

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030310

以「蚜」還「蚜」~探討刺腿食蚜蠅的捕食行為
與偽菜蚜的生存策略

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國二 王梓菲 國二 謝沛穎 國二 許峻熙	指導老師： 蘇育弘 李冠徵
---	-----------------------------

關鍵詞：食蚜蠅、蚜蟲、生存策略

摘要

小小的偽菜蚜卻有著驚人的生存策略！被刺腿食蚜蠅幼蟲吸食後的蚜蟲乾殼，或是被寄生蜂寄生的蚜蟲，都大幅促進附近蚜群的生殖速率(分別為 1.55 倍、2.7 倍)；同時，也促進有翅型蚜蟲出現(分別為 4.8%、7.2%)。除了以增加子代數量來促進族群存續與產生較多有翅型來飛離危險外，蚜蟲乾殼能吸引食蚜蠅成蟲前來產卵。實驗發現，食蚜蠅幼蟲會捕食同類卵與被寄生的蚜，也有同類自食現象，導致其它蚜蟲的生存機會增加。此外，我們也發現食蚜蠅幼蟲的捕食以隨機點擊為主，有大、小擺幅兩種不同模式(搜索面積分別是 122.05、10.38mm²)。搜尋之初，以大擺幅有效率的找蚜群；捕食後以小擺幅連續密集點擊。小擺幅時，支點較前、身體伸長少；大擺幅時，身體伸長量達原體長的 71.48%。

壹、研究動機



圖 1 校園菜葉上的蚜蟲

學校菜園裡，發現一些小蟲，一陣子之後，出現了大量的族群，同時，菜的上方也出現很像蜜蜂的昆蟲在上空盤旋。查詢相關圖鑑及請教老師，了解這是農業的重要害蟲偽菜蚜及其天敵刺腿食蚜蠅，因食蚜蠅幼蟲具捕食蚜蟲的能力，文獻多偏向防治的敘述。初步觀察發現，食蚜蠅幼蟲在搜索蚜蟲的行為相當特別，捕食之後似乎會改變搜索模式，而蚜蟲被捕食時更奇特，附近蚜蟲幾乎沒有逃脫反應，這令人不禁覺得很納悶；持續飼養及觀察，另一類型天敵意外出現，寄生蜂使得被寄生蚜蟲膨脹，附近蚜蟲同樣看起來也沒什麼太大的反應。此外，觀察到有食蚜蠅幼蟲捕食的區域，也有食蚜蠅卵的出現，盤旋的食蚜蠅為何要將卵產在已經有幼蟲的區域，這不是會造成生存競爭嗎？柔弱的蚜蟲與環伺的天敵，在校園的角落裡正上演著不為人知的微妙互動劇碼，為了解開這些謎團，我們由飼養記錄型態開始，

接著分析食蚜蠅幼蟲搜索行為與蚜蟲間關聯，最後試著找尋蚜蟲在夾縫中的求生之道，並逐步解開食蚜蠅成蟲產卵與蚜蟲生存之謎。



圖 2a 捕食型天敵食蚜蠅幼蟲



圖 2b 校園內的食蚜蠅成蟲



圖 2c 寄生型天敵寄生蜂

貳、研究目的

- 一、觀察偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史
- 二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為
- 三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略
- 四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯

參、研究器材與設備

偽菜蚜為農作物重要害蟲，食性非常廣泛，為了方便觀察，我們由菜苗行購入小松菜幼苗，於室內(圖 3a)種植，以避免其它天敵的影響，並為了取得及飼養食蚜蠅幼蟲，也於室外種植菜苗(圖 3b)，並試著設立養蟲籠，建立有利食蚜蠅成蟲繁殖及幼蟲捕食環境。



圖 3a 室內種植菜苗以繁殖蚜蟲



圖 3b 戶外種植以吸引食蚜蠅前來

偽菜蚜的體長約在 0.68~1.65mm 之間，肉眼就可以辨識，但為了觀察更細部的構造，我們以解剖顯微鏡連接電子目鏡(圖 4a)進行拍攝，並以測微軟體測量型態；食蚜蠅幼蟲體長較大，約在 1.39~8.35mm 之間，以相機拍攝後，以影像軟體進行測量。

一、偽菜蚜與天敵食蚜蠅飼養環境與生活史：

小松菜苗、小盆栽、室內 LED 燈泡(光週期 12/12)、解剖顯微鏡、電子目鏡、測微軟體

二、捕食行為的分析與蚜蟲生存策略

攝影機、手機(慢速攝影用)、計數器、image J 軟體、tracker 軟體、培養皿、方型養蟲盒



圖 4a 以顯微鏡連接目鏡記錄



圖 4b 培養皿飼養食蚜蠅幼蟲



圖 4c 養蟲籠飼養食蚜蠅成蟲

肆、研究過程及方法

一、觀察記錄偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史

(一) 偽菜蚜、天敵(食蚜蠅、小繭蜂)簡介及文獻探討

偽菜蚜(*Lipaphis erysimi*)，為台灣農業重要害蟲，食性無專一性，危害多種作物，如十字花科作物、茄科等。繁殖力驚人，行孤雌生殖胎生，大發生時會使葉捲曲、營養不良。

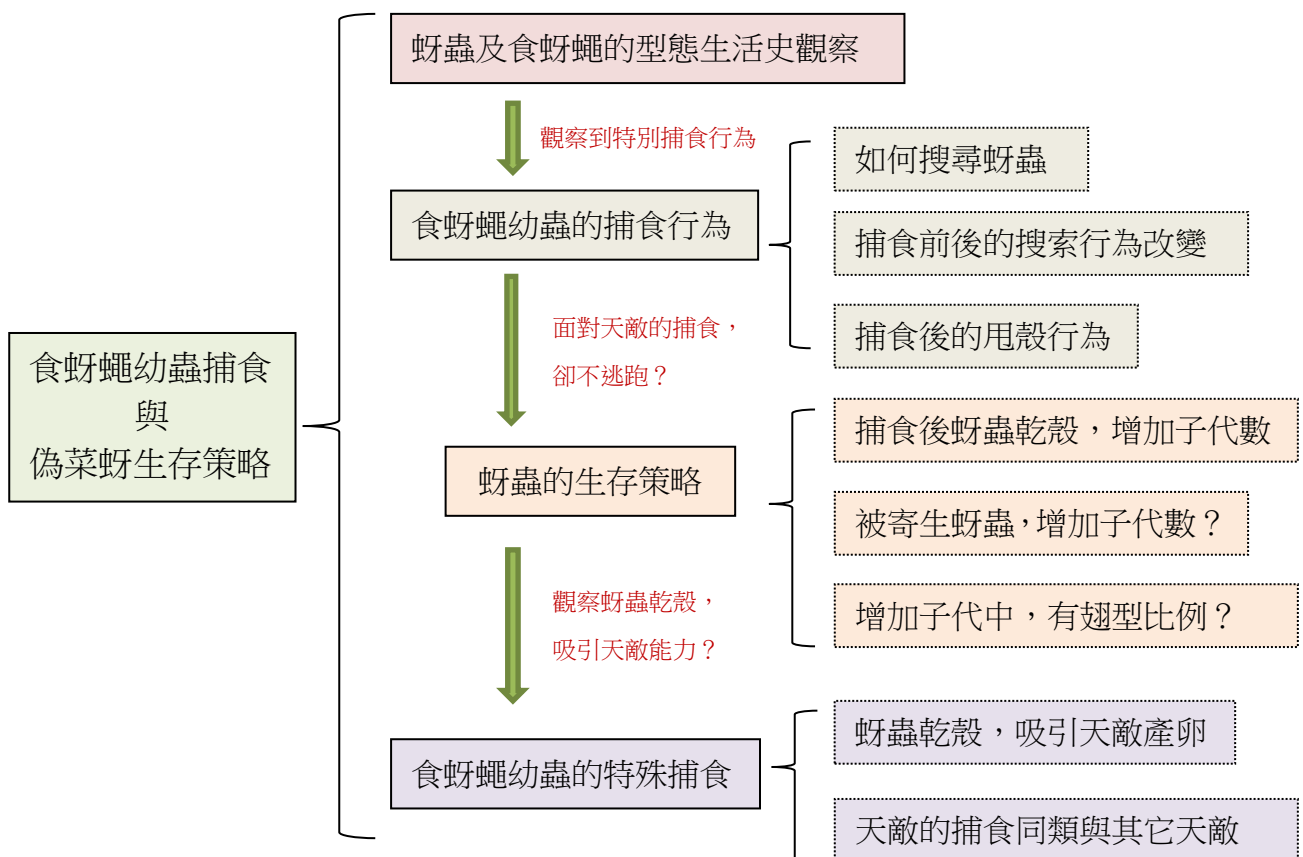


圖 5 蚜蟲被食蚜蠅幼蟲捕食

捕食型天敵，刺腿食蚜蠅(*Ischiodon scutellaris Fabricius*)，與蜜蜂外形相似，農委會資料指出食蚜蠅為值得利用的有益昆蟲，幼蟲為食蟲性，成蟲取食花蜜，能協助授粉。

偽菜蚜為農業害蟲，文獻上多偏於型態及防治相關。簡巧治(2005)研究偽菜蚜於不同溫度下的生活史；吳子淦(2013)指出，食蚜蠅授粉協助果實產量，但生物防治方面仍待研究。

看似一路處於劣勢的蚜蟲，無任何反擊與逃跑能力，這更讓人好奇這種安然自在的昆蟲是如何通過天敵的考驗。我們自行飼養，由建立生活史開始，探討兩種蟲的互動關係，期望由我們的研究能逐一解開這些生物在演化上的謎團。以下是我們的研究流程：



(二)飼養環境的建立

為了穩定取得研究用的蚜蟲與食蚜蠅，我們決定種植菜苗以供應蚜蟲生長，進而飼養食蚜蠅幼蟲。環境建立初期，於戶外種植菜苗以繁殖蚜蟲，吸引更多食蚜蠅前來產卵，但由於戶外開放環境，引來菜蟲大量啃食葉菜，使蚜蟲無食物來源，因此我們改於室內種植。

食蚜蠅幼蟲以蚜蟲為食物來源，成蟲以花蜜花粉作為營養來源。食蚜蠅成蟲需足夠營養，卵巢才能成熟產卵，因此以花盆作為產卵營養供應，以建立穩定族群數量。飼養環境如下：

1. 蚜蟲：於室內在 LED 燈下，以菜苗進行飼養，隨時補充菜苗，以維持穩定蚜蟲族群。

2. 食蚜蠅：

(1) 幼蟲期：取得卵待孵化後，於培養皿內，將有蚜蟲的菜葉置入，並每日補充蚜蟲，以供應食蚜蠅幼蟲作為營養來源。

(2) 成蟲期：將培養皿內的幼蟲飼養至蛹期(圖 6)，羽化為成蟲後，移至戶外養蟲帳篷，以提供營養。並在養蟲籠下層，置入含有大量蚜蟲的菜苗盆栽(圖 7b)以提供雌蟲產卵用。

註：每日定時檢查養蟲籠內蚜蟲盆栽，是否有食蚜蠅卵，並攜回置培養皿內待孵化。

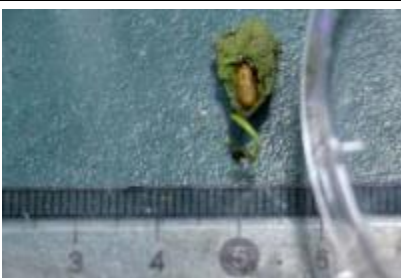


圖 6a 培養皿內的蛹



圖 7a 養蟲籠內花盆供應營養



圖 7b 含蚜蟲盆栽供產卵用

(三)型態觀察及生活史建立

在探討蚜蟲與食蚜蠅的互動之前，我們由建立兩種蟲的生活史開始，並記錄型態及不同階段生活史特徵，作為後續研究的辨識操作用。

1. 蚜蟲：

(1) 同日蚜與生活史建立：昆蟲飼養杯中置入菜苗盆栽(圖 8a)，移入 2 隻成蚜。24 小時移除成蚜，產出的 1 齡蚜即為同日蚜，並記錄不同階段的成長日數，建立生活史。(N=8)

(2) 型態記錄：以顯微攝影拍攝後，記錄不同生活史階段的蚜蟲體長、體寬。

(3) 生殖速率：將同日蚜開始飼養至成蚜的蚜蟲移入培養皿內，每日定時計算產出幼蚜數，並移除幼蚜以避免影響。(N=8)

2. 食蚜蠅：

- (1) 生活史建立：採集食蚜蠅卵(圖 8b)，置入菜葉有蚜蟲的培養皿內，孵化後開始記錄不同階段幼蟲的成長日數(1 齡-蛹)，羽化後(圖 8c)移入戶外養蟲籠以花蜜繼續飼養。(N=8)
- (2) 型態記錄：以相機拍攝不同階段幼蟲，以影像軟體記錄體長、體寬等資料。



圖 8a 同日蚜，以建立生活史



圖 8b 採集蚜群旁的食蚜蠅卵



圖 8c 培養皿成蟲移入養蟲籠

二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為

由研究一的型態觀察，食蚜蠅似乎沒有明顯的視覺構造，那麼幼蟲是如何找尋到蚜蟲所在的區域呢？觀察也發現幼蟲在搜索捕食時，會不斷左右擺頭及點擊葉面以找尋蚜蟲，當碰觸蚜蟲捕食之後，似乎會改變搜尋的模式，食蚜蠅幼蟲的搜尋行為與蚜蟲間有什麼關聯呢？這個部分，我們將食蚜蠅幼蟲的捕食行為分為捕食前、中、後來進行探討。

(一) 捕食前的搜索行為

1. 觀察食蚜蠅幼蟲搜尋葉面與蚜蟲關聯

- (1) 將食蚜蠅幼蟲置於菜苗的葉柄處(圖 9a)，記錄幼蟲爬行至葉之正反面，12 次之內的選擇次數。當幼蟲爬行至葉面搜索時，記錄搜尋整片葉面時，停留於葉脈及葉肉時間比。
- (2) 選取蚜蟲感染的小盆栽 12 盆，計算葉面及葉背的蚜蟲隻數。

2. 探討影響食蚜蠅幼蟲搜尋蚜蟲的原因

為了解幼蟲搜尋蚜蟲的可能原因，我們設立以下組別來探討。各組 N=3，三重覆平均值

與嗅覺有關？		與視覺有關？		隨機捕食？	
移除有蚜蟲葉子	空白葉	有蚜蟲組	空白葉	有光組	黑暗組
計算幼蟲搜尋至何種葉次數		計算幼蟲選擇次數		計算 2 小時後，蚜蟲被捕食率 (原本 20 隻)	

註：視嗅覺實驗，皆將幼蟲置於兩組中間，計算幼蟲選擇搜尋比例。



圖 9a 觀察食蚜蠅幼蟲搜尋區域



圖 9b 探討搜索是否可能利用視覺

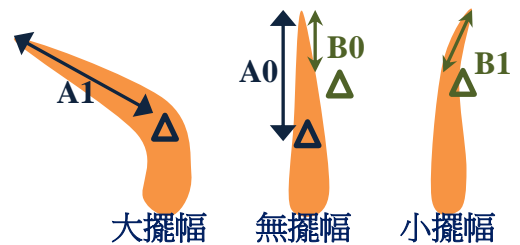
3. 探討食蚜蠅幼蟲不同的搜索行為模式

了解幼蟲搜尋的可能原因之後，觀察發現搜索的行為大致分為兩種，這會與蚜蟲相關嗎？

(1) 比較搜索時不同模式的比例與搜索面積差異

食蚜蠅幼蟲的體型呈現頭尖尾粗，以頭部左、右擺動，並以不同角度點擊葉面。觀察發現，碰觸蚜蟲後，模式改變，我們將搜索模式的定義如下，並記錄碰觸蚜蟲前後的的比例差異。

	大幅擺動 (碰觸蚜蟲前)	小幅擺動 (碰觸蚜蟲後)
支點	第六體節(6)	第三體節(3)
伸長量比	$(A1-A0) / A0$	$(B1-B0) / B0$



利用 tracker 軟體，分析大、小擺幅角度，並測量伸長量以取得兩者擺幅的搜索面積差異。

(2) 探討大、小幅擺動間，點擊葉面的角度差異

利用手機慢速攝影(圖 10a)，拍攝幼蟲在碰觸蚜蟲前後的行為差異，發現大擺幅之間有兩種點擊葉面搜捕的角度(分為大、小角度點擊)，捕食蚜蟲後，使用的小擺幅搜尋，則僅有小角度點擊。將慢速攝影片，以 tracker 軟體進行角度、點擊葉面的資料分析(圖 10b)。

(3) 探討不同搜索模式與捕食蚜蟲關聯

計算大小角度點擊間的距離與點擊與蚜蟲個體距離做比較。(個體距離測量 N=18，平均值)



圖 10a 慢速攝影分析搜索行為



圖 10b tracker 分析點擊角度



圖 10c 顯微軟體測量個體距離

(二) 捕食中的行為

觀察記錄食蚜蠅幼蟲捕食行為，並計算幼蟲吸食不同生長階段蚜蟲所需的單位時間，以及

單位時間內的捕食數量(3 小時內, N=8, 取平均值)

(三) 捕食後的行為

觀察食蚜蠅幼蟲捕食後行為, 並探討捕食後用殼距離的搜索關聯。(N=8, 取平均)

三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略

在研究目的二中, 了解食蚜蠅幼蟲的捕食行為, 接著我們開始探討蚜蟲在遭遇捕食時的反應, 令人感到不解的是, 蚜蟲對於同伴被捕食幾乎沒什麼反應, 接著, 在研究中期於戶外出現的另一種類型天敵(寄生蜂), 蚜蟲究竟會以什麼策略來面對, 或是只能被捕食呢?

