

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

佳作

030322

一果一世界—正榕榕果的小宇宙

學校名稱：新北市立福和國民中學

<p>作者：</p> <p>國二 洪子含</p> <p>國二 高雨沛</p> <p>國二 劉柏妘</p>	<p>指導老師：</p> <p>沈秀妃</p>
--	-------------------------

關鍵詞：正榕、榕果、榕小蜂

摘要

本研究發現可由顏色或苞孔開閉判斷榕果分期，幫助教學或採集小蜂。隨著果高與果徑增加，果腔直徑同步增加，果壁厚度改變不大，果腔產生空隙，方便小蜂授粉與產卵及雄蜂移動、交配。B 期外苞片逐漸成深紫色 Y 形可鬆開，加上苞孔周圍黃色，是小蜂辨認苞孔位置時除香味外的著陸指標。苞孔發育過程配合開閉及香味釋出可決定小蜂進入時機，白斑有乳管分泌乳汁幫助對寄生蟲癭與食草昆蟲的防禦。小花有獨特空間排列使柱頭與花藥生長向著榕果中心，兩種雌花交錯排列使柱頭在同一水平，可平衡授粉或產卵機會。各色榕果葉綠素總量相似，可見色澤轉變仍可光合供養。果內有授粉蜂一種，寄生蜂 5 種，還有線蟲、蟎、甲蟲幼蟲、螞蟻等生物，榕果充滿物種多樣性。

壹、前言

一、研究動機

七下生物課在生物間的交互作用關係，舉了許多例子，其中最有趣的是榕樹和榕果小蜂的專一性互利共生。榕樹是校園中常見的植物。校內與校外人行道有許多榕樹，我們上學或放學時常踩在落了一地紅紅綠綠的果實上，卻從來沒有仔細觀察過它們，因此我們想透過此研究了解榕果的外表與內部構造有何特殊之處來吸引小蜂傳粉，果內只有一種傳粉小蜂嗎？還是像一個微觀的世界一樣充斥著生物多樣性呢？

二、研究目的

- (一) 觀察正榕榕果各期的外表特徵，以便找出野外便利的榕果分期方法並了解苞孔與小蜂進入的相關性。
- (二) 了解榕果各期的內部構造演變，榕果內小花的種類、排列方式以及其構造與發育的生理意義。
- (三) 測量各期的葉與榕果壁色素種類及含量，比較其變化在榕果與小蜂生活史上的相關性。
- (四) 研究所觀察到的榕小蜂分類與行為及彼此互動關係。

三、文獻回顧

全世界約有 900 多種桑科榕屬植物，其中約 750 種廣泛分布於熱帶、亞熱帶之間，榕屬植物在台灣約有 43 種，為台灣低海拔森林優勢樹種，與樟科植物構成楠榕林帶。因四季皆可產生榕果，所以它是食果動物重要食物來源之一(曾喜育等，2001)。環繞本校校園的榕樹為正榕(*Ficus microcarpa*)又稱細葉榕，是台灣最常見的綠化樹種，非常適合實驗取材及觀察。

一般我們稱為榕果的構造，實際上是由榕樹的隱頭花序排列而成的隱花果，是榕屬植物最重要的特徵，花序內的小花由一個花序軸形成的花托所包覆發育，只有一個榕果小孔與外界相通。小孔為由苞片所包覆形成的通道又稱苞孔，果內著生各類小花，依構造與功能不同分為雄花與雌花，而雌花中又有特殊的蟲癭花與種子花(曾喜育等，2001)。

Galil 和 Eiasikowitch 以榕屬植物與小蜂間的關係，將榕果的生長週期分為五個發育時期(Galil 等，1968)，分別如下：

- (一) A 期「前雌花期」(pre-female phase)：概指花芽分化至雌花成熟前的時期。
- (二) B 期「雌花期」(female phase)：概指雌花成熟，榕果的苞孔微鬆，授粉蜂可鑽入榕果內產卵，並替雌花授粉的時期。
- (三) C 期「花間期」(inter-floral phase)：概指榕果持續成長，雌花子房內形成種子與蟲癭花的時期。
- (四) D 期「雄花期」(male phase)：概指雄花成熟，榕果內的授粉蜂羽化鑽出蟲癭的時期。
- (五) E 期「榕果成熟期」(ripe phase)：概指榕果繼續成熟軟化的時期，此時常被鳥類或蝙蝠等食果動物所食用。

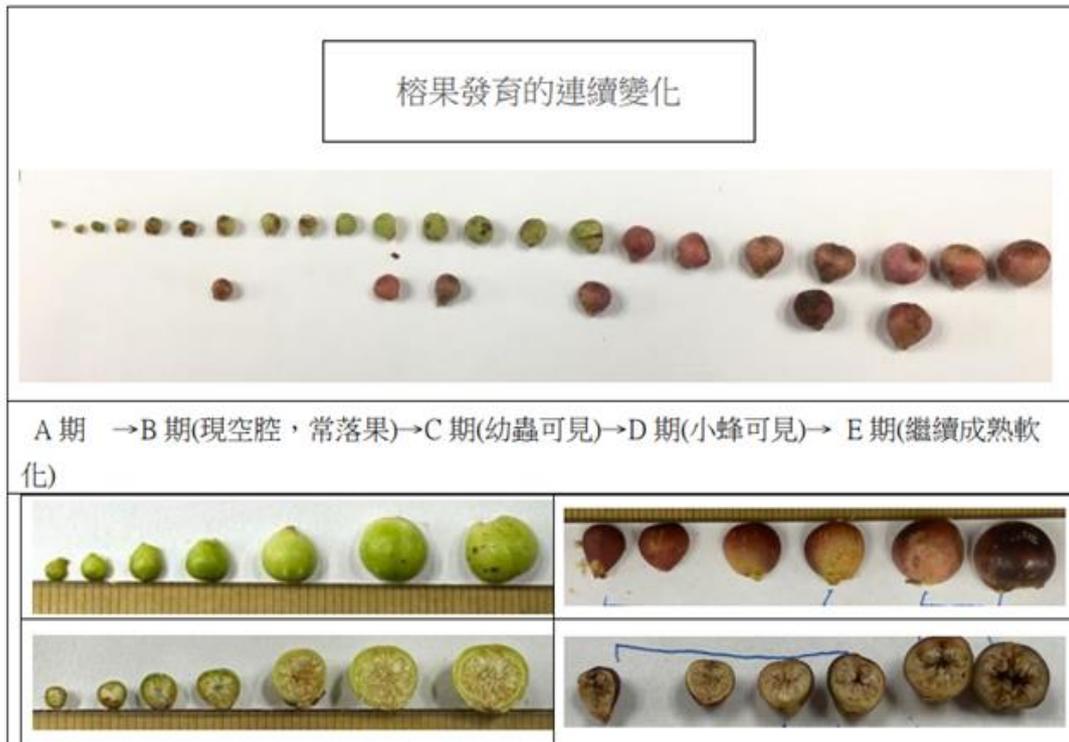
榕屬植物與其榕果小蜂的共生關係，有多篇研究專注於榕果小蜂分類或榕果小蜂與榕果的物候關係，但並未專注於榕果之微細形態構造，及各期發育時榕果之微細形態構造改變情形，這正是我們想了解的。

關於榕果相關科展報告如下所示：

- (一) 全國中小學科展第 36 屆-- 誰是媒婆
- (二) 全國中小學科展第 43 屆--榕樹與榕果小蜂的共生關係
- (三) 全國中小學科展第 53 屆--尋找正榕小小蜂

校園正榕	榕果發育於葉腋對生	紅榕果可發育於樹上到紫色軟化
		

成對綠榕果

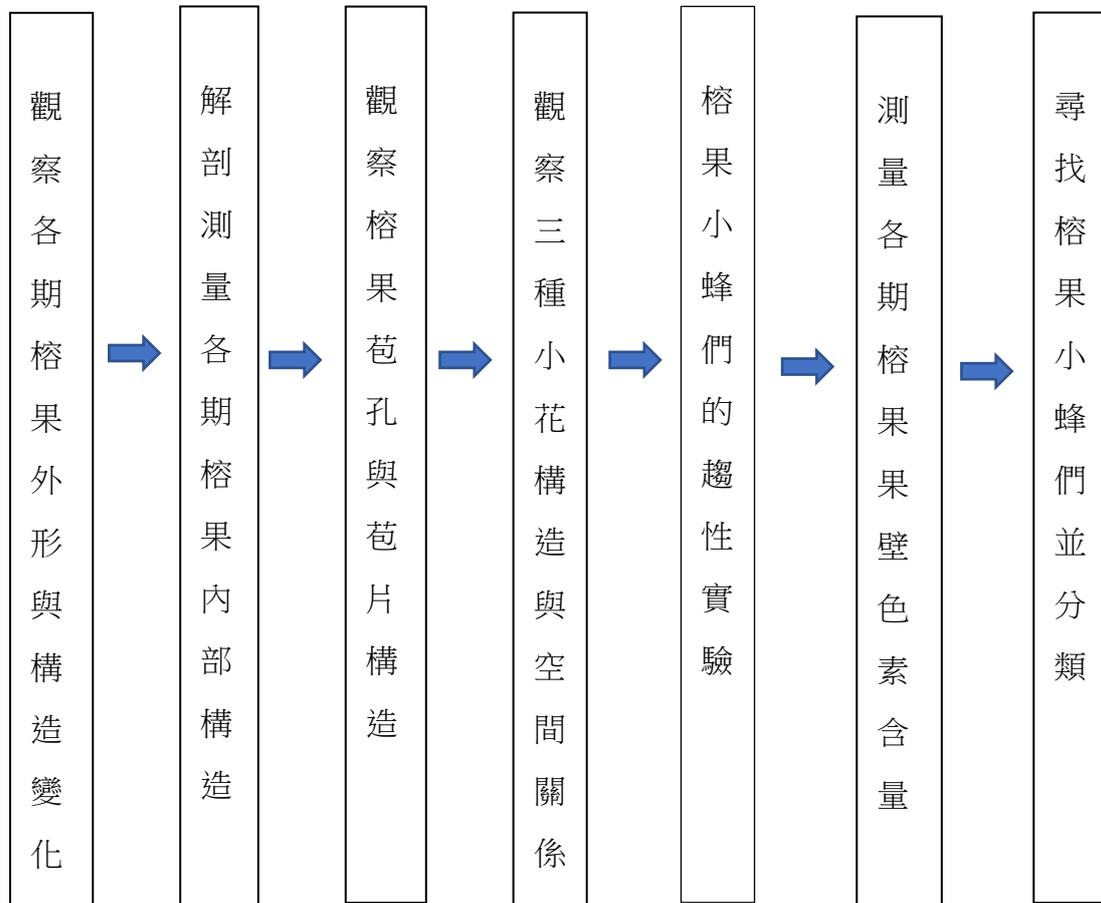


圖一、榕果的發育狀態

貳、研究設備及器材

- 一、解剖顯微鏡
- 二、複式顯微鏡
- 三、載玻片與蓋玻片
- 四、解剖器材
- 五、三叉玻璃管
- 六、分光比色計、研鉢、丙酮
- 七、各期榕果

參、研究過程或方法



校內的正榕有 2 棵有榕果、校外圍牆邊有 10 棵有榕果，我們每週摘取或撿拾榕果，嘗試下列步驟：

- 一、將採集到的各期榕果，在解剖顯微鏡下觀察並拍照，記錄榕果直徑、榕果高度、榕果表面顏色，是否有白斑、香味等。
- 二、將採集到的各期榕果縱切，在解剖顯微鏡下觀察剖面並照相，測量榕果的果壁厚度與果腔直徑，了解榕果發育過程的變化。
- 三、在解剖顯微鏡下觀察各期榕果苞孔開閉狀況，記錄外苞片分布與顏色變化，利用榕果縱切面觀察外苞片與內苞片分布狀況，了解苞孔結構與發育過程與榕小蜂的前來相關性。

