

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

佳作

030304

變「便」防禦

~探討溫氏捕植蟎捕食及神澤氏葉蟎的防禦行為

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國二 鄭守喆 國二 陳映仔 國二 鄭皓云	指導老師： 蘇育弘 李冠徵
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：神澤氏葉蟎、溫氏捕植蟎、排泄物防禦

摘要

神澤氏葉蟻為農作物重要害蟲，為了解「神澤氏葉蟻」與天敵「溫氏捕植蟻」的微妙關係，我們進行系列實驗。葉蟻雌性成蟻體型較捕植蟻大，體長分別為 0.42 ± 0.04 及 $0.38\pm 0.01\text{mm}$ ，捕植蟻成蟻時期較長。捕植蟻隨機捕食，以前足作為捕食工具，卵為優先捕食來源。捕植蟻雌蟻，平均一生約捕食 128.4 個卵。葉蟻成蟻會吐絲織網，織網使卵存活率提升，同時也使葉蟻移動速度加快並便利大批遷徙。食物短缺時，葉蟻會於織絲網上集成蟻球，隨風擴散到更遠區域。葉蟻會產生黃色及黑色兩種排泄物，實驗顯示黃色排泄物能使捕植蟻退避，降低卵的被捕食率。在捕植蟻出現下，葉蟻排泄物的黃黑比(1.97 : 1)轉為(3.8 : 1)，藉由提高黃色排泄物的比例來禦敵，真是出人意料的防禦方式。

壹、研究動機

校園圍籬旁木瓜葉上有一些可疑的微小紅點，我們把這些小紅點取回置於顯微鏡觀察，發與一般昆蟲不同，這些小生物有八隻腳。詢問老師及上網比對圖鑑之後才知道，原來這是危害台灣農作物的「神澤氏葉蟻」，對付害蟲的方式有農藥及生物防治的捕植蟻。捕植蟻的使用，已被確認可以大幅降低葉蟻發生，進一步的查詢這兩種生物，多偏向於防治資料，對於捕植蟻也僅知道其防治效果，關於捕食及防禦行為並無相關描述，這引發了我們的興趣，想要了解這獵人與獵物之間的相關行為。在園藝試驗所提供捕植蟻的協助下，我們由這兩種蟻的型態及生活史建立開始，接著探討捕植蟻的捕食行為與偏好，並且試著觀察討論葉蟻常見的織網對其生存的意義，最後，在顯微鏡下我們發現了葉蟻有兩種排泄物的存在，這與葉蟻的生存是否有所關聯呢，我們進行了這一系列的實驗，希望能解開這些疑問，

貳、研究目的

- 一、觀察神澤氏葉蟻、溫氏捕植蟻的型態及生活史
- 二、探討溫氏捕植蟻的捕食行為
- 三、探討神澤氏葉蟻的織網與防禦關聯
- 四、探討神澤氏葉蟻以排泄物作為禦敵的行為



圖 1 木瓜葉被葉蟻吸食痕跡

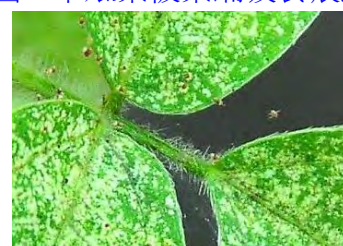


圖 2 黑豆葉上的紅色小點

參、研究器材與設備

校園木瓜葉上發現的小紅點~葉蟻，引發了我們的好奇心，但木瓜葉較大且較難於室內栽種，為了能培養較多蟲源，我們採用葉子較小且方便栽種的「黑豆」作為葉蟻食物來源。



圖 3 校園木瓜葉葉大且不方便於室內種植



圖 4 自行種植黑豆，以葉子培養葉蟻

一、葉蟻、捕植蟻飼養環境建立：

黑豆種子、塑膠花盆、培養土、室內 LED 球型燈泡(光週期 12/12)、實驗用方盒、養蟲籠

二、生活史及型態觀察

解剖顯微鏡、電子目鏡、筆電、相機、測微軟體、培養皿、聶子、解剖針、圓形濾紙、燒杯、塑膠滴管、細毛筆、計數器(計算蟻數量)

三、捕植蟻捕食及葉蟻防禦方面

攝影機、腳架、TRACKER 軟體、種植黑豆小盆栽、直尺、游標尺、風扇、風速計

神澤氏葉蟻，肉眼僅能看到小紅點的成蟻(0.3~0.4mm)，而相對體型較小的溫氏捕植蟻(0.2~0.3mm)，由於體色為半透明偏米白色，更難觀察，因此我們使用電子目鏡連接電腦，觀察並拍攝捕植蟻與葉蟻間的行為模式。

以解剖顯微鏡觀察，電子目鏡連接筆電記錄

利用細毛筆，將黑豆葉上的葉蟻、捕植蟻取出進行型態觀察



於室外種植黑豆，就近觀察型態及織網行為，並避免戶外天敵干擾

肆、研究過程及方法

一、觀察神澤氏葉蟎、溫氏捕植蟎的型態及生活史

(一)查閱相關文獻

◎葉蟎及捕植蟎簡介

神澤氏葉蟎(*Tetranychus kanzawai* Kishida)，為台灣中南部重要田野害蟲，危害對象並沒有專一性，包含經濟作物，如木瓜、柑橘、草莓、梨樹、茶園、紅豆、綠豆、黑豆、大豆、青江菜、玫瑰等，對於植物危害很大。

溫氏捕植蟎(*Amblyseius womersleyi* Schicha)，台灣本地常用的捕植蟎，除捕食葉蟎(紅蜘蛛)，亦捕食介殼蟲、粉蝨、木蝨、蚜蟲及薊馬等害蟲或卵，無法抵抗一般殺蟲劑。

神澤氏葉蟎的繁殖快速，生活史短，台灣防治上多使用農藥，但葉蟎產卵量大且世代重疊，極易產生抗藥性，我們拜訪園藝試驗所時，研究員亦說明目前防蟎困境即是抗藥性的問題，台灣捕植蟎超過 50 種，在 1978~1988 年之間，中興大學昆蟲系首次應用溫氏捕植蟎防治桑樹神澤葉蟎，而目前捕植蟎尚無法用人工飼料大量繁殖。

綜合查閱的文獻，幾乎都偏向農藥防治與生物防治，畢竟以農耕的立場，葉蟎會造成重大危害，關於他們的行為模式與生存策略較難在國內文獻獲得。因此，我們想藉此次研究的機會，一窺這些小紅點的生存世界，從飼養繁殖開始建立他們的生活史，接著探討獵人~捕植蟎的捕食習性，以及獵物~葉蟎的生存防禦策略，在觀察過程中看到不同類型的便便，更令我們想要了解這是否與他們的生存有關？請和我們一起進入這些小生物的世界吧！

(二)建立飼養環境



圖 6 種植黑豆葉以養殖葉蟎



圖 5 葉蟎(紅色)與捕植蟎(半透明)

1. 神澤氏葉蟎

- (1) 黑豆葉養殖：利用黑豆葉自行飼養，大量葉蟎族群來源，主要由農委會園藝試驗所取回。
- (2) 戶外養蟲籠：繁殖於戶外的葉蟎族群，為了避免其它捕食性天敵(如瓢蟲、草蛉)的干擾，於養蟲籠內培養。

(3) 室內種植：將長出小葉的黑豆移於實驗桌，就近觀察型態與繁殖情形，且避免戶外天敵。

2. 溫氏捕植蟻

(1) 園藝試驗所：由於學校內僅發現葉蟻的存在，並無捕植蟻，因此在試驗所研究員協助下，取回溫氏捕植蟻(圖 7a)，並於顯微鏡下除去其它天敵如小黑隱翅蟲等。

(2) 學校養殖：將取回已處理好的溫氏捕植蟻黑豆葉，放至學校內神澤氏葉蟻已建立族群的黑豆葉盆栽上(圖 7c)，以葉蟻提供營養來源，使捕植蟻的族群逐漸擴散。

註：溫氏捕植蟻的食量及族群移動速度很快，將有捕植蟻的盆栽與養殖葉蟻的黑豆盆栽放置距離 10m 以上，防止捕植蟻移動至觀察葉蟻的盆栽上，導致族群快速下降。



圖 7a 園藝試驗所，蟻飼養區



圖 7b 避免天敵的養蟲籠繁殖



圖 7c 試驗所取回捕植蟻擴散

(三)觀察與實驗的環境

1. 培養皿：查閱文獻後發現不論是葉蟻或是捕植蟻均怕水，我們利用兩種蟻的天性，將圓形濾紙鋪於 90mm 培養皿內加水(圖 8a)，並放上黑豆葉以飼養葉蟻或是捕植蟻。

2. 實驗盒：為了避免捕植蟻脫逃(實驗初期，於顯微鏡下發現捕植蟻較不怕濕濾紙，常爬離培養皿)，因此將實驗盒裝水再放培養皿(圖 8b)，以防止捕植蟻逃離或移動至其它實驗組。



圖 8a 利用濕濾紙限制葉蟻移動

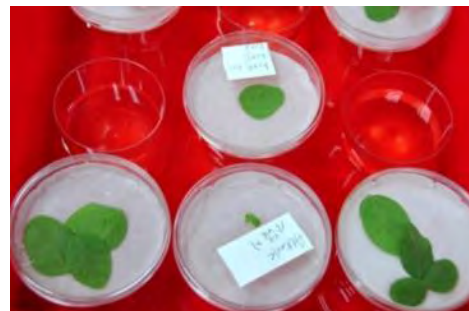


圖 8b 實驗盒加水防止捕植蟻脫逃

(四)神澤氏葉蟻、溫氏捕植蟻的生活史與產卵量

在進行這兩種蟻的行為討論之前，我們想要建立其生活史與外部型態的觀察，並且了解兩種蟻產卵數量的差異。我們將這個部分分為以下幾個項目：

1. 同日齡：建立生活史必需要從卵開始觀察記錄，而葉蟥每日的產卵量頗多，為了使卵為「同一日」被產出，我們將葉蟥雌蟥由黑豆葉上取出，定時置於培養皿內的新葉上(無蟲)，待 24hr 後再以顯微鏡觀察是否產卵，並移除雌蟥，以建立同日齡的卵。溫氏捕植蟥同日齡卵建立模式與葉蟥相同。
2. 生活史觀察：各取葉蟥及捕植蟥同日齡的卵各 12 顆，置於培養皿新葉內，以顯微鏡連接電子目鏡，記錄並計算不同階段(卵、幼蟥、若蟥、成蟥)的日數及型態。
3. 外部型值：利用電子目鏡拍攝不同階段的兩種蟥，以測量軟體量測體長、體寬等數值，以了解不同階段的體型差異。每個階段的蟥各取 15 隻，測量取平均值。
4. 產卵量：將同日齡培養的葉蟥及捕植蟥雌蟥單獨取出各 10 隻，分別飼養於培養皿的新葉上，每日計算產卵量，並移除孵化的幼蟥避免影響計算，最後統計總產卵量。

註：捕植蟥生活史及產卵量的部分，皆以神澤氏葉蟥的卵作為捕植蟥營養來源。



取得葉蟥雌蟥置於新葉上



留下雌蟥 24hr 內所產的卵

圖 9 同日齡蟲的建立~神澤氏葉蟥

二、探討溫氏捕植蟥的捕食行為

建立同日齡蟲及生活史觀察後，開始進行兩種蟥的生存互動~捕食與防禦。首先是溫氏捕植蟥捕食葉蟥行為的探討，以捕食的順序分為下列幾個部分：

(一)捕食前的搜索行為

在兩種蟥的互動中，捕植蟥扮演了獵人的角色，我們很好奇捕植蟥是否能追蹤葉蟥以提高捕食效率？

1. 將無蟲新鮮的黑豆葉固定於培養皿中(圖 10a)，以細毛筆將葉蟥成蟥放置固定的起點。
2. 利用攝影機拍攝葉蟥於起點開始，在新鮮葉上移動的軌跡，直至葉蟥離開葉面為止。取出葉蟥後，再用細毛筆將捕植蟥(飢餓 2 天)放置於相同的起點，拍攝移動軌跡。

3. 利用 tracker 軟體分析拍攝的影片，以了解路徑是否重疊。(兩種蟻 N=6)



圖 10a 將葉蟻置於培養皿內



圖 10b 拍攝葉蟻、捕植蟻移動

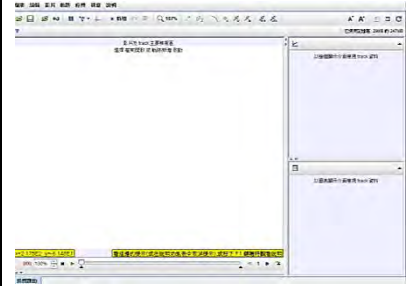


圖 10c 利用 tracker 軟體分析

(二)捕食行為的觀察及食量偏好

1. 將黑豆葉剪至較小的範圍，符合電子目鏡的視野，以方便觀察捕食行為的發生。
2. 每日食量部分：

捕植蟻

- (1)階段：幼、若、雌、雄蟻
- (2)數量：各取 1 隻

各取 1 隻分別置入



葉蟻

- (1) 階段：卵、幼、若、雌、雄蟻
- (2) 數量：各取 10 隻
每個階段培養皿*4，共 20 個

註：每日以顯微鏡記錄捕植蟻捕食量(單位：隻)。三重覆實驗取平均值。

1. 捕食偏好：

- (1) 各取不同階段的葉蟻各 10 隻，置入同一個培養皿內(圖 11a)。
- (2) 分別將捕植蟻雌、雄蟻置入。隔日計算捕植蟻對葉蟻的捕食偏好。三重覆取平均值

(三)捕食後的型態改變

我們在捕食行為的觀察中，發現捕植蟻在吸食葉蟻會造成體色的改變，這讓我們很想知道是否捕植蟻捕食不同階段的葉蟻都會造成體色的改變呢？

1. 將飢餓狀態的捕植蟻放入具有葉蟻成蟻的培養皿內，記錄其捕食前後的體色變化。
2. 放入不同階段的葉蟻，觀察捕植蟻捕食後體色的變化。



圖 11a 用細毛筆將不同階段葉蟻集中



圖 11b 顯微鏡下不同階段葉蟻

三、探討神澤氏葉蟎的織網與防禦關聯

神澤氏葉蟎為草食性蟲類，無特別強而有力的攻擊構造，因此僅能依靠其它特別機制來進行防禦以使種族延續。在飼養的過程中，發現葉蟎有織網的行為，這是否與防禦有關呢？

(一)誰會吐絲織網？

1. 各取不同階段及雌、雄的葉蟎各 5 隻，分別置於剪好的葉片上，每一階段分為 3 組(圖 12b)。
2. 以顯微鏡觀察，記錄 3 小時之內每一階段的織網比例，三重覆取平均值。



圖 12a 葉蟎具有織網的習性

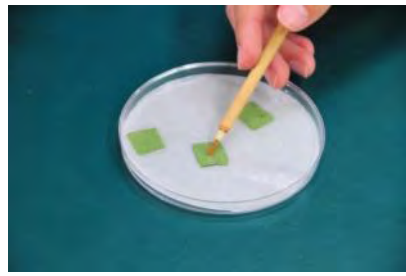


圖 12b 將不同階段葉蟎分別放入

(二)織網與保護卵之間的關聯

接著，我們進行織網與保護之間的關聯。顯微鏡底下初步觀察到，葉蟎卵附近葉毛間幾乎都有織網的存在，且有些卵是直接產在葉毛上，甚至莖上細毛間也有(圖 13a)。

1. 各取 2 片黑豆葉，種於小盆栽之內，其中 1 片為有織網組，另一片則為乾淨的葉片，各放入 10 個卵。將盆栽置於校園戶外環境，待一日後取回以顯微鏡計算卵數目。
2. 與上述相同，設立室內組(無野外天敵干擾)。織網及無織網組皆置入 1 隻捕植蟎雌蟎，待 1 日後以顯微鏡計算卵數目。戶外及室內組皆進行三重覆又平均值。



