beetle found in the reserved area is *C. flavocapitis*. Based on the laboratory study, we found that the scale is more tolerant to the cold temperature and can have up to 7 generations per year in the reserve area. However, the predatory beetle is less tolerable to low temperature; and they can have about 5 generations per year. Finally, this project also tried to identify the sex pheromone of the scale. During the extraction process, some possible peaks have been identified in the GC-MS graph; however, the material is too little for identification. We also found during summer time, the sex ratio of the scale seemed changed and we can only get males more than females. This phenomenon caused the problem of extracting pheromone from female scales and it need future clarification.

Keyword: *Cycas taitungensis*; *Aulacaspis Yasumatsui*; *Cybocephalus flavocaputus*; Sex pheromone

計劃進度匯整

重要工作項目	期末預定進度（%）	期末實際執行進度（%）
臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵之族群數量持續監測至少 12 個月(監測頻度：19 林班，每月一次)	100%（12 次）	100%（12 次）
臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵之族群數量持續監測至少 12 個月(監測頻度：23 林班，每二個月一次，並視天候及直昇機飛航狀況調整)。	100%（6 次）	66%（4 次）
天敵對白輪盾介殼蟲之防治效果持續評估	100%（14 次）	100%（14 次）
利用前期委託研究計畫已累積之蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之基礎族群消長資料，建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式。	100%	100%
進行天敵 (臺灣方頭出尾蟲) 培育限制因子探討，執行本項工作所需天敵由研究團隊自行培育	100%	100%
本土天敵培育技術移轉及針對林管處之現地培育方式提出修正建議	100%	100%
蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙萃取與檢定	100%	100%

目錄

表目錄

圖目錄

附錄目錄

前言

蘇鐵白輪盾介殼蟲（*Aulacaspis yasumatsui* Takagi）是一專以蘇鐵類植物為寄主的半翅目刺吸性昆蟲，此蟲於 1972 年首次在泰國的蘇鐵上被發現及命名(Takagi, 1990)。在泰國，由於蘇鐵白輪盾介殼蟲受到各類天敵的捕食或寄生影響，其族群長期都維持於低密度之下，並未對當地的蘇鐵造成嚴重危害 (Takagi, 1977; Marler and Moore, 2010)。琉球蘇鐵(*Cycas revoluta* Thunb) 由於造型優美，是園藝造景上重要的植物，進而在國際上大量栽培及種植，加上國際間貿易日趨昌盛，蘇鐵之進出口亦日趨頻繁，使得蘇鐵白輪盾介殼蟲之擴散更為廣泛，危害日益嚴重 (Marler and Moore, 2010)。在過去幾十年隨著進口的琉球蘇鐵入侵臺灣之後，蘇鐵白輪盾介殼蟲逐漸發展而成為一本地蘇鐵植物之重要害蟲（邱等，2001）。目前遭其嚴重為害的寄主植物，包括園藝造景常用的琉球蘇鐵及保育類的臺東蘇鐵（*Cycas taitungensis*）。這種蟲的繁殖力甚強，在適當環境下，於一、兩個月的時間就能迅速覆滿葉面，吸食葉片汁液。當植物的葉片被該蟲吸乾、發黃至無法行光合作用時，會看到蘇鐵葉片及莖部鱗片上呈現白花花的景象，這就是蘇鐵嚴重感染到蘇鐵白輪盾介殼蟲。雖然一般蘇鐵在葉片枯黃後，會重新長出新的葉子。但新葉持續被蘇鐵白輪盾介殼蟲危害，如此循環幾次，便會耗盡蘇鐵儲存的所有能量而死亡。除原有的分佈區外，蘇鐵白輪盾介殼蟲近來已擴散到非洲地區 (Germain and Hodges, 2007)。蘇鐵白輪盾介殼蟲由於繁殖能力強，抗藥性佳，並且其危害範圍可遍及全株，甚至可深入植株基部及莖部鱗片深處，當環境不利於生長繁殖時，甚至會呈現滯育(diapause)狀態；導致近年來臺灣許多地區的蘇鐵，包括琉球蘇鐵及保育類的臺東蘇鐵已遭受此蟲嚴重危害，造成許多植株枯竭死亡。藥劑的感受性測試發現，一般園藝栽植的蘇鐵，可以使用益達胺 (Imidacloprid) 與賽滅松 (Dimethoate) 等藥劑噴灑植株作化學防治(Gladwell, 2003)；另外，目前已發現數種寄生性(寄生蜂) 及捕食性天敵 (瓢蟲) 可以運用於蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治 (Gladwell, 2003; Emshousen *et al.*, 2004; Cave, 2006)。

臺東蘇鐵是一臺灣特有之原生蘇鐵，主要生長在臺東之臺東蘇鐵自然保留區內。在此保留區內，臺東蘇鐵受到保護，人為的破壞及干擾相當小。在過去，雖然有一些昆蟲（如東陞蘇鐵小灰蝶），及大型草食性動物（如水鹿等）會取食其葉片，但傷害有限。近年來，因為蘇鐵白輪盾介殼蟲之入侵，加上原有物種之多重危害，使得臺東蘇鐵面臨空前的生存危機。

過去當臺東蘇鐵自然保留區內之臺東蘇鐵剛開始遭受蘇鐵白輪盾介殼蟲之危害

時，曾經使用化學藥劑進行緊急防治（邱等，2004）。但因為化學藥劑僅能短暫的壓抑蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群，暫緩蘇鐵被為害的情形。同時，因為臺東蘇鐵自然保留區內蘇鐵之特殊生長及地理分佈形式，也不適合持續化學藥劑之施用。而且自然保留區內尚有其他珍貴之生物資源，化學藥劑的使用，亦可能傷害到其他非標的生物或天敵。因此，為了在臺東蘇鐵自然保留區內有效控制蘇鐵白輪盾介殼蟲，必須使用其他替代之防治措施。經過林務局臺東林區管理處及相關研究團隊多年之評估及試驗後，目前在防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之危害方面，是以使用生物防治搭配其他防治方式的綜合防治為主要的考量方向。有關使用天敵防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之部分，由於蘇鐵白輪盾介殼蟲為外來種之害蟲，在 10 多年前於臺灣剛立足的時候，完全沒有任何相關之本地天敵資訊。但在其他國家，有使用天敵防治相關介殼蟲之報導（Drea and Carlson, 1988）。參考這些報導（Baranowski and Glenn, 1999; Emshousen *et al*., 2004），在緊急防治的考量下，於是研究團隊在 2003 年從蘇鐵白輪盾介殼蟲之原產地-泰國，引進了一種蘇鐵白輪盾介殼蟲之捕食性天敵—方頭出尾蟲科（Cybocephalidae）之泰國雙色出尾蟲（*Cybocephalus nipponicus*），做為生物防治之用。自 2005 年起，研究團隊共生產了數十萬隻的泰國雙色出尾蟲，提供給林務局臺東林區管理處做為野外釋放之用，主要是釋放於臺東蘇鐵自然保留區內之延平第 19、23、及 40 林班等地，作為防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之用。除了泰國雙色出尾蟲以外，另外一種非常近似之天敵出尾蟲-臺灣方頭出尾蟲（*C. flavocaputus* T. R. Smith）也於 2005 年在台東現紅葉村被發現及鑑定確認（Smith and Bailey, 2007）。根據研究團隊的研究發現，該兩種出尾蟲之食性範圍差別不大，皆主要以盾介科的介殼蟲為食物(Song *et al*., 2012)。而且，兩種出尾蟲對蘇鐵白輪盾介殼蟲之取食效率及生活史方面，也都頗為類似（Bailey *et al*., 2011）。目前在田間的監測結果顯示，兩種出尾蟲都可以在全臺各地之蘇鐵上找到，但於臺東蘇鐵自然保留區內則僅能發現臺灣方頭出尾蟲（Samayoa, 2012）。在平地及都市蘇鐵上找到的泰國雙色出尾蟲，可能是由之前所釋放之族群擴散，或是隨著蘇鐵白輪盾介殼蟲一起入侵的族群擴散結果。另一方面，雖然在臺東蘇鐵自然保留區內已釋放相當數量之泰國雙色出尾蟲，但自 2008 年底開始，則完全無法發現其族群。對於造成為何泰國雙色出尾蟲無法在臺東蘇鐵自然保留區內生存的問題，目前還不是很清楚，但因為其是由泰國引進的物種，可能對於一些本地的生物或環境因子之適應上出問題而造成此影響。由於保育與環境等因素考量，目前相關單位決定不再於臺東蘇鐵自然保留區內釋放泰國雙色出尾蟲；決定應用臺灣方頭出尾蟲作為臺東蘇鐵自然保留區內防治蘇鐵白輪盾介殼蟲之主力。

目前除了對於臺灣方頭出尾蟲對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治效果，需要持續的監測外，根據目前已知的防治成果來評估，只採用臺灣方頭出尾蟲對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治並不能完善無缺。在臺灣，目前已經發現蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵除出尾蟲之外，尚包括寄生蜂及其他類的捕食性天敵（如孟氏隱唇瓢蟲等）。因此，尋找其他可同時並進又不互相干擾的防治方法為防治上之重要考量。因此，本計畫之目的為 1. 臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區之蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵出尾蟲之族群數量與消長監測。2. 嘗試萃取及檢定蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙，做為未來防治之另一選項。主要工作項目包括 (1.) 臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵之族群數量持續監測至少 12 個月。(2.) 天敵對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治效果持續評估。(3.) 利用前期委託研究計畫已累積之蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之基礎族群消長資料，建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式。(4.) 進行天敵 (臺灣方頭出尾蟲) 培育限制因子探討。(5.) 本土天敵培育技術移轉及針對林管處之現地培育方式提出修正建議。(6.) 蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙萃取與檢定。

貳、材料與方法

一、臺東紅葉村蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵之族群數量持續監測

1. 臺東蘇鐵自然保留區內延平事業區 19 及 23 林班之感染程度調查及氣候監測

臺東蘇鐵自然保留區內延平事業區 19 及 23 林班位於臺東縣鹿野溪上游，沿溪岸於臺東蘇鐵分布之地區設置監測樣區。除原有之 15 株蘇鐵外，另在 2~3 個林務局臺東林區管理處所設置的永久樣區內選取 3 株蘇鐵進行採樣調查，每一樣株並以全球衛星定位系統標定位置。每一株蘇鐵調查時分別紀錄蘇鐵大葉的葉數、天敵數量、受感染之程度。另外，設置微氣候自動記錄裝置以記錄微氣候變化。對植株感染程度判定，依感染情形將調查之植株分成五個等級：第一級為無感染 (經仔細檢查植株，未發現任何白輪盾介殼蟲)、第二級為輕微感染 (從外表不易看出有感染，經仔細檢查發現有少數白輪盾介殼蟲)、第三級為中度感染 (植株外表，葉片處可以很容易看出有感染情形)、第四級為重度感染 (植株外表，特別是葉柄部，有明顯之白輪盾介殼蟲感染情形)、及第五級之嚴重感染 (植株外表，特別是葉柄部，已經為蘇鐵白輪盾介殼蟲危害呈白色狀)。

2. 蘇鐵白輪盾介殼蟲田間族群動態監測

自 2011 年 10 月起開始執行介殼蟲族群動態監測，為更精確瞭解蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群大小，將從每一樣株上，隨機採集葉片，攜回實驗室以顯微鏡觀察紀錄蘇鐵白輪盾介殼蟲之數量。主要的採樣及分析方法為：(1.) 將每樣株蘇鐵之葉片分成上層和下層葉片，每層隨機選取一大葉，再從每大葉上摘取 5 片小葉，置於封口袋標記後攜回實驗室。(2.) 於實驗室中，取出每片小葉，再從每小葉取其中段 5cm，然後在顯微鏡下計算在該段葉片上葉背、葉表之各齡期蘇鐵白輪盾介殼蟲(卵、一齡若蟲、二齡若蟲，雌成蟲、雄若蟲）之數量，做為評估蘇鐵白輪盾介殼蟲密度之依據。

3. 天敵出尾蟲之田間族群密度調查

為瞭解天敵出尾蟲於臺東蘇鐵自然保留區內延平事業區 19 及 23 林班內之族群狀況，於研究調查期間，在樣株蘇鐵上，除觀察蘇鐵白輪盾介殼蟲之外，同時調查每一蘇鐵樣株上，是否有泰國雙色或是本土方頭出尾蟲之成蟲及其數量。調查的方式主要

是使用人工目視的方式進行，盡可能仔細的尋找每樣株上的天敵出尾蟲，並記錄其數量。

4. 採集樣本處理及統計方法

田間採回的蘇鐵葉片，利用解剖顯微鏡檢視計算 50 × 5 mm 葉片葉表、葉背內各齡期之蘇鐵白輪盾介殼蟲記錄並以 Microsoft Excel 分析。鏡檢數據及每株蘇鐵所目測之出尾蟲數量，資料彙整後製成表格及曲線圖，用以分析蘇鐵白輪盾介殼蟲生物防治之成效。

5. 樣株物候及光照程度調查

為瞭解臺東蘇鐵之物候、植被與白輪盾介殼蟲及出尾蟲之族群變動關係，本次計畫亦進行臺東蘇鐵之物候及光照程度觀察。進行臺東蘇鐵物候之觀察及紀錄之主要依據為先前審查委員之建議，目的是想瞭解臺東蘇鐵之物候與白輪盾介殼蟲之族群變動間有無關聯性。臺東蘇鐵物候之觀察方式為，選取樣區內數株臺東蘇鐵樣株，進行衛星定位，並於每次進行野外調查時，觀察及照相紀錄其物候情形。另為，為瞭解臺東蘇鐵於林內之遮蔽度，亦使用攝影進行記錄觀察樣株之光照程度。方法為於調查時對樣株進行葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)的測量，LAI 資料的收集是以LI-COR 公司所開發之LAI-2000 植物冠層分析儀進行測定。方式是以一個魚眼鏡頭水平拍攝其正上方冠層上的影像，再經由軟體推估葉面積指數。葉面積指數之數值越高，表示樹冠有較高之遮蔽度。

校正葉面積指數植物冠層分析儀

測量葉面積指數

二、持續累積天敵對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治效果評估及利用前期計畫之基礎族群消長資料，建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式

為瞭解本土天敵臺灣方頭出尾蟲之防治效果，本計畫利用往年族群數量監測調查結果，更深入分析及評估，以瞭解天敵對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治效果。有關利用前期計畫累積之基礎族群消長資料來建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式部分，主要是統整過去幾年經委託研究計畫所得之資料，嘗試由此建立蘇鐵白輪盾介殼蟲完整之防治預測模式。

除了分析現有資料之外，本計畫亦於臺灣各地選取有蘇鐵植栽之樣區，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲之族群調查。目前進行了 10 幾個地點的調查，於發現蘇鐵植栽的地方，使用 GPS 記錄地理位置，進行觀察及記錄蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲之出現情形。另外，嘗試利用調查到之資料進行最大熵物種分佈模式（MaxEnt program for maximum entropy modelling of species）之分析，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲於臺灣分佈之推估。目前使用之於推估訓練之因子為各地之氣溫、降雨量、及高度等資料進行訓練及推估。因為各因子間可能會因具有相關性而影響到其推估效能。因此，在進行不同因子訓練時，也會先進行因子間之相關分析，瞭解各因子間之相關性。

三、臺灣方頭出尾蟲培育限制因子探討

由於過去在嘗試大量繁殖本土天敵臺灣方頭出尾蟲時發現，臺灣方頭出尾蟲較泰國雙色出尾蟲飼養不易，族群不易大量繁殖。造成此現象之原因目前不明，可能因子包括飼養之環境因子（如溫度、濕度及光照等）或生物因子（如競爭者、寄生者等）所致。本年計畫主要是針對溫度因子部分作探討，探討溫度對培育臺灣方頭出尾蟲之可能影響；因為昆蟲是外溫動物，所以溫度對於昆蟲之生長發育極為重要，只有在環境溫度高於其生長之臨界溫度時，昆蟲才會發育。目前主要是使用所謂的熱積溫（degree-day）或是有效積溫（effective accumulated temperature）的概念來作對溫度因子的探討，首先計算出昆蟲生長發育所需要的最低基礎溫度，然後將每天的生長溫度扣掉基礎溫度，即為昆蟲能夠用來生長的熱積溫；每一種昆蟲的不同生活階段，都有一定的熱積溫需求，為瞭解臺灣方頭出尾蟲各生長期之基礎積溫及有效熱積溫是本年計畫的研究重點，只有先瞭解其生長所需之積溫，才能了解是否為培育限制因子。這個部分的研究是在實驗室內進行，以定溫的生長箱來進行試驗，其方式為將臺灣方頭出尾蟲的卵置於不同溫度下來培養，使用的溫度為攝氏15、20、25、30度及35度，於培養皿中放入剛產下的臺灣方頭出尾蟲卵，移入上述不同溫度之生長箱，每日記錄卵的發育情形；待幼蟲自卵中孵化之後，以蘇鐵白輪盾介殼蟲之卵餵飼之，每日記錄其發育齡期，一直記錄到成蟲羽化的時間。待實驗結束，利用公式計算基礎積溫（Ranga Rao *et al*., 1989; Soto *et al*., 1999）及每一個生長期（卵期、各齡期、及蛹

