

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030318

以「隱」制蟎~探討二點葉蟎在食物缺乏及天敵
出現下的生存策略

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國二 林家葳 國二 林禹安 國二 金亞臻	指導老師： 蘇育弘 李冠徵
---	-----------------------------

關鍵詞：二點葉蟎、黃角小黑隱翅蟲、捕植蟎

摘要

校園葉上的二點葉蟥，對同時出現的兩種天敵(小黑隱翅蟲幼蟲、捕植蟥)，有什麼特殊的生存策略？除了繁殖快、生活史短之外，雌蟥在食物短缺或族群密度過高時，常於植株高處主導蟥球形成，以利擴散。蟥球分為可移動外層及不可移動內層，外層以若蟥(多發展為雌蟥)為主。雌蟥到新環境會主導聚集行為產生，並能感測到環境天敵氣味或天敵出現，加強聚集行為以提升存活率。二點葉蟥的織網行為顯著降低隱翅蟲幼蟲捕食卵的能力(降低 31%)，但無法以此防範體型較小的捕植蟥。二點葉蟥的排泄物具有降低捕植蟥捕食卵的能力，同時吸引大型天敵隱翅蟲幼蟲的前來，優先捕食捕植蟥，使二點葉蟥在兩種天敵存在環境下，存活率反而升高，真是令人驚嘆的生存策略。

壹、研究動機



圖 1 戶外二點葉蟥與兩種天敵

校園植物出現了二點葉蟥這種害蟲，除了二點葉蟥之外，我們也觀察到同時出現的兩種天敵(圖 1)，在請教老師及查閱相關圖鑑後，了解天敵分別是體型較大的黃角小黑隱翅蟲及體型較小的捕植蟥。

過一陣子再去觀察，令人驚奇的是捕植蟥竟然消失無蹤，只剩下二點葉蟥和天敵隱翅蟲幼蟲，更令人納悶

的是二點葉蟥的族群似乎也沒有減少太多，這不禁引起我們的好奇心，二點葉蟥在兩種天敵的夾擊下，竟然還有辦法生存，這個看似弱小的葉蟥是否有著不為人知的秘密呢？為了解答這個疑問，我們開始進行葉蟥的飼養，過程中發現二點葉蟥會聚集成顆顆球狀物，這些蟥球的組成與發生是什麼呢？此外，在天敵隱翅蟲幼蟲出現之下，葉蟥會有聚集及排泄物的行為發生，這會是獨特的生存方式嗎？最後，我們更想知道一開始觀察到的二點葉蟥與兩種天敵間的互動，是否有著令人驚奇的生存策略？



圖 2a 黃豆葉被葉蟥危害



圖 2b 二點葉蟥吸食葉片

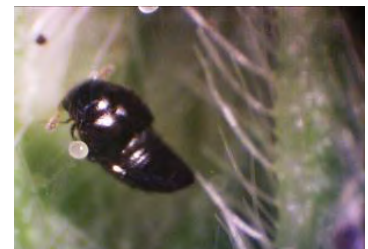


圖 2c 天敵~小黑隱翅蟲成蟲

貳、研究目的

- 一、觀察並建立二點葉蟬的生活史
- 二、探討食物缺乏下的蟬球發生機制
- 三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為
- 四、探討二點葉蟬對不同天敵的生存策略

參、研究器材與設備

二點葉蟬食性複雜，能吸食相當多作物，為了方便飼養與觀察，我們使用葉子較小的黃豆種植來進行培養(圖 4a)。除了室內飼養之外，同時於戶外進行飼養以觀察天敵出現(圖 4b)，並設立養蟲籠環境飼養二點葉蟬，避免天敵小黑隱翅的飛入。

在觀察記錄器材方面，由於葉蟬體型微小，成蟬約 0.3~0.45mm，肉眼勉強可見，而若蟬及幼蟬約 0.1~0.3mm，無法用肉眼分辨，因此我們利用解剖顯微鏡連接電子目鏡來進行觀察，除記錄葉蟬型態外，並觀察與天敵間的互動行為模式(圖 5a)。此外，二點葉蟬在葉子快枯萎時會聚集形成蟬球，我們也利用攝影機架設圖(5b)，來觀察蟬球形成的過程。

一、二點葉蟬飼養環境與生活史：

黃豆種子、培養土、花盆、室內 LED 燈泡(光週期 12/12)、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、細毛筆、計數器(計算蟬數量)

二、蟬球發生與天敵下的互動策略

攝影機、腳架、小盆栽、IMAGE J 軟體、相機、方格紙、細毛筆、烤肉用長竹籤



圖 4a 種植黃豆，飼養二點葉蟬



圖 4b 戶外環境(設置兩處)，觀察天敵



圖 5a 以顯微鏡連接電子目鏡觀察



圖 5b 架設攝影機，記錄蟬球形成

肆、研究過程及方法

一、觀察並建立二點葉蟎的生活史

(一)二點葉蟎與天敵簡介及文獻探討

二點葉蟎(*Tetranychus urticae*)，遍及全台的害蟲，危害範圍廣泛，農委會動植物防檢局資料顯示，台灣約 15 科 36 種農作物受其危害，包含豆類、瓜類、玫瑰、蘋果、梨、木瓜等。

小黑隱翅蟲(*Oligota flavicornis*)，蟎類重要天敵之一，何琦琛(2002)研究指出卵至成蟲發育期約 13~16 天，對蟎的食量頗大，幼蟲期每日約可取食約 100 顆卵，捕食效率較其它蟎類天敵好，有發展為生物防治潛能，但目前尚未有生物防治相關產品。

溫氏捕植蟎(*Amblyseius womersleyi Schicha*)，台灣對葉蟎重要的生物防治物種，與小黑隱翅蟲不同的是，捕植蟎的實際應用已有一定的規模，但目前尚未能人工大量繁殖。

二點葉蟎對農業造成相當危害，防治害蟲為首要的立場，關於二點研究多偏向防治方式及成效的探討，關於生存行為及對天敵的互動模式的報告並不多見。飼養發現的蟎球聚集，在農委會資料中有提及，但蟎球的組成與形成原因目前尚無相關資料，此外，在戶外飼養出現的天敵小黑隱翅蟲及捕植蟎，文獻中也少見二點葉蟎面對天敵的行為模式。綜合以上，我們決定由二點葉蟎的生活史觀察，接著探討二點葉蟎生存策略，食物缺乏下的蟎球怎麼發生，組成結構又是如何？天敵出現下，二點葉蟎聚集與排泄物行為對生存的意義是什麼？最後，同時出現的天敵捕植蟎與小黑隱翅蟲，與二點葉蟎間的互動關係又是什麼呢？讓我們一起探索這些小生物在生命舞台的微妙互動。



圖 6a 二點葉蟎雌蟎與卵



圖 6b 天敵小黑隱翅蟲幼蟲



圖 6c 天敵捕植蟎雌蟎

(二)飼養環境

為了方便觀察與進行實驗，我們選取葉子面積較小的黃豆來作為飼養材料，並在試驗所研究員(圖 7a)的協助下，取回大量的二點葉蟎進行繁殖。為誘引天敵出現，我們將已感染的

黃豆葉盆栽移至戶外，嘗試吸引天敵前來，並每日檢視葉片(圖 7b)。相關飼養如下：

1. 二點葉蟬：分別於室內、戶外以黃豆葉進行繁殖。葉子枯黃適時補充以維持族群量。
2. 小黑隱翅蟲：戶外飼養環境出現，將幼蟲取回，以細毛筆刷於培養皿內以二點飼養。
3. 捕植蟬：戶外養蟲籠內出現(7c)，取回室內以二點葉蟬飼養。



圖 7a 試驗所取大量二點繁殖



圖 7b 檢視戶外是否出現天敵



圖 7c 捕植蟬可進入戶外養蟲籠

(三)觀察及實驗設置

文獻查詢了解葉蟬及捕植蟬均怕水，實驗操作均在培養皿(8a)中進行。較大型天敵小黑隱翅蟲幼蟲，在生存條件不良如食物缺乏，能在濕濾紙上爬行，將培養皿置於水盆內(圖 8b)。



圖 8a 黃豆葉置於濕濾紙限制蟬行動



圖 8b 培養皿置水盆避免隱翅幼蟲爬走

(三)葉蟬生活史建立

為了解不同階段的型態特徵，並能在接下來的蟬球及生存策略實驗方便辨識及操作，我們由生活史的建立開始觀察記錄不同齡期特徵，並同時計算產卵量。

1. 同日齡與生活史：為了使卵由同一日(24hr 內)孵出，選取同日齡卵。挑選雌蟬 10 隻置於新鮮黃豆葉，24hr 後將雌蟬移除，僅留卵，並選取 12 顆作為記錄用，即為同日齡。開始計算各齡期(卵-幼蟬-若蟬-雌雄蟬)的生長日數，以建立在黃豆飼養生活史(N=12)。
2. 型態觀察：自行繪製不同時間的二點葉蟬外部特徵，並以電子目鏡拍照測量，分別量測體長及體寬等基礎資料。天敵小黑隱翅蟲、捕植蟬的體長、體寬也一併測量記錄。
3. 雌蟬產卵數：將同日齡培養生長至雌蟬，選取 10 隻，置於新鮮黑豆葉上計算每日產卵數及總產卵量，並移除已孵化之幼蟬避免影響。

二、探討食物缺乏下的蟎球發生機制

飼養二點葉蟎過程，發現葉子逐漸黃化，會有蟎大量聚集形成球狀物。我們試著由環境中蟎球開始，了解蟎球組成與結構，接著設計蟎球形成裝置，探討發生機制與形成蟎球可能原因。

(一)蟎球的型態與組成

1. 觀察形成蟎球的分佈位置類型.

- (1) 於室內飼養環境，將二點葉蟎感染黃豆葉後，每日持續觀察。
- (2) 記錄形成的蟎球在黃豆葉上或葉間(圖 9a)的分佈位置(N=29)。

2. 探討蟎球組成結構

- (1) 選取飼養於室內環境形成的蟎球，並以細毛筆將蟎球下方蟎刷離，剪下含蟎球葉片。
- (2) 將蓋玻片置於濕濾紙的培養皿中，讓蟎球上的蟎由玻片爬下(圖 9b)。
- (3) 將蓋玻片夾起置於黃豆葉，待葉蟎全數移至黃豆葉，於顯微鏡下分別計算不同階段、性別的葉蟎數量(N=8)。將留於蟎球內無法移動蟎，觀察結構並計算內層包覆數量。
- (4) 計算組成蟎球的不同階段蟎的比例，並繪製蟎球結構示意圖。



圖 9a 記錄形成蟎球的位置



圖 9b 將蟎球葉片置於蓋玻片上



圖 9c 尺規拍攝記錄蟎球大小

3. 探討蟎的數量與蟎球大小關聯

- (1) 選取室內飼養形成蟎球的葉片，將尺規置於形成之蟎球旁進行拍攝記錄(圖 9c)。
- (2) 利用 IMAGE J 軟體計算拍攝蟎球體積。(N=8)
- (3) 同時計算蟎球外層可移動的蟎數量。

4. 探討蟎球外層若蟎發展的性別比

在初步進行蟎球的觀察後，我們發現若蟎佔了很大的比例，由研究一的生活史中了解若蟎是無法分辨性別的，因此進行持續飼養以了解發展性別。

- (1) 將取下的蟎球外層蟎，轉移感染新鮮的黃豆葉。
- (2) 計算蟎球若蟎的數量，每日觀察記錄生長至成蟎後的性別，並求得性別比(N=8)。

(二)探討蠨球形成的可能原因

在了解飼養形成蠨球的組成與結構，接著我們設計蠨球形成實驗裝置來探討形成可能原因。

1. 向上特性的探討

蠨球分佈類型的實驗中，發現蠨球大多分佈上較靠近頂端的位置，這和向上特性有關嗎？

- (1) 將烤肉竹籤置於裝水燒杯中，逐一將不同階段蠨(雌雄若)以細毛筆置於中央(圖 10a)。
- (2) 記錄蠨向上或向下比例，蠨移動後以毛筆挑走，並擦拭竹籤。(N=10，三重覆平均)



圖 10a 細毛筆將蠨置於竹籤



圖 10b 自行設計蠨球形成裝置



圖 10c 將雌雄蠨刷於蠨球裝置

2. 蠨球可能形成的順序

- (1) 取栽種黃豆形成第一對本葉的植株，置於紅色小盆栽中，剪去一片葉(選取大小相近)，以釣魚線將莖固定竹籤上(圖 10b)，每日留意頂芽生長情形，若有長出則以剪刀剪下。
- (2) 將雌、雄蠨各 30 隻，置於黃豆葉(圖 10c)，每日觀察並架攝影機拍攝蠨球形成順序。

3. 探討食物缺乏或是密度過高對蠨球形成的影響

- (1) 設立食物缺乏與密度高低組別如下：

食物缺乏與否	新鮮綠葉組	葉片黃化組	新鮮綠葉組	葉片黃化組
族群密度高低	雄：雌=15：15 (共 30)		雄：雌=30：30 (共 60)	

- (2) 將上表 30、60 組別分別置於綠葉、黃化組上。感染葉片後，每日觀察竹籤頂端，待開始有聚集形成蠨球時，記錄形成天數。(新鮮綠葉、黃化組，N=2，二重覆取平均)



圖 11a 探討食物對蠨球形成影響



圖 11b 蠨球形成裝置實驗情形

三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為

蟎球形成，是食物短缺下二點葉蟎生存策略，在戶外環境，出現天敵小黑隱翅蟲幼蟲，顯微鏡觀察，發現蟎的個體距離明顯縮短，且卵的周遭有為數不少的排泄物，聚集與排泄物會是二點葉蟎面對威脅的生存策略嗎？

(一)天敵出現下的聚集行為

1. 新環境下，不同階段蟎聚集的個體距離比較

- (1) 將不同階段的蟎(幼、若、雌、雄)，各取 20 隻，分別置於 1x1cm 黃豆葉上(圖 12a)。
- (2) 於 5、15、30 分鐘，電子目鏡拍照，以測量軟體測量蟎與蟎間個體距離，若個體距離超過電子目鏡可量測範圍(2.1mm)則以 2.1mm 記錄。(不同階段蟎，N=10，三重覆)



圖 12a 不同階段蟎刷於葉上



圖 12b 雌蟎是否縮短個體距離



圖 12c 凡士林固定蟎避免聚集

2. 探討雌蟎對聚集的個體距離影響

- (1) 探討雌蟎對個體距離的影響(圖 12b)，即分為雄若幼蟎組、雌雄若幼蟎組。
- (2) 分別於 5、15、30 分鐘，以上述記錄方式進行測量。

3. 探討聚集對生存的意義

- (1) 天敵的氣味與幼蟲對聚集的影響：取回小黑隱翅蟲幼蟲，置於 1x1cm 黃豆葉上爬行(圖 12b)，1 小時後幼蟲移除。置雌蟎 20 隻，於 15 分鐘時測量個體間距離；另外將隱翅幼蟲置於黃豆葉，1 小時後置入 20 隻雌蟎，15 分鐘時測量個體間距離。(三重覆平均)
- (2) 聚集對蟎存活率的影響：將雌蟎各 10 隻，置於自然狀態下的聚集組與非聚集組，非聚集組以凡士林將雌蟎平均分散固定葉上(圖 12c)，置入隱翅蟲幼蟲，另外設立凡士林無幼蟲空白組，分別計算 1 天後存活率。(三重覆平均)

