

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

佳作

030317

姬胡麻斑捲葉象鼻蟲-探討育幼巢室建造的策略  
與後代成長間關係

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者： 國一 張婕縈 國一 何亭廷	指導老師： 李季篤 李宜芳
-------------------------	---------------------

關鍵詞：捲葉象鼻蟲、育幼巢室、虎克定律

## 摘要

本研究在探討姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室的方式與後代成長間的關係。**結果一認識象鼻蟲與食物**：象鼻蟲體型是雌大雄小，平均體長在  $0.63\pm 0.023\text{cm}\sim 0.475\pm 0.023\text{cm}$ ，以朴樹的葉片為食物。**結果二做巢室的策略**：會找尋葉長  $5.25\pm 0.88\text{cm}$  做巢室，並在葉面上進行切割作記號、葉背中肋戳洞，使葉柄與中肋的角度從  $141.85^\circ\pm 9.96^\circ$  降到  $78.3^\circ\pm 3.91^\circ$ ，葉片因此軟化，足部以  $2.3\times 10^{-3}\pm 4.7\times 10^{-4}\text{N}$  對葉片施力，平均花費  $44.88\pm 4.55\text{min}$  建造一個  $2.00\pm 0.45\text{cm}$  大小的巢室。**結果三巢室對後代的重要性**：卵的大小  $0.779\pm 0.159\text{mm}$ ，相對濕度在 79%~99% 間都能順利孵化。幼蟲待在  $0.33\pm 0.13\text{mm}$  狹小巢室內啃食  $4320.78\pm 2286.48\text{mm}^2$  葉片面積。以  $10.4\pm 0.33\text{min}$  完成化蛹進入蛹期。**經過一連串研究證實，象鼻蟲建造巢室是有助於後代順利成長。**

## 壹、研究動機

實驗前我們上網找尋關於姬胡麻斑捲葉象鼻蟲的研究文獻，看到了 3 篇科展相關的資料，研究內容大多與幾何數學或是觀察型態特徵有關。例如：利用數學中的對稱、等距、平行等關係以及依據褶痕痕跡連接構成的直角三角形與平行四邊形型態，去研究製作正六邊形的平面狀與圓柱狀搖籃。例如：觀察象鼻蟲的體型大小、生活型態等。前人的研究方向，很少針對姬胡麻斑捲葉象鼻蟲做的巢室與後代成長間的關係做詳細的研究，因此我們決定從象鼻蟲選擇葉片開始到如何製作巢室，而巢室正是能夠讓後代順利成長的地方，達到傳宗接代的目的作為研究的主軸。研究過程中，利用在課堂上第二章顯微鏡使用方法、第四章植物體內運輸物質的方式以及第五章動物的行為、第一章有性生殖、第三章槓桿原理與第四章虎克定律，還有電腦課學到的圖片編輯與 excel 分析等知識，深入運用在姬胡麻斑捲葉象鼻蟲的研究。

## 貳、研究目的

- 一、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係。
- 二、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲如何選擇『巢室的葉片』與『建造巢室』的策略。
- 三、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲『建造巢室』對『後代成長』的重要性。

## 參、研究設備及器材

- |                       |                        |         |
|-----------------------|------------------------|---------|
| 1.數位相機 (SONY RX100IV) | 2.顯微鏡(DinoCapture 2.0) | 3.量角器   |
| 4.電子秤(SNUG-300)       | 5.筆電                   | 6.溼度計   |
| 7.平板 (Galaxy Tab S3)  | 8.迴紋針、膠帶               | 9.解剖顯微鏡 |
| 10.自製量角器              | 11.竹竿、紗網               | 12.自製砝碼 |
| 13.手機 (Angulus 軟體)    | 14.攝子                  | 15.水彩筆  |

## 肆、研究方法

### 研究一、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係

#### (一) 實驗前的生態觀察與調查：

我們在 108 年 10 月到 108 年 12 月，隔年的 109 年 3 月到 5 月等時間，以姬胡麻斑捲葉象鼻蟲的食衣住行作為研究的方向，初步觀察歸納了下列幾種結果。(1) 食：象鼻蟲吃的植物叫做朴樹。(2) 衣：外表黑色，背部有幾個突起。(3) 住：我們看到象鼻蟲住在葉片上或葉片下。(4) 行：會爬行也會短距離的飛行。(5) 巢室：我們看到朴樹葉片被象鼻蟲建造成巢室，有人稱為葉苞。(6) 看到朴樹上有許多的其它生物。(如圖 1~圖 5)

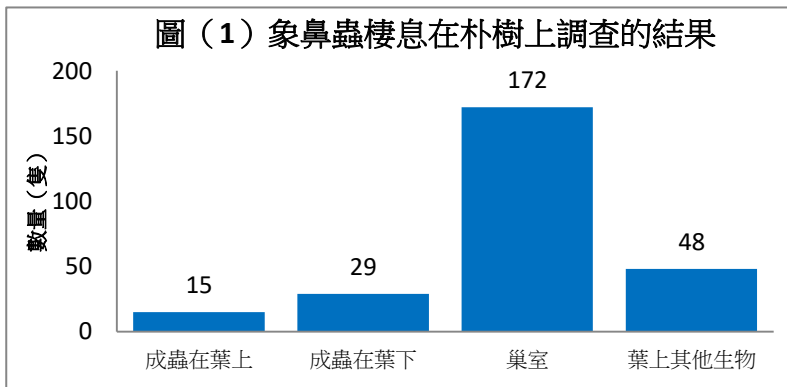


圖 4. 手繪圖

圖 5. 手繪圖

(二) 觀察後我們產生的疑問：象鼻蟲吃的朴樹植物有何特色？跟象鼻蟲共同生活在朴樹上的其他生物，與象鼻蟲之間有什麼關係呢？

(三) 提出假設：我們提出『朴樹有毛朴與石朴 2 種，而且象鼻蟲都會攝食。以及生活在朴樹上的其他生物，與象鼻蟲之間具有多種的交互關係』實驗假設。

#### (四) 動手實驗：認識象鼻蟲的食草植物、食物互換與認識象鼻蟲體型的實驗

1. 認識食草植物：我們用手去分辨毛朴與石朴的差別，再用顯微鏡觀察特徵。
2. 調查學校內的朴樹位置，還有生活在朴樹上其它生物與象鼻蟲之間的交互關係。
3. 食草植物互相交換攝食的實驗：我們以成蟲為例，進行食物葉片的互換，去證明姬胡麻斑象鼻蟲主要的食物是哪一種。(如表 1)
4. 認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲體型大小：在溫度 23°C，象鼻蟲活動力低時，測量 21 隻雌雄蟲體長、體重。

表 1：認識『象鼻蟲的食物』與『食物互換餵食實驗』的動手實驗操作流程

<p>1. 用手分辨毛朴與石朴差別，再用顯微鏡觀察特徵。</p>	<p>2. 收集 21 隻成蟲，進行互換攝食</p>	<p>3. 測量象鼻蟲體長與體重</p>
----------------------------------	----------------------------	----------------------

## 研究二、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲如何選擇『巢室的葉片』與『建造巢室』的策略

### (一) 實驗前的生態觀察與想法：

上述的實驗，我們研究了象鼻蟲的型態與其它生物之間的互動之外，我們還看到象鼻蟲在葉片上常常往葉柄的方向走來走去或繞著葉緣走。看到這個行為，我們的想法是，象鼻蟲繞著葉緣走的行為，好像在挑選葉片要做巢室。

(二) 觀察後我們產生的疑問：象鼻蟲『如何選擇葉片？如何把葉片捲成巢室？』

(三) 提出假設：我們提出『繞著葉緣走，能選擇到想要的葉片』做巢室，還有『用口器切割葉片、在葉片上戳洞、最後用腳把葉片捲起來做成巢室』，的實驗假設。

(四) 動手實驗：實驗 2-1、建造巢室的策略 (1) ~ 象鼻蟲『如何選擇做巢室的葉片』。

1. 象鼻蟲如何選擇葉片：(1) 使用攝影機拍攝觀察象鼻蟲選擇葉片的方式。(2) 記錄 87 個朴樹枝條、213 片葉片與巢室，用手機拍下特徵，再剪下含巢室的枝條分析，找出象鼻蟲選擇葉片的原因。
2. 象鼻蟲與葉片之間的關係：(1) 採集 6 隻雌蟲，放在網室內的盆栽上，記錄建造的 34 個樣本，分別測量體長、體寬與體重，把巢室打開測量葉長、葉寬、巢重大小。(2) 用 excel 分析象鼻蟲與這些葉片間的相關性，實驗過程如表 2。

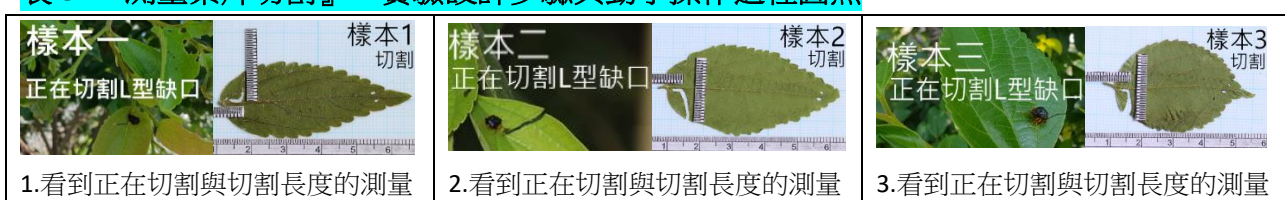
表 2：象鼻蟲『如何選擇做巢室的葉片與葉片間的關係』~ 實驗動手操作過程圖照



### 實驗 2-2、建造巢室的策略 (2) ~ 象鼻蟲對葉片進行『切割葉片』的研究。

1. 『切割點』的位置：以葉柄為起點沿著中肋到切割轉彎處稱『切割距離』，測量 22 個樣本。
2. 『縱向』切割的方式：從葉緣往中肋方向切稱為『縱向切割』。
$$\left( \frac{\text{切割距離}}{\text{葉長}} \right) \times 100\%$$
，求出切割距離在葉片上位置。
3. 『橫向』切割的方式：當象鼻蟲縱向切完，接著往葉柄方向切割稱為『橫向切割』。用尺量縱切與橫切的切割長度，用  $\left( \frac{\text{縱切長度}}{\text{橫切長度}} \right)$ ，求出之間的切割長度比例，實驗過程如表 3。

表 3：『測量葉片切割』~ 實驗設計步驟與動手操作過程圖照



**實驗 2-3、建造巢室策略 (3) ~象鼻蟲對葉片上的『彈力與戳洞』行為研究。**

**1.象鼻蟲對葉片施力與葉片彈力的研究：**

(1) 象鼻蟲在葉片行走的施力：以 3 隻雌性象鼻蟲為樣本，分別放約 10cm 長的毛朴葉背，用攝影機手機影拍下爬行過程與時間，實驗重複三次。利用速度 =  $\frac{\text{爬行距離 (cm)}}{\text{時間 (秒)}}$ ，計

算在葉片上爬行速度。以  $a = \frac{2s}{t^2}$  ;  $F=ma$  換算腳部對葉片的施力。(a:加速度、s=距離、t=時間、m=成蟲的重量、F=相對的足部力量)。利用虎克定律  $F=k \times \Delta x$ ，求出 k 值，是葉片的彈力係數。

(2) 葉片受到施力的彈力恢復實驗：自製砝碼片，將方格紙護貝後，製作每片長 2cm x 寬 1cm 重約 0.05g 的人工砝碼片。穿洞後，用迴紋針勾在朴樹葉尖，再一片片掛上砝碼片，利用虎克定律  $F=k \times \Delta x$ ，求出 k 值，為葉片的彈力係數。(如表 4)

**表 4：象鼻蟲對於葉片施力『爬行速度與自製砝碼測量』的動手操作過程圖照**



**2.象鼻蟲對葉片戳洞降低葉片彈力的研究：**

(1) 觀察與記錄：打開巢室，計算葉背中肋被戳咬的數量。(如表 5)

(2) 葉片分段與計算：葉片分三段，切割點到產卵孔間對分前段與中段，產卵孔到葉尖是後段。再用顯微鏡放大 50x 觀察拍照、DinoCapture 軟體計算洞的大小、面積、excel 分析。

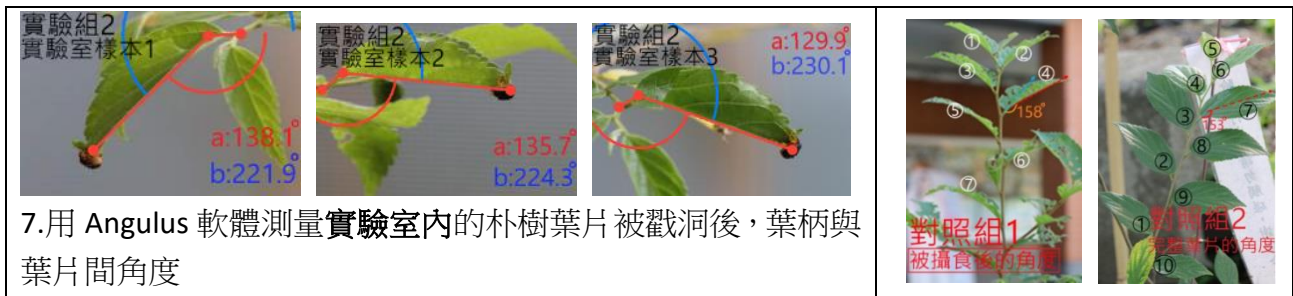
(3) 儀器設計與軟體分析實驗：設計一個 360°測量器，再以 Angulus 軟體進行測量。

實驗組--『中肋被戳洞』後與葉柄角度：測量戶外、實驗室內與完成巢室後的樣本數。

對照組--『中肋沒有』被戳洞後與葉柄角度：測量正常、被吃後，葉柄與葉片角度變化。

**表 5：象鼻蟲對於『葉片的測量與被戳洞後』動手操作過程圖照**





7.用 Angulus 軟體測量實驗室內的朴樹葉片被戳洞後，葉柄與葉片間角度

### 實驗 2-4、建造巢室策略 (4) ~象鼻蟲『做巢室的時間』與『葉片被捲動』的研究

**1.做巢室花費的時間：**將做巢室的象鼻蟲分為實驗組（在戶外實驗 N=5）與對照組（實驗室實驗 N=5）共 10 個樣本，全程用攝影機拍攝，記錄葉片被捲成巢室花費時間。（如表 6）

**2.葉片被捲動的研究：**

(1) **葉片捲動的弧長：**把捲動的葉片分成前段、中段、後段，假設葉片每次都以  $90^\circ$  ( $\theta$ ) 捲動，利用扇形弧長 ( $\alpha$ ) =  $2\pi r \frac{\theta}{360^\circ}$ ，求出捲動的弧長。

(2) **求葉片的扭轉力：**假設葉片的剪應變 ( $\gamma$ ) 為  $\frac{\alpha}{l}$ ，為承受剪應力的變形量。假設  $l$  (摺捲的長度)、 $\alpha$  (弧長)；由剪應變結果可得剪應力 ( $\tau$ )， $\tau = G \gamma$ 、 $G$  為剪力模數，似虎克定律。

(3) **施力扭轉葉片的槓桿原理：**假設象鼻蟲的抗力點在中間，屬於第二類槓桿施力，當施力  $\times$  施力臂 (腿節左右張開間距離) = 抗力  $\times$  抗力臂 (抱住捲葉的直徑)，求象鼻蟲對葉片施力進行。

表 6：記錄『做巢室的時間』與『施力做捲葉』的實驗設計步驟與動手操作過程圖照

1.在戶外做巢室時間 (樣本一)	2.在戶外做巢室時間 (樣本二)	3.在戶外做巢室時間 (樣本三)
4.實驗室內做巢室時間 (樣本一)	5.實驗室內做巢室時間 (樣本二)	6.實驗室內做巢室時間 (樣本三)
<p>以第二類槓桿原理進行實驗假設</p> <p>7.第二類槓桿原理實驗假設圖</p>		
<p>正面</p> <p>背面</p> <p>8.象鼻蟲正、背面的支點、施力與施力臂假設</p>		



### 研究三、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲『建造巢室』對『後代成長』的重要性

#### (一) 實驗前的生態觀察與想法：

在上述研究二的過程中，我們有看到姬胡麻斑捲葉象鼻蟲把卵產在巢室裡面。我們的想法是卵在巢室內受到保護，而且孵化幼蟲之後，幼蟲可以把巢室當做食物吃，這種巢室能保護後代，又能提供後代食物真是一舉多得。

(二) 觀察後我們產生的疑問：巢室『如何保護卵』？『如何提供幼蟲食物』？還有蛻變的蛹或成蟲不同階段的後代，巢室對它們還有什麼重要性？

(三) 提出假設：根據疑問我們提出三個假設。『第一、不在巢室內的卵無法孵化、第二、幼蟲如果離開巢室無法獲得充足的食物、第三、幼蟲不在巢室內，不會順利蛻變成蛹』。

#### (四) 動手實驗：實驗 3-1、巢室對後代的重要性 (1) ~ 巢室如何『保護卵』。

##### 1. 巢室對『卵的保護』方式：

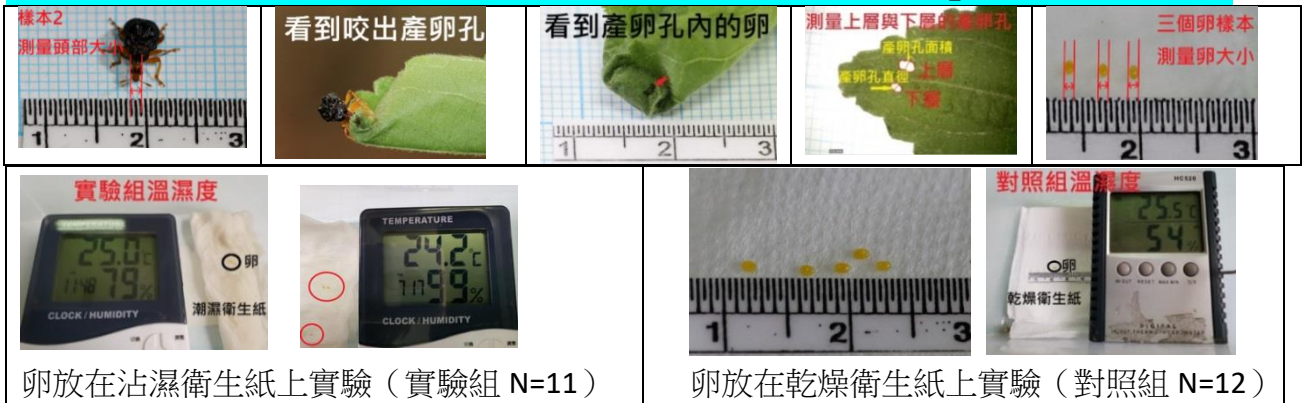
- (1) 產卵孔由來：測量象鼻蟲頭部大小，再用 DinoCapture 軟體測量咬出來產卵孔的面積、卵的大小進行分析。
- (2) 卵的被保護方式：剪開巢室，用數位顯微鏡 45X 觀察拍照，記錄巢室圈數與裡面的卵被保護的方式。研究過程如表 7。

##### 2. 『不同濕度』對卵孵化的影響：設計『不同濕度環境對卵重量與孵化率影響』實驗。

**實驗組**--陸續把 11 粒卵分 3、2、4、2 粒四組，放在衛生紙『沾濕』的飼養盒中，盒內『相對濕度維持在 79%、83%、88%~99 %、溫度 25±1°C』，每天秤卵重量，直到卵孵化為止。

**對照組**--陸續把 12 粒卵各分 6 粒 2 組，放在衛生紙『不沾濕』的飼養盒中，盒內『相對濕度維持在 54%、57%、溫度 25±1°C』，每天秤卵重量，直到卵孵化為止。

表 7：巢室對後代的重要性 (1) ~ 『卵的保護與不同濕度影響孵化』動手操作過程圖照



### 實驗 3-2、巢室對後代的重要性 (2) ~ 巢室如何『提供食物給幼蟲』。

#### 1. 幼蟲啃食葉片面積的計算：

把巢室打開，用 45X 顯微鏡觀察拍照，再用 DinoCapture 軟體計算大小幼蟲吃葉片的面積。

#### 2. 巢室能『提供幼蟲食物』的重要性：設計『二種不同環境下對幼蟲攝食的影響』實驗。

##### (1) 在『巢室外』的葉片上攝食實驗：

實驗組--幼蟲放在『葉面上』：把 9 隻大小幼蟲放在葉面上，記錄幼蟲吃葉片方式。

對照組--幼蟲放在『葉面下』：把 9 隻大小幼蟲放葉面下，記錄幼蟲吃葉片的方式。

##### (2) 在『人工捲葉內』攝食實驗：

實驗組--幼蟲放在捲一圈的捲葉內『在培養皿實驗』：把葉片捲成一圈，用迴紋針固定，把 7 隻大小幼蟲放入捲葉內，記錄幼蟲吃葉片的方式。

對照組--幼蟲放在捲一圈的捲葉內『在朴樹上實驗』：把葉片捲成一圈，用迴紋針與透明膠帶固定，把 7 隻大小幼蟲放入捲葉內，記錄幼蟲吃葉片的方式，實驗過程如表 8。

表 8：巢室對後代的重要性 (2) ~ 巢室『提供幼蟲食物』動手操作過程圖照



### 實驗 3-3、巢室對後代的重要性 (3) ~ 巢室對『幼蟲化蛹與蛻變成蟲』的重要性。

#### 1. 巢室對『化蛹』的重要性：設計『在不同環境下是否影響化蛹』的實驗。

(1) 實驗組--在『巢室內』化蛹：把 3 隻即將化蛹的巢室打開其中半面，觀察在巢室內化蛹過程，全程用攝影記錄化蛹時間。

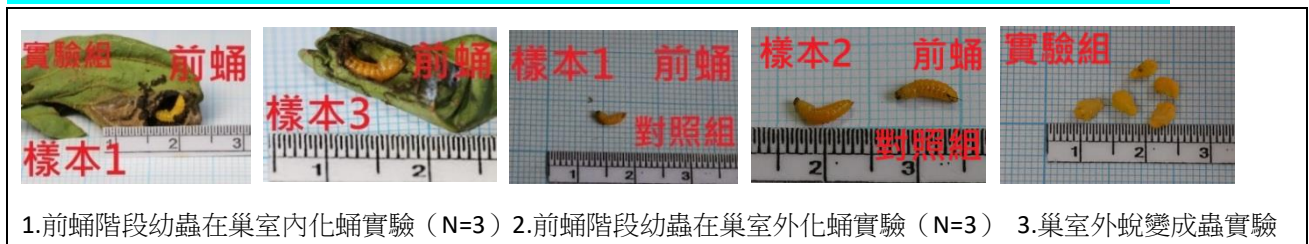
(2) 對照組--在『巢室外』化蛹：把 3 隻進入前蛹期階段的幼蟲移到方格紙上，觀察在巢室外是否會影響化蛹過程，全程用攝影記錄化蛹時間，實驗過程如表 9。