圖 13a 黑豆莖上織網上的卵



圖 13b 戶外環境組，了解織網的防禦

(三)織網直接防禦功能之外~速度與遷徙

織網除了防禦的功能以外，我們觀察到葉子之間及莖上也有織網的現象，這是否與移動相關？葉間及莖上的織網就像橋一樣，除了方便移動，當遭遇危險也能迅速的逃離。

1. 織網對移動速度的影響：將黑豆莖分為有織網及無織網組，各剪約 1 小段約 2.5cm，每

組取 5 根(圖 14)。各取 6 隻葉蟻(雌雄各半)，於顯微鏡計算移動 1cm 距離所需的秒數。

2. 織網對族群遷徙的影響：置入 25 隻葉蟻成蟻，計算 5 分鐘內通過率(有、無織網組)。

(四)特別型態觀察~蟻球

1. 葉蟻在織網形成蟻球組：以直尺由 40cm 距離開始，用風扇吹蟻球(風速計測風速)，藉由攝影機記錄影像及測量蟻球直徑，了解風對蟻球關聯。

2. 設立對照組：記錄原本葉面上 22 隻葉蟻，在與上述相同距離與風速下的數量。



圖 14 莖上織網對葉蟻移動影響

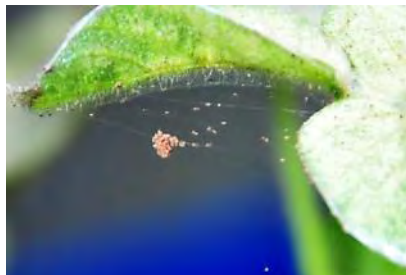


圖 15a 織網上的蟻球



圖 15b 風速計測風對蟻球影響

四、探討神澤氏葉蟻以排泄物作為禦敵的行為

在觀察中，我們發現葉上有兩種排泄物：黃、黑色。這令好我們很好奇，這些不同類型排泄物，是否和葉蟻的生存相關呢？

(一)排泄物的位置及類型？

取雌、雄葉蟻各 10 隻分別置於 1x1cm 葉片上(圖 16)，1 日後計算

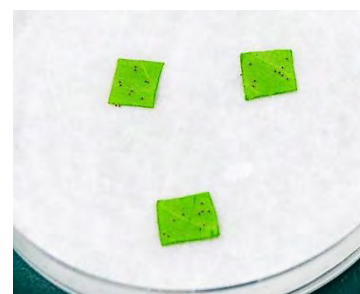


圖 16 計算不同類型排泄物量

不同類型的排泄物數量(換算成單隻排泄量)，及不同類型排泄物位於織網或葉面上的比例。

(二)不同類型排泄物對捕植蟻捕食卵的影響

1. 於 1x1cm 葉片的 3 個培養皿各放 5 隻雌葉蟻，1 日後移除雌蟻。並處理為黃色、黑色及對照組(黃色+黑色組)，計算卵量分別放入捕植蟻。1 日後，計算剩餘卵量。三重覆取平均。

2. 將 1x1cm 葉片分為 2 組(黃色、黑色排泄物)。計算 10 分鐘內捕植蟻碰觸排泄物比例。

(三)探討排泄物新鮮程度對捕植蟻捕食卵的影響

將 5 隻雌葉蟻放入培養皿中 1x1cm 葉片，1 日後移除雌蟻與黑色排泄物(24hr 組)，計算卵量後放入捕植蟻。待 1 日後計算剩餘卵量。黃色排泄物 48hr 組方法相同。三重覆取平均。

(四)捕植蟻出現，是否誘導葉蟻改變排泄物型態？

將 5 隻雌葉蟻及飽食後呈紅色的捕植蟻，同時放入培養皿中 1x1cm 葉片。1 日後計算排泄物的類型及數量所佔的比例。對照組無加入捕植蟻，三重覆取平均值。

伍、研究結果

一、觀察神澤氏葉蟎、溫氏捕植蟎的型態及生活史

神澤氏葉蟎為台灣中南部重要田野害蟲，危害對象並沒有專一性，我們利用黑豆葉來進行飼養以便觀察；溫氏捕植蟎對葉蟎而言，是台灣本地重要的防治蟎。我們利用這次研究的機會，自行飼養繁殖這兩種蟎，除了自行繪製他們不同齡期的外觀之外，也建立生活史，探討外觀上的差異，並記錄比較和繁殖高度相關的產卵數差異。

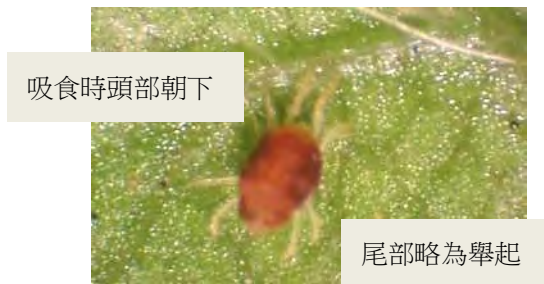


圖 17a 神澤氏葉蟎吸食葉片情形



圖 17b 溫氏捕植蟎與神澤氏葉蟎

(一)分類地位

神澤氏葉蟎 *Tetranychus kanzawai*

節肢動物門 Arthropoda

蛛形綱 Arachnida

恙蟎目 Trombidiformes

葉蟎科 Tetranychidae

葉蟎屬 Tetranychus

神澤氏葉蟎

溫氏捕植蟎 *Amblyseius womersleyi*

節肢動物門 Arthropoda

蛛形綱 Arachnida

中氣門蟎目 Mesostigmata

捕植蟎科 Phytoseiidae

鈍綏蟎屬 Amblyseius

溫氏捕植蟎



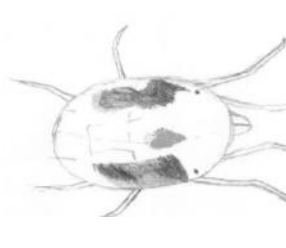
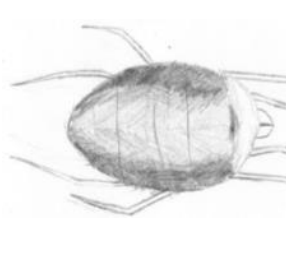



圖 18a 葉蟎大發生導致葉片枯萎



圖 18b 置入捕植蟎 1 週，葉片無葉蟎

(二)神澤氏葉蟻不同階段的外觀與型值

不同階段型態		觀察的結果與說明
卵	 2個紅色眼睛	顏色：乳白色，逐漸轉半透明，孵化前為橙黃色 型態：圓形，將孵化時出現 2 個紅色小點 大小：0.13 ± 0.005mm
幼蟻		顏色：乳白色半透明，逐漸成熟轉淡綠色 型態：3 對足(6 隻腳)，與其它齡期最大的差別 大小：長 0.18 ± 0.006mm；寬 0.11 ± 0.006mm
若蟻		顏色：黃綠色 型態：4 對足(8 隻腳)，體背兩側有深色斑點 大小：長 0.3 ± 0.02mm；寬 0.19 ± 0.016mm
成蟻 (雌)		顏色：磚紅色 型態：體呈卵圓形，尾部較鈍 大小：長 0.42 ± 0.041mm；寬 0.25 ± 0.029mm
成蟻 (雄)		顏色：磚紅色，色澤較雌蟻淡 型態：體略呈菱形，尾部較尖，較雌蟻小 大小：長 0.33 ± 0.01mm；寬 0.21 ± 0.01mm

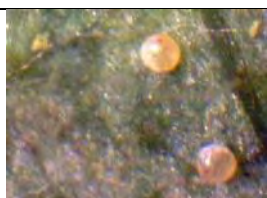


圖 19a 神澤氏葉蟻卵



圖 19b 葉蟻幼蟻(6 隻腳)



圖 19c 葉蟻若蟻(8 隻腳)



圖 19d 若蟻將入靜止期



圖 19e 葉蟻雌成蟻



圖 19f 葉蟻雄成蟻

(三)溫氏捕植蟎不同階段的外觀與型值


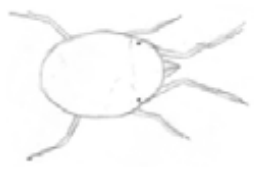

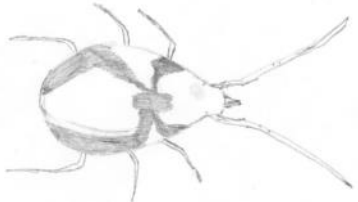
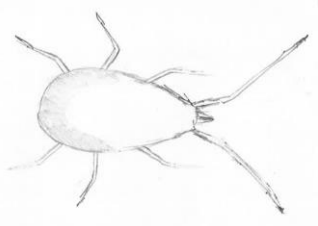
不同階段型態		觀察的結果與說明
卵		顏色：略為半透明、乳白色 型態：橢圓形、光面 大小：長 $0.19 \pm 0.005\text{mm}$ ；寬 $0.16 \pm 0.005\text{mm}$
幼蟎		顏色：米白色 型態：6 隻腳為辨識特徵，體呈卵圓形 大小：長 $0.18 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.14 \pm 0.006\text{mm}$
若蟎		顏色：米白色 型態：8 隻腳，水滴形，與成蟎型態類似，體型較小 大小：長 $0.33 \pm 0.02\text{mm}$ ；寬 $0.22 \pm 0.005\text{mm}$
成蟎 (雌)		顏色：米白色 型態：背側深色紋路(消化道)，體呈梨形(上尖下圓) 大小：長 $0.38 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.35 \pm 0.04\text{mm}$
成蟎 (雄)		顏色：米白色 型態：較雌蟎小，紋路較不明顯，體較雌蟎窄 大小：長 $0.35 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.21 \pm 0.01\text{mm}$



圖 20a 溫氏捕植蟎卵及幼蟎(6 隻腳)



圖 20b 溫氏捕植蟎若蟎(8 隻腳)



圖 20c 溫氏捕植蟎雌成蟎



圖 20d 溫氏捕植蟎雄成蟎

(四)葉蟻與捕植蟻生活史及產卵量

1.兩種蟻的生活史天數比較

表 1 兩種蟻的不同階段生活史天數比較(兩種蟻 N=6)

	卵	幼蟻	若蟻	成蟻	總天數
神澤氏葉蟻	3.8±0.7 天	2.6±0.5 天	3.1±0.8 天	8.9±0.7 天	18.4±0.8 天
溫氏捕植蟻	3±0.8 天	2.5±0.5 天	2.5±0.5 天	13.9±0.7 天	21.9±1.3 天

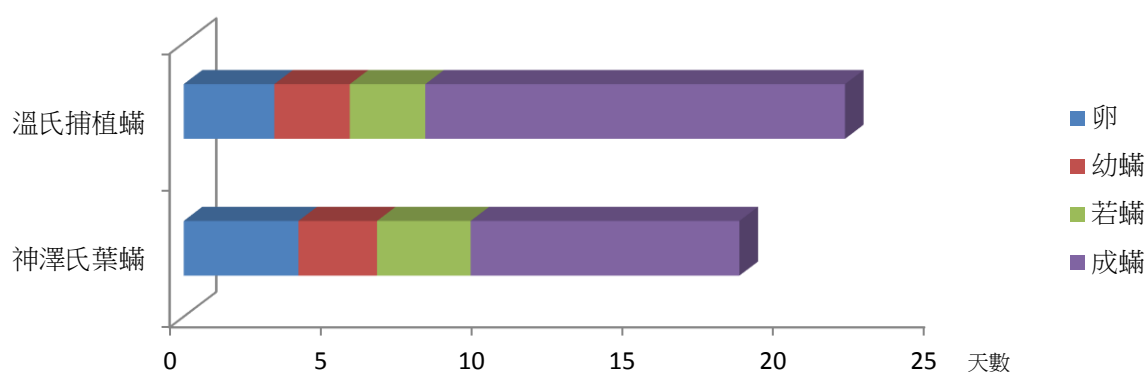


圖 21 葉蟻與捕植蟻的不同階段生長曲線(N=6)

由飼養的生長曲線結果來看，溫氏捕植蟻由卵至成蟻成長所需的時間(8 天)較神澤氏葉蟻(9.5 天)短，顯示捕植蟻的成長比較迅速，加上捕植蟻的平均存活天數也較葉蟻長(長約 5 天)，意味著捕植蟻能以較快的成長速率達到成蟻階段，以較久的存活時間來進行捕食。

2. 兩種蟻產卵量的比較

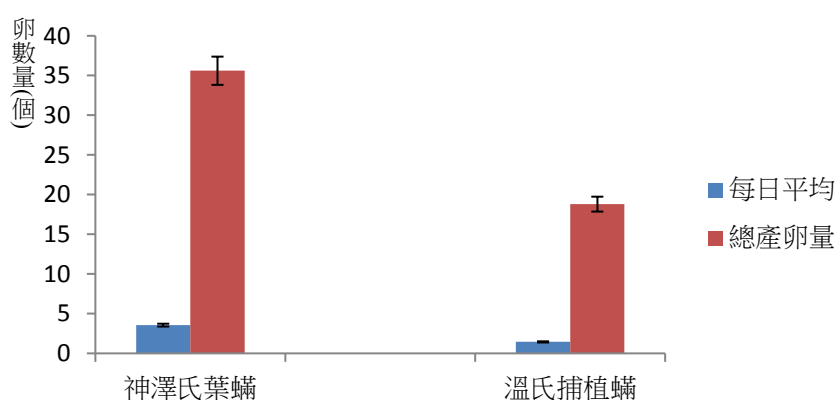


圖 22 葉蟻與捕植蟻的產卵量比較

觀察記錄兩種蟻的產卵量，以神澤氏葉蟻的總產卵量較多(35.6±1.1 個)，溫氏捕植蟻不論是在每日平均產卵(1.4±0.4 個)或是總產卵量(18.8±0.8 個)上，均較葉蟻少。由生活史觀察可知，雖然葉蟻產卵數較多，但卵的孵化時間卻也較長，卵期有較多的時間暴露於捕植蟻捕食下。

二、探討溫氏捕植蟻的捕食行為

文獻中關於捕植蟻的資料，幾乎偏於防治成效，至於捕食的細部相關行為較少。這個部分，我們將捕食行為分為三個階段：捕食前的搜索；捕食的行為發生與食量偏好；捕食後捕植蟻的型態改變。

(一)探討溫氏捕植蟻捕食前的搜索行為

捕植蟻的搜索獵物行為是隨機的或能追蹤呢？我們假定捕植蟻會追蹤葉蟻移動過的氣味，因此，藉由拍攝葉蟻移動後的葉片再加入捕植蟻，探討移動的軌跡是否重疊，以了解搜索行為。

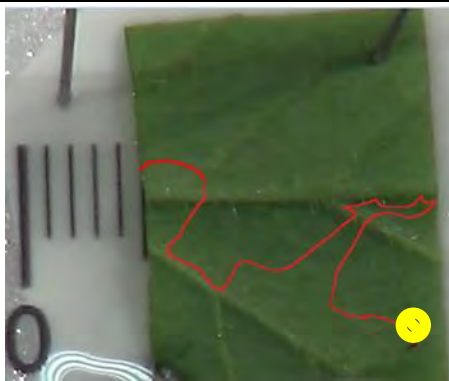


圖 23a 葉蟻移動軌跡



圖 23b 捕植蟻移動軌跡






圖 24 捕植蟻特長前足，攻擊相關？

利用 **tracker** 軟體分析移動影片的結果，捕植蟻在葉上移動的軌跡並沒有與葉蟻重疊，也就是說捕植蟻可能不會追蹤葉蟻爬行過的路徑。原本假定葉蟻爬行過路徑可能會留下氣味或是其它化學分子，捕植蟻在進行搜索時可能會偵測這些訊號來追蹤，快速獲得獵物位置，但由分析結果(N=6)來看，沒有發現路徑穩合現象，顯示捕植蟻的搜索行為有可能是隨機發生。影片分析中，我們發現一個有趣的共通點，捕植蟻會大區域的搜索葉片(圖)，這令我們好奇隨機搜索下，是利用什麼結構來攻擊與捕食獵物？接著我們進行顯微鏡下觀察，以了解攻擊行為的發生。