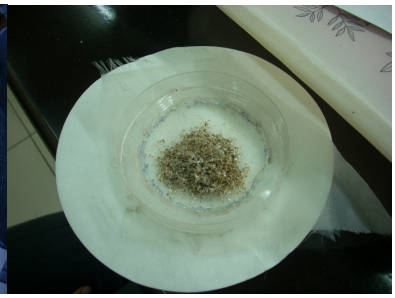
期）之有效積溫。

四、本土天敵培育技術移轉及針對林管處現地培育方式提出修正建議

本研究團隊持續探討提升臺灣方頭出尾蟲之培育技術，並將此技術轉移至臺東區林管處進行運用。另外，也配合林管處，針對現地培育之方式提出必要之建議。

五、蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙萃取與檢定

1. 此部分之研究首先需大量培育蘇鐵白輪盾介殼蟲以建立族群，作為萃取及鑑定蘇鐵白輪盾介殼蟲性費洛蒙試驗之昆蟲來源。在大量飼養蘇鐵白輪盾介殼蟲部分，自嚴重感染蘇鐵白輪盾介殼蟲之植株上，以蟲針將雌蟲介殼挑開，收集雌蟲產下的卵，利用絹網將蟲卵與介殼或植物碎屑分離。於未受感染的蘇鐵葉片綁上細長紙條，將卵均勻分散至紙條上，以利若蟲孵化後平均分布於葉片，為確保族群生長速率一致，五天後將紙條與剩餘蟲卵自葉片上移除，於生長箱中飼養(28℃；16 /8D)。當蘇鐵白輪盾介殼蟲進入成蟲期之前(約兩週後)，利用雌雄蟲外觀上之差異分辨性別，移除所有雄性或雌性蘇鐵白輪盾介殼蟲，經由兩次以上確認以確保抽氣試驗皆為單一性別且雌蟲皆未交尾。



從感染枝條上取下蟲卵　　過濾蟲卵

將蟲卵感染健康植株（12 X）

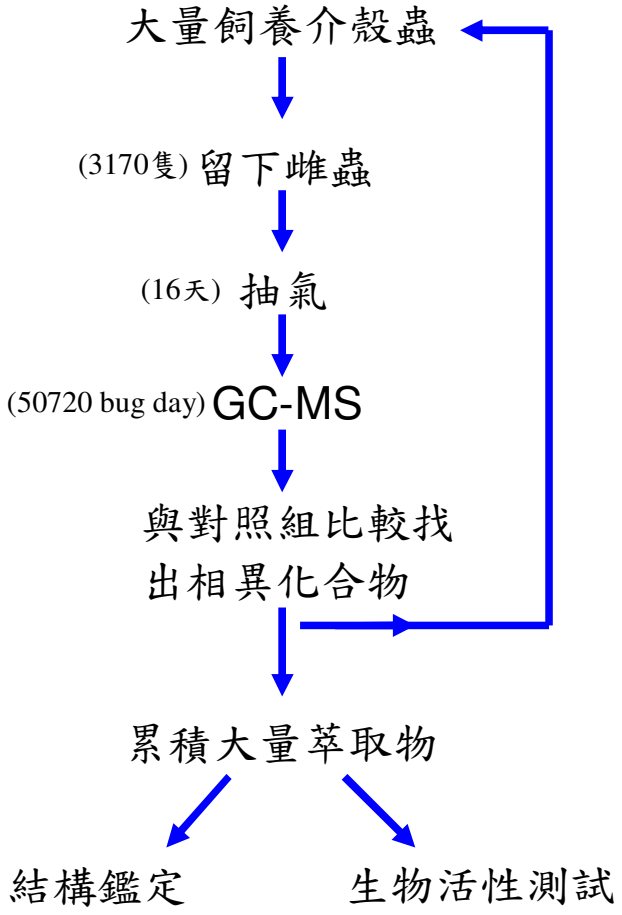
待介蘇鐵白輪盾介殼蟲進入成蟲期，剪下具有單一性別成蟲之蘇鐵葉片，計算成蟲數量後放入特製玻璃容器，其一端為空氣進入端，幫浦以每分鐘 0.5 ml 排氣量排出空氣，每運作 15 分鐘休息 30 分鐘避免馬達過熱，以活性碳管柱淨化流入空氣，淨化後空氣進入裝有成蟲與葉片的容器後，流入後端吸附管柱，利用精緻活性碳吸附容器內揮發物質，精緻活性碳兩端以玻璃棉固定支撐，另設定一具有蘇鐵葉片之空白對照組作為對照。抽氣持續進行 16 天(蟲數×天數 bug day)後，以溶劑(hexane)沖洗精緻活性碳，並收集溶液於玻璃瓶中，利用高壓氣態氮將溶劑濃縮後存放。

另一方面，嘗試以溶劑(hexane)直接萃取未交尾雌成蟲散發的氣味，將雌成蟲(715 隻)介殼移除後浸泡溶劑兩分鐘，接著過濾溶劑移除雌成蟲，將萃取液濃縮後進行分析。

2. 利用氣相層析-質譜儀(GC-MS)與管柱(DB-5)分析所收集的樣品，將生長於蘇鐵上的蘇鐵白輪盾介殼蟲雌蟲所產生之化學氣味與雄蟲產生氣味相比較，並以蘇鐵植株產生的氣味作為背景值，找出雌成蟲特有之化學物質，加以比對與鑑定。重複試驗 3 次以確保特有之化學物質於每次氣體收集中均可獲得。將多次雌蟲萃取物收集並分離出特有化合物，以 NMR (Nuclear Magnetic Resonance)進行化學物質結構分析，以確認特有化合物種類。

3. 利用雌蟲萃取化合物進行野外雄蟲誘集初步測試，將 30 µl 萃取液(約 20 ng/µl)裝入塑膠小管，塑膠管兩端以熱封口機封口，另以溶劑(hexane) 與葉片上 100 隻雌蟲，比較對雄蟲誘集效果。將萃取液、溶劑與葉片上的雌蟲分別附著於翼型黏蟲誘引器上端，每個黏蟲誘引器相距 1 公尺以上，以避免相互干擾，與地面相距 120 公分，並各距離蘇鐵葉片 60 公分。於高雄市原生植物園蘇鐵種植區設立三組試驗，試驗時剪開塑膠管一端封口，每 24 小時更換黏蟲紙，連續進行試驗三天。試驗結束後將粘蟲紙置於顯微鏡(10×90 倍)下仔細檢視，計算蘇鐵白輪盾介殼蟲雄蟲數量並進行統計分析(one-way ANOVA)。

性費洛蒙萃取與鑑定


大量飼養介殼蟲
(3170隻) 留下雌蟲
(16天) 抽氣
(50720 bug day) GC-MS
與對照組比較找
出相異化合物
累積大量萃取物
結構鑑定
生物活性測試

參、結果

一、臺東紅葉村蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及天敵之族群數量持續監測

本計畫過去幾年於臺東紅葉村蘇鐵自然保留區內設置兩個樣區，分別位於 19 林班（2009 年開始設立）及 23 林班。於臺東紅葉村蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲之田間族群動態情形之結果之圖一及圖二所示。在 23 林班出尾蟲的部分，於 2008 年 2 月前調查發現的都是泰國雙色出尾蟲，但於 2008 年 2 月份開始，同時發現有臺灣方頭出尾蟲。但自 2008 年 11 月開始之後，於保留區內調查僅發現臺灣方頭出尾蟲。另外，因為 19 林班樣區之設立時間為 2009 年，當時所發現之出尾蟲已全部都是臺灣方頭出尾蟲。本計畫期間，各林班之蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲田間之族群動態則分別陳述如下。

（一）、延平事業區第 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲田間族群動態監測

結果發現，由 2011 年 7 月之 32.65±11.63 隻/5cm 蘇鐵小葉，上升至 8 月的 33.14±16.57 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 2 月的 9.84±8.43 隻/5cm 蘇鐵小葉，再升至 3 月的 11.75±9.15 隻/5cm 蘇鐵小葉 (圖三、表一)。在 2012 年 4 月之後，族群數量逐漸上升，在 6 及 7 月份時之族群量最高，至 9 月份後開始下降。另外，臺灣方頭出尾蟲之族群變化由 2011 年 7 月 6.00±4.90 隻/全株蘇鐵，降至 2012 年 2 月之 3.31±2.73 隻/全株蘇鐵，再升至 3 月之 3.44±2.90 隻/全株蘇鐵。再升至 6 月之 44.77±28.98 隻/全株蘇鐵，隨後降至 9 月之 37.98±19.47 隻/全株蘇鐵。

（二）、延平事業區第 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲田間族群動態監測

田間族群動態監測結果，由 2011 年 12 月之 25.25±18.01 隻/5cm 蘇鐵小葉下降至 2012 年 3 月的 15.18±13.96 隻/5cm 蘇鐵小葉 (圖四、表二)。本研究期間，臺灣方頭出尾蟲之族群由 2011 年 12 月 4.81±2.83 隻/全株蘇鐵，降至 2012 年 3 月之 3.15±2.44 隻/全株蘇鐵。2012 年 8 月升至 50.33±42.68 隻/全株蘇鐵，10 月再降至 46.40±37.99 隻/全株蘇鐵。在延平事業區第 23 林班之監測方面發現，本區之蘇鐵白輪盾介殼蟲感染情形較第 19 林班為嚴重。同時，臺灣方頭出尾蟲之族群量亦高。另外，由於第 23 林班位於鹿野溪之中上游，夏季時水流湍急，無法徒步到達，必須搭乘直昇機，但因為天候因素影響到本年度直昇機之次數，造成於此區之監測次數較少。

（三）、延平事業區第 19 林班樣株之蘇鐵白輪盾介殼蟲各齡期結構

有關樣株上蘇鐵白輪盾介殼蟲之各齡期結構方面，延平事業區 19 林班固定樣株之蘇鐵白輪盾介殼蟲之卵及一齡遊走幼蟲於 2011 年 7 月為 20.23±8.87 隻/5cm 蘇鐵小葉，下降至 2012 年 2 月的 5.63±4.81 隻/5cm 蘇鐵小葉，再升至 3 月之 6.37±4.94 隻/5cm 蘇鐵小葉，6 月升至 19.80±12.93 隻/5cm 蘇鐵小葉，再降至 9 月的 15.71±7.74(圖五 、表三)。固著一齡於 2011 年 7 月為 6.87±4.53 隻/5cm 蘇鐵小葉，下降至 2012 年 2 月的 1.37±1.25 隻/5cm 蘇鐵小葉，再升至 3 月之 1.63±1.34 隻/5cm 蘇鐵小葉，7 月升至 10.27±7.00 隻/5cm 蘇鐵小葉，9 月再下降至 9.74±5.68 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖五 、表三)。二齡雌幼蟲由 2011 年 7 月之 0.93±1.19 隻/5cm 蘇鐵小葉，升至 9 月之 2.57±2.57 隻/5cm 蘇鐵小葉，再降至 2012 年 2 月之 0.98±1.02 隻/5cm 蘇鐵小葉，再升至 3 月之 1.09±0.97 隻/5cm 蘇鐵小葉 7 月升至 5.69±3.83 隻/5cm 蘇鐵小葉，9 月再下降至 5.19±3.39 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖五 、表三)。處女成蟲由 2011 年 7 月 0.27±0.37 隻/5cm 小葉，升至 9 月之 1.97±1.33 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 2 月的 0.13±0.36 隻/5cm 小葉，再升至 3 月之 0.65±0.88 隻/5cm 蘇鐵小葉 7 月升至 2.95±2.13 隻/5cm 蘇鐵小葉，9 月再下降至 2.44±1.76 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖五 、表三)。產卵雌成蟲方面由 2011 年 7 月之 0.73±0.53 隻/5cm 蘇鐵小葉，升至 8 月之 1.26±0.67 隻/5cm 蘇鐵小葉，逐月下降至 2012 年 2 月之 0.55± 0.51 隻/5cm 蘇鐵小葉，再升至 2012 年 3 月之 0.57±0.51 隻/5cm 蘇鐵小葉 6 月升至 1.49±1.00 隻/5cm 蘇鐵小葉，9 月再下降至 1.37±0.77 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖五 、表三)。雄若蟲由 2011 年 7 月之 3.62±3.22 隻/5cm 蘇鐵小葉，升至 8 月之 4.08±2.81 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 2 月之 1.18±1.21 隻/5cm 蘇鐵小葉。3 月之數量則為 1.45±1.47 隻/5cm 蘇鐵小葉 6 月升至 5.47±3.59 隻/5cm 蘇鐵小葉，9 月再下降至 3.53±1.82 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖五 、表三)。

（四）、延平事業區第 23 林班樣株蘇鐵白輪盾介殼蟲各齡期結構

延平事業區 23 林班固定樣株之蘇鐵白輪盾介殼蟲之卵及一齡遊走幼蟲於 2011 年 12 月為 12.63±8.86 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 6.74±5.90 隻/5cm 蘇鐵小葉，8 月升至 20.51±16.03 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下降至 18.45±14.66 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)。固著一齡於 2011 年 12 月為 4.25±3.51 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 2.74±2.88 隻/5cm 蘇鐵小葉 8 月升至 12.43±11.29 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下降至 11.35±9.01 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)。二齡雌幼蟲於 2011 年 12 月為 3.05±2.64 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 1.99±2.15 隻/5cm 蘇鐵小葉 8 月升至 6.71±6.68 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下

降至 6.58±6.10 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)。處女成蟲 2011 年 12 月為 1.17±1.32 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 0.87±1.14 隻/5cm 蘇鐵小葉 8 月升至 3.59±3.44 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下降至 3.58±3.35 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)。產卵雌成蟲方面 2011 年 12 月為 0.99±0.72 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 0.62±0.60 隻/5cm 蘇鐵小葉，8 月升至 1.37±1.10 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下降至 1.38±0.99 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)，雄若蟲 2011 年 12 月為 3.17±2.41 隻/5cm 蘇鐵小葉，降至 2012 年 3 月之 2.22±2.03 隻/5cm 蘇鐵小葉 8 月升至 5.71±5.35 隻/5cm 蘇鐵小葉，10 月再下降至 5.06±4.90 隻/5cm 蘇鐵小葉(圖六 、表四)。

（五）、延平事業區第 19 與 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲平均感染程度

延平事業區第 19 林班植株感染蘇鐵白輪盾介殼蟲監測結果如下 (圖七 、表五)，2011 年 7 月平均感染率為第 3 級，8 月為第 3 級，9 月為第 2 級，10 月為第 2 級；2011 年 11 月至 2012 年 4 月皆為感染等級 1，5 月至 9 月感染等級 2。感染程度 2 以下之植株，2011 年 7 月及 8 月皆為 16 株，9 月 23 株，10 月及 11 月為 26 株，12 月 28 株。2012 年 2 月至 3 月為 30 株，4 月 28 株，5 月 24 株，6 月 22 株，7 月及 9 月為 23 株。延平事業區第 23 林班植株感染蘇鐵白輪盾介殼蟲監測結果如下(圖八 、表六) ，2011 年 12 月平均感染率為第 2 級，2012 年 3 月平均感染率為第 2 級，8 月平均感染率為第 2 級，10 月平均感染率為第 2 級。感染程度 2 以下之植株，2011 年 12 月為 18 株，2012 年 3 月為 23 株，8 月為第 21 株，10 月為 24 株。

（六）、臺東蘇鐵之物候觀察

將延平事業區 19 與 23 林班，自 2011 年 7 月至 2012 年 3 月之蘇鐵監測照片 (圖九至圖十)與過去觀測結果比較後發現，過去幾年之物候皆很相似。於七月至十月間，葉片為翠綠色；因此時之氣溫亦較秋冬季(十一月至隔年三月)為高，故蘇鐵白輪盾介殼蟲危害亦較嚴重；從十一月之後，雨量漸稀，部分葉子枯黃，二月份才會開始抽新芽。另外，今年也觀察到一個較特別現象，往年東昇蘇鐵小灰蝶會於二月份開始嚴重危害蘇鐵之新葉，但今年二月份之觀察發現東昇蘇鐵小灰蝶尚未開始危害，使臺東蘇鐵得到一些喘息的機會。

