

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 生物(生命科學)科

040715

茄苳窗蛾生活史及捲葉行為研究

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：  高二 林勳暉  高二 陳旻恩  高二 吳兆融	指導老師：  鄭雅玲
---	------------------

關鍵詞：茄苳窗蛾、捲葉行為、生活史

## 摘要

茄苳窗蛾(*Microbelia canidentalis*)，屬於鱗翅目完全變態昆蟲，生活史約三個月，幼蟲宿主主要為大戟科的茄苳 (*Bischofia javanica*)；幼蟲各發育階段的掩蔽行為及攝食行為皆有差異性；**捲葉行為共有兩次**，第一次捲葉於三齡幼蟲末期，需時一天，捲葉後開始攝食，當蛻皮為四齡幼蟲後，繼續將葉捲至葉主脈，一週後，進行第二次的捲葉，另形成一較大的葉捲，於其內製作一葉苞，化蛹，羽化。將採集的葉捲經過測量分析，發現葉捲大小雖有所不同，但葉捲長度及切痕長仍有一固定的比例，**約為 1.7**。

捲葉行為的第一個實驗為探討葉片擺放角度對茄苳窗蛾幼蟲捲葉的影響，實驗發現，當葉片擺放角度愈大，葉捲中軸與葉主脈的角度愈小，可能代表的是**重力影響下，幼蟲為了力學平衡，所作的因應**；第二個實驗為葉片形狀對茄苳窗蛾幼蟲捲葉的影響，發現**葉緣缺刻可能為茄苳窗蛾幼蟲捲葉時切入的依據**。

## 壹、 研究動機

茄苳樹是台灣常見的路樹，也是校園裡常見的景觀樹種。在下課時間，不經意的看到茄苳樹上有數個葉捲，這使我們好奇這樣的現象是如何發生的，因此採集一些葉捲，發現有蛾羽化，讓我們深感興趣，於是便開始思考及探討牠們是如何將葉片捲起來？如何挑選牠們合適的葉片？除此之外，我們也想透過飼養茄苳窗蛾及實驗設計的方式，來了解其生活史及捲葉行為；而臺灣素有蝴蝶王國之稱，顯示臺灣鱗翅目昆蟲種類繁多，然而除了蝶類以外，有關蛾類的研究卻少之又少；因此，我們想藉此機會，探討此種蛾類，並對台灣蛾類的研究獻上一份心力。

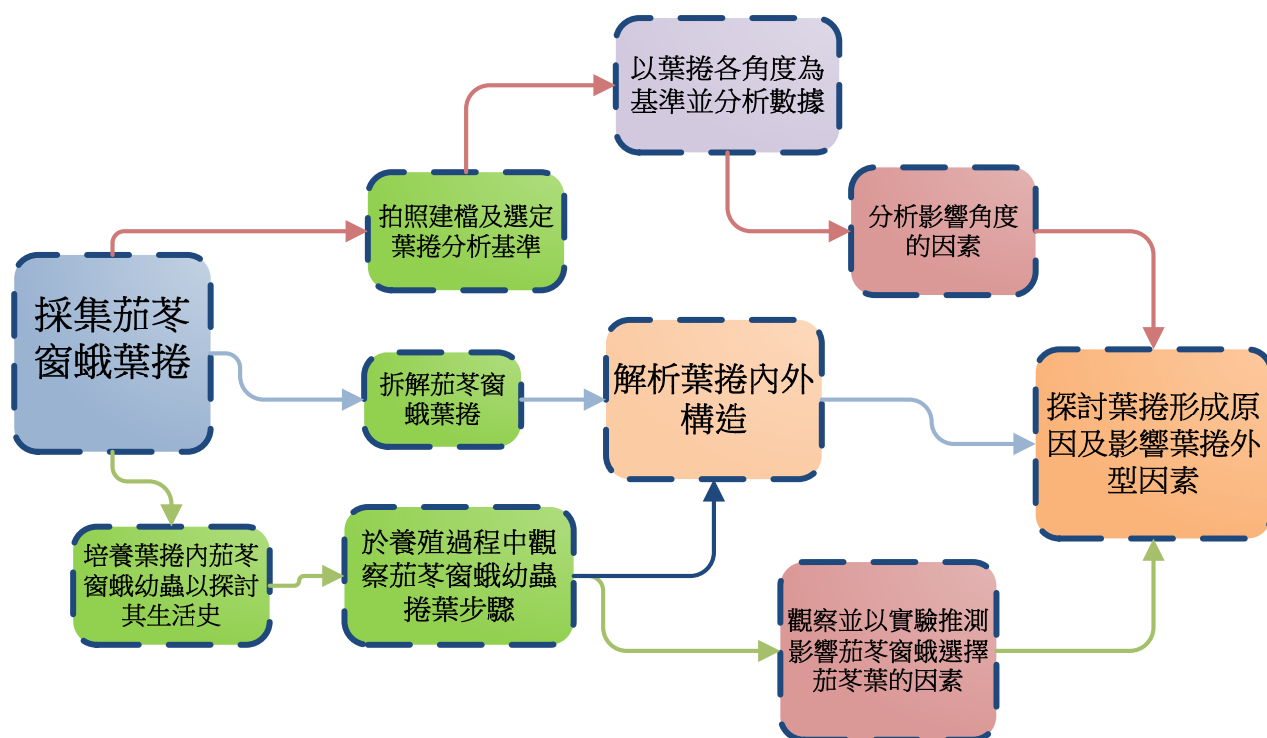
## 貳、 研究目的

- 一、藉由飼養茄苳窗蛾的過程，瞭解茄苳窗蛾的生活史，讓我們了解生命孕育及其所面臨的難題，體會生命的蛻變及成長。
- 二、探討茄苳窗蛾的捲葉行為及葉捲結構，及討論捲葉行為之目的。
- 三、以實地觀察與採集時所觀察到的現象推論出茄苳窗蛾在生態系上的生態區位及與其他生物的相互關係。

### 參、 研究設備及器材

飼養箱	長柄修枝剪	封口袋	棉花	剪刀
游標尺	相機	腳架	解剖式顯微鏡	顯微鏡相機接頭
毛筆	針筒	噴燈	塑膠/玻璃滴管	解剖針
大頭針	滅菌膠帶	培養皿	蝴蝶夾	鐵架
試管	木夾	塑膠網	Geogebra 軟體	

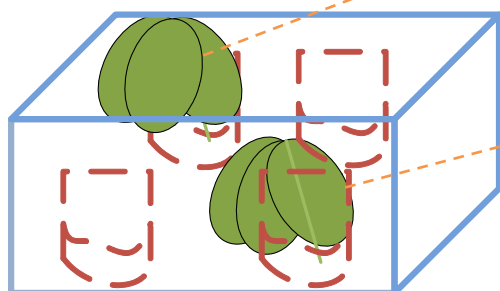
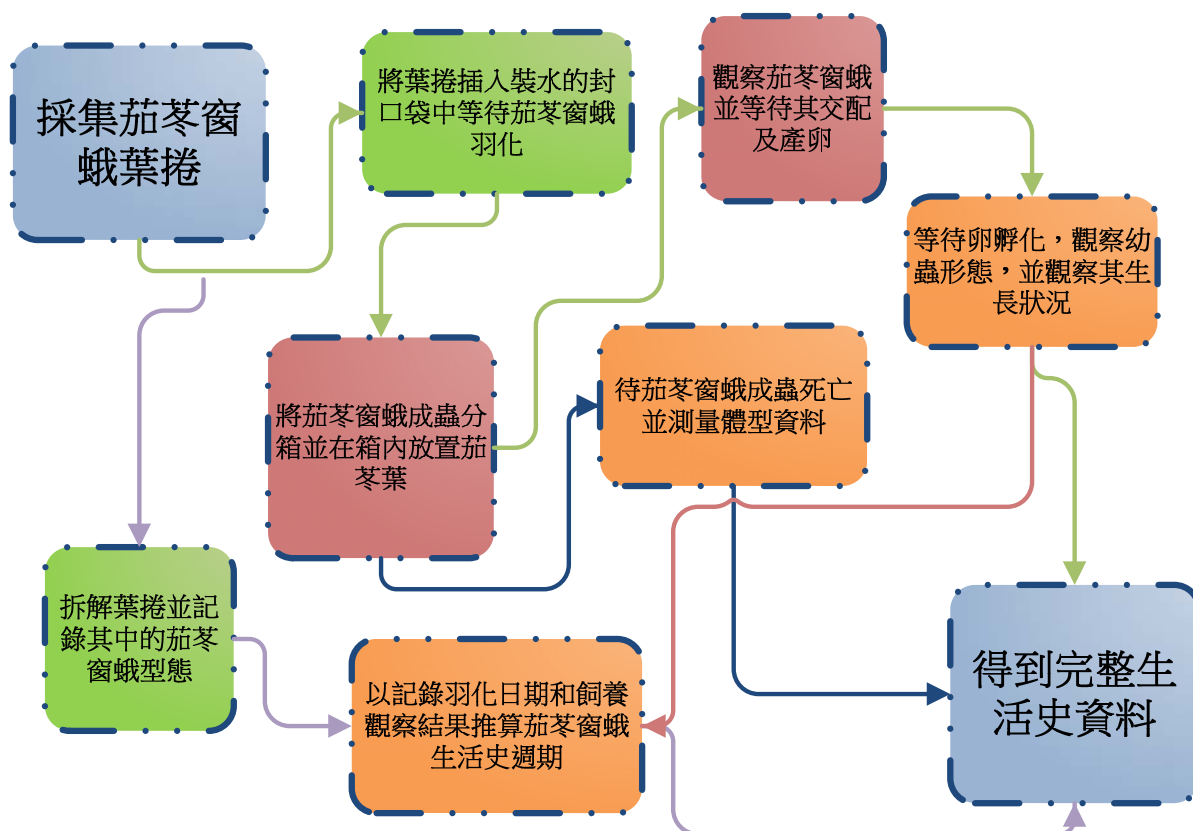
### 肆、 研究過程及方法