(二)天敵出現下的排泄物行為

1. 雌雄蟎排泄物的數量、分佈及與卵的相對位置

- (1) 在 1x1cm 的葉片上，各放入雌雄蟎 10 隻，一天後計算雌雄蟎排泄物的數量。

(2) 將雌蟻 10 隻置於葉片上，3 天後計算黃、黑排泄物的位置及與卵之距離。(三重覆)

2. 探討排泄物對生存的意義

(1) 天敵的氣味與幼蟲對排泄物排放時間影響：取回小黑隱翅蟲幼蟲，將幼蟲置於 1x1cm 葉片上爬行 1 小時後移除，並逐一置入雌蟻共 10 隻，記錄每隻雌蟻排放排泄物的時間與種類。幼蟲實驗為置入 1 小時後無移除，計算方法同上。(三重覆平均)

(2) 排泄物對存活率的影響：將雌蟻 20 隻置於 1x1cm 葉片上，1 天後移除雌蟻及絲，將黃色及黑色排泄物保留，另設對照組為無排泄物僅有卵，卵數約為 100 個。分別置入幼蟲，1 天後計算有無排泄物對卵的存活率。(三重覆平均)

四、探討二點葉蟻對不同天敵的生存策略

排泄物初步結果，隱翅蟲幼蟲會追尋二點排泄物來取食卵，這與文獻中提及的神澤氏葉蟻會利用排泄物來防禦捕植蟻明顯不同，二點葉蟻在面對隱翅蟲及捕植蟻的策略是什麼？

(一)探討織網與排泄物對不同天敵的防禦能力

1. 葉蟻的織網具有防禦能力。設立實驗如右表
2. 加入天敵，1 天後計算存活率。(三重覆)

天敵條件	探討防禦條件		
隱翅蟲 幼蟲	僅有卵	卵+排	卵+排+網
捕植蟻	僅有卵	卵+排	卵+排+網

註：卵數約 100 個。排泄物、網為雌蟻產生後處理成各組條件。

(二)探討天敵小黑隱翅蟲幼蟲的取食偏好

1. 將捕植蟻及葉蟻分別以凡士林固定後，分為有排泄物組及無排泄物組(圖 13a)。
2. 於葉子中間，置入隱翅蟲幼蟲，1 天後計算捕植蟻及葉蟻存活率。(三重覆平均)

(三)探討二點在天敵隱翅蟲幼蟲與捕植蟻下的生存能力

1. 設立有無隱翅蟲幼蟲來探討對葉蟻的存活率影響。兩組葉片均先置於雌蟻 20 隻 1 天後，再分別加入 2 隻捕植蟻，一組移入隱翅蟲幼蟲。(圖 13b)
2. 1 天後，分別計算 2 組的葉蟻存活率。(三重覆平均)

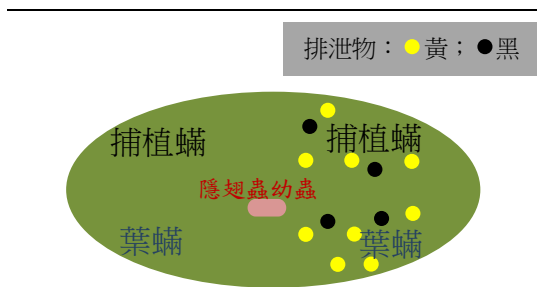


圖 13a 隱翅蟲幼蟲取食偏好示意圖

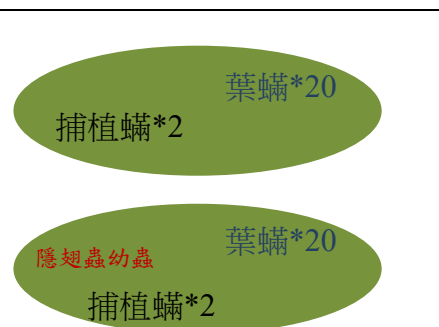


圖 13b 隱翅幼蟲、捕植蟻、葉蟻示意圖

伍、研究結果

一、觀察並建立二點葉蟎的生活史

二點葉蟎為台灣農作物重要的害蟎，食性廣泛。我們利用常見的黃豆葉作為二點葉蟎的食物來源，以同日齡來進行生活史的建立，並自行繪製不同階段葉蟎的外部型態特徵，並計算雌蟎的產卵量，以方便進行接下來相關生存策略的型態辨識。

(一)分類地位

節肢動物門 - 蛛形綱 - 恙蟎目 - 葉蟎科 - 葉蟎屬 - 二點葉蟎

Arthropoda - Arachnida – Trombidiformes – Tetranychidae – Tetranychus - T. urticae



圖 14a 蛛形綱的葉蟎具織網的能力

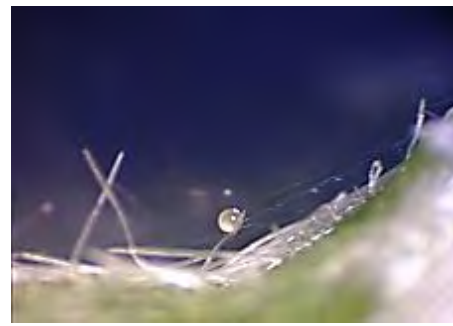


圖 14b 密集織網保護生存其中的卵

(二)二點葉蟎的生活史

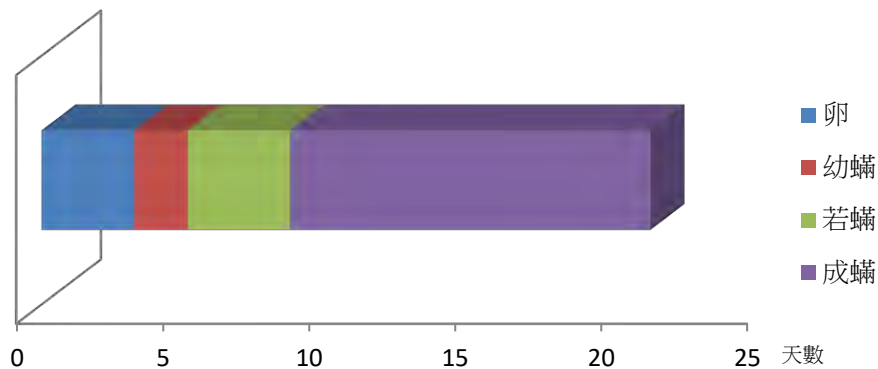


圖 15 二點葉蟎不同階段生活史(N=6)

二點葉蟎在黃豆葉上的生活史記錄，以幼蟎的生長所需最短的時間，而成蟎最長。由卵至成蟎僅需約 8.5 天，再加上二點葉蟎的產卵數驚人，能在短時間內大量孵出，快速成長而具有繁殖能力。二點葉蟎的生活史日數如下表：

卵	幼蟎	若蟎	成蟎	總天數
3.16±0.75 天	1.8±0.71 天	3.5±1.03 天	12.6±1.31 天	20.83±1.67 天

(三)二點葉蟎不同階段外觀與型值


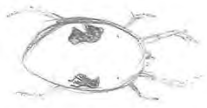
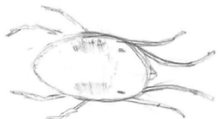
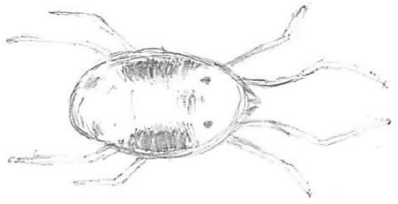
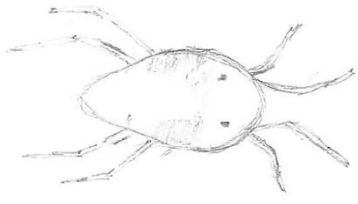
卵		幼蟎		若蟎	
					
型態	圓形，孵化前有 2 紅點	型態	6 隻腳，背側 2 斑點	型態	8 隻腳，背側淡斑點
大小	長 $0.12 \pm 0.003 \text{mm}$	大小	長 $0.22 \pm 0.08 \text{mm}$ 寬 $0.12 \pm 0.04 \text{mm}$	大小	長 $0.33 \pm 0.03 \text{mm}$ 寬 $0.22 \pm 0.03 \text{mm}$
雌成蟎			雄成蟎		
					
型態	尾部較圓，近尾部及背側有 2 斑點		型態	尾部較鈍、體色較淡、背側淡斑點	
大小	長 $0.48 \pm 0.05 \text{mm}$ 寬 $0.34 \pm 0.04 \text{mm}$		大小	長 $0.31 \pm 0.05 \text{mm}$ 寬 $0.21 \pm 0.04 \text{mm}$	



圖 16a 二點葉蟎卵



圖 16b 二點葉蟎幼蟎(6 腳)



圖 16c 二點葉蟎若蟎



圖 16d 二點葉蟎雌蟎



圖 16e 二點葉蟎雄蟎

(三)二點葉蟎雌蟎產卵量

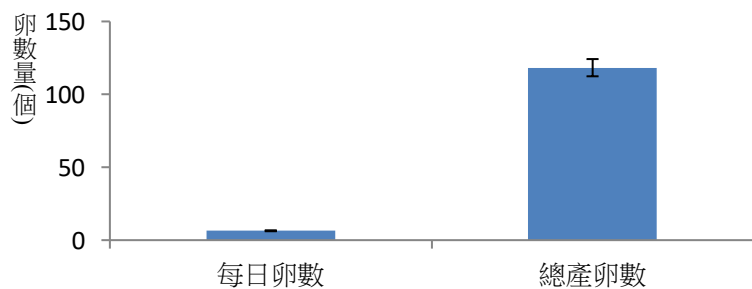


圖 16f 二點葉蟎的每日產卵數及總產卵數

二點葉蟎的產卵量計算，每日平均產卵數為 6.42 ± 0.9 個；平均總產卵數為 118.28 ± 15.96 個。雌蟎一生的總產卵數驚人，族群量能於短時間之內大量發生。

二、探討食物缺乏下的蟻球發生機制

二點葉蟻在族群延續上，會面臨許多生存問題，例如食物缺乏或天敵。這個部分我們將探討食物缺乏下的特殊行為模式~蟻球。在飼養過程，除蟻球位置有所不同，奇特的是有些在黃化葉上，有些卻不是，不禁讓我們思考蟻球發生是否與食物或是族群密度過高有關呢？我們將這個部分分為蟻球的型態與組成以及蟻球成因探討。

(一)蟻球的型態與組成

1. 觀察形成蟻球的分佈位置類型

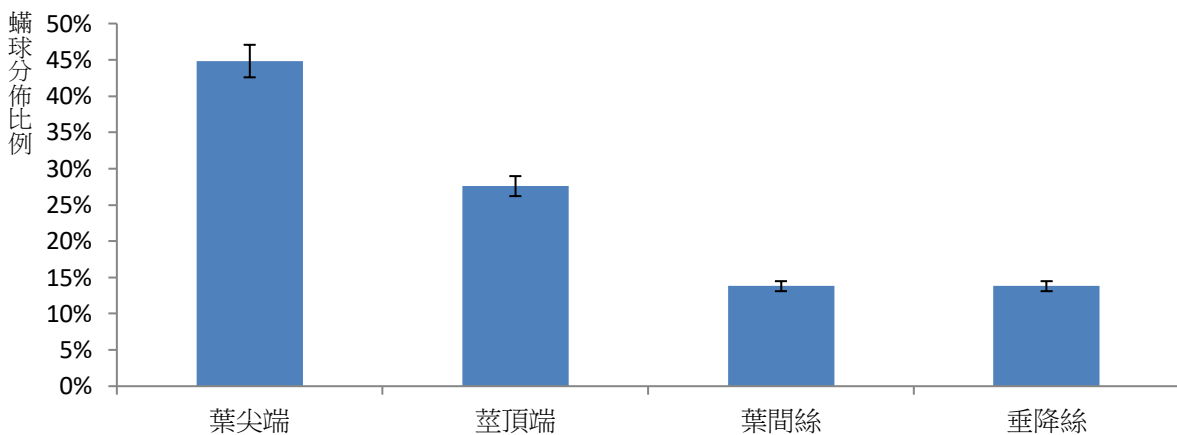


圖 17a 二點葉蟻形成蟻球的不同類型比例(N=29)

由環境中所觀察出蟻球形成類型，大致可分為 4 種，其中以在葉尖端所佔比例最高 (45.83%)、其次為莖頂端(28.59%)，葉間絲上及垂降絲的比例則較少。葉尖端及莖頂端所佔的比例 72.41%，顯示二點葉蟻在形成蟻球時會選擇向較高處來形成，可能與較易擴散有關。



圖 17b 蟻球在飼養環境中不同類型

2. 探討蟻球的組成結構

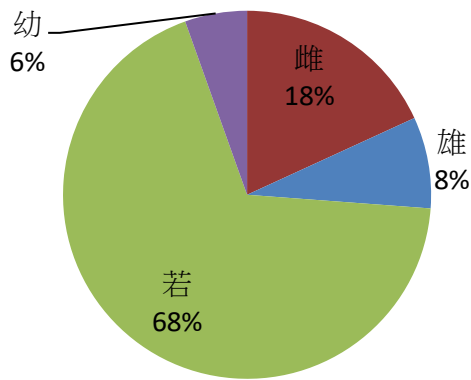


圖 18a 蟻球外層，不同階段蟻組成比例(N=311)

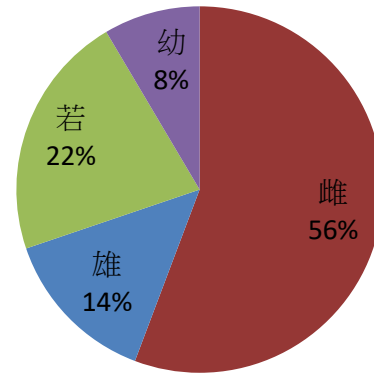


圖 18b 蟻球內層，不同階段蟻組成比例(N=76)

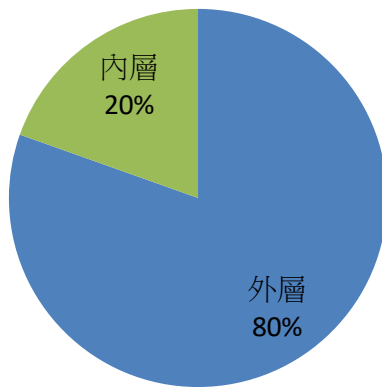


圖 18c 蟻球內外層，蟻的數量比例(N=387)

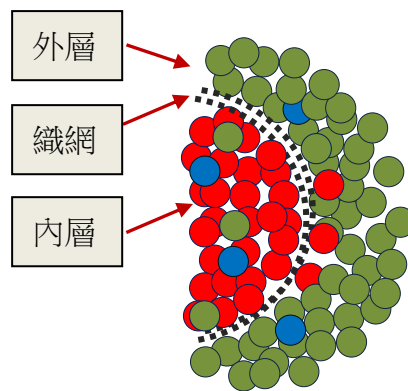


圖 18d 蟻球分層示意圖 ● 雌蟻；● 雄蟻；● 若蟻

將蟻球的結構取下觀察，發現蟻球的結構分為兩層，分別為可移動的外層、不可移動被網包覆的內層(圖 18d)。在外層的組成上，以若蟻所佔的比例最高(68%)，這是令人感到好奇的結果，原本預期會以雌蟻為主，因蟻球在食物缺乏下出現，需擴散繁殖。內層為蟻球發動者或集結者的角色，被網包覆導致無法離開，在蟻球的形成上佔了非常重要的角色，但形成蟻球後卻無法離開，經處理後檢視，以雌蟻佔大多數，這可能與雌蟻為蟻球的發動者有所關聯，待接下來的部份討論。蟻球內外層的比例約為 1：4，以外層所佔較多，擴散數量也較多。

