

2016 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050004

參展科別 動物學

作品名稱 「癭室」了得，硬是了得！

探討檬果壯鉞普癭蚋的生態及生物防治可
行性

得獎獎項 大會獎：四等獎

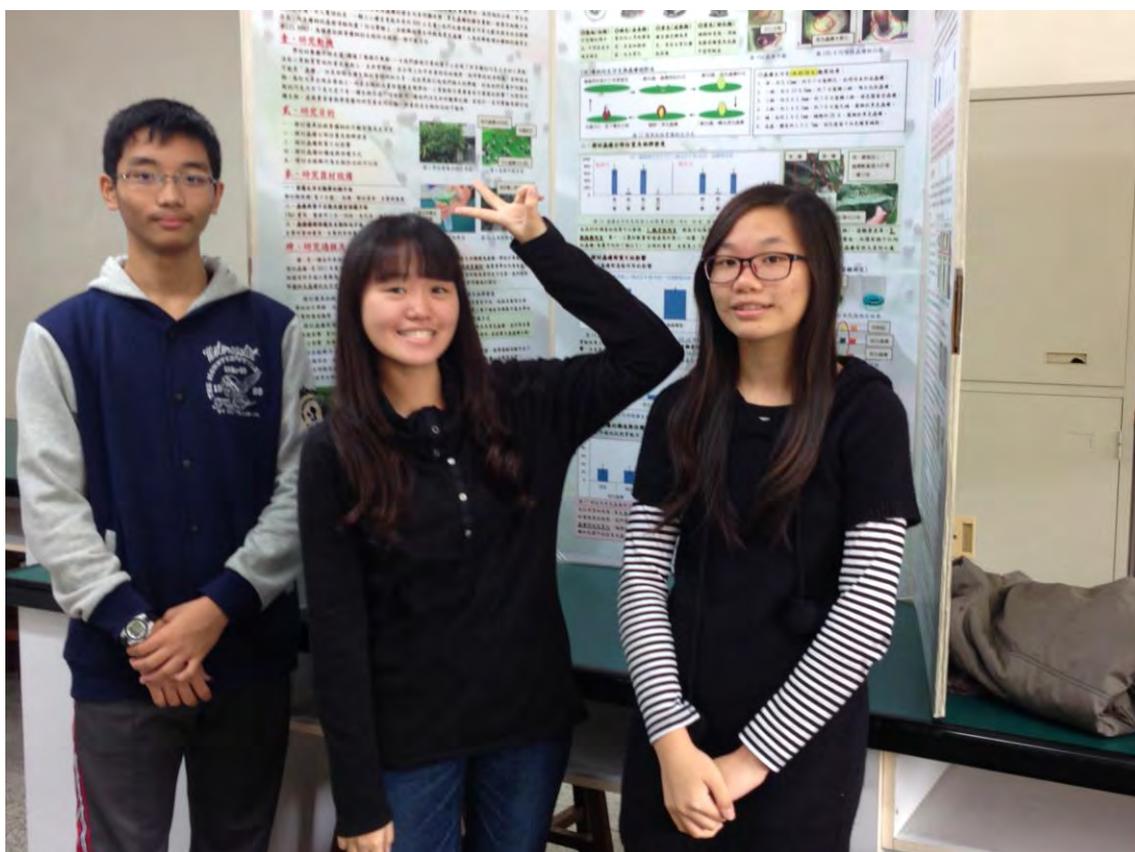
就讀學校 高雄市立明華國民中學

指導教師 蘇育弘、李冠徵

作者姓名 林品汝、倪羽薇、王釋玄

關鍵字 檬果壯鉞普癭蚋、蟲癭、赤眼蜂

作者簡介



我是林品汝(右)，現就讀高雄市立明華國民中學三年級，興趣是彈鋼琴、看電影、看小說。身為數理研究社的一份子，我對於做研究非常地感興趣，而實驗室正好提供了這樣的環境。在做科展的過程，除了了解到實驗技巧、器材及正確使用方法外，更學習了如何和隊友分工合作。我很榮幸可以參加今年的國際科展，豐富我的心靈，開拓我的視野。

我是倪羽薇(中)，就讀高雄市立明華國中三年級。興趣是旅遊、看書、看電影。國中時加入了數理研究社，也正因為加入了這個社團，而開啟了科學研究的這條路。曾參加中華民國第 55 屆科學展覽會，獲得國中組生物科第二名的成績。在製作科展的過程中，讓我學習到如何進行團隊合作和妥善的管理時間，無論對於課業或者未來發展，都有相當的幫助。

我是王釋玄(左)，就讀高雄市立明華國中三年級。興趣是爬山、攝影。進入學校的數理研究社後，帶著對科學的熱情，開始了奇妙的科展之旅。午休的觀察、放學後的練習、假日時的實驗室生活、甚至是熬夜趕報告，對我來說都十分新鮮，並樂在其中。在許多貴人的幫助下，我很幸運的能站上這個國際的舞台，與更多人分享我們的研究成果和做實驗的熱忱。

摘要

校園芒果葉上所發現的「椽果壯銹普癭蚧」(*Procontarinia robusta*)，是近年來快速蔓延且危及台灣芒果產業的害蟲。但基礎文獻與防治方式等資料甚少，因此我們進行各階段的型態觀察以建立癭蚧的生活史，幼蟲分為三個齡期，蟲癭則為四個時期。癭室的分布是以同一時間生長的叢生葉為單位，做間隔性分佈；寄生位置以正面葉肉為主。芒果葉的蒸散作用未因蟲癭的發生而有明顯改變；黑色蟲癭的糖含量較一般葉肉組織少且無澱粉反應。令人驚訝的是，一顆小小癭室竟能承受約 600 公克重。我們也發現癭室內有文獻未提及的赤眼蜂存在，而且癭蚧幼蟲被啃蝕殆盡！防治實驗上，赤眼蜂的寄生時期為黑色蟲癭，人為放蜂能增加癭蚧的被寄生率(25.89%)，為椽果壯銹普癭蚧的生物防治提供一個可能方向。

Abstract

The *Procontarinia robusta* that we found on mango leaves in our campus has spread out rapidly, and become a threat to the mango industry in Taiwan in recent years. Because of limited literature, we constructed the life cycle of *Procontarinia robusta* by observation throughout all the phases and stages. The larval phase is divided into three stages, and the gall phase is divided into four stages, where the distribution of the galls in leaf clusters appear at intervals and mostly parasitic at the upper mesophyll. The galls do not affect transpiration of the leaves significantly. In the case of black gall, the amount of glucose is fewer than mesophyll tissue with no starch reaction. Surprisingly, a hard black gall can actually bear 600gw. We also found another larva in the gall, *Trichogramma* (parasitic bee, no record in Taiwan) by which the larva of *Procontarinia* was completely eaten. According to our experiments, the *Trichogramma* parasitizes when the gall is at its black stage. Moreover, by artificial bee application, the parasitized rate of *Procontarinia* is found elevated for 25.89% which suggests a promising direction for biological control of *Procontarinia robusta* in the future.

壹、研究動機

學校的餐廳外側走道，種植了幾棵芒果樹。一日我們發現芒果的葉子上出現了许多類似巧克力米的小黑點，這些小黑點緊緊地附著在葉面上，且非常堅硬，在分佈上似乎有著特別的規律。經過詢問學校的老師後，老師說這可能是「蟲癭」，但是卻對這種生物的習性所知不多。這些黑點引起我們極大的興趣，到底他們是屬於何種生物，為何大多出現在葉面上，而且出現的位置很整齊有規律性，小黑點對芒果葉會有什麼樣的影響？而堅固外殼的巧克力米下是不是只有一種生物存在？這些疑問，讓我們決定好好觀察記錄，並設計一系列實驗來探討這種生物，並與農委會熱帶園藝所研究員共同討論，試著找出生物防治的可能性。

貳、研究目的

- 一、探討椽果壯鉅普癭蚧的外觀型態及生活史
- 二、探討蟲癭分佈位置及族群密度
- 三、探討蟲癭對葉片的影響
- 四、探討蟲癭的構造與保護方式
- 五、探討赤眼蜂作為生物防治的可行性



圖 1 學校餐廳旁的芒果樹



圖 2 芒果葉上巧克力米黑點

參、研究器材與設備

一、型態生活史觀察記錄方面：

解剖顯微鏡、電子目鏡、相機、筆電、培養皿、鑷子、解剖針、解剖刀
自製保麗龍飼養箱、植物培養燈、錐形瓶、定時器

二、蟲癭與葉子互動關係方面

10ml 量筒、試管架、三合一試紙、酒精燈、本氏液、碘液、電子天平

三、蟲癭癭殼保護及生物防治方面

自製耐重測量器(燒杯、鐵絲、pp 板、砝碼、銅片、木製底座)
自製刺穿測量器(量筒、燒杯、鐵絲、pp 板、解剖針、木製底座)
蟲網套袋(大、小)、培養皿、自製取蜂器(寶特瓶、50cc 離心管)

雖然用肉眼可辨識蟲癭巧克力米般的外觀，但由於蟲癭高度約 2~3mm，直徑約 1~2mm，為了方便觀察蟲癭的外觀型態及內部結構，我們利用能夠錄影及拍照功能的電子目鏡連接筆電，進行每日的實驗觀察與記錄。



圖 3 以解剖顯剖微及電子目鏡觀拍攝

椪果壯缺普癭蚧，是 2011 年在高雄首次接獲通報出現的物種，經詢問農委會鳳山試驗所研究人員，目前的防治上了僅能利用農藥。為了了解是否有天敵出現的可能性及應用性，我們將具有不同時期蟲癭的芒果葉進行包覆，並嘗試利用發現的赤眼蜂來進行生物防治。



圖 4a 自製取蜂器

圖 4b 進行人為放蜂確認寄生時期

肆、研究過程及方法

一、探討檬果壯缺普癭蚧的外觀型態及生活史

(一)查閱相關文獻

◎癭蚧簡介

癭，是一種由外來刺激所造成植物組織不正常增生或增大的現象，會造成癭的來源有許多種，例如真菌、細菌、蟎蟬與昆蟲。其中，昆蟲為主要的造癭生物類群，昆蟲所刺激產生的癭稱為蟲癭。會造癭的昆蟲常見的有雙翅目的癭蚧，同翅目的木蝨，鱗翅目的捲葉蛾，膜翅目的癭蜂、半翅目的網椿、繆翅目的薊馬等等。

我們學校芒果樹所出現的蟲癭就是癭蚧所造成的，這種癭蚧是在 2011 年農業試驗所在高雄市發生並接獲通報的物種，中文名稱為檬果壯缺普癭蚧，與台灣普遍發生的檬果癭蚧在生態上有很大的差別，但相同的是都在檬果葉寄生的這兩種癭蚧，由於會造成葉面的損害，可能影響芒果產量，因此被農業單位列為害蟲。



圖 5 蟲癭可能會影響光合作用

經過相關整理，檬果壯缺普癭蚧影響的是台灣重要經濟作物芒果，所以主要的探討重點在於防治方面，在防治上目前以化學農藥為主，利用天敵的生物防治目前尚未看到，再加上癭蚧的研究在國內屬於相對冷門的學問，因此對於學校不知何時出現的這種生物，其相關知識較難由文獻資料獲得。