四、在複式顯微鏡下觀察外苞片、內苞片、白斑、果壁以了解其微細變化。

五、在解剖和複式顯微鏡下觀察各期榕果小花與蟲癭分布位置與構造。

六、因為榕葉生長初期，會先突出一個三角錐形的葉芽，葉芽隨著發育會漸伸長呈尖形，而新生榕果通常成對生於下方老葉的葉腋間(見圖一)，同時突出呈三角圓盾形，兩者位置接近且皆呈深綠色，顏色都接近成葉，待榕果長大顏色才由淺綠變粉紅，最後再呈深紅或紫紅色，我們想利用分光比色計所得不同波長的吸光度數值，計算並比較各期榕果表皮與榕葉所含色素之差異(張育齡等，2004)。

分光比色計測量榕果果壁與榕葉所含色素的實驗步驟：

(一) 摘取嫩葉、成熟葉、剛長出的小綠榕果(A 期初冒果芽)、其他期的綠榕果、粉紅色榕果和紅紫色榕果的表皮，其中後三者挖去中心小花及蟲癭只留表皮稱重 0.14 克重(W)，於研鉢中加入少量約 2 ml 丙酮(80%)磨成漿狀。

(二) 將上述液體以濾紙過濾後倒入小試管，以丙酮(80%)稀釋至 5ml。

(三) 取 1ml 之濾液置入雙光束紫外線比色儀(spectrophotometer U-2000)中，測量波長 440.5nm、645nm、652nm、663nm、730nm 之 O.D.值。

(四) 每 1g 各期榕果表皮與榕葉中葉綠素含量，可用下列公式求出：

$$1. \text{葉綠素 a(mg)} = [12.7(D663) - 2.69(D645)] \times 5 / (1000 \times W)$$

$$2. \text{葉綠素 b(mg)} = [22.9(D645) - 4.68(D663)] \times 5 / (1000 \times W)$$

$$3. \text{葉綠素總量 C(a + b) (mg)} = [20.2(D645) + 8.02(D663)] \times 5 / (1000 \times W)$$

$$4. \text{類胡蘿蔔素總量 Cc(mg)} = 4.695(D440.5) - 0.268C(a + b)$$

公式代號說明：

(一) D_{λ} ：色素抽取液在 λ 波長的吸光度

(二) λ ：波長 (nm)

(三) W：榕葉或榕果表皮稱重，本實驗稱重 0.14 克重

(四) C (a+b)：葉綠素 (a+b) 的總含量

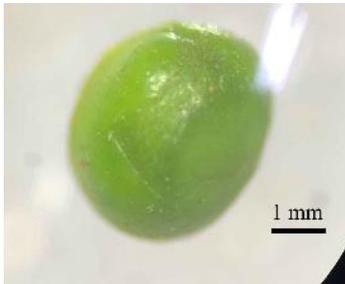
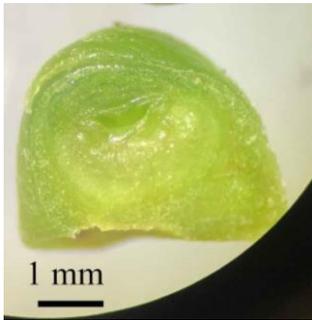
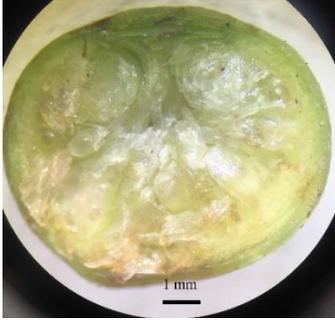
(五) Cc：類胡蘿蔔素總量

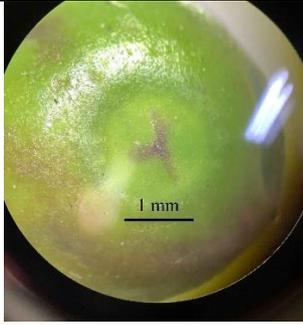
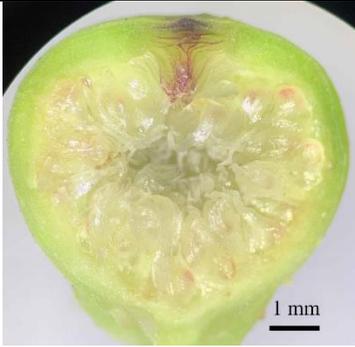
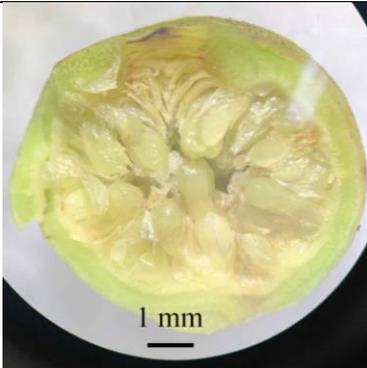
七、為了進一步了解榕小蜂的行為，我們已知蜜蜂有正趨光性，所以我們將發現的 38 隻小蜂裝在大的透明塑膠袋中，在暗室一側照光測驗牠們的趨光性，當牠們移到照光側，我們改變照光位置到另一側，以證明牠們具有正趨光性。因為我們意外在裝有數十顆各期榕果的燒杯上，清楚聞到榕果的香味，所以我們已知榕果的香味可吸引小蜂，因此我們利用三叉管測試各種顏色榕果對牠們的吸引力。

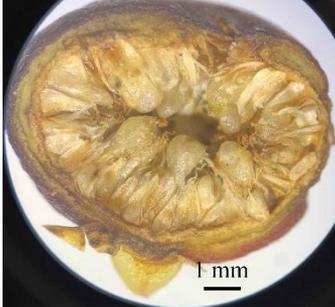
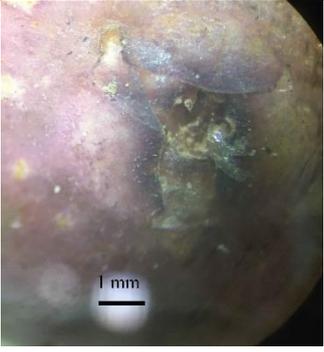
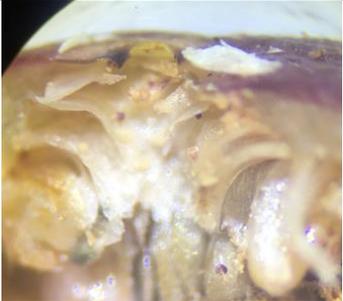
八、將各期榕果共 53 顆中找到的小蜂加以拍照並分類，統計各分期找到的採粉蜂與寄生蜂數量比例，試找出小蜂生活史中各階段的形態及互動關係。

肆、研究結果

一、各期榕果，在解剖顯微鏡下觀察並拍照，觀察並記錄榕果直徑、榕果高度、表面顏色、是否有白斑、是否有香味。

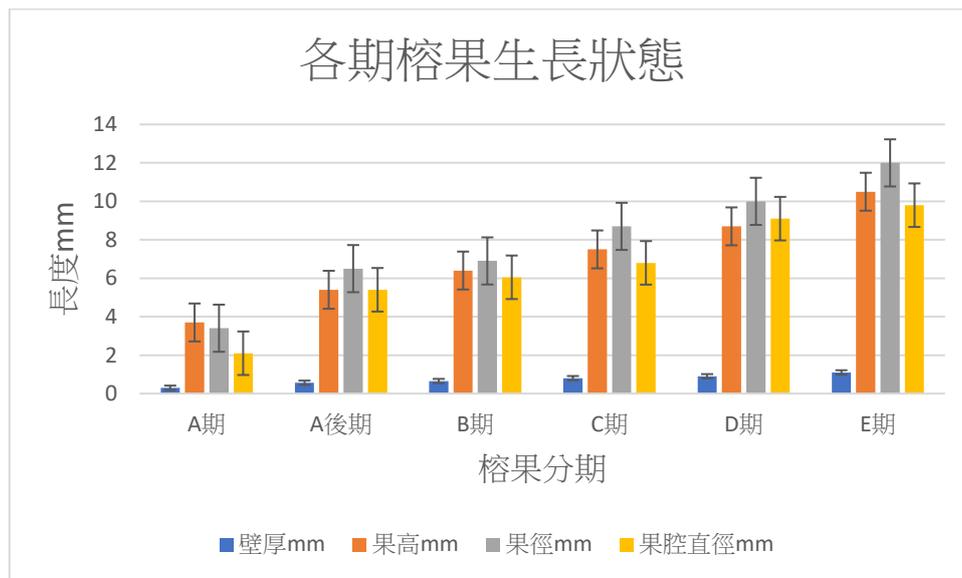
分期直徑 (mm)特色	苞孔上視角	榕果縱切	苞孔縱切面
A 初期 2-3mm 綠色 無白斑 無香味 果壁硬	 三片外苞片相疊幾乎 佔滿整個榕果表面	 小花未發育看不見柱頭	 外苞片全綠色排列緊密
A 後期 4mm 淺綠色 有白斑 無香味 果壁硬	 苞孔下方第三片外苞片 露出的面積小	 小花發育，柱頭集中	 外苞片邊緣微紫 外苞片排列緊密