#### 2. 巢室對『蛻變成下一代成蟲』的重要性：設計『在不同環境下是否影響蛹蛻變成蟲』實驗。

(1) 實驗組--『蛹體在巢室外蛻變』：把 5 隻裸蛹放在方格紙上，觀察是否順利蛻變。

(2) 對照組--觀察『蛹體在巢室內』蛻變：觀察 10 個在朴樹上的巢室，蛹體蛻變成蟲後的行為。實驗過程如表 9。

表 9：巢室對後代的重要性 (3) ~ 巢室對『化蛹蛻變』的重要性動手操作過程圖照

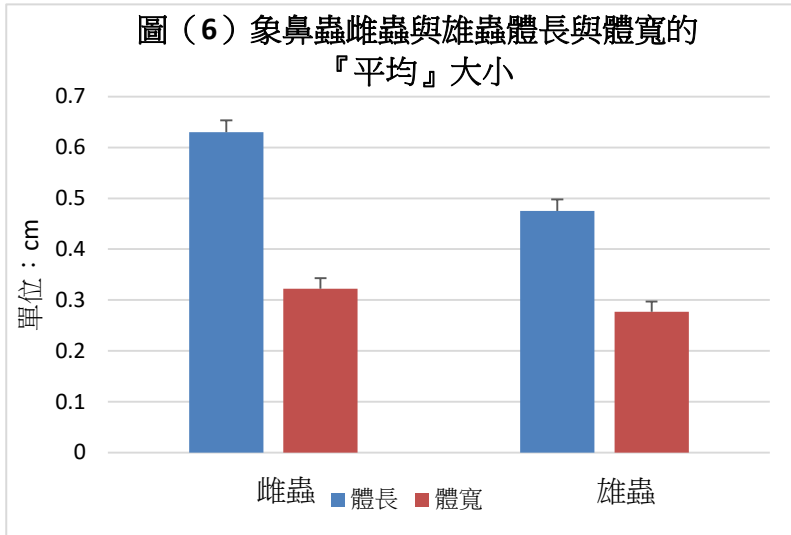




## 伍、研究結果

### 研究一結果、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係

- (1) 朴樹的外觀與攝食結果：毛朴葉形橢圓，摸起來葉背有細毛。石朴葉形較狹長，摸起來細毛較不明顯。不管是毛朴還是石朴，象鼻蟲都會攝食。
- (2) 象鼻蟲的型態：通常是雌蟲體型較大，雄蟲體型較小。



說明：雌蟲平均體長在  $0.63 \pm 0.023$  cm、體寬平均在  $0.322 \pm 0.020$  cm；雄蟲平均體長在  $0.475 \pm 0.023$  cm，體寬平均在  $0.277 \pm 0.020$  cm。(N=21)

表 10：象鼻蟲與朴樹上常見的生物間交互關係

生物種類	生存階段	食性方式	與象鼻蟲間交互作用
1.紅星斑蛺蝶	幼蟲	吃葉片	競爭食物
2.蜘蛛	幼蛛	捕食獵物	掠食象鼻蟲成蟲
3.蚱蜢	幼蟲	吃葉片	競爭食物
4.吹棉介殼蟲	幼蟲或成蟲	吸食樹液	競爭食物
5.草蛉	幼蟲	吃吹棉介殼蟲	無害也無利
6.寄生蜂	幼蟲	寄生	寄生象鼻蟲幼蟲
7.椿象	幼蟲	吸食樹液	競爭食物
8.尺蠖蛾	幼蟲	吃葉片	競爭食物
9.瓢蟲	幼蟲或成蟲	吃吹棉介殼蟲	無害也無利
10.蛾類	幼蟲	吃葉片	競爭食物
11.螞蟻	成蟲	與蚜蟲共生	影響築巢
12.金花蟲	成蟲	吃葉片	競爭食物
13.蝸牛	幼蝸	吃葉片	競爭食物
14.豹斑蝶幼蟲	幼蟲	吃葉片	競爭食物
15.捲葉蛾	幼蟲	吃葉片	競爭食物

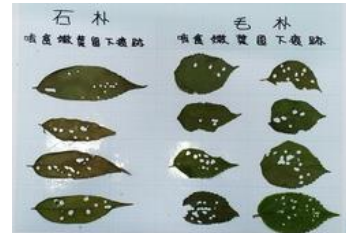


圖 7.會把嫩葉片咬成一個個像圓形的孔洞



圖 8.老熟的葉片只有吃葉肉，不會咬出破洞



圖 9.吹棉介殼蟲



圖 10.草蛉幼蟲



圖 11.尺蠖蛾

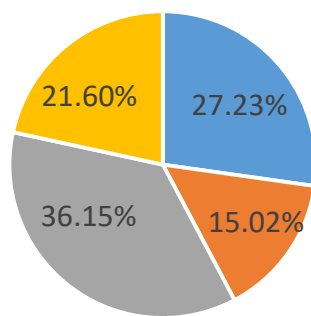
研究二結果、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲如何選擇『巢室的葉片』與『建造巢室』的策略  
 實驗 2-1 結果～『如何選擇巢室的葉片』研究。

表 11：選擇枝條前端嫩葉，進行試咬，確定後進行切割



1.在葉緣試咬 2.在葉尖邊試咬 3.在葉片基部試咬 4.在葉尖邊試咬 5.在葉片基部試 6.確定後切割

圖 (12) 象鼻蟲選擇葉片做巢室的依據



- 巢室本身是嫩葉有咬痕
- 巢室本身是嫩葉但沒有咬痕
- 巢室互生嫩葉上方有咬痕
- 巢室互生嫩葉下方有咬痕



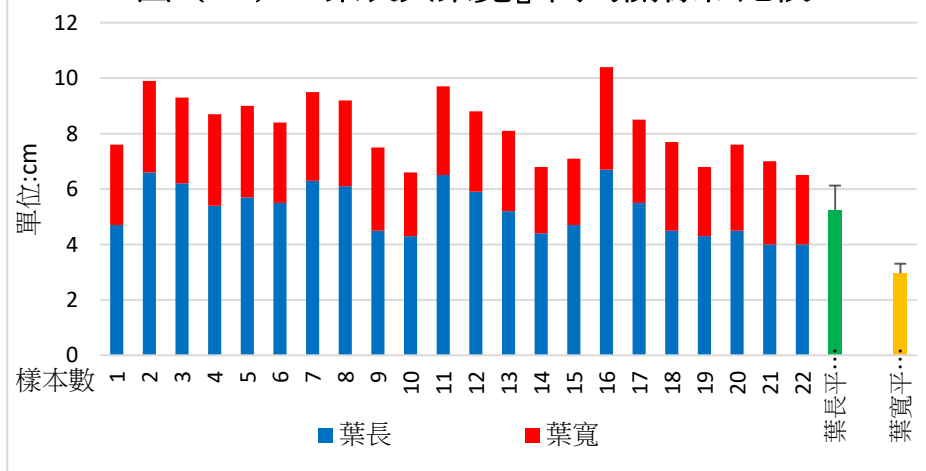
圖 13.象鼻蟲正在咬食嫩葉



圖 14.象鼻蟲正在咬食嫩葉

說明：全部位在枝條前端的嫩葉。其中被咬食的嫩葉有 181 片共佔了 84.98%，包含 58 個做成巢室的嫩葉。(N=213)

圖 (17) 『葉長與葉寬』間的關係和比較



說明:葉長在  $5.25 \pm 0.88 \text{cm}$ ，葉寬  $2.96 \pm 0.34 \text{cm}$ 。(有效樣本數 N=22)



圖 15.象鼻蟲正在咬食嫩葉

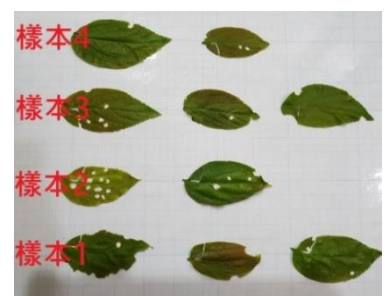


圖 16.4 隻成蟲，2 天的時間內，咬食嫩葉做了記號、完成切割葉片的樣本。

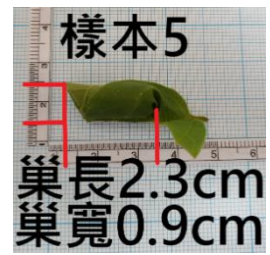
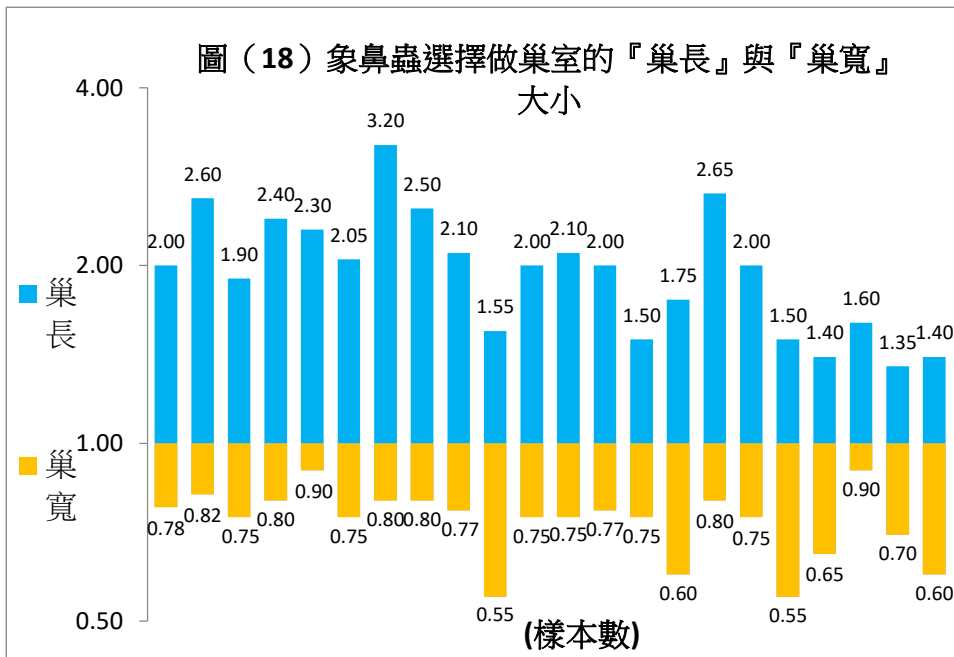


圖 19.測量巢長與巢寬

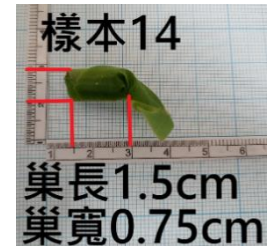


圖 20.測量巢長與巢寬

說明：象鼻蟲做成巢室的巢長  $2.00 \pm 0.45\text{cm}$ 、巢寬  $0.710 \pm 0.09\text{cm}$ 。(N=22)

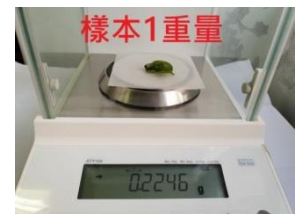
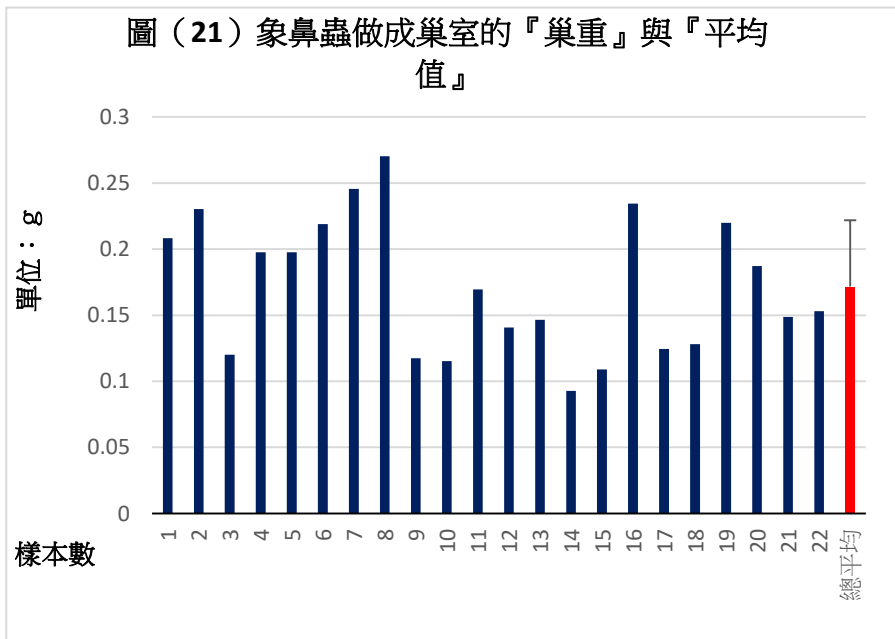


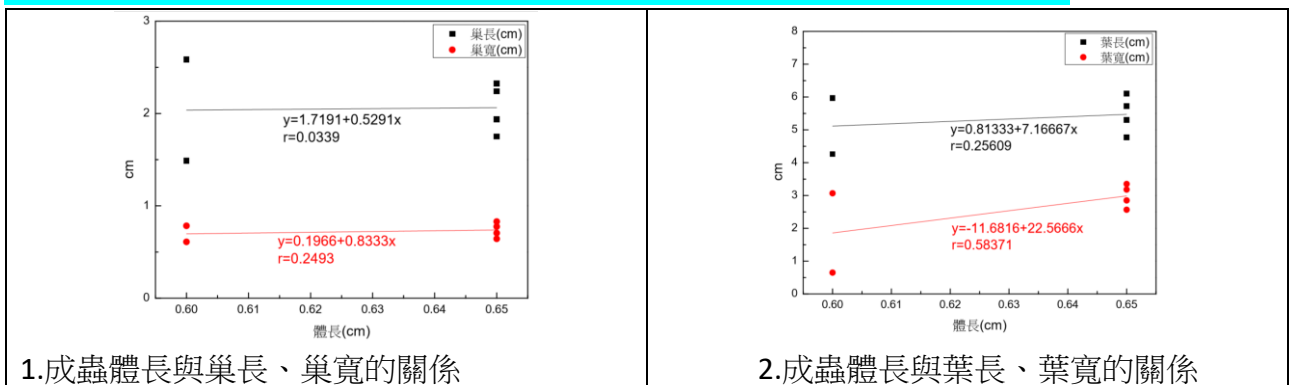
圖 22 測量巢重.

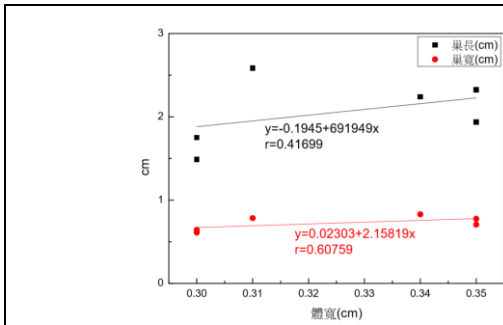


圖 23 測量巢重.

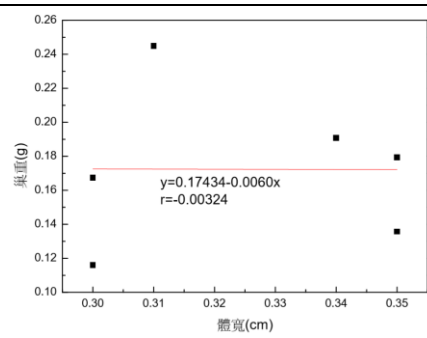
說明：象鼻蟲做成巢室的巢重在  $0.0927\text{g} \sim 0.2703\text{g}$  之間，總平均  $0.172 \pm 0.050\text{g}$ 。(N=22)

表 12：研究象鼻蟲的體長、體寬、體重選擇葉長、葉寬、巢重間相關性結果

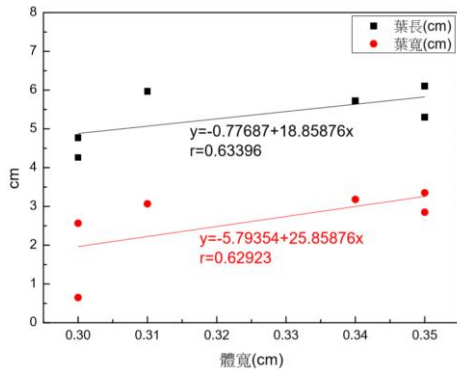




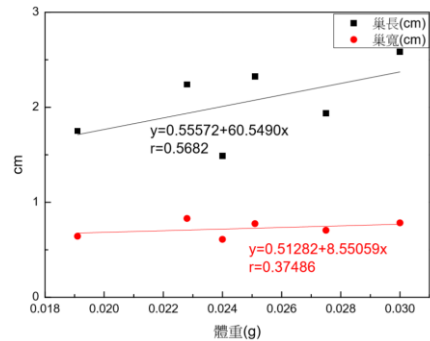
3. 成蟲體寬與巢長、巢寬的關係



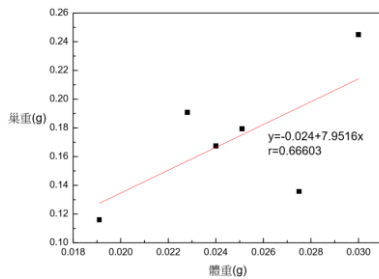
4. 成蟲體寬與巢重的關係



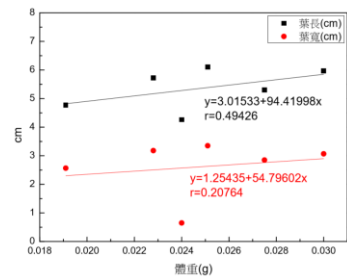
5. 成蟲體寬與葉長、葉寬的關係



6. 成蟲體重與巢長、巢寬的關係



7. 成蟲體重與巢重的關係



8. 成蟲體重與葉長、葉寬的關係

實驗 2-2 結果～進行巢室的建造『葉片切割』的研究。

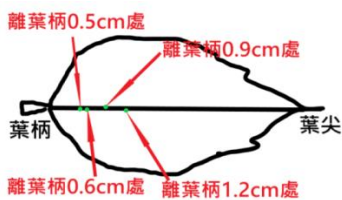
表 13 :象鼻蟲從中肋『橫向』走到葉緣，進行縱向切割。



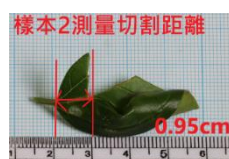
1. 樣本一，選好葉片，橫向走到葉緣後開始切割



2. 樣本二，選好葉片，橫向走到葉緣後開始切割



3. 切割距離的分布地方



4. 切割距離結果

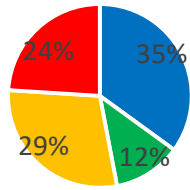


5. 切割距離結果



6. 切割距離結果

在葉片上「切割距離」位置百分比



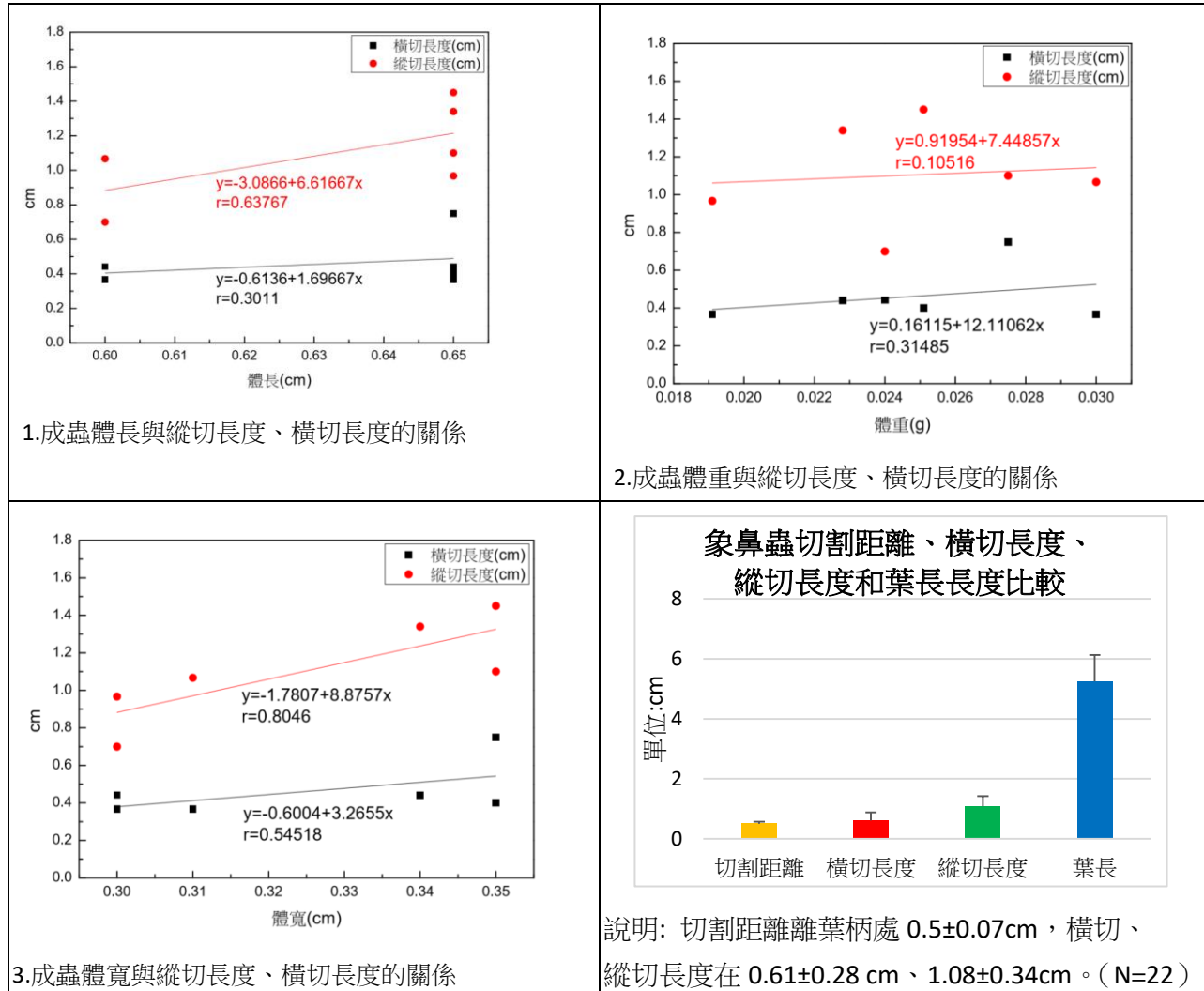
- 平均離葉柄0.5公分處
- 平均離葉柄0.6公分處
- 平均離葉柄0.9公分處
- 平均離葉柄1.2公分處