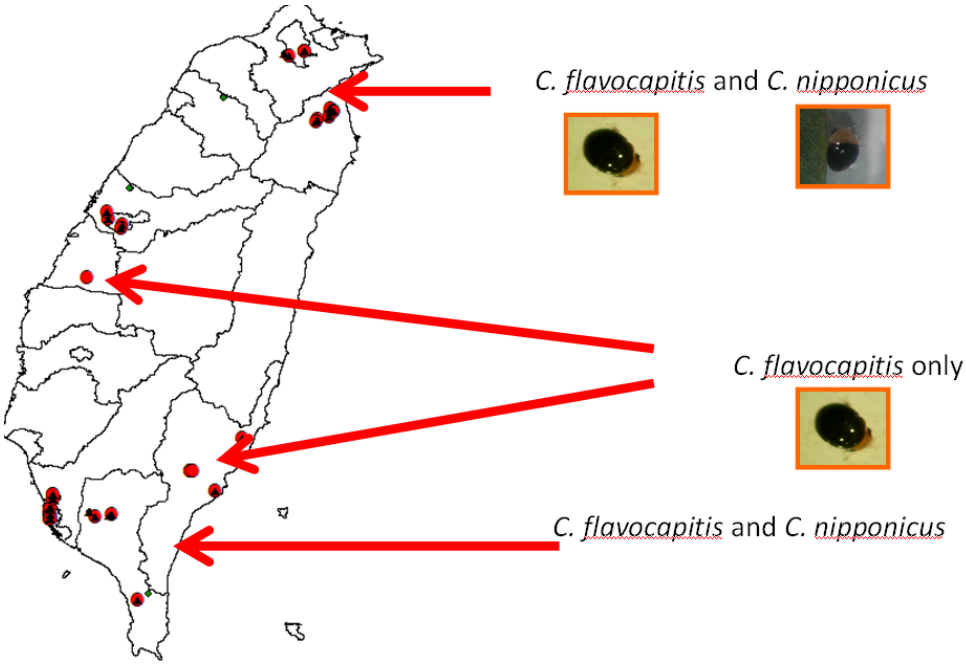
在表七呈現的是 2011 年七月到 2012 年三月各月平均最高溫與平均最低溫之資料，其中最高溫為擷取每日 11 時、13 時之溫度平均而得，最低溫為擷取每日 03 時、05 時之溫度平均而得。延平事業區第 19 林班，於 2011 年 8 月平均最高溫為 28.05°C，逐月降至 2012 年 2 月之 18.25°C，2011 年 7 月平均最低溫為 22.61°C，逐月降至 2012 年 2 月之 14.19°C。

調查中監控之 30 株臺東蘇鐵於此段時間內並無開花。另外，每樣株之枝莖幹長最短為 50 公分，最長為 230 公分。依據黃(1999)臺東蘇鐵齡級與莖幹長度之關係式為 X(齡級) = 0.5Y(莖幹長度)，依此公式得出樣株之樹齡大約介於 25 年至 115 年左右。因為平均之莖幹長為 131.00±56.65 公分，所以平均齡級約為 65.50±28.32 年(表七) 。另外，延平事業區第 19 林班各樣株之葉面積指數亦列於表七，而平均之葉面積指數則為 3.03±0.92(每平方公尺)，葉面積指數越大者表示上方樹冠遮蔽率越高。

二、持續天敵對蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治效果評估及利用前期計畫累積之基礎族群消長資料，建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式

這個部分主要是統整過去幾年經委託研究計畫所得之資料，嘗試由此建立蘇鐵白輪盾介殼蟲完整之防治預測模式。首先的工作是整理過去收到的數據，並將數據統一編排，以利後續分析之用。在資料整理當中，亦發現過去之資料有誤植的部分，目前已將錯誤部分修正。由文獻得到之生活史及生態研究發現，其發育起點（發育臨界溫度 lowest temperature threshold）約為攝氏 10 度左右，從卵到成蟲期之發育約需 538 生長度日（degree-days）（Cave *et al*., 2009）。根據上述資料及匯整臺東蘇鐵自然保留區之氣象資料發現，蘇鐵白輪盾介殼蟲在保留區內，尤其是在春末到夏季之間，發育時間非常快，從卵到成蟲僅需約 20 幾天（圖十一），一年約可以有 7 個世代以上。另外，該蟲之繁殖能力強，在 28℃飼養，每隻雌蟲約可產 100 粒卵，內在增殖率（intrinsic rate of increase, r）約為 0.1 d^{-1}（Ravuiwasa *et al*., 2012）。參考中興大學施劍鎣教授建議之數據分析方式及由調查研究發現蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群於冬季之變化不大，維持低族群之狀態。由調查之結果發現，自 2011 年 3 月，其族群數量開始增加，有一齡遊走若蟲出現(圖三)，將此調查日−3 月 15 日往前一天設為其於 2011 年第一代發育之第 0 日（公曆為第 73 日），根據當年每日之氣象資料及期發育所需之生長度日計算，其發育所需至第一代成蟲開始產卵，期間約需 57 日。第二代卵由於氣溫較高，已縮短為 29 日，第三代卵為 28 日，第四代卵因為天氣開始慢慢變涼，因此增加為 35 日，第五代為 36 日，隨著溫度越來越冷，第六代增至 42 日，第七代為最長 59 日(圖十一)。

另外，有關於臺灣各地選取有蘇鐵植栽之樣區，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲之族群調查方面，發現蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲已經可於台灣各地被發現。目前調查的結果顯示，兩種出尾蟲於各地普遍分佈，有些蘇鐵植株上甚至同時可以找到兩種出尾蟲。而在南投一樣區及臺東蘇鐵自然保留區內，則僅發現臺灣方頭出尾蟲。



兩種出尾蟲於臺灣之分佈情形， *Cybocephalus nipponicus* （泰國雙色出尾蟲）及 *C. flavocapitis* （臺灣方頭出尾蟲）

同時，本研究嘗試利用調查到之資料進行最大熵物種分佈模式（MaxEnt program for maximum entropy modelling of species）之分析，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲於臺灣分佈之推估。結果發現單獨溫度因子，已可以推估各物種之分佈。結果發現蘇鐵白輪盾介殼蟲可以於臺灣有滿廣泛的分佈潛能，但以南部之分佈機會較大（附錄一）。而臺灣方頭出尾蟲之分佈範圍則與蘇鐵白輪盾介殼蟲之分佈接近（附錄二）；至於泰國雙色出尾蟲則有較窄之分佈範圍（附錄三）。

三、臺灣方頭出尾蟲培育限制因子探討

本年計畫主要是針對溫度因子部分作探討，探討溫度可能對培育臺灣方頭出尾蟲之影響。目前已將臺灣方頭出尾蟲的卵置於不同溫度下來培養，使用的溫度為攝氏 15、20、25、30 度及 35 度。每日記錄卵的發育情形。待幼蟲自卵中孵化之後，餵以蘇鐵白輪盾介殼蟲之卵，每日記錄其發育齡期，一直記錄到成蟲羽化的時間。接著，利用公式計算基礎積溫及每一個生長期（卵期、各齡期、及蛹期）之有效積溫。目前的結果發現，臺灣方頭出尾蟲於 15 度及 35 度環境下生存狀況不佳，大部分的卵無法孵化，少數孵化後的幼蟲亦無法發育成蛹。在 20 度的環境下，約需 75 天，臺灣方頭出尾蟲方能進入成蟲期；在 25 度的環境下，約需 40 天，臺灣方頭出尾蟲方能進入成蟲期；在 30 度的環境下，約需 30 天，

臺灣方頭出尾蟲方能進入成蟲期（表八）。發育臨界溫度的結果部分發現，不同時期之出尾蟲之發育臨界溫度稍有差距，以幼蟲期之發育臨界溫度最高（表九）。根據野外調查結果，同時將發育臨界溫度設為攝氏 13 度，度日設為 490（表九）。發現臺灣方頭出尾蟲自 2011 年 3 月 15 日調查日開始 (圖十二)，將此日期往前一天設為第 0 日(公曆為第 73 日）至第一代成蟲開始產卵約需 65 日，第二代卵由於氣溫較高，已縮短為 28 日，第三代卵為 36 日，第四代卵因為天氣開始慢慢變涼，因此增加為 37 日，第五代為 49 日，第六代為 73 日。

四、本土天敵培育技術移轉及針對林管處現地培育方式提出修正建議

本計畫行過程中，接獲林管處數次電話及郵件，詢問有關臺灣方頭出尾蟲之培育技術。研究團隊皆已依狀況，提出必要之建議。另外，由於考慮到天敵釋放之來源皆為平地飼養之出尾蟲，直接釋放在保留區內時，恐怕會有適應困難。因此去年計畫之評審委員曾建議於保留區內，選擇適合地點直接進行天敵出尾蟲之飼育。林務局臺東林區管理處於年中已覓得適當地點，準備進行現地培育之嘗試。但在局內長官及其他學者現地勘查之後認為，由於涉及要將蘇鐵白輪盾介殼蟲再次帶進保留區內，恐怕引起二次感染。因此，目前此項現地培育天敵之計畫已經暫停進行。

五、蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙萃取與檢定

在大量培育蘇鐵白輪盾介殼蟲的部分，由於計畫開始時已接近冬天，氣溫逐漸降低，自 2011 年 10 月份至 2012 年之 3 月份，氣候變化異常，且較為寒冷，在此環境下，蘇鐵白輪盾介殼蟲的繁殖速率變的非常遲緩，故嘗試多次接蟲試驗，雖然有零星的蘇鐵白輪盾介殼蟲族群出現，但都無法順利的產生大量的蘇鐵白輪盾介殼蟲族群。直至 2012 年之 3 月份開始，氣溫逐漸回溫，在受感染植株上見到較多蘇鐵白輪盾介殼蟲活動，立即開始進行接蟲之工作，族群數量及繁殖速率漸趨穩定，經過數個月的試驗，目前已對雌成蟲與雄成蟲分別進行四次抽氣分析。分析結果(GC-MS)發現雌介殼蟲分泌三種特有化合物，分別於圖譜中 12.86，13.22，及 13.97 分鐘出現（圖十三），雄蟲氣味分析中並沒有發現此三種物質（圖十四），因而推斷可能為性費洛蒙。另外以溶劑直接萃取雌蟲分泌物無法分析出雌蟲散發的特有物質，萃取物皆為長鏈狀大分子化合物，推測為雌蟲體壁上溶出的化合物(圖十五)。將雌蟲特有化合物累積後，以 NMR (Nuclear Magnetic Resonance)進行化學物質結構分析，分析後並無法成功取得化合物結構鑑定，推測為累積多次的化合物含量不足，無法以 NMR 鑑定結構，還須經多次大量累積後再進行結構分析。為進行蘇鐵白輪盾介殼

蟲之性費洛蒙之研究，能獲得大量介殼蟲為最基本及必要之工作。本研究團隊雖具備大量生產天敵出尾蟲之經驗，但是在大量生產蘇鐵白輪盾介殼蟲部分，卻遇到極大問題。雖然研發出一些滿好的接種方式，但在接種之後，發現有時蘇鐵白輪盾介殼蟲之卵卻無法孵化，或是長出的蟲之雌雄性比極不平均。尤其是發現夏季時，雄性蟲的比例相當高。但是，本研究要抽取的是雌蟲的性費洛蒙，所以造成研究後半段進度的延宕。

於高雄原生植物園的初步誘引測試發現，雌蟲萃取物(2.67 ± 0.88 隻)、溶劑(6 ± 1.63 隻)與葉片上 100 隻雌蟲(5.33 ± 1.05 隻)處裡間對雄蟲誘引效果並無顯著差異(P = 0.1211, F = 2.31)(圖十六)。

肆、討論

一、野外監測評估

於計畫執行期間，多次計畫前往延平事業區第 19 與 23 林班，進行調查工作。自 2011 年底至 2012 年春天之間，氣候冷熱交替相當不穩定，且多次研究團隊到達臺東後，雨勢過大，無法進入保留區內調查。除耗費研究人員之心力之外，也影響到調查之次數，其中又以 23 林班之調查影響最為嚴重，僅有 4 次的調查數據。

從延平事業區第 19 與 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲族群消長之監測結果發現，其消長曲線略有差異，2011 年七月份 23 林班之蘇鐵白輪盾介殼蟲到達最高峰，而七至八月份 19 林班調查時蘇鐵白輪盾介殼蟲的族群密度略有上升，但之後九月隨即下降。同時，隨著氣溫下降，族群數量亦跟著下降。另一方面，我們也發現，臺灣方頭出尾蟲之族群數量亦因蘇鐵白輪盾介殼蟲的關係低於往年調查結果。在蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構方面，19 林班族群結構與往年相類似。關於植株感染程度方面，23 林班之臺東蘇鐵感染程度稍比 19 林班嚴重，但是因監控次數受天候影響仍嫌不足，尚需後續資料佐證。由多年的資料分析結果顯示，蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群量似乎有下降之趨勢，而臺灣方頭出尾蟲之族群亦隨之減少。再根據物候及氣候之觀察推論，由於去年五月之溫度比往年為低，使得蘇鐵白輪盾介殼蟲的感染程度比往年低。根據物候及氣候之觀察推論，蘇鐵白輪盾介殼蟲及臺灣方頭出尾蟲之生長受氣溫影響很大，低溫會抑制其生長。每年夏季，蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群亦隨氣溫開始上升，而臺灣方頭出尾蟲族群數量增加時間較慢於蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群增加時間。

另外，臺灣各地蘇鐵白輪盾介殼蟲及其天敵出尾蟲族群監測部分，發現除了少數地方較特殊之外，各物種幾乎皆已普遍分佈於全臺各地。這種現像顯示，本土的方頭出尾蟲似乎已經開始利用蘇鐵白輪盾介殼蟲作為其主要食餌，在短時間內，兩者似乎已產生了相當程度之交互作用。另外，發現泰國雙色出尾蟲除了少數山地區域之外，幾乎全臺也都有分佈。數年前，泰國雙色出尾蟲僅在臺東、屏東、及臺中等區域被釋放，經果幾年下來，其已在全臺被發現。到底泰國雙色出尾蟲是如何快速的擴散部分，亦是未來值得探討之處。

二、蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治預測模式與臺灣方頭出尾蟲培育限制因子探討

根據實驗結果，延平事業區 19 林班樣區海拔 400 公尺左右之蘇鐵白輪盾介殼蟲一年大約有 7 代，每代大約介於 28 至 59 日，預期隨著海拔升高，因為溫度降低使得每代所需

時間應該會增加。另外臺灣方頭出尾蟲方面，本年計畫主要是針對溫度因子部分作探討，探討溫度可能對培育臺灣方頭出尾蟲之影響。目前已發現，臺灣方頭出尾蟲於 15 度及 35 度環境下生存狀況不佳，最適合生長的溫度為 25 度，同時也觀察到，臺灣方頭出尾蟲似乎對低溫十分敏感，當溫度低於 20 度時，其活動力變的很差。另外，研究也發現臺灣方頭出尾蟲之基礎積溫及每一個生長期（卵期、幼蟲期、及蛹期）之有效積溫。未來也可以進一步運用所獲得積溫之資料，以及各地方之氣象資料，推估出臺灣方頭出尾蟲在各地的可能生長狀況。

統整文獻及過去研究的資料發現，在蘇鐵白輪盾介殼蟲和天敵臺灣方頭出尾蟲之間，因為對低溫的耐受性及生活史的策略等之不同，使得兩者之族群變化亦產生不同之結果。蘇鐵白輪盾介殼蟲生長的最低臨界溫度約為攝氏 10 度左右，從卵到成蟲期之發育約需 538 生長度日（degree-days）（Cave *et al*., 2009）。而臺灣方頭出尾蟲之生長度日雖然較短（490），但生長的最低臨界溫度則較高（11-15℃）。所以造成在臺東蘇鐵自然保留區內蘇鐵白輪盾介殼蟲一年約可達到 7 個世代；而臺灣方頭出尾蟲則只有 6 個世代。可能這也是臺灣方頭出尾蟲無法有效控制蘇鐵白輪盾介殼蟲的一個主要原因。目前運用這種熱積溫及生長度日的方式，可以初步瞭解害蟲與其天敵間族群變動之情形。未來，可以嘗試更進一步使用這概念，加上其他分析方式的輔助，能夠對蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群發生及危害有更精確的預測。

三、蘇鐵白輪盾介殼蟲之性費洛蒙萃取與檢定

在冬季，蘇鐵白輪盾介殼蟲的繁殖變的非常遲緩，故本計畫前期無法順利得到大量的蘇鐵白輪盾介殼蟲族群，以進行性費洛蒙萃取與檢定分析。於今年（2012）三月後氣溫逐漸回升，感染植株之效果亦顯著提高，所以在 4 月下旬後開始進行雌蟲性費洛蒙之萃取試驗。經多次萃取分析雌蟲分泌物質發現三種特有化合物，推測可能為性費洛蒙之成分。但經由 NMR 鑑定其化學結構之結果並不成功，推測為累積多次的化合物含量仍不足，無法以 NMR 鑑定結構，還需要多次萃取試驗物，以大量累積後再次進行分析。另外，於高雄原生植物園蘇鐵種植區進行的萃取物初步誘引測試發現，萃取物並無減顯著吸引雄介殼蟲的效果。造成這種解果的原因不詳，但推測可能和試驗化合物之濃度與劑量有關。可能是因雌蟲分泌物萃取過程不易，所以所得之化合物濃度含量太低，使得試驗進行無法達到預期結果。期望明年能延續此部分研究，進行化合物鑑定與分析，並於野外進行誘引試驗，達成控制蘇鐵白輪盾介殼蟲族群數量的目的。另外，目前的研究資料顯示，蘇鐵白輪盾介