我們想藉由此次研究的機會，了解癭蚧的生長及蟲癭的形成模式，並進一步探討蟲癭與芒果葉的互動關係，及探究這麼硬的蟲癭是否有天敵出現等等問題。希望由這一系列的觀察及實驗，獲得足夠的資訊，以了解這種特別的生物。

(二)外觀辨認與生活史追蹤

1. 外觀辨認：學校發生蟲癭的芒果樹位於餐廳旁，共有 4 棵，高度約為 1.5~3 米。我們將發生蟲癭(高約 2~3mm，直徑約 1~2mm)的葉片取回，利用解剖顯微鏡進行觀察記錄。
2. 生活史建立：為了建立癭蚧的生活史，我們自製飼養箱長期觀察，並在戶外的芒果樹上也同時標定相同外觀的蟲癭，以確認蟲癭的變化。幼蟲方面，利用解剖針及解剖刀，將採集回來的蟲癭小心處理，置於顯微鏡下觀察不同時期的特徵，建立生活史及蟲癭形成模式。

二、探討蟲癭分佈位置及族群密度

(一)分佈位置的選定

由初步觀察，學校芒果樹發生蟲癭的位置似乎有方位、枝條及葉間分佈的差異存在。

1. 方位：我們利用紅色塑膠繩將芒果樹區分為朝南方及北方兩個區塊，了解陽光的影響。
2. 枝條：芒果葉的葉序屬於叢生，一叢一叢的芒果葉，有著特別發生的規律。
3. 葉子：選定了葉面、葉背及葉脈等三個區域來進行觀察。

(二)族群密度的計算

在蟲癭發生的密度計算上，經過我們的檢視，發現蟲癭會有高度集中的現象，因此在數量上的計算，我們分為以下兩種：

1. 方位及枝條族群密度上，以一叢葉子(約 9~11 片)上所有的蟲癭總數作為族群密度的比較。
2. 探討蟲癭與葉子互動及生物防治實驗上，以單片葉子作為基本單位計算密度。



圖 6a 以紅色塑膠繩區分芒果樹的方位



圖 6b 叢生葉片蟲癭總數進行數量計算

三、探討蟲癭對葉片的影響

檬果壯缺普癭蚧主要發生的位置為芒果葉。我們針對蟲癭發生的葉片，來探討是否影響葉子正常的蒸散作用、並由探討癭室內養分含量情形，了解蟲癭對於芒果葉的養分影響程度。

(一)探討蟲癭對蒸散作用的影響

蒸散作用是植物極重要的生理作用，我們由此實驗來了解是否會造成蒸散作用的改變。

1. 採集被蟲癭感染的葉子 5 組，另外準備未被感染的對照組。
2. 計算採集的葉片面積，並計算有蟲癭葉上的族群數量，以了解單位面積的蒸散量。
3. 將採集葉片連同葉柄，置入 10cc 量筒，加水至 10cc，並設立空白量筒，以計算蒸發量。
4. 每日固定時間記錄量筒內水位下降情形，連續記錄 5 日。

$$\text{單位面積蒸散量} = \frac{\text{下降水位(有葉子量筒-空白量筒蒸發量), ml}}{\text{葉子面積, cm}^2}$$

◎註：葉片面積計算

1. 將葉柄除去，將每片葉子置於 A4 方格紙上(1x1cm)，以鉛筆進行輪廓的描繪。
2. 將方格紙的小方格剪下(1x1cm)，並以電子天平稱量單位面積重量。
3. 將步驟 1 描繪好的葉片輪廓剪下，置於電子天平稱量，以重量相除換算成該片葉片面積。



圖 7a 將葉子輪廓描下，計算葉片面積



圖 7b 剪下方格紙，稱重換算面積

(二)探討蟲癭內養分含量的情形

在葉上的蟲癭大多能由葉子獲得養分以供應幼蟲生長，因此我們想要了解在癭室內的養分含量情形，以探討對葉子的影響，包含澱粉及葡萄糖等。

◎澱粉測定

1. 採集具有蟲癭(綠色及黑色)的芒果葉及未被感染的葉子，並將蟲癭移除。
2. 將葉子置入燒杯中加熱煮軟後，加入酒精隔水加熱去除葉綠素。
3. 滴碘液至處理好的葉片上，記錄綠色及黑色蟲癭處的變色情形。

◎葡萄糖測定

1. 採集同一叢枝葉上，具有蟲癭(綠色及黑色)的芒果葉及未被感染的葉子。
2. 利用解剖刀及解剖針，將綠色及黑色蟲癭內葉肉細胞取出相同重量，加本氏液隔水加熱。
3. 取出等重的綠色及黑色蟲癭內葉肉細胞，以及未被感染葉肉、被感染葉肉組織等，分別加入 3cc 蒸餾水，以三合一試紙測定濃度。

四、探討蟲癭的構造與保護方式

椽果壯缺普癭蚧的黑色蟲癭具有相當堅硬的外殼，因此我們設計了抗刺穿及耐重程度的實驗，以了解堅固外殼的保護(防止寄生天敵刺入及捕食)情形，並比較校園內其它蟲癭(茄苳木蝨)的抗刺穿及耐重程度。

(一)探討癭殼的抗刺穿程度

1. 分別採集有綠色及黑色蟲癭的葉子。
2. 利用自製的抗刺穿裝置進行實驗，將針對準頂部，將砝碼逐次放上，直至解剖針上標定 1mm 藍線刺入蟲癭，記錄數據。蟲癭側部實驗步驟相同。

(二)探討癭殼的耐重程度

1. 採集有蟲癭發生的葉子數片，有黑色及綠色蟲癭。
2. 利用自製的耐重裝置進行實驗，將砝碼逐次加入燒杯，直至蟲癭外殼破裂，記錄砝碼重量。

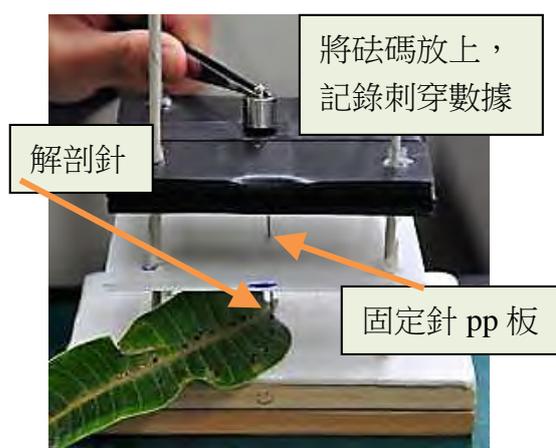


圖 8a 蟲癭抗刺穿裝置圖



圖 8b 蟲癭耐重裝置

五、探討赤眼蜂作為生物防治的可行性

初步癭室結構觀察後，我們在癭室內發現有「同居人」的出現，不只是幼蟲還有成蟲，文獻資料中並未提及此種癭蚋的天敵種類，堅硬的外殼，加上未被記錄的文獻，更讓我們好奇天敵是在何時進入癭室內，在熱帶園藝試驗所研究員的建議下，試著探討生物防治可行性。

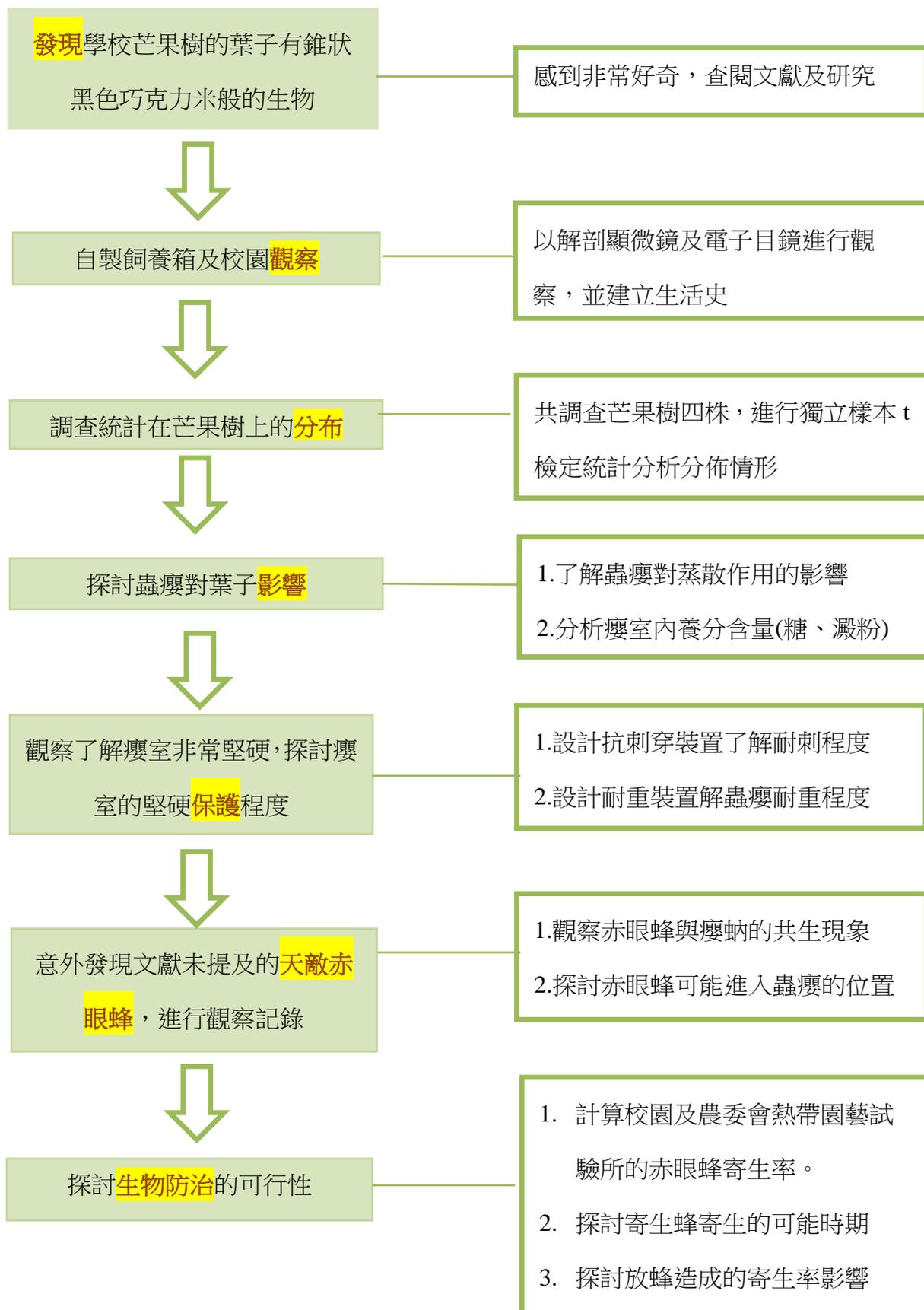
(一)探討蟲癭被赤眼蜂寄生的情形

1. 採集校園、熱帶園藝試驗所各 3 叢(9~11 片)具有蟲癭葉片，於解剖顯微鏡，以解剖刀處理。
2. 記錄癭室內被寄生數量，計算寄生率(被寄生蟲癭 / 單片葉上蟲癭總數)。