茄苳窗蛾來源：本校校園及鄰近學校、公園內

## 伍、 研究內容

### 一、 飼養方法及各實驗相關圖：

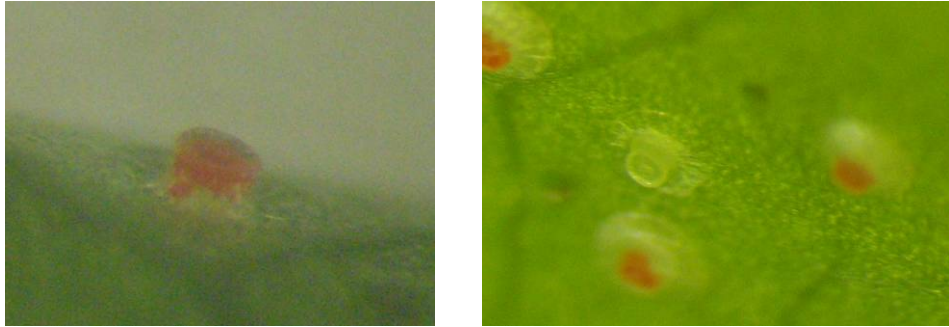


每個封口袋放入一片三出複葉，或一片有葉捲的小葉

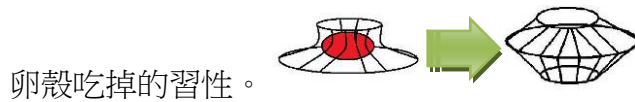
將封口袋黏在飼養箱壁，並在封口袋內加水

(一)、生活史：

1. 卵：



- (1) 形態：成蟲交配後，於葉背產卵，蟲卵零散分布於葉背各處，直徑約為 1mm，肉眼直視呈朱紅色，初步推測為幼蟲本體，以顯微鏡觀察覆有透明無色卵殼，孵化前黏著於葉面，具有固定蟲卵的作用。
- (2) 孵化：約於產卵後約一週孵化，幼蟲將卵殼撐開成飛碟狀上下突起，卵邊緣裂開，幼蟲自裂隙爬出後，隨即覓食，並沒有將




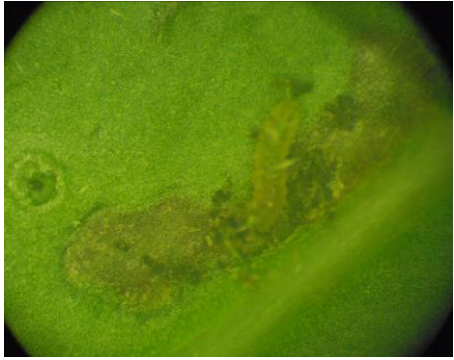



卵殼吃掉的習性。

2. 幼蟲：

由於初生幼蟲十分小，故我們以照片與茄苳葉主脈實際大小比對幼蟲大小，以求得幼蟲實際大小。

幼蟲尺寸算法：以尺量測照片中茄苳葉主脈與幼蟲體寬及體長比例，並乘於平均茄苳葉主脈直徑，約略求得幼蟲體寬及體長，在此假設蟲體為圓柱狀。數據請參見附表

大小(mm)	幼蟲形態	幼蟲行為
寬：0.09mm 長：0.72mm  時間：1/17		初孵化幼蟲，胸腹呈黃綠色，頭部呈黑色，可為觀察依據，背部有一塊紅色斑，可由此推測茄苳窗蛾卵的紅點為幼蟲的一部分。  孵化初期不斷於茄苳葉主脈附近爬行，並無進食的跡象。

		<p>幼蟲通常於主脈旁鑽入，潛入葉中，自下表皮咬一小孔，進入葉肉層取食葉肉，並把糞便由在洞口處，取食時只保留茄苳葉上表皮及下表皮，使茄苳葉呈中空夾層，並只在其間活動及攝食。</p>
<p>時間：1/28 第十八天</p>		<p>此時幼蟲體型較大，仍在茄苳葉中空夾層攝食，但有時會離開到茄苳葉別處於葉脈附近再製造夾層攝食。</p>
<p>寬：0.46mm 長：2.79mm  時間：2/1 第廿一天</p>		<p>幼蟲成長到約 0.4mm 寬時，幼蟲體型更大，下表皮被撐開，致使幼蟲不在夾層內，攝食葉片時，直接以下表皮及葉肉取食，並保留上表皮，作為掩護。</p>
		<p>為了彌補下表皮被啃食，幼蟲會將絲黏著於幼蟲取食的坑洞最邊緣的下表皮上，並將其糞便黏著於絲線上，作為掩護，並在其間攝食。</p>
<p>寬：0.59mm 長：3.11mm  時間:：2/9 第廿八天</p>		<p>幼蟲此時的體型更大，到處爬行，已不像前期於坑道內攝食，而是到處爬行以尋找適當的葉肉取食。</p>

		<p>此時幼蟲刮食葉面下表皮及葉肉，使葉表皮呈現白綠色的取食痕跡。</p>
<p>時間：2/16 第三十三天</p>		<p>此時幼蟲會爬到適當處，不論上下表皮，如上圖，爬到葉緣向下表皮彎曲處，或下圖主脈處，在定點啃食葉表皮及部分葉肉，並保留幼蟲的腹面茄苳葉表皮及部分葉肉。</p> <p>幼蟲背面以絲線將部分坑道覆蓋，在坑道內攝食，並且逐漸啃食週遭葉肉組織。</p>
<p>時間：2/21 第四十天</p>		<p>幼蟲爬行到茄苳葉邊緣，開始捲葉。</p>

3. 葉捲：



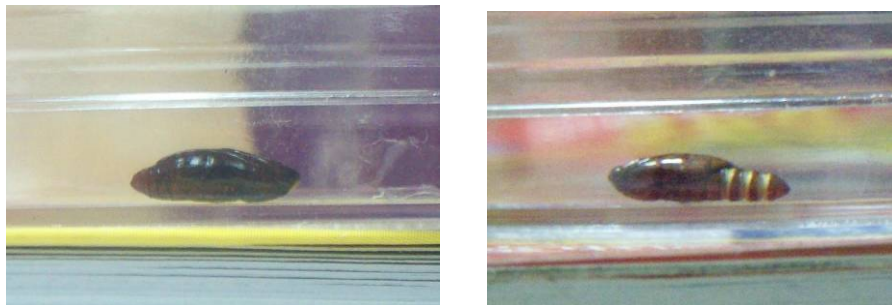
- (1)葉捲分布位置：茄苳樹上各處隨機分佈，主要於樹的最外層葉片，陽光容易照射的位置，葉捲有時會於茄苳樹任意區塊集中出現，可能與羽化及交配有關聯。
- (2)葉捲型態：茄苳窗蛾幼蟲主要選擇長約十五公分的茄苳葉片來製作葉捲，少部分選擇小於十公分的嫩葉，正旋與逆旋隨機出現，皆自下表皮向上表皮捲，無封口，由於捲葉時幼蟲攝食加上重量集中於葉捲，造成葉捲大部分朝下；推測開口朝下可能能夠讓雨水不致流入葉捲。

#### 4. 蛹、繭：



- (1)繭的形態：包覆於葉捲最內層小葉苞，葉苞內襯為白絲，形成封閉空間，對外端有一窄縫，茄苳窗蛾羽化後自此窄縫爬出。
- (2)蛹的形態：約為 6 毫米至 7 毫米，幼蟲初化蛹時為乳黃色，後漸漸轉身為紅褐色，最後變成深咖啡色，可些微觀察到黑色複眼及頭胸腹等外部型態。

#### 5. 羽化：



- (1)脫蛹：接近羽化前，蛹腹部伸展，呈現褐白間隔；自蛹的頭部開始，蛹殼僅頭部縱向裂開，短時間內掙出蛹殼，並滴出幾滴液體，初羽化成蟲翅膀皺縮且柔軟，是為了掙脫最內層葉苞的對外唯一的窄縫。