(一) 觀察蚜蟲在食蚜蠅幼蟲出現下的反應

1. 比較幼蟲與蚜蟲的移動速率:

觀察蚜蟲於葉面生活情形, 大多時間皆在固定位置吸食, 少部分時間會進行移動。我們很好奇, 當蚜蟲被幼蟲碰觸時, 蚜蟲開始移動, 與幼蟲相比, 移動速率如何呢? 藉攝影機拍攝影片的協助, 比較兩者移動速率。(N=8, 取平均值)

2. 觀察蚜蟲固定吸食時, 附近同伴被捕食時反應

(二) 探討蚜蟲在捕食型天敵下的生存策略

由上個實驗結果, 發現蚜蟲面對捕食幾乎無法逃離, 且同伴也無反應, 這對生物生存而言是相當奇怪。查詢資料顯示, 蚜蟲繁殖力驚人, 難道蚜蟲的生存策略是繁殖嗎?

1. 探討食蚜蠅幼蟲對蚜蟲生殖速率的影響

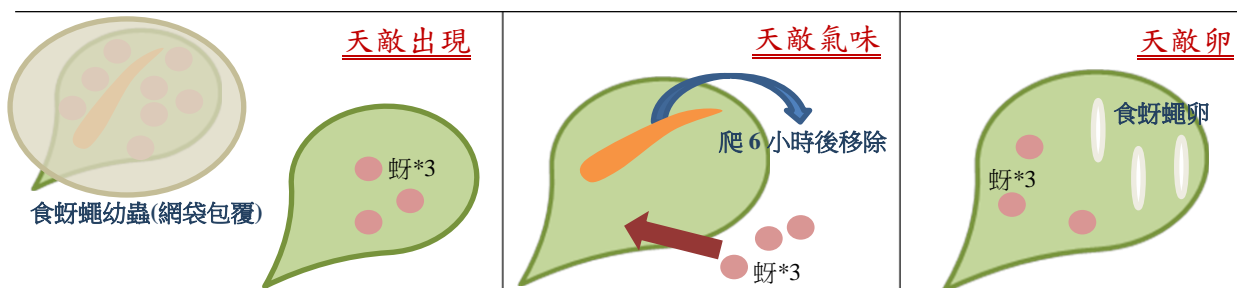
於養蟲盒內, 將食蚜蠅幼蟲與含蚜蟲的葉子, 以網袋包覆避免幼蟲爬出(圖), 於網袋旁放有 3 隻成蚜的葉子, 連續記錄 3 日, 每日的蚜蟲生殖數量。(三重覆取平均)



圖 11 以網袋包覆幼蟲及蚜蟲

2. 不同威脅等級對蚜蟲生殖速率的影響

結果顯示, 蚜蟲竟然會在天敵出現下, 大幅增加子代數量, 而除幼蟲出現之外, 天敵氣味或卵等不同威脅等級也會刺激蚜蟲嗎? 實驗設定如下。(連續三日子代數, 三重覆平均值)



3. 蚜蟲乾殼對生殖速率的影響

上個實驗中，幼蟲出現的組別，生殖速率隨日數而增加，觀察後發現蚜蟲被捕食後，會於腹管分泌分泌物，蚜蟲乾殼及上面的分泌物會刺激蚜蟲增加子代數目？取蚜蟲乾殼 12 個，置於 3 隻成蚜的葉，記錄 3 日的子代數量。(三重覆平均)



圖 12 蚜蟲乾殼，腹管分泌物

(三)被寄生蚜對蚜蟲生殖速率及有翅型子代的影響

研究中期，意外發現控制組蚜蟲被寄生(圖 13)，取被寄生蚜*3 與 3 隻成蚜，記錄 3 日的平均增加子代數量，並持續觀察增加子代中有翅型比例。(三重覆平均)



圖 13 被寄生蚜與生殖速率？

四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯

養蟲籠內的蚜蟲盆栽，觀察到有食蚜蠅幼蟲捕食的葉上，似乎有較多產卵的趨勢，文獻提及蚜蟲腹管分泌物(蚜蟲乾殼上)可能會吸引產卵，而被寄生蚜是否也有同樣的結果。

(一)探討捕食後的蚜蟲乾殼與被寄生蚜對食蚜蠅產卵的影響

取養蟲籠雌、雄成蟲(圖 14a)，共 2 對，置入另一養蟲籠內，不同組別(圖 14b)設定如下：

蚜蟲*50	食蚜蠅幼蟲*1	食蚜蠅幼蟲*1+蚜蟲*50 (產生蚜蟲乾殼組)	被寄生蚜*3	被寄生蚜*3 +蚜蟲*50
-------	---------	----------------------------	--------	------------------

註：1 日後，計算各組產卵數；N=2，三重覆取平均

(二)探討食蚜蠅幼蟲捕食同類卵與蚜蟲關聯

產卵實驗中，發現卵破裂現象，但卻無發現新孵化的食蚜蠅幼蟲，這會是原葉上的幼蟲捕食了同類卵？設立有無食蚜蠅卵(3 顆)的組別來探討捕食同類卵與蚜蟲關聯。N=3，二重覆平均

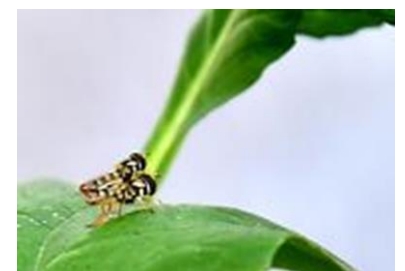


圖 14a 取養蟲籠雌、雄成蟲

(三)探討食蚜蠅幼蟲捕食他種生物與蚜蟲關聯

上個實驗，發現食蚜蠅幼蟲竟會捕食自己同類卵，加上之前蚜蟲乾殼會吸引食蚜蠅成蟲產卵，暗示著演化的祕密。我們更好奇的是，除幼蟲捕食同類，會不會捕食同時出現的被寄生蚜呢？設立蚜蟲*30+食蚜蠅幼蟲*1 及蚜蟲*30 被寄生蚜*3+食蚜蠅幼蟲*1 等兩組，6 小時後記錄捕食情形。各組 N=3，二重覆平均



圖 14b 食蚜蠅成蟲產卵影響

伍、研究結果

一、觀察記錄偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史

偽菜蚜為重要害蟲，我們利用十字花科的小松菜來飼養偽菜蚜，待族群大量建立後，再飼養蚜蟲天敵食蚜蠅幼蟲，以同日蚜進行生活史建立，並自行繪製不同階段的型態特徵，並計算偽菜蚜的子代增殖速率，以方便接下來的相關實驗。

(一)分類地位

1. 偽菜蚜

節肢動物門 – 昆蟲綱 – 半翅目 – 常蚜科 – 偽菜蚜屬 – 偽菜蚜

Arthropoda – Insecta – Hemiptera – Aphididae – Lipaphis - L. erysimi

2. 刺腿食蚜蠅

節肢動物門 – 昆蟲綱 – 雙翅目 – 食蚜蠅科 – 尾蚜蠅屬 – 刺腿食蚜蠅

Arthropoda – Insecta – Diptera – Syrphidae – Ischiodon – I. scutellaris Fabricius

(二)生活史

1. 偽菜蚜

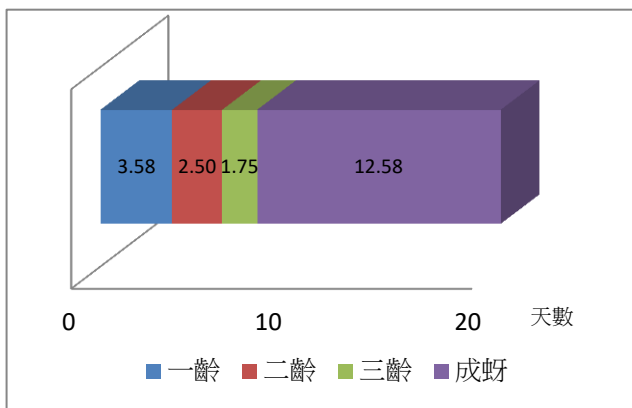


圖 15a 偽菜蚜不同階段的生活史(N=8)

偽菜蚜在室內，以小松菜為食物來源的生活史記錄，以一齡蚜蟲所需發育的時間最長(3.58±0.95 天)，由胎生產出後，約需 7.83±1.40 天，生長至成蚜。成蚜每日平均產子代數為 2.66±0.75 隻。

2. 刺腿食蚜蠅

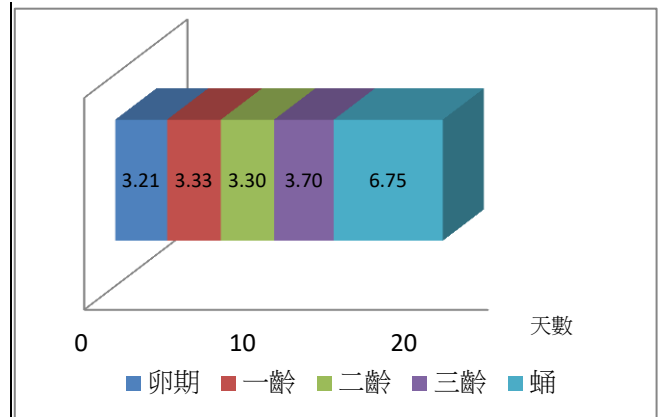


圖 15b 刺腿食蚜蠅不同階段的生活史(N=8)

在培養皿內，以偽菜蚜作為營養來源的食蚜蠅生活史，卵期至三齡的不同階段時間，介於 3~4 天，而蛹期所需的發育時間最久，約需 6.50±0.5 天。成蟲生活史部分，由於移至戶外養蟲籠，較難取得雌、雄不同性別的天數。

(三)不同階段的外觀及型值測量

1. 偽菜蚜

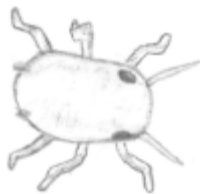
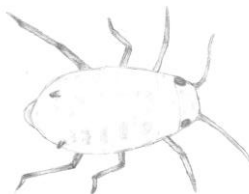


一齡	二齡
	
<p>腳和觸角半透明，身體紋路不明顯</p> <p>體長：0.60±0.19mm</p> <p>體寬：0.35±0.06mm</p>	<p>腳、觸角及腹管呈明顯黑色，身體狹窄</p> <p>體長：1.02±0.32mm</p> <p>體寬：0.58±0.06mm</p>
三齡	成蚜
	
<p>腹部呈圓形，尾部較尖，背上有黑點</p> <p>體長：1.36±0.43 mm</p> <p>體寬：0.77±0.02 mm</p>	<p>淡黃綠色，背上有黑點，有些微白色蠟粉</p> <p>體長：1.50±0.48mm</p> <p>體寬：0.88±0.04mm</p>



圖 16a 偽菜蚜一齡



圖 16b 偽菜蚜二齡及食蚜蠅卵



圖 16c 偽菜蚜三齡



圖 16d 偽菜蚜成蚜

2. 刺腿食蚜蠅






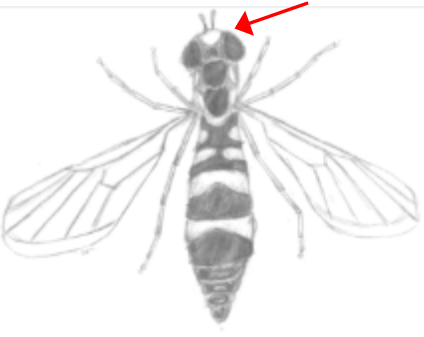
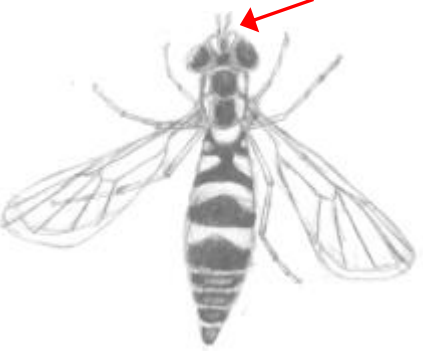
卵	一齡	二齡	三齡
			
長橢圓，白色網紋 體長： 0.72 ± 0.07 mm 體寬： 0.25 ± 0.02 mm	微透明、頭尖尾圓 體長： 1.39 ± 0.46 mm 體寬： 0.40 ± 0.11 mm	黃綠褐色、側邊有刺 體長： 5.58 ± 1.04 mm 體寬： 1.21 ± 0.35 mm	多綠色、中央灰白縱條 體長： 8.5 ± 1.089 mm 體寬： 1.73 ± 0.13 mm
蛹期	雄蟲		雌蟲
			
呈水滴形，暗褐色 體長： 6.19 ± 1.11 mm 體寬： 1.96 ± 0.30 mm	複眼間黃白色寬大呈 U 字形 體長： 7.27 ± 0.45 mm 體寬： 2.35 ± 0.23 mm		複眼間黃白色、中央有黑色縱帶 體長： 6.92 ± 1.17 mm 體寬： 2.58 ± 0.38 mm



圖 17a 食蚜蠅卵



圖 17b 食蚜蠅 1 齡



圖 17c 食蚜蠅 2 齡



圖 17d 食蚜蠅 3 齡



圖 17e 食蚜蠅蛹



圖 17f 食蚜蠅雄成蟲



圖 17g 食蚜蠅雌成蟲

二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為

在型態觀察方面，發現幼蟲似乎沒有視覺構造，能夠捕食到蚜蟲，是能感知蚜蟲氣味或是有微弱視覺能力呢？觀察捕食時，也發現幼蟲的搜索行為似乎有分成兩種類型，與蚜蟲有關嗎？這個部分我們針對捕食前的搜索、捕食的數量與時間及捕食後的行為分別進行討論。

(一)捕食前的搜索行為

1. 觀察食蚜蠅幼蟲的搜尋與蚜蟲的分佈

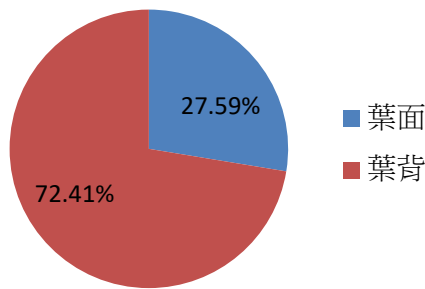


圖 18 幼蟲搜索葉子不同區域比例(搜索 N=12)

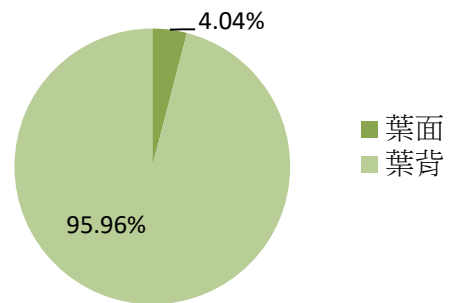


圖 19 蚜蟲分佈不同區域比例(蚜蟲平均 N=66.3)