<p>B 初期 5mm 淺綠色 有白斑 微香 果壁硬</p>	 <p>1 mm</p> <p>外苞片邊緣微紫，呈 Y 出現，苞孔周圍漸黃</p>	 <p>1 mm</p> <p>可見雌花發育，柱頭鬆開 方便雌蜂產卵授粉</p>	 <p>外苞片微鬆開</p>
<p>B 後期 6mm 淺綠色 有白斑 香味明顯</p>	 <p>1 mm</p> <p>苞孔周圍黃色突顯出苞孔的紫色</p>	 <p>1 mm</p> <p>可見蟲癭與種子花發育</p>	 <p>外苞片比之前緊密，雄花未發育</p>
<p>C 期 6-8mm 黃綠色 有白斑 香味明顯</p>	 <p>1 mm</p> <p>苞孔周圍外苞片微向外突出</p>	 <p>1 mm</p> <p>可見蟲癭膨大有白色幼蟲與種子發育呈褐色</p>	 <p>外苞片及內苞片鬆開，雄花開始發育</p>

<p>D 期</p> <p>6-10mm</p> <p>粉紅或紅色</p> <p>有白斑</p> <p>香味明顯</p> <p>果壁尚硬</p>	 <p>外苞片明顯向外突出</p>	 <p>蟲癭膨大有成蛹幼蟲或羽化成蟲</p>	 <p>外苞片及內苞片完全鬆開，雄花花藥變明顯</p>
<p>E 期</p> <p>8-12mm</p> <p>紫紅色</p> <p>有白斑</p> <p>無香味</p> <p>果壁軟爛</p>	 <p>外苞片有明顯蟲咬破洞</p>	 <p>蟲癭已破可見羽化小蜂</p>	 <p>外苞片及內苞片比 D 期鬆開，苞孔已破</p>

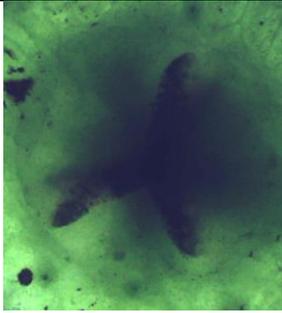
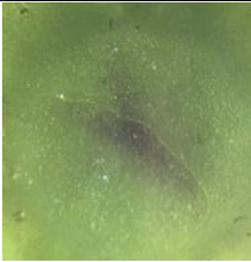
圖二：各期榕果外觀及榕果縱切照片

二、 各期榕果縱切，在解剖顯微鏡下運用 Motic Images Plus 軟體計算並測量榕果的果壁厚度、果高、果徑及果腔直徑。



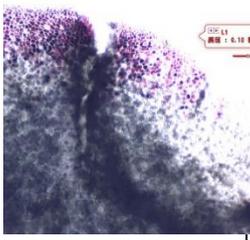
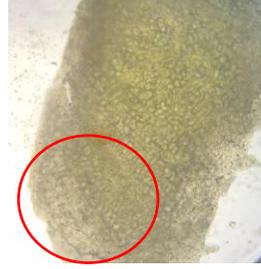
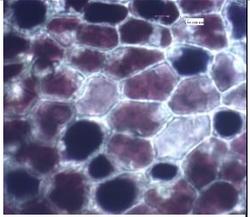
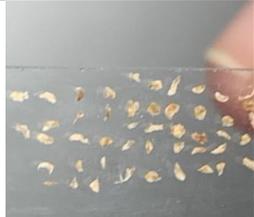
圖三：榕果的果壁厚度、果高、果徑及果腔直徑測量結果長條圖

三、觀察各期外苞片形狀顏色變化，推測其生長意義。

			
由外苞片邊緣暗影排列，可證明它們是上下重疊呈螺旋形排列	由內向外看外苞片，仍可證明它們是呈螺旋形排列	A 期初期第一、二片外苞片夾角小，且外苞片上下緊閉	B 期榕果碗型發育，外苞片夾角變大鬆開，邊呈深紫色 Y 形，以配合蜂的視覺特色。

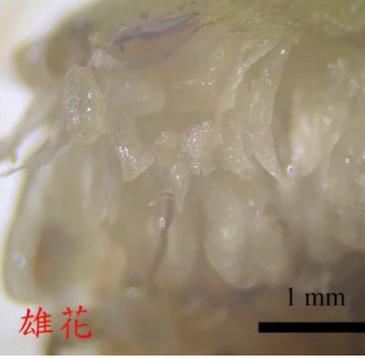
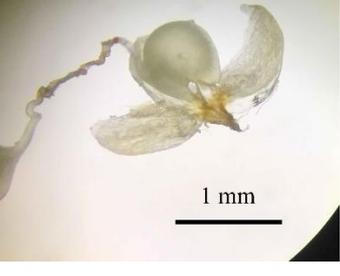
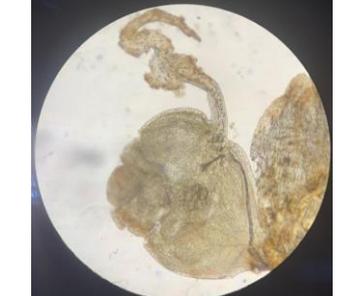
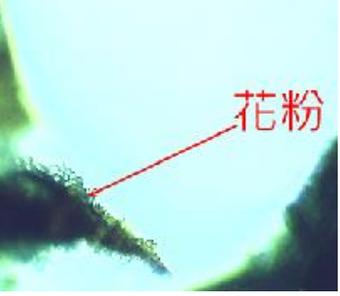
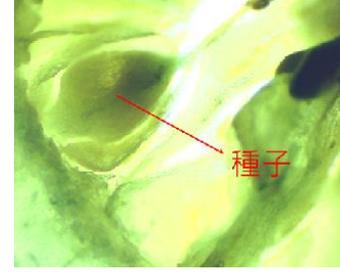
圖四：分期榕果的苞孔開閉狀況、外苞片顏色

四、在複式顯微鏡下觀察外苞片、內苞片、白斑、果壁。

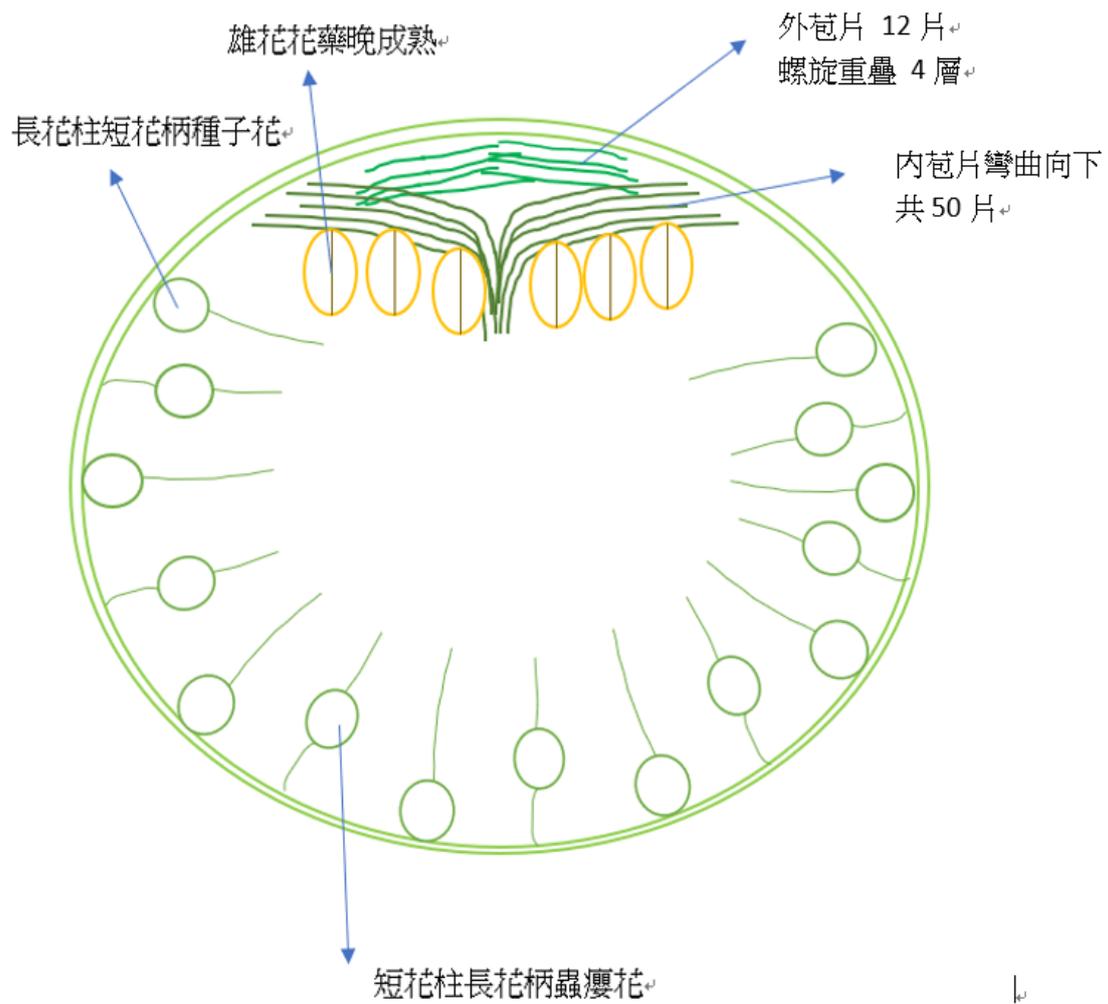
			
			
外苞片邊緣薄且細胞充滿花青素 上：100X 下：1000X	白斑環繞苞孔突起，顯微鏡下看充滿乳管 上：20X 下：1000X	無白斑處可見綠色分布許多氣孔 上：100X 下：1000X	內苞片 50 片並未重疊，向內陷引導傳粉蜂入果腔

圖五：外苞片、白斑與榕果果壁的細微構造

五、觀察各期榕果小花分布位置並觀察小花構造，測量小花花柱長。

 <p>1 mm</p>	 <p>雄花 1 mm</p>	 <p>1 mm</p>
<p>內苞片向下小花交錯</p>	<p>雄花環繞著苞孔內苞片</p>	<p>未熟雄花有花被無花粉</p>
 <p>1 mm</p>	 <p>1 mm</p>	 <p>1 mm</p>
<p>短花柱蟲癭花長花柄 花柱長=0.86mm</p>	<p>長花柱種子花短花柄 花 柱長=1.33mm</p>	<p>D 期雄花雙花藥滿滿花 粉</p>
		 <p>花粉</p>
<p>蟲癭花複式 1000X</p>	<p>種子花複式 1000X</p>	<p>柱頭花粉複式 1000X</p>
 <p>1 mm</p>	 <p>種子</p>	
<p>兩種雌花比較圖</p>	<p>種子花外有花被</p>	<p>種子花子房內褐色種子</p>