7.象鼻蟲大多數在離葉柄 0.5 公分進行切割，佔了 35%。(N=22)。

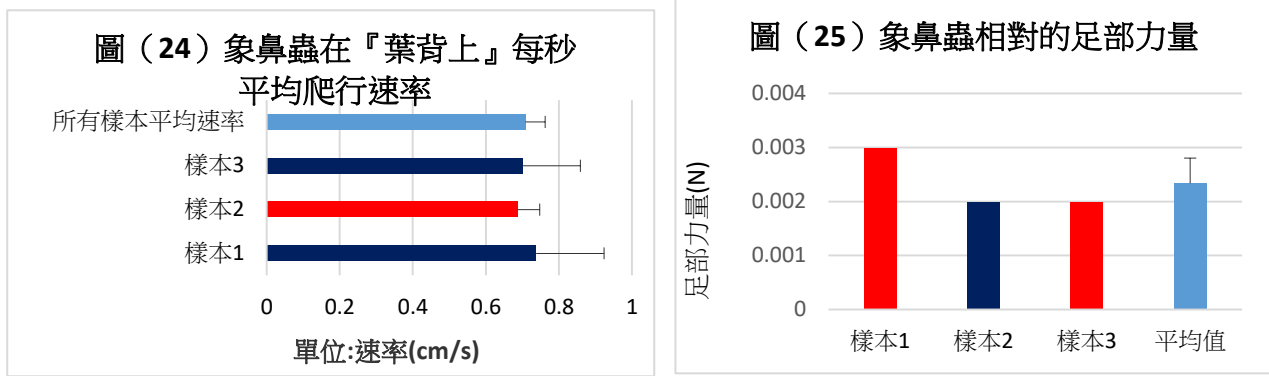


8.2 隻雌蟲切割的四個樣本，切割距離都不相同

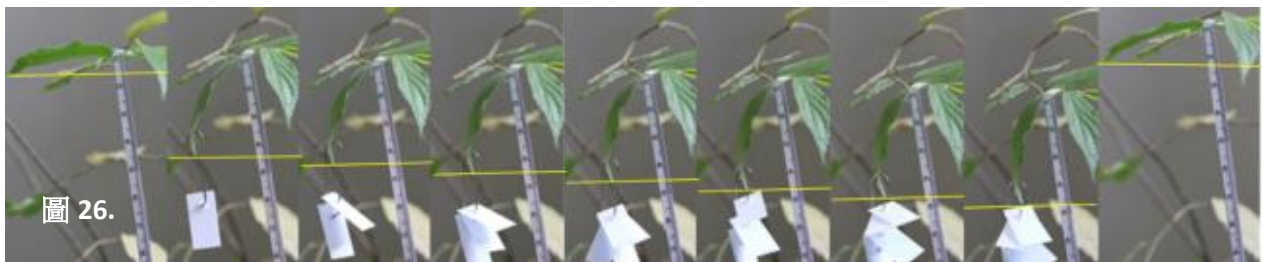
表 14：研究象鼻蟲體長、體寬、體重與選擇切割位置的相關性結果



實驗 2-3-1 結果～象鼻蟲對葉片『施力與葉片的彈力』行為研究。



說明：象鼻蟲在葉背走平均速率  $0.71 \pm 0.054 \text{ cm/s}$ 。說明：足部平均施力  $2.3 \times 10^{-3} \pm 4.7 \times 10^{-4} \text{ N}$ 。(N=3)



說明：葉片承受重量後，放開砝碼，立刻恢復原狀，符合虎克定律。

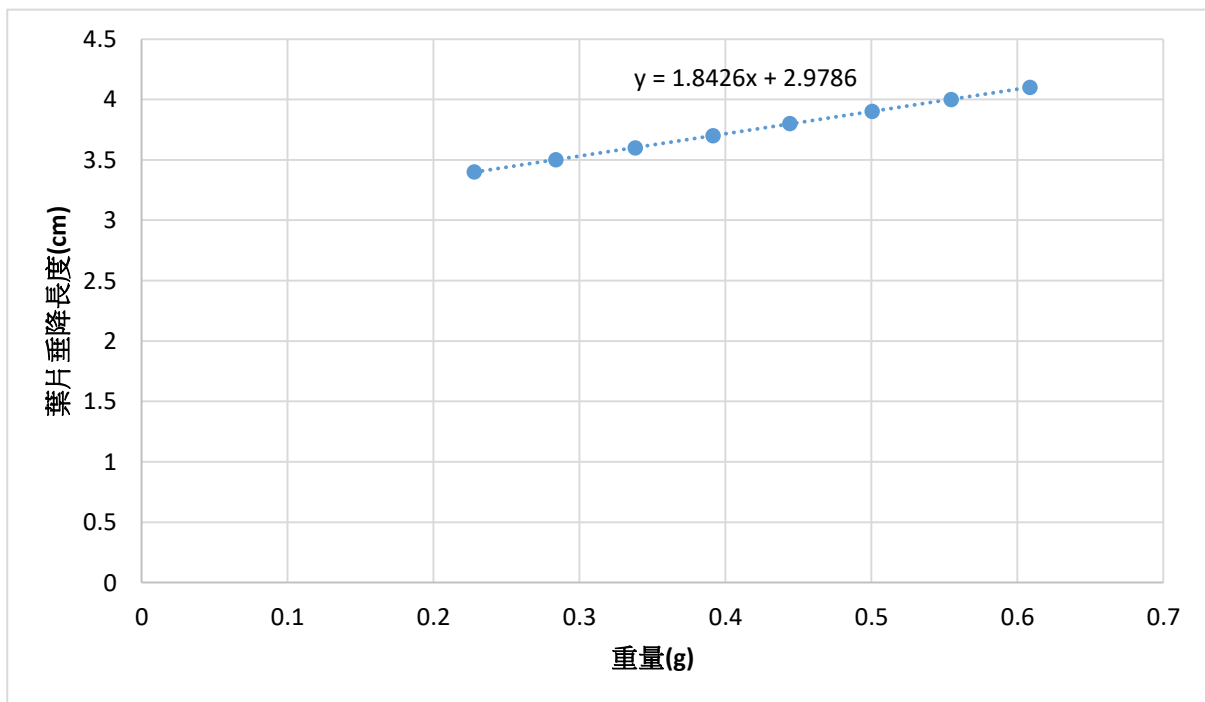
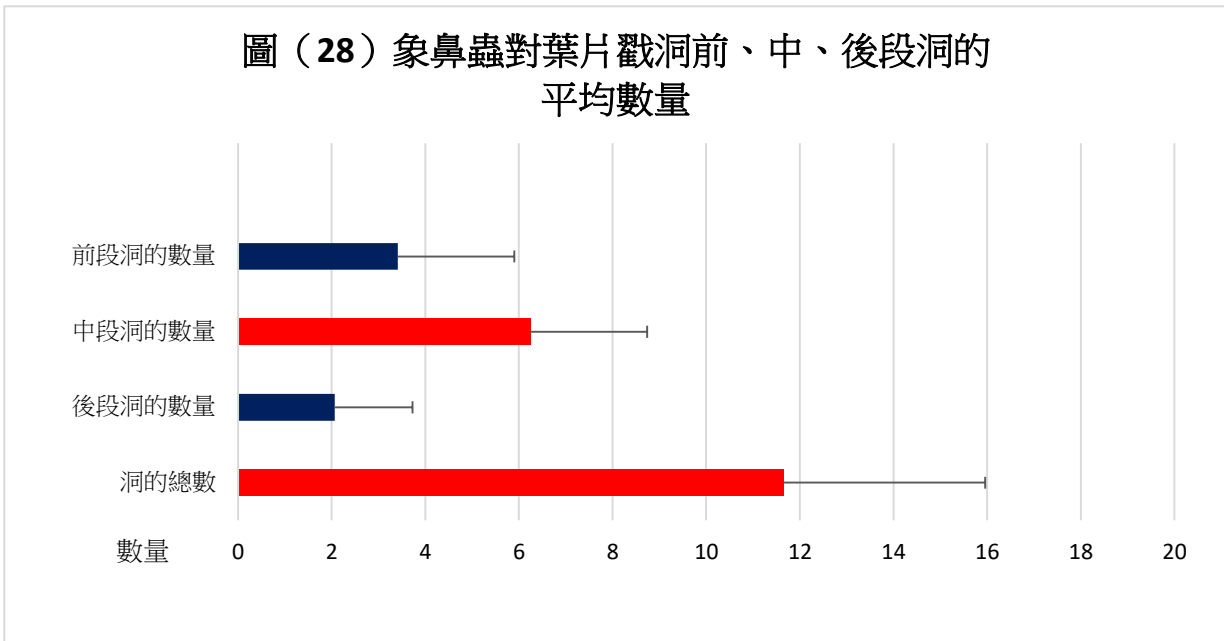


圖 27.在彈性限度內，重量與葉片的形變量成正比，獲得 k 值為  $1.8426 \text{ cm/g}$ 。得到葉片的彈性係數後，接下來的實驗，可以推測葉片的恢復力(抗力)，進而利用槓桿原理去探討象鼻蟲的施力方式。

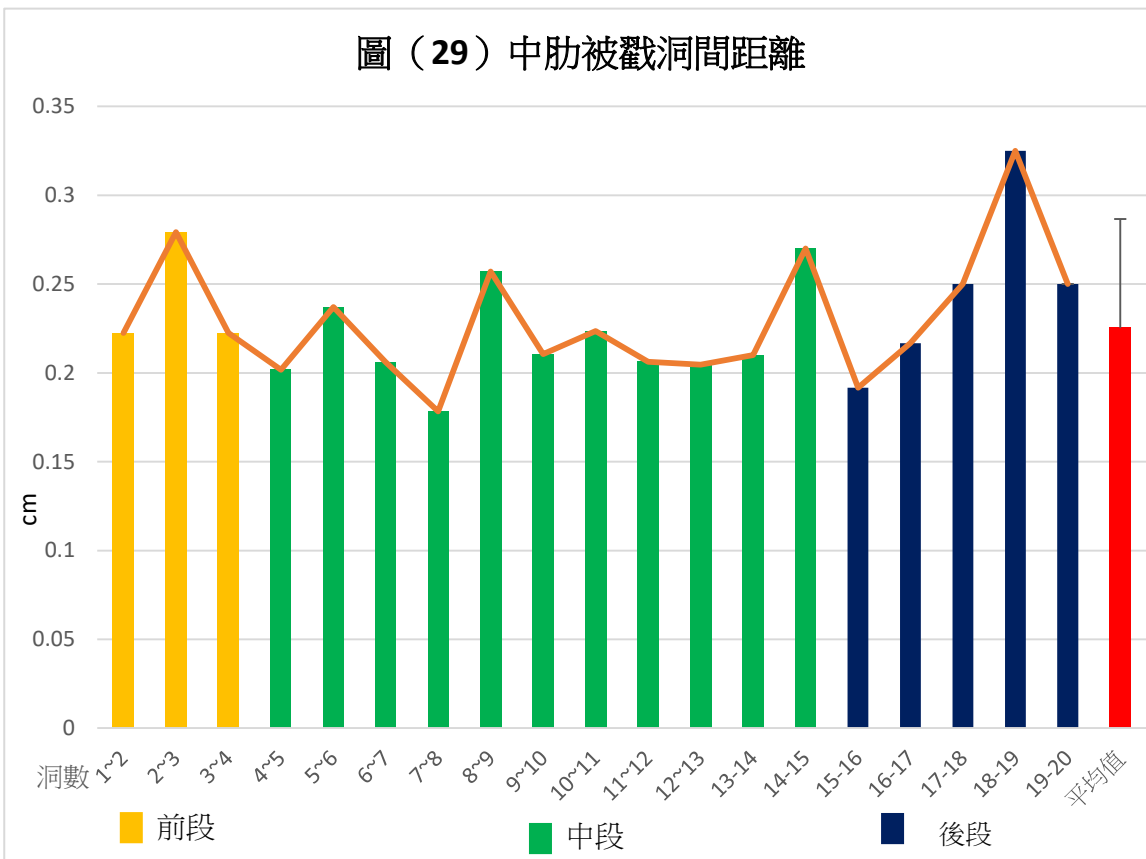
實驗 2-3-2 結果～象鼻蟲對葉片『戳洞降低葉片彈力』行為研究。

圖 (28) 象鼻蟲對葉片戳洞前、中、後段洞的平均數量



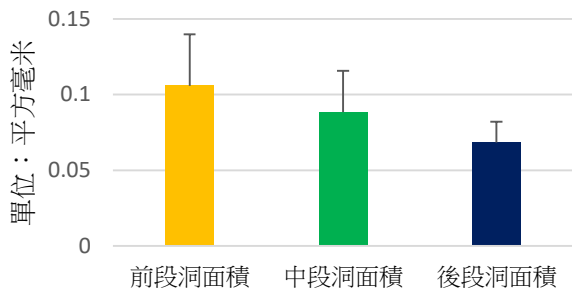
說明：葉片平均洞數約為  $11.65 \pm 4.3$  個，前段洞數量平均約為  $3.41 \pm 2.48$  個，中段洞數量平均約為  $6.24 \pm 2.5$  個，後段洞數量平均約為  $2.06 \pm 1.65$  個。(N=29)

圖 (29) 中肋被戳洞間距離



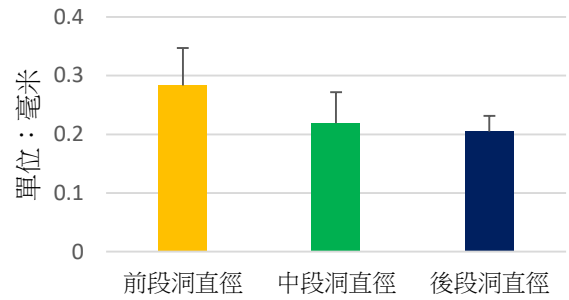
說明：中肋被戳洞間的距離約為  $0.22 \pm 0.06$ cm。(N=29)

圖 (30) 前、中、後段『洞的面積』平均值比較

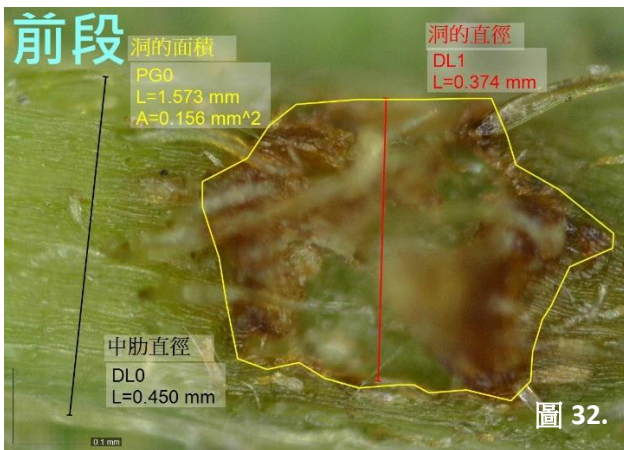


說明：前段洞的面積平均為  $0.106 \pm 0.034 \text{ mm}^2$ ，中段洞的面積平均為  $0.088 \pm 0.027 \text{ mm}^2$ ，後段洞的面積平均為  $0.068 \pm 0.014 \text{ mm}^2$ 。

圖 (31) 前、中、後段『洞的直徑』平均值比較

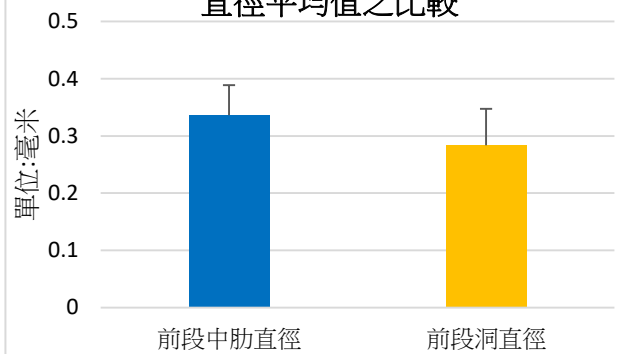


說明：前段洞的直徑平均為  $0.283 \pm 0.064 \text{ mm}$ ，中段洞的直徑平均為  $0.219 \pm 0.053 \text{ mm}$ ，後段洞的直徑平均為  $0.205 \pm 0.027 \text{ mm}$ 。



說明：象鼻蟲前段咬食的洞面積為  $0.156 \text{ mm}^2$ ，而中肋直徑比洞的直徑大。

圖 (33) 『前段』中肋直徑與洞的直徑平均值之比較

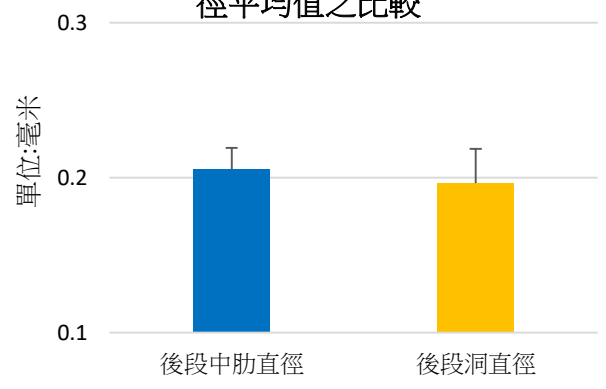


說明：前段中肋直徑平均約  $0.336 \pm 0.053 \text{ mm}$ ，洞的直徑平均約為  $0.283 \pm 0.064 \text{ mm}$ 。



說明：象鼻蟲後段咬食的洞面積為  $0.051 \text{ mm}^2$ ，而中肋直徑比洞的直徑大。

圖 (35) 『後段』中肋直徑與洞的直徑平均值之比較



說明：後段中肋直徑平均約  $0.205 \pm 0.013 \text{ mm}$ ，後段洞的直徑平均約為  $0.196 \pm 0.022 \text{ mm}$ 。



**表 15：『正常葉片』、『被切割葉片』與『做成巢室』後的葉片角度結果**

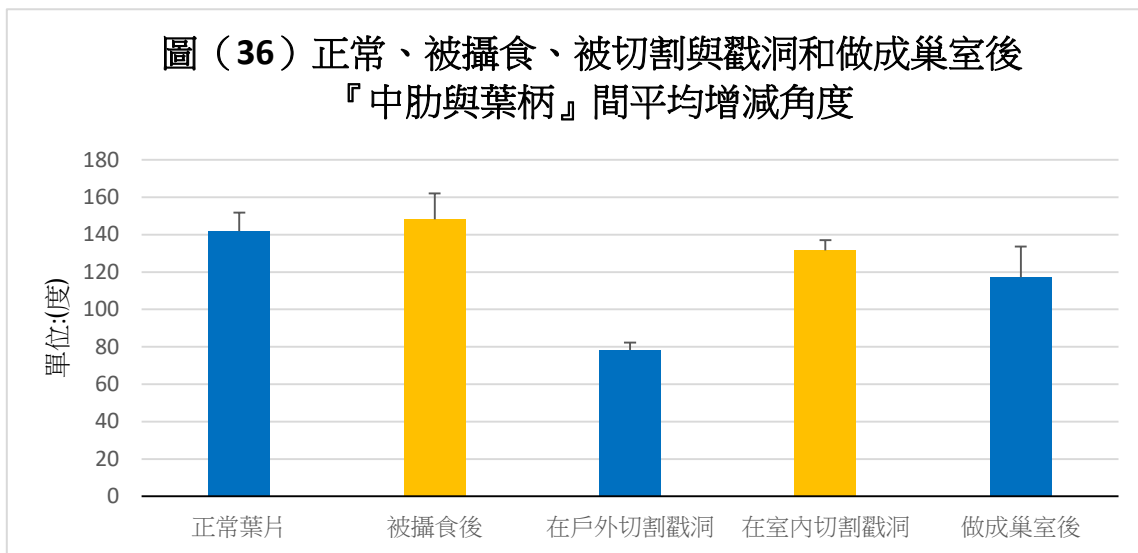
<p>1. 正常葉片 158°、135°、戳洞葉片是 122°，隔天被做成巢室後角度降為 135°、119°與 90°。</p>	<p>2. 正常葉片 168°、戳洞葉片是 115°，做成巢室前後中肋與葉柄間呈 120°不同角度。</p>

**表 16：在戶外『葉片被戳洞』與『做成巢室』後結果**

<p>1. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 74.7°，做成巢室後成為 135.1°。</p>	<p>2. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 85°，做成巢室後成為 115.8°。</p>
<p>3. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 79.6°，做成巢室後成為 114.3°。</p>	<p>4. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 78°，做成巢室後成為 114.4°。</p>

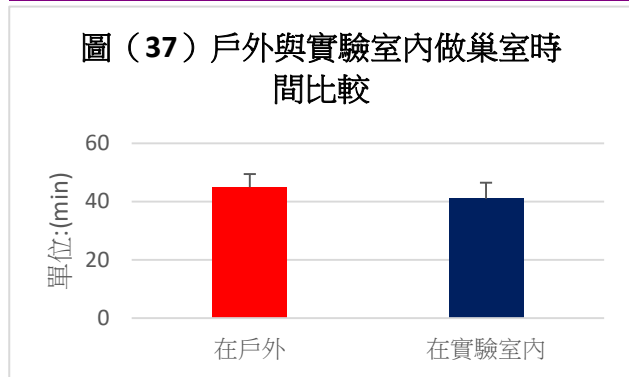
**表 17：在實驗室『葉片被摺壓』與『做成巢室』後結果**

<p>1. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 119°，最後做成巢室後成為 66°。</p>	<p>2. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 135°，最後做成巢室後成為 77°。</p>
<p>3. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 126°，最後做成巢室後成為 90°。</p>	<p>4. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 132°，最後做成巢室後成為 84°。</p>