(2)展翅：於展翅過程中，成蟲滴出數滴混濁液體。翅膀由皺縮慢慢伸展，翅膀平整後，左右翼豎起，連帶口器伸展，待一段時間後，攤平，形成平常棲息的姿態。

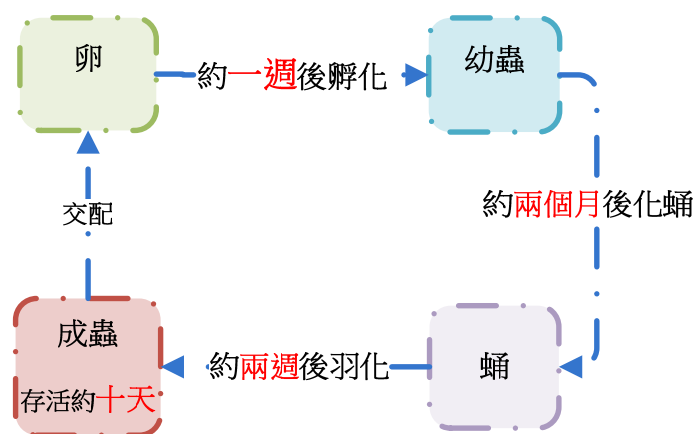


#### 6. 成蟲：



茄苳窗蛾成蟲頭黃褐色，翅面黃褐色，前翅前緣有數枚灰黑色斑，自翅基往外逐漸增大，翅面亦有多枚不規則淺灰黑色斑；後翅有三道平行之灰黑色帶

#### (二)、生活史週期時間推導：



至 12/29，我們的茄苳窗蛾葉捲採集了約校內數量的八成，由於為羽化季的晚期，接著數週都無未羽化的葉捲可採；而於 2/18，我們已採集了數個葉捲，發現其中有初化蛹的茄苳窗蛾幼蟲，蛹外觀呈乳黃色，因此我們可以約略推測：

自 12 月底至三月中約為茄苳窗蛾幼蟲羽化的其中一季，其間經歷了所有幼蟲的生長程序，而於 1/17，我們飼養的第二批卵已孵化約一週，而到 2/28 已捲至第二階段的葉捲，因此，我們得以推論茄苳窗蛾的生長季一年含有三季，每季約三至四個月。

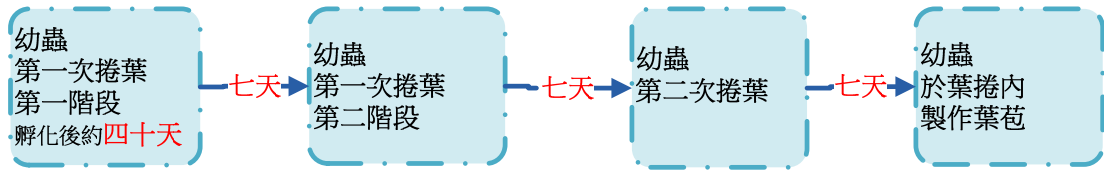
### (三)、捲葉行為與步驟

茄苳窗蛾幼蟲捲葉分為兩次，並在各次的葉捲內蛻皮，蛻皮後繼續行捲葉及攝食。茄苳窗蛾在捲葉的過程中，會吐出絲以固定葉捲。幼蟲一生中有兩個葉捲，第一個葉捲呈長筒狀，兩層，各層間幾乎無間隙；第二個葉捲通常呈圓錐狀，有少部分短筒狀，三層，最外層及中層有明顯間隔，最內層為製作葉苞用。

時間		茄苳窗蛾幼蟲行為及葉捲各時期外觀
2/21 第一次捲葉 第一天 第一小時 第一階段		幼蟲自葉緣開始切割葉片，啃咬一段距離後，便以絲線將葉面黏著，接著逐漸將黏著的絲線長度慢慢減短，並且將大部分絲線黏著在切口前端。
第三小時		剛開始吐出的絲和葉片切口平行，此時絲密度較稀疏，接著茄苳窗蛾會將其吐出的絲以垂直葉面的方式加密，使葉捲穩固，並將葉捲逐漸固定、成形。
第四小時		在這段時間中，茄苳窗蛾幼蟲不斷進行上述動作，等到切割約 12.25mm~17.9mm 時，便停止捲葉，在內以茄苳葉取食，停止捲葉約一週，並在葉背留一小孔以待第二階段的捲葉。

<p>2X27</p> <p>第二階段</p> <p>第七天</p>		<p>幼蟲自下端小孔出來，並且自此一小孔裁切葉片，並且吐絲，並將絲加密成束，將葉捲拉向葉面後，下端開口處自內部以絲線黏緊，並在此一葉捲內棲息，以其內的茄苳葉為食。</p> <p>完成後的葉捲為直筒狀，直徑平均約為 5mm，封閉處朝葉柄方向，且葉捲縱軸與主脈平行，葉捲各層間幾乎無間隙。</p>
<p>3V5</p> <p>第二次捲葉</p> <p>第十五天</p> <p>再一週後於內部製作葉苞</p> <p>再一週後化蛹</p>		<p>第一個葉捲完成後約兩週，由於葉捲已被幼蟲攝食，且為了製作葉苞，幼蟲會自先前的葉捲爬出，製作第二個葉捲。</p> <p>第二個葉捲呈漏斗狀，通常葉捲與主脈長度比較第二階段的葉捲來得大，各層間間隙明顯。</p> <p>最內層形成一葉苞，為進行化蛹的蛹室。</p>

捲葉步驟及時間推導：



#### (四)、葉捲結構：

我們將葉捲分為外、中、內層，各部分以多束的加厚加粗絲線拉扯，支撐，並且成為一基部封閉、末端無封閉的錐狀或筒狀結構。旋轉方向順時鐘與逆時鐘隨機發生。

	圖片	
最外層		<p>圖片中為葉苞(見”內層葉苞”)的圓形端。由於葉肉被幼蟲所攝食，維管束被切斷，導致其周圍葉肉壞死，而幼蟲切割葉片時，切至主脈即停止，推測是為了保持葉片活性。</p> <p>主葉脈通常被彎曲成弧狀，並且在葉捲基部以三股成束的絲線黏著，自葉捲基部拉扯以達到形成葉捲及基部封閉的作用。</p> <p>葉捲內部總共以六大束絲線支撐，每三束為一階段葉捲之支撐部分，並且自葉捲基部一點放出三點以支撐。</p>

中層

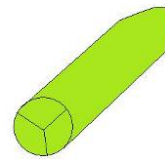


中層葉捲圈數由一圈至三圈不等，並不規則，而與切痕長度有關。

此階段的捲葉可見幼蟲吐出的絲支撐著葉捲，並將之拉向葉面，形成葉捲

此層由於葉捲尚未完成，而由於幼蟲將基部收口的關係，第二段葉捲基部呈扁平狀，幼蟲在其內棲息並以茄苳葉攝食。

內層葉苞



葉捲最內層為桶

狀，並且密封，一端為扁平，而另一端為圓形，並且切割為三面小片，以絲線黏著為三角椎；葉苞內襯以絲線覆蓋，推測具有撥水功能。

扁平端朝葉捲開口，茄苳窗蛾羽化後自扁平端爬出；圓形端為封閉處，但由於葉苞於最內部，不易觀察，故葉苞形成步驟有待觀察。

葉捲展開圖:



將葉捲展開攤平後，會發現切痕約呈一直線，但卻有一大塊不規則缺口，但在實際飼養時，卻沒有發現茄苳窗蛾幼蟲有切割出如此大的區塊；因此，我們推測：

幼蟲捲葉時，仍沿著原本的切割路線進行捲葉，但由於幼蟲同時攝食葉捲內的葉片，且幼蟲以成束的絲線將葉捲固定並拉向葉面後，造成葉捲主脈角度慢慢偏離，使最後與原本主脈具有一夾角；而此缺空區塊即為茄苳窗蛾幼蟲在捲葉過程中攝食所造成。

#### (五)、茄苳窗蛾於生態系上之生態區位:



圓圈處為蜘蛛空巢。

一般鱗翅目幼蟲多為初級消費者，通常被鳥類所取食。而茄苳窗蛾亦不例外。在我們進行實地訪查時，茄苳窗蛾葉捲內常有各種蜘蛛棲息於茄苳窗蛾葉捲開口，而有時在廢棄的茄苳窗蛾葉捲內，亦有茄苳斑蛾在葉捲圓筒內結繭。所以我們推測，茄苳窗蛾幼蟲製造的葉捲除了保護自身化蛹外，亦有供給其他小型節肢動物棲息處所的功能。