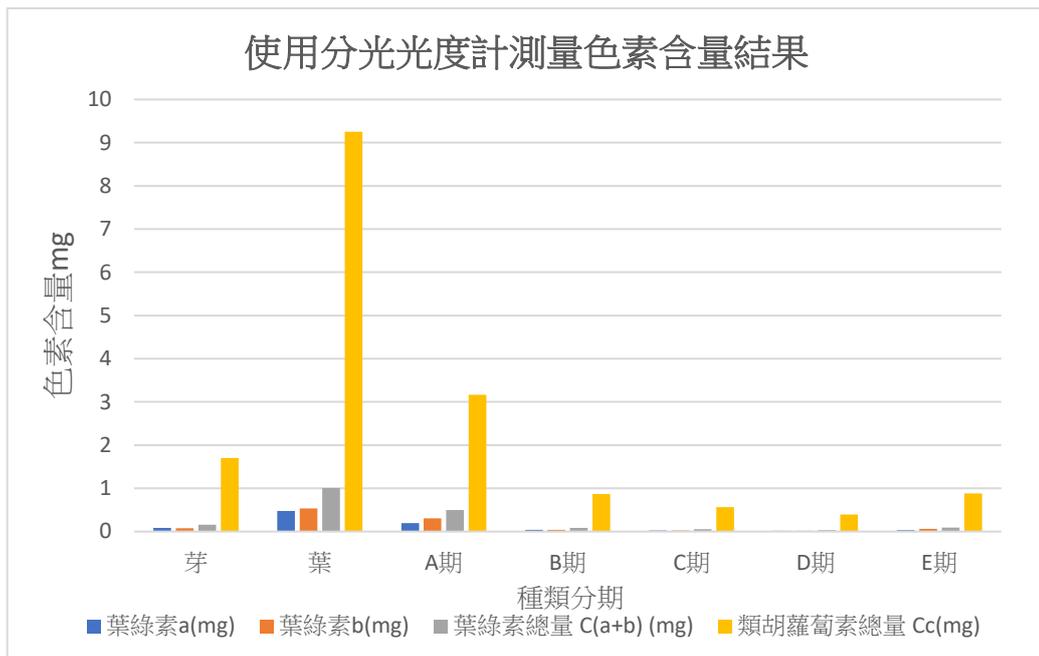
圖六：榕果小花觀察結果



兩種雌花因花梗長短的不同，花柱在同一水平獲得雌蜂相同授粉產卵機會

圖七：榕果小花空間分布示意圖

六、分光比色計測量榕果果壁與榕葉所含色素的結果



圖八：分光光度計測量色素含量結果

七、小蜂的趨光性和小蜂對各色榕果趨性的結果

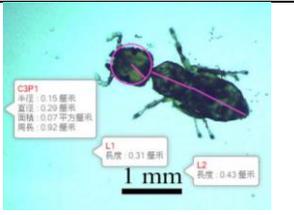
- (一) 共 38 隻榕果內出現的小蜂(包含傳粉蜂和寄生蜂)，在透明塑膠袋中，在暗室中因應光線來回四次改變方向，全部表現正趨光性。
- (二) 利用三叉管測試各種顏色榕果對小蜂的吸引力的結果。

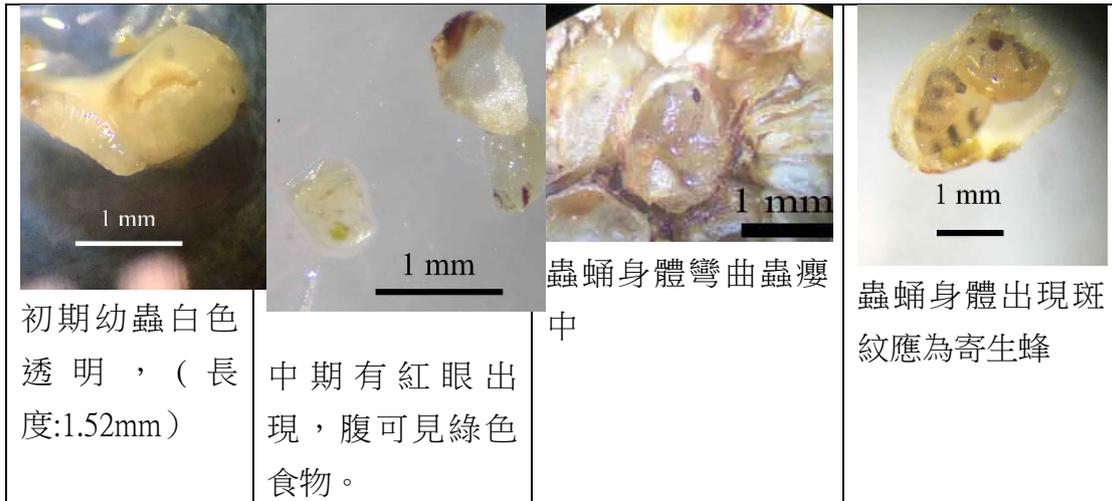


表一：三叉管測試各種顏色榕果對牠們的吸引力結果。

A 端	B 端	採粉蜂	寄生蜂雌蟲
樹上綠榕果	棉花	7 : 2	14 : 11
樹上紅榕果	棉花	4 : 2	12 : 3

八、顯微鏡下各期榕果中找到的小蜂加以拍照、測量身長並分類。

名稱	雌蜂	雄蜂	說明
<i>Eupristina verticillata</i> 授粉蜂類			雌蜂體色深褐色，翅有小段黑線，羽化後採粉才鑽出苞孔飛走，雄蜂無翅。
<i>Odontofroggattia galili</i> 獨立造瘿蜂			翅有小段黑線，雌蜂體黃腹有斑紋，腹盤紅產卵管，雄蟲腹小，羽化後立刻交配。
<i>Philotrypsis</i> 屬 長尾寄生蜂		 雄蜂長度 2.08mm	翅有黑線，體黃，背與腹有斑，長黑產卵管鞘約體長一半，雄蜂無翅。
Otitesellina 亞科 <i>Walkerella microcarpa</i> 寄生蜂			雌蜂複眼紅色，翅上小段黑線，體色深褐，雄蜂黃色，明顯大顎與觸角，無翅。
<i>Sycophila</i> 屬 肉食性寄生蜂			翅邊黑點明顯，雄蜂除頭以外背黑，雌蜂體黃羽化後立刻交配。
<i>Sycosapter</i> 屬 長尾寄生蜂		未發現	體色青黑有光澤，產卵管鞘約體長3倍。



圖九：在榕果中找到的小蜂與發育過程

表二：統計各分期找到的採粉蜂與寄生蜂數量比例

分期	顆數	果高 mm	果徑 mm	小洞有/沒開	採粉蜂(隻)	寄生蜂(隻)
A-C 期	8	7	6.3	3/5	1	0
D 期	30	8.3	8.2	26/4	13	22
E 期	15	7.5	7.5	13/2	4	5

D 期的小蜂占總數的 78%，E 期占總數的 20%，A 到 C 期只占 2%。在 D 期榕果小蜂中採粉蜂占 40%，而 E 期榕果中採粉蜂和寄生蜂差別不大(4:5)。

伍、討論

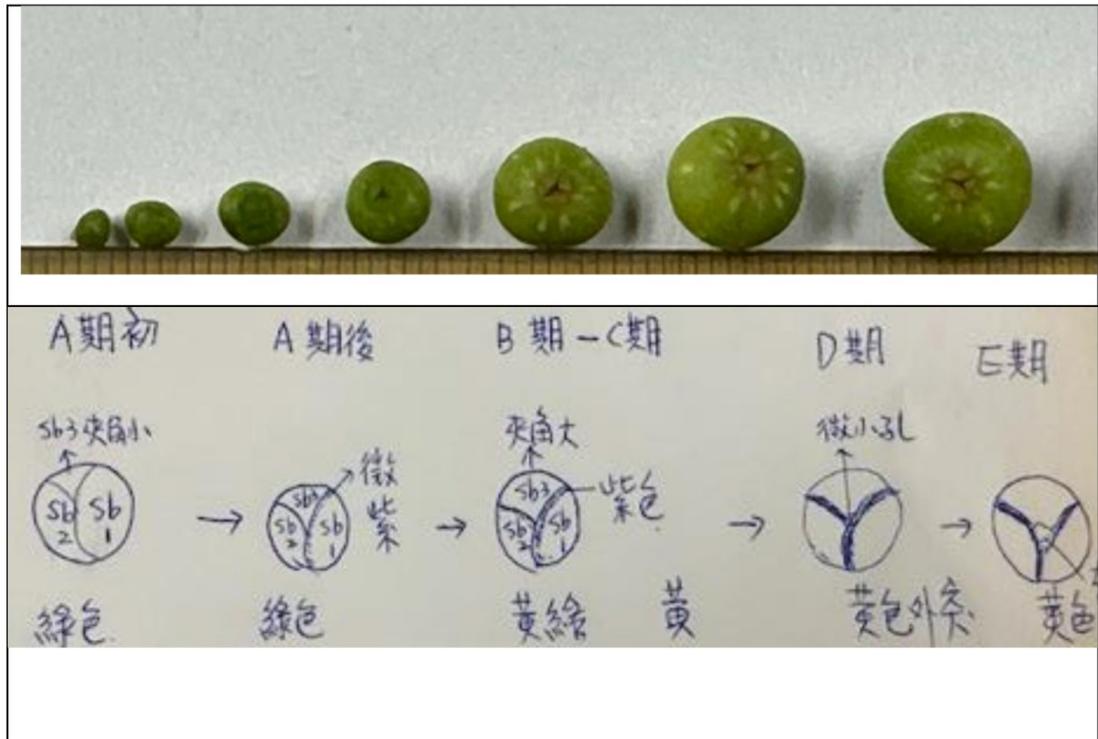
- 一、由外型觀察與解剖顯微鏡縱切面觀察（如圖二），我們發現大小並非決定榕果分期的主要因素，因為許多掉地上的紅色榕果中常見到發育好的蟲癭，且一切開立刻爬出榕果小蜂，而在樹上成熟的紅榕果也有此現象。所以用榕果大小不如用顏色或苞孔的開閉、苞孔殘翅的出現來判斷榕果分期。
- 二、由各期 5 顆榕果縱切，在解剖顯微鏡下測量榕果的果壁厚度、果高、果徑及果腔直徑的平均值所繪成的圖三，我們發現榕果的發育隨著果高與果徑的增加，果腔直徑同步增加，但是果壁厚度改變不大，而果腔直徑的增加，使果腔中央產生空隙，方便榕果小蜂在其中活動，幫助花朵授粉與雌蜂產卵，也便於先羽化的雄蜂移動、交配，協助已受精羽化成熟的雌蜂鑽出孔洞，使其順利帶著榕果雄花的花粉離開，替下一顆未發育榕果授粉，

並替下一代榕小蜂找到發育成長的地方。我們發現已成熟紅色榕果苞孔中心常有明顯地咬出孔，在解剖顯微鏡下可觀察到孔洞周圍並不平整，也有好多已成熟紅色榕果在苞孔中心外還有咬出孔。我們在一個孔洞外發現一隻未知已死亡雄蜂趴在榕果表面(如圖十二)，應該咬出孔洞後便死亡了。