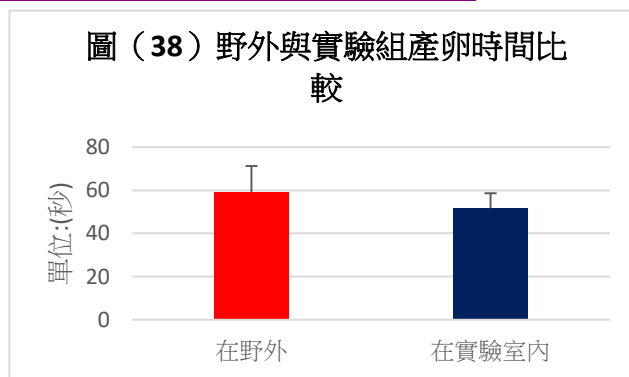


說明:(1)正常葉片與中肋葉柄間呈  $141.85 \pm 9.96^\circ$  ; (2)被攝食後呈  $148.27 \pm 13.86^\circ$  ; (3)在戶外切割戳洞呈  $78.3 \pm 3.91^\circ$  ; (4)在室內切割戳洞呈  $131.54 \pm 5.55^\circ$  ; (5)做巢室後呈  $117.23 \pm 16.49^\circ$  。

**實驗 2-4-1 結果~象鼻蟲『做巢室花費的時間』與『做巢室時產卵時間』的研究**

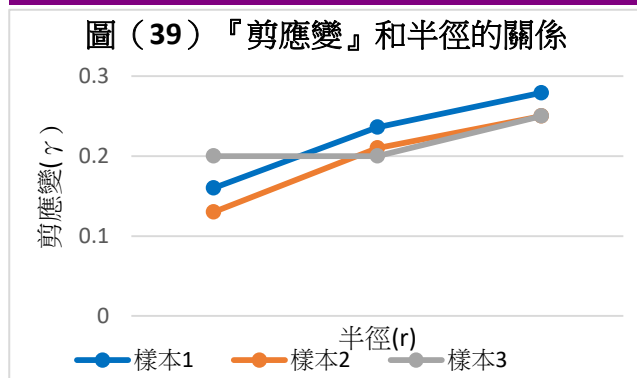


說明:在野外做巢室時間  $44.88 \pm 4.55 \text{min}$  , 在實驗室內做巢室時間平均為  $40.97 \pm 5.51 \text{min}$  。( N=5 )

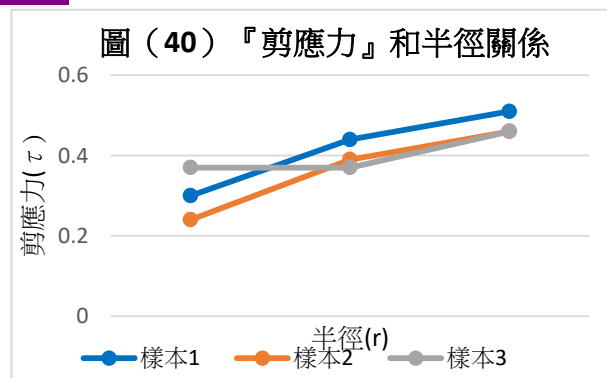


說明:在野外產卵的時間  $59s \pm 12.19s$  , 在實驗室內產卵時間  $51.6s \pm 7s$  。( N=5 )

**實驗 2-4-2 結果~象鼻蟲『捲動葉片的扭轉力』研究**

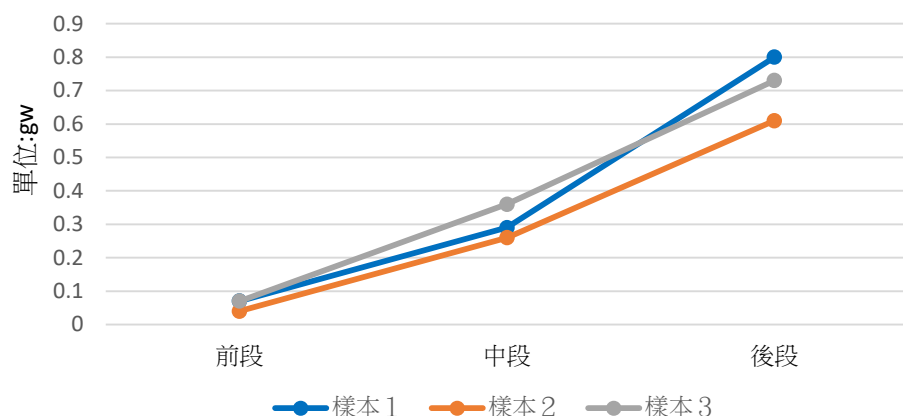


說明:剪應變 (  $\gamma$  ) 與半徑成正比, 若每次的扭轉角皆相等, 則半徑變大, 剪應變也變大。



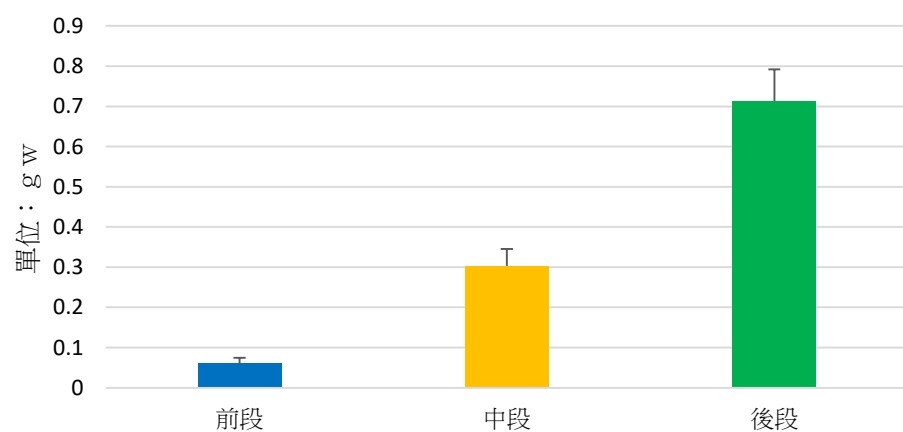
說明:剪應力 (  $\tau$  ) 也跟半徑成正比, 剪應變越大, 剪應力也越大。

圖 (41) 象鼻蟲對前、中、後段『摺捲葉片施力』的大小



說明：樣本 1 前、中、後段的施力大小分別是 0.07gw、0.29gw、0.8gw；樣本 2 是 0.04gw、0.26gw、0.61gw；樣本 3 是 0.07gw、0.36gw、0.73gw。

圖 (42) 象鼻蟲對前、中、後段『摺捲葉片施力平均值』



說明：前段施力平均值約為  $0.06 \pm 0.01$ gw；中段約為  $0.30 \pm 0.04$ gw；後段約為  $0.71 \pm 0.08$ gw。

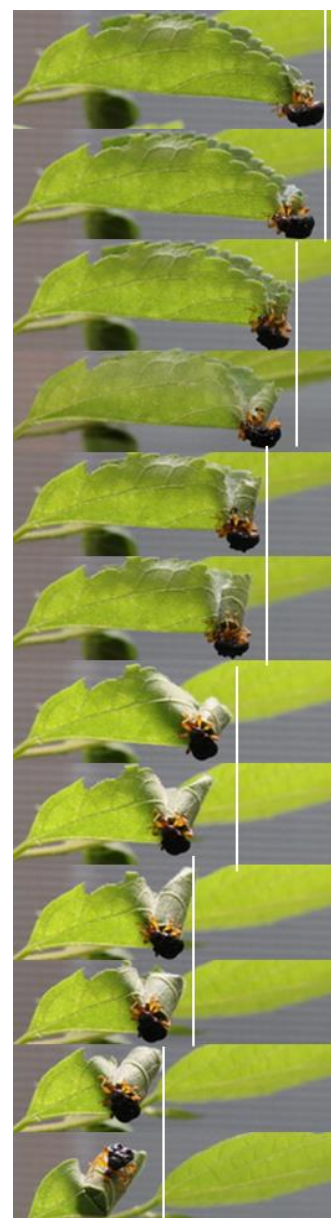


圖 43.隨著葉片的捲動，直徑會越滾越大變大。

### 研究三結果、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲『建造巢室』對『後代成長』的重要性

#### 實驗 3-1-1 結果～巢室『如何保護卵』

表 18：巢室捲葉保護卵的結果



1.樣本一捲葉巢室約有 4 圈，保護裡面的卵。



2.樣本二捲葉巢室約有 4 圈，保護裡面的卵。

圖 (44) 產卵孔的上層、下層面積與卵的『面積』平均值比較

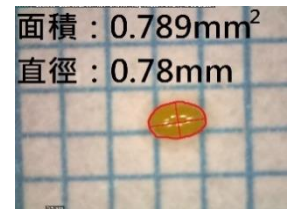
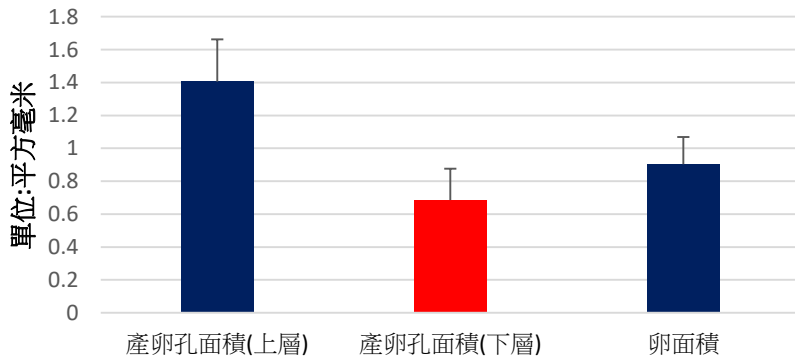


圖 45.測量卵大小

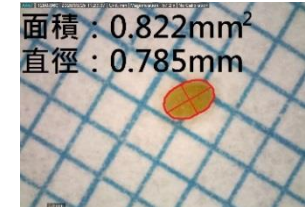


圖 46.測量卵大小

說明: 咬出  $1.406 \pm 0.257 \text{mm}^2$  與  $0.686 \pm 0.189 \text{mm}^2$  上下層產卵孔, 產下  $0.904 \pm 0.164 \text{mm}^2$  的卵。

圖 (47) 象鼻蟲頭部直徑、產卵孔上層和下層直徑、卵的『直徑』平均值比較

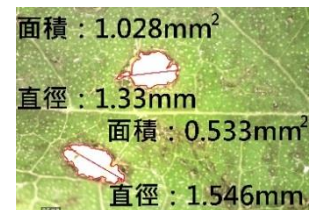
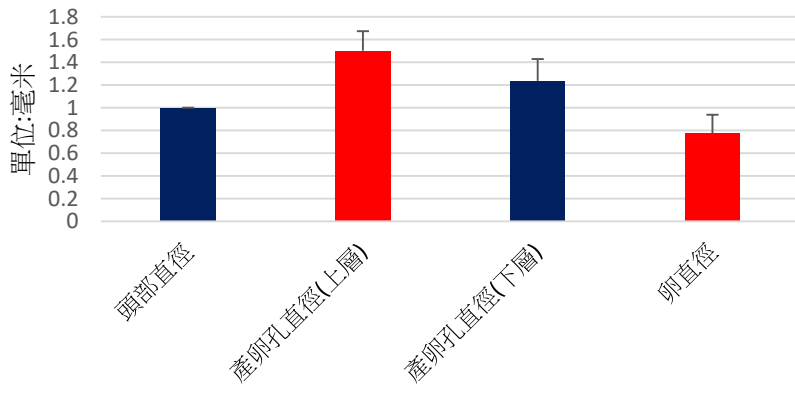


圖 48.產卵孔大小

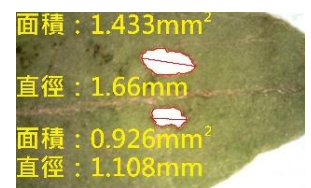


圖 49.產卵孔大小

說明: 頭部直徑約 1mm, 產卵孔上下層直徑約  $1.503 \pm 0.172 \text{mm}$ 、 $1.237 \pm 0.193 \text{mm}$ , 卵直徑約  $0.779 \pm 0.159 \text{mm}$ 。

實驗 3-1-2 結果~『不同濕度對卵孵化的影響』

圖 (50) 相對濕度與卵重量的關係

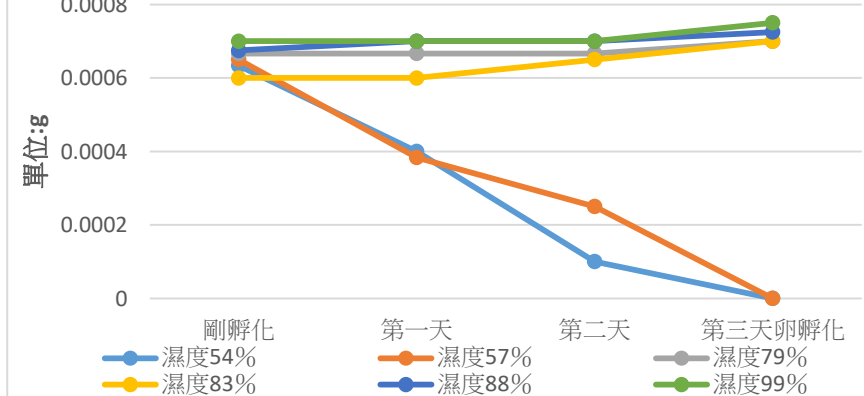
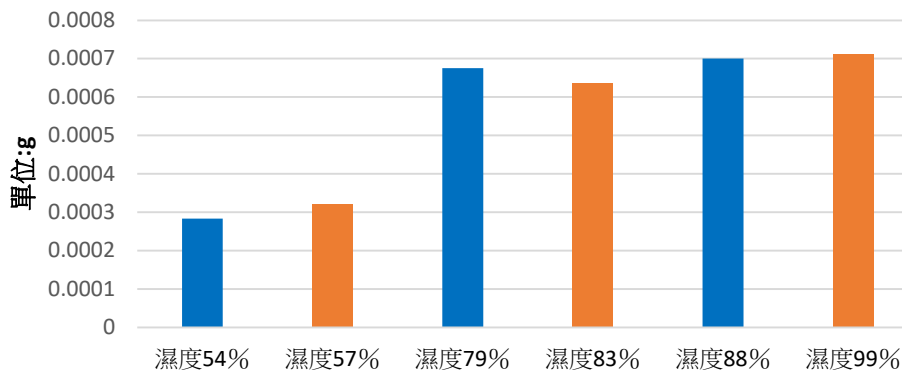


圖 51.在 88%濕度下, 三天增加 0.0001g。

說明: 在相對濕度 54%、57%時, 卵三天的發育重約 0~0.00065g; 相對濕度 79%~99%時, 卵三天的發育重約 0.0006~0.00075g。

圖 (52) 卵在不同濕度下的平均重量

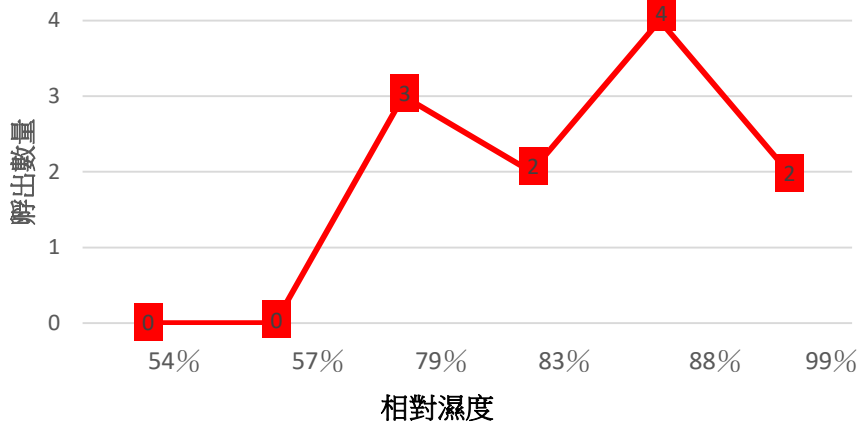


說明: 在相對濕度 54%、57%時平均重量約為 0.00028g 和 0.00032g ;  
在相對濕度 79%、83%、88%、99%時平均重量約為 0.00068g、  
0.00064g、0.0007 g、0.00071g。



圖 53.低於 57%濕度下，三天後只剩卵殼

圖 (54) 不同的相對濕度孵出數

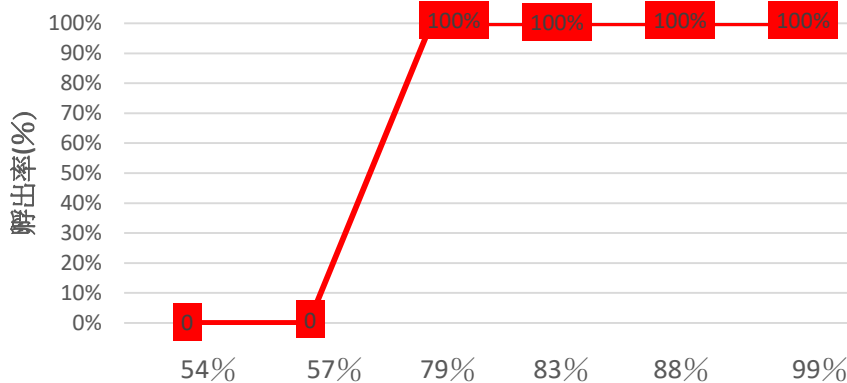


說明: 相對濕度 54%、57%，孵出 0 粒，而在 79%~99%時，孵出數分別為 3、2、4 和 2 粒。



圖 55.相對濕度 54% 下孵化失敗的卵

圖 (56) 相對溼度對象鼻蟲孵出率的影響



說明: 相對濕度 54%、57%，孵出率為 0;而在相對濕度 79%~99%時，孵出率為 100%(N=23)。



圖 57.相對濕度 85% 下卵順利孵化成幼蟲

實驗 3-2-1 結果～『巢室提供幼蟲食物』。

圖 (58) 小幼蟲與大幼蟲攝食面積平均值

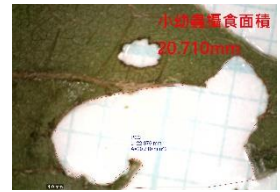
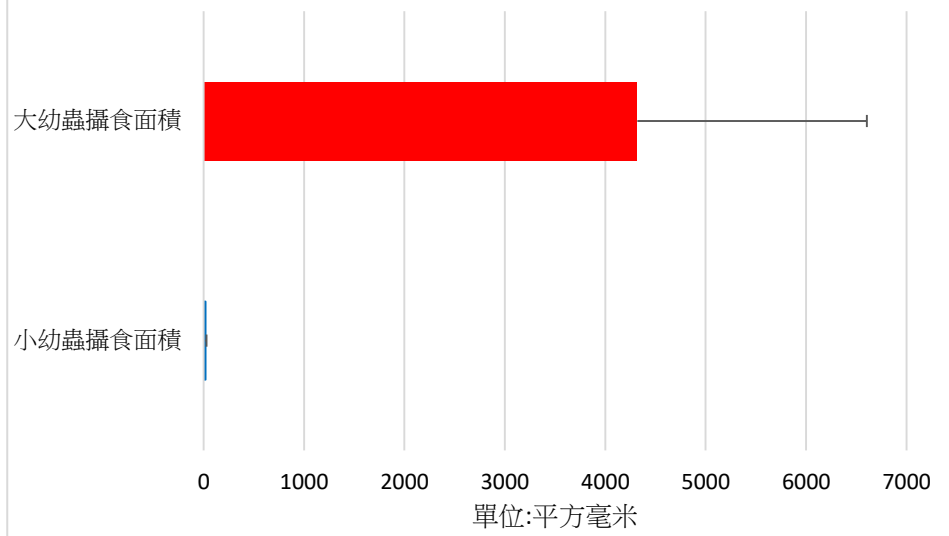


圖 59.小幼蟲攝食的面積為 20.710 mm<sup>2</sup>



圖 60.大幼蟲攝食的面積為 4598.922 mm<sup>2</sup>

說明: 小幼蟲攝食面積平均值為 18.21±11.15mm<sup>2</sup>, 大幼蟲攝食面積為 4320.78±2286.48 mm<sup>2</sup>。(N=5)

表 19: 不同階段的幼蟲攝食巢室的結果圖照

			
1.樣本一, 小幼蟲從產卵孔第一圈開始吃葉片	2.樣本二, 吃完一圈葉片, 糞便堆放在身邊	3.樣本三, 較大的幼蟲已經吃完第一圈葉片	4.樣本四, 最大的幼蟲已經吃完 2 圈葉片

表 20: 巢室外實驗組與對照組提供幼蟲食物記錄的結果

				
1.幼蟲通通跑到葉面下	2.有培養皿支撐, 從葉背開始吃了起來	3.摺一圈結果咬出一個洞	4.最後幼蟲掉出葉片外, 而找不到幼蟲	5.一齡蟲最後死在葉面上

上述實驗的結果與疑問?