(二)探討寄生蜂可能的寄生時期與放蜂造成的寄生率影響

1. 選取校園內 4 叢具有初期蟲癭枝葉(標定為 A、B、C、D)，分別以網袋包覆。
2. A 叢作為對照組(無放蜂)；B 叢(初期)放入赤眼蜂 10 隻；C 叢蟲癭發展至綠色蟲癭時放入赤眼蜂 10 隻；D 叢蟲癭發展至黑色蟲癭時期放入赤眼蜂 10 隻。
3. 待包覆網袋內的 4 叢葉片蟲癭都進入黑色蟲癭後一週(農委會熱帶園藝試驗所建議)，採集回實驗室，記錄癭室內被寄生數量，計算寄生率。重覆上述 1~3，進行二重覆實驗。

五、研究流程圖：



伍、研究結果

一、探討檬果壯鉞普瘿蚧的外觀型態及生活史

檬果壯鉞普瘿蚧於 2011 年在台灣高雄發生，關於此種瘿蚧的生態史及型態描述資料相對少見，因此我們想透過此次研究機會，利用飼養及採集樣本，進行顯微錄影及拍照，並自行繪製檬果壯鉞普瘿蚧的幼蟲、蟲瘿各階段結構以及生活史，另外並討論蟲瘿形成的模式，並進一步探討特別的上下蟲瘿相連情形。



圖 9a 瘿蚧密集於學校芒果葉上發生



圖 9b 瘿蚧成蟲羽化，瘿蓋處為脫皮

(一)分類地位

檬果壯鉞普瘿蚧，屬於瘿蚧科，為台灣芒果新記錄(2011)的害蟲。瘿蚧科的科名冠上「瘿」字，表示造瘿為此科生物重要的特徵，也如同其它類型蟲瘿一樣，對於植物具有專一性。一般而言，瘿蚧成蟲體型極小，約 2mm 以下，具有飛行能力，因此當寄主植物為具有經濟價值的果樹時，就會造成重大影響。

學名：*Procontarinia robusta*

檬果壯鉞普瘿蚧的分類：動物界 Kingdom Animalia

節肢動物門 Phylum Arthropoda

昆蟲綱 Class Insecta

雙翅目 Order Diptera

瘿蚧科 Family Cecidomyiidae

瘿蚧屬 Genus *Procontarinia*

檬果壯鉞普瘿蚧 *Procontarinia robusta*

(二) 瘿蚋的各階段型態變化

經過長期於飼養箱及野外的觀察，為了清楚呈現各階段特徵，自行手繪各時期型態變化。

表 1 瘿蚋各階段的顯微觀察結果

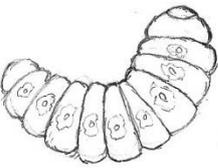
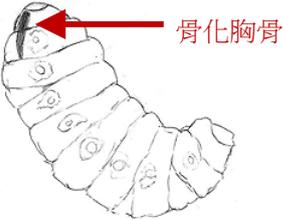
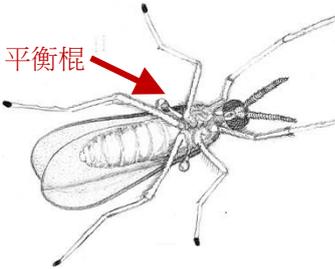
不同階段型態	<u>瘿蚋</u> 的觀察結果與說明
	<p>◎卵</p> <p>瘿蚋雌蟲將卵產於芒果葉背，提高成功率；顏色：呈現淡黃色</p>
	<p>◎一齡幼蟲</p> <p>位於葉肉組織間，啃食葉肉組織維生；顏色：身體呈現半透明</p>
	<p>◎二齡幼蟲</p> <p>二齡幼蟲位於綠色蟲瘿底部瘿室內，身體附近仍充滿葉肉，蟲瘿發展為綠色；顏色：身體轉成乳白色，身體側部可見氣門。</p>
	<p>◎三齡幼蟲</p> <p>三齡幼蟲位於黑色蟲瘿底部瘿室內，附近葉肉減少，準備進入蛹期。顏色：身體米黃色，具有瘿蚋科常見的紅棕色胸骨特徵</p>
	<p>◎蛹期</p> <p>蛹期發展分為兩個階段，圖為蛹的後期，直立狀，頭朝上，黑色蟲瘿瘿室內無葉肉組織。顏色：蛹的上半部，如翅及頭部區域為暗黑色，另外有頭部骨板，可能與出瘿室有關。</p>
	<p>◎成蟲</p> <p>成蟲由瘿室上端離開，羽化後留蛻皮在黑色瘿室上端，具有飛行能力的翅膀具有族群擴散優勢。身體呈米色，複眼為暗褐色，具有和蚊子相似平衡棍。</p>



圖 10a 三齡胸骨為瘿蚋科特徵



圖 10b 蛹前期，右側頭部骨板



圖 10c 成蟲腹部，後翅平衡棍

(三)蟲癭的各階段型態變化

與癭蚋比較起來，大多位於葉面的蟲癭就較容易記錄，雖然可直接用肉眼觀察，但是成熟蟲癭的高度也僅約 2mm，為了進一步確認各時期構造差異，使用解剖顯微鏡記錄觀察。

表 2 蟲癭各階段型態及縱切比較結果

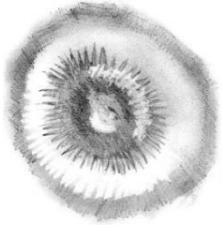
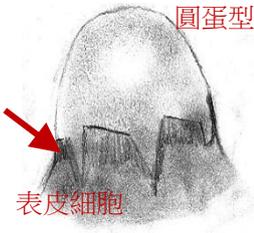
外觀型態	縱切面	<u>蟲癭</u> 的觀察結果與說明
		◎綠色癭室開始隆起(初期) 癭蚋產卵後，一齡幼蟲於葉肉組織，葉面出現類似隕石坑外型的蟲癭，中間部分表皮細胞淡褐色，外圍則凸起一圈。縱切顯示表皮細胞轉為褐色，尚未破裂。
 圓蛋型 表皮細胞		◎綠色癭室(成長期) 第二期蟲癭內為二齡幼蟲，表皮細胞呈褐色破裂，蟲癭凸起呈圓蛋型，高度約為 2mm，表皮被撐破，癭室內葉肉組織增生，顏色淡，最外層尚未木質化。
 圓錐型 表皮細胞		◎黑色癭室(成熟期) 第三期蟲癭內主要為三齡幼蟲及蛹期，黑色的癭室具有木質化堅固的殼以保護蟲體。葉肉組織的縱切面顏色與綠色癭室相同，癭殼出現明顯木質化現象。
 癭蓋		◎黑色羽化癭室(羽化期) 羽化癭室是成蟲離開留下來的癭殼。癭室頂端有圓型癭蓋，頂端留下成蟲羽化半透明的蛻皮。癭室內無葉肉組織，頂端為成蟲離開處，底部和癭室完整木質化。



圖 11a 初期蟲癭類似隕石坑



圖 11b 綠色蟲癭隆起



圖 11c 黑色羽化癭室留下空洞

(四) 瘿蚋的生活史與蟲瘿的形成

經由顯微鏡的觀察與記錄，建立了椴果壯鉅普瘿蚋的生活史模式，以下我們利用自行繪製的各階段瘿蚋與蟲瘿的縱切面說明生活史、形成蟲瘿過程。

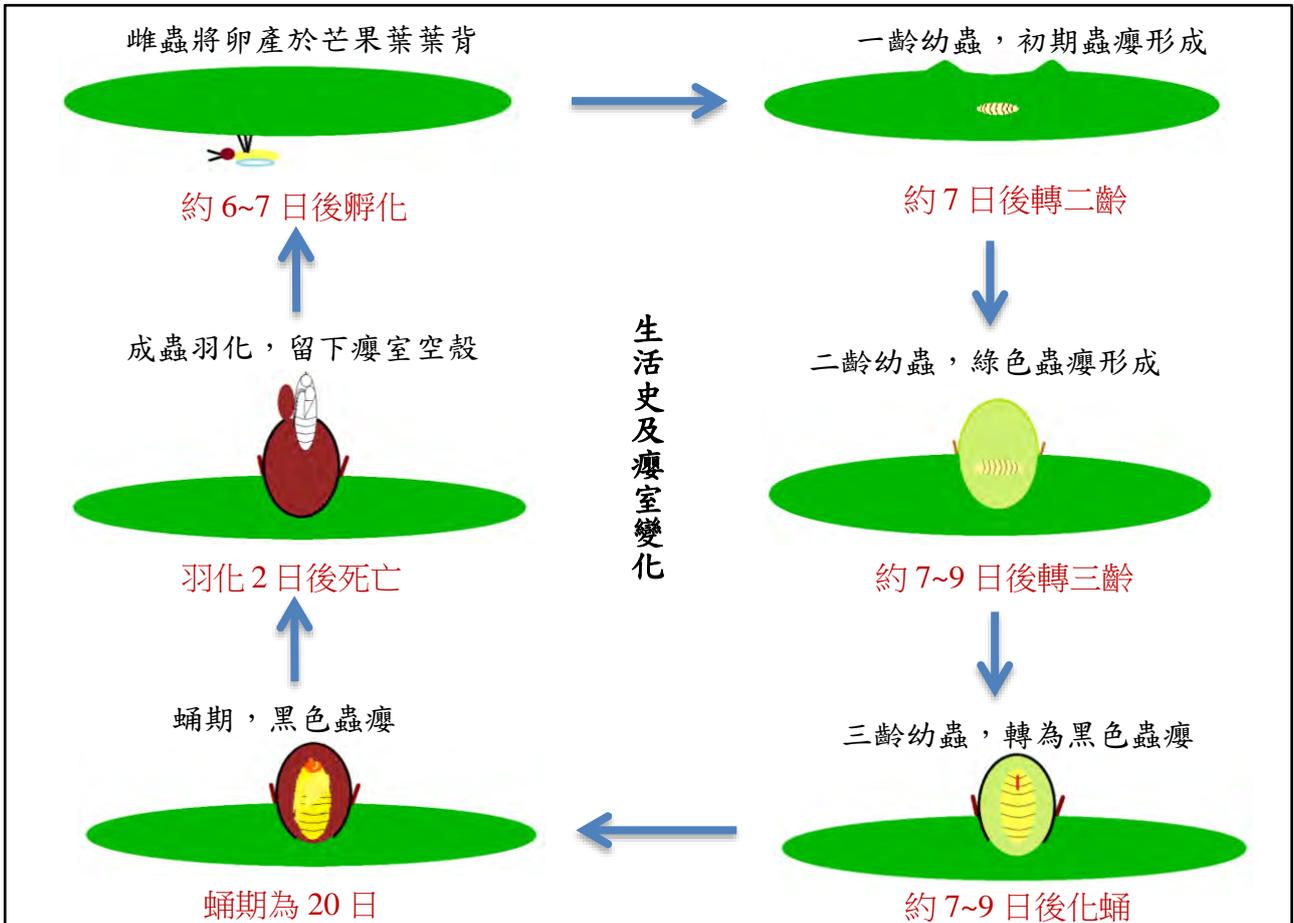


圖 12 椴果壯鉅普瘿蚋生活史及瘿室變化

◎蟲瘿生活史觀察結果：

1. 卵：近圓形，乳白色，約 0.15mm，約 6~7 日後孵化，此時尚未形成蟲瘿。
2. 一齡：乳白半透明，約 0.15~0.6mm，約 7 日後轉二齡，形成隕石坑狀蟲瘿。
3. 二齡：乳白色，約 0.6~1.4mm，約 7~9 日後轉三齡，形成綠色圓蛋型蟲瘿。
4. 三齡：淡黃色，約 1.4~2.1mm，約 7~9 日後化蛹，形成圓錐狀黑色蟲瘿。
5. 蛹：由淡黃色轉為灰黑色，約 1.4~2.1mm，蛹期約 20 日，圓錐狀黑色蟲瘿。
6. 成蟲：腹部微黃色，雄蟲體長約 1.5~1.7mm，雌蟲約 1.9~2.2mm，羽化後留下白色蠟質蛹殼。