(二)探討捕植蟻的捕食行為及食量偏好

了解隨機的捕食前行為後，這個部分，我們藉由顯微鏡連接目鏡，記錄了捕植蟻捕食卵、幼蟻及成蟻的過程，並且設計不同葉蟻階段的組別，以了解捕植蟻的食量與捕食偏好。

1. 捕食行為

<p>(1)捕植蟻捕食<u>卵</u></p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以第一對前足進行搜索，碰觸到葉蟻卵 2. 將口器刺入卵中開始吸食 3. 卵被吸乾，僅剩半透明薄膜
<p>(2)捕植蟻捕食<u>若蟻</u></p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以第一對前足進行搜索，直到碰觸到葉蟻若蟻 2. 直接將口器刺入若蟻體內開始吸食 3. 若蟻被吸乾，僅剩外骨骼
<p>(3)捕植蟻捕食<u>成蟻</u></p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以第一對前足搜索，直到碰觸葉蟻成蟻 2. 葉蟻成蟻進行逃脫，捕植蟻隨即以第 1 對前足與第 2 對前足進行夾住固定，避免葉蟻逃跑 3. 口器刺入葉蟻蟲體吸食，刺入部位不固定，觀察到頭部、體側或是背側，無法一次取食完成。 4. 來回吸食數次，直至成蟻乾癟

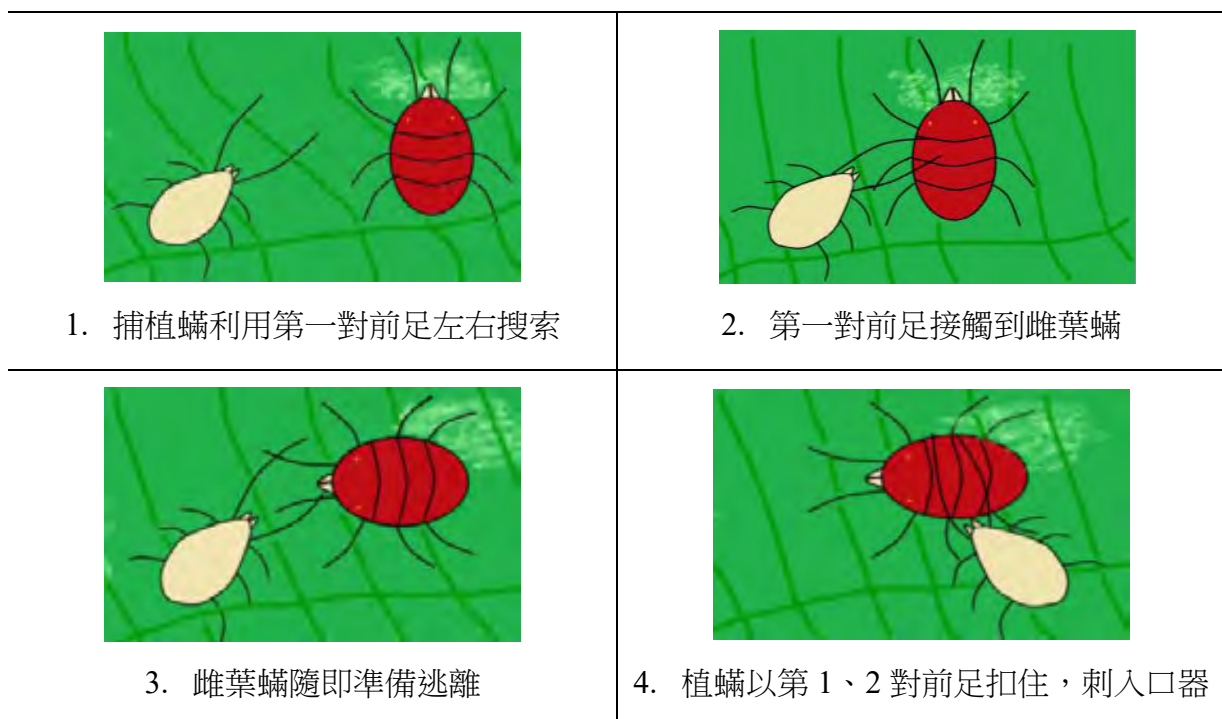


圖 25 捕植蟻對成蟻的捕食流程示意圖

2. 捕植蟻對不同階段葉蟻的食量

捕植蟻的食量部分，分別計算了不同階段的捕植蟻及雌捕植蟻一個世代的食量。

(1)不同階段捕植蟻每日食量比較

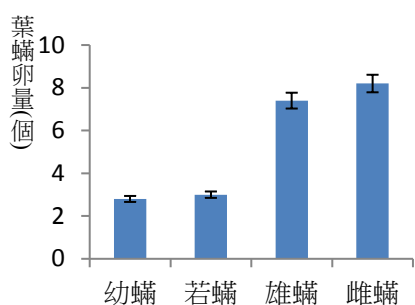


圖 26a 不同階段捕植蟻捕食卵量

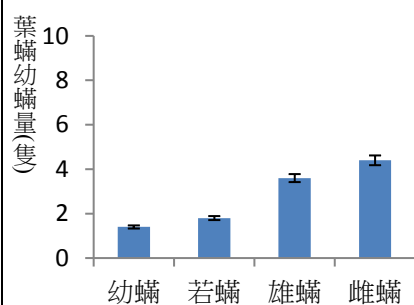


圖 26b 不同階段捕植蟻捕食幼蟻量

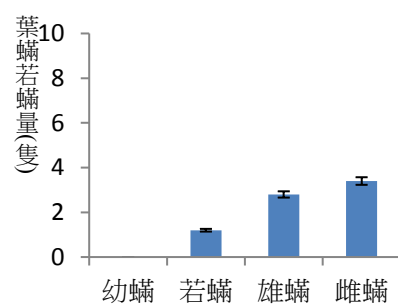


圖 26c 不同階段捕植蟻捕食若蟻量

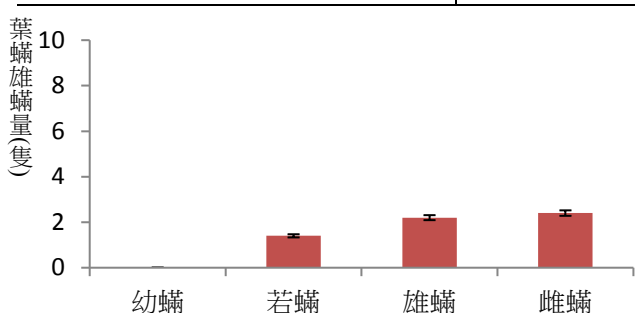


圖 26d 不同階段捕植蟻捕食雄蟻量

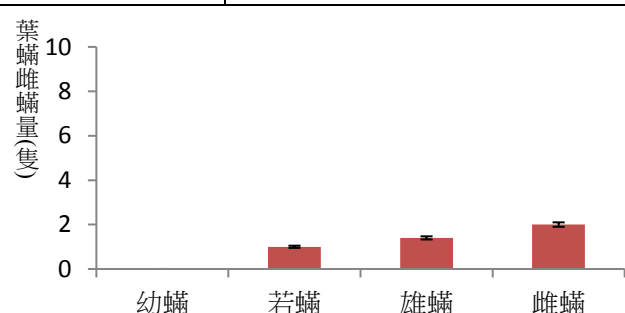


圖 26e 不同階段捕植蟻捕食雌蟻量

每日食量的結果，可以看出捕植蟻在幼蟻階段僅會捕食葉蟻的卵及幼蟻，可能因為與葉蟻的體型差距較大的關係。雌雄捕植蟻成蟻的階段是整個生活史最長的階段，會捕食由卵開始的所有不同階段葉蟻，且雌雄蟻的捕食量相近，雌雄蟻捕食卵之 p 值=0.15，未達顯著差異。



圖 26f 捕植蟻幼蟻體型小無法捕食雌蟻

(2)捕植蟻雌蟻總食量比較

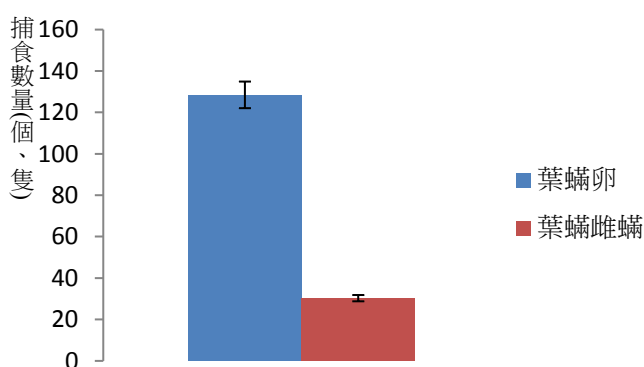


圖 27 雌捕植蟻一個世代分別能捕食的卵及成蟻數

1 隻捕植蟻雌蟻，一個世代平均約捕食 128.4 個卵，遠大於 1 隻雌葉蟻總產卵數(35.6 個)。若僅提供葉蟻雌蟻的情形下，因捕植蟻幼蟻期不會捕食成蟻，幼蟻期仍以葉蟻卵供應其營養來源，僅從若蟻開始提供雌葉蟻，一個世代平均約能捕食 30.3 隻雌蟻。

3. 捕食偏好

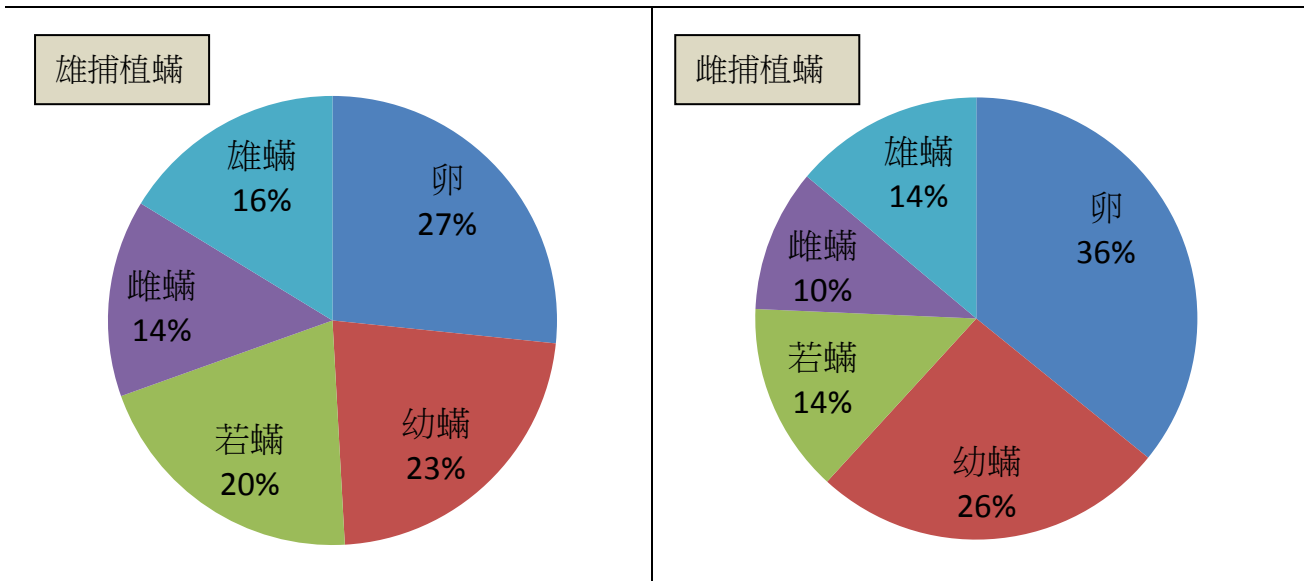


圖 28a 不同性別的捕植蟻捕食偏好比較 (葉蟻各階段 N=10)

在捕食偏好的結果上，可以看出當獵物~不同階段葉蟻同時存在於葉面時，雌雄捕植蟻皆是以卵作為其優先捕食來源(佔一天內捕食量之 36.12%、27.13%)，其次則是幼蟻、若蟻及雄、雌蟻，這顯示捕植蟻的捕食順序與葉蟻的體型大小(雌蟻最大)及移動狀態有關。此外捕食葉蟻雄蟻的比例皆高於雌蟻，也可能是葉蟻雄蟻體型較小，較好捕抓捕食有關。



圖 28b 雌捕植蟻較偏好捕食卵

(三)捕植蟻捕食後的體色改變



圖 29a 捕植蟻捕食成蟻前



圖 29b 捕植蟻捕食成蟻後

在觀察捕食情形的過程，發現捕植蟻捕食葉蟻雌、雄蟻，因採用吸食方式，所以半透明腹部背側，能夠明顯看出逐漸變成葉蟻的顏色~紅色，隨著取食次數及量的增加，腹部內紅色程度愈鮮明，也有觀察到捕植蟻捕食之後，隨即產卵。除了捕植蟻捕食成蟻體色會改變外，捕食卵、幼蟻或若蟻皆無體色上的變化。

三、探討神澤氏葉蟬的織網與防禦關聯

神澤氏葉蟬有織網的行為，研究過程中觀察到產卵時，葉毛間常有織網的發生，這是否與防禦有所關聯？織網除了在防禦之外，是否還有其它功能？這個部分，我們分為以下三個：不同階段葉蟬織網情形；織網對卵存活率的影響；織網防禦以外的功能~移動與遷徙。

(一)探討不同階段葉蟬的織網情形

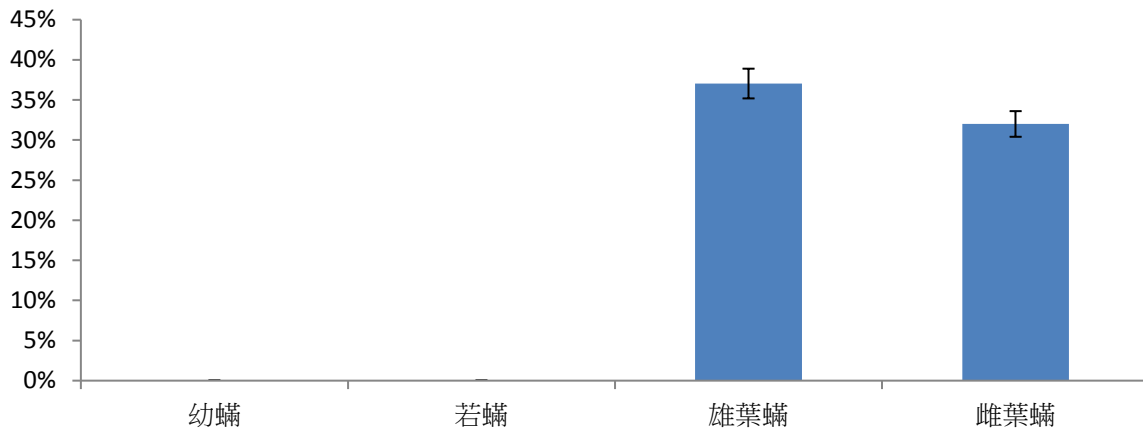


圖 30a 不同階段葉蟬於 3 小時內的織網比率

實驗結果的呈現上，是以 3 小時為主，因第 1、2 小時時並未觀察到有吐絲織網的現象，而 24 小時後再次觀察，則發現成蟬所有組別，不論雌、雄均有織網現象(織網率 100%)。