根據上面的實驗結果, 幼蟲好像只能待在多層的捲狀巢室裡面吃葉片, 實驗中提供的捲一層或離開巢室後的幼蟲, 不一定吃的到葉片。讓我們感到疑問的是, 幼蟲明明還可以在葉片間爬行, 但為什麼就一定要在捲葉巢室內, 或者要爬到有支撐的地方才能順利吃到葉呢? 關於這點我們感到疑惑? 於是提出了新假設進行實驗。

## 再次進行實驗

提出新假設：因幼蟲的構造關係，不能固定在葉片上，所以無法停在『平面的葉片』上攝食。

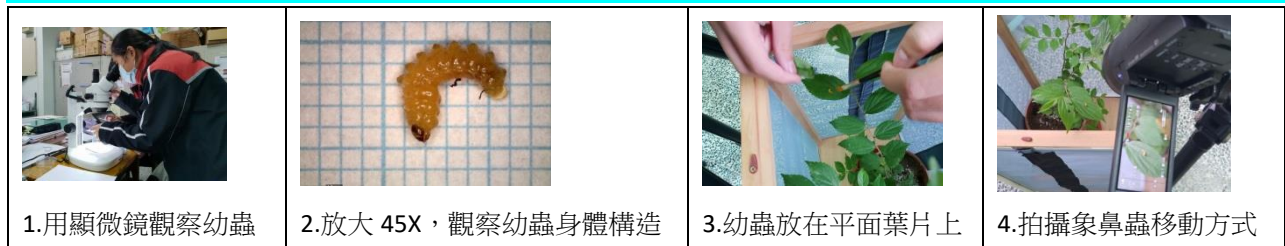
### 實驗設計 1：探討象鼻蟲『幼蟲的構造與幼蟲行動的方式』實驗

- (1) 用解剖顯微鏡 45X 觀察與拍攝大小幼蟲，再查閱參考資料，找出幼蟲身體的主要特徵。
- (2) 把大小幼蟲再次放置在平面的葉片上與方格紙上，測量與記錄幼蟲的每分鐘爬行的距離與時間如表 21。

### 實驗設計 2：再次求證幼蟲只能在巢室攝食的原因～測量『巢室內捲葉的間距』實驗

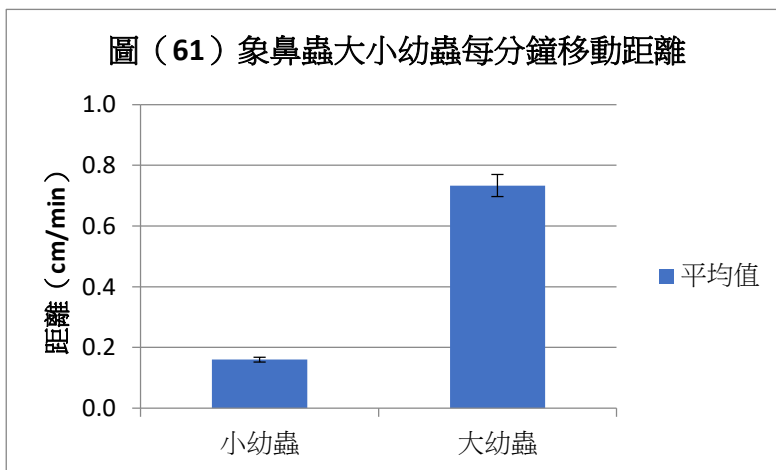
- (1) 剪開巢室，用 DinoCapture 軟體測量卵、幼蟲巢室內捲葉內的間距。

表 21：再次實驗探討『幼蟲身體構造、行動方式與攝食間的關係』--動手實驗操作流程圖照

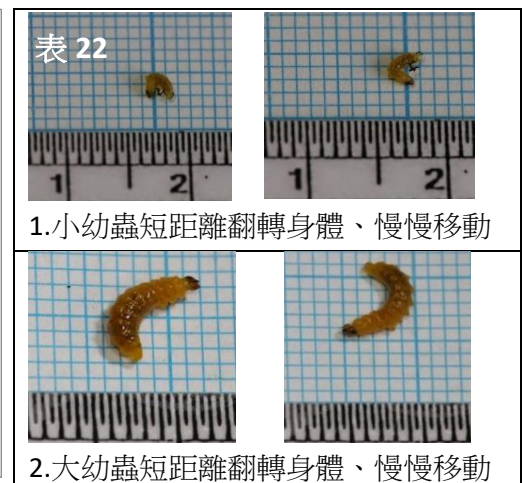


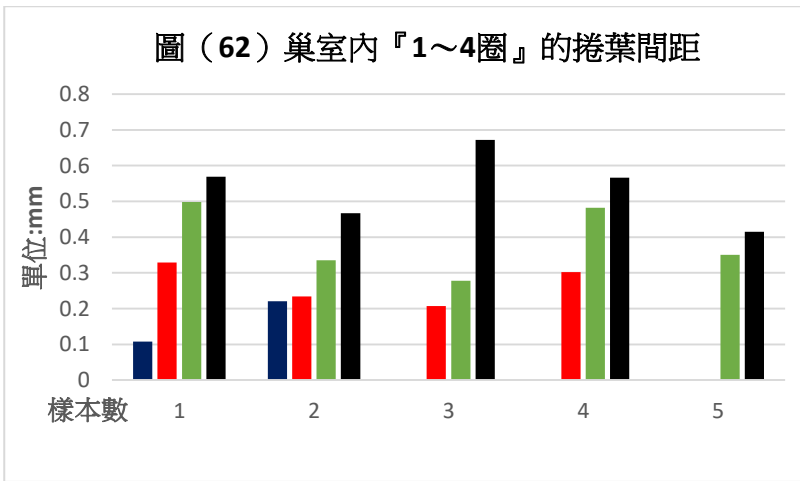
### 再次進行實驗獲得幼蟲只能在巢室內攝食的實驗結果：

1. 『幼蟲身體構造』：幼蟲分為頭胸腹，但沒有胸腳、腹足以及腹部最末端固定的尾足，因此雖然能靠蠕動前進，卻無法固定在葉片上。
2. 『幼蟲爬行時間』：剛孵化出來的小幼蟲幾乎定點無法蠕動，而大幼蟲能以每分鐘 0.2cm～0.8cm 短距離蠕動爬行。
3. 『巢室內的間距』：巢室內圈數的平均為 $0.33\pm 0.13$  mm，所以幼蟲能在間距緊密的捲葉內獲得充足的食物。



說明：小幼蟲移動距離，每分鐘爬行  $0.2\pm 0.1$  cm  
大幼蟲每分鐘能爬行  $0.73\pm 0.24$ cm。(N=15)





說明:第一個樣本由內到外的間距分別為 0.108~0.569mm，第二個樣本為 0.221~0.467mm，第三個樣本從第 2~4 圈間距從 0.207~0.672mm，第四個樣本 0.302~0.566mm，第五個樣本由內到外第 3~4 圈 0.351~0.415mm。(N=15)



圖 63.卵的巢室間距



圖 64.幼蟲的巢室間距

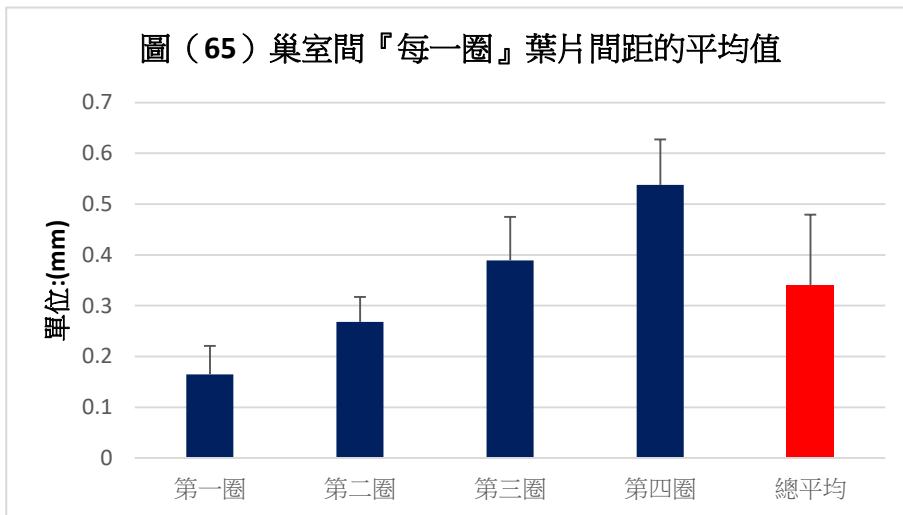


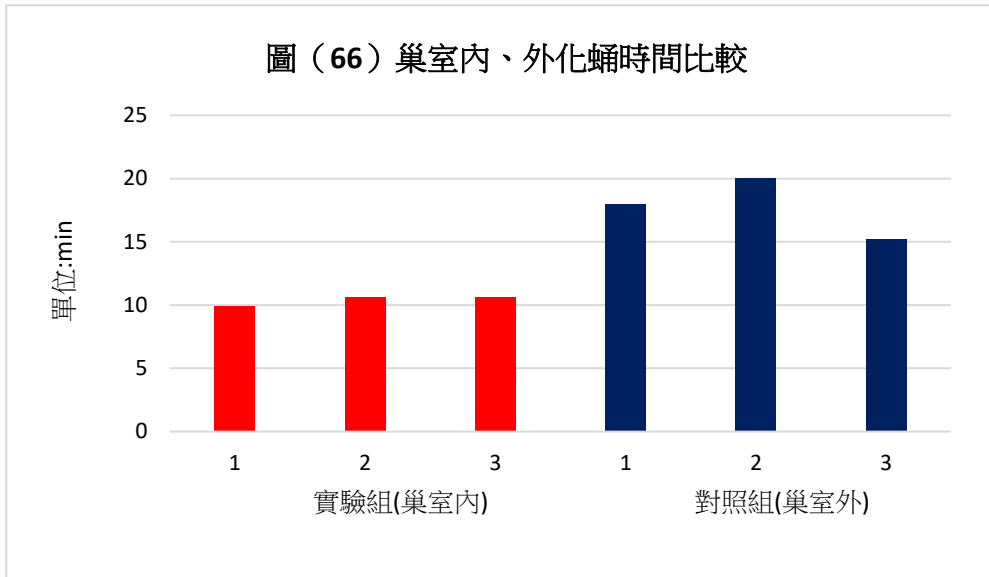
圖 65 說明：  
巢室第一圈間距為 0.16 ± 0.05 mm，第二圈為 0.26 ± 0.04 mm，第三圈為 0.38 ± 0.08 mm，第四圈為 0.53 ± 0.08 mm，圈數之間總平均間距為 0.33 ± 0.13 mm。

**實驗 3-3、巢室對後代的重要性 (3) ~ 巢室對『化蛹與蛻變成蟲』的重要性。**

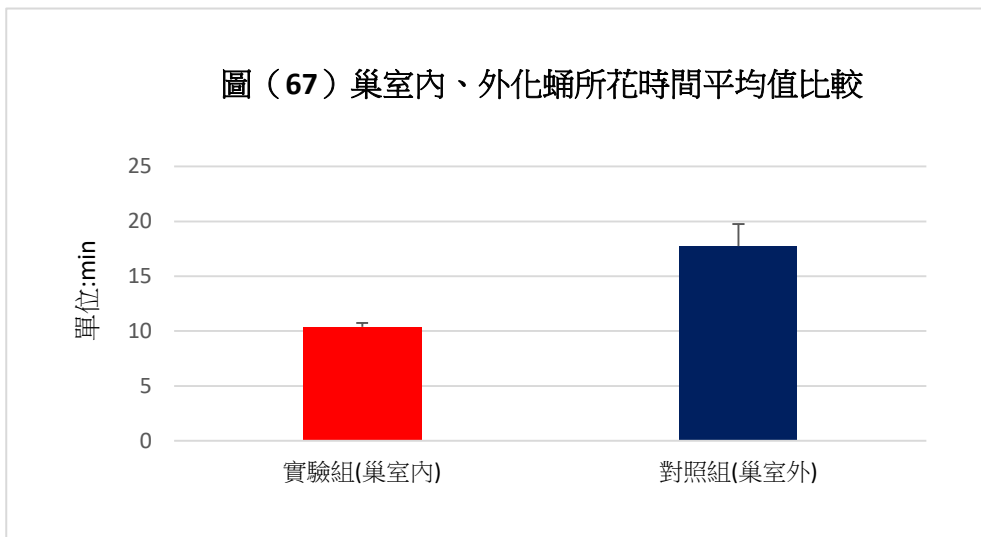
**表 23：『化蛹時間與蛻變成蟲失敗』的結果記錄**

<p>前蛹 兩天 樣本1</p>	<p>化成蛹 1:26:20 樣本1</p>	<p>前蛹 兩天 樣本2</p>	<p>化成蛹 1:04:48 樣本2</p>
1.幼蟲進入不動前蛹期	2.甩掉幼蟲皮，形成蛹體	3.幼蟲進入不動前蛹期	4.甩掉幼蟲皮，形成蛹體
5.幼蟲化蛹時往左旋轉 90°，往左移動約 0.5cm，沒有規律的蠕動，停止後幼蟲的皮還掛在蛹體上面，化蛹失敗		6.在巢室外蛻變蛹皮常掛在腳上造成殘廢與死亡	





說明:巢室內化蛹的時間 9.93~10.66min，巢室外化蛹的時間 15.18 ~20.06 min。(N=3)



說明:巢室內化蛹平均為 10.4±0.33min，巢室外化蛹平均為 17.8±2min。(N=3)

表 24：巢室『是下一代成蟲的第一餐食物』結果記錄



## 陸、問題與討論

一、關於象鼻蟲與朴樹上常見生物之間形成的交互作用，會不會影響它的生存討論

研究一我們看到有 15 種的生物與象鼻蟲一同生活在一起，有些生物例如蝴蝶幼蟲，雖然同樣以朴樹的葉片當食物，但對象鼻蟲而言，只會影響建造巢室葉片的選擇減少，彼此形成食物上的競爭關係，這類關係通常不會直接威脅到象鼻蟲的生存。在我們研究調查的過程中，發現會威脅到象鼻蟲生命的生物主要是寄生蜂，而寄生蜂又分別寄生在卵與幼蟲的身上。例如卵寄生蜂，寄生在卵裡，成熟後再咬破卵殼跑出來，而寄生在幼蟲身上的寄生蜂體型較大，同樣把幼蟲體內組織吃光後，鑽出幼蟲體內，並在附近吐絲化繭，成熟後在鑽出繭體，此時的幼蟲早已經死亡了。

表 25：寄生蜂寄生在象鼻蟲的卵及幼蟲記錄討論圖照結果

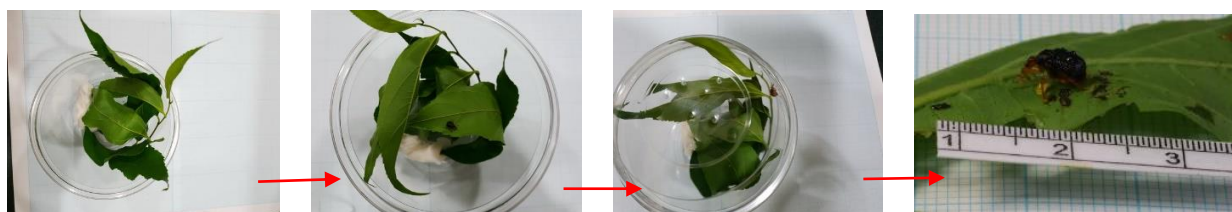


1.卵寄生蜂與卵殼 2.竄出象鼻蟲體內的寄生蜂幼蟲，很快在附近吐絲作繭，再從繭內鑽出

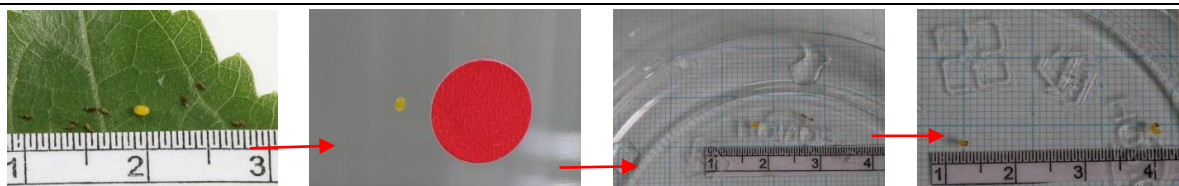
二、關於在不同角度或者在沒有規律的葉片，象鼻蟲會不會建造巢室或產卵的討論

不管在野外或是實驗室內，象鼻蟲會選擇角度在  $122^{\circ}\sim 158^{\circ}$  的葉片進行建造巢室的行為。我們想過，外面的環境有可能會是個惡劣環境，如果當葉片都變成不規則角度情況下，雌蟲還會建造巢室或產卵嗎？於是我們把從野外帶回來的雌蟲與朴樹，用衛生紙沾水隨意擠壓放在透明盒內，蓋上盒子，相對濕度保持在 99% 觀察。幾天後，我們發現雌蟲並沒有建巢室，但卻直接把卵產在葉片上或透明塑膠盒上，而且還順利孵化出幼蟲了。因此我們認為在惡劣的環境下，雌蟲不會摺捲葉片做巢室，還是產卵，只要保持高度濕度，卵還是能孵化，但是在巢室外孵化的幼蟲，是無法獲得到充足的食物，還是會導致死亡。這與我們 3-1 『不同濕度』影響卵的孵化實驗、3-2 『巢室能夠提供幼蟲食物』的實驗結果相符合。

表 26: 模擬惡劣環境，保持高濕度的討論圖照結果



1.把朴樹隨便放入透明飼養盒，在放如雌蟲，蓋上盒蓋保持濕度 2.發現把卵產在葉面上



3.發現第 2 粒卵 4.產在透明盒上第 3 粒卵、第 4 粒卵，最後在透明盒上就孵化了。

### 三、關於象鼻蟲為什麼要在中肋或支脈上戳洞，而不直接選擇在葉面上戳洞的討論

課本上說，陸地上的植物氣孔大多在葉的背面，所以只要在背面戳洞，加速葉片水分的散失。可是我們在『2-3 象鼻蟲在葉片戳洞』的實驗上發現，葉片被象鼻蟲咬前與咬後，葉片中肋與葉柄間是  $141.85 \pm 9.96^\circ$ 、 $148.27 \pm 13.86^\circ$ ，這數據告訴我們葉片被咬後，反而往上揚了  $6^\circ \sim 7^\circ$ ，因此葉片破洞有可能造成水分流失，但葉片不會軟化，無助於巢室的建造。能使葉片軟化的部位應該在其它部位。所以我們設計了密封袋套在正常葉片、被咬食葉片、做成巢室葉片上，觀察水分散失的過程。結果我們發現在 5 分鐘之內，巢室的密封袋內很快佈滿了水氣，因此推測，象鼻蟲把中肋咬出的一個大缺口（2-3 戳洞降低葉片彈力的實驗），阻斷了水分運送，葉片失去支持力，與葉柄間由  $141.85 \pm 9.96^\circ$  降到  $78.3 \pm 3.91^\circ$ ，葉片軟化，也從這裡散出大量的水氣流入捲狀的巢室內，或許這就是讓巢室內能不斷保持一定濕度的原因，更有助於卵的孵化。因此我們認為咬食中肋或支脈是有助於象鼻蟲摺捲葉片建造巢室與卵的孵化。

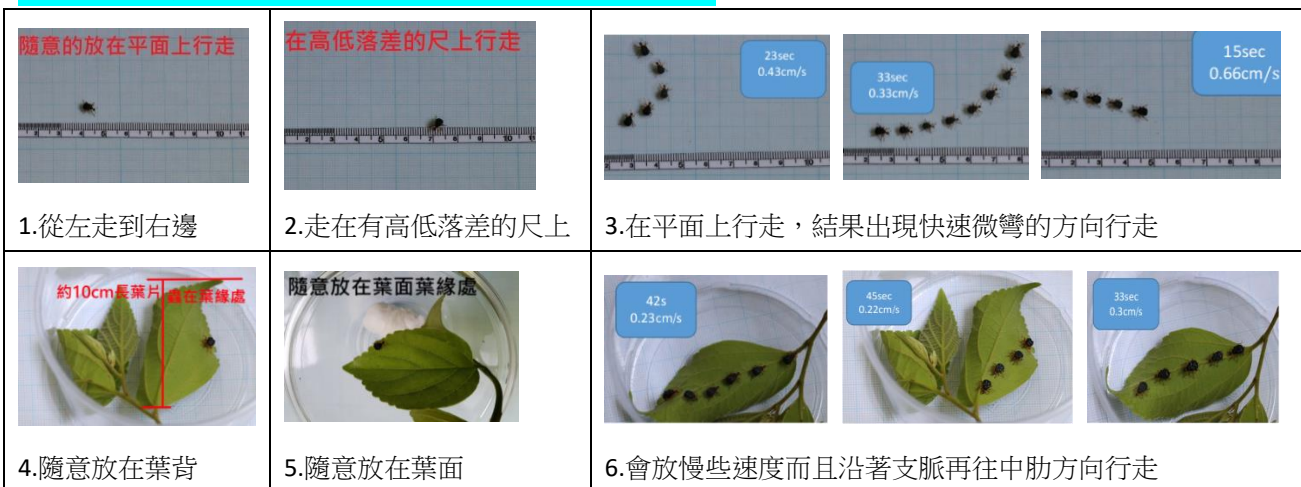
**表 27 :正常葉片、被咬食葉片與巢室間水分蒸散觀察討論圖照結果**



### 四、關於象鼻蟲是靠什麼方式找到支脈或中肋的部位討論

我們在研究一的觸摸葉片的實驗中，就發現了葉背有明顯浮起的中肋，葉面則沒有，我們想到會不會就是這個凸起的部位，讓象鼻蟲沿著這個部位行走。於是我們設計了一個高地有落差的環境，讓象鼻蟲走看看，全程用攝影機拍攝，觀察它的行走反應。結果真的發現，象鼻蟲在平面的地方，行走速度快，而且不斷出現轉彎的行為，但是碰到高低有落差的地方，步行速度變慢了，還只沿著高低處行走，我們用 photocap 剪輯軟體把行走的過程排列，獲得的結果與我們『2-3 腳部捲動葉片力量』的研究，象鼻蟲會沿著中肋或支脈方向行走的實驗結果相符合。

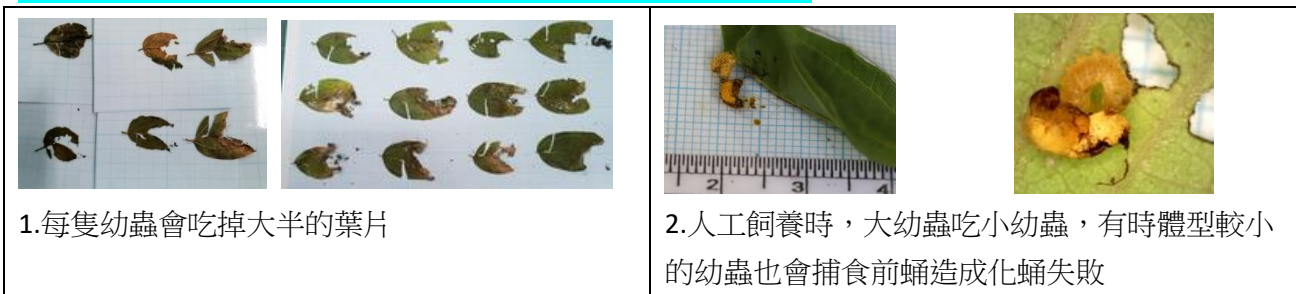
**表 28 :象鼻蟲在平面與高低落差行走討論圖照結果**



## 五、關於象鼻蟲為何一個巢室只產下一粒卵的討論

從實驗 2-4 象鼻蟲建造巢室的過程中的產卵行為，與 3-1 巢室對卵保護實驗中，我們都看到象鼻蟲在一個巢室中只產下一粒卵而已。我們思考，象鼻蟲這樣大費周章的建造巢室後才產下一粒卵，似乎很不划算，為何不像蠶寶寶或其他蛾類那樣，在一個葉片上產下數十粒卵，省去許多的時間，又可以大量的繁殖？後來經過『3-2 巢室提供食物的實驗』才得知，原來一隻幼蟲的攝食量已經吃掉葉片  $4320.78 \pm 2286.48 \text{ mm}^2$  面積，這已經是佔掉整片葉子的一大半，另外在培養皿提供食物的實驗中，又意外發現大隻的幼蟲會捕食小隻的幼蟲，或者咬食不動的前蛹幼蟲，所以我們推測象鼻蟲之所以一個巢室只產下一粒卵，目的可以保持幼蟲有充分的食物來源，更可以避免幼蟲間相互的捕食造成傷亡。