表 3 瘿蚋幼蟲與瘿室型態變化

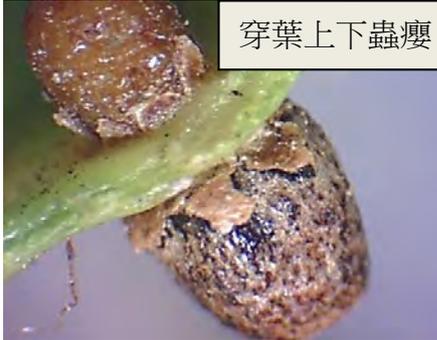
卵	一齡	二齡	三齡	蛹	成蟲
	瘿室形成	綠色瘿室	黑色瘿室(逐漸木質化)		羽化瘿室

(五)蟲癭型態探討~上下蟲癭

在觀察蟲癭的外部型態及調查族群密度數量時，我們發現了一個很有趣的現象，有極少部分蟲癭形成在葉子背面，仔細觀察這些生長於葉背的蟲癭似乎與葉面的蟲癭互相連接，只要是葉背的蟲癭都有這種現象存在。

採集之後，將上下相連蟲癭縱切，發現蟲癭內部是上下相連的，且僅有一隻幼蟲在其中，這與原本我們發現的一個癭室內具有一隻幼蟲的狀況相同，且癭室內空間相連接穿過葉肉組織。這種少見的蟲癭情形，是不是和葉面有所關聯，也就是當葉子生長過程中，可能有一段時間因外力或是其它因素，使葉子並未完全朝上，形成蟲癭的幼蟲感受到角度、地心引力或是光線等等刺激的改變，因而往另一側穿過葉肉移動，而形成上下蟲癭，至於要確認是何項因素所造成的，可能還要進一步探討。以下是上下蟲癭與一般蟲癭在分佈及型態上的比較。

表 4 一般蟲癭與上下蟲癭的比較

	一般蟲癭	上下蟲癭
分佈外觀	 蟲癭分佈於葉面	 穿葉上下蟲癭
蟲癭外觀	 葉面上蟲癭	 穿葉上下蟲癭
蟲癭縱切		 癭室上下相連

二、探討蟲癭分佈位置及族群密度

為了了解蟲癭分佈情形，我們以學校受感染的 4 棵芒果樹為對象，由遠處看發現蟲癭分佈似乎有受到陽光照射的影響，因而在方位上有些微的差異。接近觀察發現蟲癭的分佈，在芒果叢生的枝條上有著特別的規律，因此，我們就方位、枝條與葉上分佈的情形進行調查，以下是我們的調查結果：

表 5a 朝南方枝葉，蟲癭在各部位分佈數量(單位：個/叢)

	A 組枝條			B 組枝條			C 組枝條			D 組枝條			E 組枝條		
	葉面	葉背	葉脈												
第一叢	663	0	0	779	5	0	702	2	0	725	1	0	646	0	0
第二叢	68	0	0	43	0	0	46	0	0	56	0	0	53	0	0
第三叢	671	0	0	744	0	0	723	0	0	728	0	0	573	0	0
第四叢	26	0	0	24	0	0	28	0	0	24	0	0	24	0	0

註：第一叢表示芒果枝條最外側的叢生葉，依序往內。一叢約 9~11 片芒果葉。

在我們的調查裡，隨機採樣 5 條枝葉，並由外而內計算了四叢葉子，其中葉脈指的是芒果葉的第一級和第二級葉脈。在朝南方的枝葉調查數量顯示，無論是最外側的第一叢或是最內側的第四叢，蟲癭的分佈上幾乎都是在葉面，葉背僅零星分佈(B、C 及 D 組)。

表 5b 朝北方枝葉，蟲癭在各部位分佈數量(單位：個/叢)

	A 組枝條			B 組枝條			C 組枝條			D 組枝條			E 組枝條		
	葉面	葉背	葉脈												
第一叢	561	0	0	615	0	0	583	6	0	567	0	0	509	2	0
第二叢	48	0	0	36	0	0	41	0	0	33	0	0	36	0	0
第三叢	532	2	0	598	0	0	580	0	0	593	3	0	467	0	0
第四叢	21	0	0	18	0	0	23	0	0	16	0	0	19	0	0

註：第一叢表示芒果枝條最外側的叢生葉，依序往內。一叢約 9~11 片芒果葉

在朝北方的枝葉調查中，分佈上的結果與朝南方相同，蟲癭幾乎都集中在葉面的位置，僅有少數分佈於葉背，而葉脈上均無發現分佈的個體，且第一叢與第三叢的數量分佈，明顯較第二、第四叢多(約 10 倍以上)。

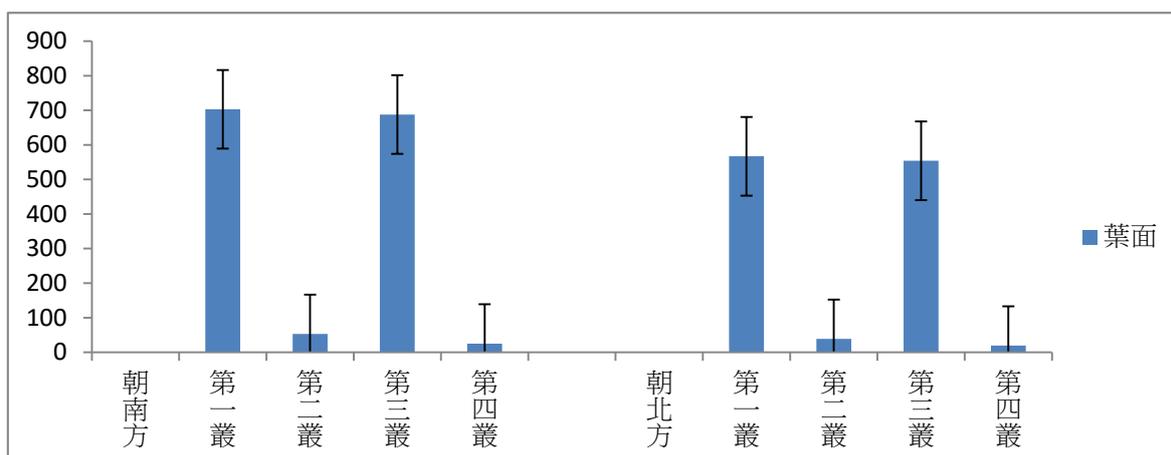


圖 13 蟲癭在方位及枝條上的數量比較圖(葉面)

單位：個 / 叢(每叢約 9~11 片)，圖中數值為 5 組枝條平均數量

表 6 蟲癭分佈方位(南北)獨立樣本 t 檢定結果

	第一叢	第二叢	第三叢	第四叢
朝南平均個數	703	53	688	25
朝北平均個數	567	38	554	19
p 值	0.001634	0.022304	0.0096	0.003937
顯著與否	是	是	是	是

由我們所調查的結果可以發現癭蚧在選擇癭室地點上具有一些有趣的規律：

1. 就方位而言，獨立樣本 t 檢定的結果，朝南方的平均數比朝北方多(具有顯著差異)，這可能與調查的時間為秋季至初春的陽光方位有關。
2. 就枝條而言，不論朝南或朝北，第一、三叢的數量皆遠遠高於第二、四叢，形成一個有趣的排列模式，這可能與癭蚧的生活史週期及芒果枝條長新葉的時間有所關聯。
3. 就葉子的區域而言，幾乎所有的蟲癭皆分佈於葉面，僅有極少比例的蟲癭，分佈於葉背(上下蟲癭模式)，在葉脈上並沒有發現任何蟲癭，與其它蟲癭(葉脈型)不同。



圖 14a 第一叢蟲癭數量遠大於第二叢



圖 14b 蟲癭僅分佈於葉肉(無葉脈)

三、探討蟲癭對葉片的影響

芒果葉上癭蚧的蟲癭對於葉片會有什麼樣的影響呢？我們探討了是否會影響蒸散及癭室內、葉肉養分含量等問題。



圖 15 量測蒸散量裝置

(一)探討蟲癭對葉片蒸散作用的影響

表 7 有無蟲癭對蒸散量的結果

	蟲癭有無	葉面積 (cm ²)	蟲癭數 (個/片)	Day0	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5	單位下降量 (ml/ cm ²)
A 組	有	46	63	10	9.5	8.9	8.5	8.3	8.3	0.0304
	無	62	0	10	9.6	8.9	8.3	7.8	7.6	0.0339
B 組	有	34	91	10	9.4	8.9	8.4	8.3	8.3	0.0312
	無	40	0	10	9.8	9.4	9.2	8.8	8.5	0.0300
C 組	有	36	82	10	9.7	9.4	9.1	9	8.8	0.0250
	無	32	0	10	9.6	9.4	9	8.8	8.8	0.0281
D 組	有	41	58	10	9.6	9.4	9.1	9	8.9	0.0195
	無	38	0	10	9.5	9.3	9.1	8.9	8.8	0.0237
E 組	有	52	52	10	9.6	9.3	9.1	8.9	8.7	0.0192
	無	51	0	10	9.5	9.2	9	8.9	8.7	0.0196
控制組	水			10	9.9	9.9	9.8	9.7	9.7	

註：單位下降量計算方式為(水位下降量-蒸發量) / 葉面積

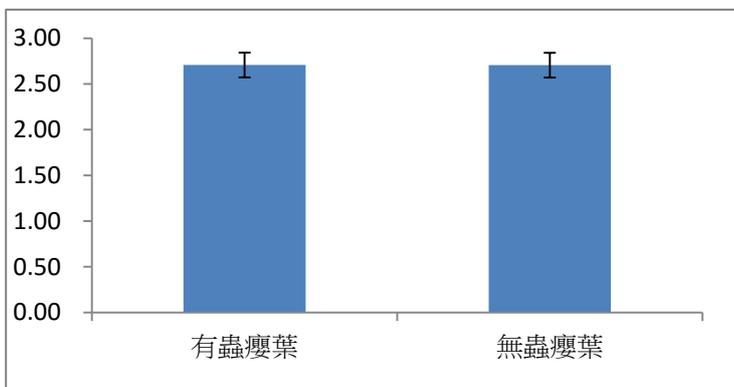


圖 16 蟲癭對葉子蒸散量的影響(單位：克/每 100 cm²蒸散水量)