食蚜蠅幼蟲搜尋葉子不同區域的結果，發現有高達 72% 左右的比例，幼蟲會選擇由葉子的背面開始搜索。為了解這是否與蚜蟲分佈有關，我們調查了飼養的蚜蟲盆栽，發現幾乎所有有蚜蟲分佈的葉子，均分佈於葉子的背面。接著，想知道的是在葉子背面的那個部位搜索的時間較多，因此比較搜索葉子時，在那個組織的搜索時間較多，結果如下：

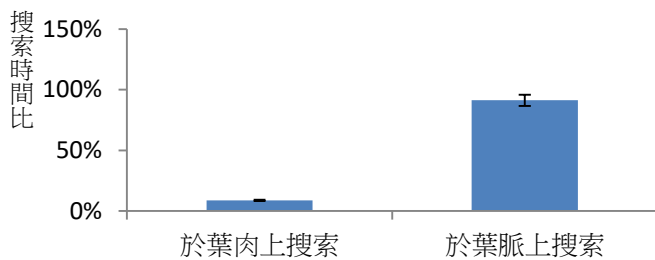


圖 20 幼蟲在葉子背面，於不同部位的搜索時間比



圖 21a 食蚜蠅幼蟲大多沿葉脈搜索

結果發現，幼蟲幾乎延著葉脈進行搜索(搜索時間平均 N=122.5s)，這可能是因為蚜蟲會吸食植物的汁液，分佈的區域會以維管束為主。這令人感到很好奇，幼蟲有很高的比例會先搜尋葉子背面，而蚜蟲幾乎分佈在葉子背面，且在維管束上，這除了暗示了演化的可能外，食蚜蠅幼蟲會感知到蚜蟲分佈的區域嗎？接著我們探討影響幼蟲搜索的因素。



圖 21b 蚜蟲多分佈在葉子背面

2. 探討影響食蚜蠅幼蟲搜尋蚜蟲的原因

幼蟲搜尋葉子，大多會先搜尋葉子背面，我們探討了蚜蟲的氣味或是幼蟲的視覺來了解。

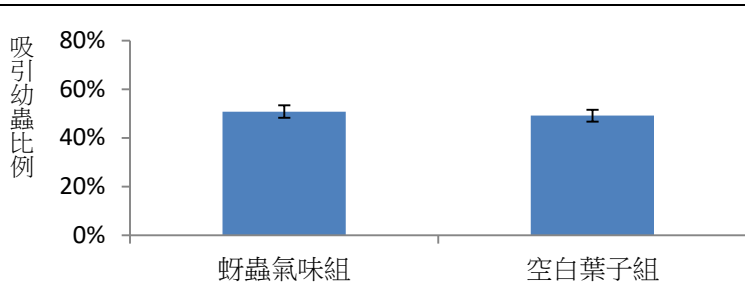


圖 22a 食蚜蠅幼蟲是否利用蚜蟲氣味來協助搜索

蚜蟲氣味組別及空白組，吸引幼蟲比例分別為 51.85%、48.45%的葉子，兩者 $p > 0.05$ ，未達顯著差異，顯示蚜蟲氣味可能不會吸引幼蟲搜索。

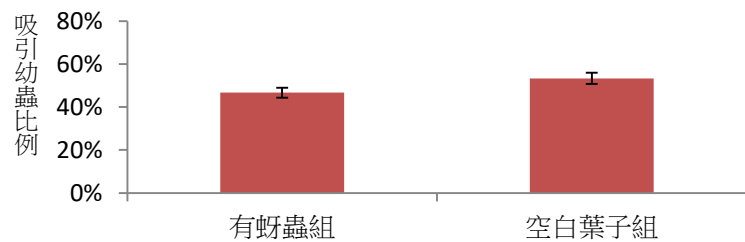


圖 22b 食蚜蠅幼蟲是否利用視覺來協助搜索

有蚜蟲組則為 46.67%，空白葉子組吸引幼蟲比例為 53.33%， p 值為 0.35，未達顯著差異，顯示蚜蟲可能不會利用本身的視覺來搜尋。

嗅覺及視覺實驗的結果顯示，食蚜蠅的幼蟲在搜尋蚜蟲時，可能不會利用嗅覺及視覺來進行搜索，而有很大的可能是隨機搜尋的，也就是以頭部隨機碰觸，為了進一步了解幼蟲是否為隨機捕食蚜蟲，我們設立光亮組及黑暗組，來了解是否黑暗環境中也能捕食。



圖 22c 幼蟲可能不會利用嗅覺搜索

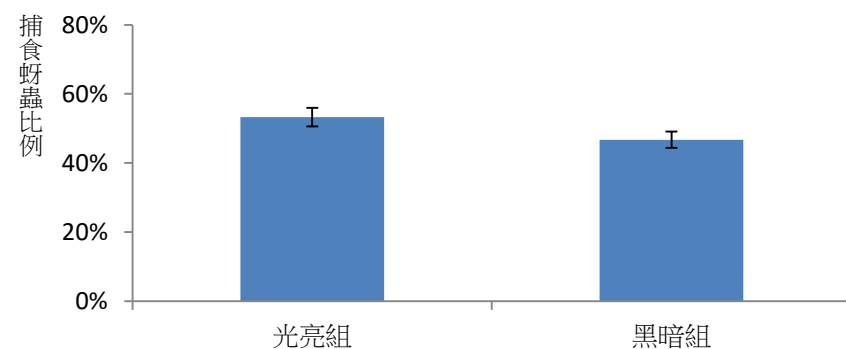


圖 23a 食蚜蠅幼蟲於不同環境下，對蚜蟲捕食率(N=13.25/1hr)

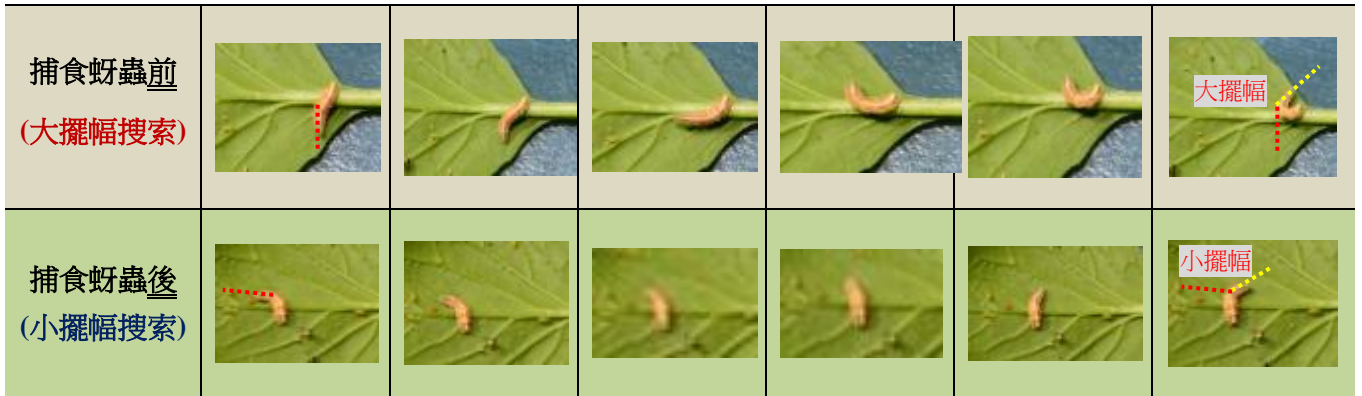


圖 23b 光亮組蚜蟲被捕食率與黑暗組相差不多

光亮與黑暗環境下，蚜蟲的被捕食率分別為 53.27%、46.79%， p 值為 0.80，未達顯著差異。食蚜蠅幼蟲搜尋的結果，顯示幼蟲大多會先選擇葉子背面進行搜尋，但與蚜蟲的氣味吸引及幼蟲本身的視覺無關，可能還存在其它原因；此外，捕食率也與視覺無關，推測食蚜蠅幼蟲對蚜蟲的捕食搜索行為為隨機碰觸。

3. 探討食蚜蠅幼蟲不同的搜索行為模式

了解食蚜蠅幼蟲對蚜蟲的搜索捕食為隨機進行，觀察幼蟲搜索行為，發現為抬頭後，左右擺、點擊葉面進行搜索。發現捕食前後，搜索行為有所不同，先記錄捕食前幼蟲行為，並比較餵食蚜蟲後搜索行為改變，接著探討兩種不同搜索行為的搜索差異，與蚜蟲分佈關聯。



由慢動作攝影擷取的畫面，可以發現食蚜蠅幼蟲在捕食前後，有明顯的搜索角度及範圍差異，捕食前的搜索角度相當的大(大擺幅搜索)，可做大面積的搜索。

(1) 捕食蚜蟲前後，兩種搜索模式比例及面積比較

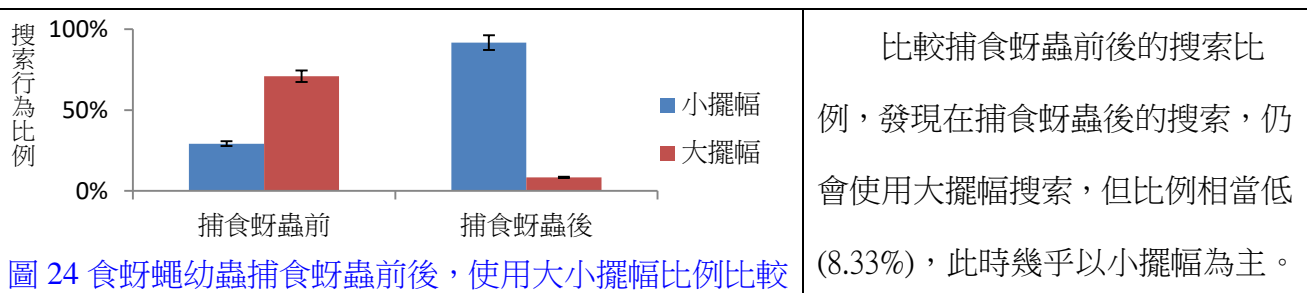


圖 24 食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲前後，使用大小擺幅比例比較

接著，為了解大、小擺幅搜索面積的差異，我們比較了伸長量與擺幅角度，結果如下：

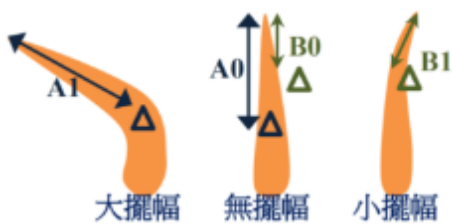


圖 25 大小擺幅時，伸長量比較示意圖

測量發現，使用大小擺幅時，支點、伸長量及夾角均有明顯不同，比較如下：(N=8)

	支點	夾角(度)	伸長量(mm)
大擺幅	第 6 體節	281.13	2.93, (A1-A0)
小擺幅	第 3 體節	124.16	0.88, (B1-B0)

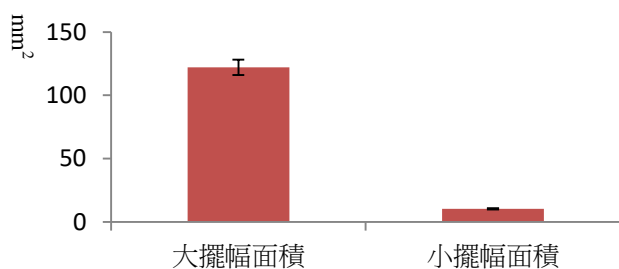
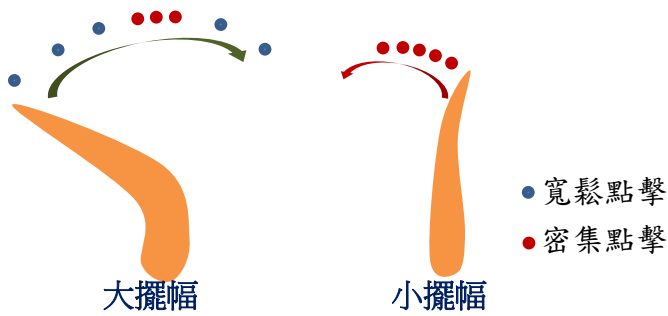


圖 26 食蚜蠅幼蟲搜索時，大小擺幅面積差異

搜索面積的差異上，大小擺幅間的差距很大，分別是 122.05、10.38mm²。可看出在開始搜尋時，以大面積的搜索能夠較有效率的尋找到蚜蟲的位置，而蚜蟲具有群聚性，捕食後則使用小擺幅的小面積搜索方式。

(2) 比較大小擺幅間，點擊葉面的角度及次數比較

除了大小擺幅的搜索面積差異外，最直接捕食的方式就是點擊葉面來確認是否有獵物，我們由慢動作攝影，發現兩種擺幅之間，有不同頻率的點擊葉面角度及次數，比較如下。



	夾角(度)		使用次數(次)	
	密集	寬鬆	密集	寬鬆
大擺幅 (捕食前)	5.88	19.6	5.83	11.83
小擺幅 (捕食後)	6.01		41.8	

圖 27 點擊葉面示意圖，小擺幅僅具有密集點擊

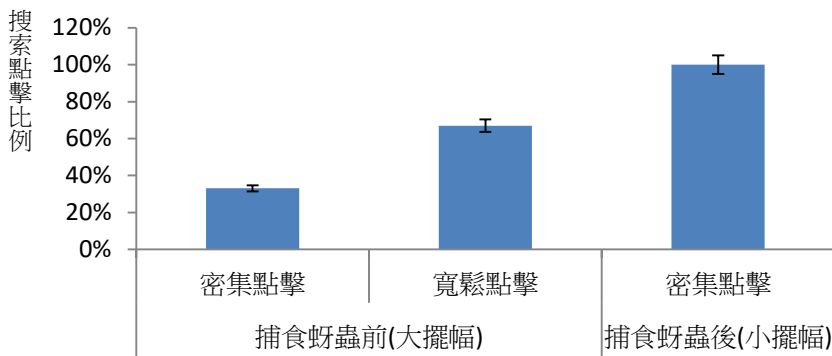


圖 28b 寬鬆點擊可能遺漏蚜蟲

圖 28a 捕食蚜蟲前後，使用不同點擊方式比例

比較了不同點擊方式比例的結果，顯示在使用大擺幅搜索時，仍有密集點擊(33.2%)的方式使用，這可能與密集、寬鬆間夾角有關，因寬鬆的夾角大於密集夾角，若在捕食前皆使用寬鬆點擊方式搜尋，則有可能會跨越蚜蟲，而有遺漏捕食蚜蟲的現象出現(圖)。

(3) 探討不同搜索模式與捕食蚜蟲關聯

由以上的觀察，發現了幼蟲會在捕食到蚜蟲後，不僅改變擺幅的型態(搜索面積變小)，而且也改變了點擊葉面的方式(僅用密集點擊)，這會與蚜蟲的分佈有關嗎？我們比較了捕食蚜蟲後，密集點擊葉面的距離與蚜蟲個體距離來釐清關聯。

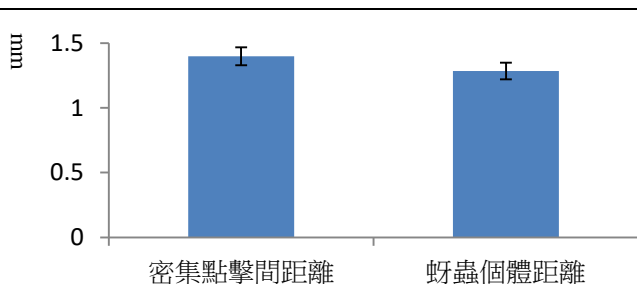


圖 29 密集點擊與蚜蟲個體距離比較

捕食蚜蟲後的密集點擊距離，平均為 1.39mm，蚜蟲的個體距離平均為 1.28mm，p 值為 0.35，無顯著差異。顯示食蚜蠅在捕食模式上，於捕食後能以較有效率的方式(小擺幅、密集點擊)來持續進行捕食。

