

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

佳作

030316

校園榕葉捲葉內的秘辛

～榕管蓊馬族群與共棲生物研究

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 陳妍榕 國二 施映瑄	指導老師： 蔡瑞琴 黃聖智
---------------------------------	-----------------------------

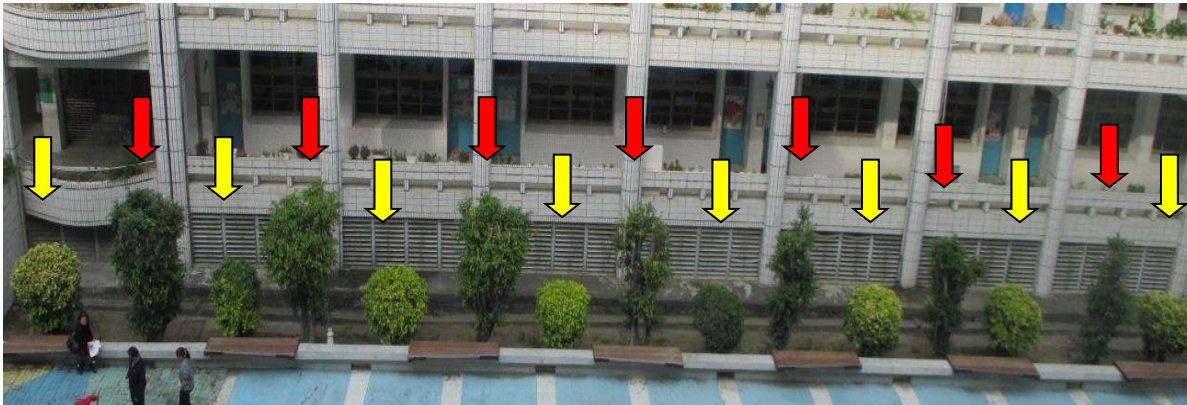
關鍵詞：榕管蓊馬、三叉小黑花椿象、韋斯曼氏擬態

摘 要

為了瞭解榕管薊馬使榕葉捲曲的機制，在夏、冬季採集造瘿葉進行捲葉分析與觀察，也針對榕管薊馬的棲息偏好、共棲物種與捕食性天敵進行調查，結果發現榕管薊馬選擇向光面的前段枝葉吸食與造瘿，造瘿初期薊馬只會駐足和吸食，中期則交配產卵，後期孵化的幼蟲會在葉片內成長、蛻化成成蟲，此時，葉片出現紅斑(正榕)或黃斑(垂榕)；3~5cm 大小葉片具有最大負荷量。根據調查與顯微觀察發現垂榕最適合榕管薊馬造瘿，夏季與冬季的族群組成有差異。當榕管薊馬繁殖時除了吸引異性，也引來三叉小黑花椿象入侵，校園調查發現三叉小黑花椿象成蟲具有韋斯曼氏擬態，外型與榕管薊馬極為相似，當共棲率超過 10%時，可大幅降低榕管薊馬的存活率，達到生物防治的效果。

壹、研究動機

校園裡有許多榕樹，去公共區域掃地的時候，發現榕樹的葉子有的捲起來了，有的摺成一半、有的由兩側向中間捲，好奇的我們把葉子剝開一看裡面竟然有許多蟲子跑來跑去，有的蟲是黑的有的是白的還有一顆顆的蛋，難道是這些蟲子造成的葉子捲曲的嗎？牠們到底是誰？如何將原本光滑翠綠的榕葉捲成這樣呢？而且奇怪的是那一排榕樹中偶數棵才有捲曲的樹葉，奇數棵則沒有感染，為什麼會這樣呢？在翰林版生物課本上冊 5-4 提到許多生物會用特殊的方式來適應環境，也介紹許多有趣的動物行為。這讓我們很感興趣也很好奇，於是展開本次的探究行動。



照片 1 掃地區域的榕樹偶數棵有捲葉奇數棵則沒有捲葉情形



貳、研究目的

- 一、校園中榕樹樹種造癭區域調查與分析。
- 二、榕樹葉片榕管薊馬生物負荷量之調查。
- 三、觀察榕管薊馬如何在榕葉內生活。
- 四、探討榕管薊馬如何造成榕葉捲曲。
- 五、不同季節造癭葉內榕管薊馬族群結構調查。
- 六、探討榕管薊馬和其他生物間的共棲關係。
- 七、捕食性天敵(三叉小黑花椿象)對榕管薊馬各階段齡期分布的影響。
- 八、三叉小黑花椿象應用生物防治之可行性評估。



照片 2 捲曲的榕樹葉

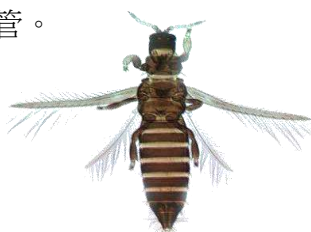
參、文獻探討

一、薊馬分類地位

薊馬屬於昆蟲綱之生物，由於牠翅的邊緣生有長而顯著的繆毛，是其他各目昆蟲所沒有的，因此，被歸類在繆翅目(Thysanoptera)。薊馬依據腹部末端形狀及產卵管位置與結構，可分為錐尾亞目(Terebrantia)與管尾亞目(Tubulifera)。錐尾亞目體型較小，腹部末端呈圓錐形，體色大部分呈淡黃色至黑褐色，且雌蟲腹部卵管外露。管尾亞目體型較大，腹部末端呈圓管形，體色大部分呈深黑色，且雌蟲腹部無外露產卵管。



照片 3 榕薊馬的特徵



錐尾亞目(Terebrantia)



管尾亞目(Tubulifera)

全世界已知薊馬種類有 8 科約 5000 種，錐尾亞目約有 2000 種，管尾亞目約有 3000 種，而在台灣已紀錄之薊馬有 4 科 250 種，其中錐尾亞目約有 130 種，管尾亞目約有 120 種，主要以植食性與菌食性為主，僅少部分為肉食性生物。

台灣錐尾亞目與管尾亞目薊馬食性與種類之比較

薊馬	植食性	菌食性	捕食性	不詳
錐尾亞目				
紋薊馬科 Aeolothripidae	0	0	2	
食孢薊馬科 Merothripidae	0	2	0	
薊馬科 Thripidae				
網紋薊馬亞科 Panchaetothripinae	23	0	0	
薊馬亞科 Thripinae	100	0	3	
管尾亞目				
紋薊馬科 Aeolothripidae				
寬薊馬亞科 Idolothripinae	0	25	0	
管尾薊馬亞科 Phlaeothripinae	39	40	10	6
總計	162	67	15	6

資源引自：王清玲(2014)台灣薊馬生態與種類-繆翅目-錐尾亞目-修訂再版

二、榕管薊馬 *Gynaikothrips uzeli*(Zimmerman, 1900)

屬於節肢動物門、昆蟲綱、纓翅目、管尾亞目、管薊馬科、母管薊馬屬，屬於植食性薊馬，以吸食榕樹葉的汁液為食，榕管薊馬在吸食時會先以大顎針上下搖動方式，刺開葉的上表皮，破壞柵狀組織，再以小顎針置於開孔處，透過口部肌肉收縮，吸取榕樹葉的汁液，由於吸食的刺激，會使葉片沿中肋向兩邊捲曲，而產生摺葉狀或是捲葉狀的外型，榕管薊馬則在其內生長繁衍，因此，我們又稱它為造癭昆蟲。

三、歷屆科展有關榕管薊的相關研究

(一)榕樹葉長雀斑了-認識榕樹薊馬(金門地區第 51 屆中小學科學展覽會)

榕樹薊馬造癭發生在成熟葉片上，**黃綠色>深綠色樹葉**；**成熟>不成熟樹葉**，此外，榕樹薊馬**成蟲1 隻或數隻**，以及**幼蟲及卵數十粒**，在造癭葉裡面完成一世代或者數個世代直到樹葉枯黃掉落為止，榕樹薊馬棲息大部分會集中在葉子的中肋，利用刺吸式口器刺入植物體內取食汁液的方式，使葉片表皮皺縮變形伸展不良，使葉片沿中肋向二邊捲，造成**對摺葉狀或捲葉狀**的蟲癭，當受到驚嚇時，薊馬會快速分散，成蟲雖然有翅卻不善飛行，利用**步行**或者**跳躍**的方式，盡速離開尋找遮蔽物，若蟲癭雖被破壞卻還有藏身之處時，則榕樹薊馬大都留在原來的蟲癭內，藏於尚可容身的地方，但隨著時間長久，成蟲與幼蟲仍會遺棄另尋新的藏身之處，而蟲卵則仍留至在蟲癭內。

(二)捲葉高手-榕管薊馬(中華民國第39 屆中小學科學展覽會)

榕管薊馬的一生可分成**卵-若蟲-擬蛹-成蟲**，喜好在**桑科**植物榕樹家族的植物(稜果榕、澀葉榕、雀榕、幹花榕除外)，且十分專一，榕管薊馬**有趨光性**喜好陽光，喜歡將巢穴建立在陽光下，樹木中央或沒有受光處較少有榕管薊馬棲息，昆蟲出巢活動時間約為**早上 10~11點**，會偏好停留在**黃色物體**上，而就少停留在紫色物體上，喜歡棲息的樹種：**垂榕 >小葉榕>正榕**，這與其捲葉所耗費的力量有關，因為捲葉施力大小：**正榕>小葉榕>垂榕**，且**葉子越軟**，榕管薊馬下蛋數越多，巢穴形狀變化越大，越易產生**螺旋捲葉**。




(三)捲葉中的小怪蟲-榕葉樹薊馬的研究(中華民國第 29 屆中小學科學展覽會)

榕管薊馬由卵到成蟲需經過**25天**，其一生為**卵-若蟲-擬蛹-成蟲**，榕樹薊馬主要有**榕管薊馬、大腿榕管薊馬與棘腿管薊馬**三種，其行走為不規則之路線，成蟲較若蟲移動速度快且直，擬蛹則行動緩慢甚至不移動，此外，成蟲對光線敏銳度大於若蟲，且**偏好黃色**