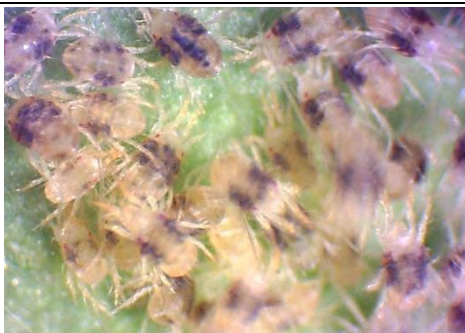


圖 18e 蟻球外層，取下之大量若蟻

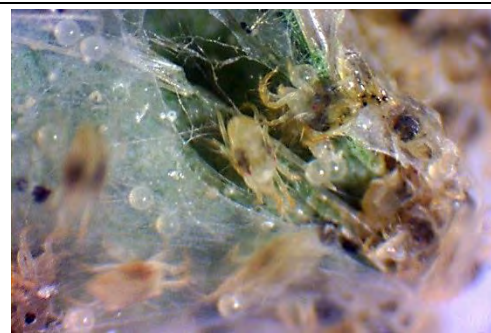


圖 18f 蟻球內層蟻被網包覆

3. 探討蟻的數量與蟻球大小關聯

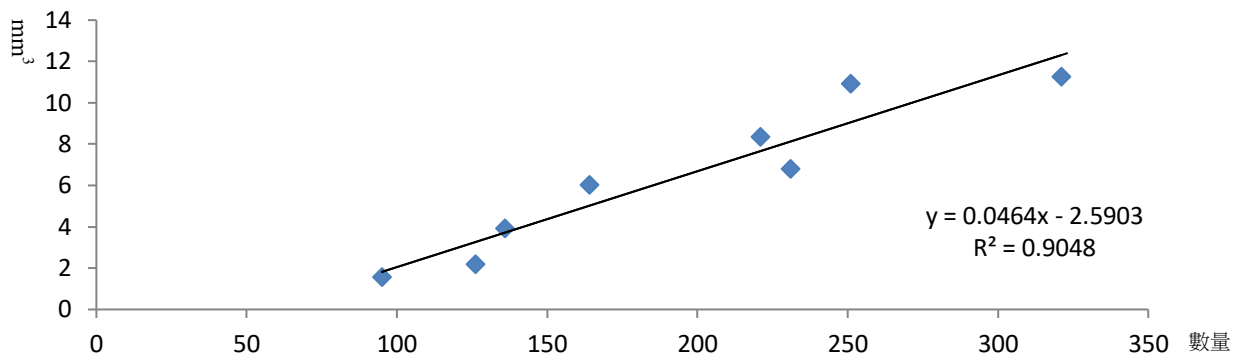


圖 19 蟻球外層蟻的數量與蟻球體積關聯

我們利用 IMAGE J 軟體來進行蟻球體積的量測，並計算可移動的外層蟻數量。結果顯示當外層蟻球的蟻數量愈高時，所形成的蟻球體積愈大，呈正相關($r^2=0.90$)。由此結果可大致推測，飼養環境或田野間，觀察到的蟻球體積與大約形成數量。

4. 探討蟻球外層若蟻發展的性別比

由上述蟻球組成的結果，了解蟻球外層以若蟻為主，若蟻尚無法分辨性別，我們將蟻球外層的若蟻持續培養，以了解性別比。

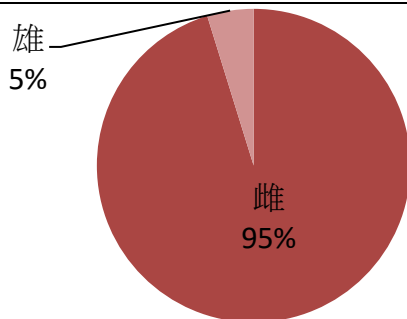


圖 20 蟻球外層若蟻，發展性別比例(N=150)

由蟻球外層若蟻持續飼養觀察的結果，將近 95% 的若蟻會變成雌蟻，這顯示這些若蟻在蟻球擴散至新環境時，能產卵使得族群得以迅速擴張。經觀察，蟻球的形成與消退約 2~3 天，這也是若蟻大致的維持時間，將來能形成雌蟻的若蟻，在蟻球的組成角色扮演重要地位。



圖 21 不同外層蟻的數量使蟻球體積不同



圖 22 蟻球外層的若蟻，95%發展成雌蟻

(二)探討蟻球形成的可能原因

為了解形成蟻球的可能原因，我們由向上特性探討開始，自製蟻球形成裝置來進行。

1. 向上特性的探討

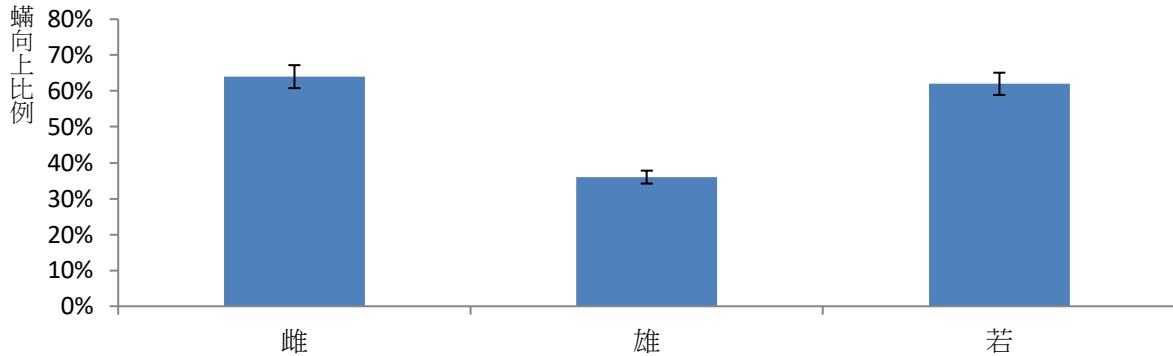


圖 23 不同階段蟻向上比例比較(N=10)

由蟻球的初步觀察，我們發現 72%(圖 17a)的蟻選擇較高的葉尖、莖頂端來形成蟻球，因此我們進行向上特性探討，以了解蟻球裝置的設立。結果顯示，雌蟻、若蟻於新環境選擇向上比例皆高於 60%，雄蟻則明顯較低，這可能與蟻球的組成有關(圖 18ab)。

2. 蟻球可能形成的順序

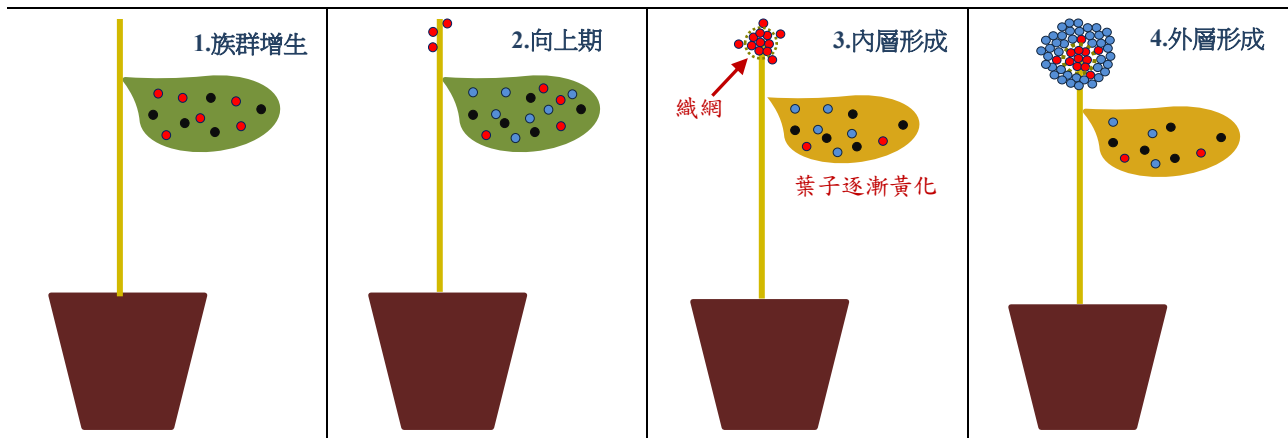


圖 24a 蟻球形成裝置上，蟻球形成順序 (註：● 表示雌蟻、● 表示雄蟻、● 表示若蟻)

為了解蟻球形成順序，以自製蟻球形成裝置並每日觀察，架設攝影機錄影。我們觀察後，將蟻球的形成順序分為以下 4 個階段：

- (1) 族群增生期：雌、雄蟻(共 60 隻)於綠葉上開始增生，此時食物充足，族群皆留於葉面上。
- (2) 向上期：約 10~12 天，此時族群數量大增，竹籤頂端有雌蟻向上來回爬動。
- (3) 內層形成：雌蟻聚集竹籤頂端，開始出現織網纏繞情形，將內層的雌蟻包覆。
- (4) 外層形成：雌蟻持續織網包覆內層，若蟻聚集在網外形成可移動的外層蟻球



圖 24b 雌蟻聚集在頂端



圖 24c 雌蟻織網包覆形成內層



圖 24d 若蟻大量聚集形成外層

3. 探討食物缺乏或是密度過高對蟻球形成的影響

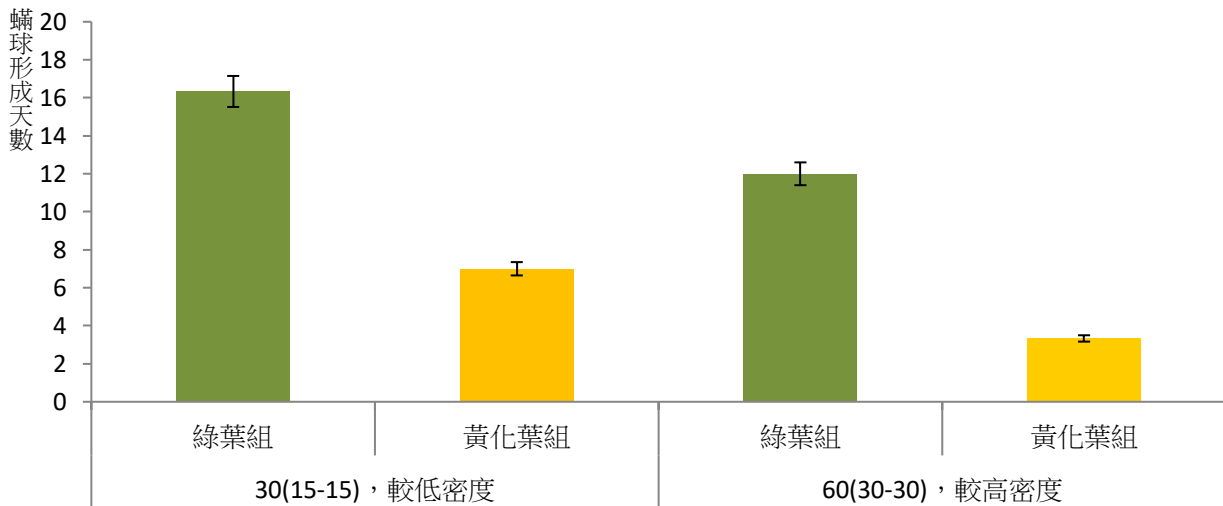


圖 25a 不同族群密度下，不同食物來源的蟻球形成時間

在探討蟻球可能形成的原因實驗結果，當食物較充足情形，此時高密度的綠葉組較低密度的綠葉組快形成蟻球(分別為 12、16.3 天)，在食物缺乏(黃化葉組)的結果也是如此，顯示當食物充足時，能在較短時間內形成蟻球的可能原因是族群密度，不管食物充足或缺乏。但當族群密度相同時(15 雌-15 雄組、30 雌-30 雄組)，都以缺乏食物的黃化葉組，能在較短時間內形成蟻球，這顯示當族群密度相同時，能在較短時間內形成蟻球的條件為食物是否充足。

這可能是我們在飼養環境中，所觀察到有些葉子還是綠色時，但族群密度過高就出現蟻球(圖 25b)，而有些葉子出現黃化時，可能因族群密度較低，較慢形成蟻球的原因(25c)。



圖 25b 葉子尚為綠色，形成蟻球



圖 25c 食物缺乏之黃化葉，才形成蟻球

三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為

在戶外飼養二點葉蟥葉上，發現肉眼可見的天敵~小黑隱翅蟲幼蟲。在顯微鏡下，二點葉蟥的個體距離似乎有縮短現象，且卵週遭有黃、黃兩種排泄物，這是二點特別的生存策略嗎？

(一)天敵出現下的聚集行為

為了解天敵出現是否會影響蟥的個體距離，這個部分我們由聚集的個體距離開始量測，接著探討雌蟥對個體距離的影響，最後則是探討縮短的距離的聚集，對生存的意義是什麼？

1. 新環境下，不同階段蟥聚集的個體距離比較

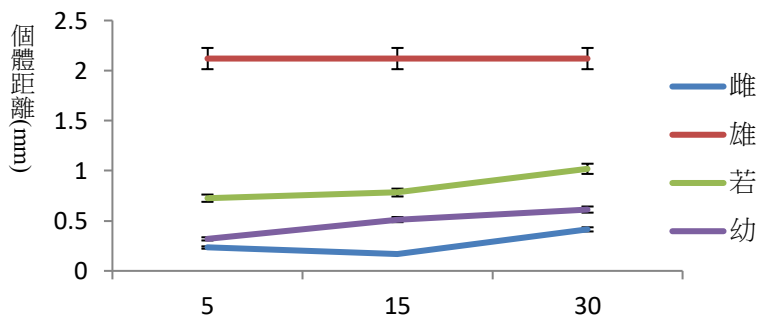


圖 26a 不同時間下，蟥的個體距離比較



圖 26b 雌蟥的個體距離最近

由於雄蟥在葉片上時常移動，個體間所能量測的距離超過電子目鏡可測量的範圍，因此以最大測量 2.1mm 作為記錄。結果來看，雌蟥隨著時間的增加，至 15 分時平均個體距離縮至最小(0.16mm)，接著逐漸增加，30 分後的距離漸漸拉大至電子目鏡無法測量。

2. 探討雌蟥對聚集的個體距離影響

雌蟥的個體距離最短，那雌蟥在聚集上所扮演的角色是什麼？

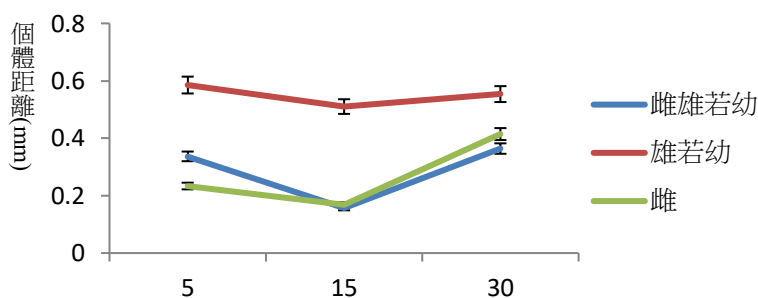


圖 27a 不同時間下，有無雌蟥對個體距離的影響



圖 27b 雌蟥會使個體間距離縮短

雌蟥對個體距離的結果，有雌蟥的組別較無雌蟥組別的個體距離明顯縮短，顯示雌蟥的出現可能會使群體之間彼此的距離縮小。隨著時間的延長，彼此間的距離逐漸拉大，取食葉的範圍也變大。在新環境下聚集的個體距離縮小，可能是二點葉蟥提高生存的策略。