(二)捕食時的數量與時間

在了解食蚜蠅幼蟲搜索行為會因捕食蚜蟲而有所改變後，我們繼續討論捕食的情形。

1. 捕食流程

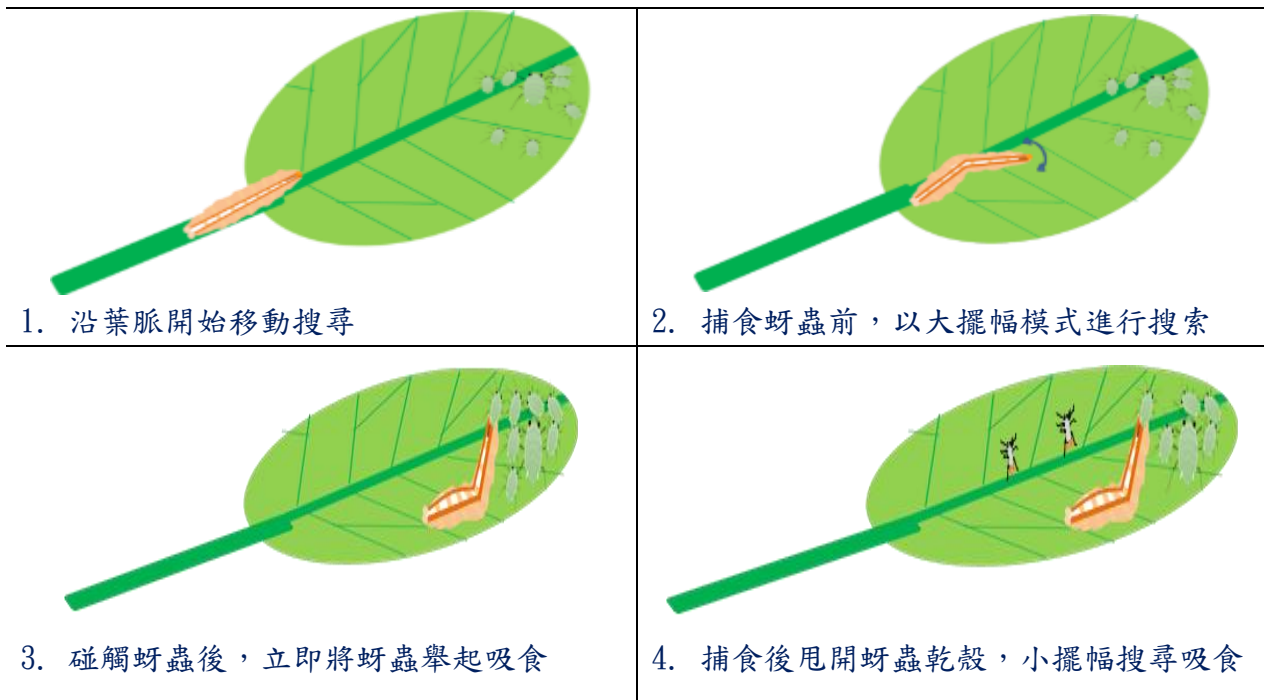


圖 30a 幼蟲捕食蚜蟲立即舉起



圖 30b 培養皿上蚜蟲被搜尋到



圖 30c 顯微攝影下捕食情形

觀察結果，食蚜蠅幼蟲接觸蚜蟲時，會立即將口器刺入蚜蟲體內，接著立即舉起，推測可能是避免蚜蟲掙脫逃跑，此時被舉起的蚜蟲，仍揮舞腳嘗試逃離。

2. 捕食時間與數量

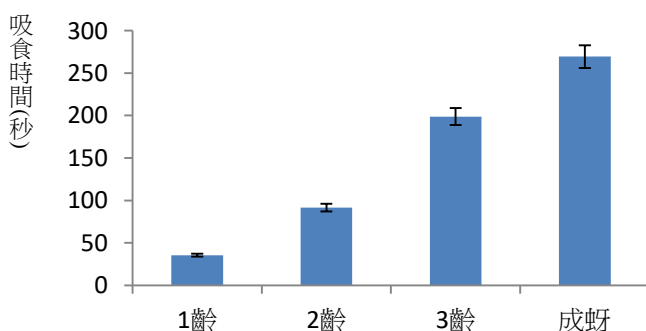
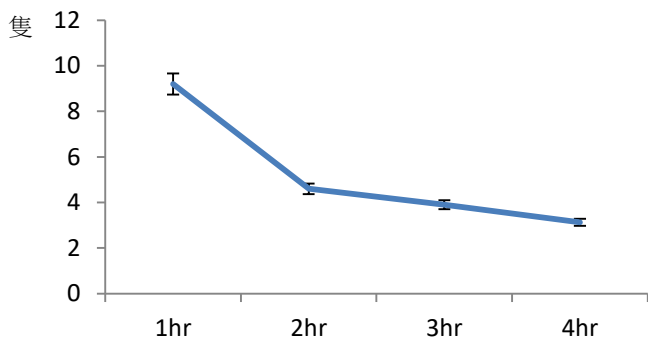


圖 31 食蚜蠅幼蟲吸食不同階段蚜蟲時間

蚜蟲依照不同生長階段，有型態大小的差異，在進行取食偏好時發現，食蚜蠅幼蟲可能是隨機捕食的模式，並無特定偏好。記錄幼蟲吸食不同階段的蚜蟲時間，以 1 隻成蚜所需的平均吸食時間最長(269.5s)，而一齡蚜僅需 35.5s 即吸食完成。



食蚜蠅幼蟲以捕食成蚜所需的時間最久，我們計算幼蟲捕食成蚜的數量，由結果可發現在第 1hr 內捕食的數量最多，達到 9.2 隻，隨著時間加長，捕食數量有下降的趨勢。此外也計算了 1 日內的平均捕食數量為 76.66 隻，1hr 平均為 5.21 隻。

圖 32 食蚜蠅幼蟲 4 小時之內的捕食數量

在顯微鏡下觀察，發現當蚜蟲被捕食時，會由腹管分泌黃色的分泌物，經文獻查詢顯示這可能是蚜蟲的防禦模式，不過在我們的研究中似乎無法觀察到分泌物有協助逃離的現象出現，而被吸乾之後，蚜蟲乾殼仍留有黃色的分泌物，



圖 33 蚜蟲被捕食，腹管分泌物



圖 34 食蚜蠅不會吸食分泌物



圖 35 幼蟲會將乾殼甩開

(三)捕食後的行為

食蚜蠅幼蟲在捕食後會將蚜蟲乾殼甩至附近區域，我們測量了甩出的距離。

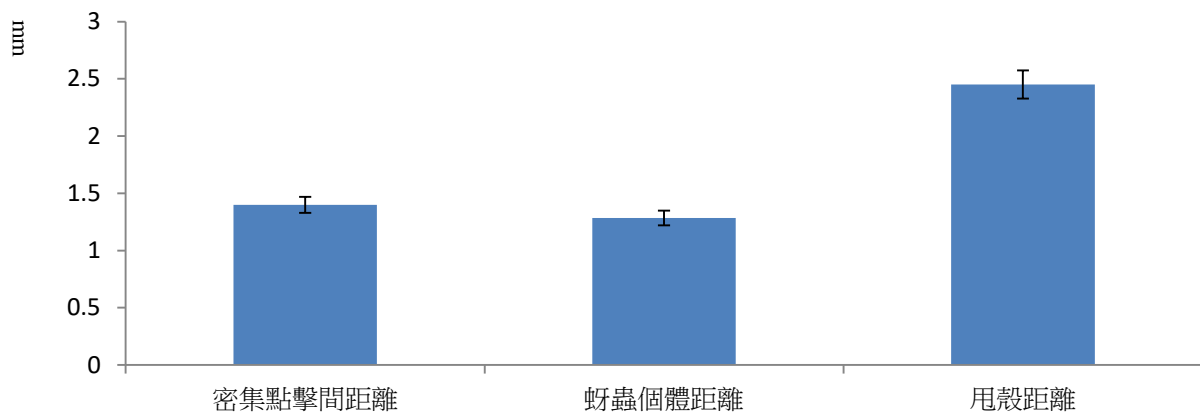


圖 36 食蚜蠅幼蟲甩殼距離與搜索距離之比較

我們比較了幼蟲吸食完蚜蟲的甩殼距離，約為密集點擊距的 1.75 倍，推測幼蟲將殼甩出較遠的距離，可以避免下一次捕食時再將吸過的殼吸起。

探討完食蚜蠅幼蟲的捕食前中後的行為之後，我們接著想要知道的是，看似柔軟的蚜蟲，會不會有什麼反抗天敵捕食的方式呢？

三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略

在探討食蚜蠅捕食蚜蟲的過程裡，我們感到納悶的是蚜蟲似乎毫無任何防禦策略，只能等待被捕食，而在研究中突然出現的寄生蜂，使得蚜蟲的生存更加艱困，在這個段落裡，我們試著找尋蚜蟲的生存策略，並比較蚜蟲面對後來出現的寄生蜂是不是有相同的方式因應。

(一)觀察蚜蟲在食蚜蠅幼蟲出現下的反應

1. 比較食蚜蠅幼蟲與蚜蟲移動速率

在我們的觀察裡，發現蚜蟲大部分的時間都固定不斷的吸食，僅有少部分進行移動，例如移動至新葉吸食時(圖)以及身體被刺激或碰觸時(圖)。

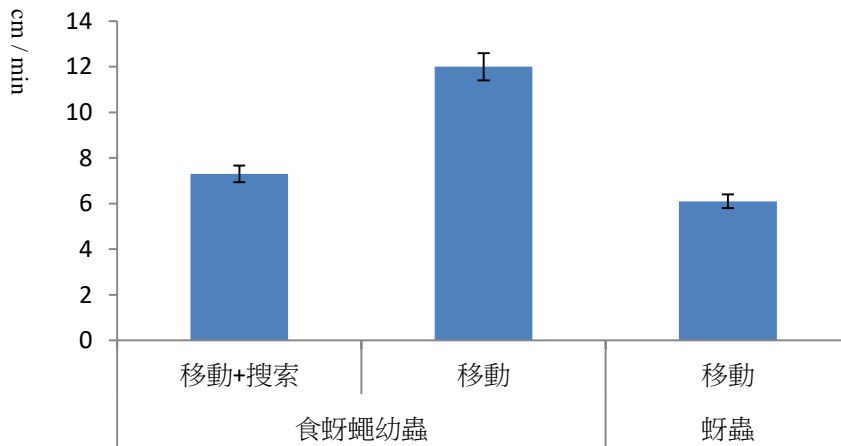


圖 38a 蚜蟲移動至新葉吸食



圖 38b 蚜蟲被碰觸時移動

圖 37 比較食蚜蠅幼蟲與蚜蟲的移動速率

在移動速率的比較方面，蚜蟲與食蚜蠅幼蟲相比，食蚜蠅的移動較快，不僅是單純移動方面，幼蟲邊移動邊搜索時(6.9cm/min)的速率也較蚜蟲(6cm/min)快，由此可知即使蚜蟲被碰觸進行逃離，仍有很大的機會被食蚜蠅幼蟲捕食。

2. 觀察蚜蟲在附近同伴被捕食時的反應



圖 39a 同伴被捕食與附近蚜蟲



圖 39b 顯微鏡下，同伴被捕捉後吸食，蚜蟲均無特別反應

不論是幼蟲捕捉蚜蟲後舉起，或是正在吸食，附近的蚜蟲似乎都沒有什麼反應出現。

(二)探討蚜蟲在捕食型天敵下的生存策略

在生存競賽中，看似溫和的蚜蟲究竟有什麼樣的生存策略呢？文獻及網路資料均提及，蚜蟲之所以成為害蟲，是因強大的繁殖能力，這讓我們想到，蚜蟲在食蚜蠅幼蟲出現大肆捕食的同時，會不會增加子代的數量，以「蚜」還「蚜」呢？

1. 探討食蚜蠅幼蟲出現下，對蚜蟲生殖速率的影響

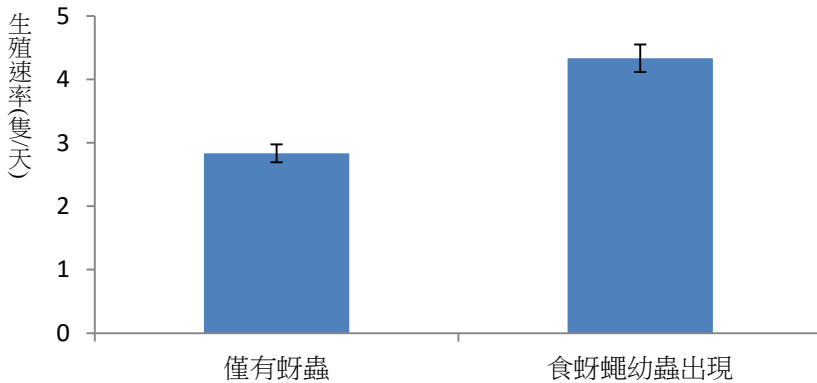


圖 40b 圖上，網袋包覆食蚜蠅幼蟲+蚜蟲；圖下增生子代

圖 40a 比較食蚜蠅幼蟲出現下，對蚜蟲增加子代數量的影響

結果發現，在放有網袋包覆食蚜蠅幼蟲+蚜蟲組別旁，蚜蟲增加的速率為 4.33 隻/天，而僅有蚜蟲的組別為 2.83 隻/天， $p < 0.05$ 達顯著差異。結果顯示看似溫和的蚜蟲，利用了意想不到的方式來進行防守，就是生出更多的子代。

2. 不同威脅等級對蚜蟲生殖速率的影響

除了天敵直接出現造成的生殖速率增加外，我們也發現食蚜蠅的卵常產在蚜群附近，天敵的不同威脅等級會不會也刺激了蚜蟲，使得生殖速率大增呢？

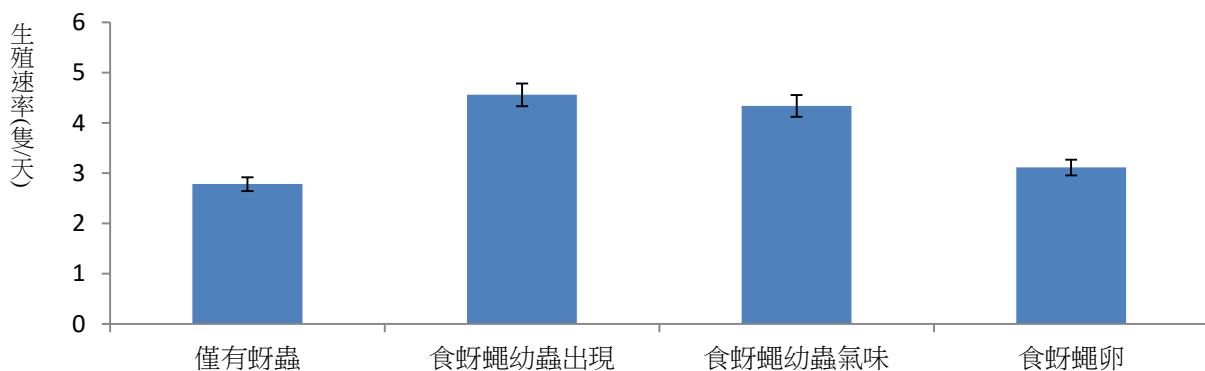


圖 41a 比較不同威脅等級對蚜蟲生殖速率的影響

在生殖速率的比較發現，具有食蚜蠅幼蟲出現的組別，子代的數量顯著高於蚜蟲，而食蚜蠅卵的組別(子代為 2.7 隻/天)，則與對照組(僅有蚜蟲)差異不大。

在檢視每日增加子代數量時，我們發現了一個特別的狀況，就是子代增加的數量與天敵影響的時間似乎有所關聯，結果如下：

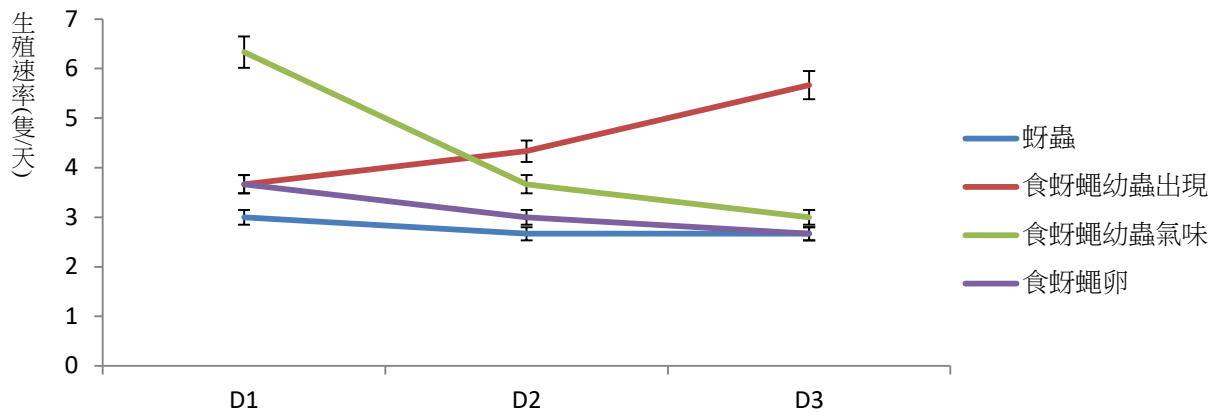


圖 41b 不同天敵的威脅等級，在不同時間對蚜蟲生殖速率的影響

威脅等級的時間中，發現幼蟲氣味的組別在第一天時，能大量刺激蚜蟲產生子代，隨著時間而氣味逐漸散去，使得刺激的因素變少，因而子代增加趨緩；令人好奇的是，為何食蚜蠅幼蟲出現的組別，蚜蟲生殖速率會逐漸增加呢？