三、由圖二第一欄各期苞孔的上視角，我們發現外苞片是先由 A 期初剛發育深綠小榕果的三片外苞片合併成一個封閉孔，隨著榕果 B 期漸成上寬下窄的碗型發育，將兩片外苞片撐開露出下面另一片外苞片，因此看起來像是由中心向外平均伸長呈 Y 型的三條線，但其實並非如此，我們推斷外苞片是呈螺旋狀疊在一起，才會如此(見圖四)。而 B 期外苞片的鬆開，也是重疊的外苞片上下空隙增加造成(請見圖二第三欄外苞片和榕果縱切面)，由苞孔所在外苞片排列可見到由初期的緊密到鬆開，最後有鑽出孔。而 A 期時苞孔周圍是綠色，隨著 B 期榕果發育成碗狀在第一、二片邊緣呈現出深紫色並上下鬆開，苞孔周圍是變黃色，而第一、二片呈現出深紫色的邊緣重疊所顯現出的 Y 形交叉(見圖四)，正好可以給複眼看得到紫外線、藍色和綠色三原色的榕小蜂，辨認苞孔位置時除了香味以外多了十分明顯的深紫色配黃色著陸指標(黃智勇，2021)。如此精巧的苞孔發育過程(見圖十)配合苞孔開閉及榕果香味的釋出，來決定小蜂的進入時機。

四、由圖五第一欄我們在複式顯微鏡 100 倍所拍外苞片顯微照片，可以發現外苞片由外向內是由薄變厚，花青素在外層充滿細胞質的液胞內，才呈現出苞孔深紫色的邊緣重疊而成的 Y 形交叉，圖五第二欄我們可看到由 B 期開始出現還照在苞孔周圍呈輻射形排列的白斑(如圖十)，在顯微鏡下白斑比榕果壁突出，推測為類似深紫色 Y 形交叉的著陸指標，白斑上面有一些分泌物，我們將白斑橫切與縱切在複式顯微鏡下觀察並比較無白斑的榕果壁，發現白斑部分多了類似學長們在裸子植物葉片顯微切片看到的分泌腺構造(林暉恩等，2022) (圖五第二欄)，經查資料原來它是乳管，可滲出乳汁有助於果腔中含有抗生素的液體，共同構成對寄生蟲瘿或其他持草昆蟲的防禦前線(Renee M. Borges, 2021)，在無白斑的榕果壁我們沒看到乳管反而

散布許多的氣孔(圖五第三欄)，至於內苞片並未如外苞片般重疊，反而像是一環環的溜滑梯般，呈現引導採粉蜂進入果腔授粉產卵的通道(圖五第四欄)。



圖十：白斑輻射狀環繞在苞孔周圍與手繪的苞孔與外苞片發育過程

五、由圖六各期榕果小花分布位置，榕果小花獨特的空間排列方式如下：

(一)所有雌花柱頭與雄花花藥生長方向都向著榕果中心，可以方便榕果小蜂授粉。

(二)蟲癭花與種子花交錯排列，蟲癭花與種子花利用本身花梗長短，上下交錯排列在花序梗(榕果壁)上(見圖六第一格)，以完成榕小蜂生長與種子發育需求之雙重任務。雄花巧妙長在苞孔周圍且花藥較晚成熟(請見圖五第二與第三格)，正好配合雌採粉蜂 *Eupristina verticillata* 羽化離開前的攜粉需求。我們測量兩種小花花柱長，蟲癭花(花柱長約 0.86mm)與種子花(花柱長約 1.33mm)交錯排列，再配合榕果授粉蜂雌蜂的產卵管長度與花柱長短配對可能(見劉又瑄，2003)，使得蟲癭花與種子花可同時發育(請見圖五)。

(三)我們發現兩種雌花因花梗長短的不同，使花柱高度皆在同一水平獲得雌蜂相同授粉產卵機會，請見圖七榕果小花空間分布示意圖，

六、由圖八分光比色計結果所得資料計算後發現：成熟葉和幼葉所含葉綠素大於各色榕果。光合效率應比榕果好。而綠色、粉紅色及紅色榕果的葉綠素總量都相差不大，可見榕果即使由綠色轉變成粉紅色與紅色，仍可行光合作用製造供應養分。而類胡蘿蔔素含量是綠色榕果小於粉紅色榕果，粉紅色榕果也小於紅色榕果，反映出榕果壁的顏色變化，對於榕果在育雛、發育種子→被食果動物吃→幫助種子散播→協助種子發芽等過程的重要性。

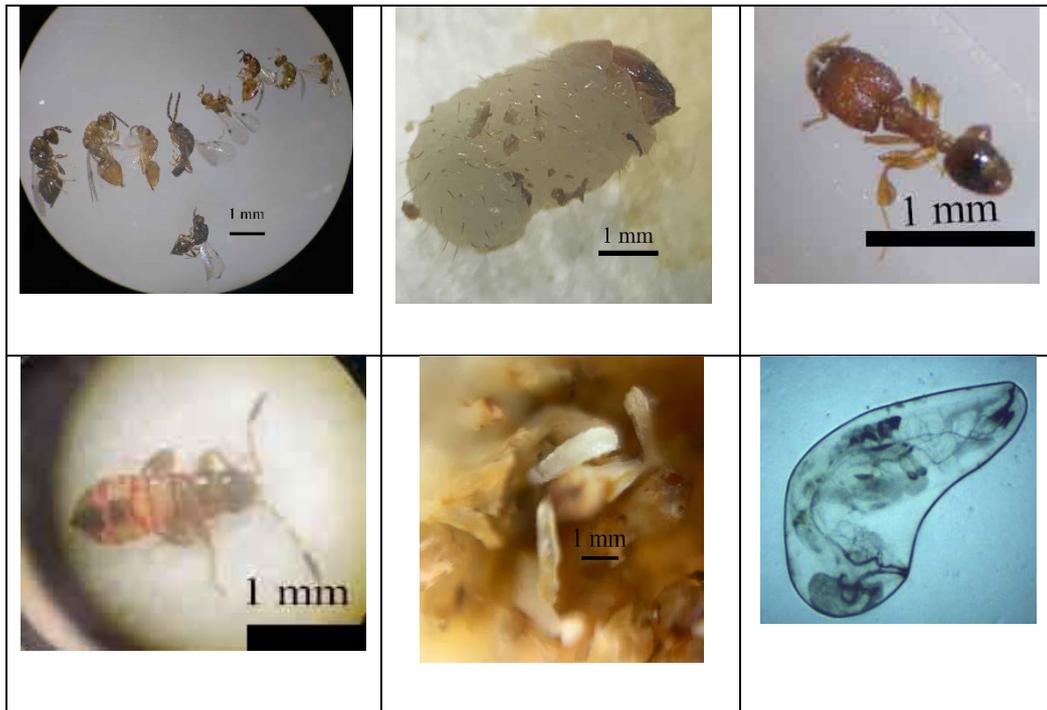
七、由表一的榕小蜂的趨性實驗結果，我們發現不論是榕小蜂、寄生蜂或傳粉小蜂都有正趨光性。而且小蜂對較成熟榕果（淺綠或紅色）都有正趨性，似乎愈成熟吸引力愈大。針對這個實驗我們認為可以分別記錄各類小蜂的結果是否不同，以了解實驗結果與小蜂種類的關聯性以得到較精確的實驗結果。

八、顯微鏡下各期榕果中找到的小蜂共數十隻，我們加以分期拍照、測量身長並分類，剛開始我們只認識是採粉蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂與雄蜂，因此紀錄只分採粉蜂與寄生蜂(如表一)，發現 D 期的小蜂數最多占總數的 78%，其次是 E 期的 20%，A 到 C 期則最少只占 2%。在 D 期榕果小蜂中採粉蜂占 40%，而 E 期榕果中採粉蜂和寄生蜂差別不大(4:5)。

九、蟲癭的幼蟲挖出後，呈現體色透明、有紅眼睛、腹內有綠色食物。可見在榕果蟲癭內吃榕果蟲癭內的構造發育，後期雖形成蟲蛹仍會動，待脫離蟲癭展開捲旋的翅，授粉榕小蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂會在榕果內梳理雙翅及腹部，並到處遊走挖雄花的花藥中的花粉後才鑽出苞孔飛走。

十、假榕果小蜂 *Odontofroggatia galili* 雌蜂、*Sycophila* 屬和 *Otitesellinae* 亞科的 *Walkerella microcarpae* 等雌蟲與雄蟲，則在羽化後也立刻梳理觸角、腹部與翅，會在榕果內或外交配，較快跳離或飛離榕果。如圖九我們找到傳粉小蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂一種和植食性獨立造癭寄生蜂 *Odontofroggatia galili* 一種，肉食性寄生蜂四種；如 *Otitesellinae* 亞科的 *Walkerella*

microcarpa 雌蜂和雄蜂、*Sycophila* 屬寄生蜂的雌蜂和雄蜂、*Philotrypesis* 屬的雌蜂和雄蜂、和 *Sycoscapter* 屬寄生蜂的雌蜂，也拍到牠們交配、寄生產卵的影片，還看到榕果內有線蟲、蟻、甲蟲幼蟲、螞蟻等生物(如圖十一)，這小小榕果內的物種多樣性及奇特的食性關係，一再顯示榕果對這些棲息在其中的生物們如同一個小宇宙般的奇特。



圖十一：有照片的棲息在榕果內的多樣化生物

陸、結論

- 一、大小並非決定榕果分期的主要因素，可以顏色或苞孔的開閉或苞孔的出現來判斷幫助教學或採集食的方便性。
- 二、隨著果高與果徑的增加，果腔直徑同步增加，但是果壁厚度改變不大，而果腔直徑的增加，使果腔中央產生空隙，方便榕果小蜂幫助花朵授粉與雌蜂產卵和先羽化的雄蜂移動、交配。
- 三、外苞片是隨著榕果發育，而呈現出深紫色Y形交叉並上下鬆開再加上苞孔周圍變黃色，給複眼看得到紫外線、藍色和綠色三原色的榕小蜂，辨認苞孔位置時，除了香味以外多了著陸指標。如此精巧的苞孔發育過程配合苞孔開閉及榕果香味的釋出可決定小蜂的進入時機。