3. 探討聚集行為對生存的意義

由前兩個實驗，我們知道雌蚜的個體間距離最小，又會使群體間彼此距離變小，此外在 15 分時有最小的個體距離，所以我們選取雌蚜及 15 分的時間點來探討對生存的意義。

(1) 天敵隱翅蟲幼蟲的氣味與出現對聚集的影響

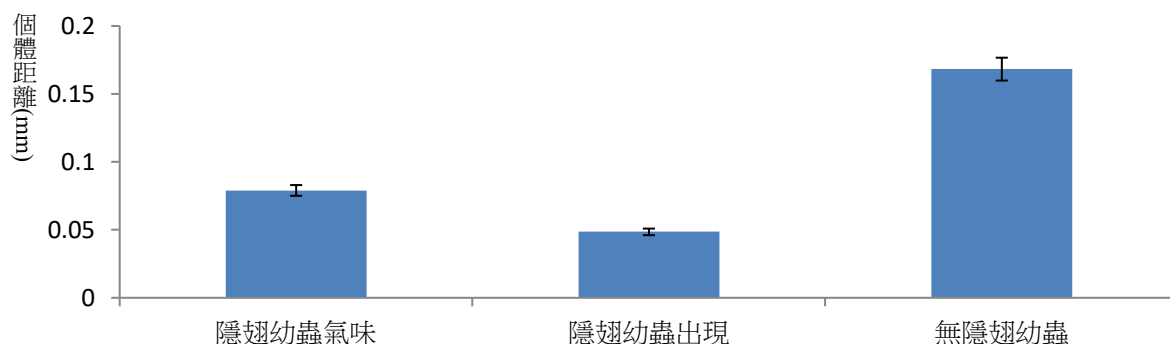


圖 28a 不同威脅等級(氣味、幼蟲出現)對雌蚜個體距離的影響

在不同威脅等級下，無幼蟲的控制組，雌蚜個體距離為 0.168mm，天敵幼蟲爬過、天敵出現的距離分別為 0.079、0.048mm。個體距離明顯變小，顯示雌蚜可能感測到環境天敵的氣味或是天敵出現，因而縮小間距。



圖 28b 隱翅蟲幼蟲使雌蚜間距縮短

(2) 探討聚集行為對生存的意義

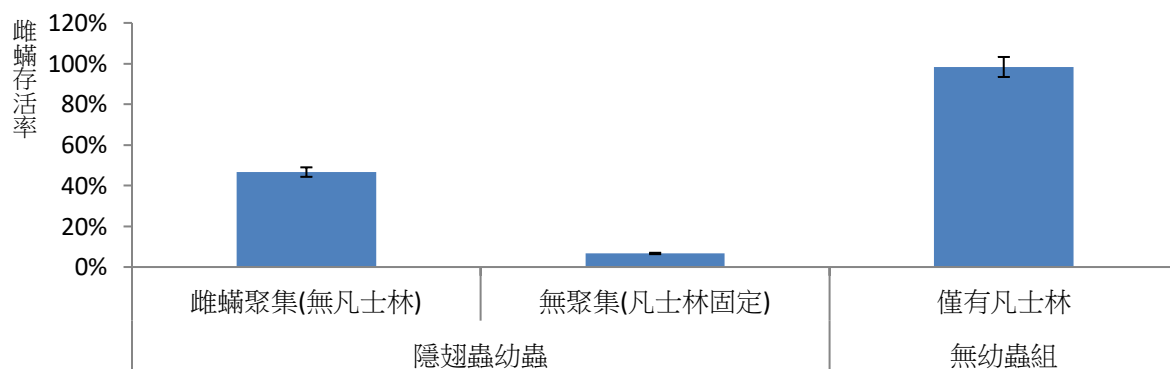


圖 29a 在天敵隱翅蟲幼蟲出現下，有無聚集對雌蚜存活率的影響

無幼蟲組僅有凡士林，了解凡士林是否影響雌蚜的存活率。結果來看，自然狀態雌蚜會發生聚集的組別，存活率為 46.67%，而無聚集的組別則為 6.67%，發生聚集的組別在存活率上明顯高於分散無聚集組。這顯示聚集不僅是距離的縮短，更能增加雌蚜在天敵下的存活率。



圖 29b 無聚集雌蚜被幼蟲攻擊

(二)天敵出現下的排泄物行為

卵周圍的排泄物，與卵之間是否有什麼特殊關聯呢？我們將從雌雄蠨排泄物數量開始計算，接著觀察卵與排泄物的距離，最後則是探討排泄物對二點葉蠨的生存意義是什麼？

1. 觀察雌、雄蠨排泄物的類型與數量

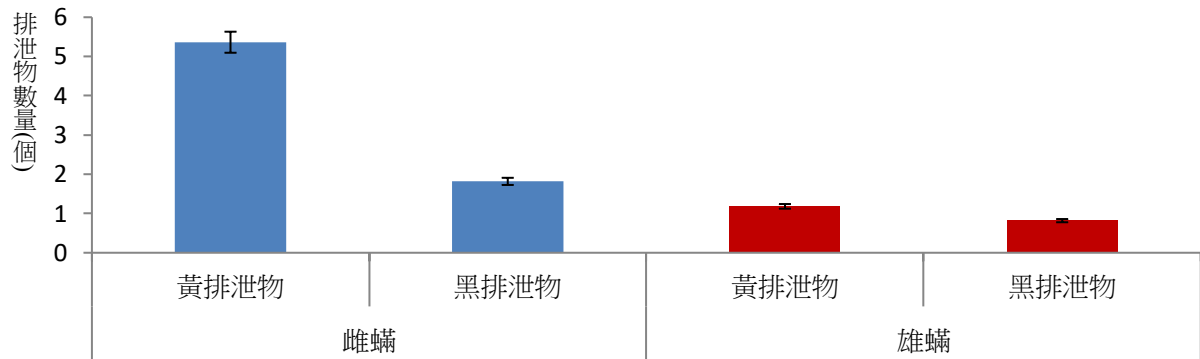


圖 30a 雌、雄蠨每日排泄物類型與數量的比較

在排泄物的類型上，雌、雄蠨皆相同，會排放兩種類型的排泄物：黃色及黑色。但可能因為體型或是族群中角色的關係(排泄物在卵周圍)，雌雄的排放明顯較多，雌蠨黃、黑排泄物分別為 5.36、1.81 個/日；雄蠨則為 1.18、0.72 個/日。因此，接下來的實驗選擇雌蠨來進行。

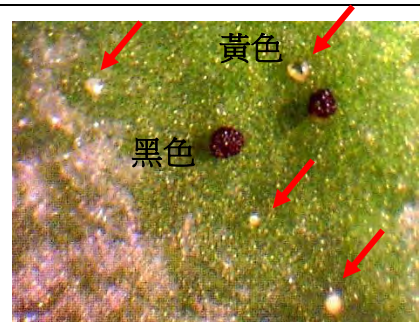


圖 29b 雌蠨排泄物有兩種類型

2. 探討排泄物與卵的相對位置

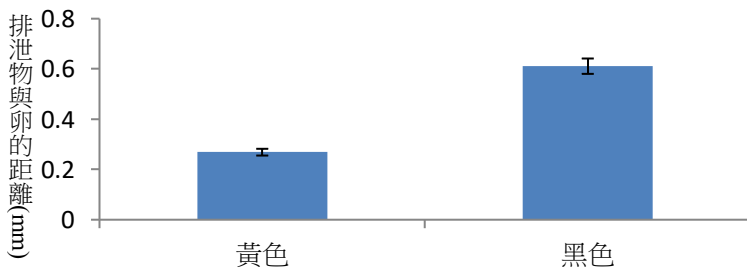


圖 30b 雌蠨不同類型排泄物與卵的距離



圖 30b 卵附近的排泄物以黃色為主

卵附近都有為數不少的排泄物，我們很好奇排泄物類型與卵的相對距離。結果上，黃色排泄物分佈較多且較接近卵(0.26mm)，而黑色排泄物較少且距卵較遠(0.61mm)，顯示雌蠨會選擇將較多黃色排泄物排放在卵的附近。由排泄物的數量及與卵的距離結果，黃色與黑色比例為 3、1，黃色明顯與卵距離較近，這是否表示二點葉蠨的排泄物具有保護卵的能力呢？

3. 探討排泄物對生存的意義

我們進一步探討排泄物意義，觀察發現雌蠨到新葉快速排放排泄物，以黃色比例較多。這個部分，將置放天敵隱翅幼蟲，探討對葉蠨排泄物排放影響，並探討排泄物保護卵的能力。

(1)天敵隱翅幼蟲的氣味與出現對葉蠨排泄物排放時間、類型影響

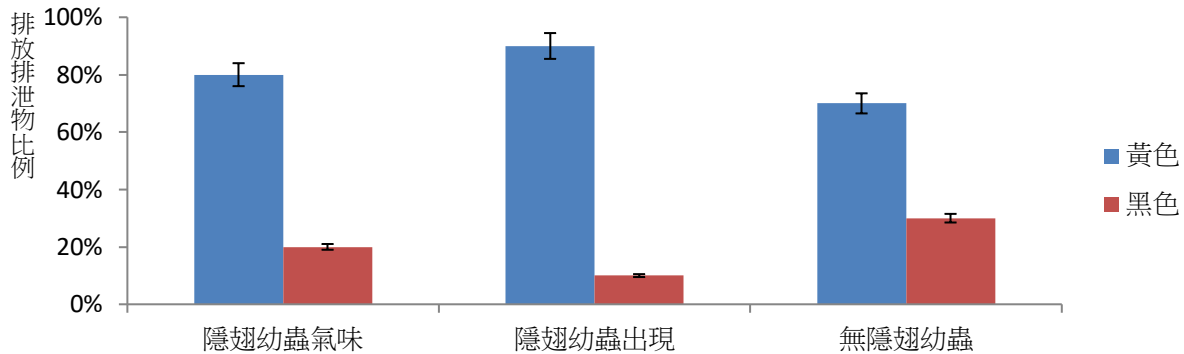


圖 31a 天敵不同威脅等級，雌蠨排放不同類型排泄物比例

我們將天敵隱翅幼蟲分兩個等級處理，來了解雌蠨排放排泄物的種類比例。結果上，不論有無天敵幼蟲的出現，雌蠨都會優先排放黃色排泄物，且均大於 70%的比例，相對的，黑色排泄物的優先排放比例明顯較低。此外，在威脅等級上，隱翅幼蟲氣味與直接出現之 p 值 <0.001，而幼蟲氣味與無幼蟲組別之 p 值 <0.05，均達顯著差異。在威脅等級對優先排放黃色排泄物的比例上，隱翅幼蟲出現顯著大於幼蟲氣味組，而幼蟲氣味組則顯著大於無幼蟲組。

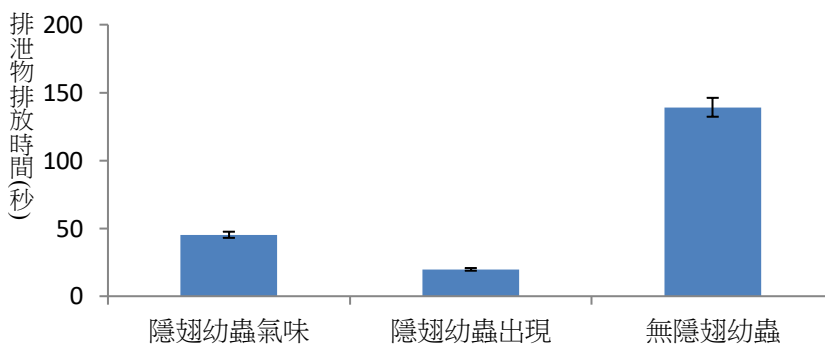


圖 31b 天敵不同威脅等級，雌蠨排放排泄物的時間比較



圖 31c 天敵氣味縮短排放時間

除了不同威脅等級下的葉蠨優先排放比例外，我們同時比較了排放時間的差異。無天敵隱翅幼蟲組的葉蠨排放排泄物時間(139.142 秒)明顯高於有幼蟲威脅的組別，而幼蟲出現直接使得雌蠨快速排放(19.77 秒)，幼蟲氣味組則為 45.25 秒。天敵隱翅幼蟲的威脅，不論是氣味或是出現，均會使雌蠨縮短排放排泄物時間，且排放黃色排泄物比例顯著增加。

(2) 葉蟻排泄物對存活率的影響

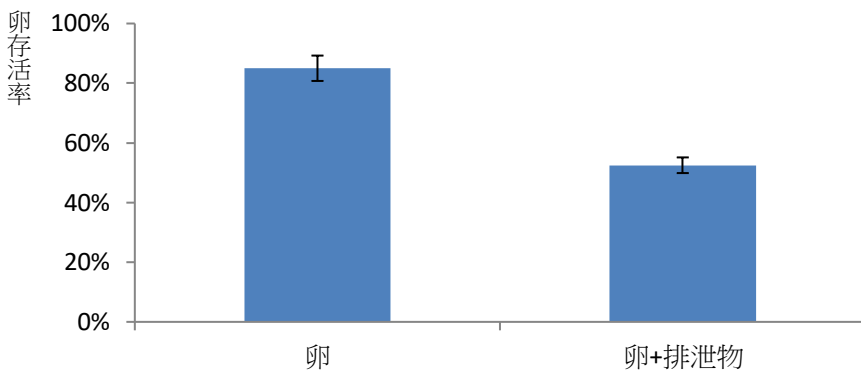


圖 32 無排泄物組別，卵的存活率反而較高

圖 32a 有無排泄物下，天敵隱翅幼蟲對卵的影響

上個實驗中，天敵氣味及隱翅幼蟲的出現會改變葉蟻排放排泄物的時間，這是否與防禦能力有關？在卵存活率的結果，我們發現有排泄物的組別存活率，竟然低於無排泄物組，分別為 52.5%、85.5%，也顯示有排泄物的組別，卵存活率較低，排泄物的本身並沒有達到預期的防禦效果，反而無排泄物的組別卵存活率明顯較高。

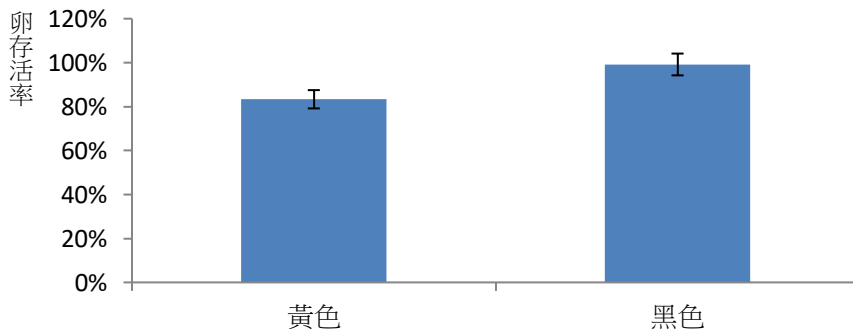


圖 33a 卵的附近有黃色排泄物，使存活率明顯下降

圖 33a 不同類型排泄物下，天敵隱翅幼蟲對卵的影響

排泄物的類型有兩種，我們接著進行兩種排泄物實驗，了解排泄物類型對卵存活率影響。實驗結果，黃色排泄物組存活率為 83.13%，而黑色組為 99.17%(卵 N=20，4 小時內)，排泄物可能會吸引隱翅幼蟲前來捕食，使卵存活率下降，排泄物其中的黃色更明顯降低了卵存活率。