殼蟲之性比似乎會有季節性的變化。目前瞭解及證據顯示，蘇鐵白輪盾介殼蟲為兩性生殖方式。但有審查委員認為在其生活史當中，可能會夾雜有孤雌生殖的方式。委員亦建議可以嘗試看其染色體的套數，即可以瞭解其生殖方式。但因此蟲之個體極小，操作不易，所以要探討其染色體之套數，可能需一些據此專業領域之人士參與。

四、蘇鐵白輪盾介殼蟲及出尾蟲於臺灣分佈之推估

利用調查到之資料進行最大熵物種分佈模式之分析，結果發現溫度是一很好可推估各物種分佈之因子。結果發現不論外來的蘇鐵白輪盾介殼蟲或是泰國雙色出尾蟲可以於臺灣有滿廣泛的分佈潛能，但以南部之分佈機會較大。而臺灣方頭出尾蟲之分佈範圍則與蘇鐵白輪盾介殼蟲及泰國雙色出尾蟲之分佈接近；但較泰國雙色出尾蟲有較為廣之分佈範圍。尤其是在台東蘇鐵自然保留區內，僅發現臺灣方頭出尾蟲。所以未來在防治蘇鐵白輪盾介殼蟲上，所優先考量的捕食天敵應該是臺灣方頭出尾蟲。

五、蘇鐵白輪盾介殼蟲防治策略之擬定

目前蘇鐵白輪盾介殼蟲已經在臺灣各地立足，對於庭園觀賞蘇鐵及臺東蘇鐵造成極大的危害。蘇鐵白輪盾介殼蟲除在臺灣造成危害之外，也在世界上許多地方危害蘇鐵植物。因此，對於防治蘇鐵白輪盾介殼蟲，也進行了相當的研究，相關學者也提出了一些防治上的原則建議。大多建議是使用天敵，如出尾蟲及寄生蜂等進行防治。但是，對於防治效力之評估及真正有效的防治案例則尚未發現。雖然目前之資料尚不充足，但藉由這幾年防治計畫之執行，本團隊累積了一些經驗，在此特別對於蘇鐵白輪盾介殼蟲防治策略之擬定提供一些建議，供相關單位在日後政策決定之參考。

在架構蘇鐵白輪盾介殼蟲之防治策略之前，應該先瞭解臺東蘇鐵目前所遭遇之問題。位於保留區內之臺東蘇鐵，目前遭受的的危害主要是包括啃食型的東陞蘇鐵小灰蝶及吸食型的蘇鐵白輪盾介殼蟲。這兩種害蟲交互影響臺東蘇鐵之生理及生殖，造成臺東蘇鐵面臨極大的危機。在討論防治策略之前，應該對害蟲之基本生態，以及目前所有可能有效的防治方式進行瞭解，才能決定如何進行。有關東陞蘇鐵小灰蝶及蘇鐵白輪盾介殼蟲之基本生態部分，目前已有相當瞭解。但對於蘇鐵白輪盾介殼蟲之生殖方式及不同季節是否性比會有變化等，則需進一步研究。在防治資材部分，因為臺東蘇鐵位於保留區內，所以化學防治方式之施作較不建議，可能僅限於緊急時使用。而物理防治，如摘除感染枝條等方式，在保留區內也不太適用。最後就是生物防治部分，目前的生物天敵包括寄生蜂及出尾蟲等。寄生蜂部分，雖然根據師大徐教授之資料顯示泰國之跳小蜂可以對蘇鐵白輪盾介殼蟲

雄蟲的寄生率達 100%，對雌蟲寄生率約可達 50%，但於田間防治成效及人工飼養方面，還沒有完整資料。至於在出尾蟲部分從泰國引進的泰國雙色出尾蟲雖然無法在保留區內繁殖，但大量飼育容易且技術成熟，而且已經廣泛分佈於臺灣全島各地區。至於本土之臺灣方頭出尾蟲，雖然可以在保留區內繁殖，但數量不多，同時，該蟲之大量繁殖較為不易。還有，我們的研究亦顯示兩種出尾蟲之食性範圍非常的類似，防治效力又幾乎相同。至於性費洛蒙部分，則是剛開始起步研究，如果有幸找到，在如何應用方面，也需要花一些時間釐清，所以在短時間內似乎不必考慮。

總和上述之資料發現，目前在臺東蘇鐵保留區內有東陞蘇鐵小灰蝶及蘇鐵白輪盾介殼蟲危害臺東蘇鐵。在考量保護臺東蘇鐵之下，應思考如何針對東陞蘇鐵小灰蝶及蘇鐵白輪盾介殼蟲進行綜合防治。同時，亦應該要製訂不同階段的防治策略，以便達到長遠保護的目的。對於東陞蘇鐵小灰蝶之有效生物天敵方面，目前並不清楚，所以未來需要進行相關研究。而蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵寄生蜂及臺灣方頭出尾蟲則雖存在於此區域，但因為生活史策略及生理等因素，造成該等天敵僅能局部控制蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群。

在短期的防治策略部分，應該思考如何在每年蘇鐵白輪盾介殼蟲族群將開始上升時（春夏交際），將其族群壓制住。如能連續幾年使蘇鐵白輪盾介殼蟲無法大發生，則臺東蘇鐵有機會好好生長。要能夠達到這目的，目前只有藉著大量釋放天敵出尾蟲可以達到。根據目前研究結果顯示，蘇鐵白輪盾介殼蟲將於每年之 4 月底五月初，開始進行大量產卵繁殖，所以如果此時釋放大量天敵出尾蟲，成蟲可以取食孵化之蘇鐵白輪盾介殼蟲族群之若蟲，出尾蟲幼蟲可以取食尚未孵化之卵，達到降低蘇鐵白輪盾介殼蟲族群之目的。此方法主要是利用生物防治方法中的淹沒法，期待於春夏交界之際，以一次大量釋放出尾蟲於延平事業區 19 林班以及 23 林班，以抑制蘇鐵白輪盾介殼蟲數目。為大量生產出尾蟲，前已有針對養蟲室建構及相關人事之成本完成計算，計畫生產 30 餘萬隻出尾蟲釋放於目前有列管的蘇鐵，每株釋放 200 隻。天敵大量釋放方面，可能需要許多的人力及物力同時投入。釋放方式建議盡量以人工方式，於 4～5 月將出尾蟲釋放到感染的蘇鐵植株上，另一方面，可以考慮由直升機或遙控飛機將出尾蟲釋放至一些人力無法到達的地方，以達到全面淹沒法的目的。至於要釋放哪一種出尾蟲，則有待商榷。保留區內目前的狀況是泰國雙色出尾蟲無法於區內存活下來，於區內發現的都是臺灣方頭出尾蟲。但臺灣方頭出尾蟲之量產較為困難，短時間內還無法達到足夠的量，所以建議可以還是使用泰國雙色出尾蟲作為大量釋放之用。使用泰國雙色出尾蟲於保留區內有幾個好處，第一是其容易量產。第二是其食性還滿專一，應該不會造成保留區內其他生物的影響。第三是其無法長時間存活，

所以完成取食任務後就消失。另外，泰國雙色出尾蟲事實上已廣泛立足及分佈於臺灣各地，野外釋放應該不至於造成太大的環境問題。當然，使用這種防治方式，也不是一年即能完成，可能需要數年連續的防治，方能達成較好的效果。若使用此方式，將蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群壓制至最低程度後，讓臺東蘇鐵有幾年好好生長及調養的機會，接著可以停止大量釋放，靠臺灣方頭出尾蟲及其他生物天敵來作一般的防治。

至於較中長期的防治策略方面，則應該是思考如何同時針對臺東蘇鐵的不同蟲害及不同的防治方法進行防治上之綜合考量。過去東陞蘇鐵小灰蝶僅危害臺東蘇鐵於春天發出之嫩葉，但因為蘇鐵白輪盾介殼蟲之危害，改變臺東蘇鐵之物候，臺東蘇鐵發嫩葉的時間變長，使得東陞蘇鐵小灰蝶危害的時間亦跟著加長，危害程度更劇，所以在防治上亦應一併列入考量。因此建議未來也應該對於東陞蘇鐵小灰蝶的天敵要加以探討，找出一些可能的天敵來防治東陞蘇鐵小灰蝶，以備需要時使用。當然，臺東蘇鐵的主要危機來源還是蘇鐵白輪盾介殼蟲，如果蘇鐵白輪盾介殼蟲能受到控制，蘇鐵的物候能夠回復，東陞蘇鐵小灰蝶的危害亦會減輕。所以，找到除了出尾蟲以外更有效率的天敵作為防治之用，更是極重要的工作。未來除繼續改良出尾蟲之大量飼育技術，以便能以更經濟有效的方法生產出尾蟲外，對於其他可能的天敵，亦應積極開發。例如寄生蜂部分，雖然其已在野外存在，但是不是需要在特定的時間作增擴釋放等，則需進一步探討。還有如性費洛蒙部分，雖然今年的結果不是太明顯，但因性費洛蒙是生物防治的利器，如果能找到，對於蘇鐵白輪盾介殼蟲的防治應該很有幫助。其他還有如微生物天敵等，過去雖然有一些簡單的研究，但還未有較有效的物種，未來亦應持續探討，或是利用目前已有的微生物製劑，測試其效力。所以對中長程計畫的建議是要先對整個系統作一全盤的瞭解，再作一全面性的考量。

伍、誌謝

本研究承農委會林務局臺東林區管理處一百年度委託研究計畫經費補助，田野調查期間蒙林務局臺東林區管理處關山工作站同仁鼎力相助，特此感謝。

陸、參考文獻

邱一中、吳文哲、石正人。2001。利用 PCR-RFLP 技術鑑定三種白輪盾介殼蟲 (*Aulacaspis* spp.) (同翅目：盾介殼蟲科) 及其在檢疫上之應用。台灣昆蟲 21: 365-375。

邱一中、吳文哲、賴博永、石正人。2004。蘇鐵白輪盾介殼蟲之發生及防治。新世紀植物防檢疫研討會。台灣昆蟲特刊 6:163-185。

黃淑媛，1999。臺東紅葉村臺東蘇鐵自然保留區植群生態之探討。碩士論文。國立東華大學自然資源管理研究所 p27。

Baranowski, R. M., and Glenn, H. B. 1999. Establishment of *Cybocephalus binotatus* Grouvelle and *Coccobius fulvus* (Compere & Annecke) for suppression of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi (Homoptera: Diaspididae) in South Florida. Florida Entomological Society Eighty-second Annual Meeting, International Caribbean Conference of Entomology, Fourth Joint Meeting, The Puerto Rico Entomology Society, July 25-29, San Juan, Puerto Rico. (Poster session abstract)

Bailey. R., N. T. Chang, and Lai, P. Y. 2011. Two-sex life table and predation rate of *Cybocephalus flavocapitis* Smith reared on *Aulacaspis yasumatsui* Takagi in Taiwan. J. Asia-Pasific Entomol. 14: 433-439.

Cave, R. D. 2006. Biological control of *Aulacaspis yasumatsui*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 119: 422-424.

Cave, R. D., C. Sciacchetano, and Diaz, R. 2009. Temperature-dependent development of the Cycad Aulacaspis scale, *Aulacaspis yasumatsui*. Flo. Entomol. 92: 578-581.

Drea, J. J., and Carlson, R. W. 1988. Establishment of *Cybocephalus* sp. (Coleoptera: Nitidulidae) from Korea on *Unaspis euonymi* (Homoptera: Diaspididae) in the eastern United States. Proc. Entomol. Soc. Washington 90: 307-309.

Emshousen, C., Mannion, C., and Glenn, H. 2004. Management of cycad Aulacaspis scale, *Aulacaspis yasumatsui*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 117: 305-307.

Germain, H. F., and Hodges, G. S. 2007. First report of *Aulacaspis yasumatsui* in Africa, and update on distribution. Fla. Entomol. 90: 755-756.

Gladwell, D. L. 2003. The cycad Aulacaspis scale, *Aulacaspis yasumatsui*: Management approaches and pesticide trial updates. Proc. Fla. State Hort. Soc. 116: 347-350.

Marler, T. E., and Moore, A. 2010. Cryptic scale infestations on *Cycas revolute* facilitate scale invasions. HortScience 45: 837-839.

Ranga Rao, G. V., J. A.Wightman, and Ranga Rao, D. V. 1989. Threshold temperatures and thermal requirements for the development of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Environ. Entomol. 18: 548-551.

Ravuiwasa, K. T., C. W. Tan., I. Bezirganoglu., and Hwang, S. Y. 2012. Temperature-dependent demography of *Aulacaspis yasumatsui*. J. Econ. Entomol. 105: 1581-1590.

Samayoa, A. 2012. Temprature-dependent development and distribution of *Cybocephalus flavocapitis* Smith, a predator of *Aulacaspis yasumatsui* Takagi in Taiwan. Master Thesis, Department of Entomology, National Chung Hsing University.

Smith, T. R., and Bailey, R. 2007. A new species of *Cybocephalus* from Taiwan and a new distribution record for *Cybocephalus nipponicus*. The Coleopterists Bull. 61: 503-508.

Stoto, A., J. Aphblaze, A. Norero, and Estay, P. 1999. Requirmientos termicos de *Trialeurodes vaporarioum* en tomate. Ciencia e Investigacion Agraria. 26: 37-42.

Song, S. Y., C. W. Tan, and Hwang S. Y. 2012. Host range of *Cybocephalusflavocapitis* and *Cybocephalus nipponicus*, two potential biological control agents for the cycad aulacaspis scale, *Aulacaspis yasumatsui*. J. Asia-Pasific Entomol. 15: 595-599.

Takagi, S. 1999. For a better understanding of *Aulacaspis*: The *calcarata* species group (Homoptera: Coccoidea: Diaspididae). Insecta Matsumurana New Series 55: 133–180.

Takagi, S. 1977. A new species of *Aulacaspis* associated with a cycad in Thailand (Homoptera: Coccoidea). pp. 68-72. In: S. I. Nakao, S. Takagi, T. Tachikawa, and T. Wongsiri (eds). Scale insects collected on citrus and other plants and their hymenopterous parasites in Thailand. Insecta Matsumurana New Series 11: 61-72.

Tattar, T. A., and Farran, A. 2007. Control of Asian cycad scale on *Cycas revoluta* and *C. taitungensis* using Imicide trunk microinjection In: Gottschalk, Kurt W., ed. Proceedings, 17th 4U.S. Department of Agriculture interagency research forum on gypsy moth and other invasive species 2006; Gen. Tech. Rep. NRS-P-10. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 97.