光，較不喜歡紫色光，若蟲對光線顏色並無太大差異，只是不喜歡紫色光，榕管薊馬喜歡棲息在15°C~30°C乾燥、明亮的嫩葉(超過40°C會產生急躁、55°C就會死亡)，以吸食汁液為生，會造成葉片上有像**銹斑的小點**，並將葉子捲起而居，其外形可分成：**月形、雙螺旋形、單螺旋形**三種(黃金榕只有月形)，但以月形葉較為常見，榕管薊馬喜好程度：**月形葉>單螺旋形>雙螺旋形>正常葉**；根據實驗榕管薊馬在沒有食物下頂多存活2~3天，可適應與榕樹同為桑科之植物。

四、校園內三種榕樹介紹

調查後發現校園中共有三種榕樹，正榕、垂榕與黃金榕，相關樹種比較資料整理如下：

照片			
學名	正榕 <i>Ficus microcarpa</i> L.f.	垂榕 <i>Ficus benjamina</i>	黃金榕 <i>Ficus microcarpa</i> cv.
科名	桑科(Moraceae)	桑科(Moraceae)	桑科(Moraceae)
葉	卵形革質	葉緣微波狀，橢圓形，革質，葉的正反面皆平滑	葉倒卵形，厚革質，新萌芽的葉呈金黃色，日照不足或老葉為深綠色
莖	常綠大喬木，幹粗壯，氣根多	樹幹灰白色，枝軟如柳而成下垂狀，粗大似樹幹	常綠小喬木，樹冠廣闊
花	隱花果紅紫色或淡黃色。	隱花果近於無柄，扁球形，熟時紅色	隱花果球形，紅褐色

調查後，發現校園中共有三種榕樹，因為三種榕樹被榕管薊馬寄生的情形不一樣，因此，我們以水耕法佈置三種榕樹的觀察瓶，並將榕管薊馬置入觀察瓶中飼養及觀察，開啟我們對榕管薊馬的探索。



照片 4 三種榕樹的觀察瓶

肆、研究過程與方法

一、榕樹造癭區域調查:

針對校園榕樹樹種與位置進行調查，確認榕樹種類與位置後，繪製全校榕樹地圖，將全校有榕樹的地區做標示並編號，在依據觀察到的榕樹種類比例，抽樣8棵垂榕與1顆正榕，採集向光與背光，枝葉前段與後段的樹葉，調查榕樹的造癭區域。

(一)繪製全校榕樹地圖:將全校有榕樹的地區做標示並編號如下:

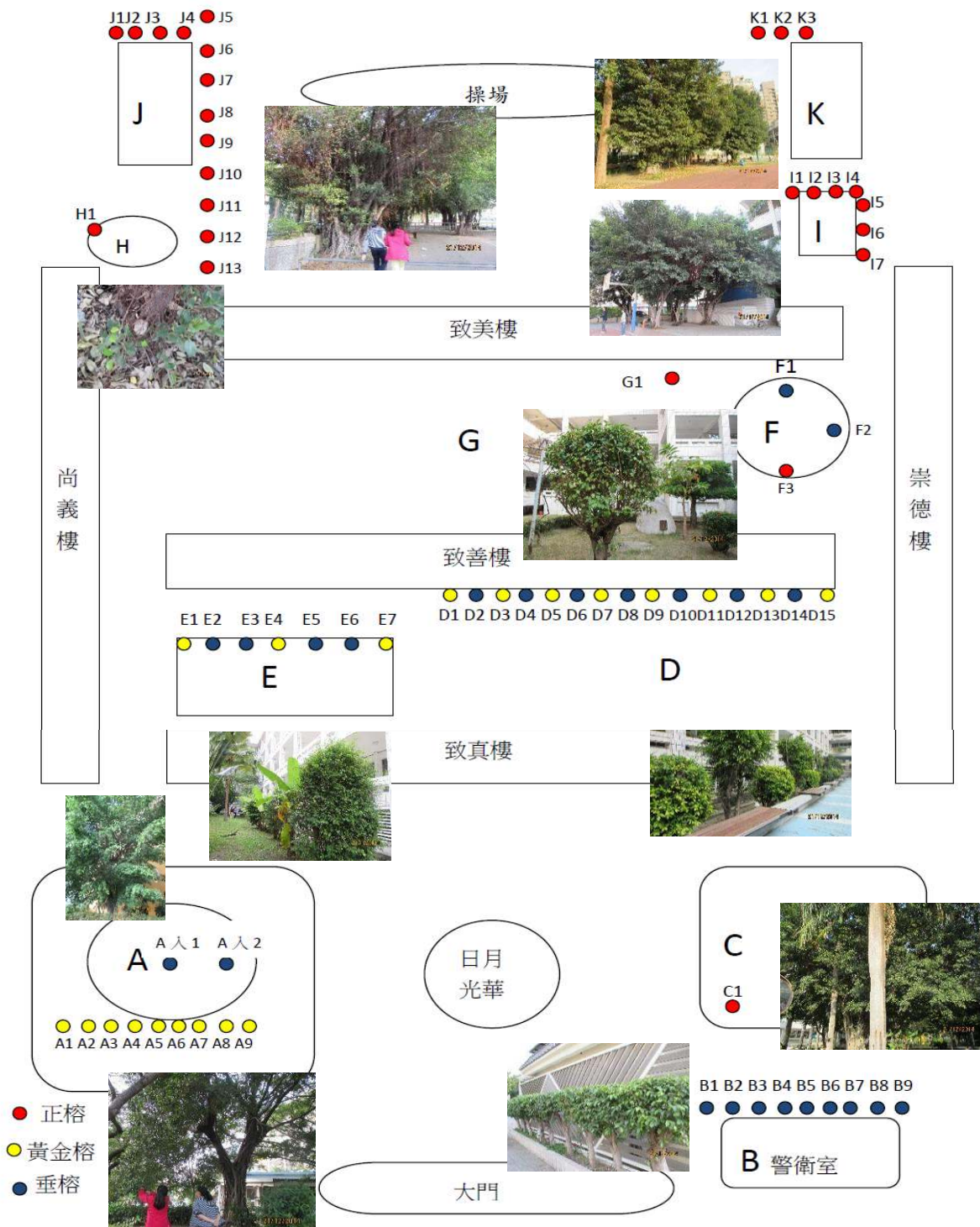
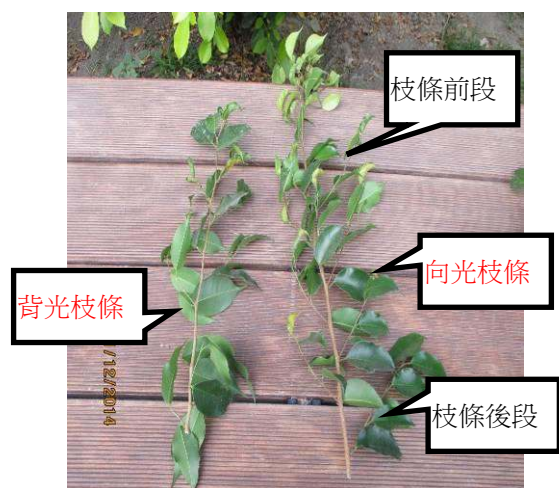


圖1 校園榕樹地圖與編號

(二)每棵樹在向光面和背光面各取一枝條(如照片5所示)，再將枝條劃分前段與後段，計算兩段榕管薊馬的造癭數量。

(三)統計和比較各樹種和各枝條造癭率。

(四)造癭率 = $\frac{\text{榕管薊馬造癭數量}}{\text{(前段或後段)的總葉片數}} \times 100\%$



照片5 榕樹枝葉造癭區域劃分方式



照片6 有榕管薊馬族群的造癭葉片

二、榕樹葉片榕管薊馬生物負荷量之調查

將採集下來具有榕管薊馬族群的造癭葉片，隨機抽取37片造癭葉片，測量每片葉片長度與榕管薊馬各齡期的最大數量，進而推估葉片長度大小的生物負荷量，與榕管薊馬喜好造癭的樹葉長度。



三、榕管薊馬捲葉密辛飼養與實驗觀察：

(一)為了能長時間觀察和拍攝，我們將帶有捲曲葉片的枝條剪下，插在裝有添加水耕營養液水瓶中，觀察葉片的捲曲過程。

(二)為了能了解蟲體如何在葉片上生活和造成葉片捲曲的原因，我們將榕管薊馬蟲體移居到尚未產生蟲癭的葉片上，並以2000c.c.透明寶特瓶和量筒等器材製作長期觀察箱，裝置如右圖2。

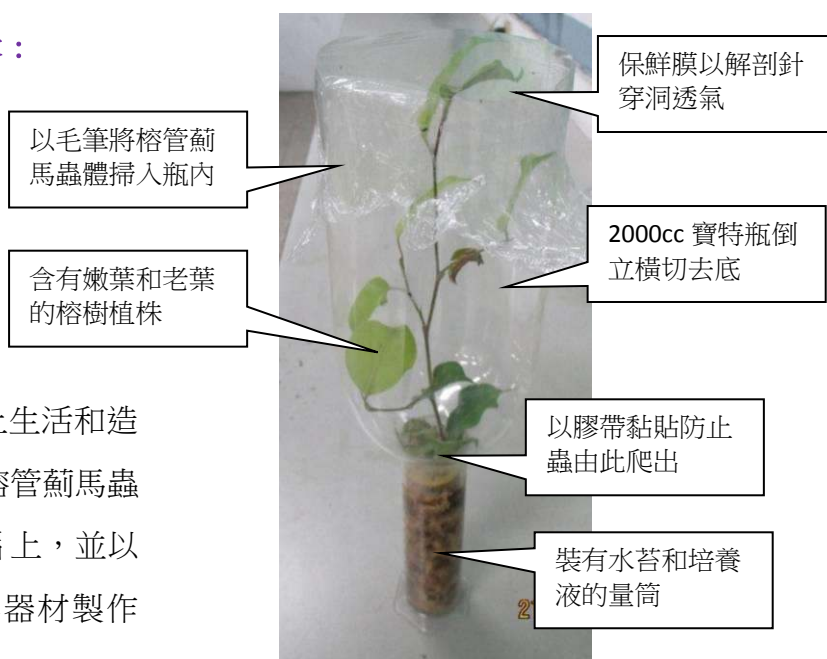


圖2 蟲體移居實驗與觀察裝置

四、觀察和拍攝

(一)器材

數位相機(Cannon Ixus)、數位攝影機 (Sony HDR-XR200)、腳架、放大鏡、解剖顯微鏡、複式顯微鏡、檯燈、毛筆。

(二)顯微觀察

- 1.幼蟲本身非常微小，肉眼只能看到蟲動來動去卻不清楚幼蟲正在做什麼，因此，翻開捲葉時，需趕緊使用解剖顯微鏡觀看幼蟲的細部構造，此外，也將捲曲葉片的細部構造以解剖顯微鏡觀察，並以數位相機拍攝記錄。
- 2.將榕管薊馬移居至沒被蟲癭過的水耕榕樹枝條，置入由寶特瓶和保鮮膜製作而成的觀察箱，觀察並長期拍攝葉片變化及榕管薊馬活動情形。