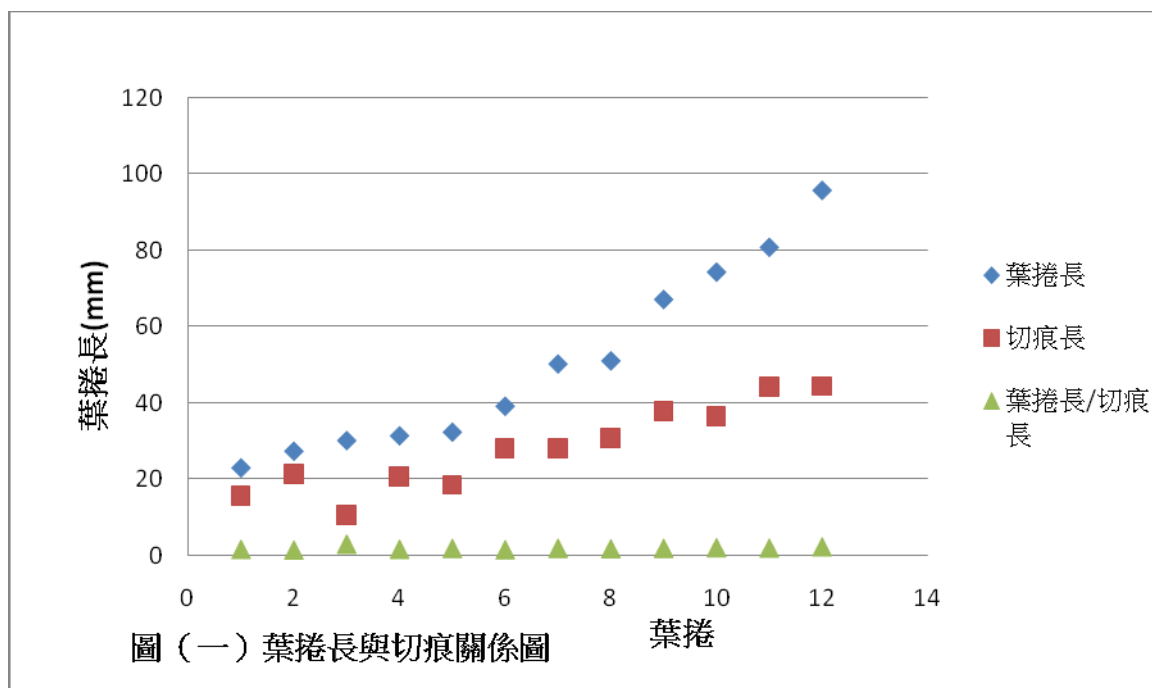
在拆開的實驗組及自然採集的葉捲內，有時會發現白色小繭，長約 6 毫米，而在取出後放置數日，會發現有膜翅目成蟲羽化，目前推測可能為蜂類，但在實驗時卻無發現除了茄苳窗蛾幼蟲以外的昆蟲進入葉捲中。

## 陸、 實驗

### 一、 測量茄苳窗蛾葉捲尺寸：

表一：葉捲尺寸表

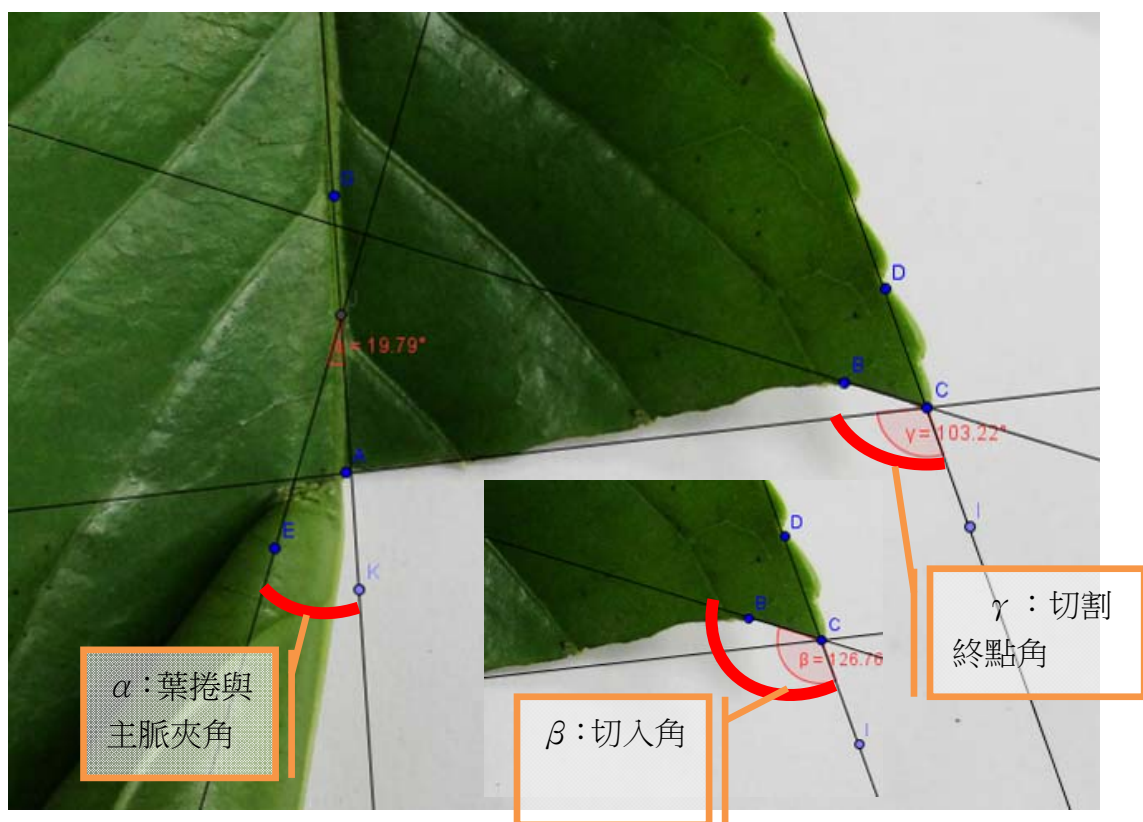
葉捲長 單位(mm)	切痕長	葉捲長/切痕 長	內葉苞長	初期切痕長
74.07	36.52	1.96		
80.64	44.14	1.83		
31.31	20.68	1.51		
22.83	15.73	1.46		
95.47	44.36	2.15	20.54	
67.04	37.74	1.78	16.33	17.91
32.18	18.48	1.74	18.58	
39.03	28.21	1.39	12.63	
30.06	10.53	2.86	12.72	
27.25	21.33	1.28	11.11	
50.93	30.72	1.66		12.34
50.12	28.04	1.78		



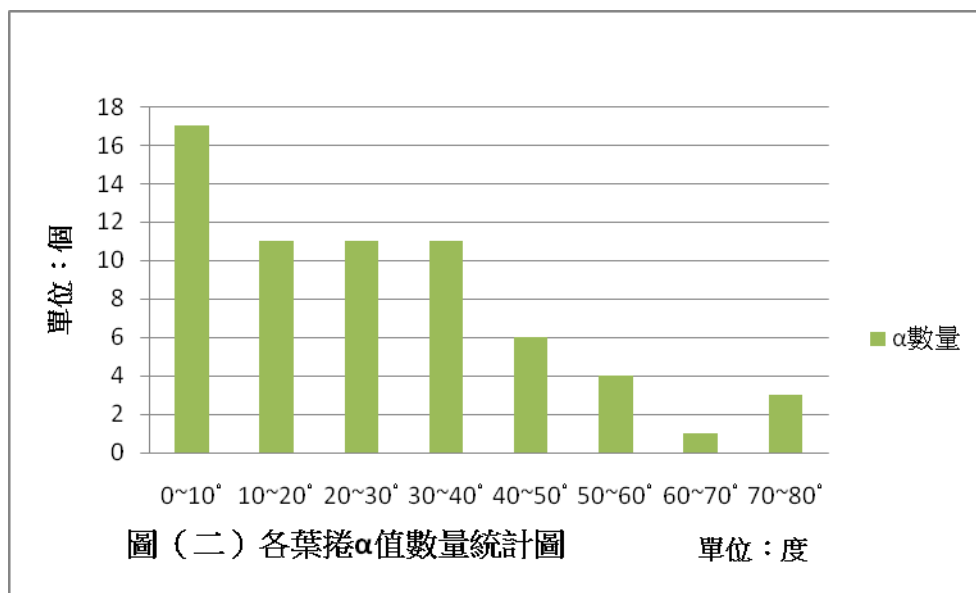
葉捲大小呈不規律，但葉捲與切痕的比例較相對固定。平均葉捲長/切痕長約為 1.7，由於部分採集葉捲內部葉苞已被破壞，部份數據缺乏，但根據測量結果，平均為 15mm 長，半徑皆相等；初期切痕為茄苳窗蛾幼蟲第一階段葉捲的切痕長。