吐絲織網的實驗結果上，可以發現葉蟬並不是所有的生活史階段皆會吐絲織網，僅有進入成蟬階段才會開始吐絲織網。在幼蟬及若蟬期，我們觀察到大部分處於這個階段的蟬都會在成蟬在葉毛間的織網下生活，可能是能夠於此獲得保護。此外，3 小時內織網率的部分，雌、雄葉蟬織網率相近(p 值=0.76)，未達顯著差異，顯示織網速度與性別無太大差異。



圖 30b 幼蟬不會織網，生存於成蟬織網之下



圖 30c 雌雄葉蟬放在一起的織網情形

(二)探討織網與保護卵之間的關聯

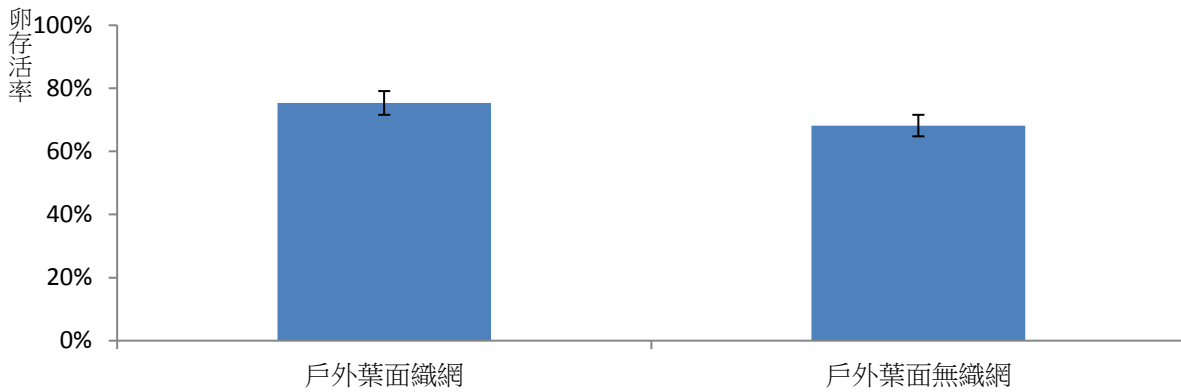


圖 31a 戶外葉面有無織網對卵存活率的影響

野外校園環境下的卵存活率結果，有織網組(75%)，無織網組(68%)，有無織網對卵存活率之 p 值 = 0.001，達顯著差異，表示葉蟻的織網能提供卵較好的保護，使得卵存活率提升，被天敵捕食率降低，增加族群繁衍的機會。



圖 31b 野外環境織網保護卵能力較好

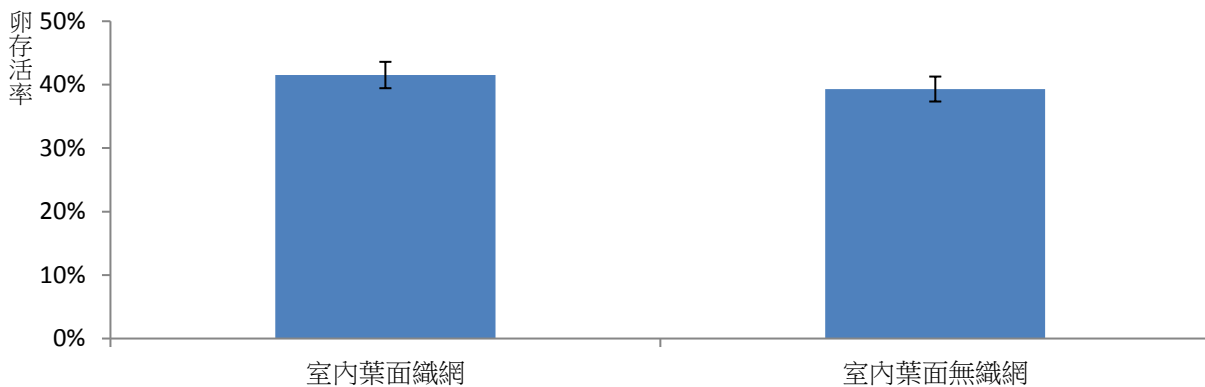


圖 32a 室內有捕植蟻下，葉面有無織網對卵存活率的影響

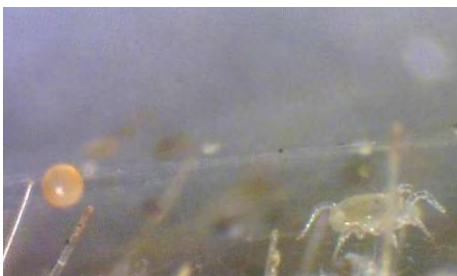


圖 32b 捕植蟻於葉蟻織網下活動

在室內織網實驗，由於實驗室內與戶外環境相比，環境相對單純，也沒有其它天敵存在，因此能夠了解織網對於捕植蟻防禦的成效。有織網組的卵存活率與無織網組，分別為 42%及 39.2%， p 值 >0.05 未達顯著差異，顯示是否織網對於捕植蟻而言無太大差別。這可能是由於捕植蟻成蟻體型較葉蟻小，進入織網內相對容易，因此織網對捕植蟻的侵入相對較無作用。

(三)織網直接防禦功能以外~移動與遷徙

上述實驗結果顯示，織網能夠提升野外卵的存活率(降低被捕食率)，在織網防禦以外，我們發現不只葉面的葉毛，黑豆莖上的細毛也有織網的發生。另外，我們也發現在食物短缺(葉被大量取食)或是族群過多的情形下，有很特殊的「蟻球」型態出現。

1. 莖上細毛織網對移動速度的影響

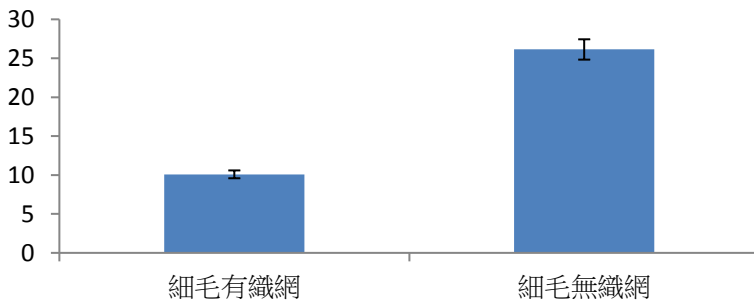


圖 33a 有無織網對葉蟻移動的影響 (單位 sec/1cm)



圖 33b 莖細毛無織網移動情形

織網對移動速度的影響上，有織網組平均速度為 10.09sec/cm，而無織網組則為 26.13sec/cm。無織網組的速度明顯較有織網組慢許多，由織網的情形可知，葉蟻會於葉毛間吐絲織網，將葉毛與葉毛連接起來，類似搭橋一樣，因此移動相對容易，而無織網組則需閃避葉毛所造成移動的阻礙，因此移動速度相對較慢。

2. 莖上細毛織網對族群遷移的影響

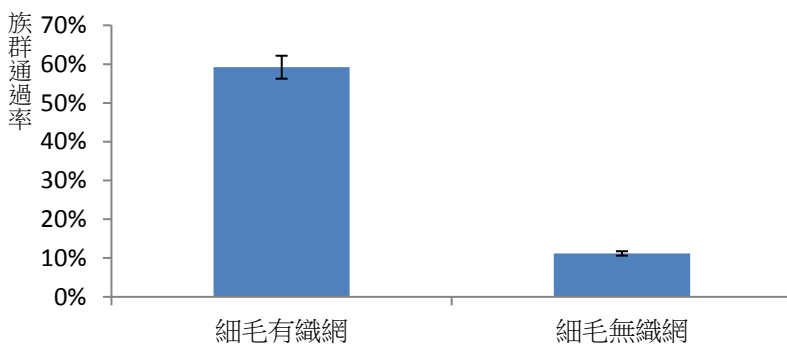


圖 34a 有無織網對葉蟻族群遷徙的影響 (N=25, 5 分鐘通過率)

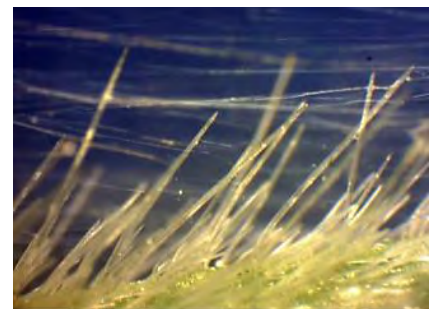


圖 34b 莖細毛織網結構複雜

除了移動速度外，我們測試了族群(N=25)移動的遷徙比例。結果發現有織網組的通過率為 59.2%，無織網組的通過率則為 11.2%，有織網組的族群通過率顯然較無織網組的高出許多。顯微鏡下觀察發現葉蟻不僅會在單一葉毛間吐絲織網，也會在不同葉毛互相連結，將整個莖的葉毛環繞，使得單隻移動與大批族群遷徙皆方便許多(圖 34b)。此外，除了莖外，葉蟻也會在葉上的葉毛織出複雜的網方便遷徙。

3. 特別型態觀察~蟎球

我們觀察到食物短缺時，葉蟎會於織網絲上集成蟎球的情形，其中有趣的是我們輕輕震動葉片，原以為蟎球會散開，卻發現葉蟎反而有向蟎球集中的現象發生。

(1) 風速與織網上的蟎球

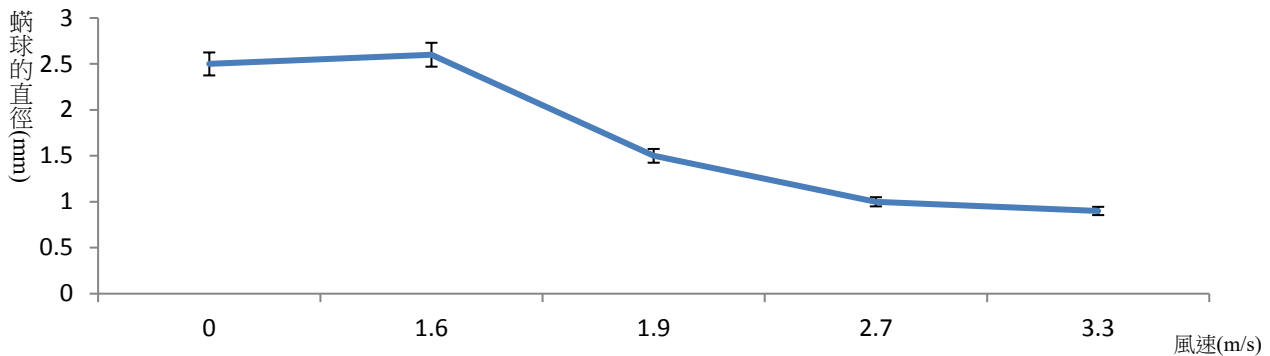


圖 35a 不同風速下，蟎球的直徑大小

在不同風速之下的蟎球，發現風速為 1.6m/s 時，此時葉子輕微晃動使得葉蟎聚集，但風速提高至 1.9m/s 之後，蟎球開始被風吹散，直徑開始下降，顯示族群擴散到更遠的區域。



圖 35b 原本蟎球大小



圖 35c 風速下 3.3m/s 蟎球直徑

(2) 風速與葉面上的葉蟎

由上述的結果，織網上的蟎球能夠使族群迅速大量擴散，我們想到如果葉面移動的單隻葉蟎是否在不同的風速下也會有相同的擴散效果？

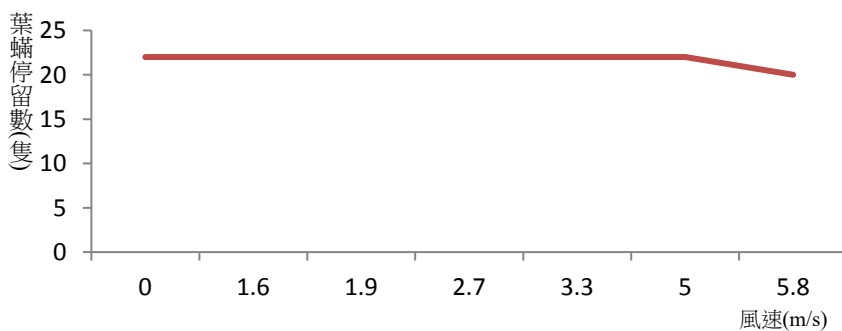


圖 36a 不同風速下，葉蟎停留數



圖 36b 風吹下葉蟎(緊貼)

實驗結果發現，於織網上 1.9m/s 就會造成族群擴散的風速，並不會造成葉面上葉蟎數量的減少，直到 5.8m/s。令人覺得驚訝的是，顯微鏡觀察風吹下的葉蟎，會壓低身體緊緊扣住葉面。

四、探討神澤氏葉蟻以排泄物作為禦敵的行為

在觀察的過程中，發現葉上有兩種排泄物存在，為了解這是否和防禦有所關聯，進行以下四個部分探討：由排泄物數量、類型開始，接著討論排泄物對捕植蟻的影響，還有不同新鮮程度的排泄物對防禦是否有差，最後則是敵人的出現是否會誘導排泄物類型的改變。

(一)觀察葉蟻的排泄物類型及位置

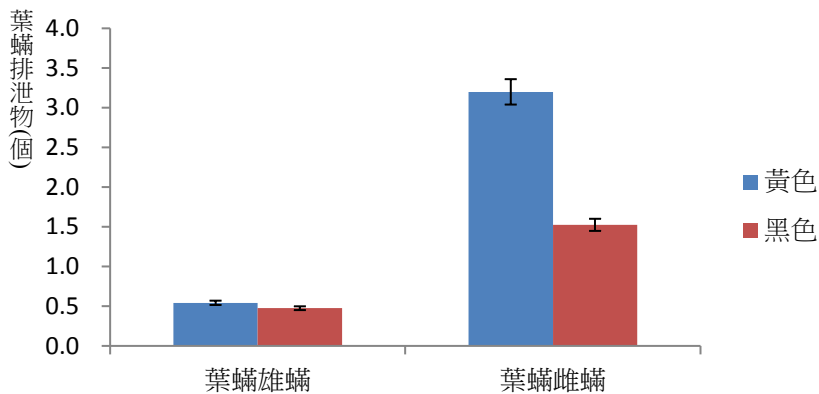


圖 37a 不同性別葉蟻，每日每隻排泄物數量比較

圖 37b 葉蟻的兩種類型排泄物



表 2 葉蟻 2 種排泄物大小比較(N=18)

	黃色	黑色
平均直徑	0.031mm	0.094mm

首先，我們先針對不同性別的葉蟻來進行排泄物的計算。在類型上，雌雄皆會產生黃色及黑色兩種排泄物，不同的是雄蟻排泄物的數量明顯較少(黃、黑分別為 0.54、0.48 個/天)，雌蟻則為 3.20、1.53 個/天，可能是因為雄蟻體型相對較小的原因，比例上也有所不同，雌蟻的黃黑比接近 2：1。由於雌蟻的排泄物較多且明顯，因此我們選擇雌蟻作為接下來的實驗。