表 8 蟲癭對蒸散量獨立樣本 t 檢定結果

	每 100 cm ² 蒸散水量(克)
有蟲癭葉	2.7071
無蟲癭葉	2.7058
p 值	0.9979
顯著與否	否

在蟲癭的葉子的蒸散實驗影響方面，由獨立樣本 t 檢定的結果顯示，有無蟲癭的發生對於葉子的蒸散量並沒有顯著性的影響。在有蟲癭發生的葉片選擇上，採集蟲癭個數介於 50~100 之間。長條圖的表示方面，因每平方公分的蒸散量數值相當小，因此改以每 100 平方公分來表示。實驗結果，有無蟲癭的差距極小，每百平方公分單位面積蒸量，僅差 0.0013 克。

(二)探討蟲癭內養分含量的情形

為了了解癭蚋造成芒果葉養分的變化，分別取下同一叢枝葉上感染及未被感染的葉片，並在感染的葉片採集了綠色及黑色蟲癭，試著由簡單的養分測定了解蟲癭內養分的變化。

1. 澱粉測定



圖 17 不同時期蟲癭癭室澱粉測定結果

由澱粉測定的結果來看，出現澱粉反應的是葉肉組織、綠色蟲癭，而黑色蟲癭癭室底部則無澱粉反應，可能與黑色蟲癭內養分被幼蟲啃食有關。

2. 葡萄糖測定



圖 19a 本氏液測試

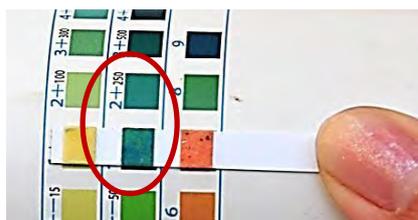


圖 19b 綠色蟲癭內葉肉比色結果

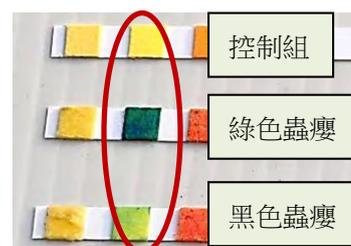


圖 19c 葡萄糖變色試紙

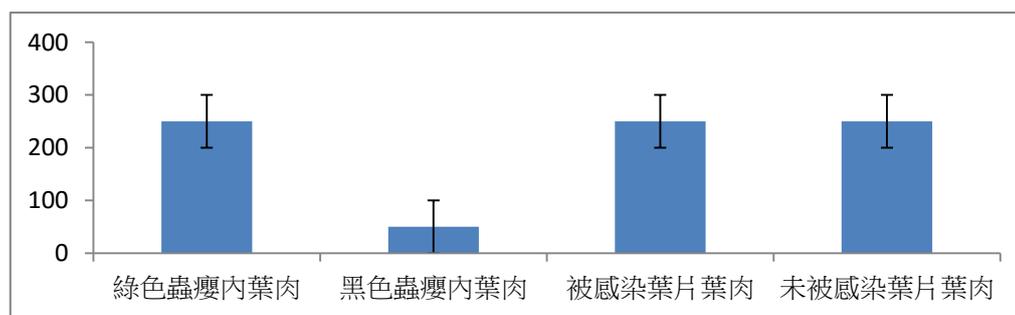


圖 18 不同時期癭室葡萄糖測定結果(單位：ppm)

我們採用的葡萄糖測定方式為試紙的比色法，僅能獲得大略數值。由本氏液加熱結果來看，呈現綠色表示具有糖類存在。而在試紙的結果上，除黑色蟲癭外，皆為 250ppm。

表 9 蟲癭對葉片養分影響比較

	綠色蟲癭內葉肉	黑色蟲癭內葉肉	被感染葉片葉肉	未被感染葉片葉肉
澱粉反應	●	X	●	●
糖含量 ppm	250	50	250	250

四、探討蟲癭的構造與保護方式

昆蟲在葉上形成的蟲癭，能藉由改變植物的組織來保護幼蟲體及蛹期。椴果壯鈹普癭蚋在芒果葉上的黑色蟲癭，具有非常堅硬的外殼，這種外殼對寄生天敵的刺穿或是捕食天敵都有一定的防禦能力，我們設計了抗刺穿及耐重兩個實驗來了解癭室的保護能力，並採集了學校中的另一種蟲癭~茄苳木蟲來進行比較。

(一)癭室外殼的抗刺穿能力

我們設計了抗刺穿裝置，採集了 40 顆蟲癭，藉著在不同蟲癭發生時期(綠色及黑色蟲癭)的測定，來了解不同階段蟲癭外殼硬度的變化。



圖 19a 綠色蟲癭外型

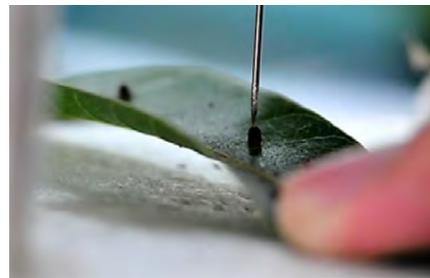


圖 19b 裝置解剖針對準頂部

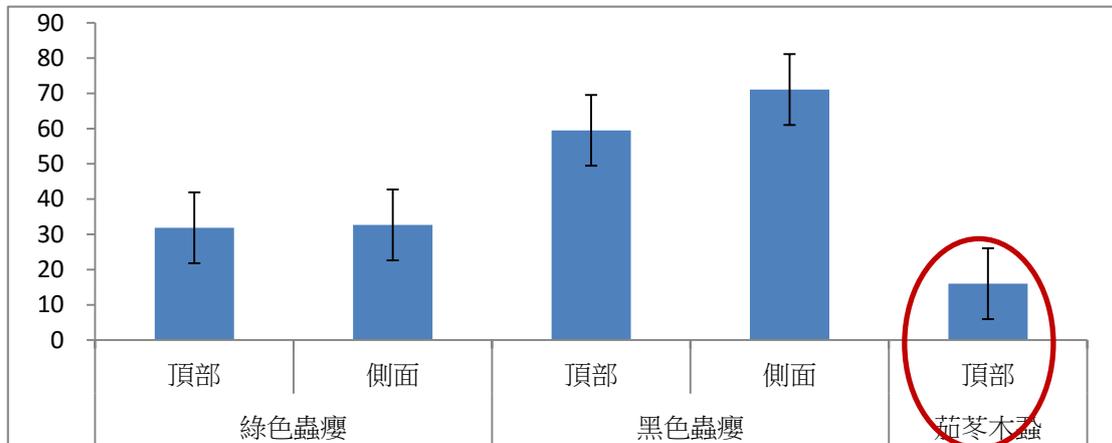


圖 20 綠色及黑色蟲癭抗刺穿結果(單位：克重；10 次測試取平均)

實驗結果上，黑色蟲癭抗刺穿的程度，在頂部平均為 59 克，側面為 71 克；而綠色蟲癭的抗刺穿結果頂部為 32 克，側面為 33 克。由不同時期的抗刺穿來看，綠色蟲癭約 30 克，解剖針即刺入，而黑色蟲癭較硬，能夠承受綠色蟲癭的 2 倍以上；而由不同部位來看，綠色蟲癭無太大差別，黑色蟲癭側面能夠抵抗較大的刺穿重量，頂部承受能力較低，可能與癭蚋成蟲由頂部離開有關。另外，校園中的茄苳木蟲蟲癭比較，由於我們的實驗裝置本身約 16 克，一放上去即刺穿，和癭蚋形成初期隕石坑蟲癭結果相同，可推知此時抗刺穿重量小於 16 克。

(二)癭室外殼的耐重能力

除了癭室外殼的抗刺穿能力之外，我們想要了解堅硬的癭殼是不是可以承受相當大的重量來避免天敵的捕食，我們設計了耐重裝置來測試不同時期(綠色、黑色蟲癭)的耐重程度。

表 10a 綠色及黑色蟲癭耐重能力(單位:克)

	綠色	黑色		綠色	黑色
測試 1	361	638	測試 11	341	373
測試 2	218	590	測試 12	301	360
測試 3	290	693	測試 13	241	342
測試 4	252	317	測試 14	328	367
測試 5	214	570	測試 15	325	406
測試 6	321	545	測試 16	338	386
測試 7	259	372	測試 17	294	537
測試 8	343	341	測試 18	221	695
測試 9	335	334	測試 19	225	542
測試 10	318	404	測試 20	228	703
			平均	288	466

表 10b 黑色蟲癭與茄苳木蟲耐重(單位:克)

	黑色蟲癭		羽化蟲癭	茄苳木蟲
	3 齡	蛹期	空蟲癭	
耐重 1	317	638	607	177
耐重 2	372	590	622	164
耐重 3	341	693	616	159
耐重 4	334	570	614	195
耐重 5	404	545	629	183
耐重 6	373	537	615	172
耐重 7	360	695	608	167
耐重 8	342	542	621	164
耐重 9	367	703	626	158
耐重 10	406		623	176
耐重 11	386			
平均值	364	613	618	172

黑色蟲癭
整理

在耐重力的結果中，我們發現黑色蟲癭的耐重力有兩個相差頗大的範圍：300g 及 600g 上下，在癭室內觀察發現 300g 上下為 3 齡蟲癭開始木質化，因此我們整理了**右上角**黑色蟲癭數據並加入木蟲的比較。



圖 21 校園中的茄苳木蟲

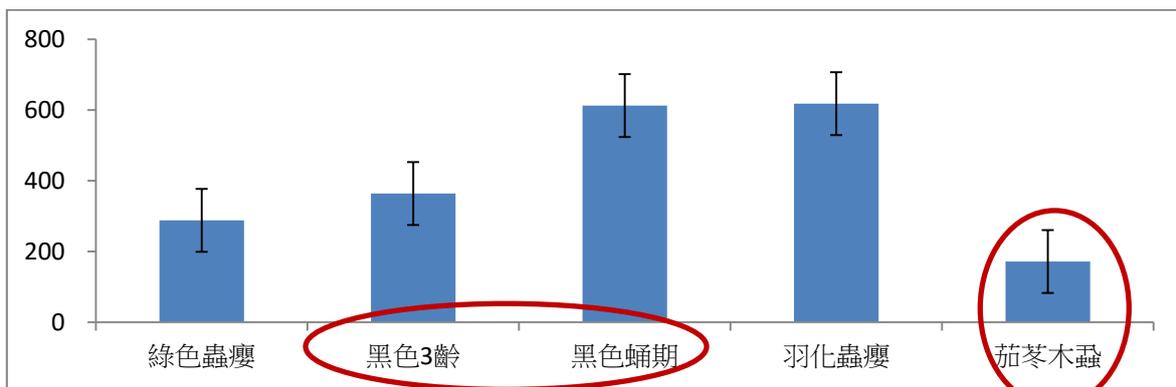


圖 22 癭蚧不同時期與木蟲耐重程度比較(單位:克重)