3. 蚜蟲乾殼對生殖速率的影響

觀察網袋內的食蚜蠅幼蟲出現組，發現有大量被捕食後的蚜蟲乾殼及腹管分泌物，不禁懷疑這些蚜蟲乾殼，是否是使得蚜蟲生殖速率增加的原因呢？

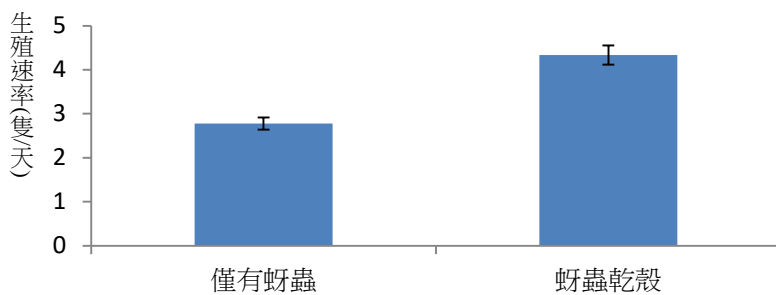


圖 42a 蚜蟲乾殼對蚜蟲生殖速率的影響



圖 42b 蚜蟲乾殼，增加生殖速率

結果顯示，蚜蟲乾殼組與對照組(僅有蚜蟲)相比較，生殖速率大約為對照組的 1.55 倍左右，顯示蚜蟲乾殼可能具有刺激刺激其它蚜蟲增加子代的能力。

蚜蟲在遭遇食蚜蠅捕食時，雖然無法發展出明顯的防禦策略，但卻利用了大量增加子代的數量，來使得族群有了延續的可能，尤其蚜蟲乾殼的部分，當同伴被天敵捕食吸乾後，留下的乾殼似乎釋放了某些信號，使得其餘尚未被捕食的蚜蟲大量產生子代。

(三)被寄生蚜對蚜蟲生殖速率及有翅型子代影響

研究進行時，由於蚜蟲的族群擴張迅速，大量的蚜群也引來另一類型的天敵~歧阜小繭蜂 (*Aphidius gifuensis*)，與捕食型的天敵食蚜蠅不同。寄生蜂會將卵產於蚜蟲體內，孵化後的卵以蚜蟲體內組織為食，使得蚜蟲身體開始膨脹，直到發展成熟後再由被寄生蚜的體表鑽出。



圖 43a 校園裡出現的寄生蜂



圖 43b 被寄生的蚜蟲明顯脹大



圖 43c 寄生蜂鑽出蚜蟲身體

在面對捕食型天敵時，蚜蟲利用令人意想不到的策略來使族群延續，那寄生蜂的出現，蚜蟲會不會也採用相同的策略呢？觀察結果發現，即使被寄生的蚜蟲身體已經明顯脹大，附近的蚜蟲依然安靜的吸食，似乎沒有逃離有寄生蜂天敵威脅的情形。這個部份，我們將探討被寄生蚜對蚜蟲生殖速率的影響。

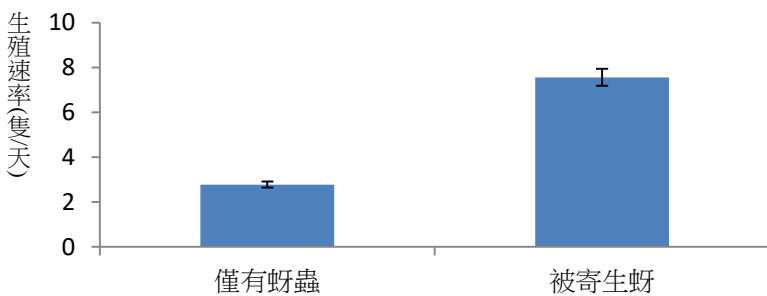


圖 44a 被寄生蚜對蚜蟲生殖速率的影響



圖 44b 被寄生蚜，刺激蚜蟲產生的子代，有些形成有翅型

被寄生蚜旁的蚜蟲，子代增加數量為對照組(僅有蚜蟲組)的 2.72 倍，顯示面對寄生型天敵，也以同樣的生存策略來進行，接著持續觀察增生的子代，發現有些形成有翅型(圖)。

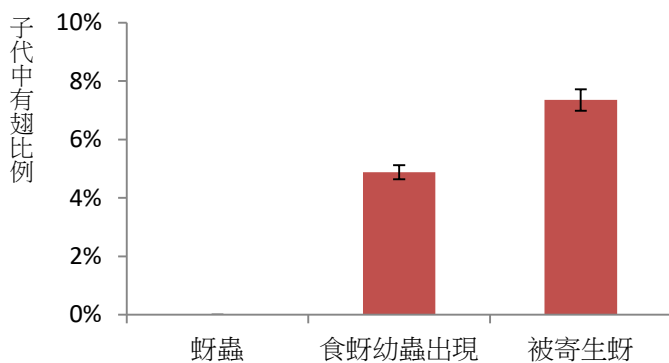


圖 45 不同類型天敵刺激增生子代中有翅型比例

持續觀察發現，被寄生蚜旁增加子代，約有 7.2% 比例形成有翅型蚜蟲，食蚜蠅幼蟲組則為 4.8%。顯示面對捕食型或寄生型天敵時，皆以增加子代數量及產生較多的有翅型來面對，而被寄生蚜似乎造成蚜蟲有較大的生存壓力。

四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯

在養蟲籠的葉上，觀察到有食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲的葉上，似乎有較多的食蚜蠅卵出現的現象，文獻中有提及腹管分泌物可能會吸引天敵來產卵。這個部分，我們探討蚜蟲被捕食產生的蚜蟲乾殼及被寄生蚜，對食蚜蠅產卵的影響。

(一)探討捕食後的蚜蟲乾殼與被寄生蚜對食蚜蠅產卵的影響

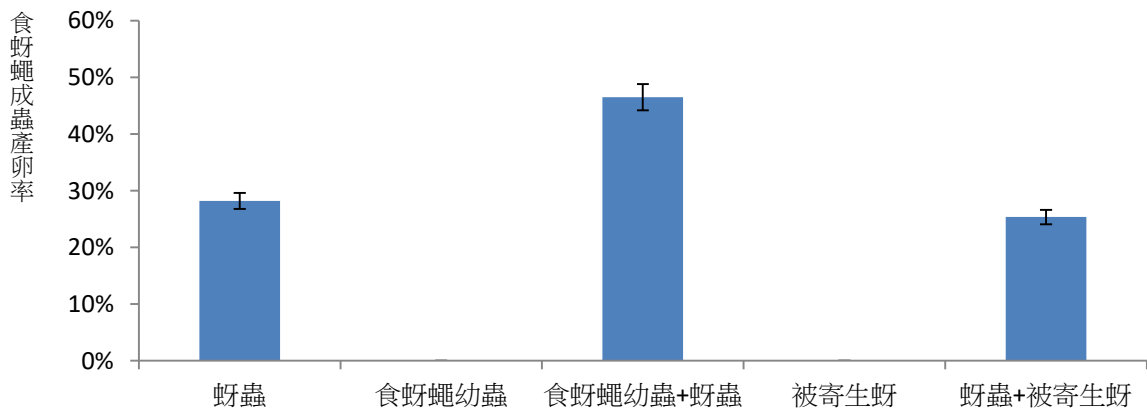


圖 46a 比較不同條件對食蚜蠅成蟲產卵的影響 (三次結果，每次平均產卵 N=6.91)

食蚜蠅幼蟲會不斷捕食蚜蟲產生蚜蟲乾殼，我們將這組設定為蚜蟲乾殼組。結果顯示食蚜蠅成蟲將卵產在幼蟲+蚜蟲的組別較高(比例 46.48%，2.75 個卵 / 天)，而僅有被寄生蚜的組別沒有發現卵，值得一提的是，蚜蟲+寄生蚜的組別與對照組(蚜蟲)相比，成蟲產卵率相似，顯示被寄生蚜對於食蚜蠅成蟲的產卵，可能不具有吸引力。



圖 46b 成蟲會在有蚜蟲處產卵



圖 46c 被寄生蚜吸引產卵數差異不大

(二)探討食蚜蠅幼蟲捕食同類卵與蚜蟲生存關聯

上個結果，不禁令人不解，蚜蟲乾殼一方面刺激增加子代，另一方面又吸引成蟲來產卵。經過觀察，發現食蚜蠅幼蟲組的卵，似乎有破裂現象，且沒有發現一齡幼蟲，由研究結果二知道幼蟲捕食是隨機的，食蚜蠅幼蟲會因食物缺乏，而捕食自己同類的卵嗎？



圖 47 發現卵有破裂現象

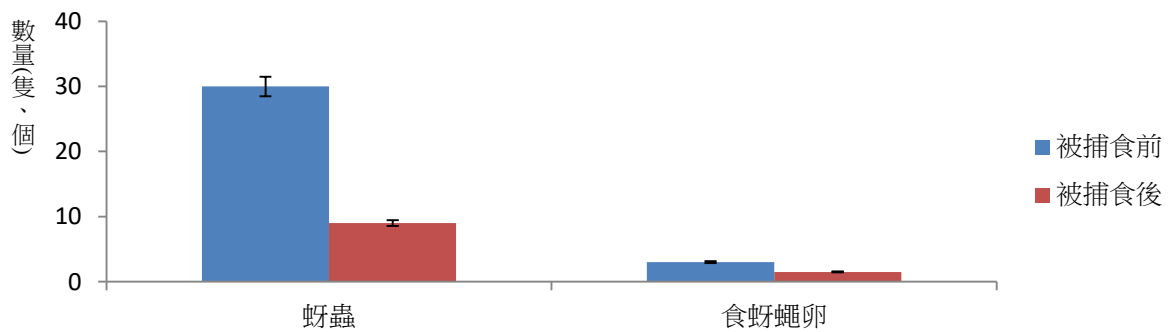


圖 48a 探討食蚜蠅幼蟲是否因食物缺乏，捕食同類卵

實驗結果，食蚜蠅幼蟲會捕食自己同類的卵，且並不是在食物缺乏狀態下，顯示食蚜蠅幼蟲的捕食方式是隨機搜索，當點擊到食物來源時，直接捕食。被捕食後的蚜蟲的乾殼吸引成蟲產卵，接著又可能被原先在葉上的幼蟲隨機捕食，使得無法孵化，也增加蚜蟲的生存機會。



圖 48b 食蚜蠅卵被同類捕食

(三) 探討食蚜蠅幼蟲捕食其它天敵與蚜蟲生存關聯

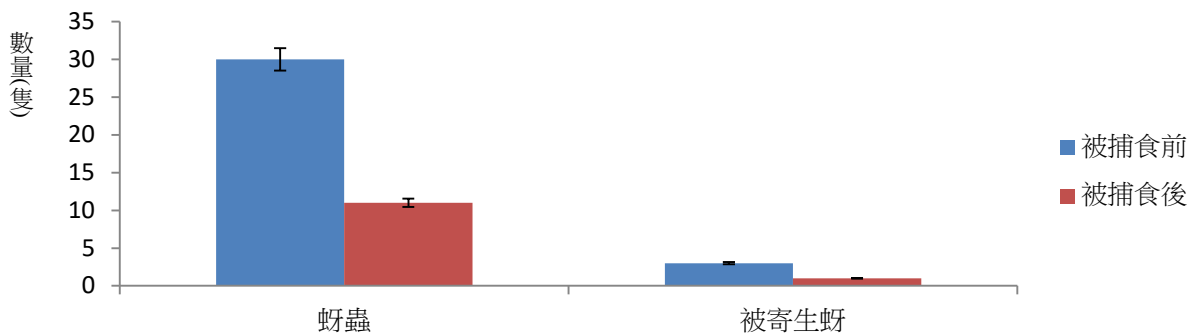


圖 49a 探討食蚜蠅幼蟲是否因食物缺乏，捕食其它蚜蟲天敵

結果顯示，食蚜蠅幼蟲不僅會捕食同類的卵，也會捕食其它蚜蟲天敵(被寄生蚜內有蚜寄生蜂)，使得寄生蜂可能無法順利生長，也無法鑽出蚜蟲身體，感染其它蚜蟲。



圖 49b 被幼蟲捕食的被寄生蚜

在食蚜蠅幼蟲特殊捕食實驗，發現了文獻未提及的捕食同類与其它蚜蟲天敵現象。柔弱蚜蟲，有著無法想像的生存之道，當食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲產生蚜蟲乾殼，而有些蚜蟲被寄生後形成被寄生蚜，這些已經犧牲的蚜蟲，不僅能刺激其它蚜蟲增加子代數量，且增加有翅型比例。乾殼較能吸引成蟲產卵，此時卵可能被幼蟲捕食，加上被寄生蚜的被捕食，可能因此削落天敵的族群，也增加其它蚜蟲的生存機會。

陸、討論



圖 50 大量繁殖蚜蟲危害作物

蚜蟲是地球上最具破壞性的昆蟲，目前約有 4400 種，台灣記錄有 277 種，為農林植物及藝的重要害蟲。危害作物十分廣泛，包含十字花科蔬葉、豆類、瓜果....等各種經濟作物。蚜蟲於台灣終年可見，以刺吸式口器吸取植物汁液，造成植物營養缺乏、枯萎黃化，且會將過多的蜜露排出，佈滿附近葉面影響植物光合及呼吸作用，且在吸食的過程裡，會傳播植物病毒，對植物的危害甚鉅。

目前在防治上，分為農藥及生物防治。邱政發(2007)指出，台灣的有機農作設施，以桃蚜、棉蚜及偽菜蚜最為普遍發生，已對多種殺蟲劑產生抗藥性導致防治困難。而在生物防治方面，蚜蟲的天敵類型大致可分為捕食、寄生型天敵，捕食型天敵，如瓢蟲、草蛉、食蚜虻、小黑花椿象，寄生型天敵如蚜繭蜂、麥蚜繭蜂等。林秀芬(2008)提到，韓國曾有引進寄生蜂防治蘋果棉蚜的案例；吳子淦(2013)的研究成果提及，刺腿食蚜蠅具有改善室內黃瓜結果問題，及可能具有防治蚜蟲價值。

在長期的觀察中，我們發現食蚜蠅幼蟲搜索模式的變化，以及蚜蟲令人驚訝的生存策略，被全世界視為大敵的蚜蟲，在悠遠的演化舞台卻能站穩腳步，暗示著看來柔弱的蚜蟲，有著不為人知的生存祕密，我們藉由這次的機會得以了解為了生存在演化上歷程中的奧妙，在這一系列實



圖 51 蚜蟲與不同類型天敵

驗中，我們觀察到食蚜蠅的捕食模式會因蚜蟲而改變，接著探討蚜蟲的生存策略，最後令人驚訝的是食蚜蠅的產卵、捕食與蚜蟲之間似乎有著密切的互動與關聯，而研究中意外出現的寄生蜂，蚜蟲的生存策略又會是什麼，蚜蟲、食蚜蠅與寄生蜂，看似毫無勝算的蚜蟲，該如何生存呢？國內的文獻較少探討到行為互動，希望藉由我們的研究能一窺其中奧妙，以下是我們的討論：

一、觀察記錄偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史

在小松菜飼養的生活史上，偽菜蚜約需 7.83 ± 1.40 天長至成蚜，每日平均產子代數為 2.66 ± 0.75 隻。這與簡巧治(2005)於白蘿蔔上偽菜蚜研究結果不同，於 25 度 c 下約需 6.6 天長

至成蚜，且此溫度下，雌蚜一生約可產 44.8 隻子代(成蚜約 12.3 天)。推測可能差異原因為營養來源及溫度關係，該報告指出偽菜蚜的生活史受溫度影響甚多。食蚜蠅的部分，國內較少文獻提及生活史天數，而型態部分觀察到幼蟲體色多變，長至三齡時有綠色、黃色、暗褐等不同體色變化，我們飼養中以綠色體色較多。