- 四、榕果小花有獨特的排列方式，所有雌花柱頭與雄花花藥生長方向都向著榕果中心，蟲癭花與種子花交錯排列且柱頭皆在同一高度水平，可以獲得相同的授粉或產卵機會，雄花長在苞孔周圍且花藥較晚成熟，以配合雌榕果小蜂羽化離開前的攜粉需求。
- 五、不論是榕小蜂、寄生蜂或傳粉小蜂都有正趨光性，而且小蜂本來對較成熟榕果（淺綠或紅色）都有正趨性，愈成熟吸引力愈大。
- 六、成熟葉和幼葉所含葉綠素大於各色榕果。而各色榕果的葉綠素總量相差不大，可見轉變成粉紅色與紅色，仍可行光合作用製造供應養分。而類胡蘿蔔素含量是綠色榕果小於粉紅色榕果，粉紅色榕果也小於紅色榕果，反映出榕果壁的顏色變化。
- 七、榕果小蜂幼蟲為白色透明，吃榕果蟲癭內的成分蠕動發育，形成蟲蛹仍會動，待脫離蟲癭展開捲旋的翅，授粉榕小蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂會在榕果內梳理雙翅及腹部，並到處遊走挖雄花的花藥中的花粉，才鑽出苞孔飛走。而 *Philotrypesis* 屬假榕果小蜂或 *Odontofroggatia galili* 雌蜂等雌蟲，則在羽化後也立刻梳理觸角、腹部與翅，會羽化後才和雄蜂交配(如圖十二)，並沒有傳粉蜂相同的在羽化前交配的現象。

<p><i>Eupristina verticillata</i> 雄蜂會先爬出蟲癭</p>	<p><i>Eupristina verticillata</i> 雄蜂與尚未羽化的雌蜂交配</p>	<p>榕果壁外死亡的雄蟲，證明牠會幫助雌蟲挖出離開榕果的通道</p>
		
<p><i>Eupristina verticillata</i> 雌蜂會遊走挖雄花花藥中的花粉</p>	<p><i>Odontofroggatia galili</i> 雌蜂羽化後立刻和雄蜂交配</p>	<p><i>Sycophila</i> 屬寄生蜂羽化後交配</p>



圖十二：榕小蜂羽化後行為

柒、參考資料

- 一、 Galil, J., & Eisikowitch, D. (1968). On the pollination ecology of *Ficus sycomorus* in east Africa. *Ecology*, 49(2), 259-269.
- 二、 曾喜育，歐辰雄，呂福原 (2001). 牛奶榕榕果形態之研究. *臺灣林業科學*， 16(4)， 295-306.
- 三、 張雯純，呂福原，何坤益，曾喜育(2009). 金氏榕之榕果形態構造. *林業研究季刊*， 31(3)， 1-16
- 四、 徐夙俠，吳寶俊(2021)。蜜蜂眼中的花花世界。2021年3月第一版 160頁
- 五、 Renee M. Borges.(10 August 2021).Interaction between Figs and Gall-inducing Figs Wasps: Adaptations ,Constraints ,and Unanswered Questions. *Ecol. Evol.*2023年6月9日，取自：
<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.685542>
- 六、 歷屆科展引用：
 - (一) 郭琬媛，陳佑竹，周均樺，洪啟豪(1996)。誰是媒婆。第 36 屆全國中小學科展國小組生物科第三名作品
 - (二) 呂依蓉，劉靜，許錦文(2003)。榕樹與榕果小蜂的共生關係。第 43 屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
 - (三) 張育齡，陳詩佳 (2004)。貼近與貼近之間—菟絲子生長解密。第 44 屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
 - (四) 陳珮蓁，黃文靖，尤昕寧，李珏伶(2009)。黃金海岸正榕生物與環境交互作用。第 49 屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
 - (五) 陳又瑄(2013)。尋找正榕小小蜂。第 53 屆全國中小學科展國中組生物科第三名作品

【評語】 030322

優點：

本研究能從課堂所學出發，選擇校園植物—正榕為題，就近取材從生活觀察啟動生物學的研究，探討榕樹和榕果小蜂的互利共生關係，本研究特別針對榕果進行十分細膩地觀察與分析，從榕果內外部型態、花苞構造變化藉此找出寄生蜂進入榕果的時機。報告中清楚呈現多種實驗材料外觀的顯微觀察，值得肯定！

建議及檢討：

1. 在小蜂對各色榕果趨性的設計中，無法釐清小蜂的趨性是受顏色還是氣味所吸引，需再縝密的實驗設計
2. 此外研究也發現榕果內亦有其他昆蟲，建議未來可進一步延伸並發掘各類昆蟲與榕果間的交互作用！
3. 整體研究以觀察為主體，包含香味紀錄與形態資料部分，應在記錄質性特徵之外，也設計量性數值特徵與可統計分析的資料，以增強實驗結果的支持度。。

作品海報



—果—世界—

正榕榕果的小宇宙

壹、前言

一、研究動機

七下生物課說到生物間的交互作用關係，其中最感興趣的是榕樹和榕果小蜂的專一性互利共生。校內與校外人行道有許多榕樹，我們經常踩了一地的果實，卻沒仔細觀察過，因此我們想透過此研究了解榕果的外表與內部構造有何特殊之處吸引小蜂傳粉。

二、研究目的

- (一)觀察正榕榕果各期的外表特徵，以便找出使用在教學上的野外便利的榕果分期方法，並了解苞孔與小蜂進入的相關性。
- (二)了解榕果各期的內部構造演變，榕果內小花的種類、排列方式以及其構造與發育的生理意義。
- (三)測量各期的葉與榕果壁色素種類及含量，比較其變化和榕果與小蜂生活史上的相關性。
- (四)研究所觀察到的榕小蜂分類與行為及彼此互動關係。

三、文獻回顧

榕屬植物在台灣約有43種，為台灣低海拔森林優勢樹種。因四季皆可產生榕果，所以它是食果動物重要食物來源之一(曾喜育等, 2001)。環繞本校校園的榕樹為正榕(*Ficus microcarpa*)又稱細葉榕，是台灣最常見的綠化樹種，非常適合實驗取材及觀察。

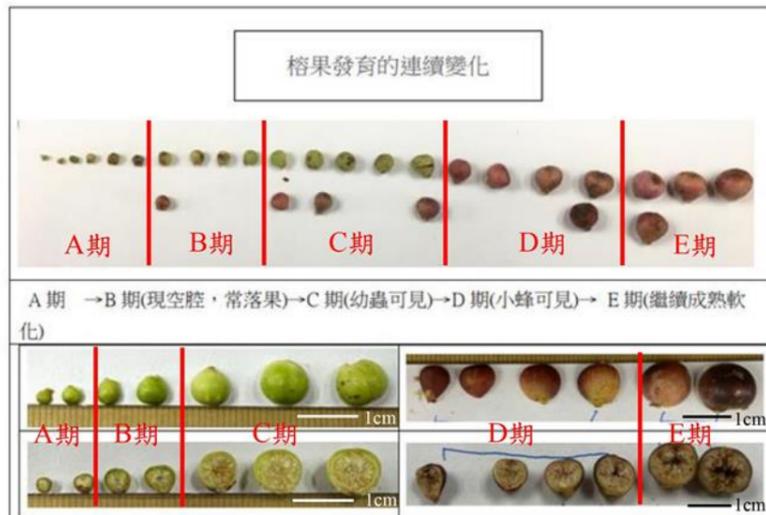
Galil和Eiasikowitch以榕屬植物與小蜂間的關係，將榕果的生長週期分為五個發育時期(Galil & Eisikowitch, 1968)。

A期 前雌花期	B期 雌花期	C期 花間期	D期 雄花期	E期 榕果成熟期
花芽分化至雌花成熟前	雌花成熟苞孔微鬆	子房形成種子花蟲癭花	雄花成熟小蜂羽化鑽出蟲癭	榕果成熟被食果動物所食用

有多篇研究專注於榕果小蜂分類或榕果小蜂與榕果的物候關係，但並未專注於榕果之微細形態構造，及各期發育時榕果之微細形態構造改變情形，這正是我們想了解的。

榕果相關科展報告如下所示：

- (一)全國中小學科展第36屆－誰是媒婆
- (二)全國中小學科展第43屆－榕樹與榕果小蜂的共生關係
- (三)全國中小學科展第53屆－尋找正榕小小蜂



圖一、榕果的發育狀態

貳、研究設備及器材

解剖顯微鏡	複式顯微鏡	載玻片	蓋玻片	解剖器材
三叉玻璃管	分光比色計	研鉢	丙酮	各期榕果

參、研究過程或方法



肆、研究結果與討論

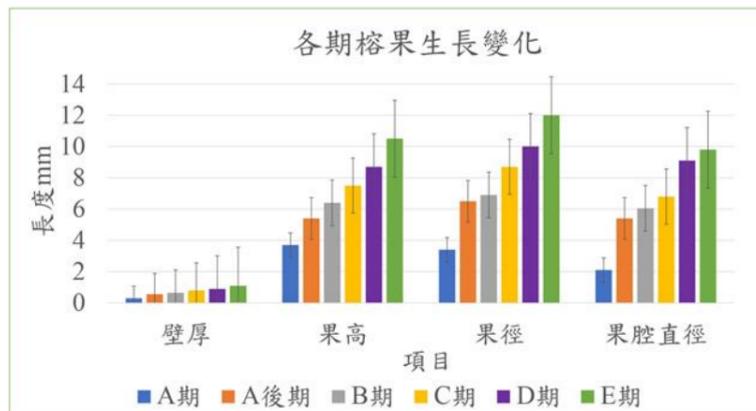
一、各期榕果，在解剖顯微鏡下觀察並拍照，觀察並記錄榕果直徑、榕果高度、表面顏色、是否有白斑、是否有香味。



圖二、各期榕果外觀及榕果縱切照片

由圖二可發現大小並非決定榕果分期的主因。所以用榕果大小不如用顏色或苞孔的開閉、苞孔殘翅的出現來判斷榕果分期。

二、各期榕果縱切，在解剖顯微鏡下運用Motic Images Plus軟體計算並測量榕果的果壁厚度、果高、果徑及果腔直徑。



圖三、果壁厚度、果高、果徑及果腔直徑測量結果直條圖

由圖三發現榕果的發育隨著果高與果徑的增加，果腔直徑同步增加，但壁厚改變不大。果腔直徑的增加，使果腔產生空隙，方便榕果小蜂活動，幫助花朵授粉與產卵，便於先羽化雄蜂移動、交配，鑽出孔洞協助雌蜂帶著花粉離開。成熟紅榕果苞孔與果壁皆有咬出孔也曾看到寄生蜂咬破果壁爬出來。