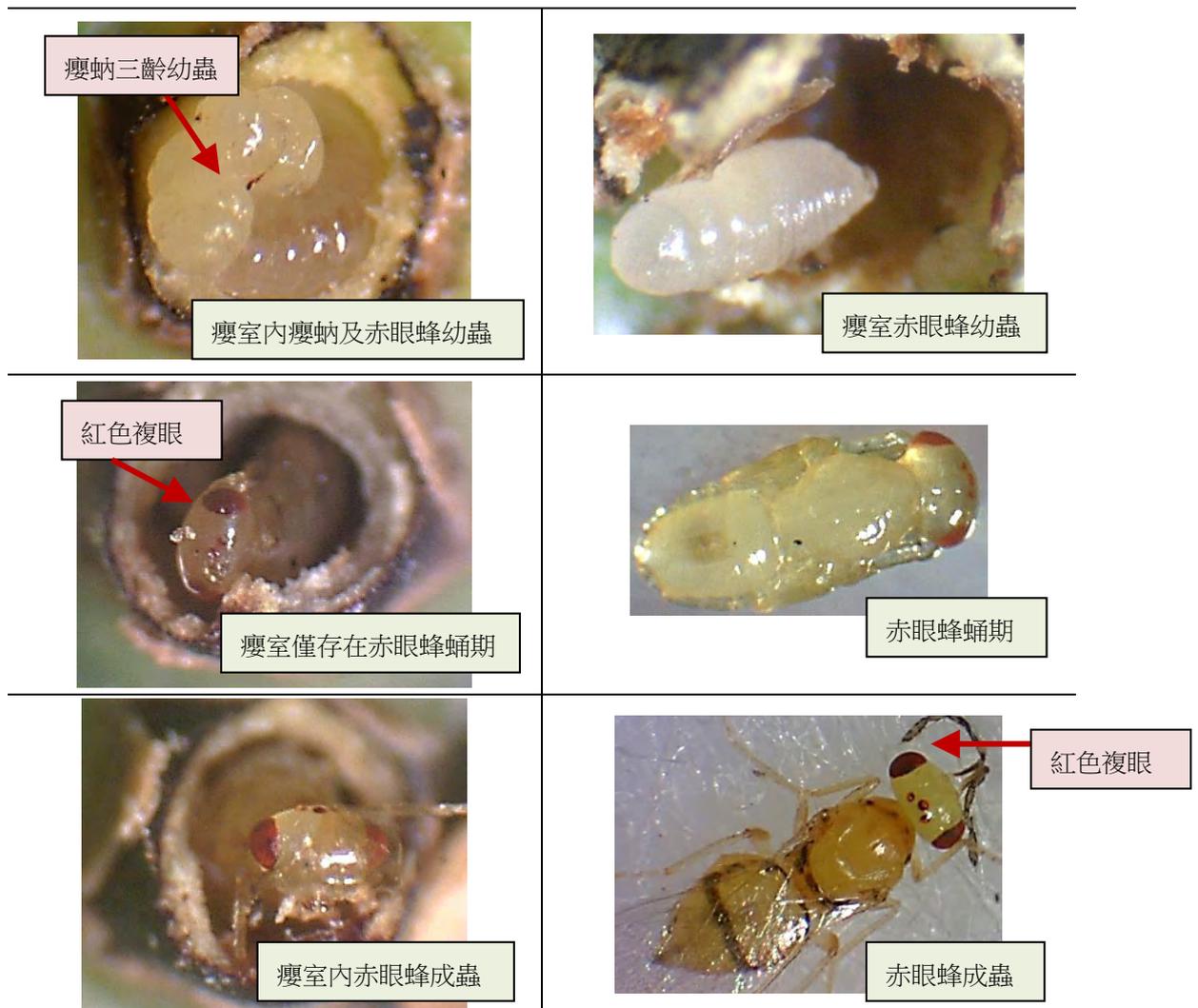
在進行耐重程度測試時，我們發現相同的黑色蟲癭可能因為發展程度不同，出現耐重程度的不同，蛹期的耐重(613g)與羽化蟲癭(618g)的平均值相當接近，在蛹期蟲癭堅固程度達到最大，另外茄苳木蟲僅 172g 的耐重程度也較綠色蟲癭小。

五、探討赤眼蜂作為生物防治的可行性

(一)同居人的出現~天敵赤眼蜂

我們在癭室的觀察中，發現了文獻未提及的赤眼昆蟲，經過圖鑑查詢，為膜翅目赤眼蜂科的昆蟲(Trichogrammatidae)，生活型態是以寄生為主。

表 11 赤眼蜂於癭室內的型態



◎觀察結果

在觀察蟲癭中意外發現的赤眼蜂，其最大的特徵就是在進入蛹期後明顯的紅色複眼，而在我們發現被寄生的蟲癭內，癭蚋與赤眼蜂幼蟲的同居關係，僅維持到三齡至蛹期，在赤眼蜂進入蛹期之前，癭蚋幼蟲成為赤眼蜂營養來源，因此赤眼蜂的蛹期及成蟲時，癭室內僅有赤眼蜂的出現，癭室反而在保護赤眼蜂。

(二)探討蟲癭被赤眼蜂寄生的情形

為了解赤眼蜂對蟲癭寄生是否在不同區域也存在，除了校園內的蟲癭寄生率，在農委會熱帶園藝試驗所研究員的協助下，我們也進行該區寄生率計算，以了解不同區域的寄生情形。

表 12a 校園內蟲癭被寄生率(每叢約 9~11 片)

	A 叢	B 叢	C 叢	學校平均值
寄生數	129	133	141	134
總數	821	789	725	778
寄生率	15.71%	16.86%	19.45%	17.31%

表 12b 熱帶園藝試驗所蟲癭被寄生率

	A 叢	B 叢	C 叢	試驗所平均值
寄生數	108	131	118	119
總數	831	788	848	822
寄生率	13.00%	16.62%	13.92%	14.51%

在寄生率計算的結果上，以第一叢作為計算樣本，取黑色蟲癭時期進行調查，熱帶園藝試驗所內的蟲癭被寄生率，較學校內的寄生率略低，可能與試驗所內芒果樹較多有關。

(三)探討寄生蜂可能的寄生時期與放蜂造成的寄生率影響

我們假設赤眼蜂可能在蟲癭發展初期、綠色蟲癭期、黑色蟲癭期進入，因此選取了四叢皆在初期的葉片，在不同時期進行放蜂，了解寄生蜂進入的時期，並探討放蜂所造成的影響。

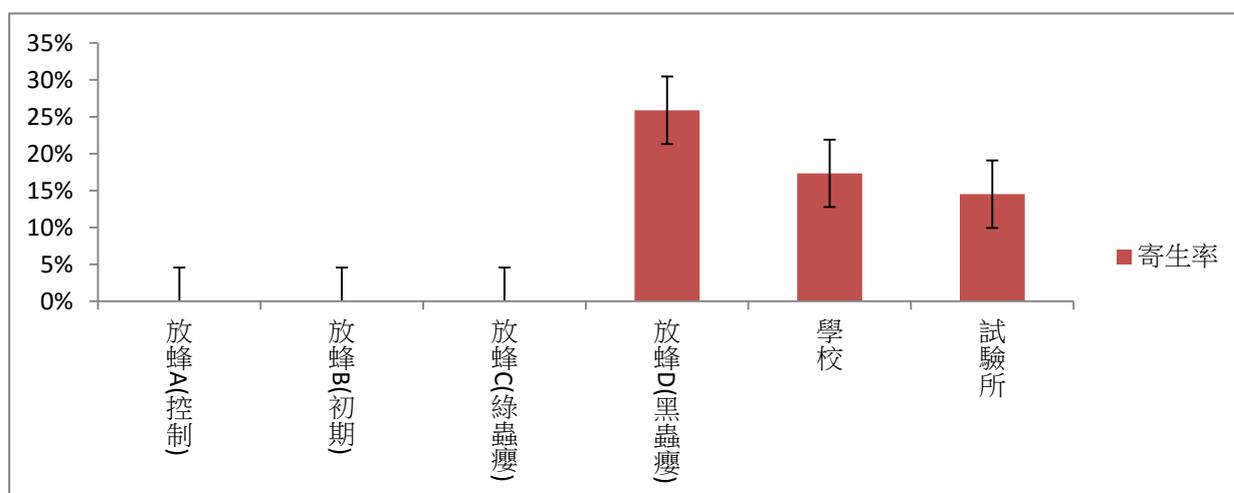


圖 23 不同蟲癭時期人為放蜂與無放蜂(學校、試驗所)寄生率

單位：寄生率%；放蜂組(N=811，二重覆取平均)；無放蜂組(學校 N=778，試驗所 N=822)

放蜂 D 組與學校獨立樣本 t 檢定結果：P 值=0.002，達顯著差異

實驗結果上，在黑色蟲癭以前套網放蜂的寄生率皆為 0%，而網袋內發展至黑色蟲癭時期(D 組)放蜂後，寄生率為 25.89%，顯示赤眼蜂於此時期進入癭室內寄生。人為放蜂與自然環境下的寄生率比較，放蜂組(D 組)的寄生率(25.89%)顯著高於學校(17%)及試驗所(14.51%)，顯示人為放蜂有助於提升寄生率。

陸、討論

蟲癭是昆蟲與植物間共同演化的奇妙組織，造癭昆蟲具備了高度的專一性，當蟲癭的發生宿主植物若是經濟作物，就會造成不小的損失，如學校的芒果樹，或是荔枝癭蚧。



圖 24 成蟲離開留下癭室與皮

2011 年，椪果壯缺普癭蚧的出現對於芒果果樹造成相當程度的威脅，雖然學校的幾棵芒果樹並非以農業經濟考量，但是葉子為數不少的圓錐型蟲癭還是令人感到震撼，初次經過餐廳外走道，會發現是因為葉上的奇特黑點及不少的羽化蟲癭，上面半透明的蛻皮在陽光下顯得非常特別，由於結構實在太小，走近看也不太容易看清楚，直到拿去實驗室用顯微鏡觀察才發現是昆蟲的蛻皮，使我們非常好奇到底是什麼生物所造成的。

經過了長期的觀察與實驗後，才逐一揭開椪果壯缺普癭蚧的神祕面紗，對於他們的生活型態、分佈位置及對葉子的影響等漸漸了解，並對堅硬的外殼進行測定比較。在發現尚未記載的赤眼蜂天敵後，試著設計實驗以探討生物防治的可行性。赤眼蜂部分，或許可以提供相關農業防治機構，思考利用赤眼蜂作為生物防治的可行性。以下就是對此種特別昆蟲的討論。

一、探討椪果壯缺普癭蚧的外觀型態及生活史

椪果壯缺普癭蚧屬於癭蚧科，癭的型態及外觀都有很大的不同，與植物間有著奇妙的互動，由幼蟲至成熟皆留在癭內，癭室內的組織也產生微妙的變化，外觀的型態也可能受到環境的改變而出現變化，如上下蟲癭，另外癭蚧是如何由堅硬癭殼離開也是一個有趣的課題，