## 二、茄苳窗蛾葉捲角度測量

目的：採集葉捲時，我們可以觀察到每個葉捲角度皆有些微差異，因此我們將近期採集的葉捲以 GeoGebra 作角度的分析。

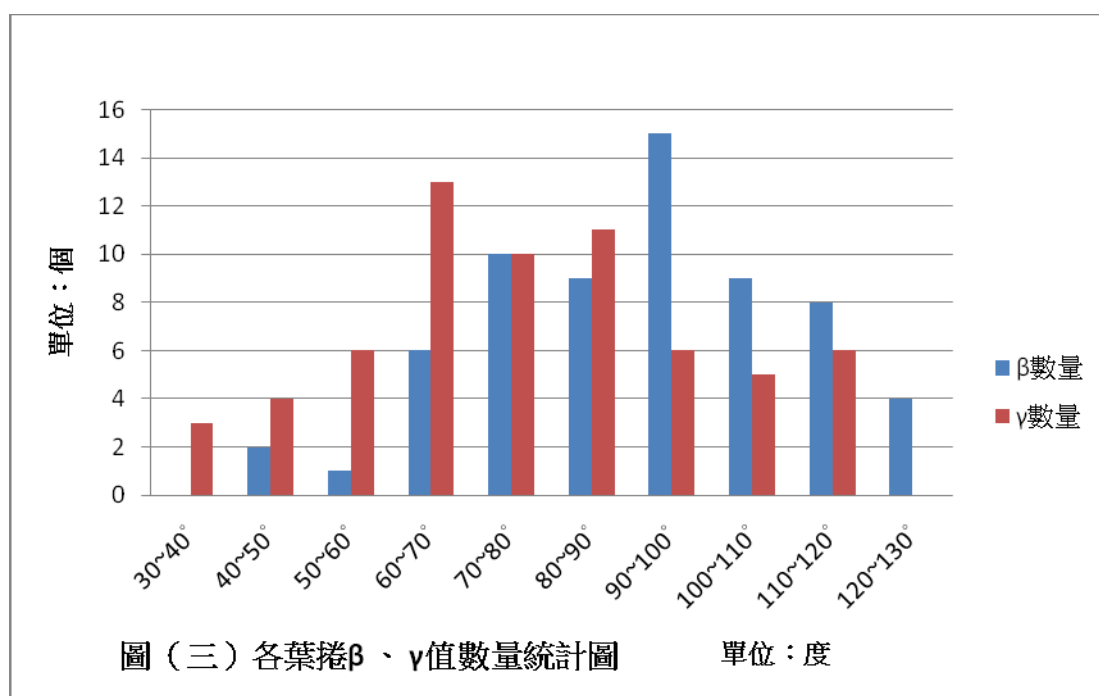


共 64 個葉捲分析



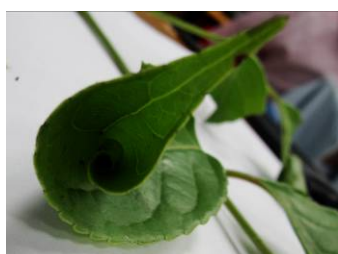
根據數據，葉捲與主脈夾角大多集中於 0 至 40 度，而葉捲與主脈具夾角的原因推測為幼蟲捲葉時，最後會將基部向主脈周圍以絲收口，而在收口時，絲線將葉捲拉扯角度不同所導致，而角度不同的關鍵我們推測在於絲量的不同，如絲量愈多，角度愈大。





經過量測，我們可以發現茄苳窗蛾葉捲的切入角大多與葉緣垂直，並且切入時與終點呈 60 到 90 度角居多，而  $\beta$ （切入角）皆大於  $\gamma$ （切割終點角）這顯示，茄苳窗蛾捲葉時，傾向於朝末梢切割，而非朝向葉柄，我們推測：幼蟲在捲葉時，由於頭部左右擺動啃食葉片，且受重力關係，導致蟲體緩緩下滑，使的  $\beta$ （切入角）皆大於  $\gamma$ （切割終點角）。

## 二、茄苳窗蛾葉捲正旋及逆旋統計



正旋



逆旋

表二：葉捲正旋及逆旋統計表

旋轉方式	正旋	逆旋
數量	34	40

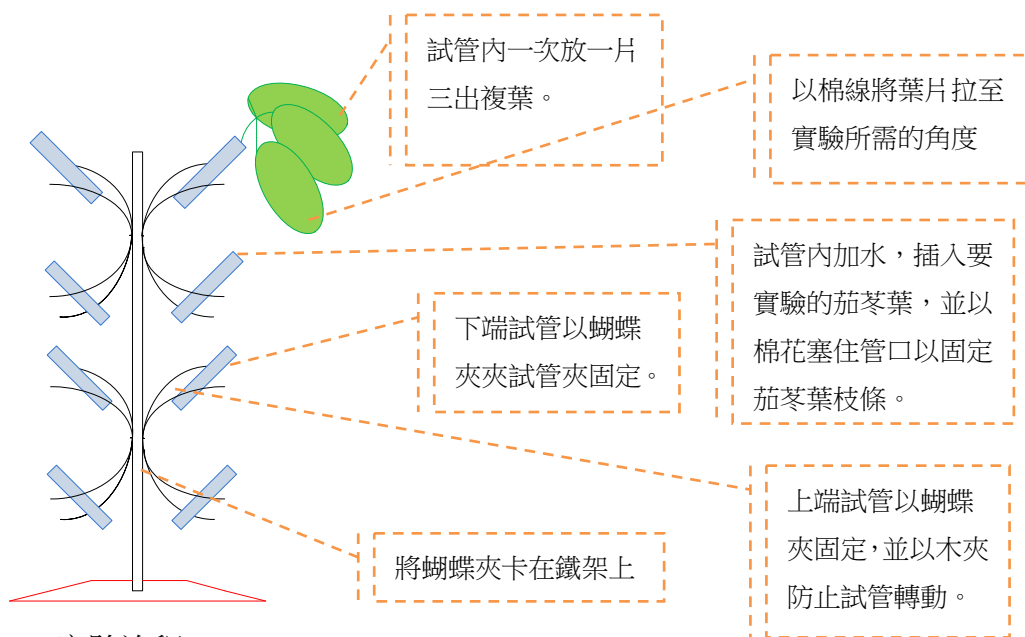
### (二)、實驗一：探討茄苳葉角度對茄苳窗蛾幼蟲捲葉的影響

於實驗二中，我們將茄苳葉以各種角度擺放，並將採集到的茄苳窗蛾幼蟲放置在茄苳葉上，以探討葉子角度對幼蟲捲葉行為的影響

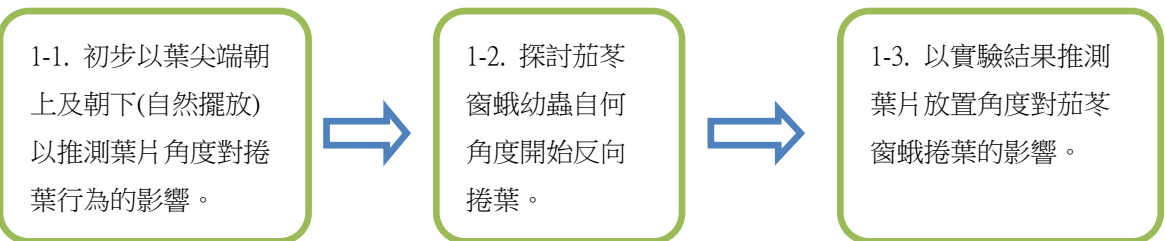
## 1. 實驗裝置：



(俯視圖)



## 2. 實驗流程：



1-1. 茄苳葉尖端朝上及自然擺放，將茄苳窗蛾幼蟲放在中間的葉片上，觀察捲葉過程及靜置一天等待其捲葉結果。

1-2. 將茄苳葉對照組(自然擺放)，及自水平向上  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 擺放各作四組實驗組，將幼蟲擺放在中間的茄苳葉上後，觀察一開始的捲葉過程，並靜置一天等待捲葉結果。