柒、表

表一、2011 年 7 月~2012 年 9 月蘇鐵白輪盾介殼蟲及臺灣方頭出尾蟲田間族群動態監測

監測月份	蘇鐵白輪盾介殼蟲 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	臺灣方頭出尾蟲 隻/每樣株 (平均值±標準差)	地點
2011 / 07	32.65±11.63	6.00±4.90	延平事業區第 19 林班
2011/ 08	33.14±16.57	4.89±4.55	延平事業區第 19 林班
2011 / 09	29.53±18.98	4.20±2.85	延平事業區第 19 林班
2011 / 10	21.58±11.98	4.45±2.45	延平事業區第 19 林班
2011 / 11	16.57±10.01	3.50±3.12	延平事業區第 19 林班
2011 / 12	11.99±8.51	3.73±2.72	延平事業區第 19 林班
2012/ 02	9.84±8.43	2.31±2.73	延平事業區第 19 林班
2012/ 03	11.75±9.15	3.44±2.90	延平事業區第 19 林班
2012/ 04	19.63±12.85	4.35±5.95	延平事業區第 19 林班
2012/ 05	35.74±22.53	5.50±6.81	延平事業區第 19 林班
2012/ 06	44.77±28.98	5.71±5.79	延平事業區第 19 林班
2012/ 07	44.26±28.20	4.81±5.22	延平事業區第 19 林班
2012/ 09	37.98±19.47	3.90±4.39	延平事業區第 19 林班

表二、2011 年 12 月~2012 年 10 月蘇鐵白輪盾介殼蟲及臺灣方頭出尾蟲田間族群動態監測

監測月份	蘇鐵白輪盾介殼蟲 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	臺灣方頭出尾蟲 隻/每樣株 (平均值±標準差)	地點
2011 / 12	25.25±18.01	4.81±2.83	延平事業區第 23 林班
2012 / 03	15.19±13.96	3.15±2.44	延平事業區第 23 林班
2012 / 08	50.33±42.68	4.79±6.74	延平事業區第 23 林班
2012 / 10	46.40±37.99	5.23±6.08	延平事業區第 23 林班

表三、2011 年 7 月~ 2012 年 9 月延平事業區第 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構

監測月份	卵&遊走一齡 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	固著一齡 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	二齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)
2011 / 07	20.23±8.87	6.87±4.53	0.93±1.19
2011 / 08	19.49±10.08	5.49±4.31	1.83±1.82
2011 / 09	15.80±9.33	5.00±4.24	2.57±2.57
2011 / 10	12.03±6.37	3.46±2.18	2.31±1.76
2011 / 11	9.23±5.57	2.49±1.62	1.71±1.26
2011 / 12	6.76±5.05	1.87±1.40	1.19±1.09
2012/ 02	5.63±4.81	1.37±1.25	0.98±1.02
2012 / 03	6.37±4.94	1.63±1.34	1.09±0.97
2012 / 04	9.48±6.07	3.13±2.28	2.23±1.85
2012 / 05	15.79±9.73	7.51±5.06	4.51±3.39
2012 / 06	19.80±12.93	9.67±6.54	5.44±3.95
2012 / 07	18.85±12.47	10.27±7.00	5.69±3.83
2012 / 09	15.71±7.74	9.74±5.68	5.19±3.35

續表三、2011 年 7 月~2012 年 9 月延平事業區第 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構

監測月份	處女三齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	產卵三齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	雄若蟲 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)
2011 / 07	0.27±0.37	0.73±0.53	3.62±3.22
2011 / 08	1.00±0.79	1.26±0.67	4.08±2.81
2011 / 09	1.97±1.33	1.17±0.83	3.02±2.55
2011 / 10	0.38±0.81	0.87±0.53	2.52±1.79
2011 / 11	0.27±0.53	0.78±0.46	2.09±1.47
2011 / 12	0.12±0.29	0.69±0.49	1.36±1.14
2012 / 02	0.13±0.36	0.55±0.51	1.18±1.21
2012 / 03	0.65±0.88	0.57±0.51	1.45±1.47
2012 / 04	1.21±1.19	0.91±0.60	2.67±1.91
2012 / 05	2.20±1.74	1.23±0.73	4.51±2.91
2012 / 06	2.90±2.17	1.49±1.00	5.47±3.59
2012 / 07	2.95±2.13	1.40±0.89	5.11±2.96
2012 / 09	2.44±1.76	1.37±0.77	3.53±1.82

表四、2011 年 12 月~2012 年 10 月延平事業區第 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構

監測月份	卵&遊走一齡 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	固著一齡 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	二齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)
2011 / 12	12.63±8.82	4.25±3.51	3.05±2.64
2012 / 03	6.74±5.90	2.74±2.88	1.99±2.15
2012 / 08	20.51±16.03	12.43±11.29	6.71±6.68
2012 / 10	18.45±14.66	11.35±9.01	6.58±6.10
監測月份	處女三齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	產卵三齡 ♀ 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)	雄若蟲 隻/5 公分小葉 (平均值±標準差)
2011 / 12	1.17±1.32	0.99±0.72	3.17±2.41
2012 / 03	0.87±1.14	0.62±0.60	2.22±2.03
2012 / 08	3.59±3.44	1.37±1.10	5.71±5.35
2012 / 10	3.58±3.35	1.38±0.99	5.06±4.90

表五、2011 年 7 月~2012 年 9 月延平事業區第 19 林班臺東蘇鐵平均感染率

監測月份	程度 2 以下植株	平均程度
2011 / 07	16	3
2011 / 08	16	3
2011 / 09	23	2
2011 / 10	26	2
2011 / 11	26	1
2011 / 12	28	1
2012 /02	30	1
2012 / 03	30	1
2012 / 04	28	1
2012 / 05	24	2
2012 / 06	22	2
2012 / 07	23	2
2012 / 09	23	2

表六、2011 年 12 月~2012 年 10 月延平事業區第 23 林班臺東蘇鐵平均感染率

	程度 2 以下植株	平均程度
2011 / 12	18	3
2012 / 03	23	2
2012 / 08	21	2
2012 / 10	24	2

表七、延平事業區 19 林班樣株之植被資訊

編號	莖幹長 (公分)	葉面積指數 (每平方公尺)	齡級 (年)	感染程度
A1	110	4.34	55	2
A2	120	2.75	60	2
A3	70	1.65	35	3
A4	190	0.59	95	2
A5	110	2.91	55	1
A6	60	3.31	30	2
A7	190	1.85	95	2
A8	220	2.66	110	3
A9	130	3.85	65	1
A10	210	1.04	105	2
A11	220	2.87	110	2
A12	180	2.28	90	1
A13	70	3.52	35	1
A14	90	2.77	45	2
A15	100	4.17	50	1
A16	50	3.65	25	1
A17	70	2.98	35	2
A18	70	3.9	35	2
A19	120	4.57	60	2
A20	160	2.85	80	1
A21	150	4.12	75	1
A22	50	3.08	25	1
A23	90	3.33	45	2

A24	120	2.59	60	2
A25	110	3.96	55	2
A26	180	3.76	90	3
A27	230	3.65	115	2
A28	210	2.56	105	2
A29	180	2.41	90	1
A30	70	2.82	35	1
平均值±標準差	131.00±56.65	3.03±0.92	65.50±28.32	

表八、不同溫度下臺灣方頭出尾蟲各生活史期之發育時間（天）

Stages	Temperature (°C)				
	15	20	25	30	35
Eggs	30.78±0.86(9)a	14.02±0.25(48)b	7.29±0.11(49)c	5.07±0.10(43)d	4.25±0.48(4)d
Larva	-	23.28±1.82(25)a	10.86±0.13.49(40)b	7.03±0.16(35)c	-
Pre-pupa	-	19.35±0.73(17)a	10.86±0.27(29)b	8.27±0.32(26)c	-
Pupa	-	19.45±0.58(11)a	11.53±0.21(17)b	9.00±0.0.35(12)c	-
Egg to Adult		70.81±1.24(11)	39.94±0.34(17)	29.08±0.77(12)	

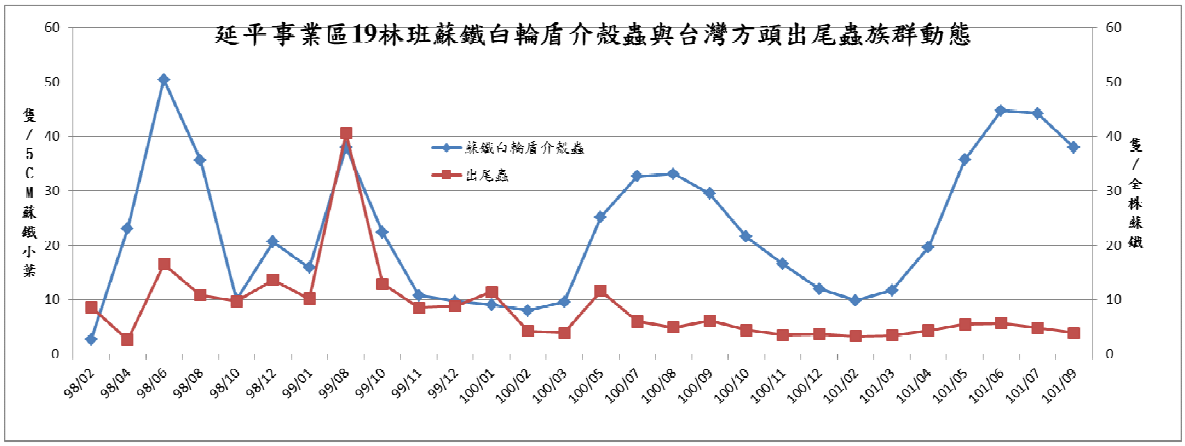
Means within a row for each stage followed by a different letter are significantly different (P<0.05; Student-Newman-Keuls test). Analysis of variance of eggs (F=947.48; df=4), larva (F=97.87; df=2), pre-pupa (F=166.93; df=2), pupa (F=195.63; df=2), egg to adult (F=715.28; df=2). P values are less than 0.0001.

表九、臺灣方頭出尾蟲各生長期之發育臨界溫度

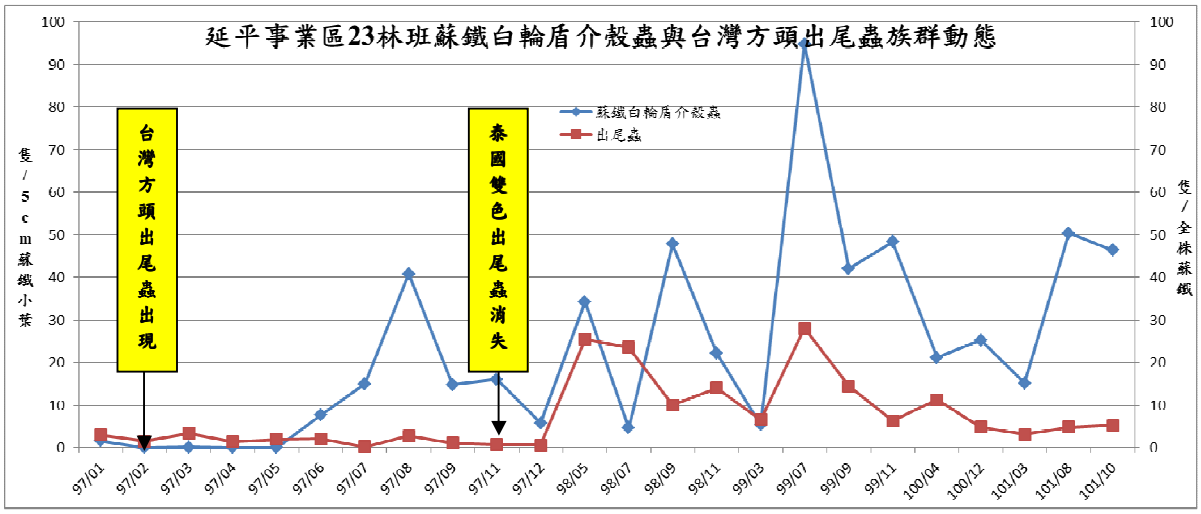
Stages	Intercept(a)	Slope(b)	R^2	Threshold ˚C $\left(-\frac{a}{b}\right)$	Degree-days[1]
Eggs	-0.131	0.01065			
S.E.M	0.015	0.001	0.9908	12.30	93.9
Larva	-0.154	0.00993			
S.E.M	0.013	0.001	0.9973	15.54	100.7
Pre-pupa	-0.084	0.00689			
S.E.M	0.017	0.001	0.9909	12.25	145.1
Pupa	-0.066	0.00598			
S.E.M	0.017	0.001	0.9878	11.11	167.2
Egg to Adult	-0.026	0.00204	0.9981	12.91	490.2
S.E.M	0.002	(0.000)			

Parameter estimates of the linear relationship among temperatures and development rates (1/D) of *Cybocephalus flavocapitis*

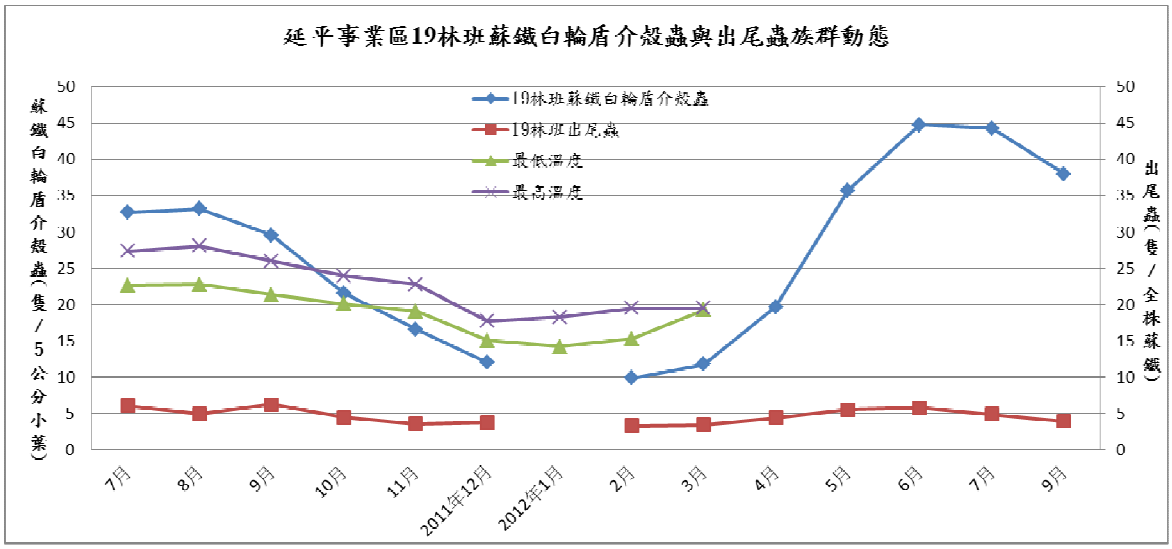
捌、圖



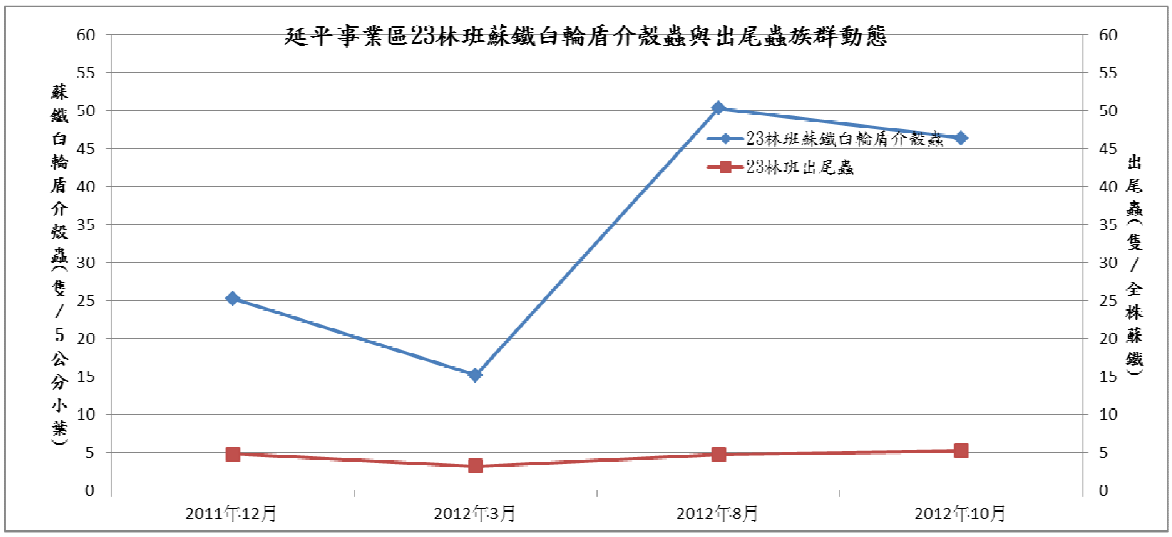
圖一、延平事業區 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲與臺灣方頭出尾蟲歷年族群動態



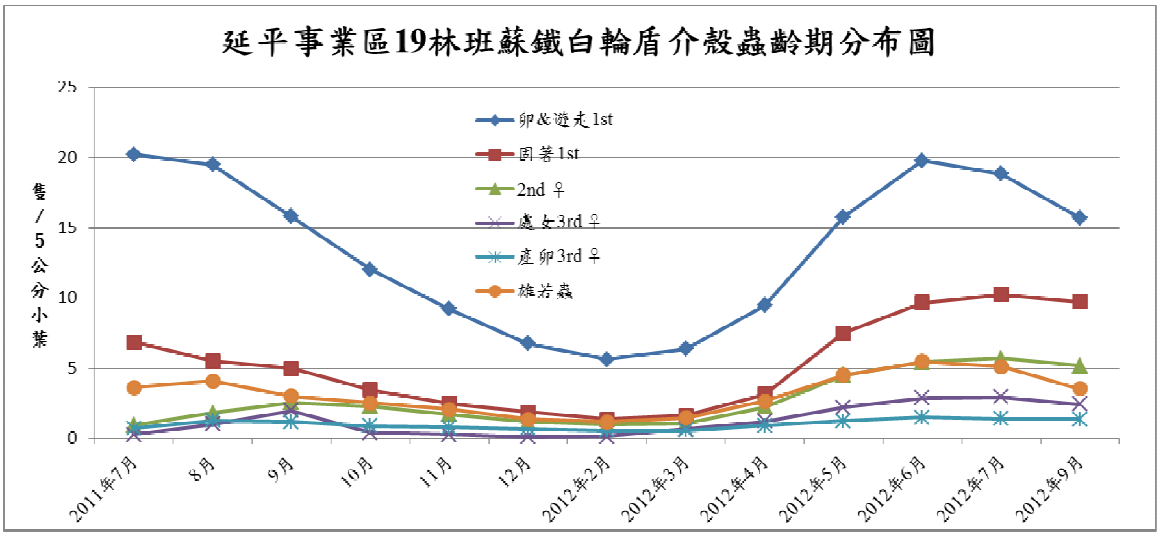
圖二、延平事業區 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲與出尾蟲歷年族群動態。(自 97 年 11 月後，於保留區內監測到的全為臺灣方頭出尾蟲)