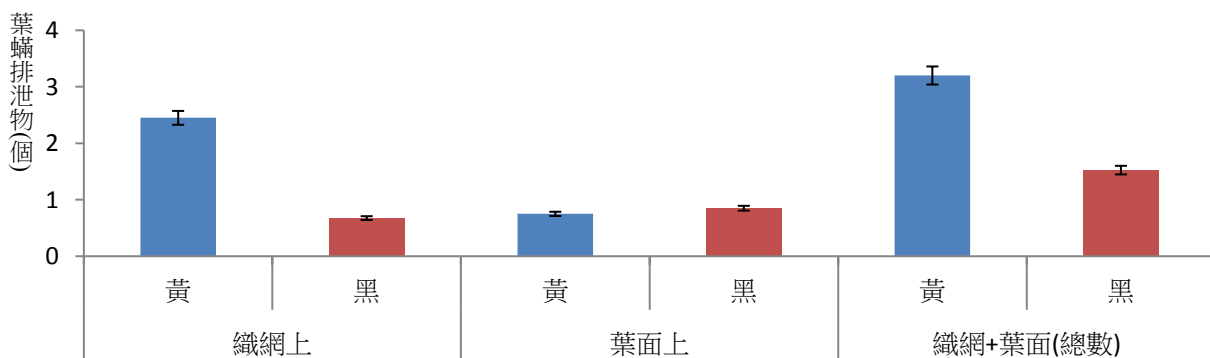


圖 37c 不同位置上，雌蟻不同類型排泄物的比較(每日)

雌蟻排泄物位置上，發現大致位在兩個位置~織網及葉面上。在織網上的黃色排泄物(2.45 個/天)較黑色(0.67 個/天)的高，但在葉面上則差異不大，這可能與防禦(織網方便移動)有關，因此接下來的實驗都採用有織網的環境下進行。



圖 37d 在織網上的黃色比例較高

(二)探討不同類型排泄物對捕植蟻捕食卵的影響

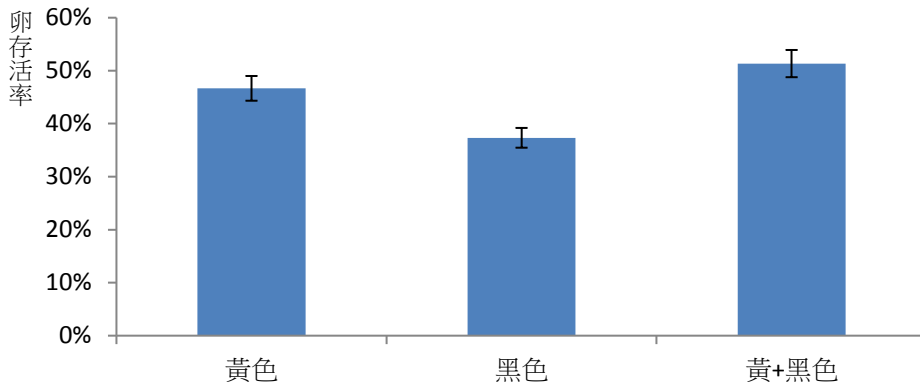


圖 38a 不同類型排泄物下的卵存活率



圖 38b 僅黑色，卵存活率低



圖 38c 黃+黑色組別的卵

有黃色排泄物的組別卵存活率為 46.67%，黑色及黃+黑色(控制組)，則分別為 37.31%、51.31%。卵存活率方面，黃色和黑色排泄物之 p 值=0.04，達顯著差異，而黃+黑色與黃色排泄物的組別，卵存活率接近(p 值>0.05)，顯示黃色排泄物的存在，能降低捕植蟻的捕食率。

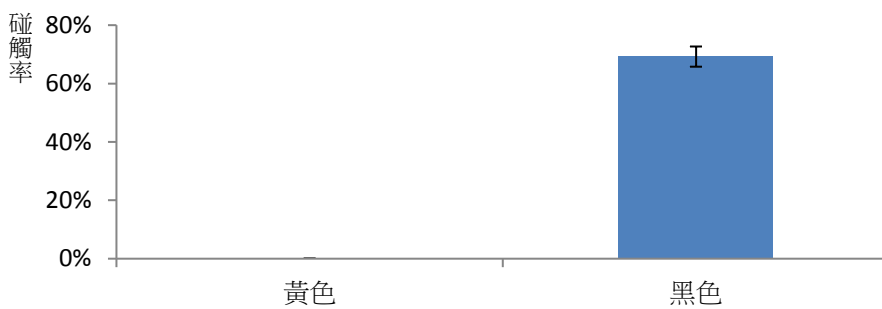


圖 38d 捕植蟻碰觸不同類型排泄物比例



圖 38e 捕植蟻迴避黃色排泄物

了解了黃色排泄物存在能降低捕食率後，我們記錄 10 分鐘內捕植蟻第一對步足碰觸排泄物比例，結果顯示，捕植蟻可能是由於黃色排泄物氣味而不碰觸，碰觸黑色比例則較高(69.2%)。

(三)探討排泄物新鮮程度對捕植蟻捕食卵的影響

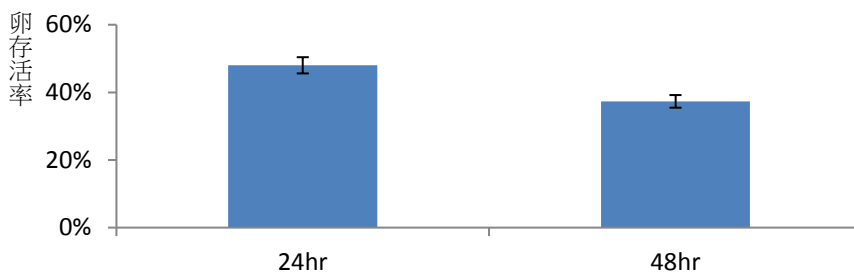


圖 39a 不同時間黃色排泄物下的卵存活率



圖 39b 剛排出的黃色排泄物

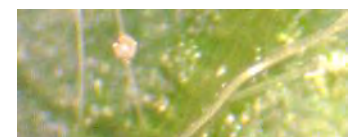


圖 39c 2 天後黃色排泄物

在不同新鮮程度下的卵存活率方面，分別為 24hr(48%)、48hr(37%)。結果說明隨著時間，黃色排泄物逐漸乾癟縮小，而對捕植蟻的捕食防禦能力也隨之下降。我們也觀察到，將雌蟻移到新葉時，雌蟻首先排出的都是黃色排泄物。

(四)探討捕植蟻是否誘導葉蟻排泄物型態改變

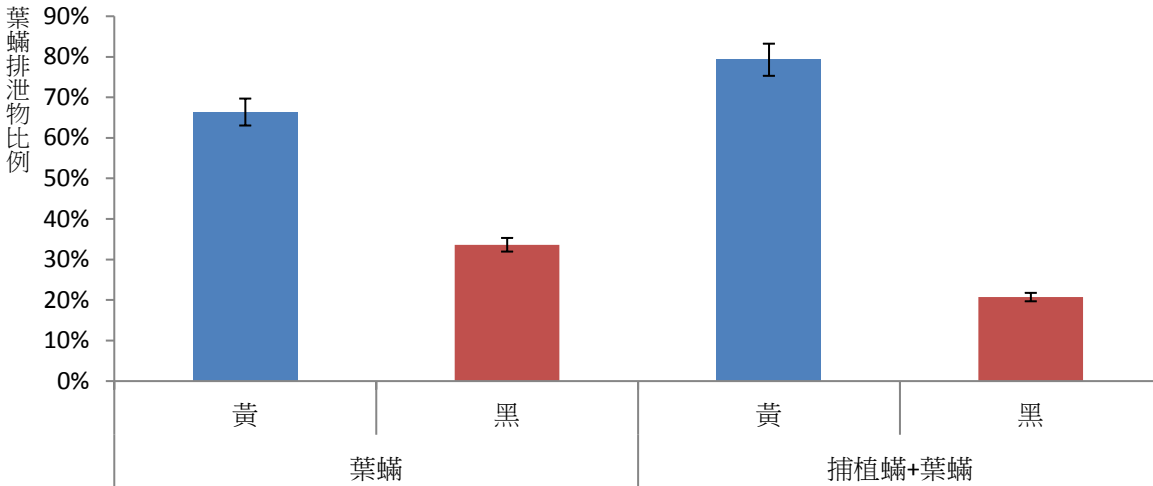


圖 40a 有無捕植蟻，葉蟻排泄物種類所佔的比例比較

上述結果了解黃色排泄物存在，具較高的卵存活率，就是說葉蟻黃色排泄物具防禦捕植蟻捕食卵的功能，因此在捕植蟻存在下，是否會造成葉蟻排型物類型改變？

在研究結果上，僅有葉蟻的組別，黃、黑排泄物所

佔的比例分別為 66.37%、33.63%(排泄物平均 N=4.52 個)，在同時有葉蟻及捕植蟻的組別，黃、黑排泄物比例則分別為 79.27%、20.73%(排泄物平均 N=4.66 個)。在捕植蟻出現的情形下，葉蟻排泄物的總量並沒有太大的增加，而是改變比例，將原本的黃黑比(1.97 : 1)轉為(3.8 : 1)，藉著提高黃色排泄物數量、降低黑色的來進行防禦。由這個結果來看，葉蟻平時就會排出黃色的排泄物來進行防禦，但在捕植蟻出現的生存威脅下，會將兩種排泄物的比例改變，這意味著葉蟻看似無防禦能力的外表下，在生存壓力出現時，仍能利用出人意料的排泄物轉換類型來進行防禦。

表 3 有無捕植蟻，排泄物量之 t 檢定

	平均排泄物量(黃+黑)
捕植蟻+葉蟻	4.66 個/天
葉蟻	4.52 個/天
p 值	0.09
顯著與否	否



圖 40b 捕植蟻出現，誘導較多黃色排泄物



圖 40c 黃色排泄物扮演防禦的重要角色

陸、討論

葉蟥又稱為紅蜘蛛，屬蛛形綱，與蜘蛛相同，具有 8 隻腳且有織網的習性。葉蟥主要危害部位是在葉子，吸食葉片汁液後使葉子出現小白斑狀，造成葉無法行光合作用，大發生時很快就能使作物的葉子枯萎。在台灣較常見的葉蟥威脅，有二點葉蟥(多於中北部發生)、赤葉蟥、柑橘葉蟥、神澤氏葉蟥(多於南部發生)。



圖 41 溫氏捕植蟥捕食神澤氏葉蟥

防治葉蟥上多以農藥進行，卻有抗藥性。1970 年代，中興大學開始進行捕植蟥的生物防治，捕植蟥繁殖速度快，亦能快速建立族群，台灣本地最重要的捕植蟥為溫氏捕植蟥，近年亦引進智利捕植蟥及法拉斯捕植蟥，藉由無農藥的生物防治型式來抑制葉蟥的發生。

在台灣使用捕植蟥已有數十年的時間，捕植蟥使用的成效已獲得證實，但是捕植蟥的捕食行為卻鮮少於國內文獻描述，校園內的神澤氏葉蟥也是如此，文獻上多偏於危害情形。這使我們想要對這兩種蟥的互動與行為模式進行探討。

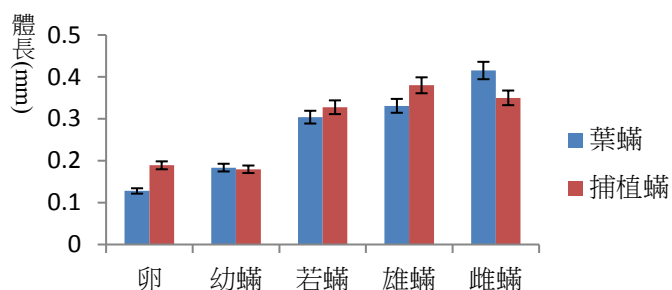
在捕植蟥的出現下，看似不堪一擊的葉蟥是否有著令人驚訝的防禦方式呢？經過了長期的觀察與實驗，讓我們得以一窺這兩種蟥的小小世界，除了建立兩種蟥的生活史外，也了解獵人~捕植蟥的捕食前搜索行為，與食量及偏好捕食對象，獵物~葉蟥方面，除了織網功能的探討外，也進一步發現令人覺得有奇的排泄物便便防禦。國內較少葉蟥及捕植蟥的行為資料，或許我們這一系列的實驗，可以提供給相關單位參考。以下是我們針對研究過程中的討論：

一、神澤氏葉蟥、溫氏捕植蟥的型態及生活史

表 4 兩種蟥的型態及不同階段生活史天數比較

	卵	幼蟥	若蟥	成蟥(雌)	
溫氏捕植蟥	第 0 天 	第 3.8 天 	第 6.4 天 	第 9.5 天 	18.4 天
神澤氏葉蟥	第 0 天 	第 3 天 	第 5.5 天 	第 8 天 	21.9 天

神澤氏葉蟻的生活史較溫氏捕植蟻短(約 3.5 天)，且溫氏捕植蟻在每一個階段的發展幾乎都較葉蟻來得快，使得捕植蟻能夠更快的達到成蟻階段。由圖 22 的產卵量比較，雖然捕植蟻的每日平均與總產卵均較葉蟻少，但由於捕植蟻的每一個階段均能捕食卵(圖 26)，再加上生長曲線較快、成蟻存活日數較長(13.9 天)，使得捕植蟻捕食葉蟻卵的效能大為提升。

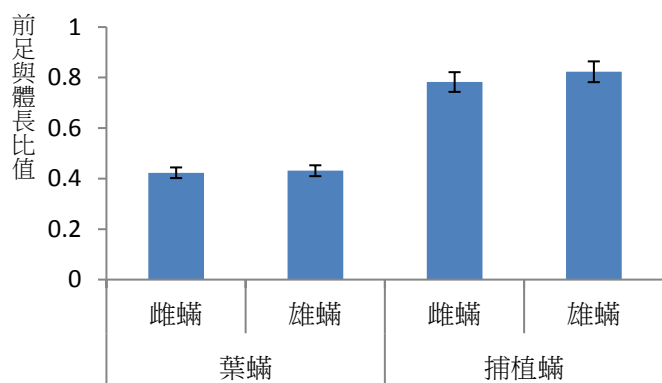


這兩種蟻在成蟻之前無法分出性別，僅有成蟻才做性別區分。在外部型態測量上，發現除了雌蟻階段，葉蟻大於捕植蟻外，其它階段都以捕植蟻體型略大。不知這是否與葉蟻雌蟻產卵數較多，體型相對較大有關。

圖 42 葉蟻、捕植蟻不同階段體長比較

二、探討溫氏捕植蟻的捕食行為

溫氏捕植蟻與神澤氏葉蟻最大的取食行為差異，就是捕植蟻需要搜索來獲得食物，而葉蟻直接在葉面上取食即可。原本我們以為捕植蟻在進行搜索時會具有追蹤的能力，但實驗結果發現捕植蟻是隨機搜索，但卻將大面積搜索葉片，這與章加寶(2010)文章中的七星瓢蟲幼蟲大面積且隨機搜索行為類似。



在進行型態觀察時，我們發現了一個有趣的特徵~捕植蟻的前足特別長，原以為是觸角。測量第 1 對前足與體長比值，捕植蟻比值高達 0.78、0.82(雌、雄)，相對葉蟻的比值不到 0.5，也因此第 1 對前足為捕植蟻捕食重要的搜索及控制獵物的工具(見研究結果)，章加寶(2010)也提及某些瓢蟲亦由前足發現獵物。

圖 43a 葉蟻、捕植蟻第一對前足長/體長的比值



圖 43b 捕植蟻第一對前足特長

在捕食與體型方面，由於文獻未提及捕植蟻幼年的取食狀態，因此我們將不同階段的捕植蟻進行食量比較，結果發現幼蟻僅會捕食葉蟻的卵及幼蟻，體型可能是最可能的原因，但捕植蟻的雌蟻體型顯著小於葉蟻雌蟻，經由觀察捕食行為，發現第 1 對及第 2 對前足扣住獵物後，口器刺入葉蟻體表，