圖 52 食蚜蠅幼蟲脫皮具有黏絲

二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為

捕食行為方面，發現食蚜蠅幼蟲在搜尋新葉蚜蟲，會先選擇葉子背面，且多沿著葉脈搜索，推測可能與蚜蟲由維管束來取得汁液有關，在演化的過程裡，幼蟲沿著葉脈可能會有較大與蚜蟲接觸的機會；接著，我們發現吸引食蚜蠅幼蟲的原因，並不是蚜蟲的氣味，也不是幼蟲本身視覺造成，那為何食蚜蠅會優先選擇葉子背面進行搜尋呢？章加寶(2008)關於捕食天敵的文章，提及捕食天敵常受溫度、光線、重力與化學物質等影響，例如某些食蚜瓢蟲捕食蚜蟲與光線及重力有關，而有些瓢蟲則為隨機捕食，我們藉由暗箱實驗，了解食蚜蠅幼蟲捕食較偏向隨機型，

搜索行為的類型上，觀察到食蠅蚜幼蟲有兩種不同的搜索模式，捕食蚜蟲後會將搜索面積變小，且點擊葉面方式改為密集式。搜索面積與蚜蟲的身體彎曲夾角有關，除了夾角，我們也觀察到不同搜索(大、小擺幅)模式，是因幼蟲伸長身體的支點不同，小擺幅的支點較前(第三體節)，而身體的伸長量也較小，比較兩種擺幅與原體長的伸長量比，發現大擺幅時，身體大幅伸長，伸長量是原體長的 71.48%，藉由伸長的體長、支點位置及夾角來改變搜索面積。除了搜索面積，捕食蚜蟲之後的行為，改以密集式點擊，可能與長久的演化有關，蚜蟲多為群聚性，而個體距離與我們測量出的密集點擊距離相似，能夠更有效率的捕食。

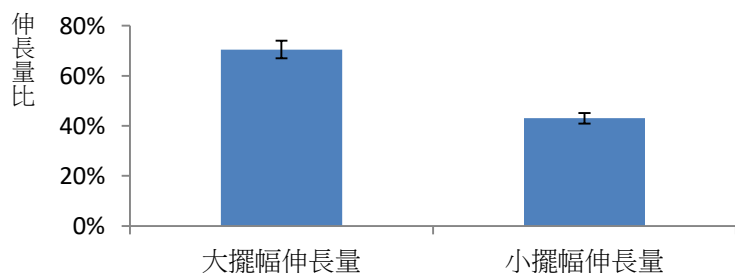


圖 53a 與原體長相比，不同擺幅的伸長比例



圖 53b 捕食後，改為密集點擊(與蚜蟲個體距離有關)

食蚜蠅幼蟲，捕食前後所發生的行為改變，相關比較如下：

	搜索方式	搜索面積	點擊葉面
捕食前 (葉面搜索)	大擺幅 支點後移、夾角大、伸長量大	面積大 (節省搜索時間)	寬鬆，多 密集，少
捕食後 (蚜群間搜索)	小擺幅 支點前移、夾角小、伸長量小	面積小 (蚜蟲群聚有關)	密集

三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略

蚜蟲面對五花八門的天敵攻擊，演化了相當獨特的生存策略。課本提及蚜蟲會藉由分泌蜜露來吸引螞蟻，藉以獲得保護；王怡芬(2006)研究具社會行為的竹葉扁蚜，發現兵蚜會主動刺破瓢蟲卵來保護族群；倫敦帝國大學(2008)的研究發現，某些蚜蟲體內會混有芥子油，當被瓢蟲攻擊，會引發微型爆炸。

我們觀察的蚜蟲，似乎沒有什麼太明顯的防禦模式，即使同伴被食蚜蠅捕食時，仍在一旁吸食汁液，毫不擔心接下來被捕食的風險。蚜蟲具有高繁殖能力，我們發現當有食蚜蠅幼蟲出現時，附近的蚜蟲具有較高的子代產生率，接著進一步探討，發現能夠刺激蚜蟲改變生殖速率的竟是同伴被捕食後的身體(蚜蟲乾殼)。

這些乾殼上有被捕食時留下的腹管分泌物，章加寶 (2008)文章提到，蚜蟲被攻擊時，由腹管分泌蠟質來纏住瓢蟲，蚜蟲即可逃走，維基百科提及腹管分泌物為蠟質成份，是能迅速硬化的防禦液。在我們的研究中並沒有發現腹管分泌物對食蚜蠅幼蟲有什麼防禦能力，究竟被攻擊產生的分泌物，或被吸乾殼本身能刺激其它蚜蟲的生殖速率改變，我們曾試著取下分泌物，但太小難以收集，而無法釐清。



圖 54 被捕食時，立刻分泌

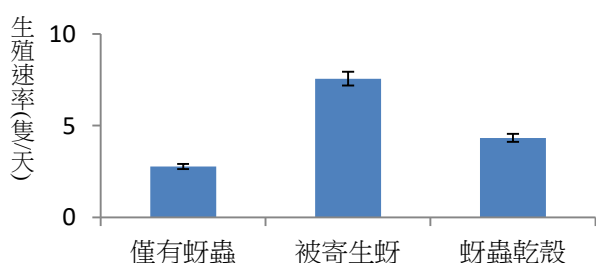


圖 55 不同類型天敵，對生殖速率結果比較

研究中意外出現寄生蜂，寄生後使得蚜蟲身體腫大，而在被寄生蚜旁的蚜蟲，則以每日約 2.7 倍的速率增加子代數目，與被捕食後的蚜蟲乾殼相較，也顯著較多。寄生型天敵可能對蚜蟲的威脅較大，需更多的子代產生。

蚜蟲可分為無翅型及有翅型，趙治平(2008)於文章中提及，有翅型香蕉蚜蟲很少遷移，發生與氣候、天敵有關，其中以溫度影響最明顯，過高及過低的溫度都會刺激有翅型產生，

也有文獻指出有翅型和光照有關。在我們的結果中，發現在天敵出現所造成的增生子代中，被寄生蚜有較高的比例形成有翅型，飛離危險環境。比較蚜蟲面對不同類型天敵，發現模式有類似之處，都是依賴子代數目的增加，且少部分形成有翅型以飛離危險。



圖 56 增加子代有翅型比例

四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯

養蟲籠內，有食蚜蠅幼蟲的葉上有較多的成蟲來產卵，引起了我們的懷疑，查詢文獻，維基百科提及蚜蟲的腹管分泌物可能會吸引食蚜蠅前來產卵。在我們的研究結果中，也發現了這個現象(圖 46a)，食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲後，產生的蚜蟲乾殼能吸引較高比例的成蟲產卵。仔細觀察發現卵有被捕食的現象，且進一步發現不只食蚜蠅幼蟲會隨機捕食到同類卵，連被寄生的蚜蟲也會被捕食(圖 49a)，且也發現有較大食蚜蠅幼蟲捕食小型同類現象，這或許是蚜蟲演化上的驚人方式，也可以解釋為何戶外較少機會看到同時有多隻食蚜蠅幼蟲出現。

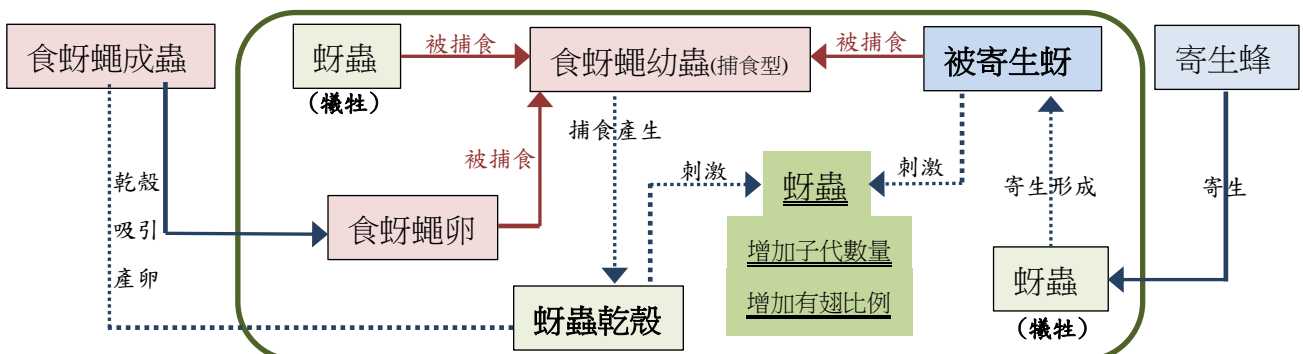


圖 57a 被捕食的卵

圖 57b 被寄生蚜被幼蟲捕食

圖 57c 食蚜蠅幼蟲捕食同類

同類相食的現象，在自然界中並不少見，如螳螂、蜘蛛。但由我們的研究結果，發現蚜蟲生存的驚奇策略，已經犧牲的蚜蟲似乎扮演著族群延續的重要使命。乾殼會吸引食蚜蠅成蟲產卵，造成原先葉上的食蚜蠅幼蟲可能捕食到同類卵，使得原本能孵化捕食蚜蟲的可能性下降，被寄生蚜蟲，也被近乎無差別攻擊的食蚜蠅幼蟲隨機捕食到，使得寄生蜂無法飛出。由於同類自食及捕食其它蚜蟲天敵，都可能增加蚜蟲的生存機會。看似不堪一擊的蚜蟲，巧妙以犧牲的蚜蟲來刺激其它蚜蟲增生數量及有翅比例，加上吸引成蟲產卵導致天敵同類相食，在生存的漫漫長路，看到了生命無限的可能。以下整理這系列實驗中，蚜蟲的生存策略：



柒、結論

在觀察偽菜蚜及其天敵刺腿食蚜蠅的互動過程中，意外發現偽菜蚜與刺腿食蚜蠅的一些特殊行為，而這些特殊行為之間似乎隱藏著關聯性。於是我們著手進行系列實驗，試圖釐清當中的可能關係。隨著實驗的進行，更發現另一種天敵蚜繭蜂的出現，讓實驗的過程更加驚奇。以下是我們整理實驗內容的結論，希望能初步探究其間的關係。

- (一) 偽菜蚜在室內，以小松菜為食物來源，以一齡蚜蟲所需發育的時間最長(3.58 ± 0.95 天)，由胎生產出後，約需 7.83 ± 1.40 天，生長至成蚜。成蚜每日平均產子代數為 2.66 ± 0.75 隻。
- (二) 在培養皿內，以偽菜蚜作為營養來源的食蚜蠅生活史，卵期至三齡的不同階段時間，介於 3~4 天，而蛹期所需的發育時間最久，約需 6.50 ± 0.5 天。
- (三) 食蚜蠅幼蟲高達 72% 左右的比例，會選擇由葉子的背面葉脈搜索，這和蚜蟲的分布情況有很高的重疊性。
- (四) 嗅覺及視覺實驗的結果顯示，食蚜蠅的幼蟲在搜尋蚜蟲時，可能不會利用嗅覺及視覺來進行搜索，而有很大的可能是隨機搜尋的，也就是以頭部隨機碰觸。光亮與黑暗環境下，蚜蟲的被捕食率分別為 53.27%、46.79%，p 值為 0.80，未達顯著差異。
- (五) 食蚜蠅幼蟲有兩種不同的搜索模式，大、小擺幅的搜索面積分別是 122.05 、 10.38mm^2 。食蚜蠅幼蟲在開始搜尋時，以大面積的搜索能夠較有效率的尋找到蚜蟲的位置；而蚜蟲具有群聚性，捕食後則使用小擺幅的小面積搜索方式。
- (六) 不同搜索(大、小擺幅)模式，是因幼蟲伸長身體的支點不同，小擺幅的支點較前(第三體節)，伸長量也較小，比較兩種擺幅與原體長的伸長量比，發現大擺幅時，身體大幅伸長，伸長量是原體長的 71.48%，藉由伸長的體長、支點位置及夾角來改變搜索面積。
- (七) 食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲後的密集點擊距離，平均為 1.39mm，蚜蟲的個體距離平均為 1.28mm，p 值為 0.35，無顯著差異。顯示食蚜蠅在捕食模式上，於捕食後能以較有效率的方式(小擺幅、密集點擊)來持續進行捕食。
- (八) 在移動速率的比較方面，食蚜蠅幼蟲邊移動邊搜索時($6.9\text{cm}/\text{min}$)的速率也較蚜蟲($6\text{cm}/\text{min}$)快，由此可知即使蚜蟲被碰觸進行逃離，仍有很大的機會被食蚜蠅幼蟲捕食。

捌、未來展望

在這一系列的實驗中，我們發現了蚜蟲驚人的生存策略，就是以「蚜」還「蚜」，利用被捕食後的蚜蟲乾殼，刺激其它蚜群增生更多的子代。實驗過程中，我們請教了農委會研究員關於生物防治的問題，研究員提到可能在蚜蟲族群較少時，利用食蚜蠅防治效果較好，而吳子淦(2002)於農委會的出版品中也提及釋放食蚜蠅最好的時機，就是作物上發現有少量蚜蟲存在的時候。這讓我們覺得很好奇，當蚜蟲族群數量大約多少時釋放會具有較好的防治成效呢？我們嘗試利用這系列實驗中的研究結果(被捕食後的蚜蟲乾殼刺激子代增生 1.55 倍)，來建立蚜蟲與食蚜蠅間的族群模型如下：

$$X-60Y+D(X-60Y)*4.5-60Y(D-1) \quad \text{註：} X=\text{蚜蟲}, Y=\text{食蚜蠅}, D=\text{天數}$$

由實驗結果建立的公式有許多問題待解決，例如目前還不確定母蚜在蚜群的分佈情形，加上增加子代中的有翅型被捕食機率未知，夏季的溫度，也造成蚜蟲生長受到影響，無法在田野計算族群。期望秋冬之際，能將蚜蟲與食蚜蠅間的族群模型建立，提供相關單位參考。

玖、參考資料

1. 簡巧治(2005)。偽菜蚜在白蘿蔔上的生命表。台灣昆蟲，25:231-241
2. 林秀芬、劉顯達 (2008)。蚜蟲天敵知多少，科學發展，430 期，10 月。
3. 吳子淦(2013)。甜椒與黃瓜蟲害整合管理技術研究。農委會農試所應用動物組研究成果。
4. 邱政發 (2007)。蚜蟲的生物防治。苗栗區農業專訊，40，5-6。
5. 章加寶(2008)。捕食性天敵昆蟲的捕食過程，取自行政院農委會生物防治主題館
6. 趙治平、王文哲、陳仁昭、楊秀珠、李淑英，袁秋英等(2008) 植物保護圖鑑系列 18—香蕉保護。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版
7. 王怡芬(2006)。社會性竹莖扁蚜之防衛行為。中華民國第 46 屆中小學科學展覽作品。
8. 李榕蓉(2011)。「蚜蟲集體搖動現象的研究」。中華民國第 51 屆中小學科學展覽作品。
9. 岐阜蚜繭蜂資料，取自台灣生命大百科。
10. 食蚜蠅資料，取自行政院農委會農業試驗所研究成果~安全農業
11. 偽菜蚜資料，取自行政院農委會農業試驗所病蟲害資料庫。
12. 吳子淦(2002)。植物保護圖鑑系列 9，害蟲天敵。行政院農委會動植物防檢局出版品。

【評語】 030310

1. 能觀察並記錄偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史並探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為，雖有很好的假說，可惜無發現具體成果。探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯，非常細心。而食蚜蠅的產卵、捕食與蚜蟲之間似乎有密切關聯。能仔細觀察並做大規模的實驗實屬不易。
2. 本研究透過生態觀察探討一個有趣的現象，就是為什麼蚜蟲的生殖數率在有其天敵產卵的情況之下反而還會增加？研究成果顯示蚜蟲在面臨天敵出現是所演化出來的生存策略令人敬佩。有趣的是，研究中所使用的食蚜蠅正是用來防治蚜蟲的生物防治利器，透過了解蚜蟲所演化出來的生存策略如何對抗天敵，希望可以有助於更好的防治策略。
3. 本研究透過精準及詳盡的觀察方式，提出問題，加以生態及實驗設計的觀察發現蚜蟲與其天敵食蚜蠅之間的特殊交互作用。實驗發現蚜蟲在天敵出現下大幅增加子代數量，因此蚜蟲的生存策略極有可能是透過大量繁殖。是一個很好的研究成果。
4. 這個研究有趣的地方是發現蚜蟲的產卵數目在被捕食過的葉面上反而會大幅增加，作者推測被捕時過的蚜蟲乾殼可能具有刺激蚜蟲產卵的物質，這是一個有趣的構想，可惜作者沒有就此進一步追蹤。建議可以收集被捕食過的蚜殼，將之磨碎後放在不同的葉面上，觀測是否會影響蚜蟲的產卵效率。