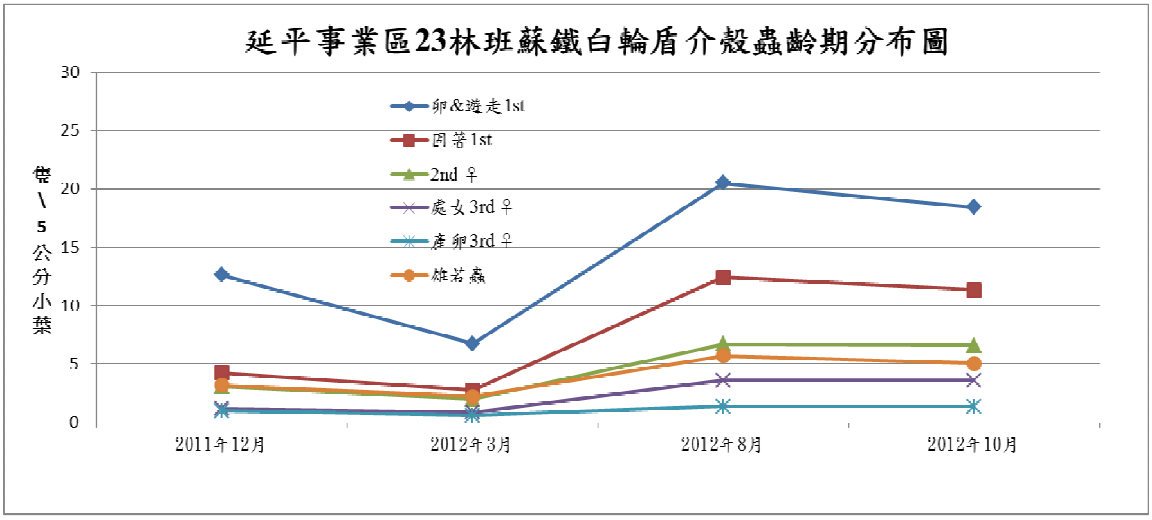
圖三、延平事業區 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲與臺灣方頭出尾蟲族群動態



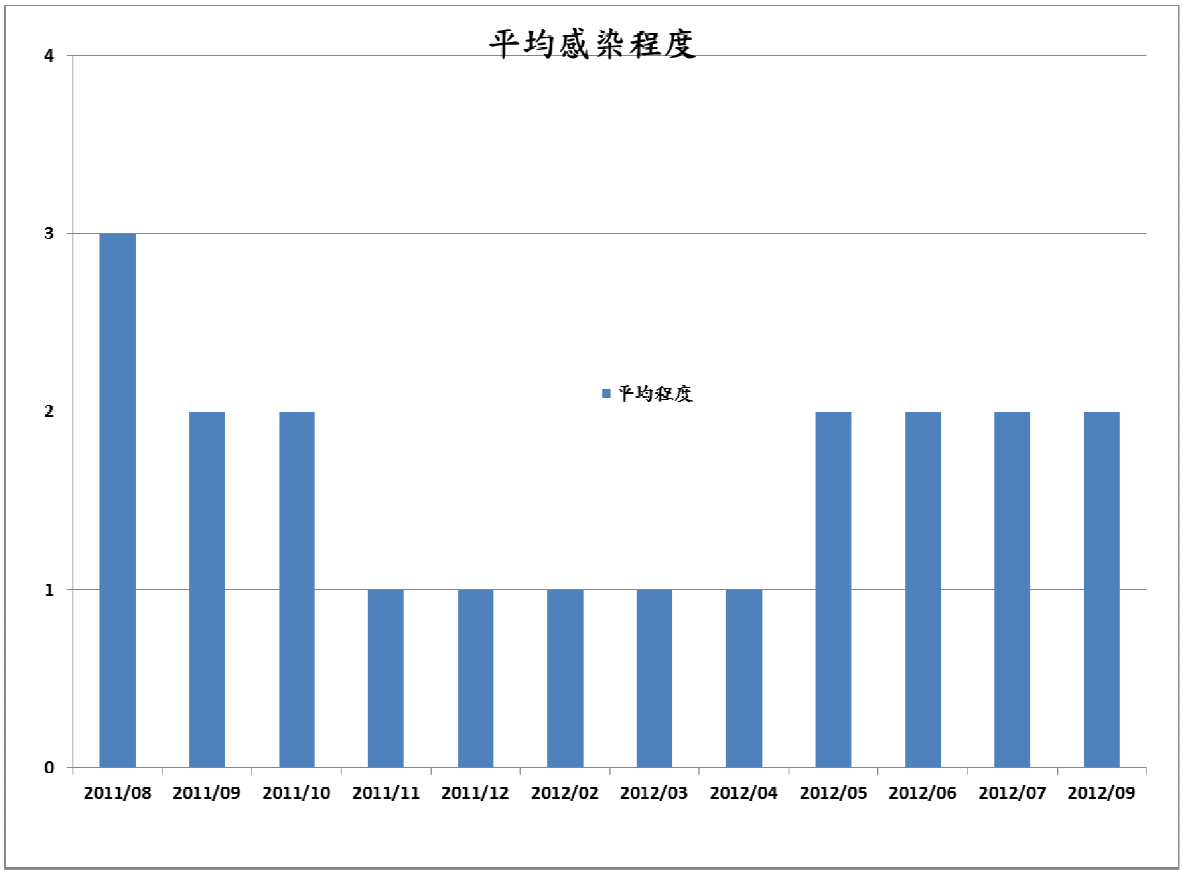
圖四、延平事業區 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲與臺灣方頭出尾蟲族群動態。



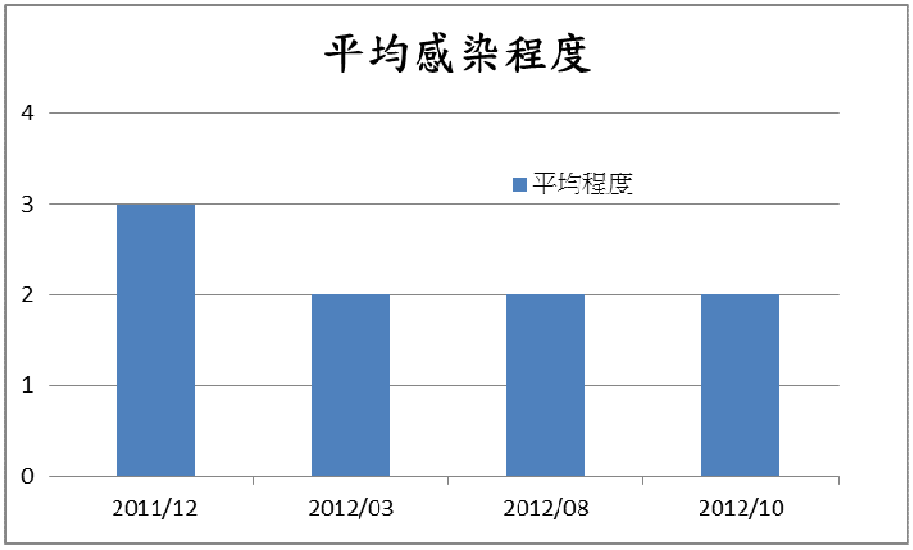
圖五、延平事業區 19 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構動態圖。



圖六、延平事業區 23 林班蘇鐵白輪盾介殼蟲齡期結構動態圖。



圖七、延平事業區 19 林班臺東蘇鐵平均感染程度。



圖八、延平事業區 23 林班臺東蘇鐵平均感染程度。

延平事業區 19 林班 2011 年 7 月

延平事業區 19 林班 2011 年 8 月

延平事業區 19 林班 2011 年 9 月

延平事業區 19 林班 2011 年 10 月

延平事業區 19 林班 2011 年 11 月

延平事業區 19 林班 2011 年 12 月

延平事業區 19 林班 2012 年 2 月

延平事業區 19 林班 2012 年 3 月

延平事業區 19 林班 2012 年 4 月

延平事業區 19 林班 2012 年 5 月

延平事業區 19 林班 2012 年 6 月

延平事業區 19 林班 2012 年 7 月

延平事業區 19 林班 2012 年 9 月

圖九、2011 年 7 月～2012 年 9 月延平事業區 19 林班蘇鐵之物候。

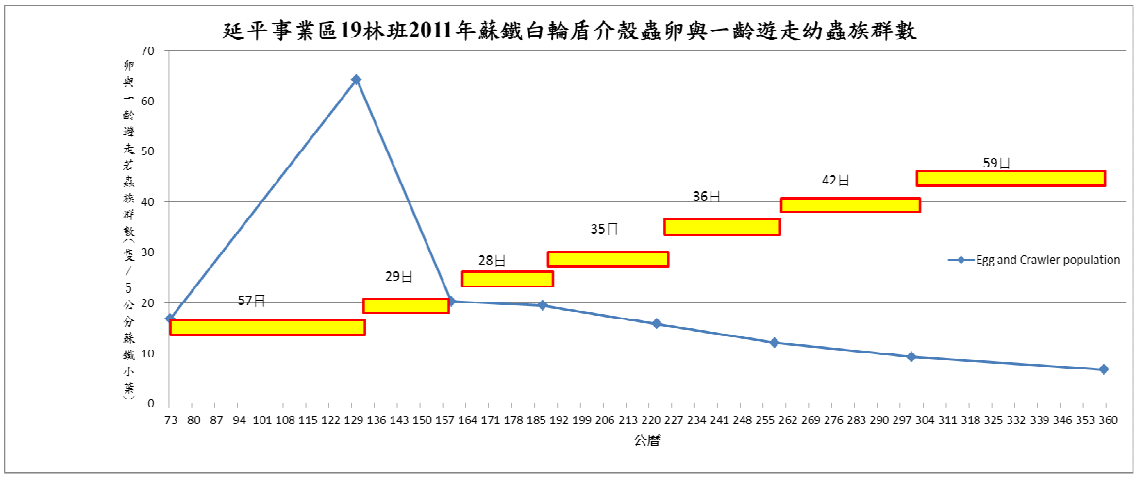
延平事業區 23 林班 2011 年 12 月

延平事業區 23 林班 2012 年 3 月

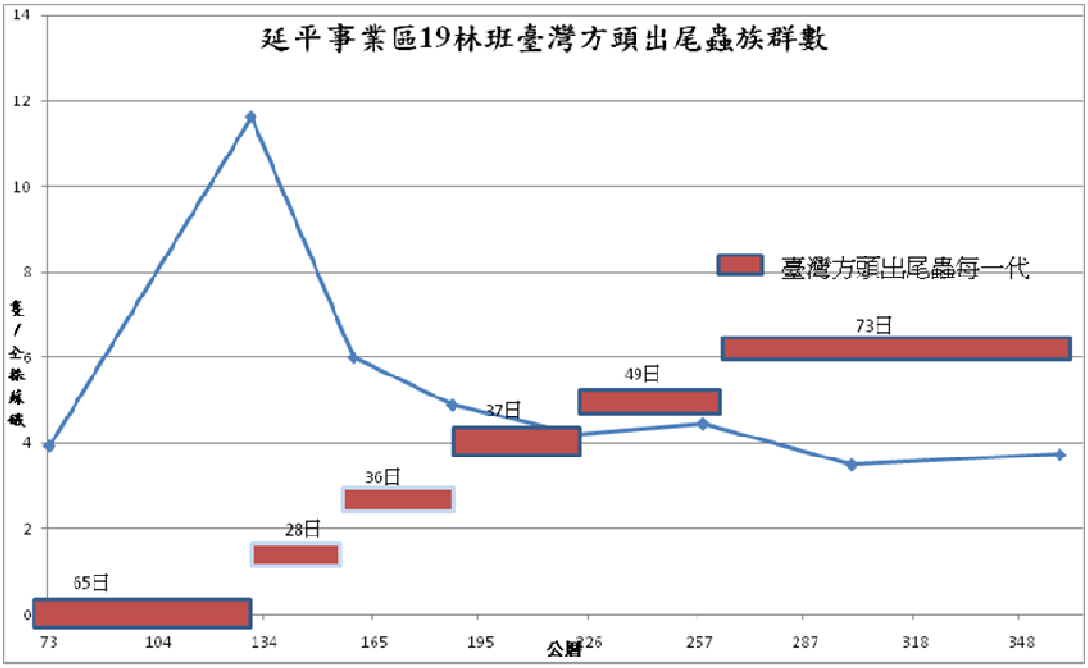
延平事業區 23 林班 2012 年 8 月

延平事業區 23 林班 2012 年 10 月

圖十、2011 年 12 月～2012 年 10 月延平事業區 23 林班蘇鐵之物候。

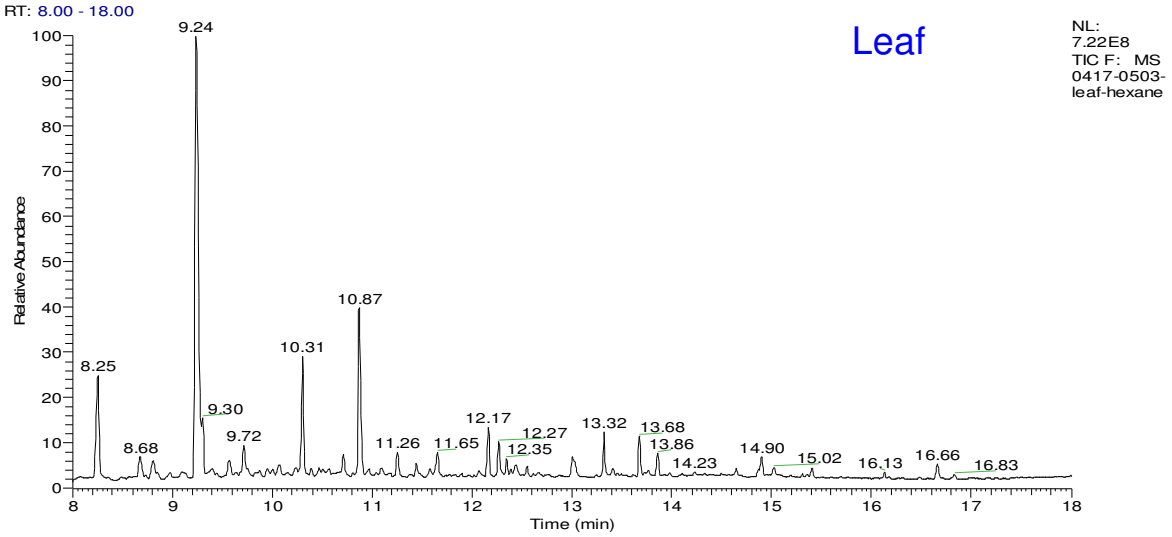


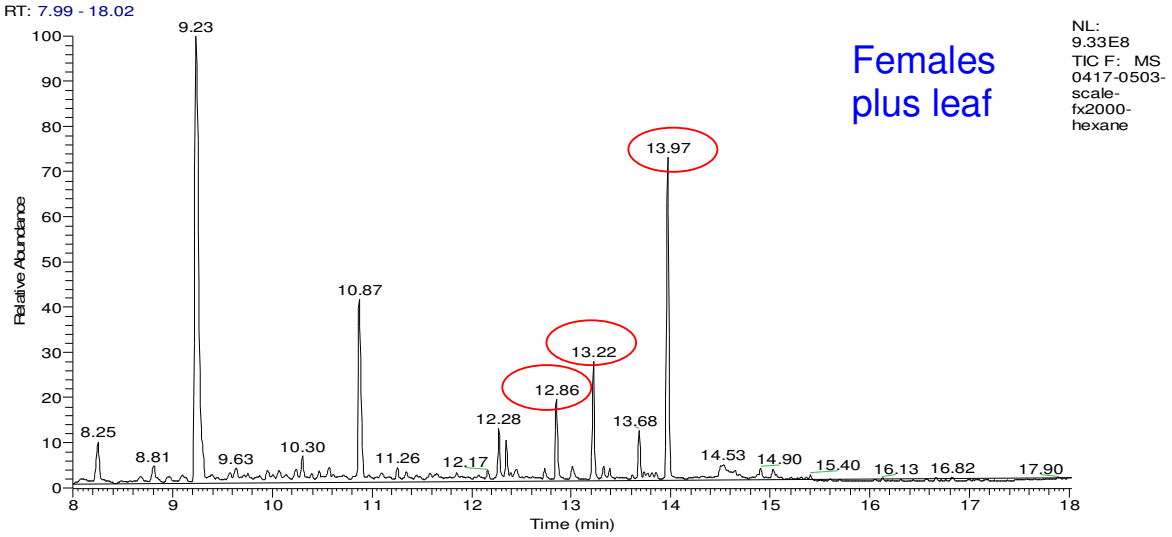
圖十一、延平事業區 19 林班 2011 年蘇鐵白輪盾介殼蟲卵與一齡遊走若蟲族群數關係圖（黃色圖形線上之數字代表蘇鐵白輪盾介殼蟲之每一世代所需時間）