**表 29：象鼻蟲幼蟲吃掉葉面積與幼蟲會互咬討論圖照結果**



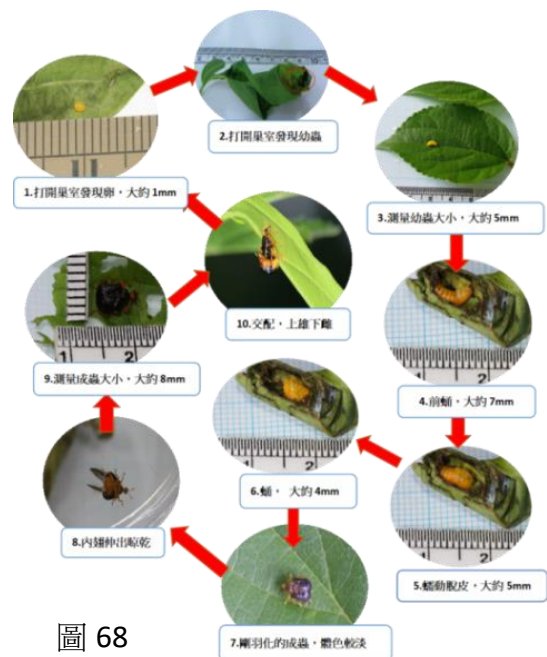
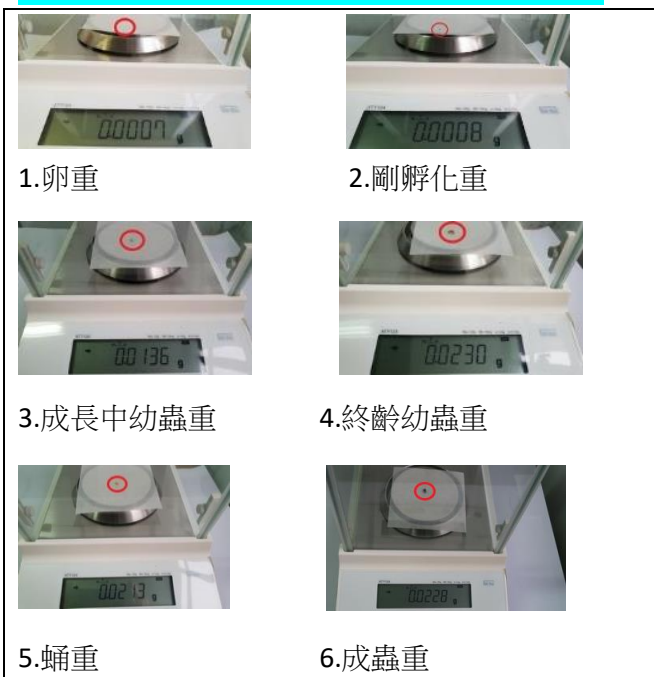
## 六、關於姬胡麻斑捲葉象鼻蟲生活史的討論

在實驗過程中，我們飼養了象鼻蟲，也完整記錄了它成長生活史，結果如表 30、圖 63：

**表 30：象鼻蟲成長記錄討論結果**

卵		幼蟲		蛹		成蟲	
天數 (天)	重量 (g)	天數 (天)	重量 (g)	天數 (天)	重量 (g)	雌重 (g)	雄重 (g)
2.7±0.21	0.0007	8.1±0.37	0.03±0.01	2.82±0.2	0.03±0.01	0.027±0.003	0.01±0.002

**表 31：象鼻蟲成長過程各階段發育的重量**



## 柒、結論

研究一結論、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係。

- (一) 姬胡麻斑捲葉象鼻蟲與多種生物形成競爭、共生與寄生等多種關係。其中寄生蜂會造成象鼻蟲的卵及幼蟲死亡。
- (二) 象鼻蟲雌蟲平均體長在  $0.63\pm 0.023\text{cm}$ 、體寬  $0.322\pm 0.020\text{cm}$ ；雄蟲體長在  $0.475\pm 0.023\text{cm}$ ，體寬  $0.277\pm 0.020\text{cm}$ 。

研究二結論、姬胡麻斑捲葉象鼻蟲如何選擇『巢室的葉片』與『建造巢室』的策略。

(一) 選擇葉片的方法：

1. 選擇枝條前端嫩葉進行試咬，確定能咬出破洞後在進行切割。選擇  $5.25\pm 0.88\text{cm}$  的葉長、 $2.96\pm 0.34\text{cm}$  的葉寬，做成  $2.00\pm 0.45\text{cm}$  的巢長、 $0.710\pm 0.09\text{cm}$  的巢寬、 $0.172\pm 0.050\text{g}$  的巢室重。
2. 象鼻蟲與葉片之間的關係：象鼻蟲的體長、體寬、體重對選擇葉長、葉寬、巢重之間的關係研究大多呈現低度或中度相關。

(二) 建造巢室的策略：

1. 離葉柄  $0.5\pm 0.07\text{cm}$  為常見的切割距離點，橫向走到葉緣，縱向切出  $1.08\pm 0.34\text{cm}$  長度，再橫向切出  $0.61\pm 0.28\text{cm}$  長度。因此體寬的長度與縱向切割長度有高度相關性。
2. 葉片具有  $1.8426\text{cm/g}$  的彈力係數 (k 值)，象鼻蟲的足部以  $2.3\times 10^{-3}\pm 4.7\times 10^{-4}\text{N}$  對葉片施力，以  $0.71\pm 0.054\text{cm/s}$  速率在葉片間行走。
3. 每一個葉片在中肋處咬出  $11.65\pm 4.3$  個洞，而且依照中肋的粗細不同，分別咬出  $0.106\pm 0.034\text{mm}^2$ 、 $0.088\pm 0.027\text{mm}^2$ 、 $0.068\pm 0.014\text{mm}^2$  不同面積的孔洞，使得葉片中肋與葉柄間從原本  $141.85\pm 9.96^\circ$  降到  $78.3\pm 3.91^\circ$ ，降低葉片的彈力，有助於進行捲葉。
4. 摺捲一個巢室約花費  $44.88\pm 4.55\text{min}$ 、花  $59\pm 12.19\text{s}$  產下卵粒。隨著摺捲巢室直徑越來越大，分別施與  $0.06\pm 0.01\text{gw}$ 、 $0.30\pm 0.04\text{gw}$ 、 $0.71\pm 0.08\text{gw}$  不同的力在滾動葉片。

研究三結論、姬胡麻斑捲葉象鼻蟲『建造巢室』對『後代成長』的重要性。

(一) 巢室對卵的重要性：

1. 象鼻蟲咬出直徑  $1.503\pm 0.172\text{mm}$ 、 $1.237\pm 0.193\text{mm}$ ，面積  $1.406\pm 0.257\text{mm}^2$  與  $0.686\pm 0.189\text{mm}^2$  的產卵孔，產下直徑  $0.779\pm 0.159\text{mm}$ 、面積  $0.904\pm 0.164\text{mm}^2$  的卵到產卵孔內，接著快速把葉片摺捲 4 圈左右，連同卵包捲起來保護。
2. 卵在相對濕度 79%~99% 的環境能順利孵化，54%、57% 的相對濕度下，無法孵化。

(二) 巢室對幼蟲的重要性：

1. 因大小幼蟲每分鐘只能爬行  $0.73\pm 0.24\text{cm}$ 、 $0.2\pm 0.1\text{cm}$  的短距離，因幼蟲沒有胸腳、腹足，所以無法固定在平面的葉片上，因此只能待在捲葉內。
2. 小幼蟲攝食  $18.21\pm 11.15\text{mm}^2$  面積的葉片，長到大幼蟲可以吃到  $4320.78\pm 2286.48\text{mm}^2$  面積的葉片，所以幼蟲無法離開巢室，只有在摺捲的巢室內才能獲得充足的食物。

(二) 巢室對化蛹與蛻變成蟲的重要性：

在巢室內化蛹平均為  $10.4\pm 0.33\text{min}$ ，巢室外化蛹平均為  $17.8\pm 2\text{min}$ 。而且巢室外化蛹時幼蟲的皮會沾黏在蛹體上面，造成化蛹蛻皮失敗。巢室外蛻變，蛹體的外皮會卡在成蟲的腳、翅膀無法摺收起來等問題。蛻變成蟲後，會咬出孔洞，再從孔洞鑽出。

**表 32：研究總結，綜合前人科展研究報告與我們實驗的異同之處**

象鼻蟲建造巢室與後代關係	3 篇前人科展研究資料的結果	我們與前人研究的異同處與新發現
1.與生物間交互關係	1.文獻四第 10 頁：發現 6 種小動物，不會對黑點捲葉象鼻蟲生活發生影響。 2.文獻四第 3 頁：10 隻身體長約 6mm。	<p><b>相似但有更進一步做相關研究：</b> 找到更多 15 種不同生物在朴樹上生活。</p> <p><b>不同研究的新發現：</b> 1.分析象鼻蟲與其它生物間有競爭、共生關係，還有卵與幼蟲會被寄生死亡。 2.統計雌雄蟲體長、體寬大小。(N=21)</p>
2.選擇做巢室的葉片	1.文獻二第 31 頁：選擇 7~8 公分葉片。 2.文獻四第 7 頁：8 個在嫩葉上築卵繭。	<p><b>相似但有更進一步做相關研究：</b> 選擇 <math>5.25\pm 0.88\text{cm}</math> 的葉長、<math>2.96\pm 0.34\text{cm}</math> 的葉寬嫩葉上做巢室 (N=22)。</p> <p><b>不同研究的新發現：</b> 象鼻蟲會在枝條前端不斷試咬葉片，確定葉片是嫩葉後，才回成為做巢室的葉片。(N=213)</p>
3.象鼻蟲對葉片進行切割方式	1.文獻二 5 頁：切割出類似英文字母 L 形狀缺口。	<p><b>不同研究的新發現：</b> 1.離葉柄 <math>0.5\pm 0.07\text{cm}</math> 為一個切割的距離點。 2.橫向走到葉緣，縱向切出 <math>1.08\pm 0.34\text{cm}</math> 長度，再橫向切出 <math>0.61\pm 0.28\text{cm}</math> 長度。 3.證實體寬的長度與縱向切長度有高度相關性。</p>
4.象鼻蟲對葉片戳洞降低彈力	1.文獻二第 11 頁：葉面上有戳洞，洞與洞之間集中在 0.5~0.8 公分之間。所以洞具有等距關係。	<p><b>相似但有更進一步做相關研究：</b> 在每個葉片的中肋處咬出 <math>11.65\pm 4.3</math> 個洞。</p> <p><b>不同研究的新發現：</b> 1.測出葉片的彈力係數、足部對葉片的施力、與在葉片行走的速率。 2.依照中肋的粗細不同，分別測量咬出不同面積的孔洞。 3.因戳洞的關係，使葉片與中肋葉柄間原本 <math>141.85\pm 9.96^\circ</math> 降到 <math>78.3\pm 3.91^\circ</math>，降低葉片的彈力，有助於進行捲葉。</p>
5.象鼻蟲捲動葉片時的扭轉力與建造巢室的策略	1.文獻二第 4 頁：捲葉過程歸納有 11 項步驟。 2.文獻四第 11 頁：卵繭直徑約 7.8mm，長度約 22.2mm。	<p><b>相似但有更進一步做相關研究：</b> 統計 <math>2.00\pm 0.45\text{cm}</math> 巢長、<math>0.710\pm 0.09\text{cm}</math> 巢寬、<math>0.172\pm 0.050\text{g}</math> 重的巢室。</p> <p><b>不同研究的新發現：</b> 1.摺捲一個巢室大約花費 <math>44.88\pm 4.55\text{min}</math>。 2.摺捲巢室直徑越來越大，施力也越大。 3.當剪應變與剪應力都和巢室半徑成正比</p>

		，剪應變越大，剪應力也越大。
6.巢室對卵的重要性	1.文獻二第 31 頁：捲動到 2~3 層間，咬破葉片將卵產下。 2.文獻四第 11 頁：交尾後會產卵並做卵繭。卵黃色、大約 1mm。	<b>相似但有更進一步做相關研究：</b> 測量卵的大小，計算卵的面積 <b>不同研究的新發現：</b> 1.測量雌蟲咬出產卵孔的直徑、面積，統計花費 $59s \pm 12.19s$ 產下卵的時間。 2.巢室大約捲四圈，算出捲葉之間間距，是用來保護巢室內的卵。 3.卵在相對濕度 79%~99%的環境能順利孵化。低於 57%的相對濕度下，無法孵化而死亡。
7.巢室對幼蟲的重要性	文獻四第 9 頁：幼蟲像蠕蟲狀。	<b>不同研究的新發現：</b> 1.因幼蟲沒有胸腳、腹足所以無法固定在平面的葉片上。因大小幼蟲每分鐘只能短距離爬行。 2.測量不同體型的大小幼蟲攝食葉片的面積，並獲得幼蟲無法離開巢室，只有在摺捲的巢室內才能獲得充足的食物。
8.巢室對蛹與蛻變成蟲的重要性	文獻二、三、四沒有研究。	<b>不同研究的新發現：</b> 1.統計巢室內外化蛹時間的差異，獲得巢室外化蛹幼蟲的皮會沾黏在蛹體上面，造成化蛹蛻皮失敗。 2.巢室外蛻變，蛹體的外皮會卡在成蟲的腳、翅膀無法摺收起來等問題而死亡。 3.把巢室咬出洞口，是下一代成蟲第一餐。

## 捌、參考資料及其他

- 一、康軒教科書編輯團隊（2020）·自然科學 康軒出版
- 二、歐書晴（2008）·幾何高手-探討姬胡麻斑捲葉象鼻蟲之『搖籃』數學規律·中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 作品說明書
- 三、陳秋綾（2011）·製『圓』高手-捲葉搖籃『內接正多邊形』的探討·中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書
- 四、新北市正義國小（2013）·朴繭而出---黑點捲葉象鼻蟲·新北市 102 學年度中小學科學展覽會 作品說明書

## 玖、待研究的問題

整個研究過程中，認識了會做巢室的象鼻蟲都是雌蟲，未來我們還想知道，為什麼雄蟲不會建造巢室，是不是因為構造上有不同的地方而不能做巢室，這點讓我們很想繼續研究。

## 【評語】 030317

本研究針對姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室的過程進行一系列詳盡的觀察、測量與物理定理的應用，並且驗證捲葉行為對於象鼻蟲適存度的假說，內容完整且豐富。



## 摘要

本研究在探討姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室的方式與後代成長的關係。**結果一認識象鼻蟲與食物**：象鼻蟲體型是雌大雄小，平均體長在  $0.63 \pm 0.023 \text{cm} \sim 0.475 \pm 0.023 \text{cm}$ ，以朴樹的葉片為食物。**結果二做巢室的策略**：會找尋葉長  $5.25 \pm 0.88 \text{cm}$  做巢室，並在葉面上進行切割作記號、葉背中肋戳洞，使葉柄與中肋的角度從  $141.85^\circ \pm 9.96^\circ$  降到  $78.3^\circ \pm 3.91^\circ$ ，葉片因此軟化，足部以  $2.3 \times 10^{-3} \pm 4.7 \times 10^{-4} \text{N}$  對葉片施力，平均花費  $44.88 \pm 4.55 \text{min}$  建造一個  $2.00 \pm 0.45 \text{cm}$  大小的巢室。**結果三巢室對後代的重要性**：卵的大小  $0.779 \pm 0.159 \text{mm}$ ，相對濕度在  $79\% \sim 99\%$  間都能順利孵化。幼蟲待在  $0.33 \pm 0.13 \text{mm}$  狹小巢室內啃食  $4320.78 \pm 2286.48 \text{mm}^2$  葉片面積。以  $10.4 \pm 0.33 \text{min}$  完成化蛹進入蛹期。經過一連串研究證實，象鼻蟲建造巢室是有利於後代順利成長。

## 壹、研究動機

實驗前我們上網找尋關於姬胡麻斑捲葉象鼻蟲的研究文獻，看到了 3 篇科展相關的資料，研究內容大多與幾何數學或是觀察型態特徵有關。例如：利用數學中的對稱、等距、平行等關係以及依據褶痕痕跡連接構成的直角三角形與平行四邊形型態，去研究製作正六邊形的平面狀與圓柱狀搖籃。例如：觀察象鼻蟲的體型大小、生活型態等。前人的研究方向，很少針對姬胡麻斑捲葉象鼻蟲做的巢室與後代成長的關係做詳細的研究，因此我們決定從象鼻蟲選擇葉片開始到如何製作巢室，而巢室正是能夠讓後代順利成長的地方，達到傳宗接代的目的作為研究的主軸。研究過程中，利用在課堂上第二章顯微鏡使用方法、第四章植物體內運輸物質的方式以及第五章動物的行為、第一章有性生殖、第三章槓桿原理與第四章虎克定律，還有電腦課學到的圖片編輯與 excel 分析等知識，深入運用在姬胡麻斑捲葉象鼻蟲的研究。

## 貳、研究目的

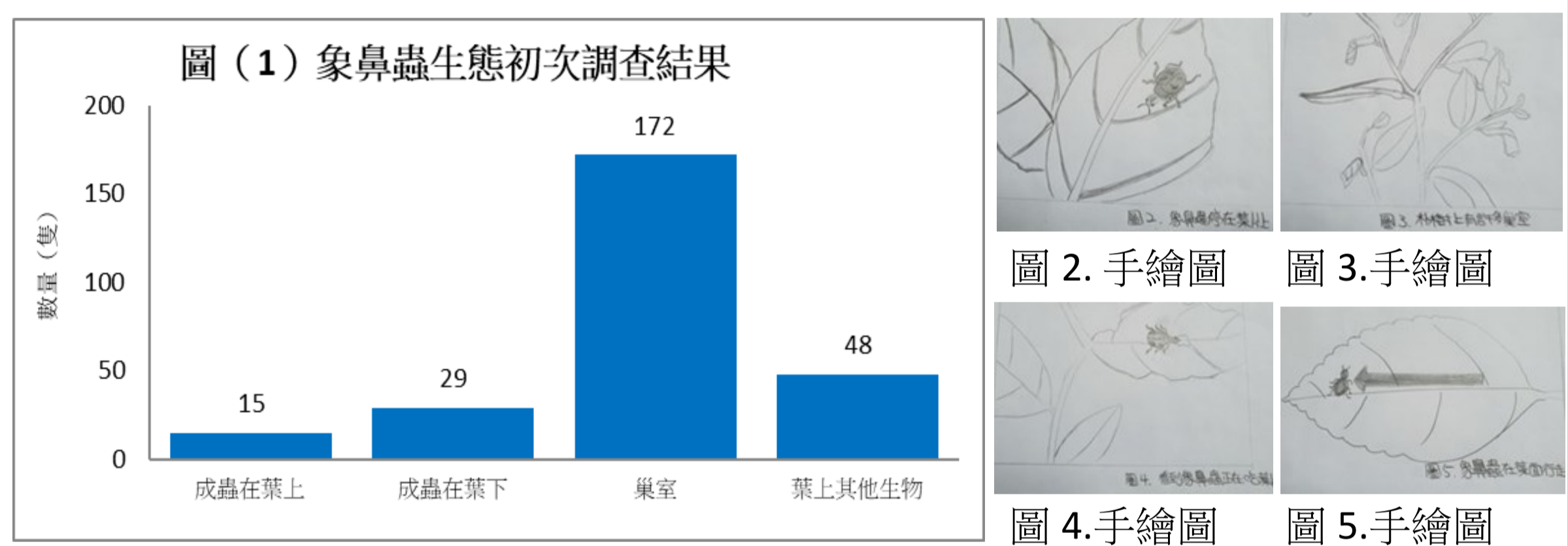
- 一、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係。
- 二、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲選擇巢室的葉片與建造巢室的策略。
- 三、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室對後代成長的重要性。

## 參、研究設備及器材

- 1.數位相機 (SONY RX100IV)
- 2.顯微鏡(DinoCapture 2.0)
- 3.解剖顯微鏡
- 4.電子秤(SNUG-300)
- 5.溼度計
- 6.平板 (Galaxy Tab S3)
- 7.水彩筆
- 8.自製量角器
- 9.自製砝碼
- 10.手機 (Angulus 軟體)
- 11.攝子
- 12.筆電

## 肆、研究方法

### 研究一、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲與食草植物及相關生物的調查



(一) 觀察後我們產生的疑問與假設：我們提出朴樹有毛朴與石朴 2 種，而且象鼻蟲都會攝食。生活在朴樹上的其他生物，與象鼻蟲之間有多種交互關係實驗假設。

(二) 動手實驗：認識象鼻蟲的食草植物、食物互換與體型的實驗

### 表 1：認識『象鼻蟲的食物』與『食物互換實驗』的動手實驗操作流程



### 研究二、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲選擇巢室葉片與建造巢室的策略

(一) 觀察後我們產生疑問與假設：『如何選擇葉片？』因此提出『繞著葉緣走，能選擇想要的葉片』嗎？『用口器切割葉片、在葉片上戳洞、用腳把葉片捲起來做成巢室』的實驗假設。