◎摘要

小小的偽菜蚜卻有著驚人的生存策略！被刺腿食蚜蠅幼蟲吸食後的蚜蟲乾殼，或是被寄生蜂寄生的蚜蟲，都大幅促進附近蚜群的生殖速率(分別為 1.55 倍、2.7 倍)；同時，也促進有翅型蚜蟲出現(分別為 4.8%、7.2%)。除了以增加子代數量來促進族群存續與產生較多有翅型來飛離危險外，蚜蟲乾殼能吸引食蚜蠅成蟲前來產卵。實驗發現，食蚜蠅幼蟲會捕食同類卵與被寄生的蚜，也有同類自食現象，導致大幅增加其它蚜蟲生存機會。此外，我們也發現食蚜蠅幼蟲的捕食以隨機點擊為主，有大、小擺幅兩種不同模式(搜索面積分別是 122.05、10.38mm²)。搜尋之初，以大擺幅有效率的找蚜群；捕食後以小擺幅連續密集點擊。小擺幅時，支點較前、身體伸長少；大擺幅時，身體伸長量達原體長的 71.48%。

壹、研究動機



圖 1 校園菜葉上的蚜蟲

學校菜園發現一些小蟲，一陣子後，出現大量的族群，同時，菜上方也出現很像蜜蜂的昆蟲在上空盤旋。查詢相關圖鑑及請教老師，了解這是農業的重要害蟲偽菜蚜及其天敵刺腿食蚜蠅。持續飼養觀察，另一類型天敵寄生蜂損出現，使得蚜蟲面臨了極大的威脅。為了解開蚜蟲與天敵間互動之謎，我們由型態生活史開始，逐步分析與討論這些小蟲不為人知的生存策略。

貳、研究目的

- 一、觀察偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史
- 二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為
- 三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略
- 四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯



圖 2 捕食天敵食蚜蠅幼蟲

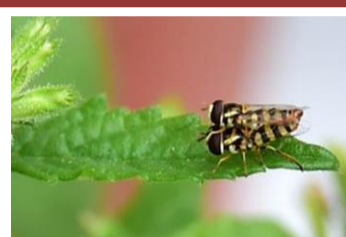


圖 3 蚜蟲天敵~食蚜蠅成蟲

參、研究器材設備



圖 4 室內以菜苗繁殖蚜蟲



圖 5 戶外吸引食蚜蠅成蟲



圖 6 培養皿飼養食蚜蠅幼蟲



圖 7 養蟲籠飼養食蚜蠅成蟲

肆、研究過程及方法

偽菜蚜，台灣農業重要害蟲。捕食型天敵，刺腿食蚜蠅，幼蟲會捕食蚜蟲。

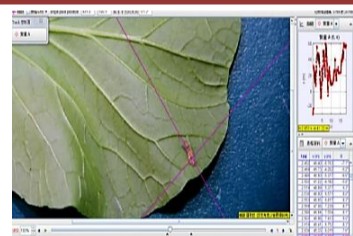
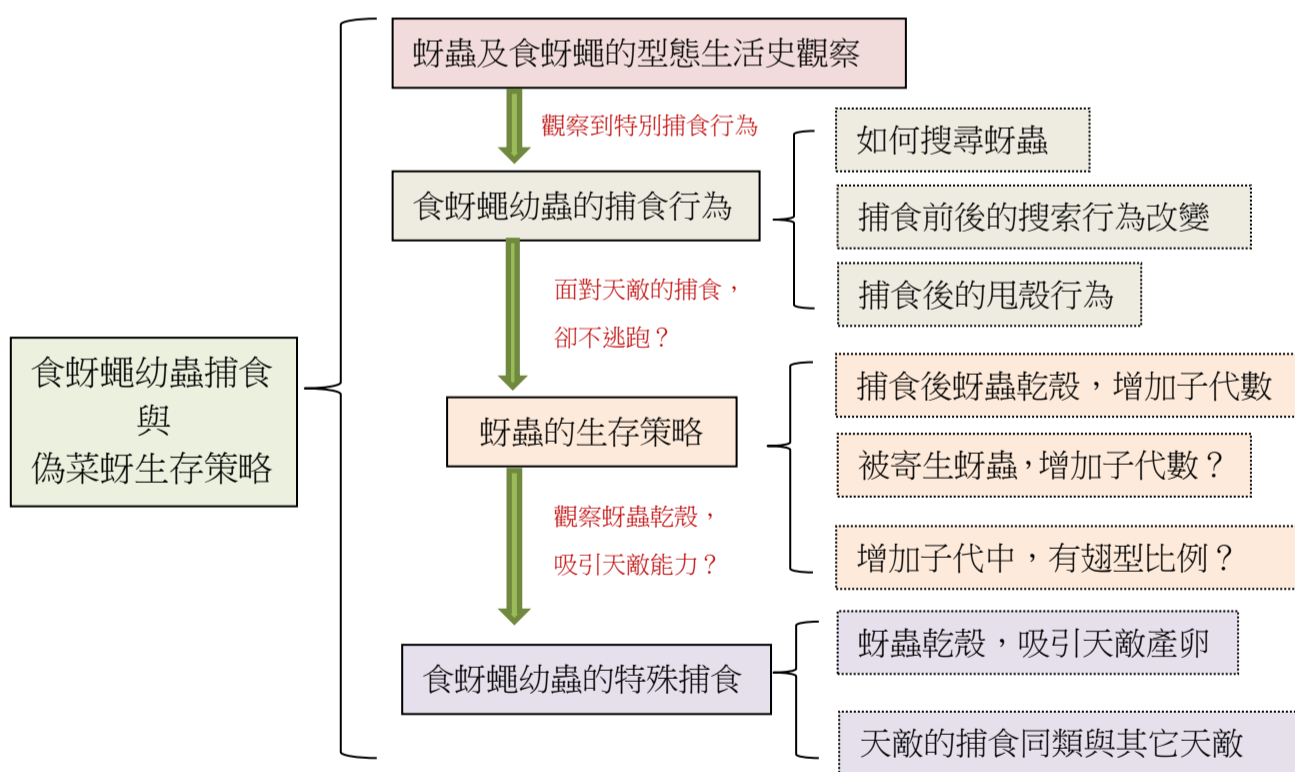


圖 9 tracker 分析捕食行為



圖 10 每日蚜蟲增殖數量



圖 11 食蚜蠅成蟲產卵實驗

伍、研究結果

一、觀察偽菜蚜及刺腿食蚜蠅的型態及生活史

(一)偽菜蚜(*Lipaphis erysimi*)：昆蟲綱 - 半翅目 - 常蚜科 - 偽菜蚜屬 - 偽菜蚜

一齡，體長 0.60±0.19mm	二齡，體長 1.02±0.32mm	三齡，體長 1.36±0.43 mm	成蚜，體長 1.50±0.48mm

(二)刺腿食蚜蠅(*Ischiodon scutellaris Fabricius*)：昆蟲綱 - 雙翅目 - 食蚜蠅科 - 尾蚜蠅屬 - 刺腿食蚜蠅

卵 0.72±0.07mm	一齡 1.39±0.46 mm	二齡 5.58±1.04 mm	三齡 8.5±1.089 mm	蛹 6.19±1.11 mm	雄成蟲 7.27±0.45 mm	雌成蟲 6.92±1.17 mm

二、探討食蚜蠅幼蟲的捕食行為

(一) 食蚜蠅幼蟲的搜尋與蚜蟲分佈

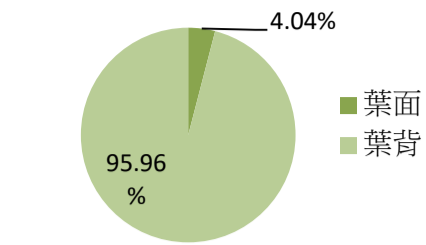
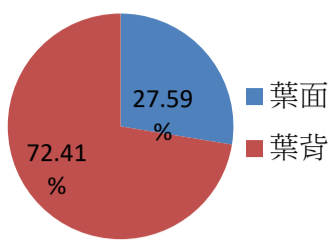


圖 12 幼蟲搜索葉子之區域比例

圖 13 蚜蟲分佈不同區域比例

(二) 影響食蚜蠅幼蟲搜尋蚜蟲的原因

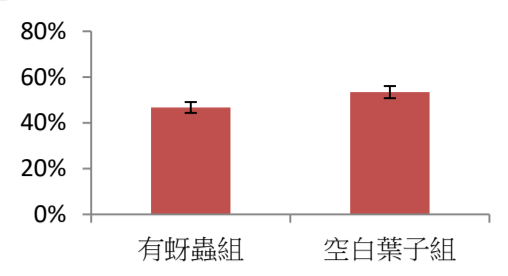
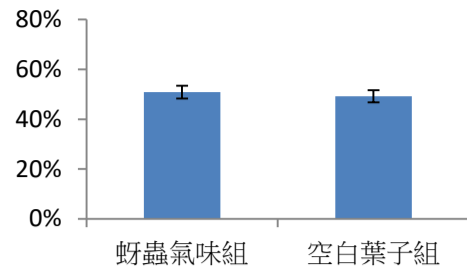


圖 14 蚜蟲氣味是否吸引天敵

圖 15 幼蟲是否利用視覺搜尋蚜蟲

食蚜蠅幼蟲大多搜尋葉背，可能與蚜蟲分佈有關；搜尋實驗顯示，幼蟲可能不會利用嗅、視覺協助搜尋，偏向隨機捕食。

(三) 食蚜蠅幼蟲的不同搜尋行為模式

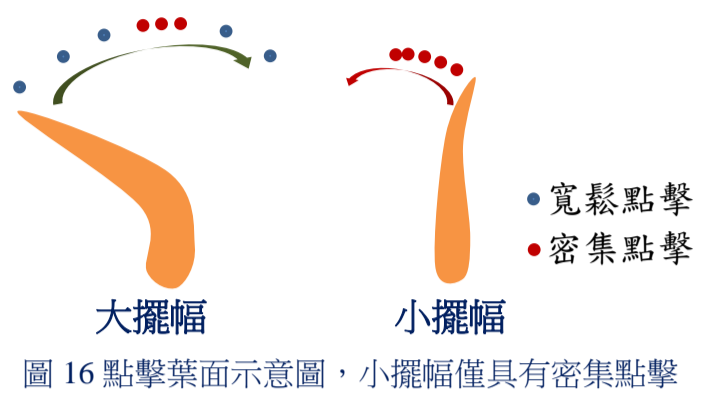


圖 16 點擊葉面示意圖，小擺幅僅具有密集點擊

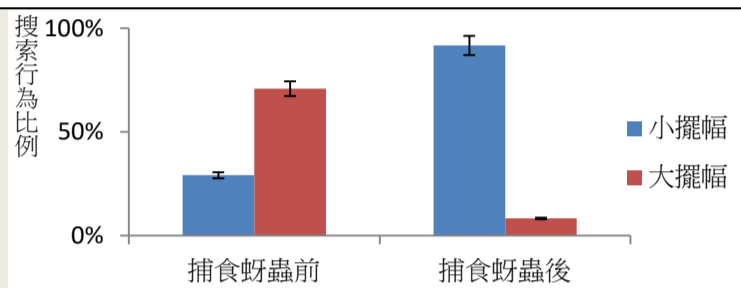


圖 17 食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲前後，大小擺幅比例比較

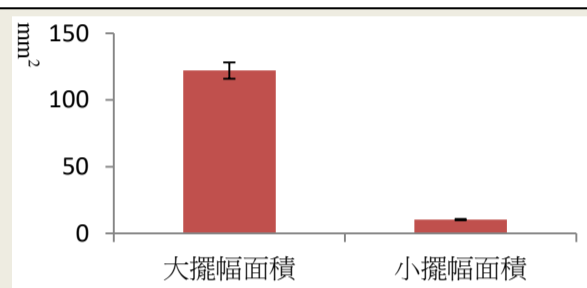


圖 18 幼蟲搜索時，大小擺幅面積差異

	支點	夾角	伸長量
大擺幅	第 6 體節	281.13 度	2.93 mm
小擺幅	第 3 體節	124.16 度	0.88 mm

圖 19 大小擺幅模式，伸長差比較

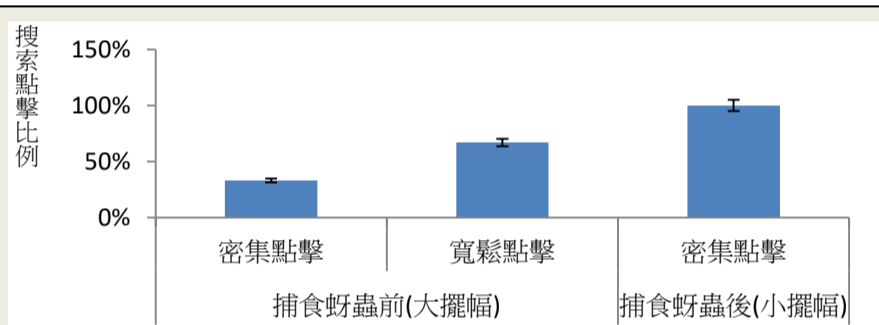


圖 20 捕食蚜蟲前後，使用不同點擊方式比例

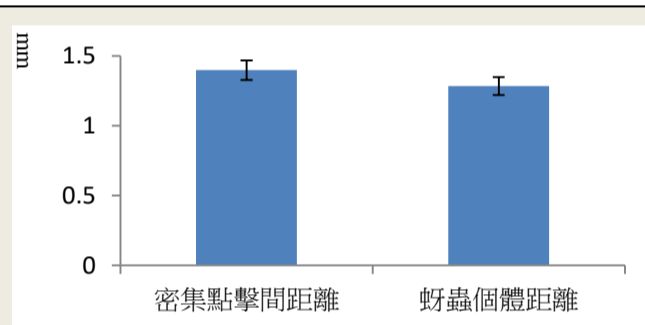


圖 21 捕食蚜蟲前後，使用不同點擊方式比例

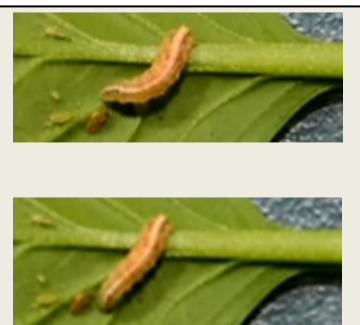
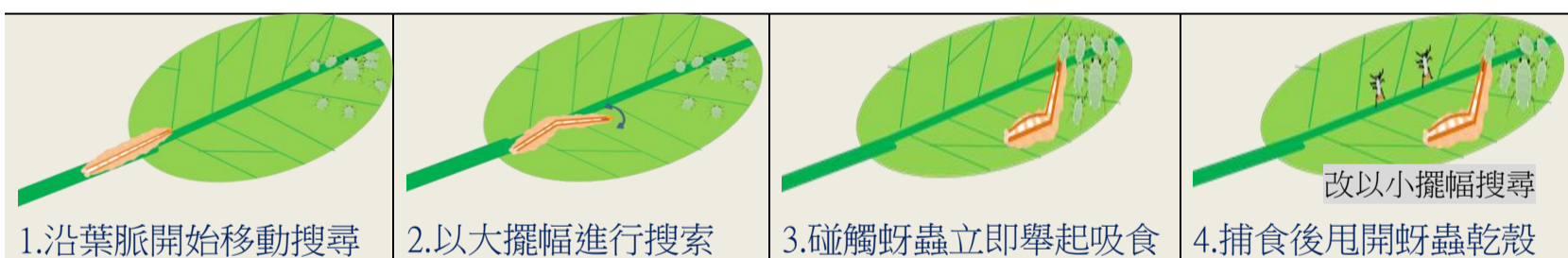