照片7 以顯微鏡觀察並用數位相機拍攝



照片8 佈置觀察瓶

五、榕樹造癭葉內共棲物種分析與調查

在實驗過程中發現造癭葉內具有許多形形色色的生物，有些是本身就具造癭的特性之昆蟲，如捲葉蛾、高背木蝨等，有些則是利用造癭昆蟲所做出來的摺狀葉或捲狀葉棲息，如袋蛛，當然還包括以捕食榕管薊馬為食的天敵-三叉小黑花椿象，因此，我們針對採樣的338片葉片進行調查，並鑑定共棲生物種類並紀錄下來。



照片9 觀察造癭葉片內的生物

六、造癭葉內榕管薊馬各齡期族群調查

為瞭解榕管薊馬生存在造癭葉內各齡期族群情況，將338片造癭葉片，逐一記錄榕管薊馬各齡期族群混生情況(只有卵期、只有幼蟲期(含偽蛹期)、只有成蟲、成蟲+卵、

卵+幼蟲、幼蟲+成蟲、卵+幼蟲+成蟲)，並進一步推估榕管薊馬的生活史。

七、捕食性天敵對榕管薊馬各齡期分布

調查捕食性天敵-三叉小黑花椿象對榕管薊馬各階段齡的分布，在採樣的338造瘿葉中，觀察三叉小黑花椿象與榕管薊馬共棲情況。



照片 10 捲葉內的捕食性天敵

伍、研究結果與討論

一、校園中榕樹樹種造瘿區域調查與分析

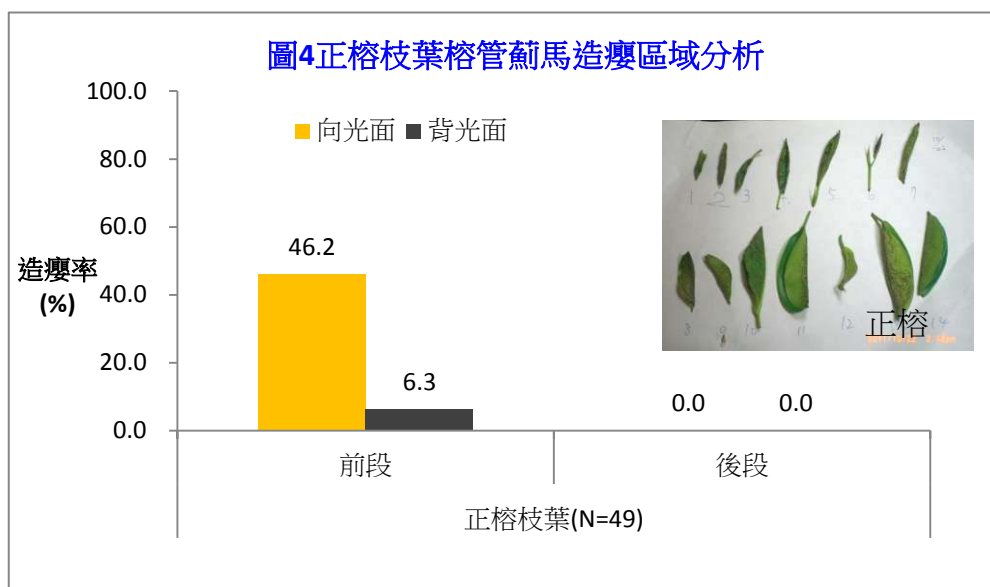
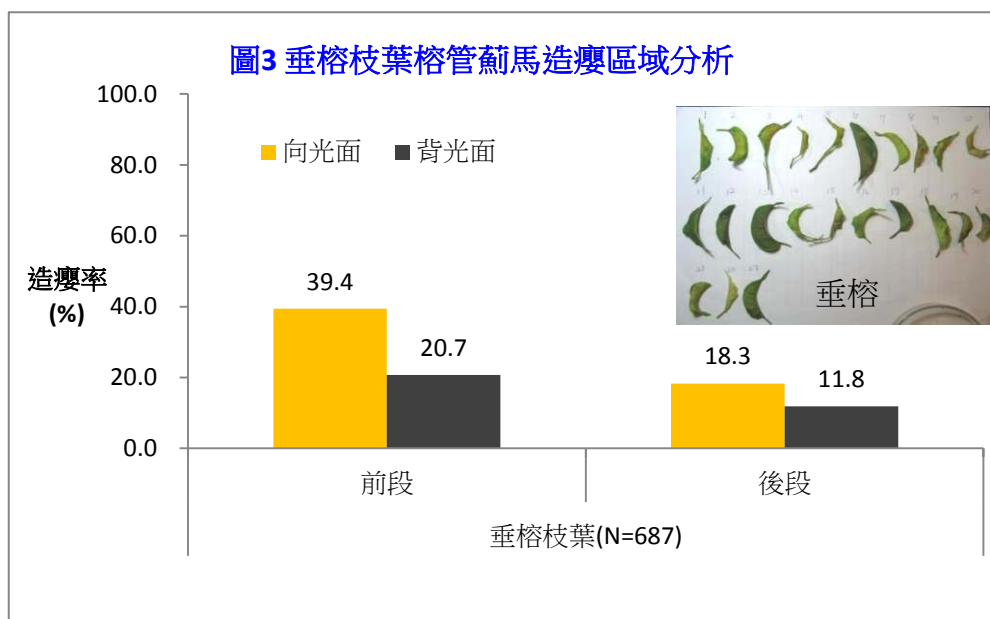
➤ 作法:

我們針對所有校園榕樹種類進行調查後，發現校園三種榕樹，正榕、垂榕、黃金榕中，只有垂榕與正榕有蟲瘿現象，其中又以垂榕蟲瘿現象最為普遍，因此，我們依據榕樹造瘿比率多寡，採樣垂榕 8 棵 687 片枝葉與正榕 1 棵 49 片枝葉進行造瘿區域調查。

➤ 結果分析：

表1 垂榕與正榕枝葉造瘿率調查結果

編號	向光面-前段		向光面-後段		背光面-前段		背光面-後段	
	葉片數	造瘿數	葉片數	造瘿數	葉片數	造瘿數	葉片數	造瘿數
1	28	15	45	7	23	10	16	0
2	24	11	13	5	17	4	18	0
3	19	8	22	9	18	5	17	2
4	36	12	38	7	14	3	15	1
5	18	5	42	3	22	3	44	5
6	13	6	29	9	18	1	17	4
7	17	6	15	1	10	0	16	5
8	15	4	26	1	13	2	9	1
垂榕	170	67	230	42	135	28	152	18
正榕	13	6	5	0	16	1	15	0



➤ 結果討論:

- 1.由圖 3 和圖 4 可知枝條前段榕管薊馬的造癭率高於枝條後段;向光面大於背光面，尤其是正榕僅在枝條前段有造癭葉片。
- 2.根據研究結果推測榕管薊馬具有向光性，因此，在選擇棲息環境時，較容易在向光面、靠樹枝前段部分棲息並造癭葉片。
- 3.靠近枝條前段的葉片通常為新生嫩葉有利於榕管薊馬吸食葉肉汁液與造癭，因此枝條前段造癭率高於後段。

二、榕樹葉片大小對榕管薊馬生物負荷量之調查

➤ 作法:

將採樣到的榕樹造癭葉片中，抽樣 37 片不同大小之葉片，紀錄每片葉片長度(四捨五入到個位數)，並計算同一尺寸長度的葉片，找出薊馬在各生長階段的最大生物負荷量。

➤ 結果分析:

表2 榕樹葉片大小對榕管薊馬負荷量調查數據

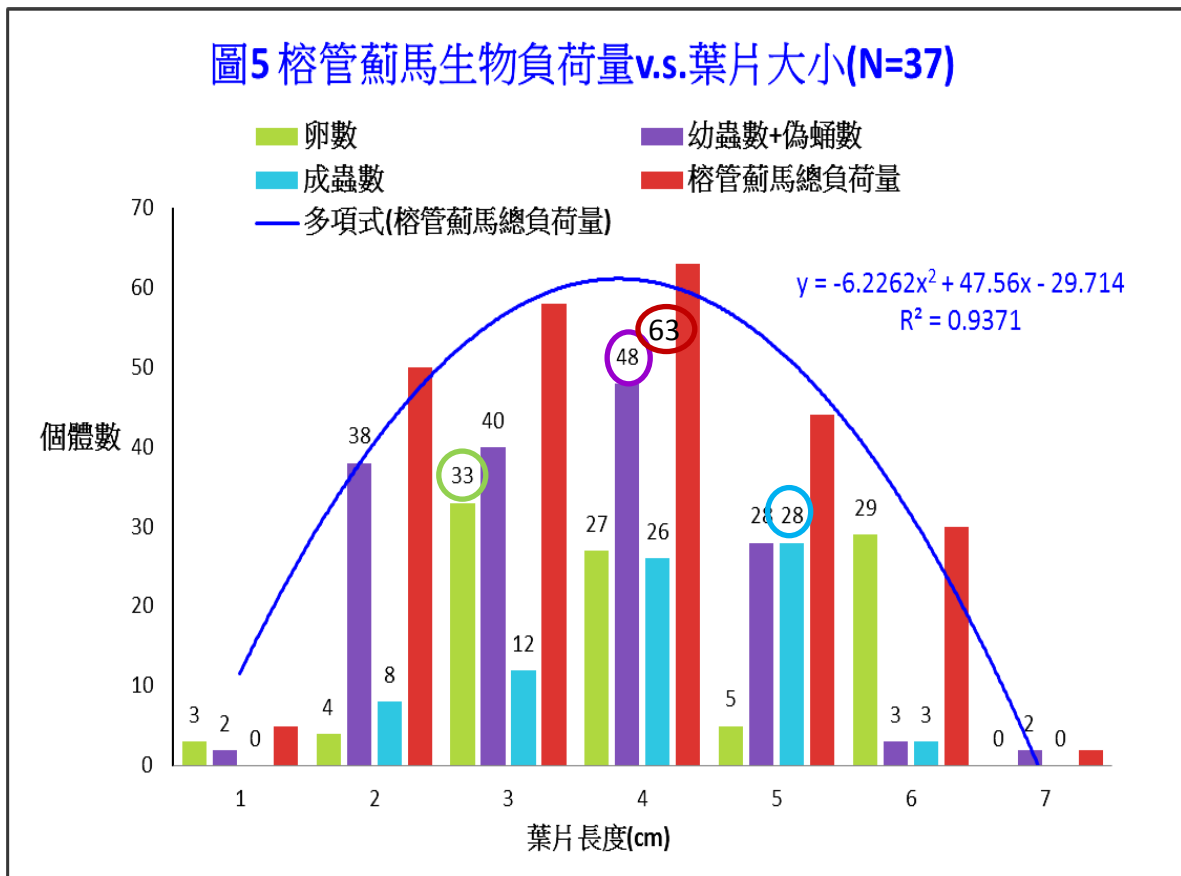
編號	葉片長度(cm)	卵的數量	幼蟲+蛹數量	成蟲數量	最高承載族群總數
1	1	3	2	0	5
2	2	4	38	8	50
3	2	0	6	0	6
4	3	12	20	6	38
5	3	2	0	0	2
6	3	0	9	0	9
7	3	33	3	2	38
8	3	12	28	8	48
9	3	14	28	0	42
10	3	1	30	3	34
11	3	10	29	3	42
12	3	0	0	0	0
13	3	6	40	12	58
14	3	1	38	0	39
15	3	5	14	0	19
16	4	0	0	1	1
17	4	0	0	0	0
18	4	0	20	18	38
19	4	7	30	26	63
20	4	8	30	2	40
21	4	27	0	5	32
22	4	2	25	5	32
23	4	4	32	15	51
24	4	22	0	8	30
25	4	11	48	3	62
26	4	9	32	7	48
27	4	2	45	0	47
28	5	1	0	0	1
29	5	0	0	2	2
30	5	2	17	0	19
31	5	5	28	11	44
32	5	2	0	28	30
33	6	15	3	0	18
34	6	0	0	3	3
35	6	29	0	1	30

36	6	0	0	0	0
37	7	0	2	0	2
	平均	6.7	16.1	4.8	27.6



表3 榕樹葉片大小對榕管薊馬負荷量調查結果分析

葉片 長度(cm)	榕管薊馬(隻)			
	卵數	幼蟲數+偽蛹數	成蟲數	總負荷量
1	3	2	0	5
2	4	38	8	50
3	33	40	12	58
4	27	48	26	63
5	5	28	28	44
6	29	3	3	30
7	0	2	0	2



➤ 結果討論:

- 1.葉片大小以 3~5cm 有最大的生物負荷量(葉片 3cm-卵 33 個，葉片 4cm-幼蟲 48 隻，葉片 5cm-成蟲 28 隻)，最適合榕管薊馬棲息。
- 2.總負荷量最大值為 4cm，可以容納 63 隻榕管薊馬族群，1~2cm 的嫩葉雖然適合吸食但不適合族群長期棲息，6~7cm 老葉雖然適合族群棲息但不利於吸食汁液。
- 3.葉子大小與榕管薊馬族群負荷量有較高的決定係數，且決定係數值達 0.9371。

三、觀察榕管薊馬如何在榕葉內生活

(一)榕管薊馬構造

大約 3mm 大小，身體呈長圓桶狀，兩端尖細，頭小觸角粗短，觸角念珠狀，複眼發達，由 2~3 個單眼組成；口器外型長得很奇怪，呈圓錐體，且左右不對稱，圓錐體內有針狀的大顎針，可將植物的組織割破而流出汁液，再由頭殼內的唧筒(內藏小顎針)，經圓錐體的口器將汁液吸入胃內；榕管薊馬胸部較大，腳粗短，腳末端有囊狀的胞；翅膀成呈繆毛狀(成體)或無翅(幼體)；腹部細長末端尖，有發達的產卵器。



照片 11 榕管薊馬構造介紹

(二)雌雄辨識特徵

榕管薊馬兩性特徵顯著，雄蟲腹部細長，而雌蟲腹部則較為肥大，體型約為 2.5-3mm 在一般環境下屬於兩性生殖，但在特殊惡劣環境下會以孤雌生殖方式繁衍下一代。



照片 12 榕管薊馬雄雌辨識特徵比較

(三)生活史

在榕樹的摺葉狀或是捲葉狀蟲癭中，可發現榕管薊馬卵期、幼蟲期、偽蛹期與成蟲期，四個時期，而在偽蛹期時，榕管薊馬處於一個翅長成與生理系統轉換成熟階段，在此階段榕管薊馬呈現靜止狀態，其生理機制與完全變態的蛹期相似，但因身體結構變化不大，早期被歸類為漸進變態之昆蟲，直到 Moriz(1995)才將薊馬歸類為完全變態之昆蟲。我們觀察並記錄下榕管薊馬的一生並測量體長大小，整理如下圖：



照片13 榕管薊馬的生活史各時期照片及體長大小

四、三種榕樹觀察瓶內榕管薊馬的生活情形觀察

➤ 作法:

為瞭解榕管薊馬如何使榕葉捲曲的過程及其生活行為，我們將薊馬以毛筆掃入三種不同榕樹的觀察瓶中長期觀察。

➤ 觀察結果:

榕管薊馬在觀察瓶中是全新環境，完全沒有捲葉可以躲藏，因此牠們的活動情形可以一目了然。我們觀察到以下現象:

- 1.剛移居入觀察瓶中的榕管薊馬白天光照強時會飛行或於瓶壁走動，夜晚多靜止棲息停留於葉面靠近葉脈中肋附近:



照片14 觀察瓶中的榕管薊馬生活情形

- 2.在正榕觀察瓶內，榕管薊馬喜好停留於較嫩的葉片或新長出的嫩葉，移居第二天起葉片因為榕管薊馬吸食葉內汁液逐漸出現紅褐色斑點:



照片15 榕管薊馬使葉片逐漸出斑點

3.移居瓶內第三~四天葉片因被吸食而逐漸捲曲，捲曲的葉片吸引更多榕管薊馬的成蟲和幼蟲聚集和棲息：



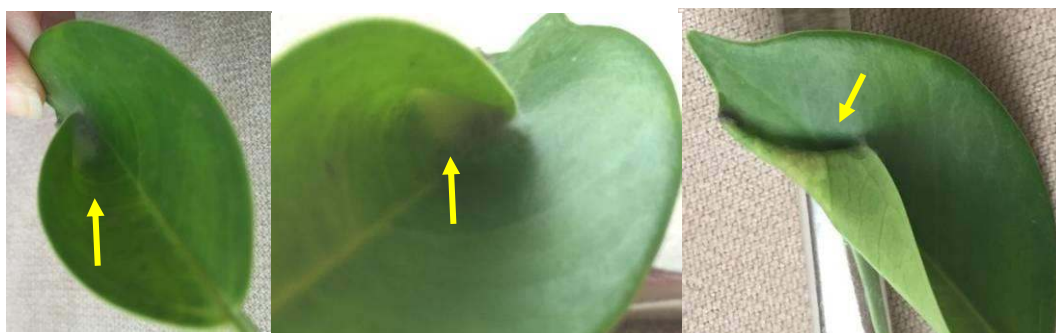
照片16 逐漸捲曲的葉片內榕管薊馬群聚

4.由於觀察瓶通風效果不如自然環境，白天照光時蒸散作用旺盛經常造成瓶內水氣凝結成水，榕樹和榕管薊馬陸續凋零死亡，三種榕樹觀察瓶以正榕和垂榕內生活情形較佳，黃金榕觀察瓶內榕管薊馬適應較差，未觀察到捲葉情形發生就已死亡：



照片17 觀察瓶內通風不良無法長期維持

5.在其中一瓶垂榕觀察瓶中發現有其中一片綠葉捲曲情形不太一樣，在裡面發現疑似共棲生物捲葉蛾幼蟲利用吐出來的絲將葉子捲起來：



照片18 捲葉蛾的絲與捲葉

五、探討榕管薊馬如何造成榕葉捲曲

為了解榕管薊馬如何造癭榕樹葉使其捲曲的過程，我們標定校園三種榕樹(正榕、垂榕、黃金榕)從正常葉片觀察到葉片被造癭後，紀錄與拍攝葉子造癭捲曲的各個階段，並分析不同樹種葉片蟲癭與否的可能原因。

▶ 作法:

長期觀察並拍攝榕樹葉片外觀變化，以鑷子翻開葉片，觀察以解剖顯微鏡觀察內部生物造癭情形。

▶ 觀察結果:

榕管薊馬棲息榕樹嫩葉形成巢袋狀的造癭葉，一個造癭葉可容納數代，形成葉背許多斑點，我們也發現不同榕樹的捲葉過程不太相同:

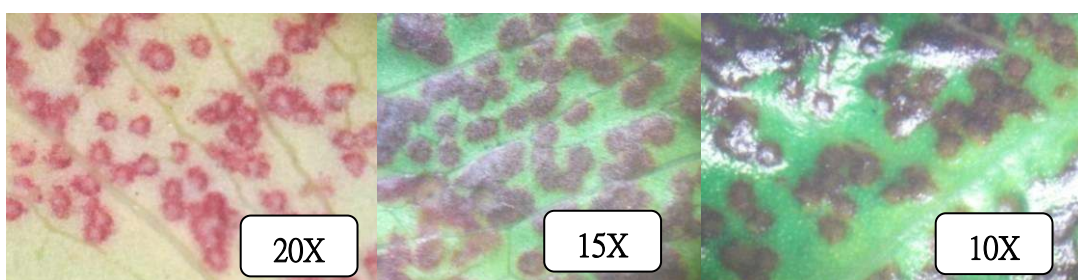
◇ 捲葉大多數呈現對摺狀、有些向中間捲曲:



照片19 榕樹葉片被榕管薊馬蟲癭後外觀變化

(一)正榕

1.蟲癭葉片斑點多呈現紅黑色斑點，顯微放大圖如下:





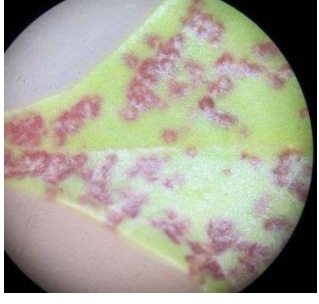


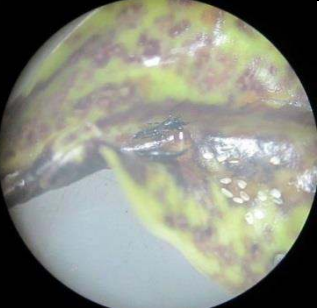


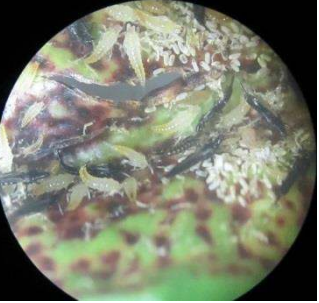
照片20 正榕葉片被榕管薊馬吸食後形成斑點

2.正榕葉片蟲癭的初期、中期、後期:



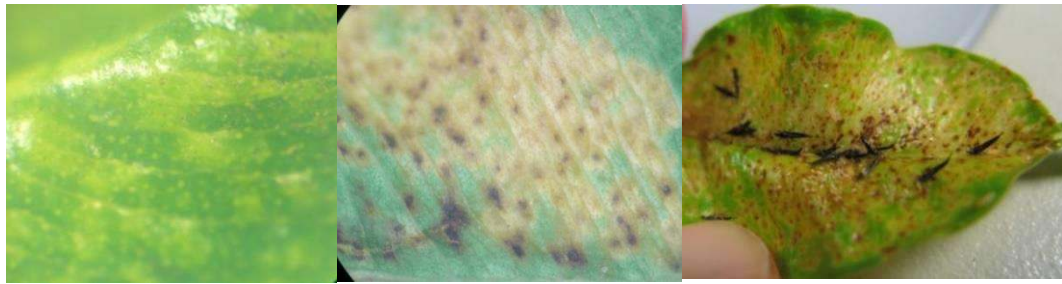
照片21 正榕葉片被榕管薊馬蟲癭各階段變化馬各時期

3.正榕被蟲癭各時期葉片變化:

蟲癭	正榕	葉片內部	顯微觀察
初期			
中期			
後期			

(二)垂榕

1.蟲癭葉片斑點初期呈淡黃色透明狀，之後多呈現黃褐色斑點:





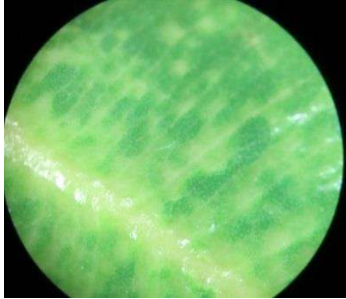


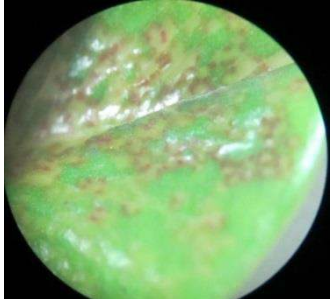


照片22 垂榕葉片被榕管薊馬吸食後形成斑點

2. 垂榕葉片蟲癭的初期、中期、後期:



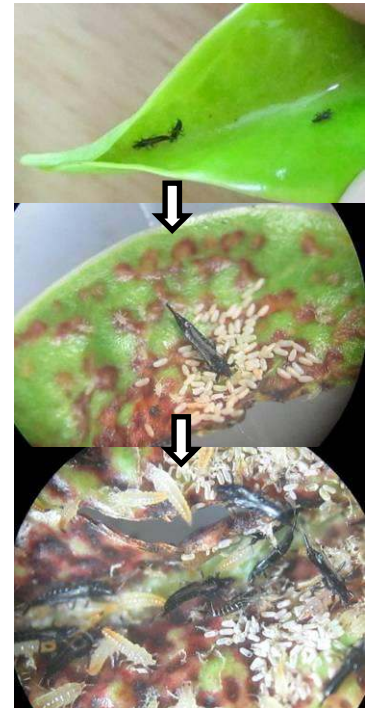
照片23 垂榕葉片被榕管薊馬蟲癭各階段變化

3. 垂榕蟲癭各時期葉片變化:

蟲癭	垂榕	葉片內部	顯微觀察
初期			
中期			
後期			

➤ 結果討論:

- 1.葉片蟲癭**初期**因成蟲吸食後造成葉肉組織受損而出現透明或斑點，斑點顏色因榕樹種類不同而異，此時期通常只有會飛行和在葉片間移動的成蟲駐足和吸食，吸食的部位為葉正面靠近中肋葉脈附近密度較高。
- 2.葉片蟲癭**中期**當葉肉組織被破壞後造成兩側葉子對摺後，形成可躲藏和遮蔽的葉形，又稱造癭葉，此時，雌雄榕管薊馬會在此交配產卵，產卵位置亦以靠近中肋葉脈附近較多。
- 3.葉片蟲癭**後期**孵化的卵和幼蟲數量多達十幾隻至六十幾隻，在葉片內成長、蛻化成成蟲，葉片嚴重受損和對摺密合，此時是葉子承載榕管薊馬族群最大負荷量，而成蟲蛻化後也將再飛行至其他新鮮葉片吸食和造癭。



照片24 榕管薊馬感染各時期族群變化

(三)三種榕葉(正榕、垂榕、黃金榕)蟲癭情形比較:

為了進一步瞭解為何三種榕樹蟲癭情形不同，分析三種榕葉的構造

➤ 作法:


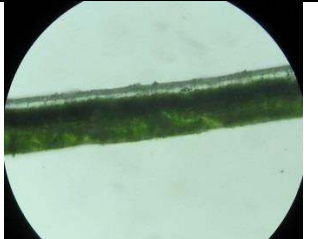

測量不同時期葉片的厚度，並以兩片單面刀片併在一起後將葉片橫切面做顯微觀察。



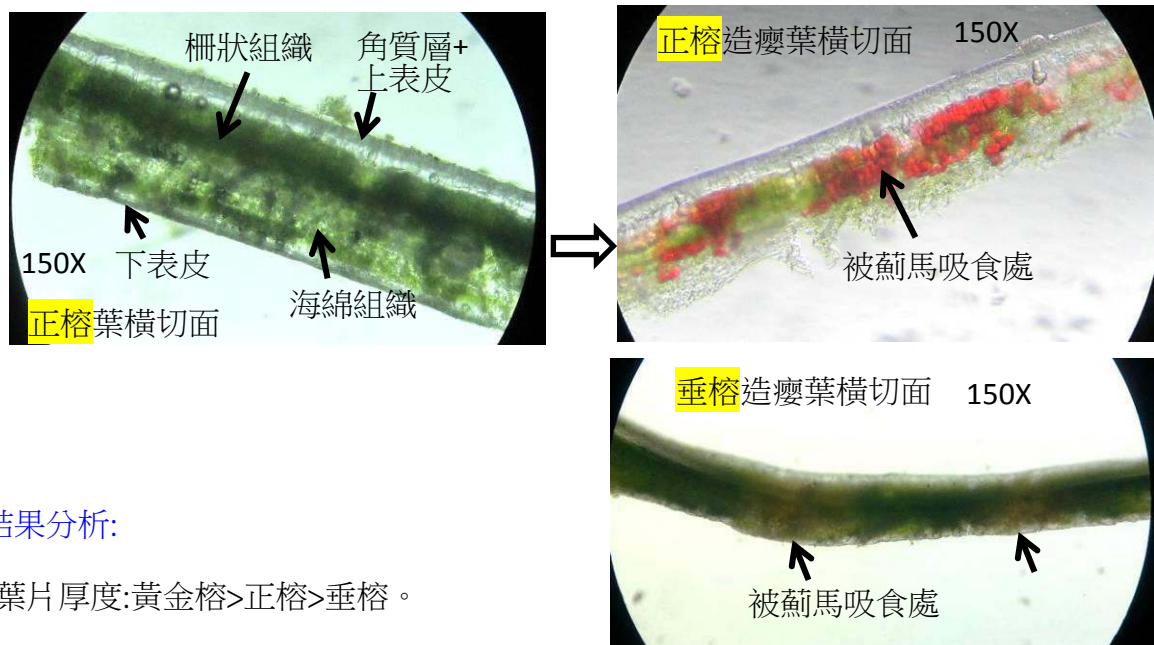
照片25 三種榕葉葉片構造分析

➤ 結果分析:

- 1.三種榕樹葉片構造分析:

種類	正榕	垂榕	黃金榕
厚度	嫩~老葉厚度(mm) 0.28, 0.31, 0.32, 0.39	嫩~老葉厚度(mm) 0.20, 0.21, 0.22, 0.29	嫩~老葉厚度(mm) 0.44, 0.46, 0.46, 0.50
	平均值 0.33mm	平均值 0.23mm	平均值 0.47mm
葉面 橫切 (150X)			

2. 正榕與垂榕感染後葉肉組織變化:



照片26 榕葉蟲癭後葉肉組織變化

➤ 結果分析:

1. 葉片厚度: 黃金榕 > 正榕 > 垂榕。
2. 葉肉組織葉綠素含量: 垂榕 > 正榕 > 黃金榕。
3. 正榕葉肉組織被吸食後呈現紅色，推測可能榕管
薊馬的分泌物和葉肉細胞內成分起化學變化所
致。而垂榕葉肉細胞則綠色變淡枯黃。

六、不同季節造癭葉內榕管薊馬族群結構調查

➤ 作法:

將冬季與夏季採集到共 338 片造癭葉進行族群結構分析，計算每片造癭葉中榕管薊馬各齡期族群葉片數量，換算族群比率，以瞭解季節對榕管薊馬族群結構的影響；族群

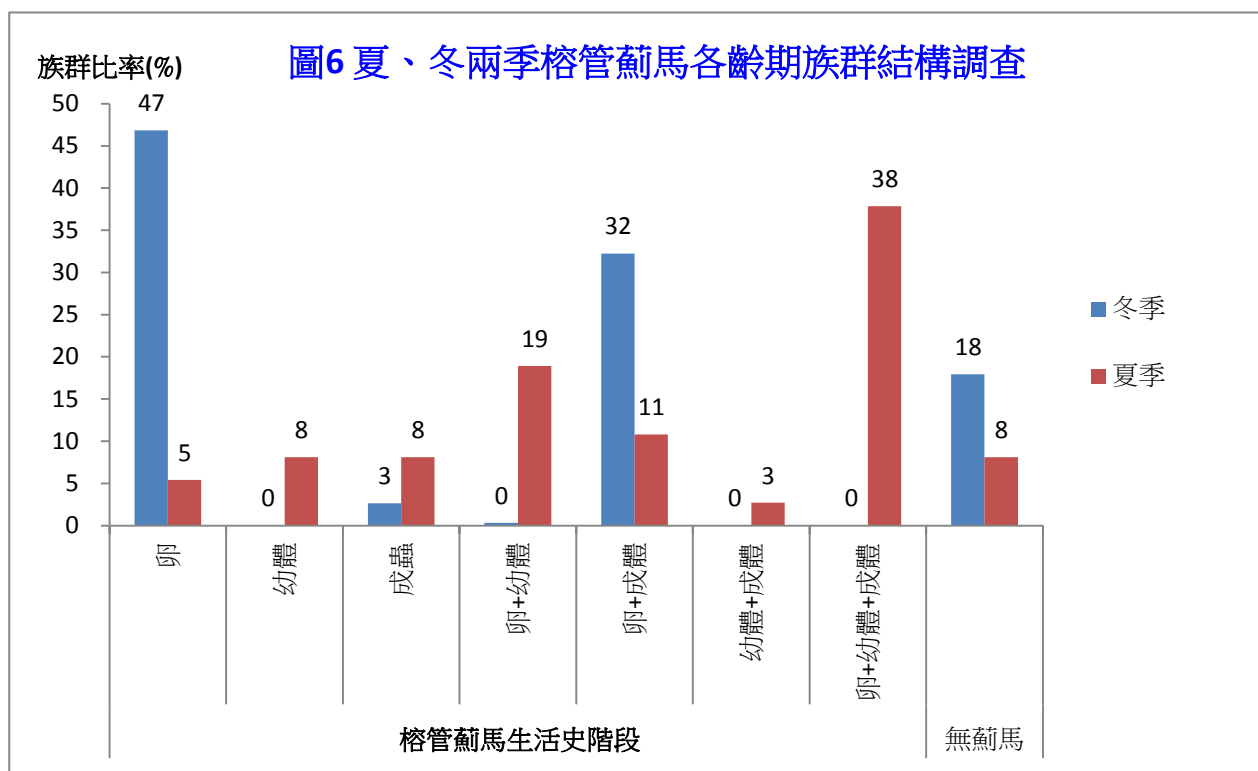
比率(%) = $\frac{\text{各齡其組成的葉片數}}{\text{總葉片數}} \times 100\%$ ，並製作成圖表

➤ 結果分析:

表4不同季節造癭葉內榕管薊馬族群結構調查結果

季節	採集造癭葉片數		有薊馬						無薊馬	
			卵	幼體	成蟲	卵+幼體	卵+成體	幼體+成體		卵+幼體+成體
冬季	N=301	葉片數	141	0	8	1	97	0	0	54
		族群比率(%)	47	0	3	0	32	0	0	18
夏季	N=37	葉片數	2	3	3	7	4	1	14	3
		族群比率(%)	5	8	8	19	11	3	38	8
全部	N=338	葉片數	143	3	11	8	101	1	14	57
		族群比率(%)	42	1	3	2	30	0	4	17

圖6 夏、冬兩季榕管薊馬各齡期族群結構調查



➤ 結果討論:

1. 冬季榕管薊馬多以卵(47%)或卵+成蟲(32%)的族群比率居多，顯示冬季為榕管薊馬的繁殖階段。
2. 夏季榕管薊馬多以卵+幼體+成體(38%)或卵+幼蟲(19%)的族群比率居多，顯示夏季為榕管薊馬的生長階段。

七、探討榕薊馬和其他生物間的共棲關係

➤ 作法:

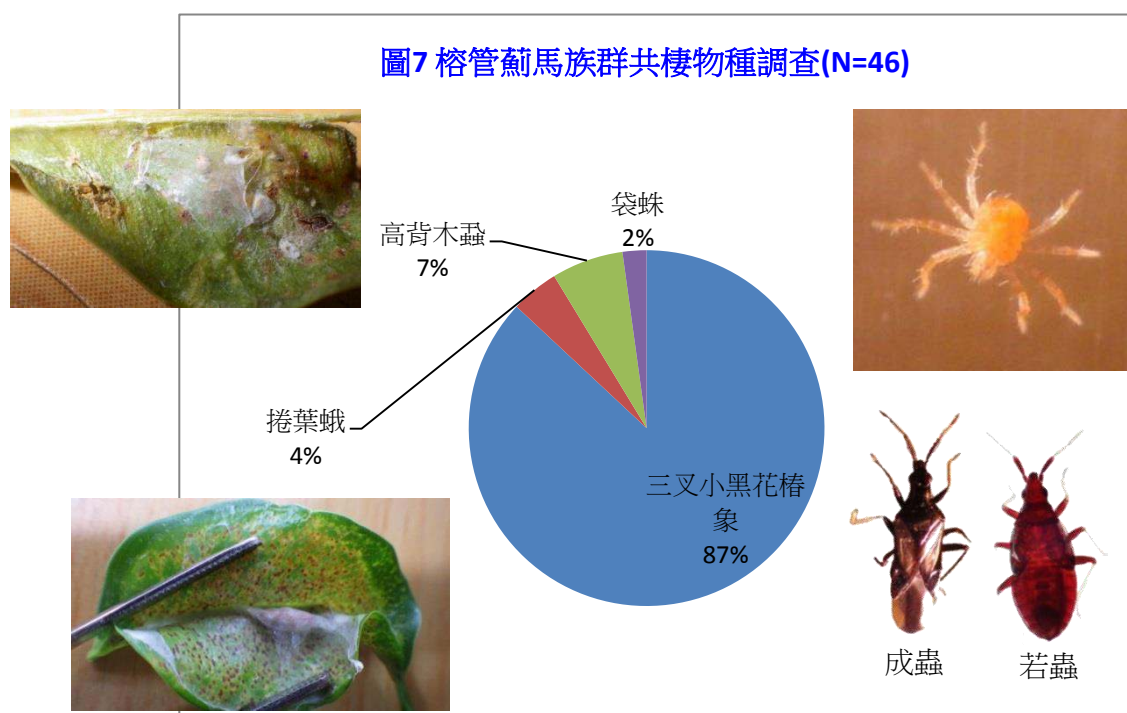
為了瞭解捲葉中和榕管薊馬共生的生物有那些，我們針對採樣的 338 片葉片進行

調查，發現其中有 46 片葉片有共棲物種，鑑定物種後紀錄，並製作成圓餅圖。

➤ 結果分析:

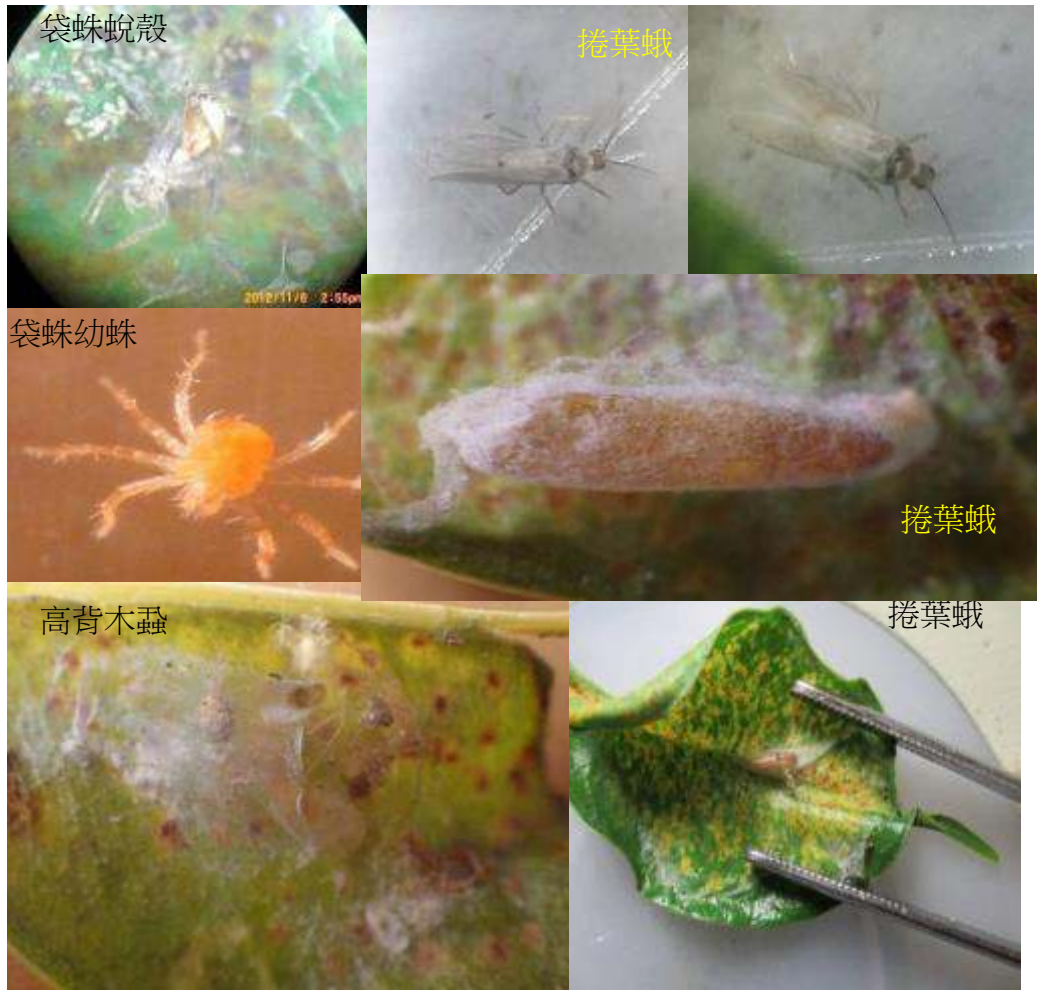
表5 榕樹造瘿葉內共棲物種調查結果

46 片捲葉內有共棲性生物葉片數量(片)	
三叉小黑花椿象	40
捲葉蛾	2
高背木蝨	3
袋蛛	1



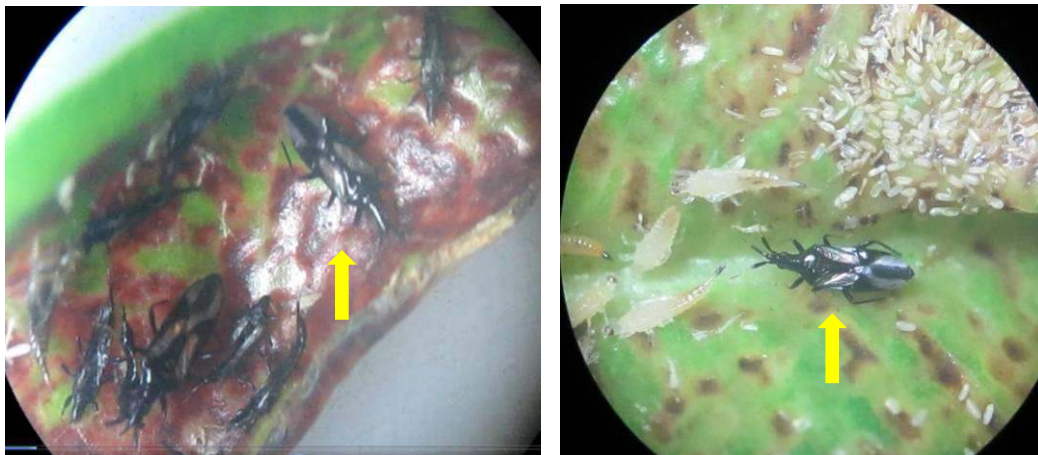
➤ 結果討論:

- 1.調查結果顯示，有的捲葉內沒有榕管薊馬，但可以發現其它共棲物種，如袋蛛的蛻殼和幼蛛，捲葉蛾的蛹和成蟲，以及高背木蝨…等生物。高背木蝨與捲葉蛾和榕管薊馬同屬造瘿生物，發現比率分別占 7%和 4%，另外也有發現共棲在捲葉中袋蛛占 2%。
- 2.三叉小黑花椿象為最常見與榕管薊馬共棲的生物占 87%，推測三叉小黑花椿象為榕管薊馬最主要的捕食性天敵，且在調查中也可同時發現不同齡期的三叉小黑花椿象共棲，推論牠們一生中均可以榕管薊馬為捕食對象。



照片27 與榕管薊馬共棲於捲葉內的生物

3.捕食性天敵同棲捲葉內經常可發現三叉小黑花椿象，且各時期的榕管薊馬均是三叉小黑花椿象的若蟲與成蟲的美味食物:



照片28 捲葉內經常可發現三叉小黑花椿象



照片29 三叉小黑花椿象生活史的各時期



照片30 三叉小黑花椿象的若蟲與成蟲捕食榕管薊馬幼蟲和成蟲

八、捕食性天敵(三叉小黑花椿象)對榕管薊馬各階段齡期分布

➤ 作法:

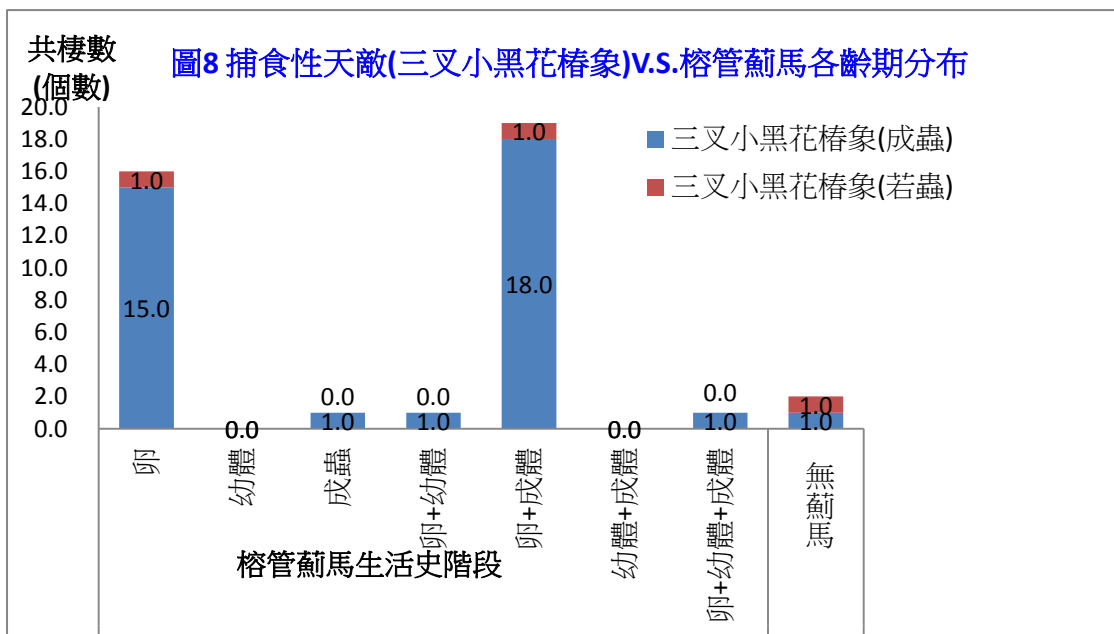
根據調查結果三叉小黑花椿象和榕管薊馬共棲的情形最為普遍，為瞭解捕食性天敵的誘引機制，分析 40 片有三叉小黑花椿象共棲的造瘻葉，對榕管薊馬的族群齡期分布

個數，並計算共棲率(%)= $\frac{\text{有共棲的葉片數}}{\text{總葉片數}} \times 100\%$ 並製作成圖表。

➤ 結果分析:

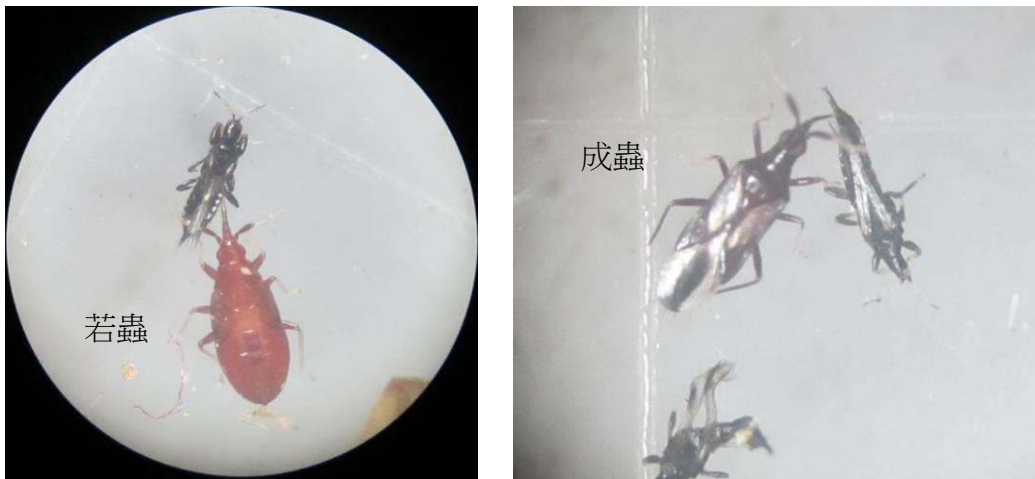
表5 榕樹造瘻葉內榕管薊馬各齡期族群調查結果

造瘻葉片數(N=338)		有薊馬							無薊馬	
		齡期	卵	幼體	成蟲	卵+幼體	卵+成體	幼體+成體		卵+幼體+成體
		葉片數	143	3	11	8	101	1	14	57
捕食性天敵	三叉小黑花椿象(若蟲)	葉片數	1	0	0	0	1	0	0	1
		共棲率	0.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.8
	三叉小黑花椿象(成蟲)	葉片數	15	0	1	1	18	0	1	1
		共棲率	10.5	0.0	9.1	12.5	17.8	0.0	7.1	1.8
三叉小黑花椿象(若蟲+成蟲)		共棲率	11.2	0.0	9.1	12.5	18.8	0.0	7.1	3.5
共棲性生物	捲葉蛾	葉片數	0	0	0	0	1	0	0	1
		共棲率	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.8
	高背木蝨	葉片數	0	0	0	1	0	0	0	2
		共棲率	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	3.5
	袋蛛	葉片數	0	0	0	1	0	0	0	0
		共棲率	0	0	0	12.5	0	0	0	0



➤ 結果討論:

1. 在卵+成蟲階段三叉小黑花椿象共棲率較高，顯示榕管薊馬繁衍階段會吸引三叉小黑花椿象的入侵與捕食，推測榕管薊馬於交尾繁衍時，所釋放的費洛蒙氣味除了會吸引異性外，也會引來三叉小黑花椿象的入侵與捕食。
2. 在實驗調查中，均有發現三叉小黑花椿象的成蟲與若蟲會以刺吸式的口器吸食榕管薊馬的卵與蟲體的體液，我們也觀察拍攝到其捕食的過程(見影片)。
3. 實驗觀察發現三叉小黑花椿象成蟲具有韋斯曼氏擬態(Wasmannian mimicry)的現象，外型與榕管薊馬成蟲極為相似，以躲避榕管薊馬察覺，進而達到共同生活的目的。