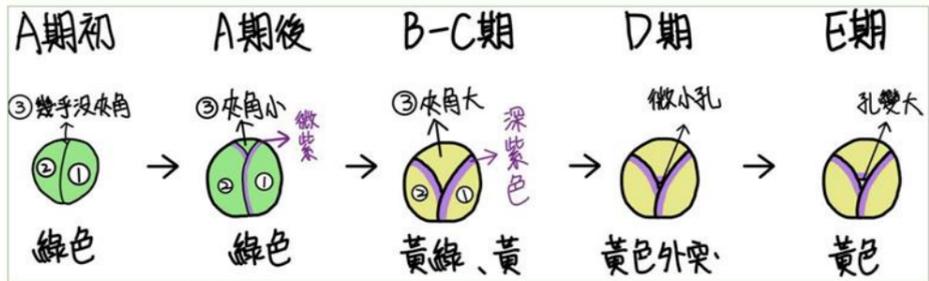
三、觀察外苞片顏色、苞片排列、白斑

(一)觀察各期外苞片形狀顏色變化，推測其生長意義。

由圖二苞孔的上視角，發現外苞片是由A期深綠榕果的三片外苞片合併成封閉孔，隨著榕果的上寬下窄發育漸成碗型，將兩片外苞片撐開露出下面第三片外苞片，才看起來像由中心向外伸長呈Y型的三條線，但其實外苞片是呈螺旋狀疊在一起才會如此(圖四)。而B期外苞片的鬆開，是重疊的外苞片上下空隙增加造成，外苞片排列可見緊至鬆最後有鑽出孔(圖二)。而A期時苞孔周圍是綠色，隨著B期外苞片因花青素增加呈深紫色邊緣並上下鬆開，苞孔周圍呈黃色，而第一、二片呈現出深紫色的邊緣重疊所顯現出的Y形交叉，正好可以給複眼看得到紫外線、藍色和綠色三原色的榕小蜂辨認苞孔位置時有明顯的深紫色配黃色著陸指標(黃智勇, 2021)。精巧的苞孔發育過程(圖五)配合苞孔開閉及榕果香味的釋出決定小蜂的進入時機。



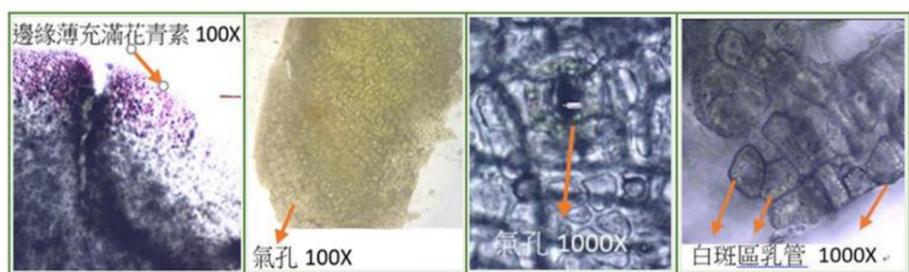
圖四、觀察各期外苞片形狀顏色變化，推測其生長意義。



圖五、手繪的苞孔與外苞片發育過程

(二)觀察榕果的果壁、白斑部位、與外苞片顯微構造，推測其生長意義。

由圖六可發現外苞片由外向內逐漸變厚，花青素在外層充滿細胞質的液胞內呈現出深紫色的邊緣。圖七可看到由B期開始在苞孔周圍呈輻射形排列的白斑，在顯微鏡下白斑比榕果壁突出，推測為類似深紫色Y形交叉的著陸指標，白斑上面有一些分泌物，我們將白斑在複式顯微鏡下觀察並比較無白斑的榕果壁，發現白斑部分多了類似裸子植物葉片顯微切片看到的分泌腺構造(圖六)，經查詢得知是乳管，可滲出有助於果腔中含有類抗生素的乳汁，構成對寄生蟲瘿或其他食草昆蟲的防禦前線(Renee M. Borges, 2021)，在無白斑的榕果壁我們沒看到乳管反而散布許多的氣孔，至於內苞片並未如外苞片般重疊，呈現引導採粉蜂進入果腔授粉產卵的通道(圖四)。

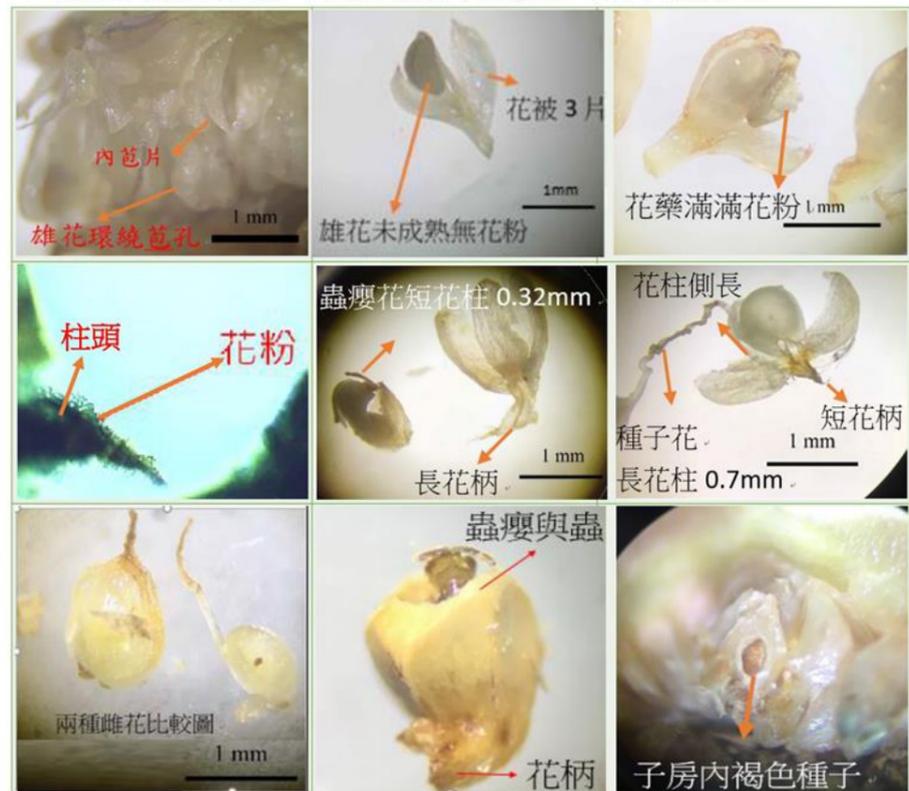


圖六、觀察各期外苞片形狀顏色變化，推測其生長意義。

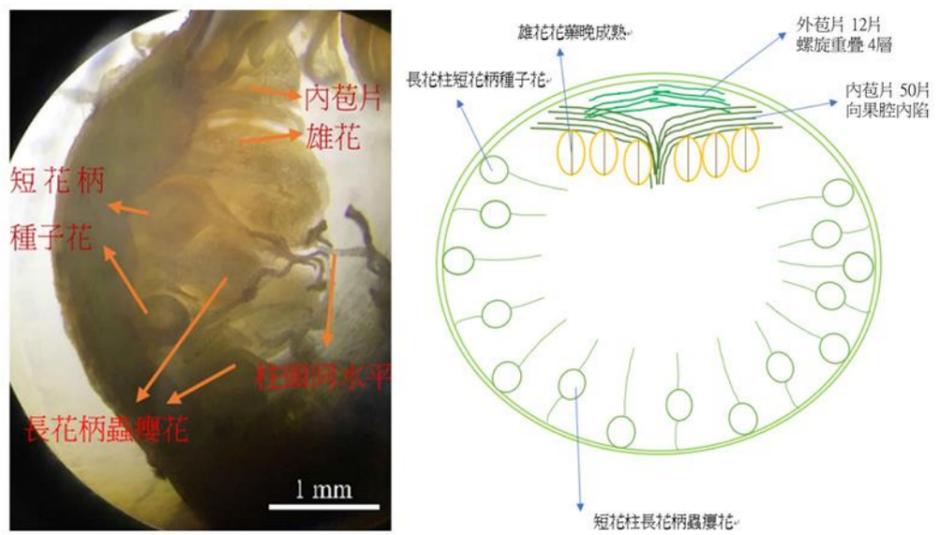


圖七、白斑輻射狀環繞在苞孔周圍

四、觀察各期榕果小花分布位置並觀察小花構造，測量小花花柱長。



圖八、榕果小花觀察結果

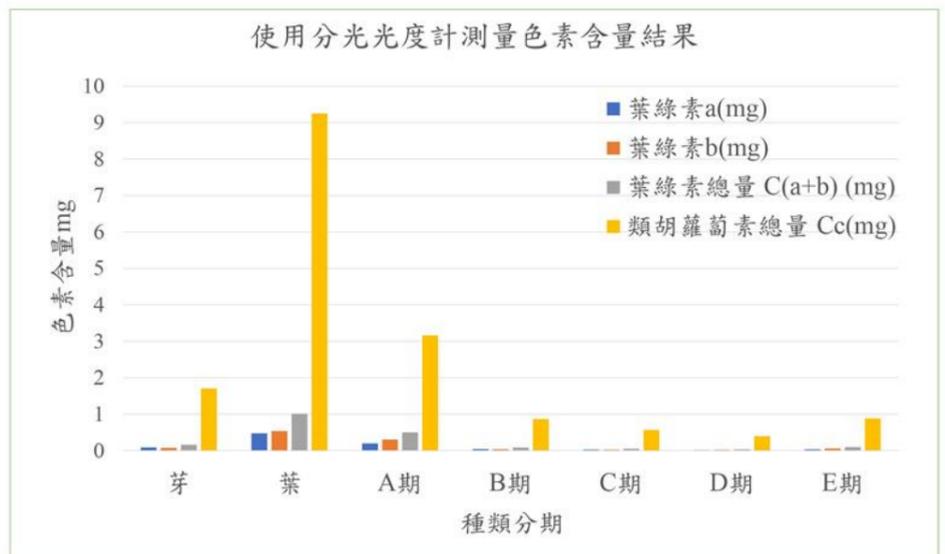


圖九、榕果小花空間分布示意圖(自繪)

由圖九各期榕果小花分布位置，榕果小花獨特的空間排列方式如下：

- (一)所有雌花柱頭與雄花花藥都向著榕果中心生長，可以方便榕果小蜂授粉。
- (二)蟲瘿花與種子花交錯排列，蟲瘿花與種子花利用本身花梗長短，上下交錯排列在花序梗(榕果壁)上，使花柱高度皆在同一水平。以完成榕果小蜂生長與種子發育需求之雙重任務(圖九)。
- (三)雄花巧妙長在苞孔周圍且花藥較晚成熟(圖八)，正好配合雌採粉蜂 *Eupristina verticillata* 羽化離開前的攜粉需求。我們測量兩種小花花柱長，蟲瘿花(花柱長約0.32mm)與種子花(花柱長約0.7mm)交錯排列，再配合榕果授粉蜂雌蜂的產卵管長度與花柱長短配對可能(劉又瑄, 2003)使得蟲瘿花與種子花可同時發育(圖九)。

五、我們摘取榕樹的葉子和各期榕果，將葉子和表皮稱重0.14克重(W)，於研鉢中加入少量約2 mL丙酮(80%)磨成漿狀，過濾後倒入試管，以丙酮(80%)稀釋至5mL。取1mL濾液置入分光比色計中，測量波長440.5nm、645nm、652nm、663nm、730nm之O.D.值，以公式計算所含葉綠素a、葉綠素b、總葉綠素與類胡蘿蔔素的量，以了解榕果的光合作用能力。