由排放時間結果來看，原本預期排泄物對天敵而言具有一定的防禦效果，但在卵存活率的結果，卻出乎意料，有排泄物組，卵存活率反而較低，讓我們覺得很納悶，為何二點葉蟻在天敵幼蟲出現時，一方面加快排放排泄物時間，另一方面排泄物反而吸引幼蟲前來捕食？其中是否還有其它生存策略之謎呢？

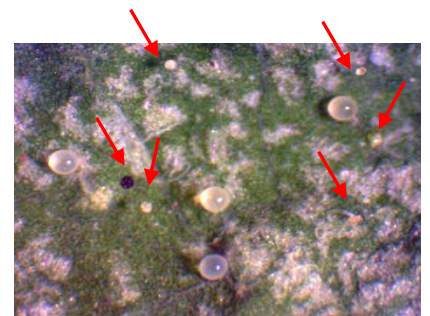


圖 34 排泄物對生存意義而言，扮演什麼樣的角色呢？

四、探討二點葉蟻對不同天敵的生存策略

在排泄物實驗中，有了令人訥悶且意外的結果，天敵會加速二點葉蟻排泄物的排放時間，但排泄物的出現卻吸引天敵前來，降低卵的存活率。二點葉蟻的排泄物在生存上扮演了什麼樣的角色呢？在鄭守喆(2017)研究中提及，神澤氏葉蟻的排泄物對捕植蟻具有防禦能力，我們不禁好奇，同為葉蟻科的二點葉蟻是否排泄物也具有相同的能力？我們選取了另一個戶外養蟲籠飼養環境中的小型天敵溫氏捕植蟻，來探討排泄物對不同天敵間的結果。

這個部分，將從織網及排泄物對不同天敵間的影響開始探討，接著討論體型較大的天敵隱翅幼蟲的取食偏好，是否會取食捕植蟻？最後，探討二點葉蟻在天敵環伺下的生存策略。

(一)探討織網與排泄物對不同天敵的防禦能力

1. 葉蟻排泄物有無對捕植蟻取食卵的影響

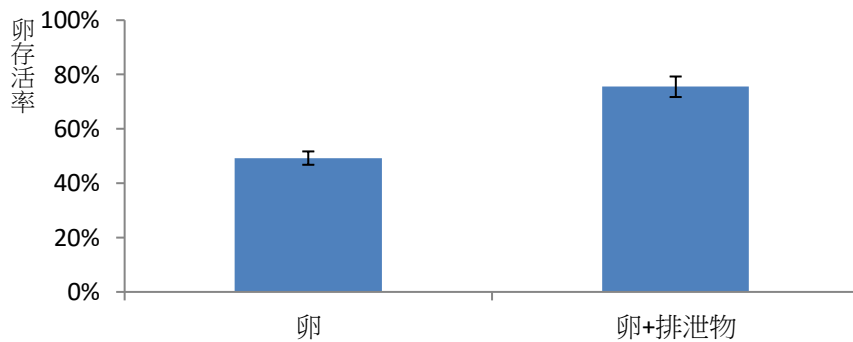


圖 35b 捕植蟻在無排泄物的環境，取食較多的卵

圖 35a 有無排泄物下，天敵捕植蟻對卵的存活率影響

排泄物對捕植蟻的取食卵結果上，無排泄物組的卵存活率為 49.25%，卵附近有排泄物的組別，存活率為 75.50%，二點葉蟻的排泄物明顯對捕植蟻的捕食產生了一定程度的防禦，也就是說二點葉蟻的排泄物具有相當程度保護卵的能力，這與排泄物對隱翅幼蟲的防禦實驗結果不同，二點葉蟻排泄物對於捕植蟻，具相當程度防禦能力，但卻會吸引隱翅幼蟲前來捕食。



圖 36a 天敵：大型隱翅幼蟲；小型捕植蟻



圖 36b 捕植蟻體型較小能鑽進織網

2. 織網與排泄物在不同天敵下的卵存活率

二點葉蟻排泄物對隱翅幼蟲無明顯防禦效果，那還有其它的生存策略嗎？葉蟻具有顯著的織網，二點葉蟻是否會利用織網作為對不同體型天敵，進行排泄物之外的另一種防禦呢？

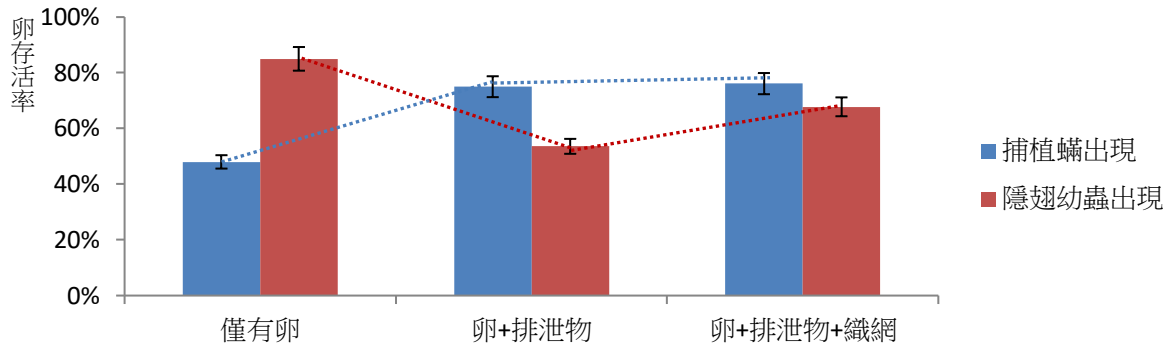


圖 37 葉蟻卵在不同天敵(捕植蟻、隱翅幼蟲)，織網及排泄物下的存活率

僅有卵的存活率，隱翅幼蟲組較高，可能與幼蟲無法被排泄物吸引有關。僅卵+排泄物組，捕植蟻明顯受到排泄物阻礙，幼蟲則追蹤到排泄物，影響卵存活率。織網(表 1)顯示織網顯著降低隱翅幼蟲捕食卵的能力(降低 31%)。織網對捕植蟻影響不大(體型小)。二點葉蟻的排泄物有相當程度防禦捕植蟻對卵捕食，卻吸引隱翅幼蟲前來捕食卵，但能依靠織網來進行防禦。

表 1 織網對隱翅幼蟲取食卵之 t 檢定

	卵的平均存活率
卵+排泄物	53.58%
卵+排泄物+織網	67.78%
p 值	0.02
顯著與否	是

(二)探討天敵小黑隱翅蟲幼蟲的取食偏好

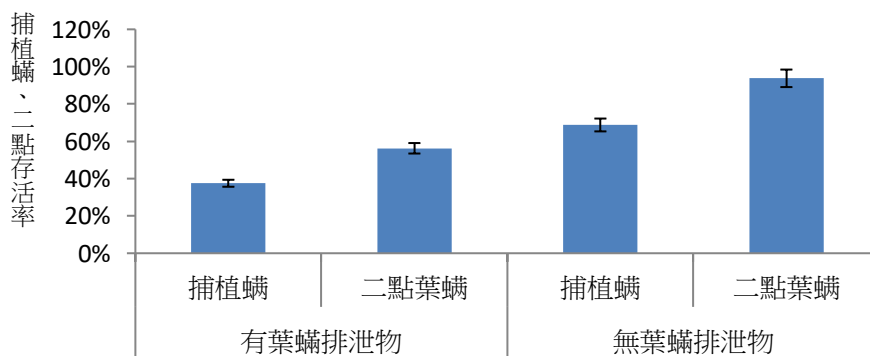


圖 38a 大型天敵隱翅幼蟲的捕食偏好比較



圖 38b 捕植蟻被隱翅蟲幼蟲吸乾，有葉蟻排泄物下

隱翅幼蟲被二點葉蟻排泄物吸引，不禁讓我們想到，當有捕植蟻時，追蹤排泄物而來的幼蟲是否會捕食捕植蟻？周圍有二點排泄物的捕植蟻存活率最低(37.50%)，接著是二點葉蟻(56.25%)。在幼蟲的取食偏好，會追蹤二點排泄物，使有排泄物組別存活率皆較低。隱翅幼蟲會優先選擇肉食性的捕植蟻作為營養來源，接著探討兩種蟻與天敵這三者間巧妙的互動。

(三)探討二點在天敵隱翅蟲幼蟲與捕植蟻下的生存能力

上個結果，發現文獻沒有提及的特別捕食關係，隱翅幼蟲捕食捕植蟻。作為兩種蟻的天敵隱翅幼蟲，對葉蟻的生存影響是什麼？在演化過程中，二點是否出現了以隱制蟻的策略呢？

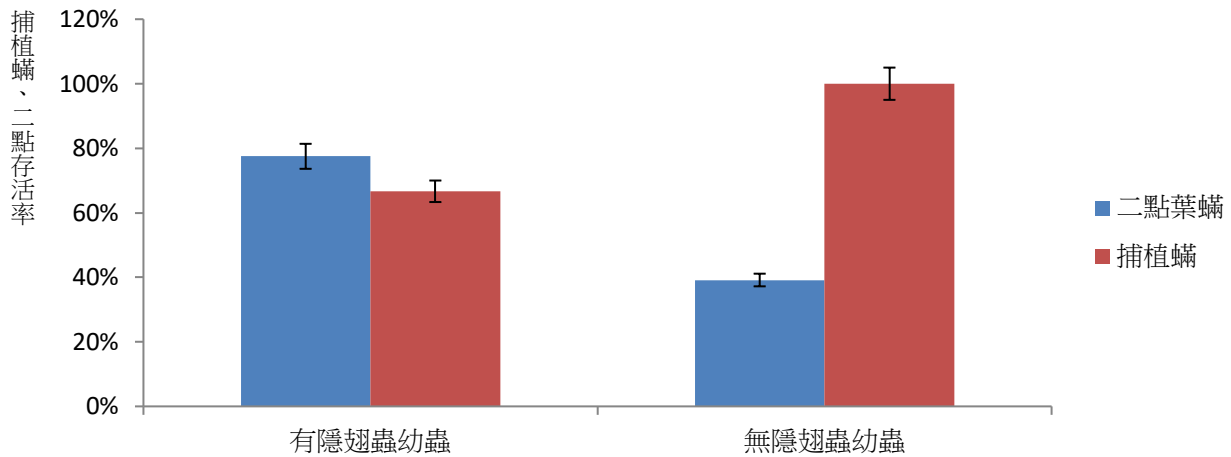


圖 39a 有無隱翅幼蟲對二點葉蟻及捕植蟻存活率的影響

兩種蟻與隱翅幼蟲互動的實驗，在有大型天敵隱翅幼蟲的出現下，二點葉蟻與捕植蟻的存活率分別為 77.70%、66.67%(p 值<0.05，達顯著差異)，二點葉蟻存活率顯著較高，在無隱翅幼蟲的組別中，捕植蟻無天敵，存活率 100%，而二點葉蟻則大幅下降至 39.17%。

結果顯示，在隱翅幼蟲出現情形，儘管同時有捕植蟻的出現，葉蟻的存活率理應大為下降，但卻因幼蟲可能優先捕食捕植蟻的關係，使得葉蟻的存活率反而較無隱翅幼蟲時來得高。

由排泄物、織網與三者存活率實驗來看，二點葉蟻的排泄物具有降低捕植蟻捕食卵的能力，然而卻吸引了大型天敵隱翅幼蟲的前來，使得卵存活力大為下降。在密集織網的保護下，隱翅幼蟲對卵捕食能力下降，織網卻無法防禦小型捕植蟻侵入。相互衝突下，發現隱翅幼蟲會捕食捕植蟻，這使得二點葉蟻在演化過程，排泄物意外的吸引了隱翅幼蟲，在有捕植蟻環伺的環境中，幼蟲又優先捕食捕植蟻，使得二點在兩種天敵存在環境下，存活率反而升高。



圖 39b 捕植蟻被捕食使葉蟻存活上升



圖 39c 隱翅蟲幼蟲與兩種蟻

陸、討論

二點葉蟎，俗稱紅蜘蛛，與神澤氏葉蟎、柑橘葉蟎、赤葉蟎等為台灣重要害蟎，危害農作物甚廣。危害主要方式為吸取葉汁，導致葉子無法行光合作用，加上繁殖快、生活史短，能短時間之內迅速增加數倍的族群，對作物造成極大的危害。苗栗的重要作物草莓多年來就深受二點葉蟎的侵襲。



圖 40 二點葉蟎發生造成枯葉

防治二點葉蟎主要分為農藥及生物防治，關於生物防治的天敵有溫氏、法拉希氏、卵形捕植蟎、草蛉、瓢蟲、薊馬、隱翅蟲等，其中較早應用的為捕植蟎，在 1970 年代中興大學即著手進行，牛淳權(2011)研究中也指出捕植蟎較草蛉活動更靈活、更適應台灣夏季高溫氣候。何琦琛(2002)也指出黃角小黑隱翅蟲能大量捕食二點葉蟎卵，具發展生物防治潛力。

在長期的觀察與實驗，我們發現了二點葉蟎在害蟲角色之外，令人感到驚奇的一面。原本以為草食性的二點葉蟎，僅能利用大量卵數及快速生長的方式來作為生存策略，但分別在不同飼養環境中出現的天敵~較小的捕植蟎與較大的小黑隱翅蟲幼蟲，讓我們能一窺二點葉蟎與其它天敵特別互動行為，我們也討論天敵外的另一種生存策略~食物缺乏因應，特別蟎球發生。雖然是害蟎，但我們利用這次的機會，一同了解害蟲本身為了生存而演化出的生存方式，包含了食物短缺的蟎球與天敵出現的行為等，最後，我們更好奇在兩種天敵環繞下的葉蟎，是一直挨打，還是有什麼驚人的策略得以夾縫求生呢？在國內較少提及的互動行為方面，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、觀察並建立二點葉蟎的生活史

我們利用黃豆葉來建立生活史與進行型態辨識，卵至成蟎的總天數為 20.83 ± 1.67 天，這與農委會防檢局的資料，20、25℃時，總天數分別為 31.6、29.5 天有所落差。可能是因為溫度影響發育，何琦琛(1975)研究中指出，溫度是影響二點葉蟎生長的主因。在實驗室建立二點葉蟎生活史時，氣溫變化不定，溫差較大，可能也是造成生活史與文獻有所差異主因。

二、探討食物缺乏下的蟎球發生機制

動物在食物缺乏下，最常出現的行為就是遷移，例如著名的東非動物大遷徙。而二點葉蟎在食物缺乏下的生存策略是什麼呢？我們觀察出特別的集合形成蟎球的現象。

我們觀察出蟻球大多位於尖端或頂端，這可能與能被風吹或是被路過的動物碰觸能夾帶增加族群的擴散有關。因此，我們感到好奇的是，若在實驗室無風的環境下，當蟻球形成後，無法順利遷徙的話，那麼蟻球會發生什麼改變呢？