圖 22 寬鬆點擊可能遺漏蚜蟲

結果顯示蚜蟲的搜索模式與是否捕食到蚜蟲有關。剛開始搜尋時，食蚜蠅幼蟲以大面積搜索能較有效率尋找到蚜蟲；捕食蚜蟲後則改以小擺幅、密集點擊來持續進行捕食個體距離短的附近蚜蟲。

(四) 捕食蚜蟲流程



幼蟲捕食成蚜所需平均吸食時間最長(269.5s)，1 日平均捕食數量為 76.66 隻，1hr 平均為 5.21 隻。



圖 23 幼蟲捕食蚜蟲立即舉起，避免蚜蟲脫逃

(五) 捕食蚜蟲後行為

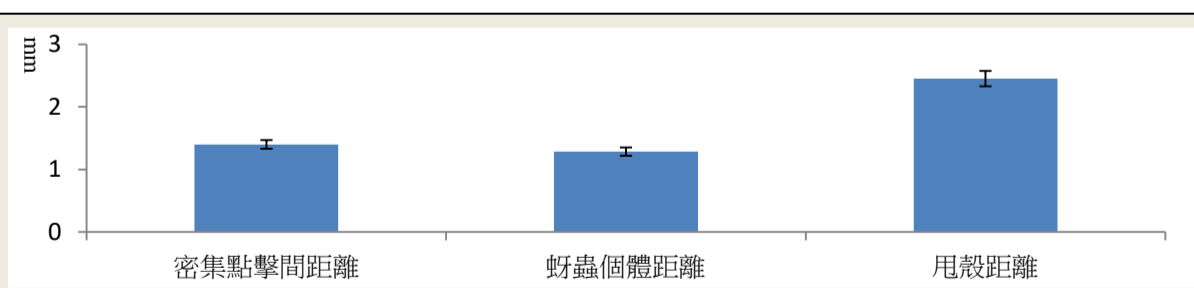


圖 24 食蚜蠅幼蟲甩殼距離與搜索距離之比較



圖 25 蚜蟲被捕食之分泌物



圖 26 幼蟲將蚜蟲乾殼用開

比較幼蟲吸食蚜蟲的甩殼距離，約為密集點擊距的 1.75 倍，推測幼蟲將殼甩出較遠的距離，避免捕食時再將吸過的殼吸起。

三、探討蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略

(一) 觀察蚜蟲在食蚜蠅幼蟲出現下的反應

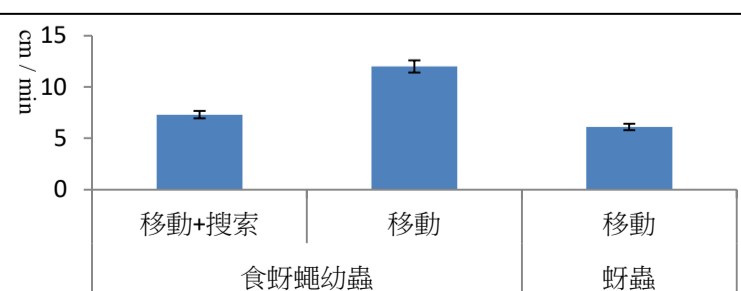


圖 27 比較食蚜蠅幼蟲與蚜蟲的移動速率



圖 28 同伴被捕食無反應

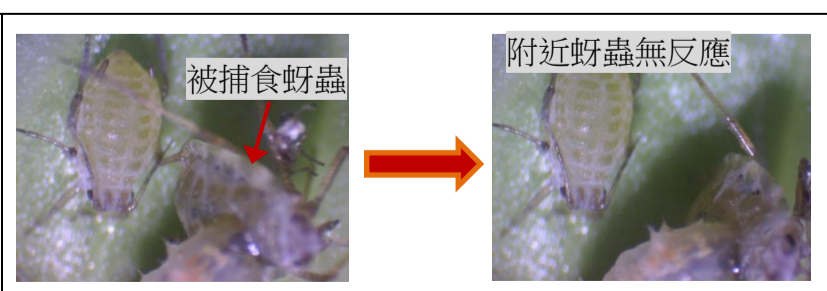


圖 29 顯微鏡下，同伴被捕後吸食，蚜蟲均無特別反應

蚜蟲移動慢，被碰觸逃離，仍有很大的機會被捕食；蚜蟲被捕食時，附近蚜蟲均無太大反應，蚜蟲究竟有什麼特別的策略呢？

(二) 蚜蟲在捕食型天敵下的生存策略

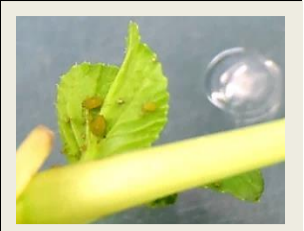
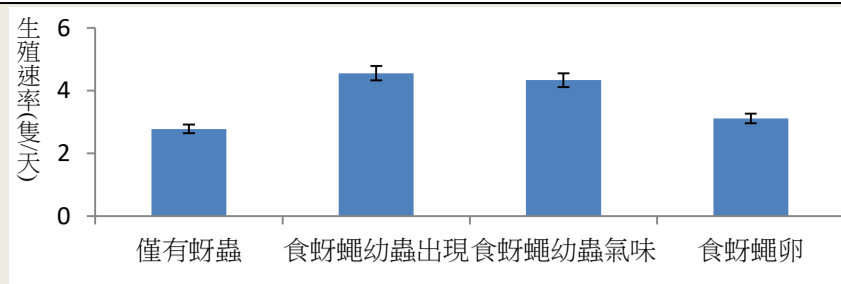
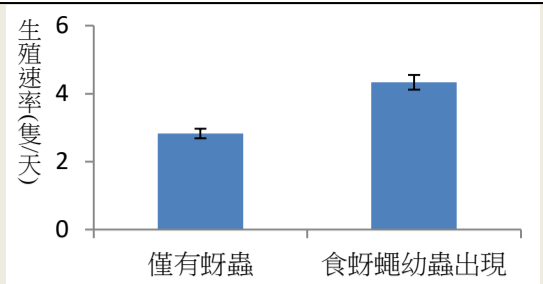


圖 31b 天敵出現使子代數量增加

有食蚜蠅幼蟲組別，蚜蟲增加的速率為 4.33 隻/天，而僅有蚜蟲的組別為 2.83 隻/天，**結果顯示看似溫和的蚜蟲，利用了意想不到的方式來進行防守，就是生出更多的子代。**

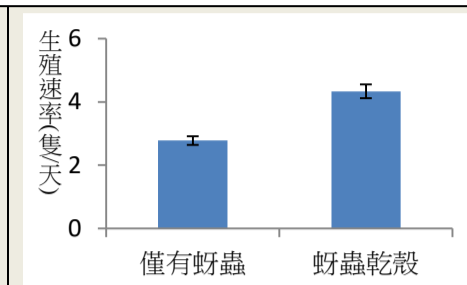
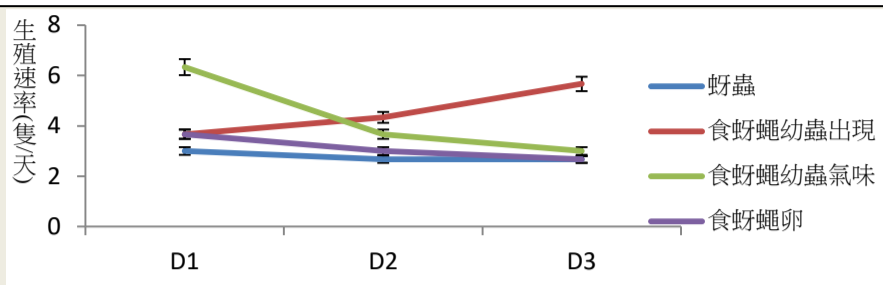


圖 32c 捕食後蚜蟲乾殼，刺激增加子代數量

檢視蚜蟲每日子代增加數量發現，子代數量與天敵影響時間有關；**蚜蟲乾殼刺激子代數量增加達 1.55 倍**

(三) 蚜蟲在寄生型天敵下的生存策略



圖 33a 被寄生的蚜蟲明顯脹大

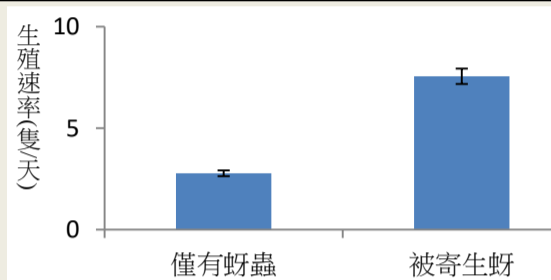


圖 33b 被寄生蚜對蚜蟲生殖速率的影響

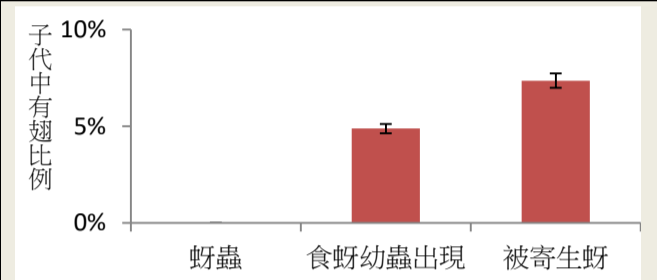


圖 34 不同類型天敵刺激增生子代中有翅比例

意外出現的寄生天敵，會使得被寄生蚜蟲脹大。面對寄生型天敵，蚜蟲也以同樣生存策略來進行，子代增加數量為對照組 2.72 倍。持續觀察發現，**蚜蟲增加子代中有一定比例出現有翅型，或許能協助逃離危險。**

四、探討食蚜蠅幼蟲特殊捕食現象與蚜蟲生存關聯

(一) 被捕食後的蚜蟲乾殼與被寄生蚜對食蚜蠅產卵的影響

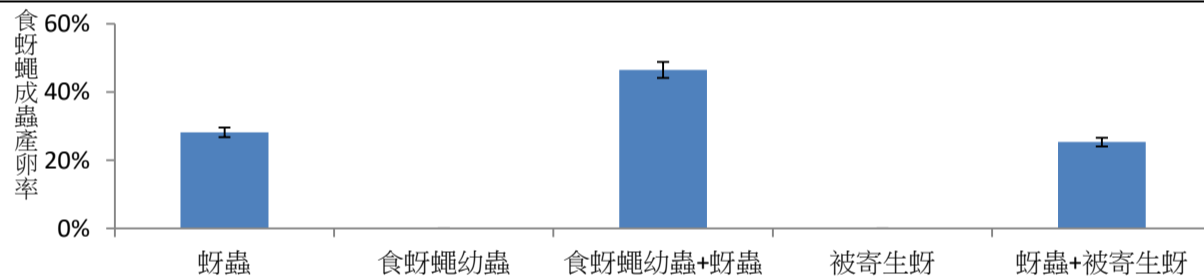


圖 35 比較不同條件對食蚜蠅成蟲產卵的影響



圖 36 卵較會產在有天敵幼蟲處

食蚜蠅幼蟲捕食蚜蟲所產生的蚜蟲乾殼，較能吸引成蟲產卵，被寄生蚜差異不大，經檢視卵有破裂現象。

(二) 食蚜蠅幼蟲捕食同類卵、其它天敵與蚜蟲生存關聯

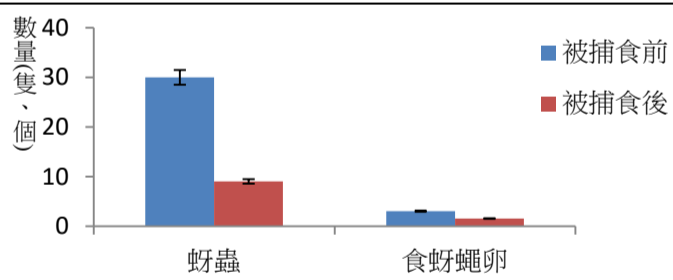


圖 37 食蚜蠅幼蟲是否因食物缺乏，捕食同類卵

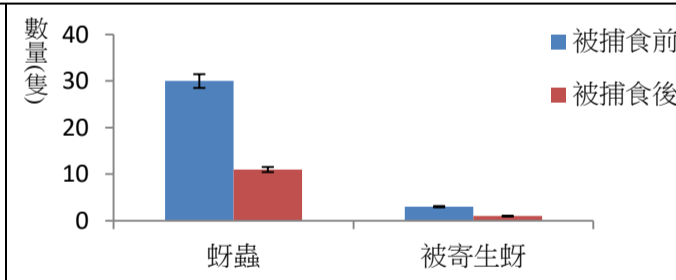


圖 38 幼蟲是否因食物缺乏，捕食其它蚜蟲天敵

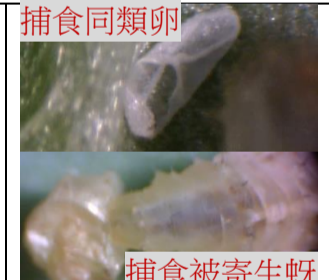


圖 39 幼蟲特殊捕食

蚜蟲乾殼吸引成蟲產卵(可能被同類捕食)，加上其它天敵(被寄生蚜)被捕食，**都可能增加蚜蟲生存機會。**

陸、討論與結論

在這一系實驗中，我們觀察到食蚜蠅幼蟲搜尋模式(大、小擺幅)，會因捕食蚜蟲而改變，接著發現了蚜蟲驚人的生存策略。

已經犧牲的蚜蟲似乎扮演著族群延續的重要使命。不論是被捕食後的乾殼及被寄生的蚜蟲，具有刺激其它蚜蟲增加子代數量能力，且具有較高有翅型比例。再加上蚜蟲乾殼，較能吸引食蚜蠅來產卵，原先在葉上的食蚜蠅幼蟲則會捕食同類卵、小型同類與被寄生的蚜蟲，使得天敵數量下降，大幅增加蚜蟲生存機會。小小的蚜蟲，面對天敵演化出巧妙的以「蚜」還「蚜」。也讓我們了解到生物為了生存所作出的努力，以及演化出無限可能的生存策略。

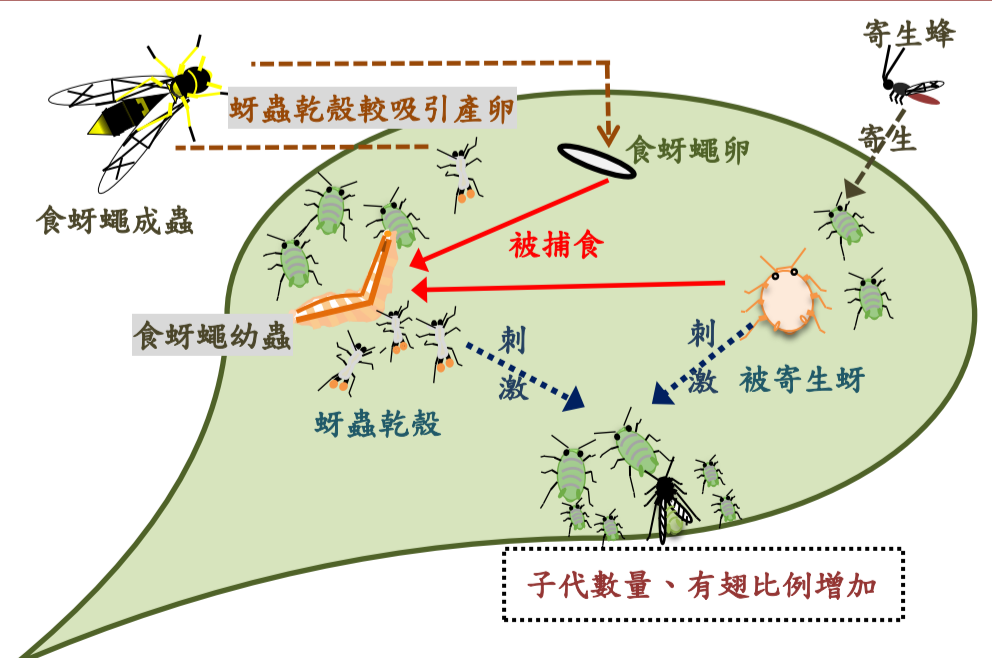


圖 40 蚜蟲在不同類型天敵下的生存策略

柒、參考資料

1. 邱政發 (2007)。蚜蟲的生物防治。苗栗區農業專訊, 40, 5-8。
2. 李榕蓉(2011)。誰在指揮蚜蟲的波浪舞? ~「蚜蟲集體搖動現象的研究」。51 屆中華民國中小學科學展覽作品。
3. 偽菜蚜資料，取自行政院農委會農業試驗所病蟲害資料庫。