圖十、分光光度計測量色素含量結果

由圖十發現，成熟葉和幼葉所含葉綠素大於各色榕果，光合效率應比榕果好。而綠、粉及紅榕果的葉綠素總量都相差不多，可見榕果即使由綠色轉粉與紅色，仍可行光合作用。而類胡蘿蔔素含量反映果壁顏色變化，對於榕果在育雛發育種子→被食果動物吃→幫助種子散播→協助榕樹發芽等過程的重要性。

六、小蜂的趨光性和小蜂對各色榕果趨性的結果

- (一)共38隻榕果內出現的小蜂(包含傳粉蜂和寄生蜂)，在暗室裡透明塑膠袋中因應光線來回四次改變方向，全部表現正趨光性。
- (二)利用三叉管測試各種顏色榕果對小蜂的吸引力的結果。

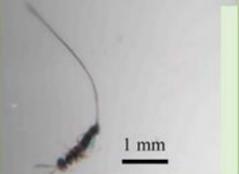


表一、三叉管測試各種顏色榕果對牠們的吸引力結果。

	樹上綠榕果：棉花	樹上紅榕果：棉花
採粉蜂	7 : 2	4 : 2
寄生蜂雌蟲	14 : 11	12 : 3

由表一的榕小蜂的趨性實驗結果，我們發現不論是榕小蜂、寄生蜂或傳粉小蜂都有正趨光性。而且小蜂對較成熟榕果(淺綠或紅色)都有正趨性，似乎愈成熟吸引力愈大。針對這個實驗我們認為可以分別記錄各類小蜂的趨性結果是否不同，以了解實驗結果與小蜂種類的關聯性以得到較精確的實驗結果。

六、將榕果找到榕小蜂拍照、測量身長，並利用中央研究院生物多樣性中心建置的台灣物種名錄搜尋對照，加以分類。

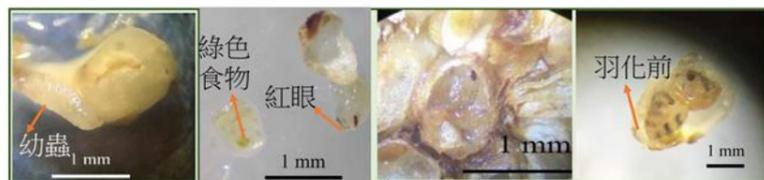
名稱	雌蜂	雄蜂
<i>Eupristina verticillata</i> 正榕唯一授粉蜂 雌=2.06 mm 雄=1.31 mm		
<i>Odontofroggata galili</i> 植食性獨立造瘿蜂 產卵器纏繞於腹中 雌=3.5 mm 雄=1.69 mm		
<i>Philotrypesis</i> 屬 肉食性長尾寄生蜂 雌=3.56mm 雄=2.01mm		
Otitesellina 亞科 <i>Walkerella microcarpae</i> 肉食性寄生蜂 雌=2.45 mm 雄=2.34 mm		
<i>Sycophila</i> 屬 肉食性寄生蜂 產卵器纏繞於腹中 雌=3.66 mm 雄=2.01 mm		
<i>Sycoscapter</i> 屬 肉食性長尾寄生蜂 雌=4.1 mm		未發現



圖十一、各期榕果中找到榕小蜂分類與其羽化後行為

如圖十一各期榕果中找到小蜂，我們拍照測身長，查閱中研院生物多樣性中心建置的「台灣物種名錄」加以分類，並請中興大學生科系黃盟元教授協助查閱小蜂及照片。共找到六種小蜂：

- (一) 傳粉蜂 *Eupristina verticillata* 雌雄蜂：唯一植食性授粉蜂類。
- (二) 獨立造瘿寄生蜂 *Odontofroggata galili* 雌雄蜂：由外刺穿果壁產卵在雌花子房，以榕果為食會引起蟲瘿發育的獨立造瘿非傳粉蜂，會和傳粉蜂競爭食物但榕果不會因未授粉而落果。
- (三) 肉食性寄生蜂 *Walkerella microcarpae* 雌雄蜂、*Sycophila* 屬雌雄蜂、*Philotrypesis* 屬雌雄蜂、*Sycoscapter* 屬雌雄蜂：皆為肉食性寄生蜂，可由外刺穿果壁產卵在子房內榕小蜂卵內，以子房內幼蟲為食，彼此間有寄生關係，若榕果未授粉只有寄生蜂，常會引起B期落果現象，這是榕樹減少資源浪費的一種方法。羽化後授粉蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂會先梳理翅及腹部，並挖花粉才鑽出苞孔飛走，至於其他寄生蜂 *Odontofroggata galili* 雌蜂、*Sycophila* 屬和 *Otitesellinae* 亞科的 *Walkerella microcarpae* 等雌蟲與雄蟲，在羽化後也梳理觸角、腹部與翅，會在榕果內或外交配，較快跳離或飛離榕果。



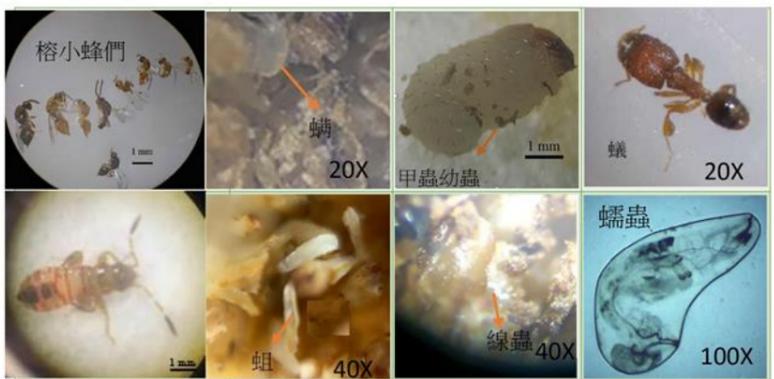
圖十二、在榕果中找到的小蜂發育過程

蟲瘿的幼蟲挖出後，呈現體色透明、有紅眼睛、腹內有綠色食物，可見是榕果蟲瘿內吃蟲瘿內的構造發育的植食性小蜂，後期雖形成蟲蛹仍會動，待羽化脫離蟲瘿展開捲旋的翅(圖十二)。

表二、統計各分期找到的採粉蜂與寄生蜂數量比例

	類數	果高 mm	果徑 mm	小洞有/沒開	採粉蜂 (隻)	寄生蜂 (隻)
A-C期	8	7	6.3	3/5	1	0
D期	30	8.3	8.2	26/4	13	22
E期	15	7.5	7.5	13/2	4	5

我們一開始只認識採粉蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂與雄蜂，因此紀錄只分採粉蜂與寄生蜂(如表二)，發現D期的小蜂數最多占總數的78%，其次是E期的20%，A到C期則最少只占2%。在D期榕果小蜂中採粉蜂占40%，而E期榕果中採粉蜂和寄生蜂差別不大(4:5)，應該是在D期許多採粉蜂已經羽化離開的結果。



圖十三、棲息在榕果內的多樣化生物

我們在榕果中除了看到許多種不同食性的榕小蜂們，還看到榕果內有線蟲、蟎、甲蟲幼蟲、甲蟲、螞蟻、蛆、蠕蟲等各種生物(圖十三)，這小小榕果內的物種多樣性及奇特的食性關係，不斷向我們顯示，榕果對這些棲息在其中的生物們就如同一個小宇宙般的存在。

陸、結論

- 一、榕果分期可以顏色或苞孔的開閉或苞孔的出現來判斷。
- 二、果高與果徑的增加，果腔直徑同步增加使果腔產生空隙，方便小蜂活動。
- 三、外苞片呈現深紫色Y形交叉並上下鬆開，苞孔周圍變黃色使小蜂辨認苞孔位置，苞孔發育過程可決定小蜂進入時機。
- 四、榕果小花獨特排列方式，使雌花柱頭與花藥都向中心生長，蟲瘿花與種子花交錯排列且柱頭皆同一高度，可獲得相同的授粉或產卵機會，雄花長在苞孔周圍且花藥晚成熟，可配合雌採粉蜂羽化離開前的攜粉需求。
- 五、小蜂都有正趨光性，且對成熟榕果都有正趨性。
- 六、成熟葉和幼葉所含葉綠素大於各色榕果。而各色榕果的葉綠素總量相差不大，皆可行光合作用製造供應養分。而類胡蘿蔔素含量反映出榕果壁顏色變化對食果動物的吸引力。
- 七、榕小蜂幼蟲為白色透明，吃榕果或其他小蜂幼蟲發育，形成蟲蛹仍會動，授粉榕小蜂 *Eupristina verticillata* 雌蜂羽化後會採花粉後才飛走。而植食性 *Odontofroggata galili* 小蜂或肉食性 *Philotrypesis* 屬、*Sycophila* 屬、*Sycoscapter* 屬或 *Walkerella microcarpae* 等寄生蜂雌蟲在羽化後交配才飛走(圖十三)。

柒、參考文獻

- 一、Galil, J., & Eisikowitch, D. (1968). On the pollination ecology of *Ficus sycomorus* in east Africa. *Ecology*, 49(2), 259-269.
- 二、Renee M. Borges. (10 August 2021). Interaction between Figs and Gall-inducing Figs Wasps: Adaptations, Constraints, and Unanswered Questions. *Ecol. Evol.* 2023年6月9日，取自：<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.685542>
- 三、曾喜育，歐辰雄，呂福原 (2001). 牛奶榕榕果形態之研究. *臺林業科學*, 16(4), 295-306.
- 四、張雯純，呂福原，何坤益，曾喜育 (2009). 金氏榕之榕果形態構造. *林業研究季刊*, 31(3), 1-16
- 五、徐夙俠，吳寶俊(2021). 蜜蜂眼中的花花世界. 2021年3月第一版160頁
- 六、王振吉，李國昌，彭彥瓊，楊大榮(2012). 兩種雌雄同株榕樹榕果內小蜂空間分布格局. *動物學研究期刊*, 33(2), 182-186
歷屆科展引用：
一、郭琬媛，陳佑竹，周均樺，洪啟豪(1996). 誰是媒婆。第36屆全國中小學科展國小組生物科第三名作品
二、呂依蓉，劉靜，許錦文(2003). 榕樹與榕果小蜂的共生關係。第43屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
三、張育齡，陳詩佳 (2004). 貼近與貼近 之間—菟絲子生長解密。第44屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
四、陳佩蓁，黃文靖，尤昕寧，李珏伶(2009). 黃金海岸正榕生物與環境交互作用。第49屆全國中小學科展高中組生物科第三名作品
五、陳又瑄(2013). 尋找正榕小小蜂。第53屆全國中小學科展國中組生物科第三名作品