(二) 動手實驗：實驗 2-1、建造巢室策略(1)～選擇做巢室葉片。

- 1.象鼻蟲如何選擇葉片：記錄 87 個朴樹枝條、213 片葉片與巢室。
- 2.象鼻蟲與葉片之間的關係：記錄 6 隻雌蟲建造的 34 個樣本。

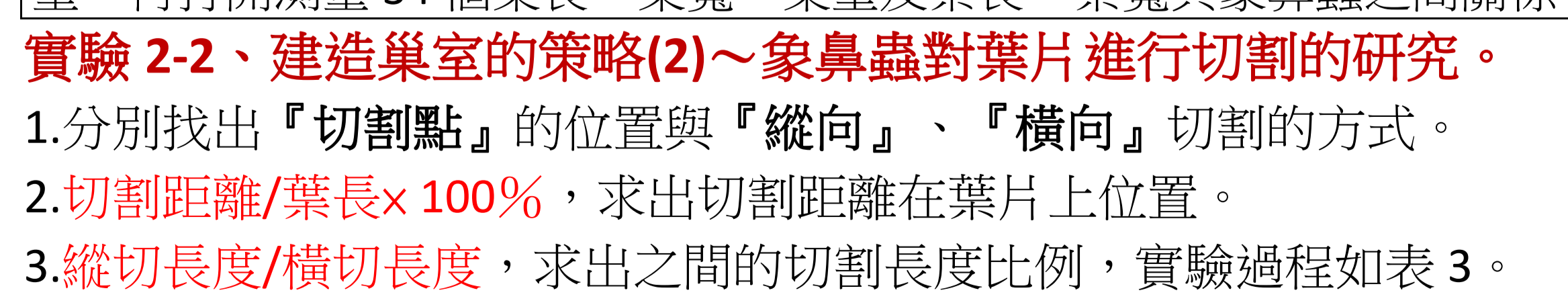
### 表 2：象鼻蟲如何選擇做巢室的葉片與葉片間的關係實驗動手操作過程



### 實驗 2-2、建造巢室的策略(2)～象鼻蟲對葉片進行切割的研究。

- 1.分別找出『切割點』的位置與『縱向』、『橫向』切割的方式。
- 2.切割距離/葉長 $\times 100\%$ ，求出切割距離在葉片上位置。
- 3.縱切長度/橫切長度，求出之間的切割長度比例，實驗過程如表 3。

### 表 3：『測量葉片切割』～實驗設計步驟與動手操作過程圖照



看到正在切割與切割長度的測量(樣本二與樣本三)

### 實驗 2-3、建造巢室策略(3)～對葉片上的彈力與戳洞行為研究。

#### 1.象鼻蟲對葉片施力與葉片彈力的研究：

(1) 象鼻蟲在葉片行走施力：利用速度=爬行距離(cm)/時間(s)，計算葉片上爬行速度。以  $a = 2s / t^2$ ； $F=ma$  換算腳部對葉片施力。利用虎克定律  $F=k \times \Delta x$ ，求出 k 值，是葉片的彈力係數。

(2) 葉片受到施力的彈力恢復實驗：製作每片長 2cm $\times$ 寬 1cm 重約 0.05g 的人工砝碼片，利用虎克定律  $F = k \times \Delta x$ ，求出 k 值，為葉片的彈力係數。(如表 4)

### 表 4:做巢室的時間與行走速度測出腳力量的實驗與操作過程圖照

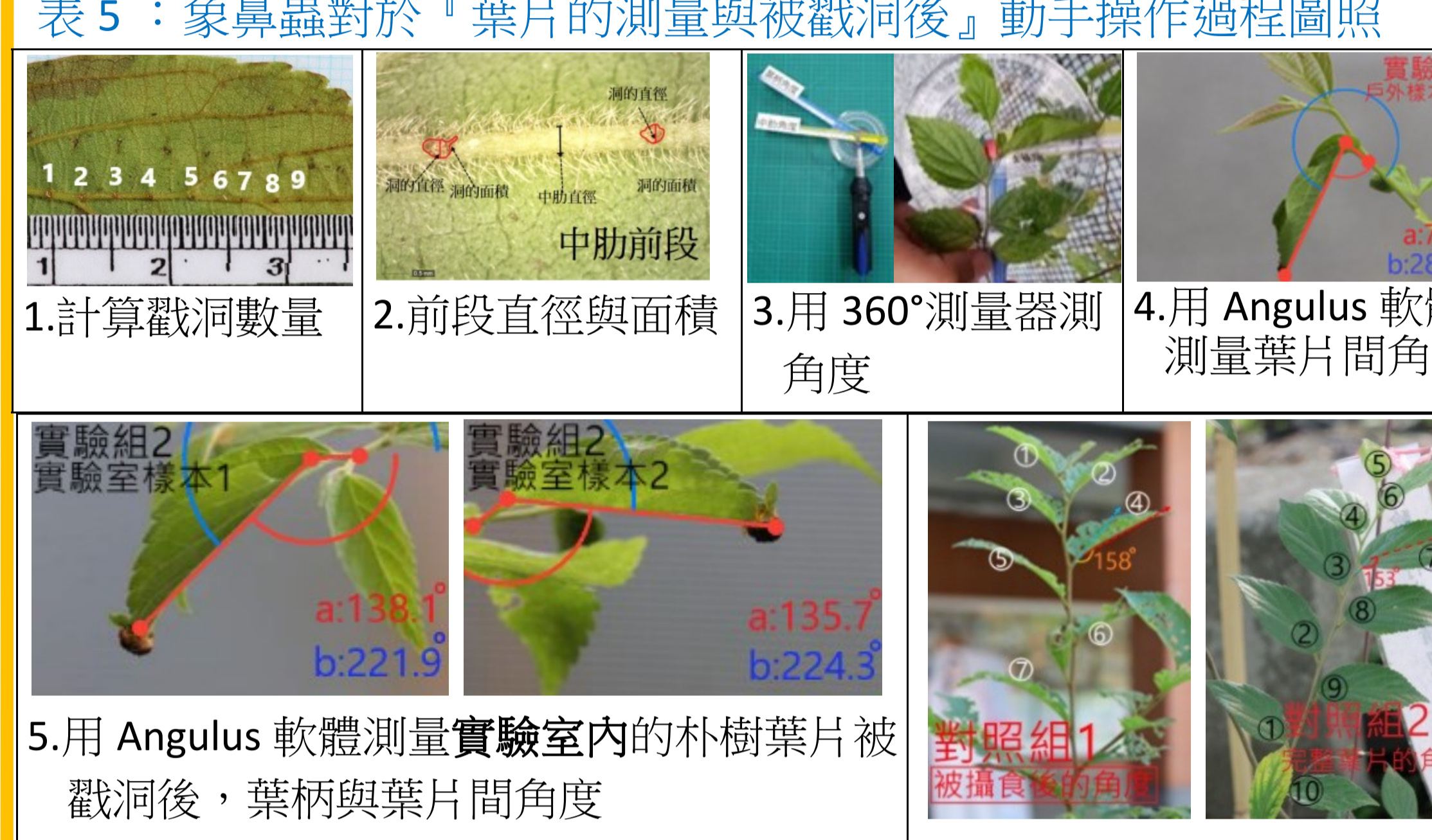


#### 2.象鼻蟲對葉片戳洞降低葉片彈力的研究：

(1) 觀察與記錄，葉片分段與計算：葉片分三段，切割點到產卵孔間對分前段與中段，產卵孔到葉尖是後段。再用顯微鏡放大 50x 觀察拍照、DinoCapture 軟體計算洞的大小、面積。

(2) 儀器設計與軟體分析實驗：實驗組--『中肋被戳洞』後與葉柄角度：對照組--『中肋沒有』被戳洞後與葉柄角度

### 表 5：象鼻蟲對於『葉片的測量與被戳洞後』動手操作過程圖照



### 實驗 2-4、建造巢室策略(4)～做巢室的時間與葉片被捲動的研究

#### 1.做巢室花費的時間：將做巢室的象鼻蟲分為實驗組與對照組共 10 個樣本，記錄葉片捲成巢室花費時間。(如表 6)

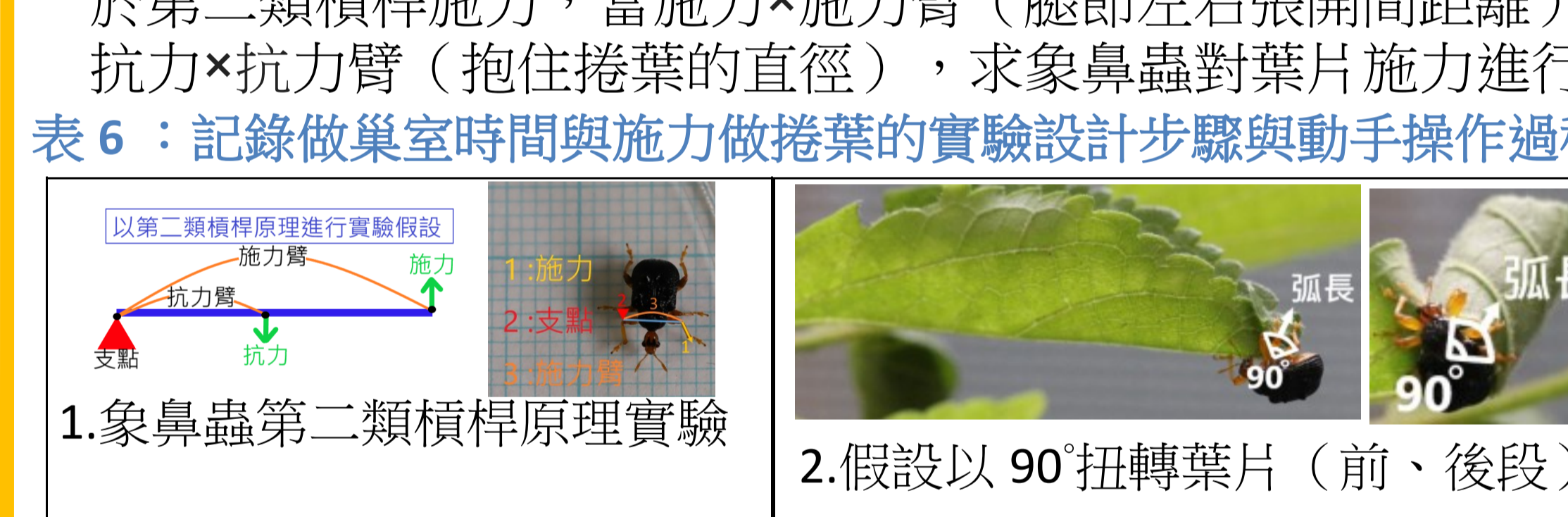
#### 2.葉片被捲動的研究：

(1) 葉片捲動的弧長：假設葉片每次都以  $90^\circ$  ( $\theta$ ) 捲動，利用扇形弧長 ( $\alpha$ ) =  $2\pi r \times \theta / 360^\circ$ ，求出捲動的弧長。

(2) 求葉片的扭轉力：假設葉片的剪應變 ( $\gamma$ ) 為  $\alpha / l$ ，為承受剪應力的變形量。假設  $l$  (摺捲的長度)、 $\alpha$  (弧長)；剪應變結果得剪應力 ( $\tau$ )， $\tau = G \gamma$ 、 $G$  為剪力模數，似虎克定律。

(3) 施力扭轉葉片的槓桿原理：假設象鼻蟲的抗力點在中間，屬於第二類槓桿施力，當施力 $\times$ 施力臂 (腿節左右張開間距離) = 抗力 $\times$ 抗力臂 (抱住捲葉的直徑)，求象鼻蟲對葉片施力進行。

### 表 6：記錄做巢室時間與施力做捲葉的實驗設計步驟與動手操作過程



### 研究三、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室對後代成長的重要性

(一) 實驗前的生態觀察與疑問：巢室對後代有哪些重要性？

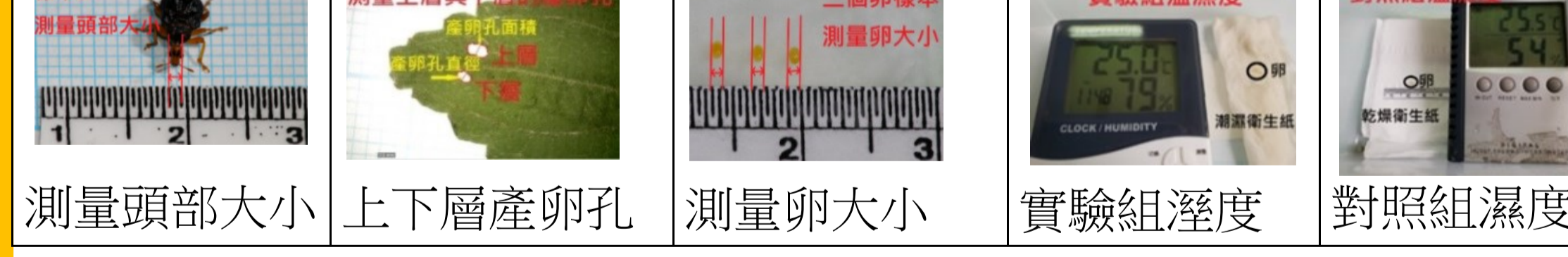
(二) 提出假設：『第一、不在巢室內的卵無法孵化、第二、幼蟲如果離開巢室無法獲得充足食物，且不會順利蛻變成蛹』。

(三) 動手實驗：實驗 3-1、巢室對後代重要性(1)～巢室保護卵

1.巢室對卵的保護方式：測量象鼻蟲頭部大小，再用 DinoCapture 軟體測量產卵孔面積、卵大小，記錄巢室圈數與卵被保護方式。

2.『不同濕度』對卵孵化影響：『不同濕度對卵重量與孵化率影響』實驗。以實驗組與對照組在不同濕度中實驗直到卵孵化。

### 表 7：『卵的保護與不同濕度影響孵化』動手操作過程圖照



### 實驗 3-2、巢室對後代的重要性(2)～巢室『提供食物給幼蟲』。

1.幼蟲啃食葉片面積：用 DinoCapture 軟體計算幼蟲吃葉片的面積。

2.巢室提供幼蟲食物重要性：二種不同環境下幼蟲攝食的影響。

### 表 8：巢室『提供幼蟲食物』動手操作過程圖

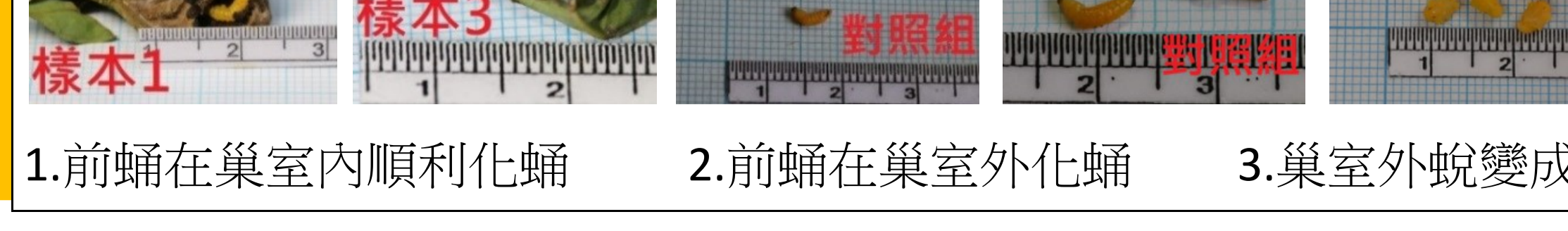


### 實驗 3-3、巢室對後代的重要性(3)～巢室『化蛹與成蟲』的重要性

1.巢室對『化蛹』重要性：『在不同環境下是否影響化蛹』的實驗。

2.巢室『蛻變成下一代』重要性：不同環境下是否影響蛹蛻變成蟲。

### 表 9：巢室對後代重要性(3)～巢室對『化蛹蛻變』重要性操作過程



## 伍、研究結果

研究一結果、認識姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物與相關生物的交互關係

- (1) 毛朴葉形橢圓，摸起來葉背有細毛。石朴葉形較狹長，摸起來細毛較不明顯。不管是毛朴還是石朴，象鼻蟲都會攝食。
- (2) 象鼻蟲的型態：通常是雌蟲體型較大，雄蟲體型較小。

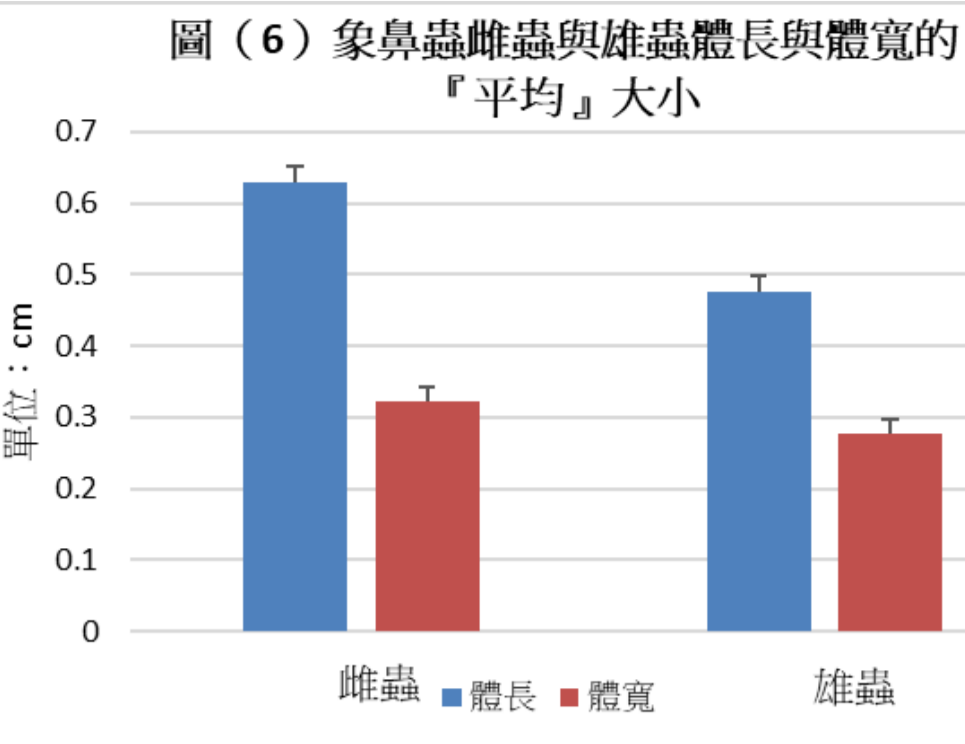


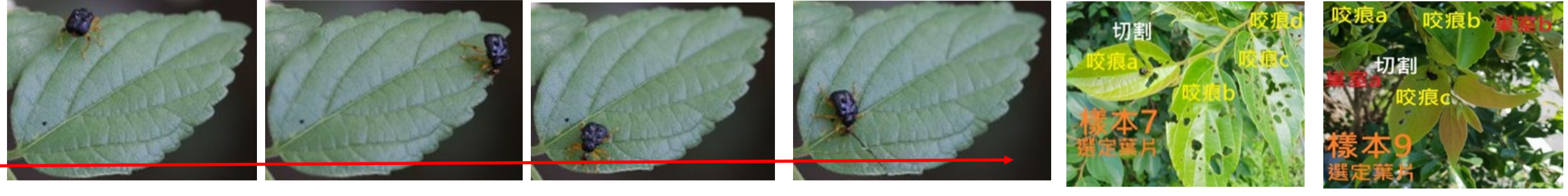
表 10：象鼻蟲與朴樹上常見生物間交互關係

生物種類	生存階段	食性方式	交互作用
1. 蝸牛	幼蝸	吃葉片	競爭食物
2. 草蛉	幼蟲	吃吹棉介殼蟲	無害無利
3. 蛾類	幼蟲	吃葉片	競爭食物

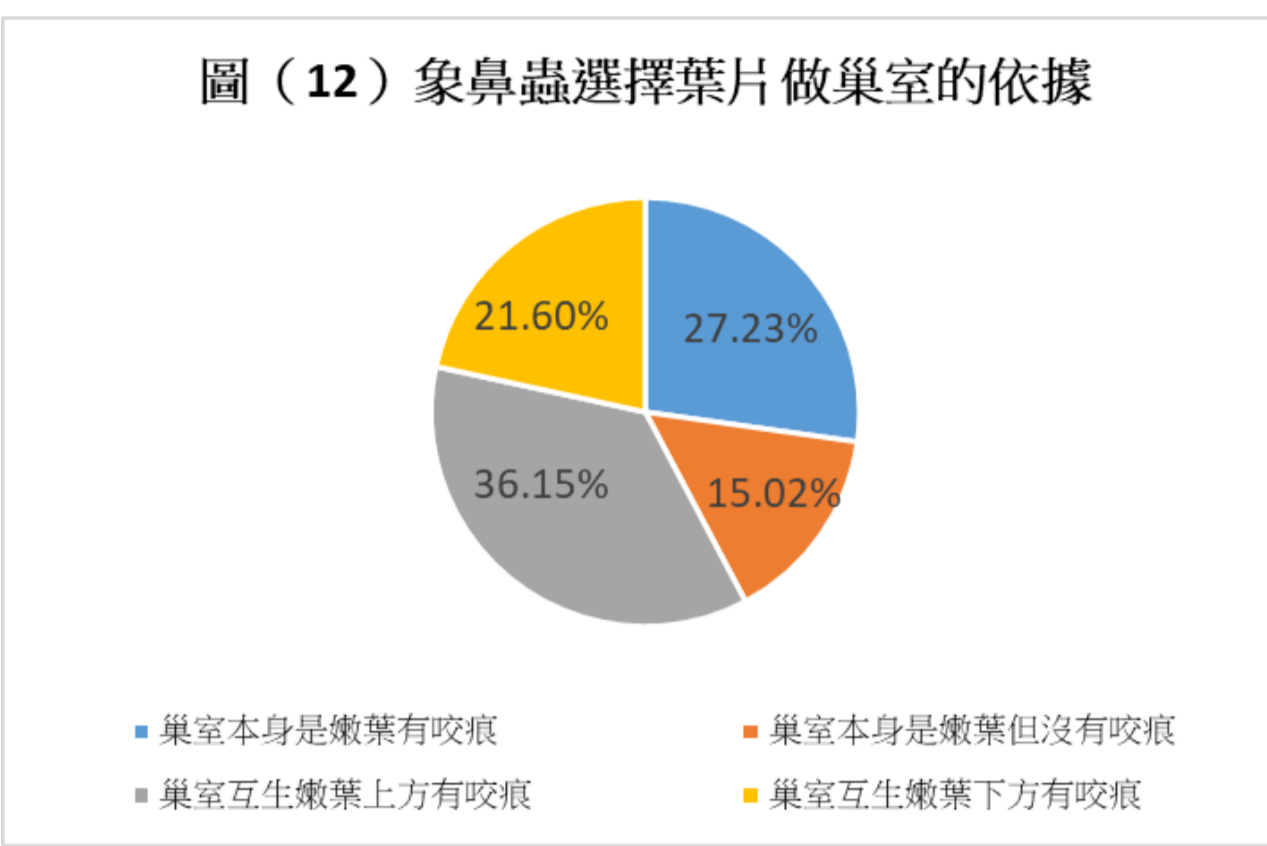
研究二結果、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲如何選擇『葉片』與『建造巢室』策略