表 13 不同階段的癭蚧及蟲癭整理比較

癭蚧型態	卵	一齡	二齡	三齡	前期蛹	後期蛹	成蟲
		癭室形成	綠色癭室	黑色癭室(逐漸木質化)			羽化癭室
蟲癭外觀							

瘿蚋的生活史與蟲瘿外觀變化，可看出黑色瘿室所佔的時間較長，且包含了二齡末期、三齡及蛹期，雖顏色上都為黑色，但由我們耐重實驗可知道不同齡期的幼蟲，對應的蟲瘿有木質化程度的分別，而蛹期木質化達到最大，可能為蛹期身體活動能力大為降低及身體改變極為劇烈，因此需要最大的保護能力。在瘿室的變化上，由縱切的結果，可看出葉肉組織似乎至綠色瘿室形成後即不再增加，也因此當蛹期形成時，葉肉組織的體積已大為減少，在蛹期整個木質化的外殼將瘿室完整包圍保護。

極少數出現的上下蟲瘿，由顯微觀察的結果，內部的瘿室是相通的(見研究結果)，而其中也只是一隻幼蟲存在，而發現上下蟲瘿的葉片似乎都有非正面朝上的共通性，這可能是因為瘿蚋羽化需由上方瘿殼離開，當葉片生長過程中有部分時間是朝下時，幼蟲感應到地心引力的變化，因而改變身體方向往另一側建立新的瘿室，形成上下蟲瘿的特別現象。不過確切的原因，可能還需進一步探討。

堅硬的瘿殼，除了防範其它捕食性的天敵之外，相對的，成蟲究竟是如何離開的呢？在我們的觀察中發現三齡幼蟲具有瘿蚋科特有的紅棕色胸骨，實驗觀察中發現三齡幼蟲的瘿殼，不小心被解剖針刺進，而掉落出完整的瘿殼，掉落的瘿殼與羽化成蟲離開的瘿殼相近，是否三齡的幼蟲在化蛹前先用胸骨將瘿室畫了一圈，進入蛹期後，蛹的頭部骨板接著把瘿殼鋸開呢，或許需再進一步觀察。

表 14 瘿蚋離開瘿室可能成因

			
三齡幼蟲胸骨朝上	三齡脫落瘿蓋與羽化同	蛹期頭部骨板	蛹期頭部骨板放大
三齡幼蟲可能利用胸骨初步破壞瘿蓋		蛹期頭部骨板可能破壞瘿蓋	

二、探討蟲瘿分佈位置及族群密度

椴果壯缺普瘿蚋的成蟲具有飛行能力，能夠迅速擴散族群，在我們的觀察記錄裡，蟲瘿的分佈數量在方位、枝條及葉脈上似乎有一定的傾向，這些分佈上的規律性，可能原因如下：

1. 陽光上些微的差異：朝南方的葉面，平均每叢的單片葉上蟲瘿數量，約比朝北方多約 10~15 顆(經獨立樣本 t 檢定，具顯著差異)，這個微小的差別，很有可能是陽光上的

分別。造瘿昆蟲在選擇蟲瘿的位置時，大多選擇新長出的葉子，因新生葉具有較佳的分裂能力，可使蟲瘿在組織及營養上有良好的支援。初秋至早春的高雄，朝南方所獲取的陽光較朝北稍多，可能使得葉子行光合作用、細胞分裂的能力提升，因此在陽光的些微差別下，使瘿蚧選擇蟲瘿地點時，具有方位上的傾向。

2. 生長週期配合：蟲瘿在學校芒果樹上枝條的分佈，有著其它蟲瘿較少見的有趣現象，就是一叢有一叢沒有，呈現明顯的間隔分佈。由農委會防檢局的資料指出，瘿蚧發生世代約 1 個半月，雌蟲會產卵於葉背，開始新的蟲瘿週期，而芒果葉長出新葉(抽梢)的週期很有可能與學校瘿蚧的生長週期交錯，使得出現了一叢高度集中的蟲瘿，而下一叢則明顯較少。若不看農業經濟上的損失，就芒果葉的新生與蟲瘿的分佈而言，這似乎是一個演化上的奇妙之舞，畢竟新長出枝葉才能提供最佳化的造瘿條件，因此瘿蚧的生活史週期演化出能剛好的搭上新生葉的列車。

3. 葉肉組織選擇：一般蟲瘿在選擇發生位置時，多偏好葉脈的部位，如 51 屆全國科展的黃槿刺子節蟬具有葉脈蟲瘿，而 53 屆台南科展的茄苳蟲瘿分佈也以二級葉脈為主，位在葉脈蟲瘿能直接吸取來自維管束養分。我們的研究的瘿蚧，分佈位置並不在主要葉脈(一、二級)，可能是因為瘿蚧幼蟲是以葉肉為食，而非直接吸取汁液，所以瘿室需要葉肉組織的增生提供食物，芒果葉的一、二級葉脈結構較粗，可能影響瘿室形成。

蟲瘿在芒果樹的分佈，除了上述的情形之外，蟲瘿幾乎都在葉面，若有在葉背的則為上下蟲瘿相連的特別模式，在葉面的分佈雖然較容易遭受天敵的攻擊，但是由於木質化堅固的瘿殼，再加上葉面朝上的葉肉組織可能分裂的速度較快，因此使得蟲瘿幾乎全部分佈在葉面。

三、探討蟲瘿對葉片的影響

椽果壯鉞普瘿蚧的蟲瘿在芒果葉上發生，出現的蟲瘿除了使葉肉組織發生改變之外，對於植物的生理是否有不同的影響，例如蒸散作用、蟲瘿內養分與感染葉肉的養分改變，葉面積是否因蟲瘿數而有所差異。

1. 蒸散作用的影響：由我們的實驗結果來看，芒果葉的蒸散作用似乎不會因蟲瘿的發生而有所改變，這可能與蟲瘿發生的位置有一些關聯。蒸散作用是植物最重要的水分上升動力，陸生植物的氣孔大多朝下，也是蒸散作用主要的水排散通道，當下表皮的氣

孔遭受破壞時，就有可能造成蒸散作用的不良影響，芒果葉上的瘿蚧幾乎全部位於上表皮，對於下表皮的氣孔並沒有什麼影響，使得蟲瘿發生與蒸散沒有什麼太大關聯。

2. 蟲瘿內的養分：蟲瘿的形成常會導致葉片營養流向的改變，使得養分集中於瘿室內，提供幼蟲營養來源。在我們的研究結果中，不同時期蟲瘿有不同的養分測定結果，綠色蟲瘿時期，與葉肉組織的糖及澱粉含量相同，但在黑色蟲瘿的糖含量就較葉肉組織少，且無澱粉反應，這可能與瘿蚧的幼蟲是以啃食瘿室內的葉肉組織為主，使得葉肉組織含量逐漸減少，直到黑色蟲瘿的蛹期，此時澱粉及葡萄糖含量都降低。除了蟲瘿外，我們也將蟲瘿發生的葉片葉肉與未被感染的葉肉取下，進行比較，養分的結果與綠色蟲瘿的反應相同。由此來看，芒果葉上發生的蟲瘿，可能不會影響葉片營養的分佈與導向，但精確的數值仍需使用儀器確定，我們所使用的糖份測定，是用比色法，雖然能夠呈現大概的數值範圍，但卻無法精準的表示。

蟲瘿對蒸散作用及葉片營養的分佈，並不會有太大的影響，對於芒果的開花或是結果是否造成影響，經詢問熱帶園藝試驗所人員表示，目前尚無數據顯示影響的程度，蟲瘿所造成的損害可能與葉面行光合作用面積減少有關。

四、探討蟲瘿的構造與保護方式

椽果壯缺普瘿蚧的堅固蟲瘿是重要特徵，我們設計抗刺穿與耐重實驗來了解保護的程度，並採集校園內茄苳葉上蟲瘿進行比較。

1. 抗刺穿實驗：在抗刺穿實驗中，我們利用解剖針來獲得瘿室防刺穿的能力，其中由於實驗裝置的附針平台(見研究過程與方法)具有基本重量(約 16 克)，所以當平台放在葉子或初期隕石型蟲瘿開始形成時，會直接刺穿，因此在綠色蟲瘿形成之前的抗刺穿只能知道小於 16 公克。綠色蟲瘿尚未木質化，因此抗刺穿的重量相對較弱，而黑色蟲瘿已經進入木質化瘿殼期，能夠抵抗較大的刺穿重量。校園內茄苳蟲瘿抗刺穿結果與綠色蟲瘿相同，都是一放下去就刺穿，小於 16 克的抗刺穿能力。

黑色蟲瘿的頂部抗刺穿重量較側面薄弱一些，可能是因為成蟲離開是由頂蓋離去，因此瘿蓋結構組織較不那麼密集堅硬，結構確認上，需用更高倍的顯微鏡觀察。

2. 耐重實驗：除了抗刺穿實驗外，我們也想知道蟲瘿避免天敵直接捕食的耐重堅固程

度。在實驗結果上可看出，黑色蟲癭的堅固耐重程度相當驚人，達到 610 克左右，2~3mm 的小小一顆蟲癭竟然能撐住相當於一瓶礦泉水的重量，但是綠色蟲癭則遠遠不及黑色蟲癭，這可能與黑色蟲癭的木質化程度有關，而且雖然都是黑色的，但堅固的程度卻不同，在我們一開始的測試中發現黑色蟲癭有兩組相差頗大的數值，後來經過癭室內的觀察發現這與幼蟲發展階段有關，較耐重的為已達到最大木質化程度的蛹期，為了了解最大的木質化，我們又採集成蟲已離開的空癭室進行測試，發現空癭室與蛹期的耐重程度相當，而與三齡幼蟲的黑色蟲癭差距很大，所以三齡的黑色蟲癭可能是剛由綠色蟲癭逐漸增強木質化程度而來。

校園內的茄苳木蝨蟲癭在抗刺穿及耐重程度遠不及癭蚋蟲癭，而且也低於綠色蟲癭。這顯示癭蚋的木質化程度與保護能力與其它蟲癭相比有更高度的發展，天敵必需要耗費更大的力氣才有辦法破壞蟲癭。綜合我們的觀察與實驗，若黑色蟲癭木質化後，就會變得十分堅固，較難破壞，除農藥之外，本次研究所發現的赤眼蜂，似乎可以提供一個生物防治的思考方向。

五、探討赤眼蜂作為生物防治的可行性

2011 在高雄通報的檬果壯鋏普癭蚋，對政府及種植芒果的農民而言是一個不小的衝擊，除了成蟲具有翅膀能夠迅速擴散外，這種昆蟲似乎一整年都是他們的發生期，再加上文獻記錄中並無天敵的記錄，癭殼又非常堅硬、堅固，在防治上僅能使用農藥來處理，對於農業而言似乎是很難以對付的害蟲。

1. 天敵的發現：在我們每日的長期觀察中，意外的發現了赤眼蜂科的寄生蜂，而當我們觀察黑色蟲癭內若是有赤眼蜂的蛹或是成蟲出現，則檬果壯鋏普癭蚋的幼蟲就找不到，再加上發現了數個癭蚋三齡幼蟲與赤眼蜂幼蟲共同存在的現象，說明了赤眼蜂在進入蛹期之前，將癭蚋作為營養來源的食物。除了發現天敵的出現可提供農業防治相關參考之外，我們更好奇的是，黑色蟲癭的癭室內，不只是發現了赤眼蜂的蛹，更是發現了數個赤眼蜂的成蟲，而此時的癭蚋已經成為了赤眼蜂的食物營養來源，那麼赤眼蜂又是如何離開已木質化堅固的癭室堡壘呢？在我們的觀察搜尋下，發現了有些癭室旁，具有神祕的小洞，這個小洞與癭室內相通，有些芒果葉背也出現了破裂的小洞，且這些具有小洞的癭室內，無發現任何生物，或許可以說明赤眼蜂離開堅硬癭室的方式。