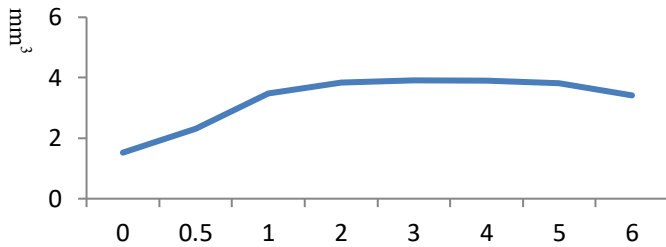


圖 41a 不同時間(小時)蟻球形成之體積變化(N=3)

圖 41b 外層蟻向下移動，僅剩包覆內層

我們架設攝影機觀察無風環境下的蟻球，發現當蟻開始聚集時，會快速(1 小時內)的大量集合成球形，接著約 2hr 後形成最大球體，維持最大球體約 2~3 小時之後開始有若蟻向下移動離開蟻球。隨著時間增加，最後僅存被包覆於內層的蟻(圖 41b)

在蟻球的結構上，出乎我們原先的預期，可移動的外層以若蟻為主，不過這些若蟻發展之後有極大的比例形成雌蟻，將成為雌蟻的若蟻，與雌蟻相比有較長的生活史與產卵量，在生物本能之下，以若蟻為主形成蟻球有較大繁殖機會。未能離開被包覆的雌蟻仍然在內層內產卵，導致蟻球在幾天後，內層幼蟻數量大增，但仍被織網困住(圖 42)。



圖 42 蟻形成一周後

三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為

生物當遭遇天敵出現，在長期演化下，會有一些本能的出現，例如直接逃離、擬態、聚集防禦等。我們在飼養二點葉蟻的戶外環境，出現了體型較大的天敵，小黑隱翅蟲幼蟲。幼蟲的出現造成了二點葉蟻出現聚集的現象，另外也在卵周圍觀察到黃黑兩種排泄物的出現

動物的聚集，如顏郁恩(2017)研究指出，大負子蟲的聚集能增加共食成功率；胡蜂的集團聚集能增強防禦能力，非洲的斑馬集合在一起提升生存率等。

在個體距離測量，發現雌蟻可能扮演了聚集重要角色，這與蟻球的形成亦為雌蟻發動(圖 24a)相類似，雌雄若幼與單獨雌蟻個體距離相當接近(圖 43a)，顯示雌蟻在群體中重要地位。

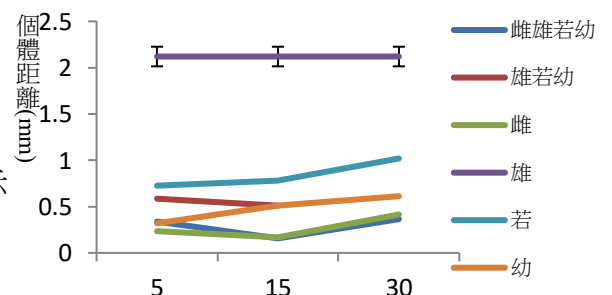


圖 43a 單隻與群體聚集之個體距離比較

聚集行為對生存的影響方面，結果來看，發生聚集除了表現在個體距離縮短外，更重要是存活率上升，這可能是因為非聚集(凡士林固定)雌蟻，使得隱翅幼蟲在葉上較能夠碰觸到進而捕食，所以造成存活率下降，聚集在一起的雌蟻，相對被幼蟲搜尋到的機會減少。



二點葉蟻在面臨天敵時，還有排泄物的特殊行為。

圖 43b 聚集讓族群存活率上升

葉蟻類在面對排泄物時常有不同的行為發生，例如竹葉上葉蟻(網路資料，2011)會織網將自己產生的排泄物包起排出；鄭守喆(2017)研究指出神澤氏葉蟻的排泄物能降低卵被捕植蟻捕食風險，這也與我們的研究對象~二點葉蟻排泄物的功能有些不同，整理如下：

天敵對象	二點葉蟻	神澤氏葉蟻，取自鄭守喆(2017)
溫氏捕植蟻	黃色排泄物具 <u>防禦</u> 能力 黃黑比，約 3:1	黃色排泄物具 <u>防禦</u> 能力 黃黑比，約 2:1
黃角小黑隱翅蟲 幼蟲	黃色排泄物 <u>吸引</u> 天敵 前來捕食，降低卵存活率	無文獻

二點葉蟻的排泄物與神澤氏類型相似，皆有兩種類型，但比例不同，而同樣對於蛛形綱的捕植蟻，具有提供卵保護的能力。我們的研究中，二點葉蟻在遭遇天敵(隱翅幼蟲)時，隨威脅等級提升而縮短排泄物排放的時間，但排出的排泄物卻會被隱翅幼蟲追蹤，導致有排泄物的卵被取食反而大增，這也說明二點葉蟻感測到環境威脅時的反應不一定能提供保護。

四、探討二點葉蟻對不同天敵的生存策略

感測天敵威脅的排泄物，反而造成天敵對卵的捕食率大增，二點葉蟻令人匪夷所思的行為，在我們的織網及小黑隱翅蟲取食捕植蟻實驗中似乎可以稍為了解其中的謎團。

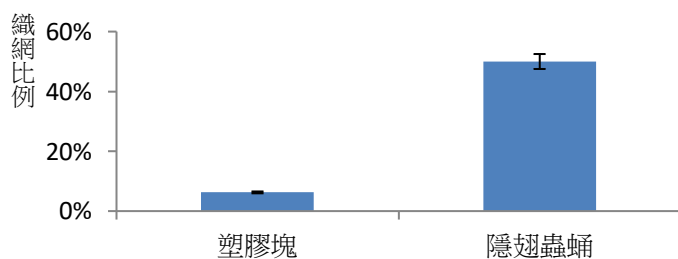


圖 44a 二點葉蟻在不同對象是否織網比例

觀察過程，發現小黑隱翅蟲的蛹有些被絲包圍(圖 44b)，為了釐清這是否是清除異物的行為，設計和蛹差不多大小塑膠塊來進行了解。顯示二點葉蟻可能會利用織網來避免天敵羽化出來。

除了蛹外，我們也發現織網對隱翅蟲移動造成了相當阻礙(圖 44d)，有些隱翅幼蟲會被網子包覆無法動彈，雖然排泄物會吸引幼蟲前來，但二點可利用織網來增加幼蟲捕食困難度。



圖 44b 隱翅蟲蛹上出現織網



圖 44c 塑膠塊幾乎無被包覆

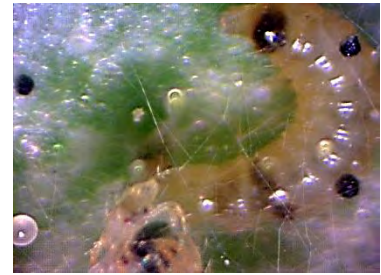


圖 44d 被網包覆的隱翅幼蟲

二點葉蟎對捕植蟎、小黑隱翅蟲有著不同的生存策略，因為天敵體型的差別(圖 45)，所以對不同天敵的策略也不同，整理如下：

	織網	排泄物
小黑隱翅蟲幼蟲	有相當程度防禦	吸引幼蟲前來捕食
捕植蟎	無明顯防禦	有相當程度防禦

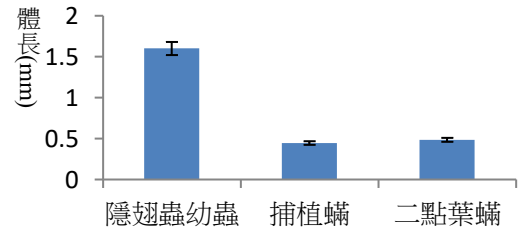


圖 45 二點葉蟎與天敵體長比較

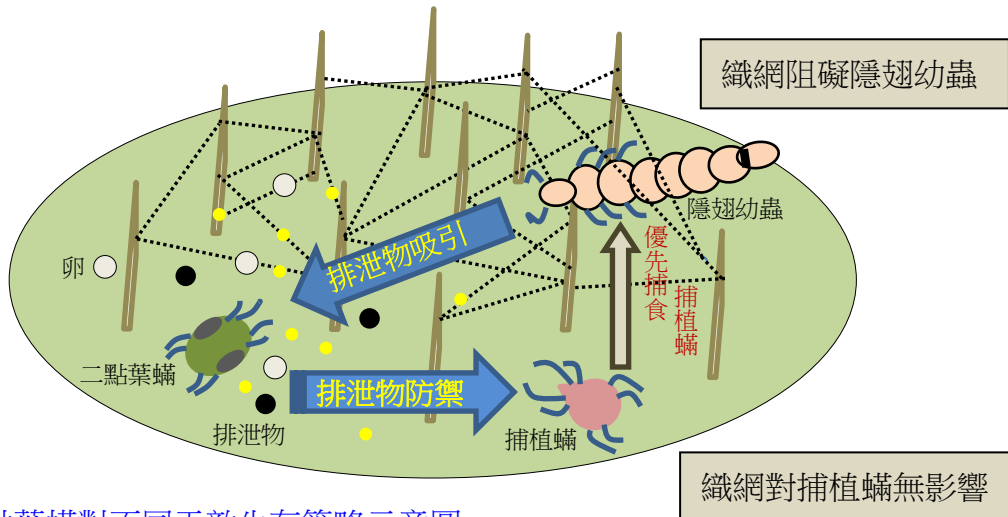


圖 46 二點葉蟎對不同天敵生存策略示意圖

看似一路只能挨打的二點葉蟎，卻有了出人意料之外的生存策略。網上密佈的織網與為數不少的排泄物，成為了二點葉蟎的生存之道，葉蟎、隱翅幼蟲、捕植蟎三者之間存在著生物演化千萬年裡，相當奇特的篇章。體型小的天敵~捕植蟎，能鑽進葉蟎的織網，使得織網對捕植蟎幾乎無效，但葉蟎排放排泄物來達到一定程度的防禦效果；體型大的天敵~隱翅幼蟲，會被葉蟎排泄物吸引前來捕食，但仍依靠織網來達到一定程度防禦，且隱翅幼蟲會優先捕食捕植蟎，隱翅幼蟲本身及蛹都有可能被織網纏繞，使得二點葉蟎在天敵環伺下得以生存。

這或許可以稍稍解答試驗所研究員疑問，試驗所的二點葉蟎有隱翅蟲環境，就沒出現捕植蟎，原因可能是隱翅翅被排泄物吸引而優先捕食捕植蟎所造成的。在這長期研究過程裡，我們從三種蟲蟲間，看到演化舞台上令人驚奇的生命之舞與為種族繁衍而努力的生存策略。

柒、結論

二點葉蟻危害全球熱帶農作物甚為嚴重。除了繁殖快、生活史短，究竟牠有什麼生存策略上的優勢，可以這麼迅速蔓延呢？在我們的觀察與實驗，發現了二點葉蟻在害蟲角色之外，令人感到驚奇的許多面向。因應食物缺乏，二點葉蟻會形成蟻球以進行快速遷移。面對無所不在的各種天敵，二點葉蟻更演化出巧妙的生存之道-以「隱」制「蟻」，在兩大天敵環伺下求得一線生機。當中交錯的關係讓人覺得萬分有趣，以下是我們的研究結論：

- 一、利用黃豆葉來建立二點葉蟻生活史與進行型態辨識，卵至成蟻的總天數為 20.83 ± 1.67 天，二點葉蟻的每日平均產卵數為 6.42 ± 0.9 個；平均總產卵數為 118.28 ± 15.96 個。
- 二、由環境觀察，二點葉蟻在形成蟻球時會選擇向較高處來形成，可能與較易擴散有關。蟻球形類型，在葉尖端所佔比例最高(45.83%)、其次為莖頂端(28.59%)，葉間絲上及垂降絲的比例則較少。
- 三、蟻球的結構分為兩層，分別為可移動的外層、不可移動被網包覆的內層。在外層的組成上，以若蟻所佔的比例最高(68%)，內層以雌蟻佔大多數，這可能與雌蟻為蟻球的發動者有所關聯。且蟻球上的若蟻在持續飼養觀察後，發現幾乎為雌性。
- 四、除了族群密度之外，食物的充足與否是影響蟻球形成的關鍵。當食物充足時，能在較短時間內形成蟻球的是族群密度較高的組別，而當食物缺乏時，所有組別都會在短時間內快速形成蟻球。
- 五、聚集能增加在天敵出現下的存活率。在新環境中，有雌蟻的組別會出現明顯的聚集行為，個體距離為 0.168mm 。雌蟻可能感測到環境天敵的氣味或是天敵出現，加強縮小間距。以結果來看，發生聚集的組別在存活率上明顯高於分散無聚集組。
- 六、雌蟻會排放黑、黃兩種顏色的排泄物。當天敵隱翅幼蟲的威脅出現時，不論是氣味或是出現，均會使雌蟻縮短排放排泄物時間，且排放黃色排泄物比例顯著增加。
- 七、二點葉蟻的排泄物具有黃、黑兩種類型。排泄物對於捕植蟻，具相當程度防禦能力，能降低卵的被捕食率；但相反的，二點葉蟻排泄物對隱翅幼蟲卻有吸引作用，會吸引幼蟲前來捕食，降低卵存活率，反而無防禦作用。

- 八、二點葉蟥的織網行為顯著降低隱翅幼蟲捕食卵的能力(降約 31%)。有網織與無織網下的卵存活率分別為 67%、53%。研究過程中，甚至有觀察到二點葉蟥能以織網將隱翅幼蟲困住，使幼蟲無法行動；但是織網對捕植蟥則較無作用，這可能與捕植蟥體型較小，能輕易穿越網間縫隙有關。
- 九、在同時存在二點葉蟥與捕植蟥的環境中，隱翅幼蟲會優先選擇肉食性的捕植蟥作為營養來源。
- 十、二點葉蟥的排泄物具有降低捕植蟥捕食卵的能力，同時吸引了大型天敵隱翅幼蟲的前來優先捕食捕植蟥，使得二點葉蟥在兩種天敵存在環境下，存活率反而升高。

在生命的舞台上，造物的巧妙安排，讓小小的二點葉蟥竟能具備多種令人刮目相看的生存策略。不管是在食物匱乏的狀況或是面對諸多天敵的環境中，牠都有錦囊妙計來應對。尤其是在小黑隱翅幼蟲與捕植蟥的三者互動關係，更讓人讚嘆演化的神奇。但究竟這三者是否有存在其他的互動關係，或是當其他物種參與其中時，又會迸出什麼樣的火花？這些都有待更多實驗與觀察來進一步探討之。

捌、參考資料

一、參考資料

1. 何琦琛(1979)。溫度對二點葉蟎 *Tetranychus urticae* 生活史及繁殖力之影響。台灣農業研究，28(4):261-271
2. 何琦琛(2002)。黃角小黑隱翅蟲對神澤氏葉蟎卵量的取食與產卵反應評估。植物保護學會會刊，44 卷，p15~20。
3. 張元瀚(2013)。初探葉蟎。全國中學生小論文網站，取自：
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420372694.pdf>
4. 劉達修(1993)。常用殺蟎劑對二點葉蟎之防治效果。台中區農業改良場研究彙報 39：1-15
5. 葉蟎及捕植蟎。取自國立自然科學博物館
<http://www.nmns.edu.tw/public/exhibit/2005/Acari/5.html>
6. 牛淳權、陳明廣(2011)。剋「蟎」！天敵立大功！。中華民國 51 屆中小學科學展覽作品
7. 顏郁恩、彭詣雅、陳冠穎(2017)。深負子技-大負子蟲捕食與繁殖行為之探討。中華民國 57 屆中小學科學展覽作品
8. 鄭守喆、陳映仔、鄭皓云(2017)。「便便」防禦~探討溫氏捕植蟎捕食與神澤氏葉蟎的防禦行為。中華民國 57 屆中小學科學展覽作品
9. 施佳紋(2016)。蟎天鋪地葉枯盡 —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。
10. 竹葉葉蟎(2011)。取自
<http://hk.crntt.com/crn-webapp/doc/docDetailCreate.jsp?coluid=7&kindid=0&docid=10158646>