### (三)、實驗二：探討茄苳葉形狀對茄苳窗蛾幼蟲捲葉之影響

於實驗三中，我們將茄苳葉剪成不同的形狀，並將茄苳窗蛾幼蟲放置於茄苳葉上，觀察茄苳窗蛾幼蟲初步捲葉，再靜置至隔天，以探討葉片形狀對幼蟲捲葉行為的影響。

## 1. 葉片形狀：



中間為長條狀



三片皆為菱形



將葉緣缺刻處剪成平滑

## 四、實驗結果

### (一)、實驗一

#### 實驗結果：

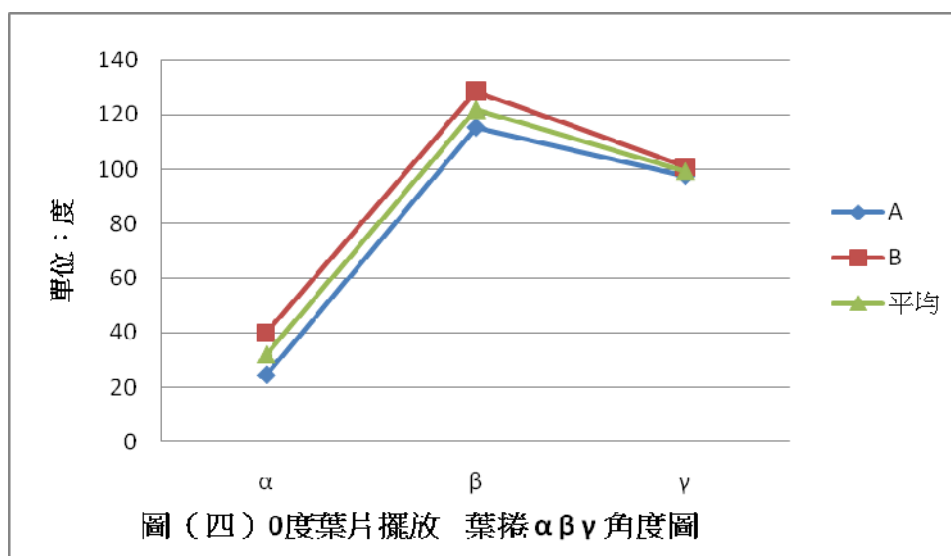
##### 1-1：

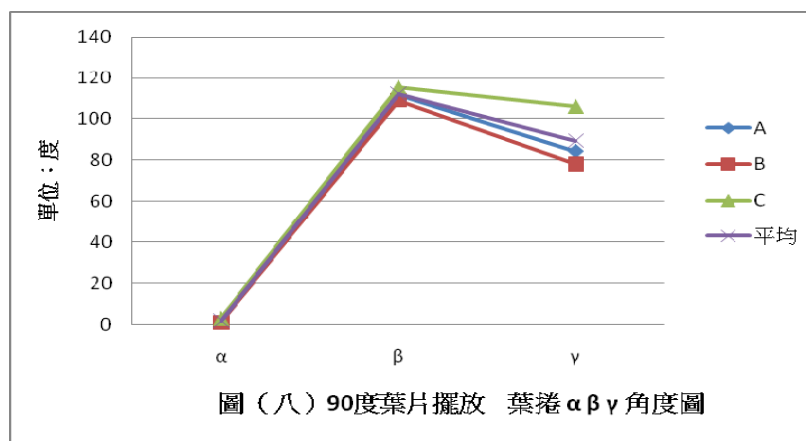
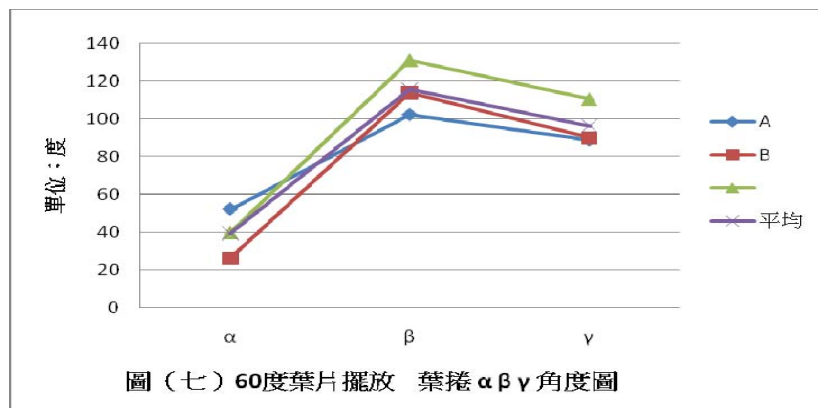
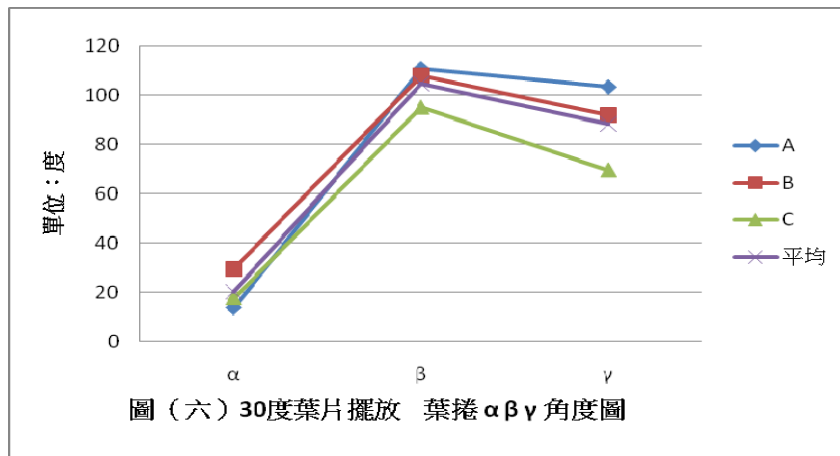
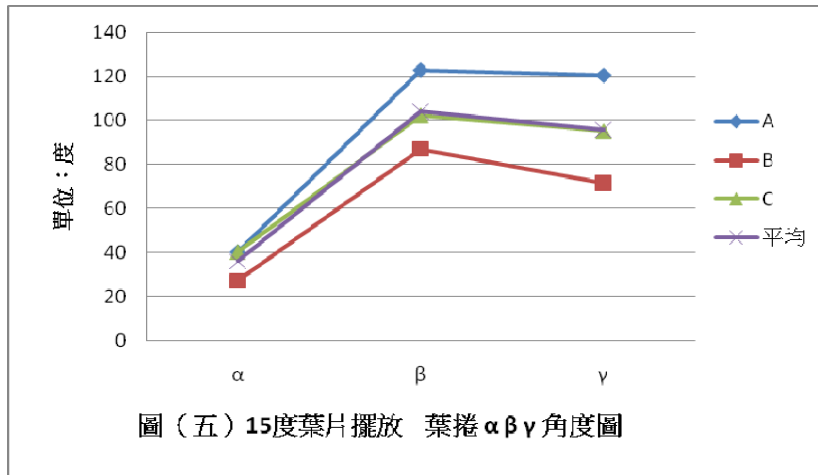


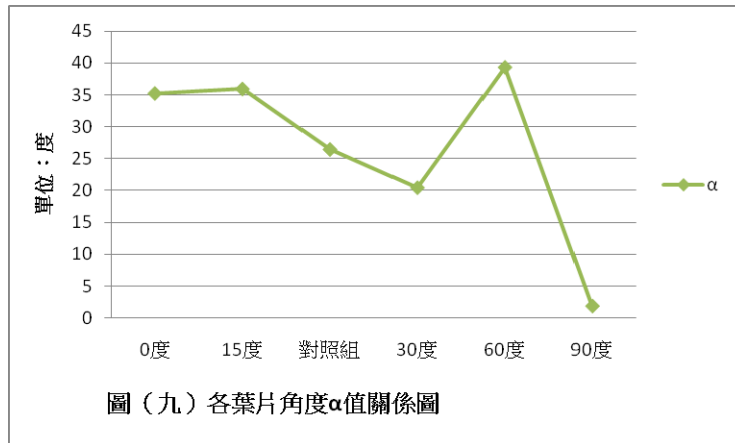
對照組正常捲葉，而實驗組捲葉步驟仍正常，但完成後之**葉捲方向完全顛倒**，且開口朝向葉柄。

##### 1-2：

$\alpha$ ：葉捲與主脈夾角、 $\beta$ ：切入角、 $\gamma$ ：切割終點角

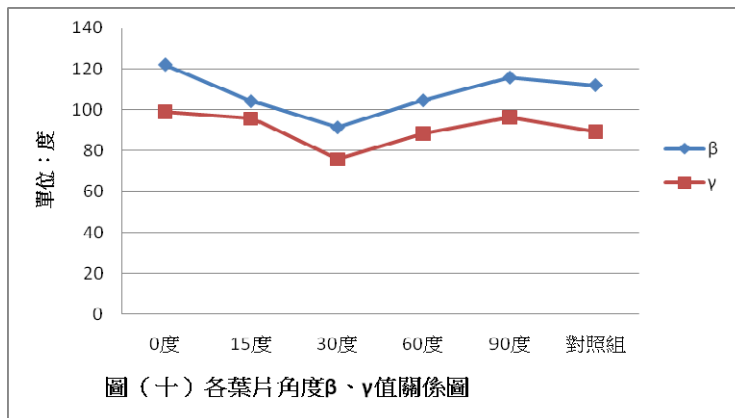






表三：各實驗所得角度平均表

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
0度	35.2	121.9	99.1
15度	35.9	104.2	95.7
30度	20.4	104.6	88.3
60度	39.3	115.7	96.3
90度	1.8	112.0	89.4
對照組	26.4	91.4	75.8



在實驗過程中，有些幼蟲無法捲葉，且各實驗組皆有差異太大之葉捲，故將部分數據剔除；我們觀察到，在茄苳葉的角度於 $0^\circ$ 及 $15^\circ$ 時，有茄苳窗蛾幼蟲無法形成葉捲，因此我們推測過平的角度可能會對茄苳窗蛾幼蟲的捲葉行為造成影響；而在 $90^\circ$ 時，卻發現葉捲並無像 2-1 中的實驗那樣捲出顛倒的捲，但數據經整理後，發現，當擺放角度愈大時，其葉捲與葉主脈夾角愈小：這或許代表著，當角度愈大時，捲葉時所需的絲線愈多。

(二)、

實驗二

實驗結果：

1. 長條狀：





長條狀葉片實驗組之幼蟲大多直接在中央的長條狀葉片行捲葉行為，而形成的葉捲較不似一般的葉捲，而類似葉苞的形狀圖 1、3 即為此例。而圖 2 的幼蟲卻在切割到半途，即停止切割葉片並爬行到葉條末梢；圖 4 之幼蟲則爬行至另一葉片進行捲葉，而葉捲形狀如同正常葉捲。

## 2. 菱形：



菱形葉實驗組之幼蟲皆會行正常捲葉行為。

## 3. 葉緣平滑：



薊馬葉捲



葉緣平滑實驗組之茄苳窗蛾幼蟲形成葉捲時，圖一之幼蟲行正常捲葉，但大多無切割葉片之行為，僅用絲將葉片黏合成葉捲，如同薊馬的葉捲般，呈現捲曲。

## 五、實驗方法改進

茄苳葉插枝及成蟲養殖方法：

	
<p>舊飼養裝置缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 空間過於狹窄，且不易整理。</li><li>2. 由於封口袋以膠帶黏著在昆蟲箱壁上，而內部裝水，容易使膠帶失去黏性，造成封口袋脫落，而水也易流出。</li><li>3. 由於封口袋有縫隙，茄苳窗蛾易飛入而造成溺斃。</li></ol>	<p>新飼養裝置優點：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 空間較寬敞，而易於整理</li><li>2. 以保麗龍杯盛裝水，並將茄苳葉枝條插入保麗龍杯，水不易流出；且可加蓋，以防止茄苳窗蛾成蟲飛入。</li><li>3. 有蓋子可放置水果，予茄苳窗蛾取食。</li></ol>