葉蟻即不動，有可能捕植蟻釋放麻醉液，黃姿婷(2008)研究報告指出同為蛛形綱的大姬蛛，進行捕食時亦將麻醉劑注入獵物體內。

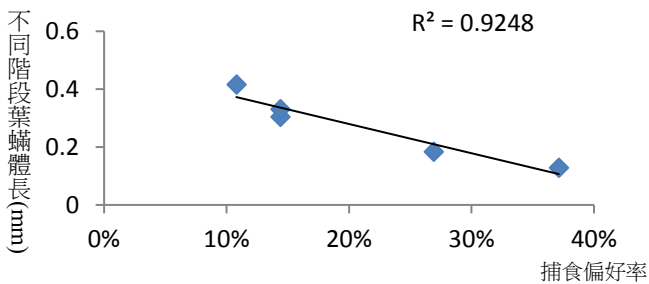


圖 44 捕植蟻捕食偏好率與葉蟻體型大小

在捕食偏好，捕植蟻雌、雄蟻捕食喜好順序與葉蟻體型呈現負相關(圖 44)。不同階段捕植蟻皆以卵為最優先選擇，除了卵固定不動外，數量多也是原因之一，葉蟻自幼蟻以後的階段被捕食則與體型相關。

三、探討神澤氏葉蟻的織網與防禦關聯

神澤氏葉蟻所屬的葉蟻屬，大多會織網，如對草莓危害的二點葉蟻、赤葉蟻等。查詢文獻時，只有看到族群密度高時會有織網行為發生，但我們在觀察的過程中，發現單隻的雌葉蟻即有織網的行為(圖 30a)，且織網的發生常伴隨產卵行為。實



圖 45 戶外織網組的其它天敵

驗結果顯示戶外環境有織網組的卵存活率較高，牛明權(2011)研究報告指出葉蟻的天敵不僅是捕植蟻，還有如小黑瓢蟲、草蛉等，而這些天敵的體型皆大於葉蟻許多，織網對於體型較大天敵的入侵增加許多困難度。室內織網加入捕植蟻的防禦能力則與無織網沒太大的差異，因捕植蟻的體型與葉蟻相近，織網對捕植蟻而言，不僅無阻擋效果，在觀察過程中發現，捕植蟻會沿著織網移動，捕食網上的葉蟻卵。

卵上的織網在野外環境能夠提供保護，幼蟻、若蟻也大多生活於網下，除了提供直接的防禦以外，我們也發現在破損的葉子間，葉蟻會連接織網方便通行，提供間接遇天敵時的快速逃脫路線，綜合我們觀察結果，將葉蟻織網行為整理如下：

葉毛間織網	葉間、莖上織網	織網上蟻球
保護卵、方便移動	方便移動	族群擴散



圖 46a 葉蟻將破損葉片織網方便通行



圖 46b 葉與葉之間織網提供快速移動

此外，在織網上觀察到的蟎球，是葉蟎很特別的行為發生，除了能方便族群擴散之外(見研究結果)，我們將蟎球置於顯微鏡下觀察，發現外側幾乎皆為雄蟎，而雌蟎被包在內側，不知是否因風吹使蟎球飛出去，雄蟎在外保護內側雌蟎，還需進一步實驗。



圖 47 顯微鏡下葉蟎球，外側皆雄蟎

四、探討神澤氏葉蟎以排泄物作為禦敵的行為

談到排泄物，大部分人都不太有好感，但是蟲類的世界裡，排泄物或許有不一樣的角色扮演，其中最著明的當然就是會將其它動物糞便推成糞球的糞金龜。在我們觀察中發現的兩種神澤氏葉蟎排泄物，一開始不太吸引我們的注意，只是感到好奇，為何會有比卵還小的黃色圓球狀物體出現？黃色圓球的大量出現與大多位於織網上，我們不禁聯想到這是否與防禦有所關聯。在文獻資料中，塵蟎的排泄物是最常被提及的，因這些排泄物是導致人類過敏的重要物質，粉蝨的排泄物會造成果實生病，楊大吉(2002)報告中指出山藥害蟲椿象，會將排泄物產於卵上，避免卵被天敵捕食，這與神澤氏葉蟎利用排泄物來防禦行為類似。

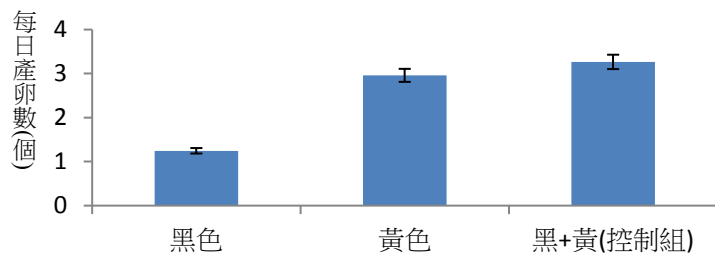


圖 48 不同類型排泄物對雌葉蟎產卵的影響

在研究結果中發現黃色的排泄物數量較多，我們也研究了不同排泄物存在時，對雌蟎產卵的影響。結果發現，黃色較黑色排泄物不會影響雌蟎產卵意願，且黃色與控制組間無顯著差異(p 值=0.3)

捕植蟎碰觸排泄物比例實驗，明顯得知捕植蟎幾乎不會碰觸黃色排泄物，加上並非誤食，黃色排泄物可能由於特別氣味使捕植蟎退避。令人驚訝的是，捕植蟎存在下，會誘導葉蟎改變排泄物種類，由原本黃：黑比約 2：1 提高至 3.8：1，總排泄量並沒有太大差異(表 3)，也就是說葉蟎改變了排泄物類型的種類，藉提高黃色排泄物，降低黑色排泄物數量來進行防禦。

葉蟎以排泄物作為防禦的工具，讓我們重新思考生物為了種族延續的努力與演化出來的驚人力量，與捕植蟎相較，看似一路挨打的葉蟎，卻有了特別的防禦工具來保護卵，以求得子代延續，令人讚嘆在生物在演化上的所表出來的驚奇。



圖 49 捕植蟎捕食葉蟎後，排泄物呈紅色

柒、結論

「葉蟥」在台灣對經濟作物造成危害的情形時有所聞，不僅僅在花卉作物上、果樹上，甚至豆科植物上都有災情紀錄。因其生活史短及繁殖迅速，對多種化學農藥容易產生抗藥性，致使防治困難。近年來使用捕植蟥做為生物防治的選擇，用來抑制葉蟥有收到部分的成效。然而，「神澤氏葉蟥」與「溫氏捕植蟥」的生活史，還有兩者間的捕食細節以及交互關係等等，相關文獻探討相當有限。為了進一步瞭解當中的微妙，我們進行了系列實驗以利探討，實驗結論整理如下：

- 一、神澤氏葉蟥雌性成蟥體型較大：長 $0.42 \pm 0.041\text{mm}$ ；寬 $0.25 \pm 0.029\text{mm}$ ，雄性成蟥較小：長 $0.33 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.21 \pm 0.01\text{mm}$ 。
- 二、溫氏捕植蟥雌雄成蟥體長較接近，但雌性體寬明顯較大，雌：長 $0.38 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.35 \pm 0.04\text{mm}$ ；雄：長 $0.35 \pm 0.01\text{mm}$ ；寬 $0.21 \pm 0.01\text{mm}$ 。
- 三、捕植蟥的成蟥時期較長，以較久的存活時間來進行捕食。神澤氏葉蟥各時期的時間：卵 3.8 ± 0.7 天，幼蟥 2.6 ± 0.5 天，若蟥 3.1 ± 0.8 天，成蟥 8.9 ± 0.7 天；溫氏捕植蟥各時期的時間：卵 3 ± 0.8 天，幼蟥 2.5 ± 0.5 天，若蟥 2.5 ± 0.5 天，成蟥 13.9 ± 0.7 天。
- 四、葉蟥產卵數多而孵化時間卻也較長，易於被捕植蟥捕食。神澤氏葉蟥的總產卵量較多 (35.6 ± 1.1 個)，溫氏捕植蟥不論是在每日平均產卵 (1.4 ± 0.4 個) 或是總產卵量 (18.8 ± 0.8 個)，均較葉蟥少。
- 五、利用 **tracker** 軟體分析移動影片的結果，捕植蟥在葉上移動的軌跡並沒有與葉蟥重疊，顯示捕植蟥的搜索行為有可能是隨機發生。
- 六、捕植蟥在幼蟥階段僅會捕食葉蟥的卵及幼蟥，雌雄捕植蟥成蟥則會捕食所有不同階段葉蟥，且雌雄蟥的捕食量相近。雌雄捕植蟥皆是以卵作為其優先捕食來源，其次則是幼蟥、若蟥及雄、雌蟥，推測捕食順序與葉蟥的體型大小(雌蟥最大)及移動狀態有關。1 隻捕植蟥雌蟥，一個世代平均約捕食 128.4 個卵，遠大於 1 隻雌葉蟥總產卵數(35.6 個)。
- 七、捕植蟥捕食葉蟥雌、雄蟥，隨著取食葉蟥次數及量的增加，腹部內紅色程度愈鮮明。
- 八、葉蟥成蟥階段才會開始吐絲織網，在幼蟥及若蟥期則不會，我們觀察到大部分處於這個階段的蟥都會在成蟥於葉毛間的織網下生活。

- 九、野外校園環境下的卵存活率以有織網組較好。有織網組(75%)，無織網組(68%)， p 值=0.001，達顯著差異，表示葉蟻的織網能提供卵較好的保護，使得卵存活率提升，被天敵捕食率降低，增加族群繁衍的機會。
- 十、在室內織網實驗(天敵為捕植蟻)，有織網組及無織網組的卵存活率差異不大。分別為 42% 及 39.2%， p 值>0.05 未達顯著差異，顯示是否織網對於捕植蟻無太大差別。推測可能是環境相對單純，沒有其它天敵存在，同時捕植蟻成蟻較葉蟻小，進入織網內相對容易。
- 十一、移動速度方面，無織網組的速度明顯較有織網組慢許多。有織網組平均移動速度為 10.09sec/cm，無織網組則為 26.13sec/cm；同時也發現，有織網組的族群通過率 59.2% 顯然較無織網組的 11.2% 高出許多。顯然織網會使單隻移動與大批族群遷徙皆方便許多。
- 十二、食物短缺時，葉蟻會於織絲網上集成蟻球。風吹葉子輕微晃動會促使蟻球形成，當風速提高至 1.9m/s 之後，蟻球開始被風吹散，整群隨風擴散到更遠的區域。
- 十三、雌雄葉蟻皆會產生黃色及黑色兩種排泄物，不同的是雄蟻排泄物的數量明顯較少(黃、黑分別為 0.54、0.48 個/天)，雌蟻則為 3.20、1.53 個/天。在織網上的黃色排泄物(2.45 個/天)較黑色(0.67 個/天)的高。
- 十四、黃色排泄物的存在，可能降低捕植蟻的捕食率。分析葉蟻織網上有黃色排泄物的組別，卵存活率為 46.67%，僅有黑色及黃+黑色(控制組)，則分別為 37.31%、51.31%。
- 十五、捕植蟻碰觸不同類型排泄物實驗，顯示捕植蟻第一對步足不會碰觸黃色，而碰觸黑色排泄物比例則將近 70%。可能是由於黃色排泄物的氣味所致。
- 十六、越新鮮的黃色排泄物有較好的防禦能力。進一步分析不同新鮮程度的葉蟻黃色排泄物對卵存活率方面，分別為 24hr(48%)、48hr(37%)。過程中也發現，雌葉蟻到新葉上首先排出的都是黃色排泄物。
- 十七、在捕植蟻出現的情形下，葉蟻排泄物的黃黑比(1.97 : 1)轉為(3.8 : 1)，藉由提高黃色排泄物的比例來提高卵存活率，顯示葉蟻在生存壓力出現時，能利用出人意料的排泄物轉換類型來進行防禦。

捌、參考資料與其他

一、參考資料

1. 張元瀚(2013)。初探葉蟻。全國中學生小論文網站，取自：
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420372694.pdf>
2. 章加寶(2010)。捕食性天敵昆蟲的捕食過程。行政院農委會生物防治主題，取自：
<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/ct.asp?xItem=112389&ctNode=3815&mp=261&kpi>
3. 黃姿婷、洪哲為(2008)。喜歡睡帳篷的蜘蛛-大姬蛛生態行為研究。中華民國第 48 屆中小學科學展覽作品
4. 牛淳權、陳明廣(2011)。剋「蟻」！天敵立大功！。中華民國 51 屆中小學科學展覽作品
5. 施佳妘(2016)。蟻天鋪地葉枯盡 —非農藥”冰鎮雞尾酒”防治法。中華民國 55 屆中小學科學展覽作品

二、感想與謝誌

我們的國二有了很特別的回憶。感謝過去一年裡在課餘時間，協助我們從事研究、熱情付出的指導老師們。從蟻的收集，到觀察、設計實驗，報告口語表達等，都是老師們辛苦的陪著我們完成，如果沒有他們，我們也不會有拓展視野的機會。更要感謝在公務繁忙之中，仍撥空指導我們的農委會熱帶園藝試驗所郝秀花研究員，在實驗設計及報告整體架構上了給了我們許多寶貴的建議，以及鄰近大學的黃胤唐教授指導，讓我們遇到諸多問題時得以解決。

葉蟻排泄物的防禦功能，是我們這一年來最大的意外發現與驚奇，平凡無奇不討喜的排泄物，竟然有著防禦以使種族延續的重要功能，不禁令人讚嘆演化與生命的奧妙。葉蟻排泄物尚有許多迷團待解~具有禦敵功能的黃色與黑色排泄物，成份的差異是什麼？我們也想進一步探討食源差異，除黑豆葉外，如其它豆類(紅豆…)、木瓜等作物，葉蟻是否也同樣地能利用排泄物禦敵呢？這一整年的實驗與研究，豐富了我們國中的時光也拓展了我們的視野。



試驗所研究員於溫室內指導採集



木瓜葉



紅豆葉

葉蟻的不同食物來源，排泄物是否也有著防禦效果？

【評語】 030304

1. 此研究探討葉蟎與捕植蟎之間的捕食與防禦情形，研究發現捕植蟎會捕食葉蟎，達到生物防治的目的，捕食對象以卵最多，體型越大會降低捕食意願，葉蟎也會以糞球、織網等、產生黃色糞便等方式進行防禦，是特別的發現。
2. 研究目的的前二部分內容：一、觀察神澤氏葉蟎、溫氏捕植蟎的型態及生活史；二、探討溫氏捕植蟎的捕食行為。上述部分已有諸多文獻記載。神澤氏葉蟎的形態與生態習性也有資料可供查詢（雯綺、王喻其編，2007。植物保護手冊—果樹篇）。溫氏捕植蟎的資料亦多可查詢（興大昆蟲系施劍瑩教授—繁殖出「溫氏捕植蟎」以蟲剋蟲）。
3. 作品的題目名稱「便便防禦」相當吸引讀者目光，研究的結果較為現象觀察，如能將研究主力聚焦在黃色排泄物或蟎球並進行較為深入的探討，探討分析黃色排泄物的組成分子，或許更能了解葉蟎的防禦機制，使科學的原創性大幅提升。
4. 同學報告態度從容，台風穩健，能針對問題提出想法。

作品海報

◎摘要

神澤氏葉蟬為農作物重要害蟲，為了解「神澤氏葉蟬」與天敵「溫氏捕植蟬」的微妙關係，我們進行系列實驗。葉蟬雌性成蟬體型較捕植蟬大，體長分別為 0.42 ± 0.04 及 0.38 ± 0.01 mm，捕植蟬成蟬時期較長。捕植蟬隨機捕食，以前足作為捕食工具，卵為優先捕食來源。捕植蟬雌蟬，平均一生約捕食 128.4 個卵。葉蟬成蟬會吐絲織網，織網使卵存活率提升，同時也使葉蟬移動速度加快並便利大批遷徙。食物短缺時，葉蟬會於織絲網上集成蟬球，隨風擴散到更遠區域。葉蟬會產生黃色及黑色兩種排泄物，實驗顯示黃色排泄物能使捕植蟬退避，降低卵的被捕食率。在捕植蟬出現下，葉蟬排泄物的黃黑比(1.97:1)轉為(3.8:1)，藉由提高黃色排泄物的比例來禦敵，真是出人意料的防禦方式。