【評語】 030318

1. 實驗內容具科學意義，也有具體觀察及量測結果，但可惜結論缺乏明確證據而僅為推測，如「二點葉蟎在形成蟎球時會選擇向較高處來形成，可能與較易擴散有關」。此外，也沒有具體說明蟎球形成的意義為何？
2. 此作品的研究目的清楚、觀察細微，然而對相關領域的貢獻度或許有些但不高。
3. 部分欲探討的目標，網路上已可查詢，故降低其創新性。應有文獻回顧的段落，以說明此研究與過去的探討不同之處。
4. 口語表達清楚，發現蟎球並能做詳細的探討

◎摘要

校園葉上的二點葉蟎，對同時出現的兩種天敵(小黑隱翅幼蟲、捕植蟎)，有什麼特殊的生存策略？除了繁殖快、生活史短之外，雌蟎在食物短缺或族群密度過高時，常於植株高處主導蟎球形成，以利擴散。蟎球分為可移動外層及不可移動內層，外層以若蟎(多發展為雌蟎)為主。雌蟎到新環境會主導聚集行為產生，並能感測到環境天敵氣味或天敵出現，加強聚集行為以提昇存活率。二點葉蟎的織網行為顯著降低隱翅幼蟲捕食卵的能力(降低31%)，但無法以此防範體型較小的捕植蟎。二點葉蟎的排泄物具有降低捕植蟎捕食卵的能力，同時吸引大型天敵隱翅幼蟲的前來，優先捕食捕植蟎，使二點葉蟎在兩種天敵存在環境下，存活率反而升高，真是令人驚嘆的生存策略。

壹、研究動機



圖 1 戶外二點葉蟎與兩種天敵

校園植物出現了二點葉蟎這種害蟲，除了二點葉蟎之外，我們也觀察到同時出現的兩種天敵(圖 1)，在請教老師及查閱相關圖鑑後，了解天敵分別是體型較大的黃角小黑隱翅蟲及體型較小的捕植蟎。

過一陣子再去觀察，令人驚奇的是捕植蟎竟然消失無蹤，只剩下二點葉蟎和天敵隱翅蟲幼蟲，更令人詭異的是二點葉蟎的族群似乎也沒有減少太多，這不禁引起我們的好奇心，二點葉蟎在兩種天敵的夾擊下，竟然還有辦法生存，這個看似弱小的葉蟎是否有著不為人知的秘密呢？為了解答這個疑問，我們開始進行葉蟎的飼養，以了解在食物缺乏及天敵環境下，二點葉蟎是否有著令人驚奇的生存策略？

貳、研究目的

- 一、觀察並建立二點葉蟎的生活史
- 二、探討食物缺乏下的蟎球發生機制
- 三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為
- 四、探討二點葉蟎對不同天敵的生存策略



圖 2 二點葉蟎雌蟎



圖 3a 大型天敵小黑隱翅蟲



圖 3b 小型天敵捕植蟎

參、研究器材設備

一、二點葉蟎飼養環境與生活史

黃豆種子、培養土、解剖顯微鏡、電子目鏡、筆電、相機、培養皿、圓形濾紙、細毛筆、計數器(計算蟎量)、養蟲籠(誘引天敵)

二、蟎球發生與天敵下的互動策略

攝影機、腳架、方格紙、細毛筆、烤肉用長竹籤、測微軟體



圖 4 黃豆葉養殖葉蟎



圖 5 戶外環境吸引天敵

肆、研究過程及方法

二點葉蟎(*Tetranychus urticae*)，農業害蟲，資料多偏向防治。我們想藉此次機會，了解二點葉蟎生存行為，探討二點葉蟎在食物缺乏及天敵出現下的生存策略，此外，面對同時出現的小型天敵捕植蟎與大型天敵小黑隱翅蟲，會有不同的生存策略嗎？

一、觀察並建立二點葉蟎的生活史

1. 飼養環境：種植黃豆葉養葉蟎，戶外環境吸引不同類型天敵。
2. 生活史及產卵量：電子目鏡觀察拍攝型態，每日計算產卵量

二、探討食物缺乏下的蟎球發生機制

1. 蟎球型態組成：觀察蟎球分佈位置並取下探討結構及成員。
2. 蟎球形成原因：自行設立蟎球形成裝置，探討形成順序原因

三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為

1. 聚集行為：不同階段蟎個體距離；計算在天敵出現下的意義
2. 排泄物行為：計算排泄物類型與在天敵出現下的生存意義

四、探討二點葉蟎對不同天敵的生存策略

1. 織網及排泄物的策略：探討天敵~小型捕植蟎、大型隱翅幼蟲在織網及排泄物下，二點葉蟎的卵存活率。
2. 隱翅幼蟲的取食偏好：探討幼蟲優先捕食葉蟎或捕植蟎比例
3. 二點在天敵下策略：計算葉蟎在兩種天敵出現下的生存能力



圖 6 電子目鏡觀察型態



圖 7 捕植蟎可鑽進養蟲籠



圖 8 濕濾紙限制葉蟎



圖 9 記錄蟎球形成位置



圖 10 蟎球形成裝置



圖 11 凡士林固定蟎、捕植蟎

伍、研究結果

一、觀察並建立二點葉蟎的生活史

(一)分類地位

節肢動物門 - 蛛形綱 - 恙蟎目 - 葉蟎科 - 葉蟎屬 - 二點葉蟎
Arthropoda - Arachnida - Trombidiformes - Tetranychidae - Tetranychus - T. urticae

(二)二點葉蟎不同階段外觀與型值

卵	幼蟎	若蟎
	 6 隻腳，背側 2 斑點	 8 隻腳，背側淡斑點
長 0.12±0.003mm	長 0.22mm/寬 0.12mm	長 0.33mm/寬 0.22mm
雌成蟎	雄成蟎	
	 尾部較鈍	
長 0.48mm/寬 0.34mm	長 0.31mm/寬 0.21mm	

(三)二點葉蟎的生活史與產卵量

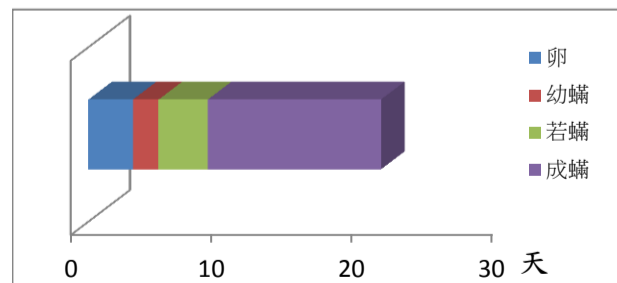


圖 12 二點葉蟎不同階段生活史(N=6)

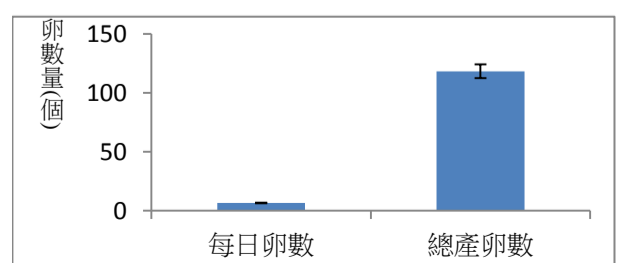


圖 13 每日產卵數及總產卵數

二、探討食物缺乏下的蟻球發生機制

(一)蟻球的型態與組成

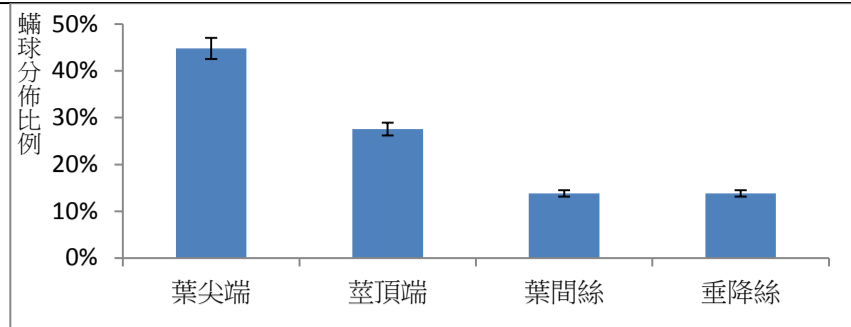


圖 14a 二點葉蟻形成蟻球的不同位置比例 (N=29)

飼養環境中的蟻球形成類型分為 4 種，在葉尖端及莖頂端的比例較高 72.41%，較高處形成蟻球，可能與較易擴散有關。

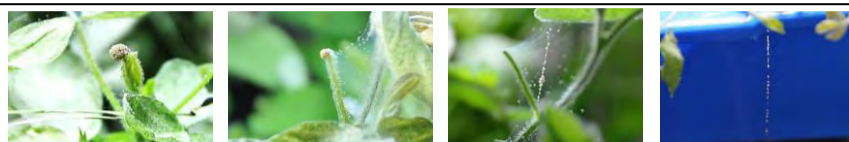


圖 14b 環境中蟻球形成的不同位置 (葉尖端、莖頂端、葉間絲、垂降絲)

(三)蟻球形成的順序及可能原因

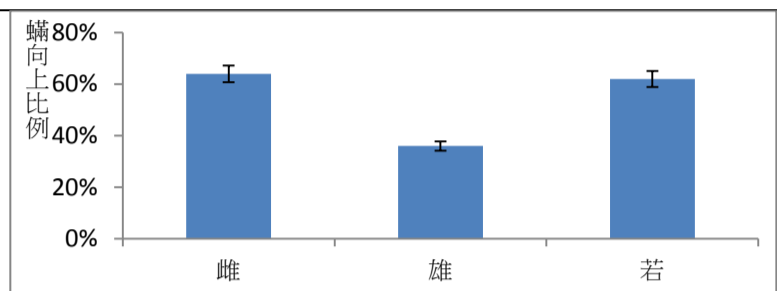


圖 18 不同階段蟻向上比例比較 (N=10)

我們進行向上特性探討，來建立接下來的蟻球裝置。雌蟻、若蟻選擇向上比例皆高，可能與蟻球的組成有關。

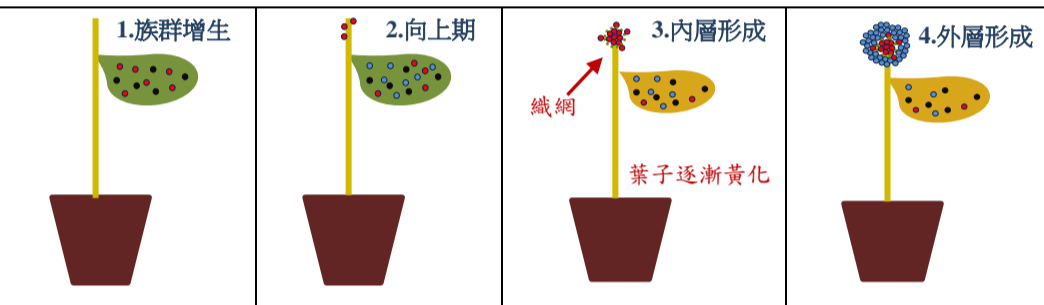


圖 20a 蟻球形成裝置，蟻球形成順序 (註：●表示雌蟻、●表示雄蟻、●表示若蟻)

(四)擴散至新環境下，蟻聚集的個體距離比較

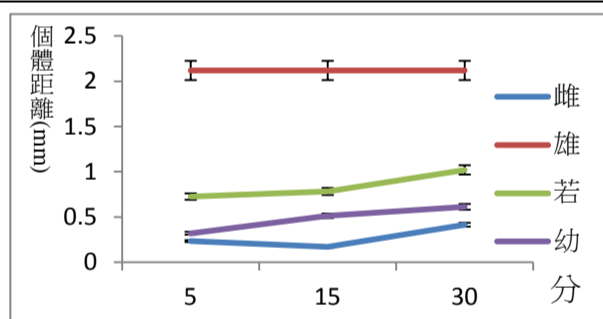


圖 21a 不同時間下，蟻的個體距離比較

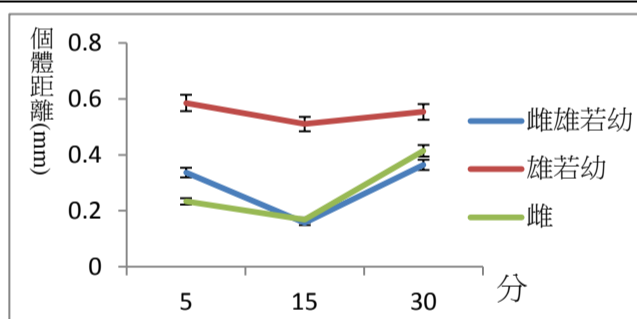


圖 21b 不同時間，有無雌蟻對個體距離的影響



圖 21c 雌蟻個體距離較近



圖 21d 雌蟻使間距變短

雄蟻在葉片上時常移動，個體間所能量測的距離超過電子目鏡可測量的範圍，以最大測量 2.1mm 作為記錄。雌蟻隨著時間增加，至 15 分時平均個體距離縮至最小 (0.16mm)；有雌蟻的組別較無雌蟻組別的個體距離明顯縮短，顯示雌蟻的出現可能會使群體之間彼此的距離縮小。