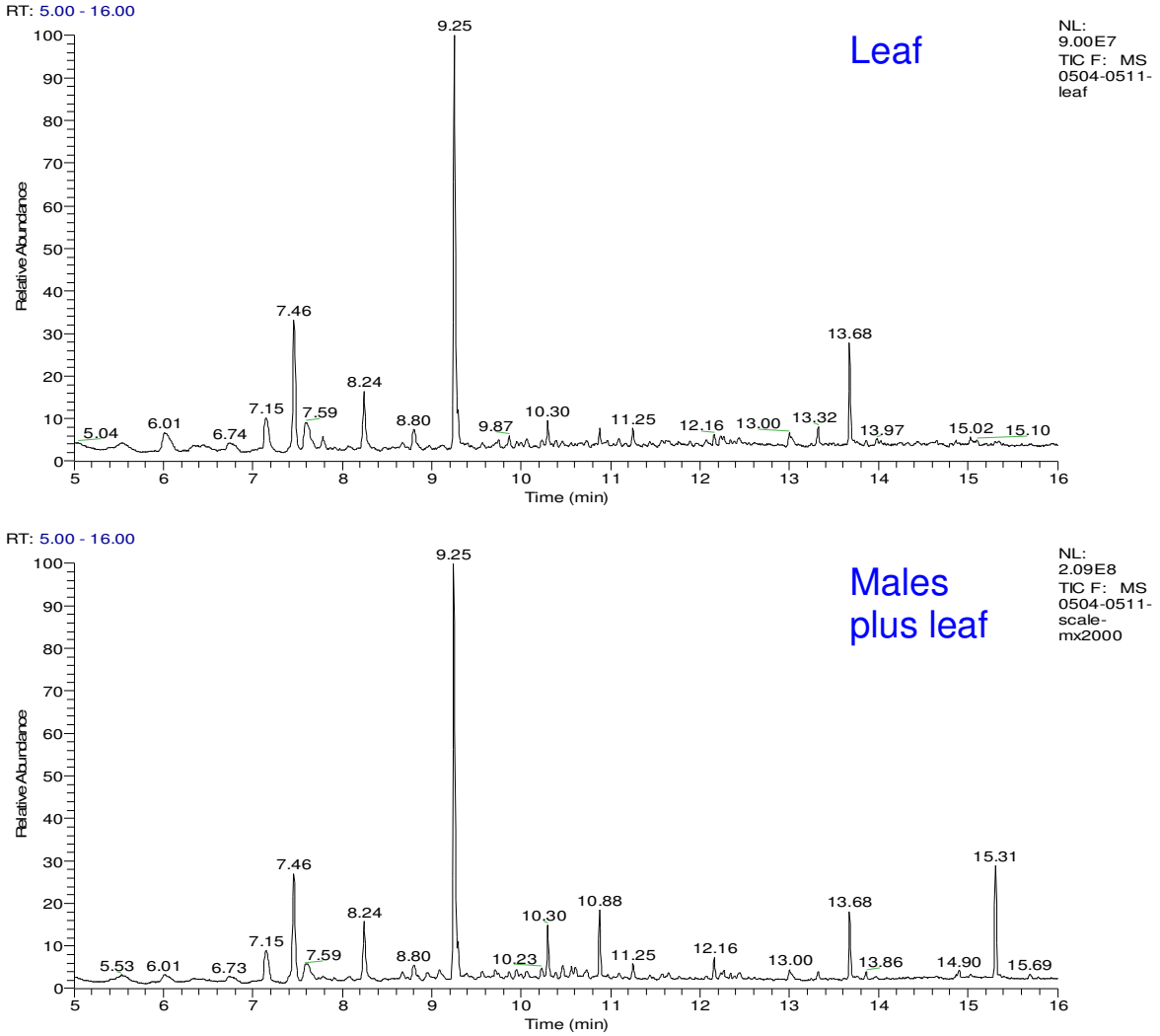
圖十二、臺灣方頭出尾蟲從卵至成蟲所需發育時間及族群數目

（紅色圖形線上之數字代表臺灣方頭出尾蟲之每一世代所需時間）

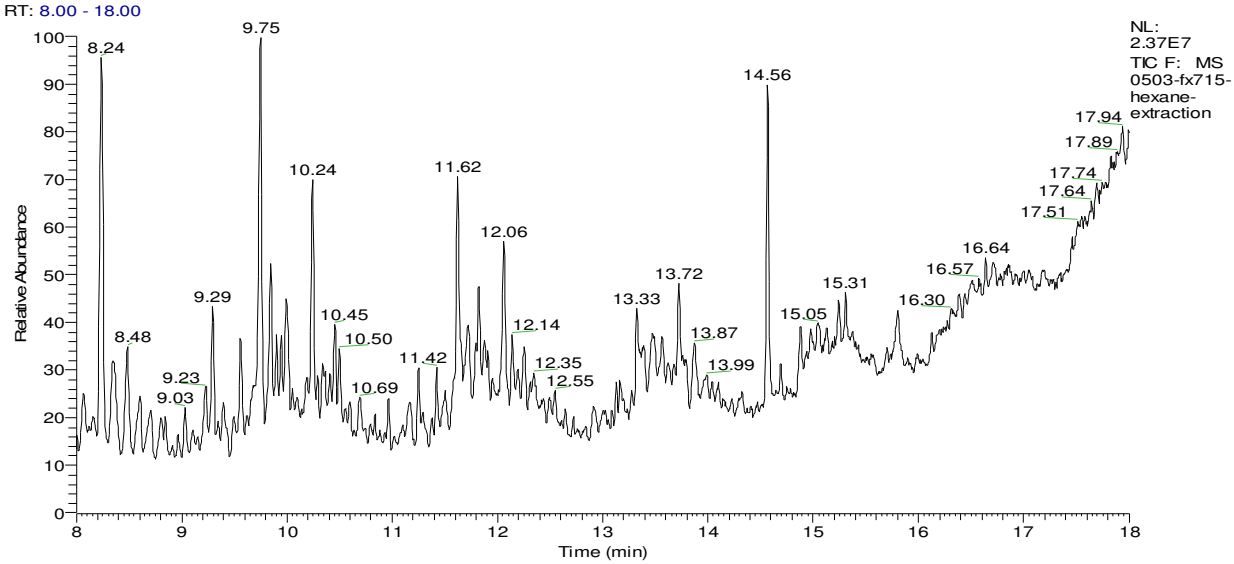




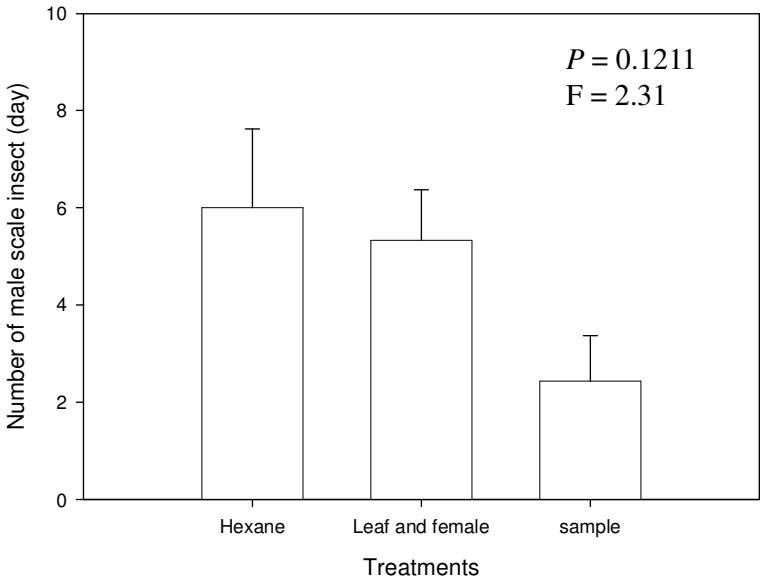
圖十三、性費洛蒙分析之 GC-MS 結果，上圖為僅有蘇鐵葉之圖譜，下圖為蘇鐵葉加上雌蟲（50720 bug day）之圖譜。於有雌蟲的部分，發現於 12.86，13.22，及 13.97 分鐘位置出現之物質，有可能和性費洛蒙有關。



圖十四、性費洛蒙分析之 GC-MS 結果，上圖為僅有蘇鐵葉之圖譜，下圖為蘇鐵葉加上雄蟲之圖譜。

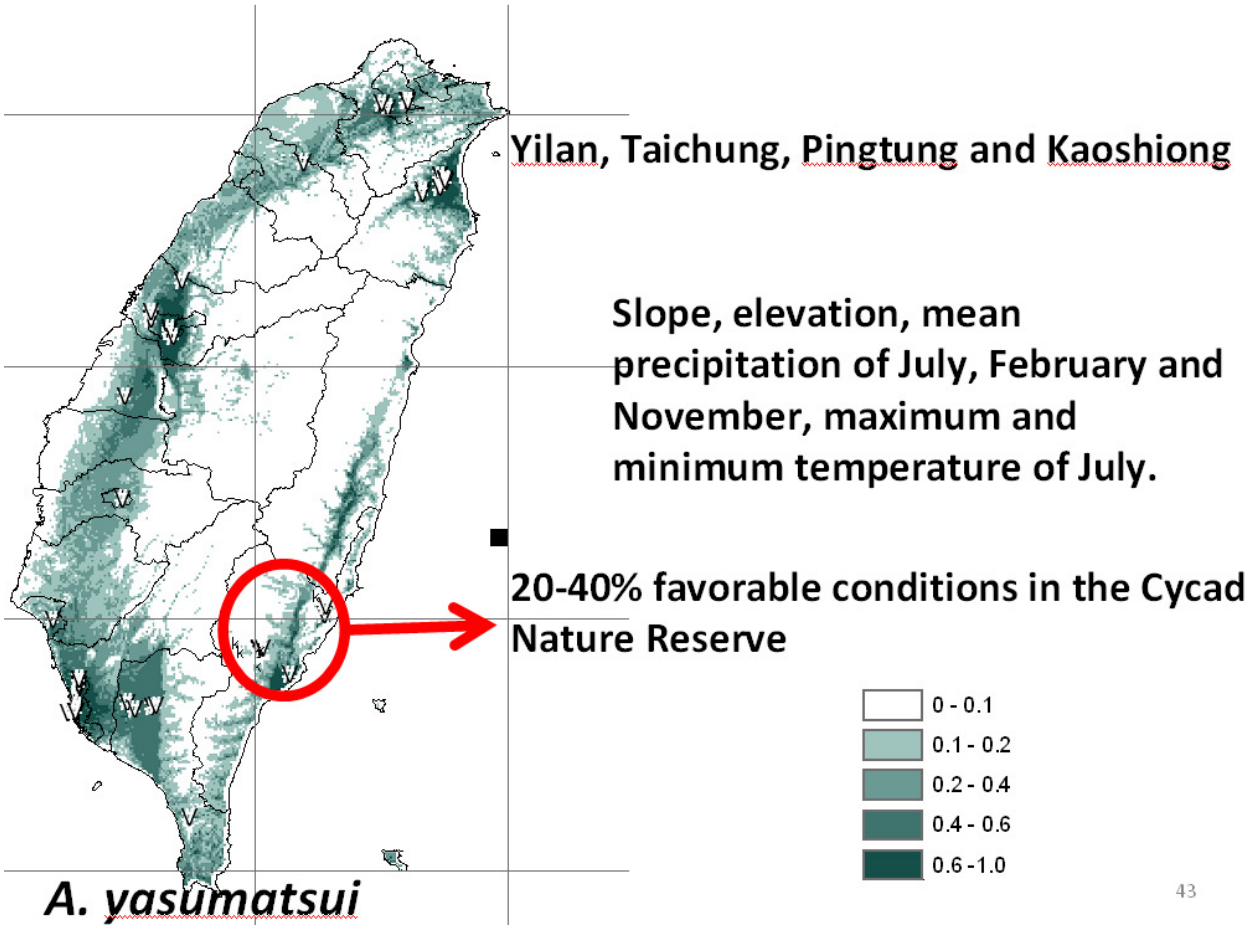


圖十五、性費洛蒙分析之 GC-MS 結果，以溶劑直接萃取雌蟲分泌物圖譜。

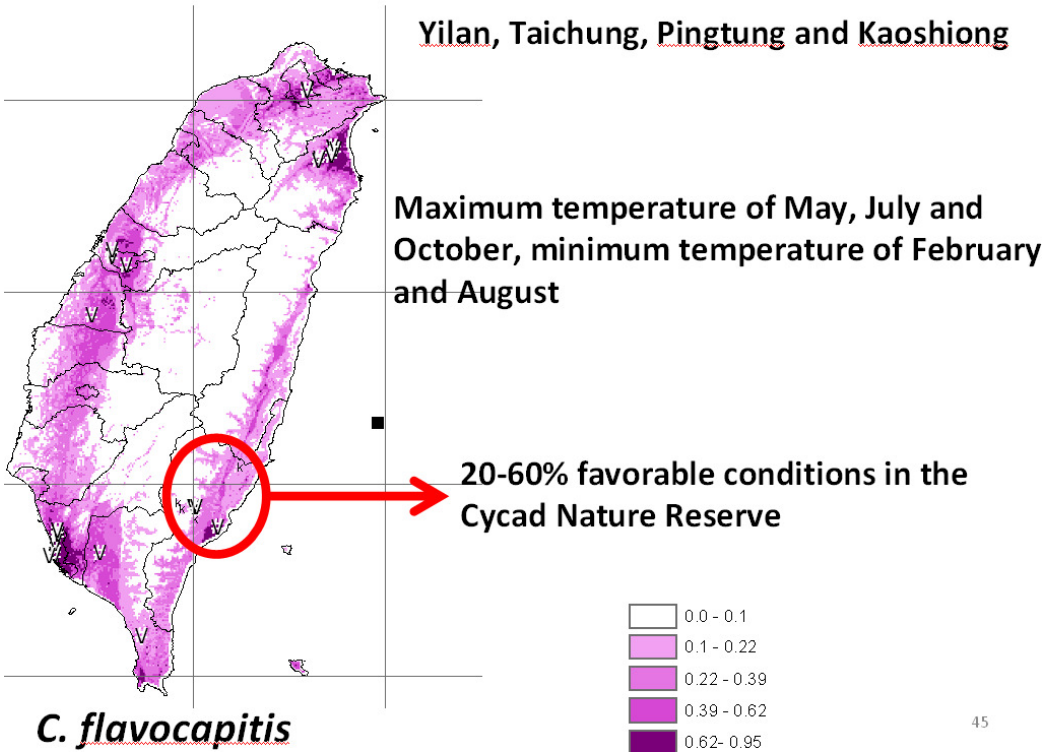


圖十六、雌蟲萃取物、溶劑與葉片上雌蟲誘集雄成蟲效果。

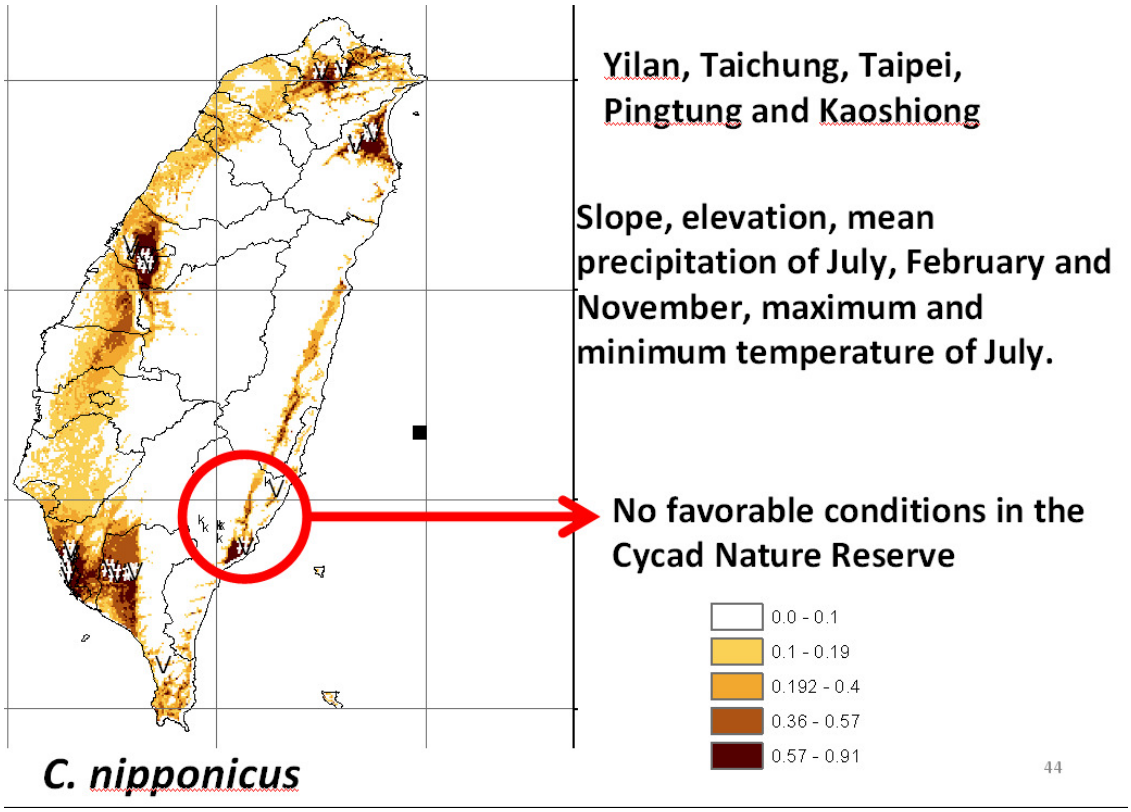
玖、附錄



附錄一、蘇鐵白輪盾介殼蟲於臺灣之預測分佈圖



附錄二、臺灣方頭出尾蟲於臺灣之預測分佈圖



附錄三、泰國雙色出尾蟲於臺灣之預測分佈圖

附錄四、期中報告會議紀錄

臺東林區管理處委託研究計畫
「蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之族群密度監測及性費洛蒙防治可行性之研究」期中報告會議紀錄