壹、研究動機

校園木瓜葉上有一些微小紅點，取回置於顯微鏡觀察，與一般昆蟲不同，這些小生物有八隻腳。詢問老師及上網比對圖鑑，發現這是危害台灣農作物的「神澤氏葉蟬」，對付害蟲的方式有農藥及生物防治的捕植蟬。捕植蟬的使用，可以大幅降低葉蟬發生，進一步查詢，多偏向於防治資料，對於捕植蟬也僅知道其防治效果，並無太多資料，這引發我們的興趣，想要了解這獵人與獵物之間的相關行為。在園藝試驗所提供捕植蟬協助下，由這兩種蟬的型態及生活史建立開始，接著探討捕植蟬的捕食行為與偏好，並且試著觀察討論葉蟬常見的織網對其生存的意義，最後，在顯微鏡下我們發現了葉蟬有兩種排泄物的存在，這與葉蟬的生存是否有所關聯呢，我們進行了這一系列的實驗，希望能解開這些疑問，

貳、研究目的

- 一、觀察神澤氏葉蟬、溫氏捕植蟬的型態及生活史
- 二、探討溫氏捕植蟬的捕食行為
- 三、探討神澤氏葉蟬的織網與防禦關聯
- 四、探討神澤氏葉蟬以排泄物作為禦敵的行為

參、研究器材設備

一、葉蟬、捕植蟬飼養環境建立

黑豆種子、花盆、培養土、室內 LED 燈、養蟲籠

二、生活史及型態觀察

解剖顯微鏡(電子目鏡)、濾紙、培養皿、計數器、細毛筆

三、捕植蟬捕食、葉蟬防禦方面

攝影機、tracker 軟體、風扇、風速計、種植黑豆小盆栽



圖 1 自行種植黑豆，繁殖葉蟬



圖 2 黑豆葉上的紅色小點



圖 3a 神澤氏葉蟬雌蟬與卵



圖 3b 捕食後的溫氏捕植蟬

肆、研究過程及方法

神澤氏葉蟬，為台灣中南部重要田野害蟲，危害對象無專一性，包含各類型的經濟作物，如木瓜、柑橘、茶等；溫氏捕植蟬，台灣本地的捕植蟬，除捕食葉蟬外，亦捕食介殼蟲、粉蝨等害蟲。綜合查閱的文獻，幾乎都偏向農藥防治與生物防治，較少見行為描述。我們想藉此次研究的機會，一窺這些小紅點的生存世界，將針對他們的生活史及型態、獵人~捕植蟬的捕食、獵物~葉蟬的生存防禦，並探討觀察過程中發現的不同類型便便，是否與生存有關等問題進行探討。

一、觀察神澤氏葉蟬、溫氏捕植蟬的型態及生活史

1. 飼養環境：種植黑豆養葉蟬，再養殖捕植蟬(試驗所提供)
2. 觀察環境：90mm 培養皿，鋪濕濾紙避免葉蟬逃離
3. 同日齡蟲：取得葉蟬、捕植蟬的卵(24hr 內)，移除成蟲
4. 生活史及產卵量：電子目鏡觀察拍攝，每日計算產卵量

二、探討溫氏捕植蟬的捕食行為

1. 捕食前搜索行為：利用 tracker 追蹤捕植蟬與葉蟬路徑
2. 捕食行為觀察及食量偏好：電子目鏡觀察捕食發生。取不同階段葉蟬，計算不同階段捕植蟬捕食量、偏好。
3. 捕食後的型態改變：觀察飢餓捕植蟬捕食後的體色改變

三、探討神澤氏葉蟬的織網與防禦關聯

1. 織網行為：觀察不同階段、性別葉蟬是否具織網行為
2. 織網與護卵：室內(捕植蟬)及室外有無織網之卵存活率
3. 速度與遷徙：計算織網對個體移動及族群遷徙的影響
4. 特別型態：蟬球，利用風扇之不同風速對蟬球的影響

四、探討神澤氏葉蟬以排泄物作為禦敵的行為

1. 排泄物類型及位置：不同性別葉蟬於 1x1cm 葉片排泄物
2. 排泄物對捕植蟬影響：排泄物處理為黃、黑及對照組，置捕植蟬計算碰觸及卵存活率、黃色新鮮對捕植蟬影響
3. 捕植蟬誘導排泄物類型：置飽食捕植蟬計算排泄物類型



圖 4 試驗所蟬飼養區



圖 5 濕濾紙限制蟬行動



圖 6 蟬、捕植蟬移動記錄

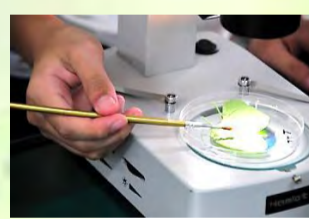


圖 6 不同階段葉蟬集中



圖 7 戶外織網防禦實驗

伍、研究結果

一、觀察神澤氏葉蟬、溫氏捕植蟬的型態及生活史

(一)分類地位

◎神澤氏葉蟬

學名：*Tetranychus kanzawai*

分類：節肢動物門-蛛形綱-恙蟎目-葉蟎科-葉蟎屬

◎溫氏捕植蟬

學名：*Amblyseius womersleyi*

分類：節肢動物門-蛛形綱-中氣門蟎目-捕植蟎科-鈍綫蟎屬

(二)神澤氏葉蟬不同階段的外觀及型值

孵化前 2 個紅點



◎卵

乳白色
圓形

0.13 ± 0.005 mm



◎幼蟬

乳白色轉淡綠色
3 對足(6 隻腳)

長 0.18mm/寬 0.11mm



◎若蟬

黃綠色，4 對足
體側有斑點

長 0.3mm/寬 0.19mm



◎成蟬(雌)

磚紅色，呈卵圓
形，尾部較鈍

長 0.42mm/寬 0.25mm



◎成蟬(雄)

磚紅色(較淡)，略
呈菱形，較雌蟬小

長 0.33mm/寬 0.21mm

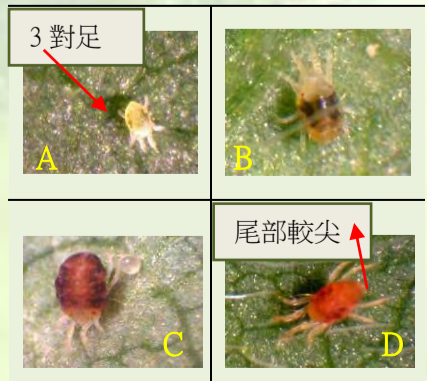


圖 10 A 幼蟬；B 若蟬

C 雌蟬(色較深)；D 雄蟬



圖 8 測風對蟬球影響

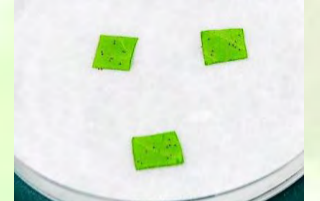


圖 9 計算不同類型排泄物

(三)溫氏捕植蟎不同階段的外觀及型值

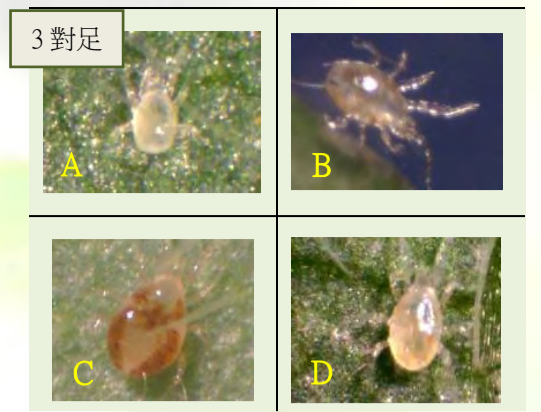


圖 12 A 幼蟎；B 若蟎
C 雌蟎(捕食後)；D 雄蟎

(四)葉蟎與捕植蟎生活史及產卵量

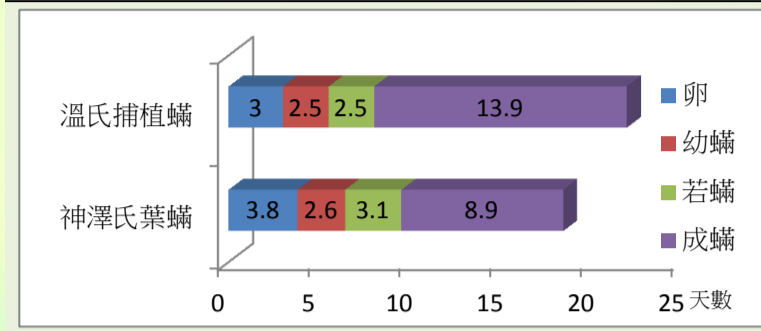


圖 13 葉蟎與捕植蟎的不同階段生長比較(N=6)

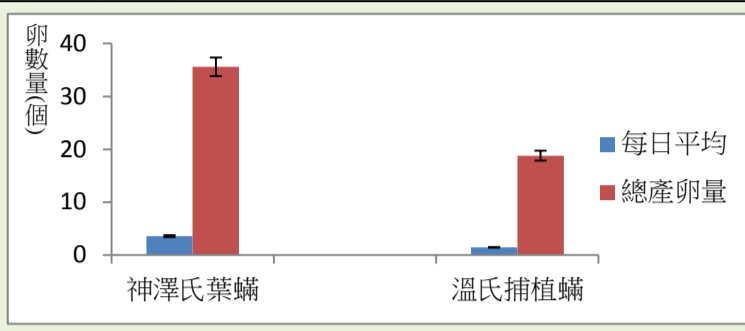


圖 14 葉蟎與捕植蟎的產卵量比較



捕植蟎以較快的速率至成蟎階段，能有較久的捕食時間

葉蟎產卵數多，孵化時間較長，較長時間暴露於捕食下

二、探討溫氏捕植蟎的捕食行為

(一)溫氏捕植蟎捕食前的搜索行為

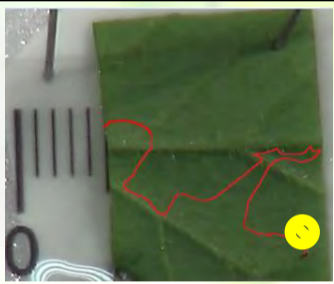


圖 15a 葉蟎移動軌跡



圖 15b 捕植蟎移動軌跡

tracker 軟體分析移動結果，捕植蟎在葉上移動的軌跡並沒有與葉蟎重疊，也就是說捕植蟎不會追蹤葉蟎爬行過的路徑。顯示捕植蟎的搜索行為有可能是隨機發生

(二)溫氏捕植蟎的捕食行為



圖 16 捕植蟎
A 捕食卵
B 捕食若蟎
C 捕食成蟎

捕植蟎利用第一對特長前足(前足/體長約 0.82)，進行搜索獵物，碰觸卵及若蟎時，直接將口器刺入吸食，卵及若蟎被吸乾；捕食成蟎時，避免成蟎逃離，以第 1、2 對前足固定葉蟎成蟎，進行吸食，吸食數次至成蟎乾癟。



圖 17 捕植蟎捕食葉蟎示意圖：1 前足搜索、2 接觸、3 發動攻擊、4 刺入口器

(三)溫氏捕植蟎對葉蟎的食量及偏好

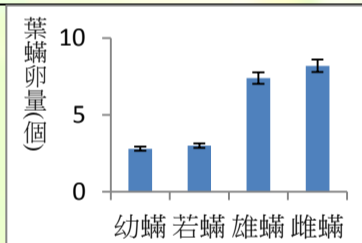


圖 18a 捕植蟎捕食卵量

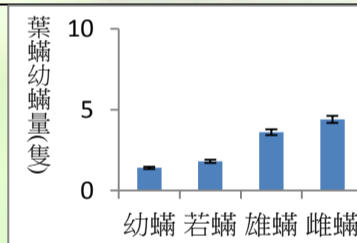


圖 18b 捕植蟎捕食幼蟎量

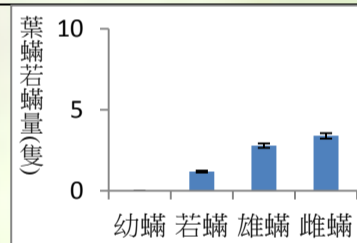


圖 18c 捕植蟎捕食若蟎量

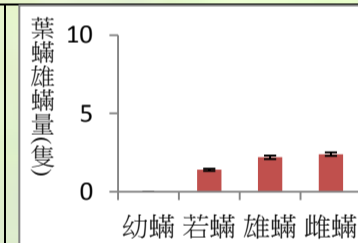


圖 18d 捕植蟎捕食雄蟎量

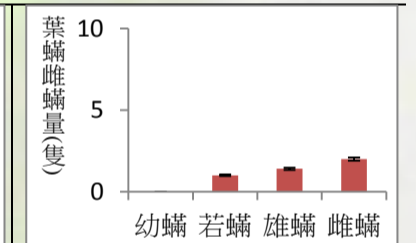


圖 18e 捕植蟎捕食雌蟎量

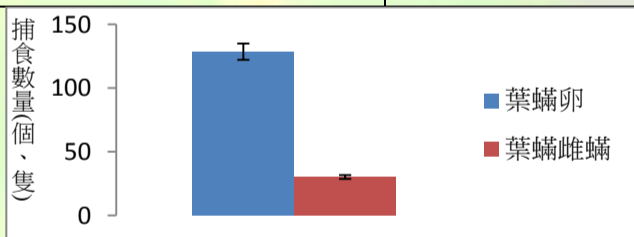


圖 19 雌捕植蟎一生分別能捕食的卵及成蟎數
1 隻捕植蟎雌蟎，一個世代平均約捕食 128.4 個卵，遠大於 1 隻雌葉蟎總產卵數(35.6 個)

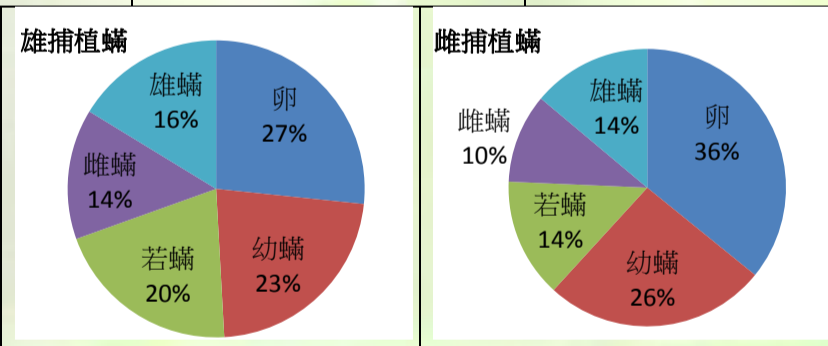


圖 20a 不同性別的捕植蟎捕食偏好比較 (葉蟎各階段 N=10)

每日食量的結果，捕植蟎在幼蟎階段僅捕食葉蟎卵及幼蟎，可能與體型差距較大有關。在捕食偏好結果，雌雄捕植蟎皆是以卵作為其優先捕食來源，其次則是幼蟎、若蟎及雄、雌蟎，捕食順序與葉蟎的體型大小及移動狀態有關。