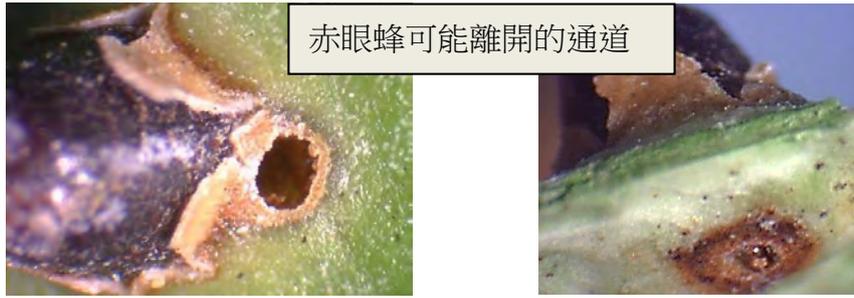


圖 25a 黑色蟲癭底部旁的小洞
(癭室已空)

圖 25b 黑色癭室底部穿透的
小洞(癭室已空)

2. 探討蟲癭被寄生蜂寄生情形：我們試著利用文獻未提的赤眼蜂做為防治的材料，首先必需了解赤眼蜂寄生蟲癭的比率。生物防治的應用需具有普遍性，因此在熱帶園藝試驗所研究員的協助下，調查不同區域(直線距離約 8km)的寄生情形。結果顯示自然環境下的寄生率學校(17%)略高於試驗所(14%)，這可能與試驗所的芒果園族群數量龐大，且芒果樹之間的距離較遠有關。整體來看，戶外環境的寄生率都不足 20%，若能提升寄生率則在生物防治上有較大的助益。
3. 探討寄生蜂可能的進入時期：檬果壯欽普癭蚧的蟲癭發展可分為 4 個時期，需先了解赤眼蜂何時進入，在生物防治放蜂上才能達到顯著效果。我們假設寄生蜂會在初期、綠色蟲癭、黑色蟲癭 3 個不同時期進入，利用網袋套住初期發展的蟲癭，並且在不同時期放蜂，結果頗為意外，進入的時期在保護程度最大的黑色蟲癭時期，其它時期放蜂的寄生率均為 0。這讓我們非常好奇，仔細檢視蟲癭周遭，推測最有可能的進入通道是在形成蟲癭葉背的小洞，詢問熱帶園藝試驗所的研究員，表示這可能是癭蚧幼蟲的呼吸通道(可能由氣孔形成)，赤眼蜂則利用此通道產卵進入。人為放蜂造成的寄生率提升，顯示了生物防治應用的可行性，若能釐清赤眼蜂的攻擊性(攜帶卵數)與範圍，並配合蟲癭發展時期發蜂，則能大幅提升寄生率達到防治成效。



圖 26 熱帶園藝試驗所芒果園



圖 27 赤眼蜂可能進入的位置

柒、結論

校園裡，翠綠的芒果葉上，黑色而堅固的蟲癭突兀的分布，矗立著有如復活島上的摩艾石像一般。這奇特的外觀引領我們去探訪了「椪果壯鉞普癭蚋」的神秘生活史。翻閱文獻與搜索網路，發現這神秘客的資料記載甚少，於是我們便自行設計了一些觀察與探討。除了基本的生活史描繪之外，我們將幾點結論整理如下，期待與大家分享這位神秘客的更多面相：

- 一、椪果壯鉞普癭蚋的蟲癭有綠色和黑色兩種外觀，黑色癭室所佔時間較長。前期是綠色，後期是黑色，黑色蟲癭包含了二齡末期、三齡及蛹期。葉肉組織至綠色癭室形成後即不再增加，在蛹期則有木質化的外殼將癭室完整包圍。
- 二、蛹期的黑色癭室有最佳的耐重與耐穿刺能力。耐重程度達到 610 克左右，相當於一瓶礦泉水的重量，小小一顆蟲癭的能耐真的十分驚人，但是綠色時期的蟲癭或他種蟲癭的耐重程度則遠遠不及。
- 三、蟲癭的分佈，呈間隔性的週期分佈，朝南方的蟲癭也較朝北方多(達顯著差異)。這與其它種類蟲癭相當不同，蟲癭以同一時間生長的叢生葉為一單位，做間隔分佈，且癭室分佈位置並不在葉脈，可能因為幼蟲時以葉肉為食。
- 四、蟲癭幾乎都在葉面，若有在葉背的則為上下蟲癭相連的特別模式。上下相連且相通的蟲癭是一隻幼蟲所有，並非有其他幼蟲共同造成。上下蟲癭多半發生在葉正面並非完全朝上的地方，推測此結果可能與向光性相關。
- 五、芒果葉的蒸散作用似乎不會因蟲癭的發生而有所改變(無顯著差異)。這可能與蟲癭大多發生葉的正面，而非在氣孔密集分佈的葉背面有關聯。
- 六、黑色蟲癭的糖含量較葉肉組織少，無澱粉反應。在綠色蟲癭時期，與葉肉組織的糖及澱粉含量相同，黑色蟲癭則較少，可能與癭蚋的幼蟲是以啃食癭室內的葉肉組織為主，使得葉肉組織含量逐漸減少，直到黑色蟲癭蛹期，澱粉及葡萄糖含量都降低，縱切圖片亦證實此時蟲癭內部空洞化。
- 七、赤眼蜂在進入蛹期之前，可能將癭蚋幼蟲作為食物吃掉。黑色蟲癭內若有赤眼蜂的蛹或成蟲出現，椪果壯鉞普癭蚋的幼蟲就不存在。但在三齡幼蟲時卻發現有赤眼蜂幼蟲共同存在現象。同時觀察到部份黑色癭室(未有椪果壯鉞普癭蚋羽化痕跡)旁或底

部有神秘的小洞與癭室內相通，可能是赤眼蜂離開通道。

八、**黑色蟲癭時期為赤眼蜂進入寄生時期，人為放蜂能夠提升癭蚧的被寄生率。**探討生物防治可行性方面，校園內及熱帶園藝試驗所自然環境下，赤眼蜂寄生率為 18%以下，若人為放蜂則可提升寄生率至 25.89%；在放蜂時期(癭蚧被寄生)方面，蟲癭形成初期、綠色蟲癭時期都無寄生蜂發現，僅在黑色蟲癭階段發現。

固若金湯的蟲癭，是椴果壯鋏普癭蚧的一大特點，也是在防治此蟲害時的難處。椴果壯鋏普癭蚧的蟲癭分布型態與耐重、耐穿刺能力，皆與他種蟲癭有相當的不同，相信在這些特別的現象背後，一定隱藏著許多更有趣的原理，也期待有機會設計更多實驗來觀察、探討。然而，意外發現的赤眼蜂和後續的放蜂實驗，讓我們聯想到以赤眼蜂做為防治椴果壯鋏普癭蚧的可能性。在寄生率的觀察實驗中，我們也發現被寄生的蟲癭並非隨機散佈，而是呈現特定小範圍內高度被寄生的現象。這究竟是否為單一寄生蜂所造成的區域性連續攻擊？還是有其他因素？寄生蜂的攻擊模式為何？寄生蜂的生活史與椴果壯鋏普癭蚧的相互關係又是為何？這些問題在在充滿值得繼續討論與研究的樂趣。無論如何，這迷你版的摩艾石像，為我們帶來許多驚奇，也豐富了我們許多時光。

捌、參考資料與其它

一、參考資料

1. 郝秀花(2014)。檬果壯銹普癭蚧之發生與防治。農業試驗所技術服務季刊，99，15-20
2. 石憲宗、邱一中、楊曼妙(2012)。檬果壯銹普癭蚧之診斷鑑定與防治。物病蟲害防治摺頁 52。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。
3. 石憲宗、郝秀花、邱一中、林鳳琪、楊曼妙(2013)。台灣產檬果害蟲名錄修訂與附記。台灣昆蟲 33，27-51
4. 吳詩敏、顏辰鳳、張瑞璋(2013)。檬果壯銹普癭蚧之簡介與防治。新發生植物有害生物專欄。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。
5. 胡若水、陳愉滋(2013)。天造地設—探討黃槿刺子節蟬的造癭秘密。中華民國第 53 屆中小學科學展覽作品
6. 楊曼妙(1999)。造癭昆蟲生物學與進化。昆蟲分類及進化研討會專刊，國立台灣大學。
7. 楊曼妙(2007)。蟲癭-昆蟲與植物共舞。科學發展月刊，409，28-33。
8. 楊嘉惠(2010)。蟲癭—昆蟲操控植物蓋的秘密基地。科學人雜誌。96
9. 赤眼蜂-台灣 Wiki。取自：
<http://www.twwiki.com/wiki/%E8%B5%A4%E7%9C%BC%E8%9C%82>
10. 陳明吟(2013)。注意防治檬果抽梢期新興害蟲-檬果壯銹普癭蚧，最新病蟲害警報。高雄區農業改良場。取自 <http://kdais.coa.gov.tw/view.php?catid=5242>

二、感想與謝誌

我們在這次的研究過程中，學習到做研究的方法與精神，更深入了解我們所研究的主題：椪欖果狀缺普癭蚧的生活史及所發現的天敵，並探討了生物防治的可行性。天敵赤眼蜂目前僅能知道屬於赤眼蜂科，至於種的部分，由██████████大學██████████教授進行鑑定。由於我們的能力範圍及學校設備、經費有限，希望將來能夠在農委會熱帶園藝試驗所的協助下，揭開赤眼蜂的神秘面紗，例如生活史及繁殖方面，並希望由這次椪欖果壯缺普癭蚧的研究成果，結合赤眼蜂的生活史，可以做出有效的生物防治方式來防治椪欖果狀缺普癭蚧的危害。

感謝在幾乎一整年的研究時間裡，陪伴我們進行實驗的指導老師們，在這段過程中無怨無悔的付出，讓我們對校園內出現的椪欖果壯缺普癭蚧從一無所知，到後來的觀察、研究、查閱文獻，一起討論實驗時所面對到的難題，還有最後的報告撰寫、海報製作等，如果沒有他們，我們也不會有這個參展的機會。更要感謝在公務繁忙之中，仍願意撥空指導我們的行政院農委會熱帶園藝試驗所██████████分所研究員██████████，在實驗設計、生物防治探討上給了我們許多寶貴的建議，以及國立██████████大學██████████副教授的內容與報告撰寫指導，讓我們對研究及生物探討有一定程度的見解，獲益良多。這些都是我們可以受用一生的寶貴經驗！



圖 29 熱帶園藝試驗研究員提供寶貴建議

【評語】 050004

題目新穎，有十分有趣的發現。寄生蟲癭的赤眼卵蜂的發現十分有趣，建議深入研究。表格與數據的呈現方式有改進空間。