一、時間：101 年 5 月 23 日(星期三)上午 10 時

二、地點：本處 C 棟三樓簡報室

三、主持人：劉副處長瓊蓮　　紀錄：曾慶賢

四、出席人員：如簽到單

五、由受委託單位中興大學黃紹毅老師進行簡報。

六、審查委員意見及討論。

(一)施委員劍鎣：

1. Age-structure 資料與每月(年/月族群密度)密度間關係，尋找/探究每年主要防治期/危害期/天敵釋放期。設法於期末報告中提出評估或建議。
2. 注意收集、保留、記錄各階段(飼育介殼蟲及天敵—出尾蟲)的人力、經費、設備、材料之花費，除最佳(研究人認為最佳/最經濟有效)方法外，應同時保留其他方法的資料，供說明飼育(大量)技術之選擇決定依據。
3. 注意取卵(介殼蟲—食餌)、純化等技術方法的改進應多加留意。
4. 本地 vs. 泰國種出尾蟲天敵在台東地區外同存/同時出現之資料，應另加說明其義意。
5. 有關 23 林班感染度與天敵密度與 19 林班間之差異性，是否可加解釋？
6. Degree day 與 developmental date 間之關係外，應加入與族群死亡率/存活率之關係，找出真正可供大量飼育之溫濕度及可行技術。
7. 勿偏離計劃主旨—生態平衡，防治僅為過程中之機制之一。

※黃老師回應：有關族群密度變化與防治時程等之相關性，將進行分析，並於期末報告提出。其他建議部分，將參照辦理。

(二)周委員延鑫：

1.蟲圖需有放大倍率。

2.平均數應有標準誤差。

3.未發表的論文應歸在備註中，而不應在文獻內。

4.參考文獻可再節省。

5.溫度表可以簡化(三種合併)。

※黃老師回應：相關的報告編輯及資料呈現方式，將依建議嘗試朝簡化方式修改。

(三)王委員志強：

1.報告書 P10 之 5.樣株物候及植被調查修正為 5.樣株物候及光照程度

2.P10 葉面積指數(Leaf Area Index, LAI)請再詳述方法及定義。並可進行光照程度與感染之相關分析。

3.Mzximum entropy Model 預測模式未來再採用之因子，可先進行檢則使用之因子之間是否有相關性？

※黃老師回應：報告編輯部分，將參照修改。另有關因子間相關性檢測部分，目前僅使用溫度因子做評估，未來將加入其他因子如高度及降雨量等，將依建議先行檢測因子之相關性。

(四)吳委員昌祐：

1.在本土與外來天敵的生態棲位關係為何？

2.利用數值推估程式所得之結果，似乎可以證明現有天敵分佈情形，建議能加入其他環境因素之評估，並提前進行因子相關分析。

3.請於進行數估推估時，考量植株栽培情形為自然分布或人為栽培

4.性費洛蒙分析時雄蟲分泌物質在 retention time15.31 的物質是否有義意？

5.請將本土天敵相關熱積溫資料納入數值推估程式內併入 23 林班感染為害情形同時分析，或許可說明延平 23 林班較 19 林班嚴重之原因。

※黃老師回應：有關本土與泰國兩中出尾蟲之生態棲位方面，根據我們的資料顯示，兩種蟲之食性範圍及生活史部分，非常的相似，所以其生態棲位基本上也是非常相近。有關數值分析因子之相關性測試、考量自然或人為分佈方式及將本土天敵相關熱積溫資料納入數值推估程式方面，將參照辦理。有關雄蟲分泌物質在 retention time15.31 的物質部分，目前經中研院賀博士說明，應該是雌蟲的幾個 peaks 較有意義。

(五)林務局黃技士淑玲：

1.建立防治預測模式應與現場工作站同仁進行溝通，以利防治工作之執行。

2.期中報告第 30 頁台東蘇鐵平均感染程度是否能與去年同一時期作比較？

※黃老師回應：有關建立防治預測模式應與現場工作站同仁進行溝通部分，將遵照辦理。另有關台東蘇鐵平均感染程度與去年同一時期作比較部分，亦將於期末報告提出。

(六) 林務局陳技士美惠：

1.能否增加蘇鐵恢復能力資料？

2.數據所顯示之標準偏差非常大，樣本數能否增加？

3.溫度是否對雌雄蟲之比例有影響？

※黃老師回應：有關增加樣本數增加部分，因為野外監測之個體間差異原來就較大，目前 19 林班之樣株已有 30 株，已有相當之數量。另有關增加蘇鐵恢復能力資料部分，因為蘇鐵恢復能力部分較難定義及記錄，目前以死亡率為觀察標準。至於溫度是否對雌雄蟲之比例有影響部分，目前還不清楚，未來將做觀察。

(七)董主任世良

1.蘇鐵平均死亡率是否有統計資料？可與工作站這邊的資料做比較。

2. 由出尾蟲蟲卵能否能分辨出是雙色出尾蟲還是方頭出尾蟲？

※黃老師回應：本計畫並未紀錄蘇鐵之平均死亡率。另外，由蟲卵部分，目前無法分辨出是雙色出尾蟲還是方頭出尾蟲。

(八)莊技士家欣

1. 現地培育目前的狀況如何，對於日後防治有何效益能否於期末報告中敘述？

※黃老師回應：目前現地培育之觀察結果發現，因為現地之氣溫變化較大，介殼蟲生長情形不佳，連帶方頭出尾蟲之產量亦差，目前經林務局長官指示停止現地培育計畫。

(九)朱課長木生

1. 在本處自行培育之方頭出尾蟲時會特別發現某些昆蟲會特別多，是否為天敵的天敵？老師在現場調查時是否發現有此現象？
2. 本處在做物理防治時會剪下許多葉子，未來有機會可以提供給老師做為養殖介殼蟲之用。

※黃老師回應：有關現地培育發現其他蟲部分，經鑑定為屬於鞘翅目之吉丁蟲，該蟲為植食性，可能因為氣味或一些其他因素誘集至此，應不至影響天敵之培育。未來有大量修剪之感染葉，應可作為飼育出尾蟲之用。

(十)劉副處長瓊蓮：

1. 圖三及圖四中蘇鐵白輪盾介殼蟲與出尾蟲族群動態，是哪種出尾蟲能否區分開來？
2. 本計畫物候監測的用意？及後續對計畫的關聯性為何？
3. 照片之表示需更明確。
4. 在台灣泰國雙色出尾蟲的背景能否詳加說明？

※黃老師回應：有關副處長之建議，將遵照辦理。

七、散會：上午 12 時。

附錄五、期末報告會議紀錄

臺東林區管理處委託研究計畫

「蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之族群密度監測及性費洛蒙防治可行性之研究」期末報告會議紀錄

一、時間：101 年 11 月 26 日(星期一)下午 2 時

二、地點：本處 C 棟三樓簡報室

三、主持人：劉副處長瓊蓮　　紀錄：曾慶賢

四、出席人員：如簽到單

五、由受委託單位中興大學黃紹毅老師進行簡報。

六、審查委員意見及討論。

（一）王委員志強

1. p39、p42 圖九顯示，左方之樣株是否曾於 7-9 月間有第二次萌芽展葉現象？
2. 葉面積指數主要探求光度對臺東蘇鐵健康及染病現象之影響，建議 p32 之表 7 加入染病程度之記錄。
3. 報告書內之文字或有誤植及修正建議，註記於報告書內，請參酌修正。

※黃老師回應：

1. 有關樣株於 7-9 月第二次萌芽問題，根據目前觀察記錄之資料顯示，在保留區內之內之蘇鐵在受蘇鐵白輪盾介殼蟲嚴重危害後落葉，很有可能再次發芽。至於報告中每月觀察之部分，有些可能只是舊葉仍留在樹上，較慢脫落，造成葉子的數量產生變異。
2. 有關建議 p32 之表 7 加入染病程度之記錄部分，謝謝委員建議，將遵照辦理。
3. 報告書內之文字誤植部分，亦將一併修正。

（二）張委員念台

1. 建議擬定防治策略，明年於保留區測試。

策略擬定請考量：

(1) 釋放出尾蟲之時機(季節)

(2) 釋放適宜防治蟲齡

(3) 釋放量(成本)

2. 費洛蒙研究值得進行，建議可與中研院或化學專業單位合作，若有所成，則對實務上的介殼蟲誘集或交尾干擾抑制族群，將甚有助益。

3. 報告中圖表請再修正，相關代號請以註腳說明(如 p33 表八，p34 表九等)

4. 飼育情況以雄之數量高過雌蟲甚多，有無針對可飛行雄蟲作防治的其他方法可研發（燈光誘集？）

※黃老師回應：

1. 有關於報告書中提出建議擬定防治策略，以便明年於保留區測試之建議部分。有一些大量飼育本土天敵及評估所需花費之經費、人力及物力部分，先前已建議過。將參考委員之建議，於修正之報告書中提出一更具整合性及更精確性的防治建議。

2. 有關費洛蒙之研究，今年計畫並無突破發現及進展，深感抱歉。如明年能繼續該部分之研究，將積極尋求周委員延鑫之建議以及與中研院及洪委員巧珍等合作。

3. 報告中圖表中之問題，將再修正，謝謝指正。

4. 有關發現雄蟲之數量高過雌蟲甚多，有無針對可飛行雄蟲作防治的其他方法研發部分。目前研究結果顯示，一般季節之飼養，雌雄之比例並不會差太多。只有在夏季時，才有這樣的結果。因為雄蟲移動之距離非常短，所以誘集的效果可能有限。未來應思考使用干擾的方式進行防治。

（三）周委員延鑫

蘇鐵白輪盾介殼蟲與天敵出尾蟲之性費洛蒙尚未能檢定出來，主要是蟲太

小，生物檢定法亦未能確定，故無法找到其化學構造，但如能加強生物學（昆蟲專家）與化學合成專家（有機化學專家）的合作，以後當能做出好的成果。介殼蟲的研究人員不多，台灣有此害蟲，如能將其防治，當可成為我國害蟲防治上的特例，特為推薦繼續研發，以致於成。

1. 養出時只得雄性，可能和染色體分裂時有關。
2. 能在 J. Economic Entomol. & J. Asia-Pasific Entomol.發表文獻，不容易，管理處寫該給予記功兩次。

※黃老師回應：

1. 謝謝周委員的建議及勉勵，本人會銘記在心，繼續努力。如有機會繼續費洛蒙研究，將積極尋求建議及協助。至於雄蟲之染色體部分，將參酌委員意見，於明年計畫中進行一些試驗。

（四）洪委員巧珍

1. p13-14 關於蘇鐵白輪盾介殼蟲性費洛蒙分泌的基本資料，如性費洛蒙分泌的日周期，處女雌蟲的分泌量最多的日齡等應再探討。
2. 建立性費洛蒙生物活性檢定方法，測定性費洛蒙的有效性。
3. p16(一)(二) 介殼蟲動態至 2012 年 3 月；而出尾蟲至 2012 年 6 月 9 日、2012 年 8 月 10 日時間不一致
4. p22 兩種出尾蟲都同時存在時，台灣方頭出尾蟲與泰國雙色出尾蟲是否有競爭現象？

※黃老師回應：

1. 委員建議有關蘇鐵白輪盾介殼蟲性費洛蒙分泌的基本資料及建立性費洛蒙生物活性檢定方法和測定性費洛蒙的有效性之部分。研究團隊深深瞭解這些基本資料之重要性。很抱歉因為人事問題，以致無法得到完整資料，深感抱歉。計畫於明年之研究當中，調整人事，積極進行。
2. 有關於報告書中介殼蟲和出尾蟲調查時間問題，將仔細核對，並於報告中修正。

3. 有關兩種出尾蟲都同時存在時，是否有競爭現象問題。目前發現兩種出尾蟲都能存在於同一地區，甚至同一蘇鐵植株上。依此推斷，應為食物充足，所以競爭現象並不明顯。

（五）施委員劍鎣

1. 依表一：scale 比方頭出尾蟲顯示，2011 年 7 月~2012 年 4 月間為 scale/BC(天敵)=5/1，於 2011/05~07 即達=9：1；顯然天敵族群增殖未趕上 scale 族群→應另設法補救防治之空缺/空窗期。23 林班雖取樣月少，但亦有類似之現象。

   問：3/1~5/1 的 scale/ BC 比是否與”感染率”資類相同(似乎相同)。

   If yes，取樣可否簡化只取“感染率”代替之？

2 表三結果－簡化取樣技術為僅取 1st 齡的 crawleo 齡族群作為白輪盾介殼蟲族群監控之(標準)取樣法。

   問：(1)可否將表一、表三及表七合為一。

   (2)Degrea day,gemerations/y 資料與表三(表一?)可否一併結合討論之。

3. 介殼蟲：室內飼育多為公=查為 1N or 2N？

   (1) 雄蟲為 1N or 2N？

   (2) 若為公，何時由 2N→1N

   (3) 是否因取卵/New crawlers 置於葉非紙摺

4. 寄生性天敵計劃－可否回生？捕食與寄生性天敵，原則上應同時採用／研究為宜

5. 二次萌芽－compensation/tolerance level 對以後防治決策的意義？

6. 對林務局之建議（防治策略）:

7. pheromone 研究瓶頸(起始期)：(一)養蟲，(二)雌雄比問題

8. 孤雌生殖：

   (1) 是否為孤雌產雄,孤雌產雄雌或是二性(必需/非必需)生殖法

※黃老師回應：

1. 謝謝施委員長期的建議及協助。有關建議 1 及 2 簡化取樣技術即將表格合併部分，是很好的建議。未來感染率應該可以嘗試以一齡的 crawler 族群作為白輪盾介殼蟲族群監控之(標準)取樣法，至於表格合併部分，將嘗試合併。

2. 有關於介殼蟲於室內飼育會有產雄及染色體對數問題等部分，目前之資料無法回答。將再次諮詢施委員，並嘗試於明年計畫中測試。

3. 施委員詢問有關寄生性天敵計劃可否回生部分，因為牽涉到其他計畫，在此無法回答，但會於報告書中，提出建議。

4. 有關二次萌芽對以後防治決策的意義部分，將於修正報告書中提出看法。

5. 有關對林務局防治策略之建議部分，將參考委員之建議，將於報告書中提出一更具整合性及更精確性的防治建議。

6. 有關費洛蒙試驗及養蟲之雌雄比問題，如前述之回應，目前之資料無法回答。將嘗試於明年計畫中測試。

（六）董委員世良

防治的過程中應考量人工授粉的工作，本年度雌株開花的量有明顯增加，惟授粉率太低，可能雄株開花已受蟲害影響，開花株數量低，且開花期與雌株開花期間有落差，故建議以人工授粉來解決

※黃老師回應：

1. 將依建議，於期末修正報告中建議。

（七）劉副處長瓊蓮

1. 防治方面是否有其他物理方式可行？

2. 臺灣方頭出尾蟲培育成本 1 隻單價 6 元，大量培養所需成本相當大，希望林務局可給予明確方向及指示。

3. 白輪盾介殼蟲性費洛蒙之萃取與檢定，其結果有著不確定性，請黃老師將實際研究過程陳述放進於報告中，做為未來評估是否持續進行性費洛蒙研究之依據。

4. 白輪盾介殼蟲防治之方式及本土天敵之培育，請黃老師提出具體建議。

5. 本期末計畫審核通過，並請黃老師明確說明各重點工作項目之結果，並針對各委員之建議做明確之論述。

※黃老師回應：

1. 將依副處長之建議，於期末修正報告中清楚述明相關事項。