照片31 三叉小黑花椿象的若蟲與成蟲捕食榕管薊馬成蟲

九、三叉小黑花椿象應用生物防治之可行性評估

為瞭解三叉小黑花椿象在開放環境下對榕管薊馬存活抑制情況，而進行以下實驗。

➤ 作法：

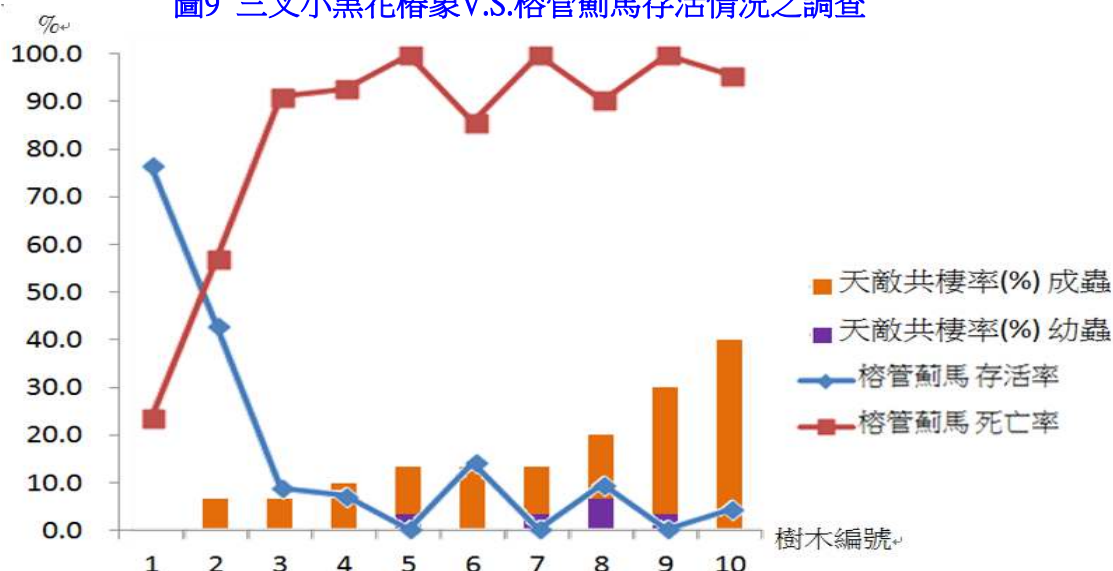
選定校園榕管薊馬族群數量最多的 10 株榕樹進行戶外調查，每棵榕樹採集 30 片造瘿葉，分析天敵(三叉小黑花椿象)的共棲率與榕管薊馬的存活率與死亡率，繪製出下列關係圖。

$$\text{天敵(三叉小黑花椿象)共棲率}\% = \frac{\text{有天敵共棲的葉片數}}{30} \times 100\%$$

$$\text{榕管薊馬存活率}\% = \frac{\text{有薊馬活體的葉片數}}{\text{有薊馬族群的葉片數}} \times 100\%$$

$$\text{榕管薊馬死亡率}\% = \frac{\text{有薊馬死亡個體的葉片數}}{\text{有薊馬族群的葉片數}} \times 100\%$$

圖9 三叉小黑花椿象V.S.榕管薊馬存活情況之調查



樹木編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
天敵共棲率(%)	幼蟲	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	3.3	6.7	3.3	0.0
	成蟲	0.0	6.7	6.7	10.0	10.0	13.3	10.0	13.3	26.7	40.0
	成+幼	0.0	6.7	6.7	10.0	13.3	13.3	13.3	20.0	30.0	40.0
榕管薊馬 (%)	存活率	76.47	42.86	8.70	7.14	0.00	14.29	0.00	9.52	0.00	4.35
	死亡率	23.5	57.1	91.3	92.9	100.0	85.7	100.0	90.4	100.0	95.7

➤ 結果討論:

1. 三叉小黑花椿象能有效抑制榕管薊馬，當三叉小黑花椿象共棲率超過 10%時，可大幅降低榕管薊馬存活率。
2. 實驗觀察發現三叉小黑花椿象成蟲具有韋斯曼氏擬態，但移動緩慢，而幼蟲雖無韋斯曼氏擬態，但移動迅速，兩者皆能抑制榕管薊馬，並無明顯差異。

陸、結論

一、校園中榕樹造癭葉調查結果:

- (一)榕管薊馬榕樹葉造癭會以向光面的枝條前段嫩葉為主，主要原因可能是向光面嫩葉角質層薄有豐厚的葉肉細胞，有利於薊馬吸食葉肉汁液與造癭。
- (二)3~5cm 大小葉片具有最大的生物負荷量，嫩葉雖然適合穿刺吸食，但面積小不適合族群棲息繁衍，老葉雖然面積大適合棲息繁衍，但不利於吸食。
- (三)葉子大小與榕管薊馬族群負荷量有高度正相關，且相關係數值達 0.9371。

二、榕管薊馬的構造與生活史:

- (一)榕管薊馬以圓錐體口器，內含大顎針將植物的組織割破，再由小顎針將汁液吸入胃

內造成葉肉組織損傷。

(二)榕管薊馬雄蟲腹部細長生殖器較長，而雌蟲腹部較為肥大、生殖器短。

(三)榕管薊馬卵期、幼蟲期、偽蛹期與成蟲期，屬於完全變態之昆蟲。

三、榕管薊馬的生活與造瘿過程觀察:

(一)造瘿初期呈現透明及斑點；中期當葉肉組織被破壞後造成兩側葉子對摺，形成可躲藏的造瘿葉；後期孵化的卵和幼蟲數量眾多在葉片內成長、蛻化成成蟲，葉片出現明顯的紅斑(正榕)或黃斑(垂榕)和對摺密合。

(二)將榕管薊馬移居觀察瓶內發現葉片約 3-4 天即可使因被吸食而逐漸捲曲，捲曲的葉片吸引更多榕管薊馬的成蟲和幼蟲聚集和棲息

(三)白天光強時，榕管薊馬會於瓶壁走動偶有飛行行為，夜晚多靜止棲息停留於葉面靠近葉脈中肋附近。

(四)三種榕樹觀察瓶以正榕和垂榕內生活情形較佳，黃金榕觀察瓶內榕管薊馬適應較差。

(五)正榕和垂榕葉肉組織葉綠素和養分含量高適合榕管薊馬寄生，正榕葉肉組織被吸食後呈紅色，垂榕葉肉細胞則變淡枯黃。黃金榕葉片厚度太厚、葉綠素和養分含量少不適合榕管薊馬造瘿。

四、造瘿葉內榕管薊馬族群結構與共棲生物調查:

(一)冬季為榕管薊馬主要的繁殖階段，榕管薊馬以卵或卵+成蟲的族群比率居多；夏季為榕管薊馬的生長階段，榕管薊馬則以卵+幼體+成體或卵+幼蟲的族群比率居多。

(二)三叉小黑花椿象為最常見與榕管薊馬共棲的生物，其次是高背木蝨與捲葉蛾和榕管薊馬同屬造瘿生物，也有發現共棲在捲葉中袋蛛。

(三)三叉小黑花椿象為榕管薊馬的捕食性天敵，不同齡期的三叉小黑花椿象均可以榕管薊馬生活使各時期為捕食對象。

(四)榕管薊馬卵+成蟲階段與三叉小黑花椿象共棲率較高，推測榕管薊馬繁衍時，除了吸引異性外，同時引來三叉小黑花椿象的捕食。

(五)三叉小黑花椿象成蟲具有韋斯曼氏擬態(Wasmannian mimicry)的現象，可以躲避榕管薊馬的察覺，進而達到共同生活與捕食的目的。

(六)三叉小黑花椿象能有效抑制榕管薊馬，當三叉小黑花椿象共棲率超過 10%時，可大幅降低榕管薊馬的存活率，有效達到造癭生物防治的效果。

柒、心得與展望

因為校園中的榕樹捲葉讓我們經歷了這次的科展研究，研究過程了解到榕管薊馬的構造與其生活方式，透過將榕管薊馬移居觀察瓶的設計也讓我們見識到牠們如何使葉捲曲的過程，不過要拍攝到黑暗捲葉內的生活必需翻開捲葉才能拍到牠們，但是要長期在顯微鏡下拍攝牠們實有困難。

不過也因為我們翻開了捲葉意外發現許多和其共生的生物，尤其是三叉小黑花椿象長得和榕管薊馬的成蟲好相似(捕食者擬態獵物)，一開始我們誤以為他們是同一族群，沒想到是恐怖的捕食性天敵混在榕管薊馬族群內大快朵頤! 一片小小的捲葉內暗藏玄機，大自然裡一物剋一物的捕食畫面透過顯微鏡活生生地在我們眼前上演，或許因為天敵發揮生物防治的效果，如此我們校園的榕樹才沒有被榕管薊馬大量入侵啊!

另外因為調查許多片捲葉，捲葉蛾、高背木蝨、袋蛛等生物也意外出現在我們的眼前，這些捲葉內的生物也是很有趣的研究對象，例如捲葉蛾使葉捲曲的方式和管薊馬截然不同，值得繼續探究，自然界暗藏許多秘辛正在等待著我們去發掘……。

捌、參考資料

- 一、王清玲(2014)。台灣薊馬生態與種類－縷翅目－錐尾亞目－修訂再版。臺北市：行政院農委會農業試驗所特刊第 99 號。
- 二、黃書元、黃璐、楊采妮、王紫涵(2010)。榕樹葉長雀斑了-認識榕樹薊馬。金門：金門地區第 51 屆中小學科學展覽會。
- 三、曾喜育、歐辰雄、呂福原、王志強(2009)。臺灣產榕屬植物花粉形態之研究。林業研究季刊，31，33-46。
- 四、顧錦濤、顏雅惠(1999)。捲葉高手-榕管薊馬。中華民國：中華民國第 39 屆中小學科學展覽會。
- 五、林佳安、江朕榮(1989)。捲葉中的小怪蟲-榕葉樹薊馬的研究。中華民國：中華民國第 29 屆中小學科學展覽會。

【評語】 030316

1. 此作品欲探討榕管蓟馬造成榕葉捲取的機制，並調查其棲息偏好、共棲物種及捕食天敵。
2. 先前已有類似研究，創新性較為不足。建議應該進一步了解蓟馬蟲。造成捲葉的現象為何不會或較少發生在黃金榕的葉片上，純粹只是葉片厚度的緣故，抑或是黃金榕葉片內含特殊的成分。
3. 欲以三叉小黑花椿象來進行榕管蓟馬的生物防治，須注意生態環境的平衡及效益。