## 柒、 延伸討論

- 一、 **捲葉行為**：茄苳窗蛾捲葉時，並非單純的捲葉，而是同時進行攝食活動，並佐以加粗加密的絲線固定，但由於最後存活的樣本數過少（只有一隻），且在飼養箱內，空間較小，較無陽光及其他容易影響昆蟲行為的因素存在，葉捲可能較不容易形成如一般我們在茄苳樹上所觀察到的葉捲。捲葉時，幼蟲不會完全固定在內，且一受到擾動，便縮回葉捲內其所能隱蔽的空間中，而捲葉分成兩次：先捲出一小捲，並且在其中棲息約兩週後，才開始進行第二次較大葉捲的捲葉，最後在最內部製造一約 10 到 20mm 長的葉苞，形狀略像粽子，一端為三角形，另一端為扁平，並切與弧口，在其內結繭，化蛹。
- 二、 **葉捲拆解**：我們將葉捲展開攤平後，會發現一大塊不規則缺口，但在我們實際飼養時，卻沒有發現茄苳窗蛾幼蟲有切割出如此大的區塊。我們推測：幼蟲捲葉時，仍沿著原本的切割路線進行捲葉，但由於幼蟲同時也攝食葉捲內的葉片，且幼蟲以加密加粗的絲線將葉捲固定並拉向葉面之後，造成葉捲主脈角度慢慢偏離，致使最後與原本主脈具有一夾角；而此缺空區塊即為茄苳窗蛾幼蟲在捲葉過程中所攝食的。
- 三、 **測量一**：於測量一中，我們發現葉捲各部位的長度數據十分的不規律，但數據經過整理後，仍可發現葉捲長度與切痕長比例約為 1.7，在經過更進一步的觀察葉捲後，發現葉捲角度的重要性不亞於長度，因此我們增

加茄苳窗蛾葉捲各重點角度測量，以求得茄苳窗蛾各重點角度。根據測量及統計的結果，發現茄苳窗蛾幼蟲葉捲各角度有其較集中的數據， $\alpha$ （葉捲與主脈夾角）主要集中於 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，而 $\beta$ （切入角）及 $\gamma$ （切割終點角）之數據則呈現如同**常態分布曲線**般的圖形，但 $\gamma$ 之高點較 $\beta$ 之高點小的原因是由於測量所取的角度是根據茄苳窗蛾捲葉步驟來測量，即 $\beta$ 較 $\gamma$ 早形成，而當茄苳窗蛾幼蟲**捲葉時，傾向於朝茄苳葉葉柄切割**，但重力對茄苳窗蛾幼蟲作用且葉面光滑使茄苳窗蛾幼蟲在捲葉途中於葉捲內緩升緩降，而重力作用較大，使 $\beta$ （切入角）皆大於 $\gamma$ （切割終點角）。

四、**實驗一**：於實驗一 1-1 中，我們初步以葉片正常下垂(對照組)及葉片上揚來了解茄苳窗蛾幼蟲在茄苳葉於異常情況中所作的因應；在對照組中，茄苳窗蛾幼蟲行正常捲葉，即頭部朝上捲葉，並無任何異狀。於實驗組中，茄苳窗蛾幼蟲仍行正常捲葉，但由於葉片朝上，而同時茄苳窗蛾頭部仍朝上，造成**葉捲開口朝向葉柄**，非葉片尖端，但似乎對此幼蟲之生長並無太大影響。於是我們設計以各種角度來測試茄苳窗蛾幼蟲於茄苳葉上揚至何種角度才會認為此茄苳葉為一般正常下垂之茄苳葉，因此我們自 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $75^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 各角度各以四隻茄苳窗蛾幼蟲作實驗，將其放置在不同角度的茄苳葉上進行捲葉，實驗結果顯示，各種角度所形成之葉捲似乎有其規律性，如 $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 之實驗組， $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 之實驗組的 $\alpha$   $\beta$  線段較 $90^{\circ}$ 之實驗組平滑，而圖形顯示，似乎於角度愈大時， $\alpha$  角便愈小，及葉捲愈傾向於與主脈平行；但於所有的茄苳窗蛾捲完葉後，各實驗組中卻**沒有任何一組呈現如實驗 1-1 一樣的實驗結果**，也就是說沒有葉捲開口是朝向葉柄的；我們推測，或許是由於擺放的茄苳窗蛾幼蟲發育程度不同，造成行捲葉行為時有些許差異，而且實驗的組數也稍嫌過少(四組)，也可能是原因之一。

五、**實驗二**：以經裁切過形狀相異的葉片，測試茄苳窗蛾對於不同形狀茄苳葉的因應方法。我們分別以：將中間葉片切割成長條狀、將三片葉片剪成菱形，及將葉緣剪為平滑三種裁剪方式。於長條狀及菱形實驗組，可以看出茄苳窗蛾幼蟲大多行正常的切割葉片及捲葉，其中長條組由於葉片過於狹窄，無法形成捲筒狀以保護幼蟲的葉捲，反而是形成**類似於葉苞**的結構，但其中的幼蟲非終齡幼蟲，且體型小的多，推測或許是由於葉片過於狹窄，造成幼蟲不易將葉片捲起，且主脈附近的**葉面可能也較厚**，造成葉片不易塑型，使幼蟲只能以**折疊**的方式形成所謂的葉捲。於葉緣平滑的實驗組，我們發現，茄苳窗蛾幼蟲捲葉時，幾乎不再切割葉片，只於葉緣做成一非常小的圓筒狀葉捲，如同**薊馬的葉捲**般，而內部仍以絲線拉扯支撐其葉捲結構。造成此現象的原因我們推測，由於茄苳葉葉緣皆有缺刻，而**缺刻為茄苳窗蛾判定捲葉時切入點的依據**，若無缺刻，則茄苳窗蛾幼蟲可能認為此葉片已切割過，便不再切割此葉片，僅



用絲線拉扯葉片形成圓筒狀。而菱形及直條之實驗組仍得以形成葉捲之原因是，當我們裁剪葉片時，由於菱形及長條葉片邊緣離主脈較近，而離主脈愈近，則葉脈半徑愈大，造成茄苳葉葉脈處有些許下陷，而幼蟲亦認為此下陷為葉緣缺刻，故直接於下陷處附近捲葉，但其中葉緣平滑實驗組的圖一卻仍正常地行捲葉行為，可能是於實驗前，裁切的葉片葉緣不夠平滑所導致。

- 六、**生態觀察**：在實地採集及展開茄苳窗蛾葉捲時，會看到廢棄的葉捲內部已脫落，形成中空的圓筒；而有時會看到蜘蛛在葉捲開口處築囊狀的巢，亦會看到有茄苳班蛾幼蟲在廢棄的茄苳窗蛾葉捲中空處結繭，因此我們推測，茄苳窗蛾除了為最基礎的第一級消費者而被捕食外，同時其廢棄的葉捲也具有供給部分茄苳樹上的小型節肢動物棲所的功用。在冬季時，部分茄苳樹會落葉，並且長出新葉，使部分已孵化幼蟲被迫遷徙，或者隨著葉子掉落，而死亡。在拆開的實驗組葉捲內，有時會發現白色小繭，長約 6 毫米，而在取出後放置數日，會發現有膜翅目成蟲羽化，目前推測可能為蜂類，但在實驗時卻無發現除了茄苳窗蛾幼蟲以外的昆蟲進入葉捲中。
- 七、**飼養問題**：將葉捲枝條剪去無葉捲的葉片後，放入裝水及棉花的封口袋維持茄苳葉新鮮，待茄苳窗蛾羽化。在飼養茄苳窗蛾的過程中，由於茄苳葉插於水中，保持新鮮平均為兩週，而此段時間內幼蟲尺寸過小，且幼蟲行潛葉攝食，導致無法移箱及分箱。而有一枝條保持新鮮超過三週，在這段時間內，幼蟲攝食方式已改為於葉下表皮表面刮食葉下表皮及部分葉肉為食，並不潛葉，才能以毛筆移箱，並將茄苳窗蛾幼蟲移至更新鮮的葉片。
- 八、**飼養觀察**：飼養茄苳窗蛾的過程中，將該週羽化的茄苳窗蛾成蟲分箱，由於茄苳窗蛾雌雄型態差異極小，將之隨機分箱，並嘗試使之交配，故有些蟲箱並沒有蟲卵產生，我們推測可能是性別比例過低所致；蟲卵形態肉眼直視容易發現。但初生幼蟲體型十分微小，使觀察及分箱極為不易，而其黑色頭部為主要判斷茄苳葉有無幼蟲的特徵；而在初齡幼蟲取食時，會爬行至主脈旁，並鑽入葉肉行潛葉行為，這使茄苳窗蛾幼蟲不易觀察，幼蟲以葉肉組織為食，並保留上下表皮，掩護自身。待到成長至約 3mm 長後，便移出坑道，啃食葉肉，但只保留上表皮，為彌補下表皮被幼蟲啃食而無法供給保護作用的缺點，幼蟲會於覓食處附近覆以些微絲線，並將排遺黏著於絲線上，以達到掩護作用；而達到約 3.11mm 長時，會不斷在葉下表皮爬行，並以下表皮及部分葉肉為食，並沒有將葉肉啃食得很乾淨；留下厚厚一層的葉肉，並且有時只刮取下表皮為食。在接近捲葉的時候，幼蟲會找尋適當的地點，並且啃食葉肉，然後以加厚加密的絲線將其處所覆蓋以保護幼蟲本體。