三、探討天敵出現下的聚集及排泄物行為

(一)探討天敵出現下，聚集對生存的意義

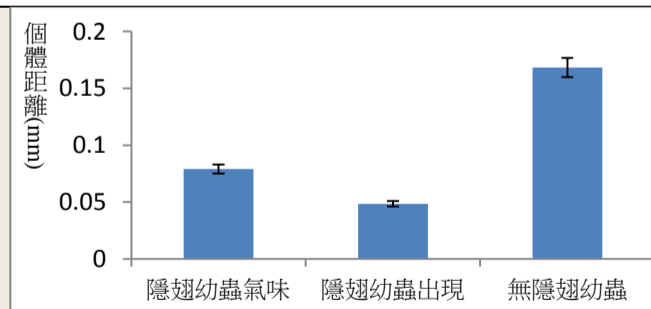


圖 22 天敵的不同威脅等級對雌蟻個體距離影響

雌蟻可能感測到天敵氣味、出現，縮小距離

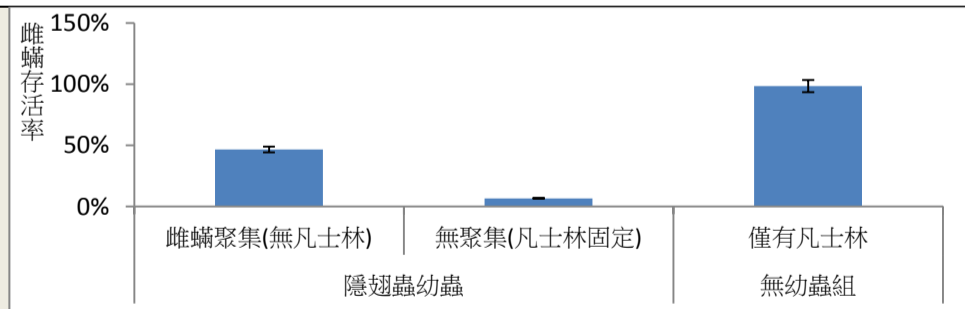


圖 23 在天敵隱翅幼蟲出現下，有無聚集對雌蟻存活率的影響

存活率上，發生聚集的組別 (46.67%) 明顯高於分散無聚集組 (6.67%)。



圖 24a 天敵與雌蟻間距



圖 24b 無聚集易被捕食

(二)天敵出現下的排泄物行為

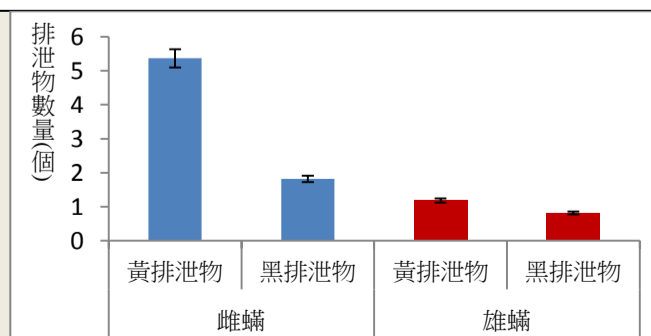


圖 25 雌、雄蟻每日排泄物類型與數量的比較

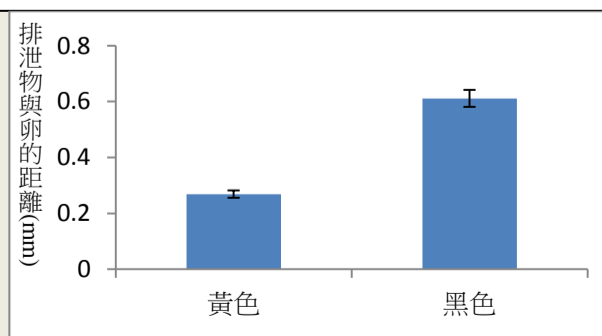


圖 26 雌蟻不同類型排泄物與卵的距離



圖 27a 雌蟻排泄物類型

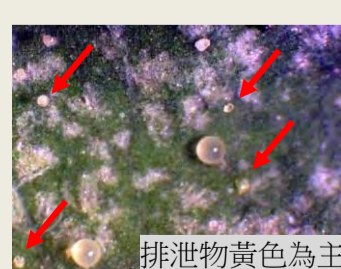


圖 27b 卵附近的排泄物

在排泄物的類型上，雌、雄蟻皆相同，會排放兩種類型的排泄物：黃色及黑色。雌蟻黃、黑排泄物分別為 5.36、1.81 個/日；雄蟻則為 1.18、0.72 個/日。因此，接下來的實驗選擇雌蟻來進行。由排泄物的數量及與卵的距離結果，黃色與黑色比例為 3、1，黃色明顯與卵距離較近。

(三)天敵出現下，對二點葉蟥排泄物的影響

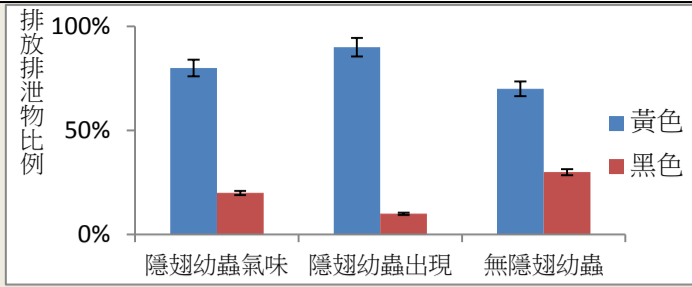


圖 28 天敵的不同威脅等級，雌蟥排放排泄物比例

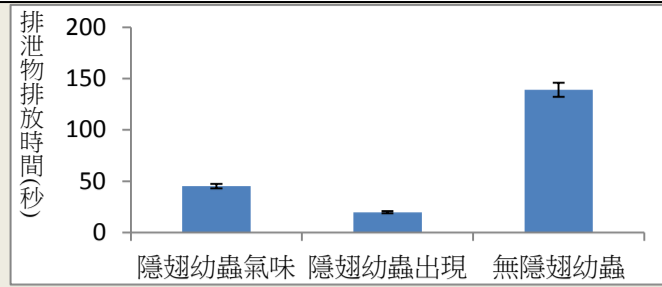


圖 29 天敵不同威脅等級，雌蟥排放排泄物時間



天敵威脅等級上，不論是氣味或是天敵直接出現，均會使雌蟥縮短排放排泄物時間，且排放黃色排泄物比例顯著增加。

(四)天敵出現下，二點葉蟥排泄物對生存的意義

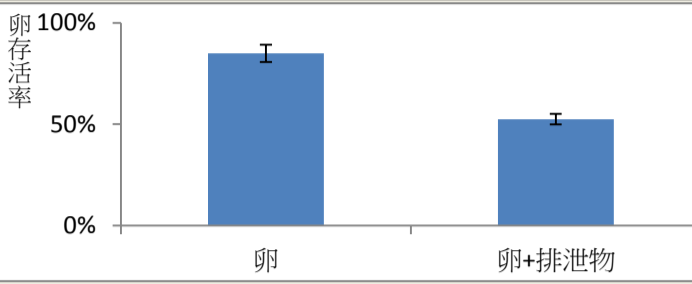


圖 31a 有無排泄物下，天敵隱翅幼蟲對卵的影響

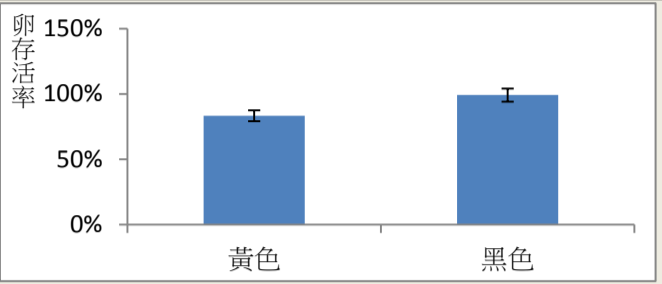


圖 31b 不同排泄物下，天敵隱翅幼蟲對卵的影響



圖 32 卵附近黃色排泄物，使存活率下降

結果發現有排泄物的組別存活率，竟然低於無排泄物組，也顯示有排泄物的組別，卵存活率較低，排泄物本身並沒有達到預期的防禦效果。為何二點葉蟥在天敵幼蟲出現時，一方面加快排放排泄物時間，另一方面排泄物反而吸引幼蟲前來捕食？

四、探討二點葉蟥對不同天敵的生存策略

(一)排泄物對不同天敵~捕植蟥捕食影響

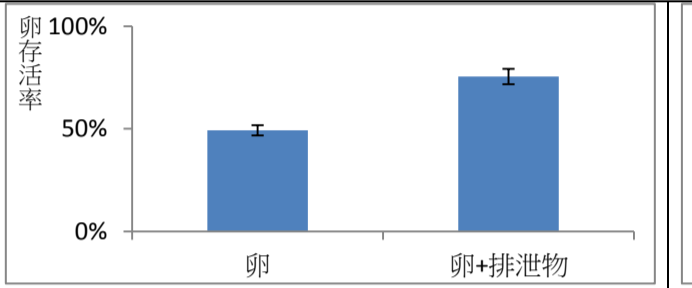


圖 33 葉蟥排泄物下，捕植蟥對卵存活率影響

(二)織網與排泄物在不同天敵下的卵存活率

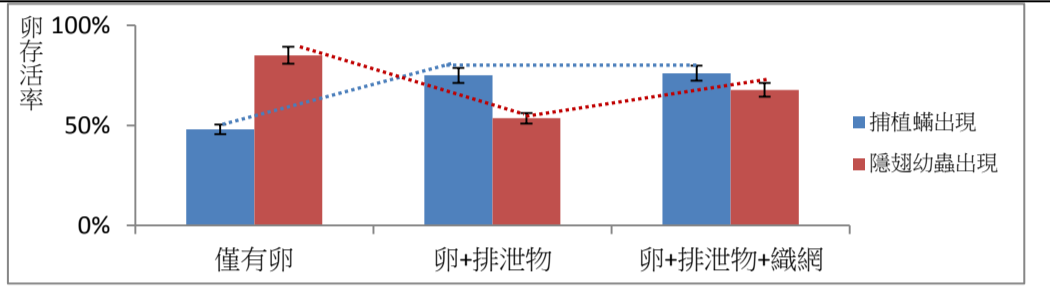


圖 34 葉蟥卵在不同天敵(捕植蟥、隱翅蟲幼蟲)，織網及排泄物下的存活率

二點葉蟥的排泄物對小型天敵捕植蟥捕食產生了一定程度防禦；織網顯著降低隱翅幼蟲捕食卵的能力(降低31%)。織網對捕植蟥影響不大(體型小)。二點葉蟥排泄物有相當程度防禦捕植蟥捕食，卻吸引隱翅幼蟲前來捕食，但能依靠織網來防禦。

(三)大型天敵隱翅幼蟲的捕食偏好

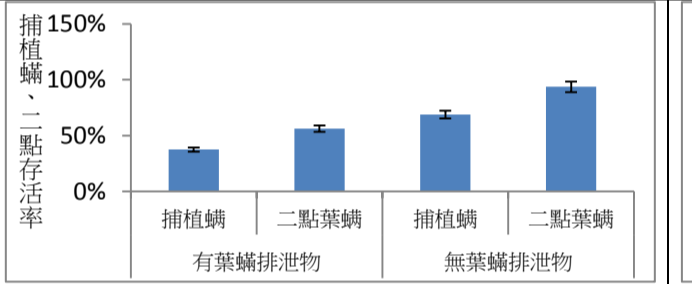


圖 35 大型天敵~隱翅幼蟲的捕食偏好

(四)二點葉蟥在天敵隱翅幼蟲與捕植蟥下的生存能力

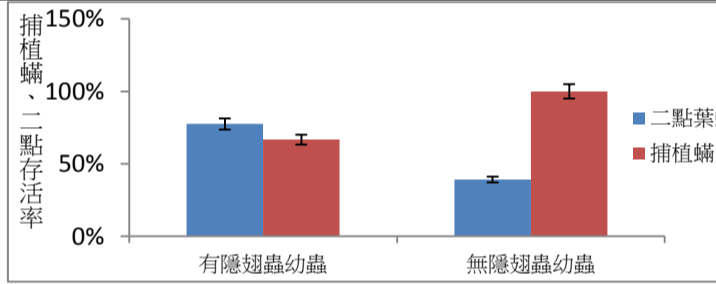


圖 36 有無隱翅幼蟲對二點葉蟥及捕植蟥存活率影響



圖 37 隱翅幼蟲捕食捕植蟥，使葉蟥存活率上升

在大型天敵隱翅幼蟲的取食偏好，會追蹤二點排泄物，並先捕食肉食性的捕植蟥。葉蟥在演化過程，排泄物意外的吸引了隱翅幼蟲，在有捕植蟥環伺的環境中，幼蟲又優先捕食捕植蟥，使得二點在兩種天敵存在環境下，存活率反而升高。

陸、討論與結論

二點葉蟥危害全球熱帶農作物甚為嚴重。除了繁殖快、生活史短，究竟牠有什麼生存策略上的優勢，可以這麼迅速蔓延呢？在我們的觀察與實驗，發現了二點葉蟥在害蟲角色之外，令人感到驚奇的許多面向。因應食物缺乏，二點葉蟥會形成蟻球以進行快速遷移。面對無所不在的各種天敵，二點葉蟥更演化出巧妙的生存之道-以「隱」制「蟥」，在兩大天敵環伺下求得一線生機。當中交錯的關係讓人覺得萬分有趣，以下是我們的討論與結論：

- 一、利用黃豆葉建立二點葉蟥生活史，卵至成蟥總天數為 20.83 ± 1.67 天，二點葉蟥平均總產卵數為 118.28 ± 15.96 個。
- 二、由環境觀察，二點葉蟥在形成蟻球時會選擇向較高處來形成，可能與較易擴散有關。
- 三、蟻球的結構分為兩層，可移動的外層、不可移動被網包覆的內層。在外層的組成上，以若蟥所佔的比例最高若蟥在持續飼養觀察後，發現幾乎為雌性。
- 四、除了族群密度之外，食物的充足與否是影響蟻球形成的關鍵。
- 五、聚集能增加在天敵出現下的存活率。天敵的氣味或是天敵出現，縮小雌蟥間距。
- 六、二點葉蟥織網降低隱翅幼蟲捕食卵能力。觀察發現蟥及幼蟲被絲纏繞現象(圖 39a、b)
- 七、二點葉蟥對捕植蟥、小黑隱翅蟲有著不同的生存策略，整理如下：

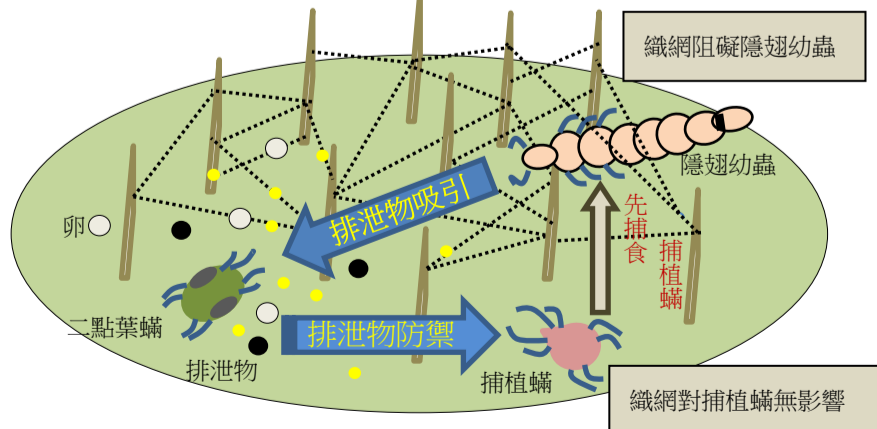


圖 39 隱翅幼蟲蟥 a、幼蟲 b 被二點絲所纏繞

	織網	排泄物
小黑隱翅幼蟲	有相當程度防禦	吸引幼蟲前來捕食
捕植蟥	無明顯防禦	有相當程度防禦

在生命的舞台上，造物的巧妙安排，讓小小的二點葉蟥竟能具備多種令人刮目相看的生存策略。不管是在食物匱乏的狀況或是面對諸多天敵的環境中，都有錦囊妙計來應對。尤其是對小黑隱翅幼蟲與捕植蟥的三者互動關係，更讓人讚嘆演化的神奇與二點葉蟥為繁衍而努力的特殊生存策略。

圖 40 二點葉蟥對不同天敵生存策略示意圖



柒、參考資料

1. 何琦琛(2002)。黃角小黑隱翅蟲對神澤氏葉蟥卵量的取食與產卵反應評估。植物保護學會會刊，44 卷，p15-20。
2. 張元瀚(2013)。初探葉蟥。全國中學生小論文網站，取自 ww.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111420372694
3. 鄭守喆(2017)。變「便」防禦~探討溫氏捕植蟥捕食與神澤氏葉蟥的防禦行為。中華民國 57 屆中小學科學展覽作品