(四)溫氏捕植蟎找食後的體色改變

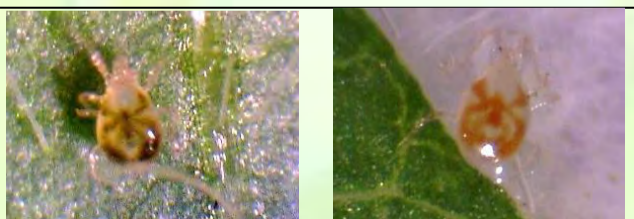


圖 21 捕植蟎捕食變化(左為捕食前，右捕食後)

捕植蟎捕食葉蟎，採吸食方式，半透明腹部背側，明顯看出逐漸變成葉蟎的顏色~紅色，隨取食次數增加，腹部內紅色程度愈鮮明，也有觀察到捕植蟎捕食之後隨即產卵。除捕植蟎捕食成蟎外，捕食卵、幼蟎或若蟎皆無體色上的變化。



圖 20b 捕植蟎幼蟎體型小無法捕食雌蟎



圖 20c 雌捕植蟎較偏好捕食卵

三、探討神澤氏葉蟎的織網與防禦關聯

(一)探討不同階段葉蟎的織網情形

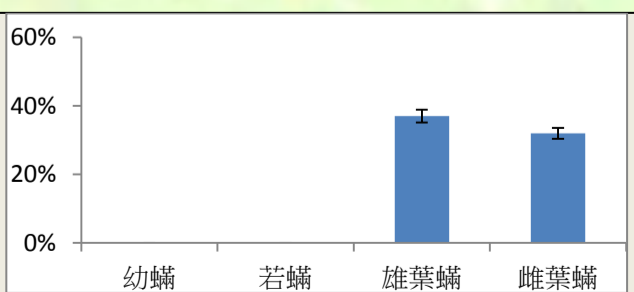


圖 21 不同階段葉蟎於 3 小時內的織網比率

(二)探討織網與保護卵之間的關聯

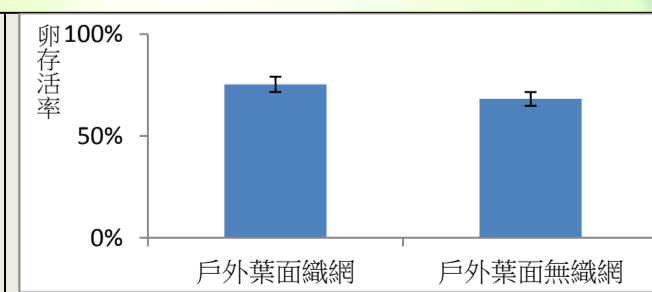


圖 22a 戶外葉面有無織網對卵存活率的影響

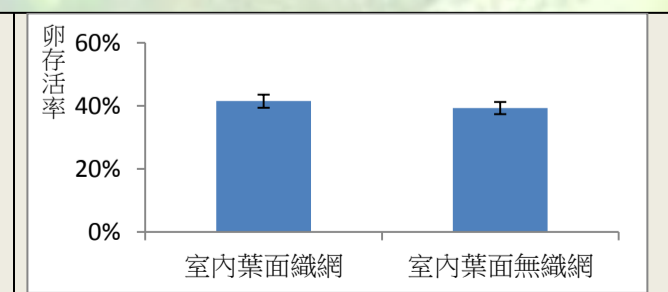


圖 22b 室內(有捕植蟎)，有無織網對卵存活率

葉蟎不是所有的生活史階段皆會吐絲織網，僅有進入成蟎階段才會開始吐絲織網。幼蟎及若蟎則是生活於網下獲得保護。

野外校園環境下的卵存活率，有無織網對卵存活率之 p 值 < 0.05，達顯著差異，表示葉蟎的織網能提供卵較好的保護，使得卵存活率提升；在室內織網實驗，環境單純無其它天敵，能了解織網對於捕植蟎防禦的成效，結果顯示是否織網對於捕植蟎(體型小)而言無太大差別。

(三) 織網功能~移動與遷徙

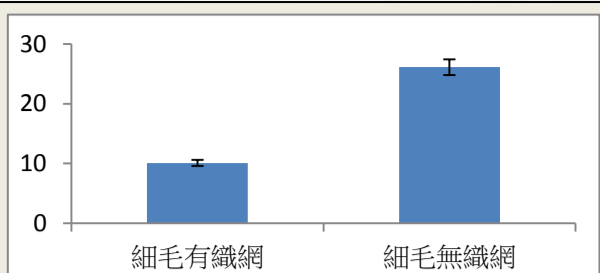


圖 23a 織網對葉蟬移動影響 (單位 sec/1cm)

葉毛間吐絲織網，類似搭橋，移動容易

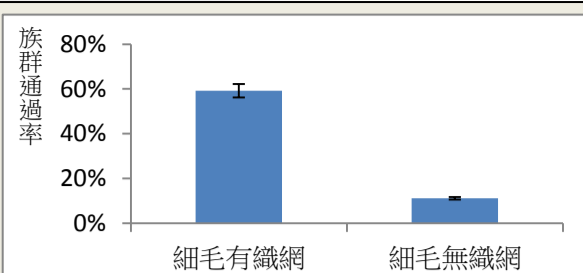


圖 23b 織網對葉蟬族群遷徙影響 (5分鐘內)

葉蟬於葉毛或莖細毛織出複雜網方便遷徙



(四) 特別型態~蟻球

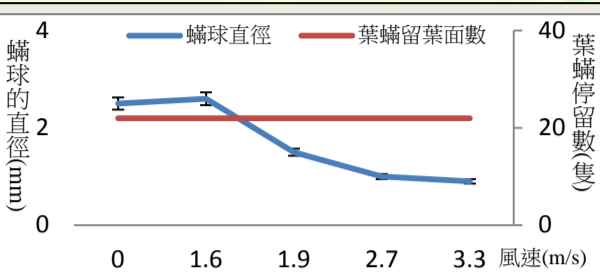


圖 24a 不同風速下，織網蟻球與葉面蟲數

織網上 1.9m/s 會造成族群擴散的風速，並不會造成葉面上葉蟬數量減少

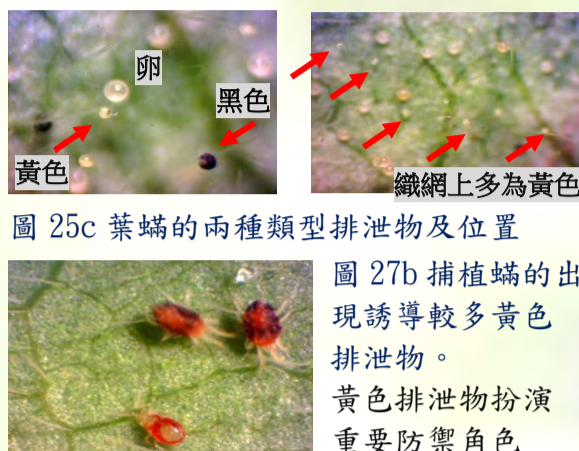


圖 25c 葉蟬的兩種類型排泄物及位置

圖 27b 捕植蟬的出現誘導較多黃色排泄物。黃色排泄物扮演重要防禦角色

四、探討神澤氏葉蟬以排泄物作為禦敵的行為

(一) 神澤氏葉蟬的排泄物類型及位置

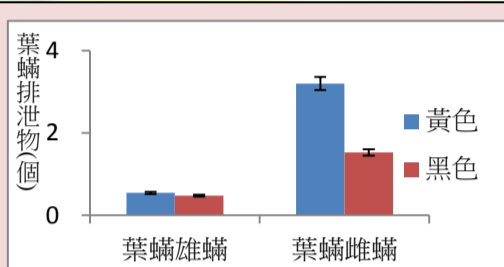


圖 25a 不同性別葉蟬，每日排泄物量

雌雄皆會產生黃、黑兩種排泄物(雌蟬的黃黑比約 2:1)，雄蟬數量明顯較少

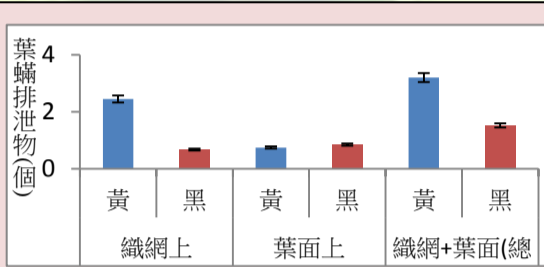


圖 25b 不同位置，雌蟬不同類型排泄物

(二) 不同排泄物對捕植蟬捕食卵影響

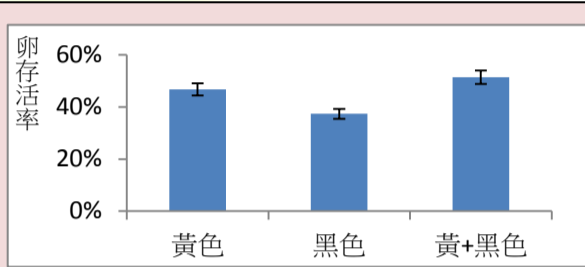


圖 26a 不同類型排泄物的卵存活率

黃色排泄物的存在，能降低捕植蟬的捕食率

(三) 不同類型排泄物碰觸及新鮮程度對捕植蟬捕食卵影響

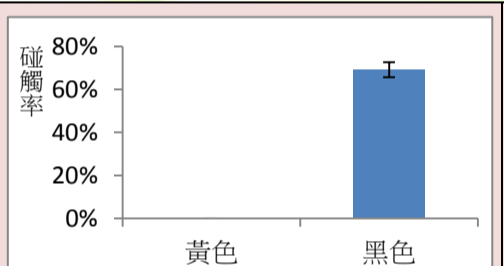


圖 26b 捕植蟬碰觸不同排泄物比例

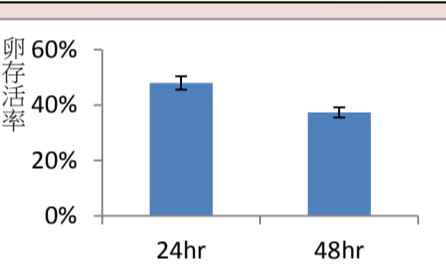


圖 26c 黃色排泄物下之卵存活率

(四) 捕植蟬是否誘導葉蟬排泄物類型的改變

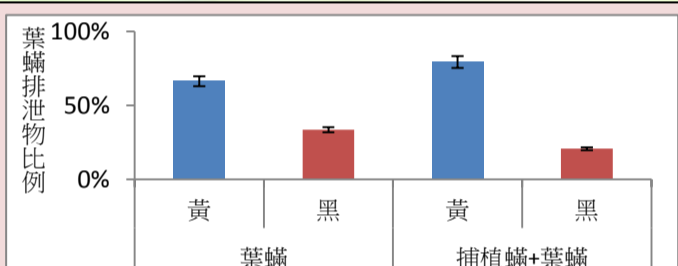


圖 27a 有無捕植蟬，葉蟬排泄物種類所佔的比例

捕植蟬可能因黃色排泄物氣味而不碰觸；隨著時間，黃色排泄物逐漸乾癟縮小，防禦能力隨之下降。捕植蟬出現情形下，葉蟬排泄物總量沒有太大增加，將原本黃黑比(1.97:1)轉為(3.8:1)，藉提高黃色排泄物量、降低黑色來進行防禦

陸、討論與結論

「葉蟬」在台灣對經濟作物造成危害的情形時有所聞，不僅僅在花卉作物上、果樹上，甚至豆科植物上都有災情紀錄。因其生活史短及繁殖迅速，對多種化學農藥容易產生抗藥性，致使防治困難。近年來使用捕植蟬做為生物防治的選擇，用來抑制葉蟬有收到部分的成效。然而，「神澤氏葉蟬」與「溫氏捕植蟬」的生活史，還有兩者間的捕食細節以及交互關係等等，相關文獻探討相當有限。為了進一步瞭解當中的微妙，我們進行了系列實驗以探討，實驗結論整理如下：

1. 神澤氏葉蟬及溫氏捕植蟬的相關比較：

	成蟬體型	葉蟬 vs 捕植蟬	卵至成蟬時間	不同階段時期	總產卵量
神澤氏葉蟬	雌 > 雄	雌蟬較大 0.42±0.041mm	較長(9.5 天)	成蟬最長(8.9 天)	較多(35.6±1.1 個)
溫氏捕植蟬	體長：雌雄接近 體寬：雌 > 雄	雌蟬較小 0.38±0.01mm	較短(8 天)	成蟬最長(13.9 天) 存活較久進行捕食	較少(18.8±0.8 個)

2. tracker 軟體分析移動，顯示捕植蟬的搜索行為有可能是隨機發生。

3. 捕植蟬在幼蟬僅會捕食葉蟬卵及幼蟬，捕植蟬成蟬則會捕食所有不同階段葉蟬，雌雄蟬的捕食量相近。雌雄捕植蟬皆是以卵作為其優先捕食來源，其次則是幼蟬、若蟬及雄、雌蟬，捕食順序可能與葉蟬的體型大小有關(圖 28)。1 隻捕植蟬雌蟬，一個世代平均約捕食 128.4 個卵，遠大於 1 隻雌葉蟬總產卵數(35.6 個)。

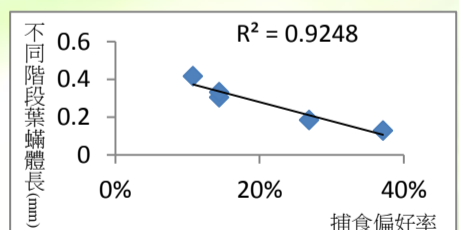


圖 28 捕植蟬捕食與葉蟬體型大小

4. 捕植蟬捕食葉蟬雌、雄蟬後，背側出現紅色斑紋。取食次數增加，紅色愈鮮明。

5. 葉蟬成蟬開始吐絲織網，幼蟬及若蟬期不會。觀察到這個階段蟬會在成蟬於葉毛間織網下生活。

6. 野外校園環境下的卵存活率以有織網組較好。葉蟬織網提供卵較好的保護，被天敵捕食率降低。

7. 在室內織網實驗(天敵為捕植蟬，體型較葉蟬小)，有織網組及無織網組的卵存活率差異不大。

8. 移動上，無織網組速度明顯較有織網組慢許多；織網會使單隻移動與大批族群遷徙皆方便許多。

9. 食物短缺時，葉蟬會於織絲網上集成蟻球，當被風吹散，整群隨風擴散到更遠的區域。圖 29 戶外織網組其它天敵

10. 雌雄葉蟬皆會產生黃色及黑色兩種排泄物，雄蟬排泄物的數量明顯較少(黃、黑分別為 0.54、0.48 個/天)，雌蟬則為 3.20、1.53 個/天。在織網上的黃色排泄物(2.45 個/天)較黑色(0.67 個/天)的高。

11. 黃色排泄物的存在，可能降低捕植蟬的捕食率，實驗顯示捕植蟬不會碰觸黃色排泄物。織網上有黃色排泄物組別，卵存活率為 46.67%，僅有黑色及黃+黑色(控制組)，分別為 37.31%、51.31%，越新鮮黃色排泄物有較好的防禦能力。

12. 在捕植蟬出現的情形下，葉蟬排泄物的黃黑比(1.97:1)轉為(3.8:1)，藉由提高黃色排泄物的比例來提高卵存活率，顯示葉蟬在生存壓力出現時，能利用出人意料的排泄物轉換類型來進行防禦。

柒、參考資料

- 牛淳權、陳明廣(2011)。剋「蟬」！天敵立大功！。中華民國 51 屆中小學科學展覽作品
- 張元瀚(2013)。初探葉蟬。全國中學生小論文網站，取自 ww.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420372694
- 施佳姩(2016)。蟬天鋪地葉枯盡—非農藥“冰鎮雞尾酒”防治法。中華民國 55 屆中小學科學展覽作品