## 捌、 結論

- 一、 茄苳窗蛾在不同發育時期進行不同的攝食行為：初孵化爬行到主葉脈處潛葉，並不破壞上下表皮，接著破壞下表皮，改以絲線及糞便替代下表皮對幼蟲的保護功用，接著四處爬行，並單純刮取部分葉肉及下表皮為食，接下來爬行到適當地點，並以被啃食後的凹陷處為其處所，以加厚架密的絲線層來保護自身。
- 二、 茄苳窗蛾的捲葉分成兩次：初期微捲曲圓周長約 15 毫米的圓筒，並在其間棲息、攝食，約一週後，開始進行最外部的葉捲結構捲葉，期間，亦以初期切口以上的葉面為食；第二次捲葉時，重複上述步驟，最後在葉捲最內部製造形狀略像粽子的葉苞，一端為三角形，另一端略為扁平，並切與弧口，並在內層鋪以厚絲線作為內襯，最後在期內化蛹。
- 三、 茄苳窗蛾生長週期約為三至四個月，一年約有三季繁殖季。
- 四、 **葉捲長度比切痕長度比例約為 1.7**。而各重點角度  $\alpha$ ：葉捲與主脈夾角主要集中在於  $30^\circ$  以下， $\beta$ ：切入角主要集中在於  $80^\circ \sim 110^\circ$  間， $\gamma$ ：切割終點角主要集中在於  $50^\circ \sim 80^\circ$  之間，而  $\beta$  大於  $\gamma$  推測是由於茄苳窗蛾幼蟲捲葉時造成的。
- 五、 根據討論六及實驗一，**當葉片上揚角度愈大， $\alpha$  值則傾向於越小，即葉捲愈傾向於與主葉脈平行**，於  $90^\circ$  時最為明顯。而  $\beta$  及  $\gamma$  於各葉片上揚角度改變時卻差異不大。而於上揚至  $90^\circ$  之葉片所形成的葉捲，可能會上下顛倒。
- 六、 根據討論七及實驗二，茄苳窗蛾切割葉片形成葉捲時，可能是以**茄苳葉葉緣缺刻作為有無切割之依據**，若無缺刻，則茄苳窗蛾幼蟲及直接以絲將葉緣形成小型如薊馬的葉捲。
- 七、 茄苳窗蛾的葉捲除了保護茄苳窗蛾的羽化外，在廢棄後還可成為蜘蛛的巢，及茄苳斑蛾結繭的庇護所。此外，於茄苳窗蛾實驗完的葉捲中，容易發現有一**小繭**與茄苳窗蛾幼蟲同棲，但原先於拆解葉捲時卻無此小繭，可能茄苳窗蛾有**與其共生的膜翅目昆蟲**。

## 玖、 未來展望

- 一、 以不同成熟度的茄苳葉與不同種類的葉子，測試茄苳窗蛾幼蟲在葉子種類上的適性，及因應不同葉子的捲葉行為差異。
- 二、 比較茄苳窗蛾幼蟲的葉捲與其他昆蟲的葉捲差異，如象鼻蟲、香蕉弄蝶、構樹螟蛾等昆蟲的葉捲。
- 三、 取得更多樣本數的葉捲及幼蟲以分析捲葉方式及葉捲結構，並探討捲葉原因和捲葉條件。
- 四、 改正飼養茄苳窗蛾的方式，如：修改水耕方式，以保留葉捲枝條，使茄

- 芩葉新鮮度持久，讓幼蟲有足夠時間成長至可移箱之大小。
- 五、記錄採集的葉捲內發現的節肢動物，並深入探討其與茄苳窗蛾葉捲的相互關係。
  - 六、持續追蹤茄苳窗蛾葉捲一年，以確切得知其生長季。
  - 七、以更精確的紀錄方式記錄茄苳窗蛾的在茄苳葉上得相對位置，以求得更精確的茄苳窗蛾幼蟲大小。
  - 八、以新羽化的成蟲繁殖茄苳窗蛾，以保持野外族群數量，並能夠增加幼蟲的數量做實驗以求得我們需要的數據。
  - 九、以力學的角度分析葉捲，了解茄苳窗蛾葉捲的力學結構。
  - 十、裁切茄苳葉，使茄苳窗蛾幼蟲捲葉，了解其捲葉是所需的條件，並量化其數據。

## 壹拾、 參考資料

任淑仙（民 84）無脊椎動物學(下)•台北市•淑馨出版社  
廖智安（民 88）台灣昆蟲記•台北市•大樹文化  
教育部（民 78）台灣產蛾類•台中縣

歷屆科展資料

第三十七屆中小學科展

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/37/pdf/37s/160.pdf>

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/37/pdf/37h/081.pdf>

網路資料

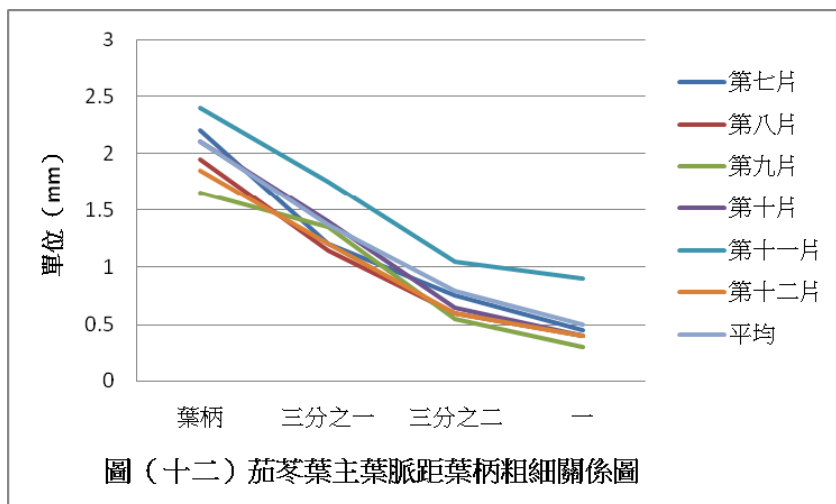
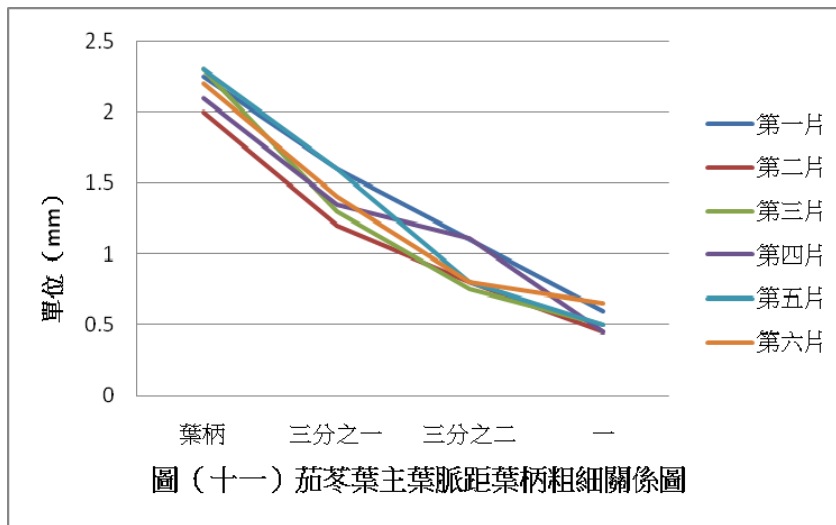
植物論壇-----塔內植物園

<http://www.tbq.org.tw/tbqweb/cgi-bin/topic.cgi?forum=25&topic=3711&replynum=18&show=>

奇摩部落格

<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!i6.ZJEUbFRKem13ZFhYAb3ufQ7At8Cx9OWc-/article?mid=2197>

附表:



表四：

	茄苳葉厚 (mm)
第一片	0.2916
第二片	0.2625
第三片	0.3166
第四片	0.3166
第五片	0.2972
第六片	0.2708
第七片	0.2958
第八片	0.3125
第九片	0.325
第十片	0.3083
第十一片	0.3208
平均	0.301609

總平均葉柄粗細：1.195mm

## 【評語】 040715

1. 書面及海報之資料內容清晰詳實。
2. 解釋表達清楚。
3. 建議實驗中宜比較葉子之成熟度對窗蛾蝨葉之差異，及比較在其他植物之不同，數據宜量化作統計分析。