實驗 2-1 結果～『如何選擇巢室的葉片』研究

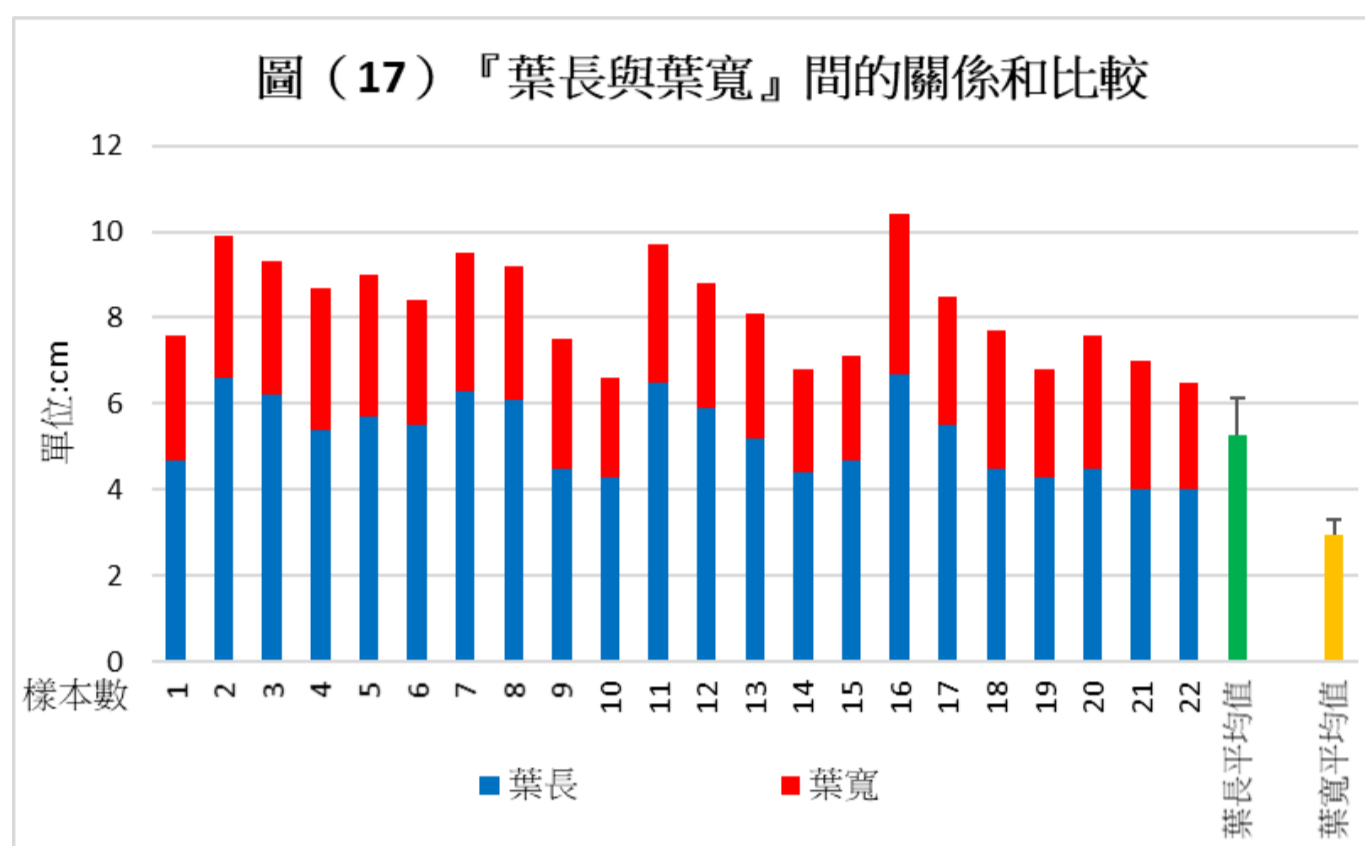
表 11：選擇枝條前端嫩葉，進行試咬，確定後進行切割



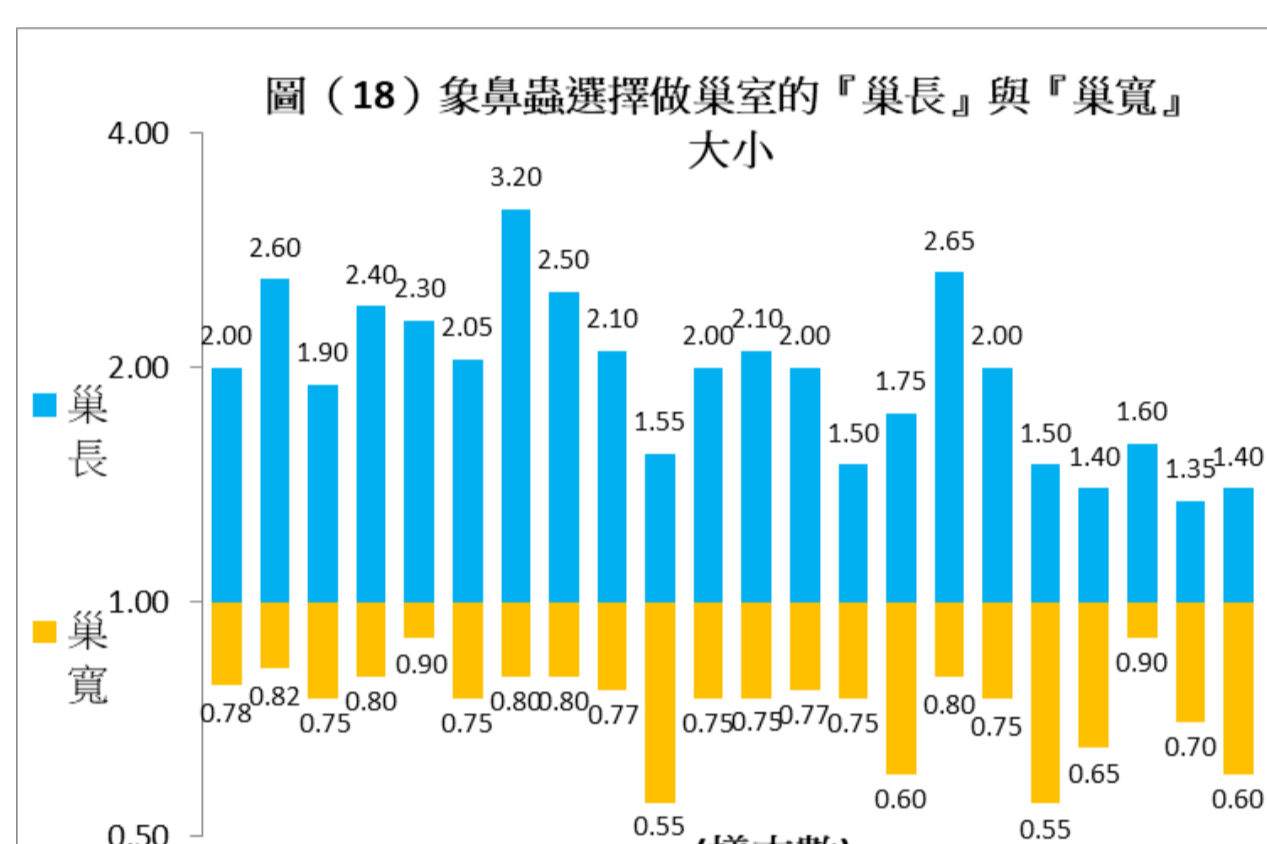
1. 在葉緣試咬
2. 在葉尖邊試
3. 在葉片基部試
4. 確定切割
5. 看到象鼻蟲正在咬食嫩葉



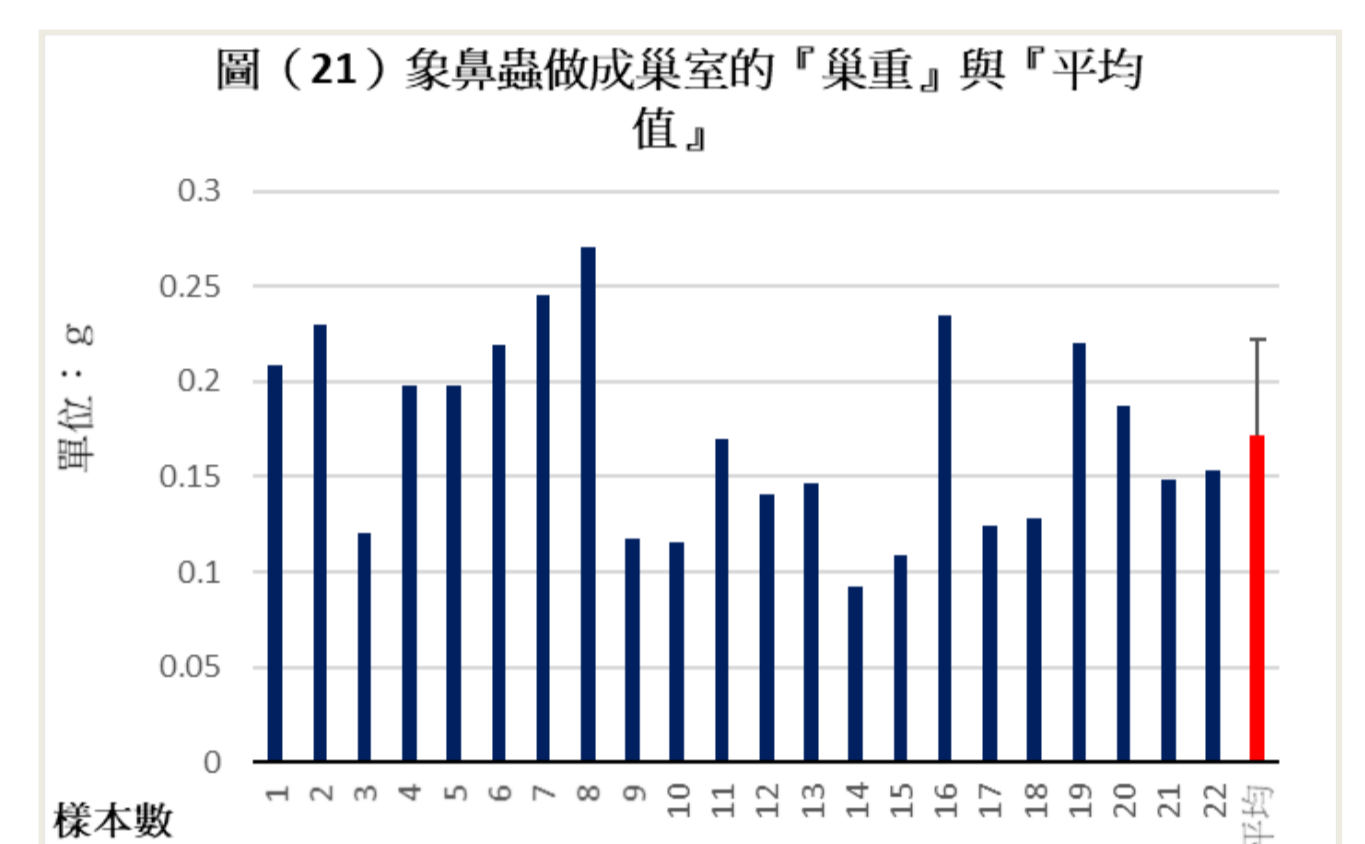
說明：被咬食的嫩葉有 181 片，共佔了 84.98%。(N=213)



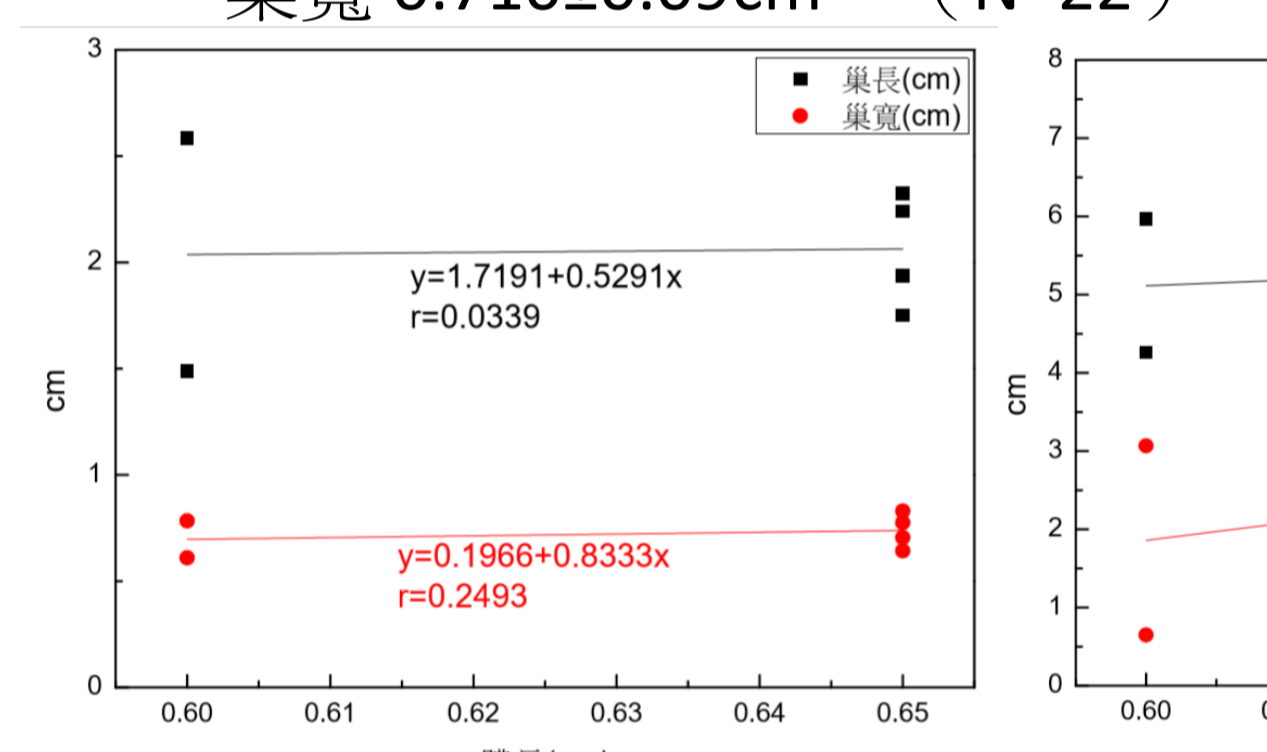
說明：葉長在 5.25±0.88cm，葉寬 2.96±0.34cm。(有效樣本數 N=22)



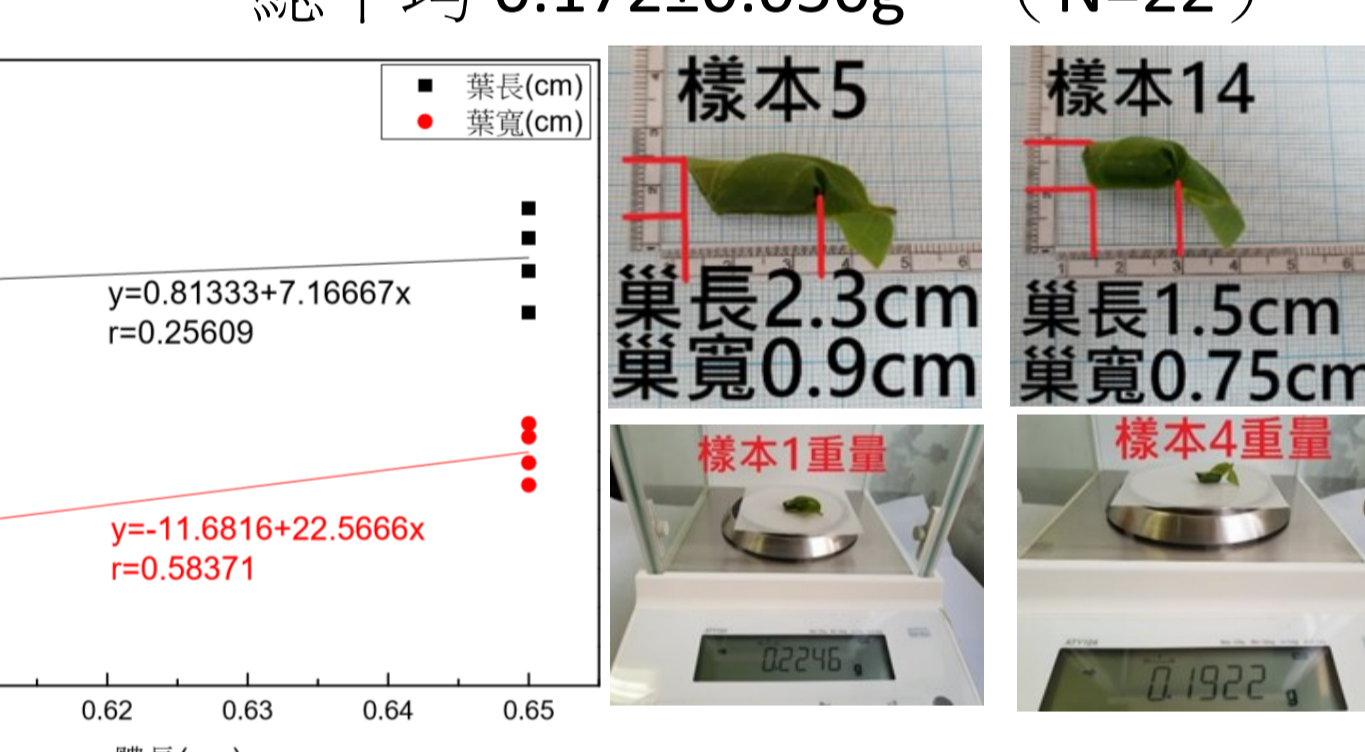
說明：象鼻蟲做巢室巢長 2.00±0.45cm、巢寬 0.710±0.09cm。(N=22)



說明：巢室巢重 0.0927g ~ 0.2703g 之間，總平均 0.172±0.050g。(N=22)



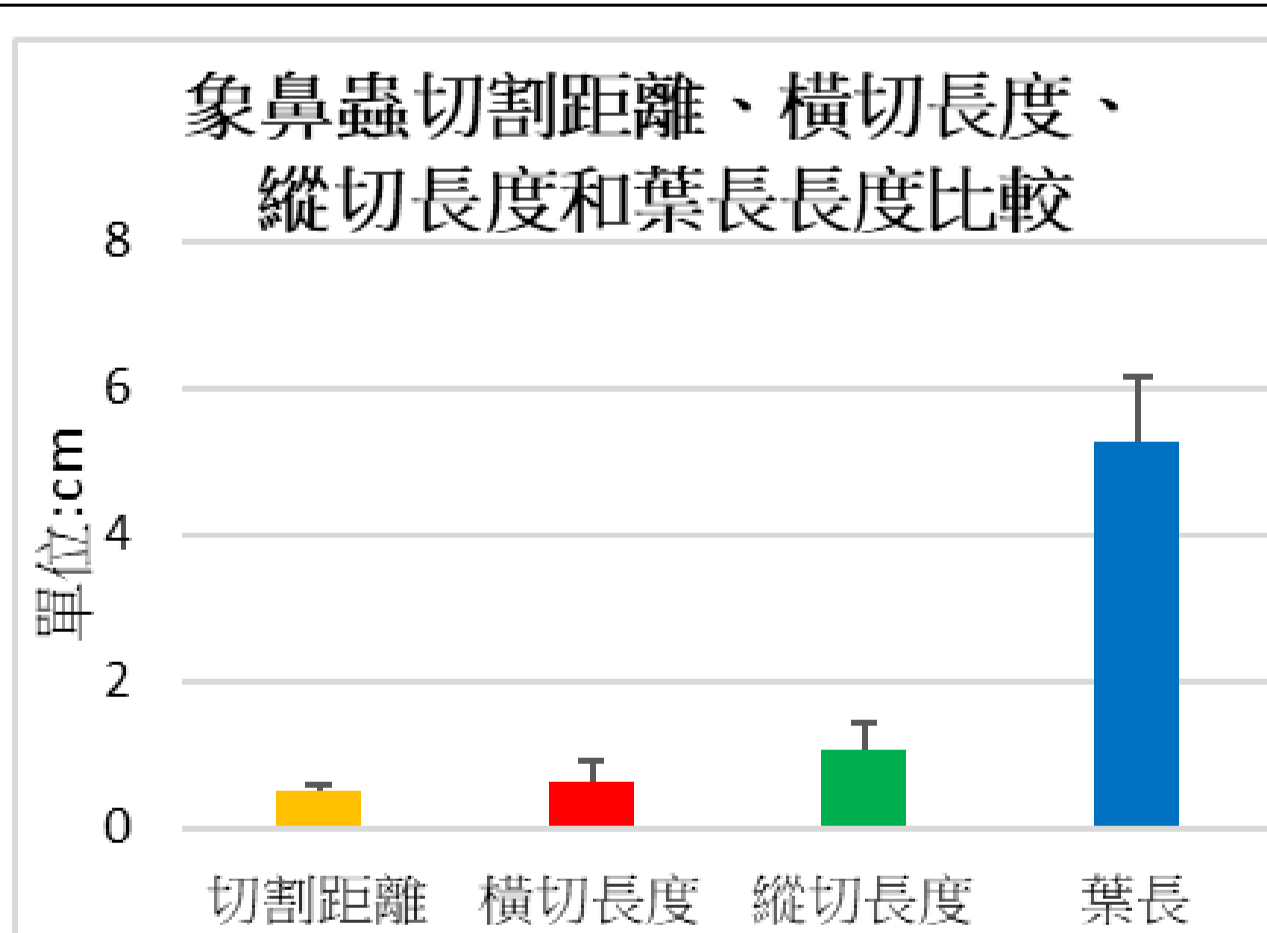
1. 成蟲體長與巢長、巢寬的關係
2. 成蟲體長與葉長、葉寬的關係
3. 測量巢長巢寬巢重



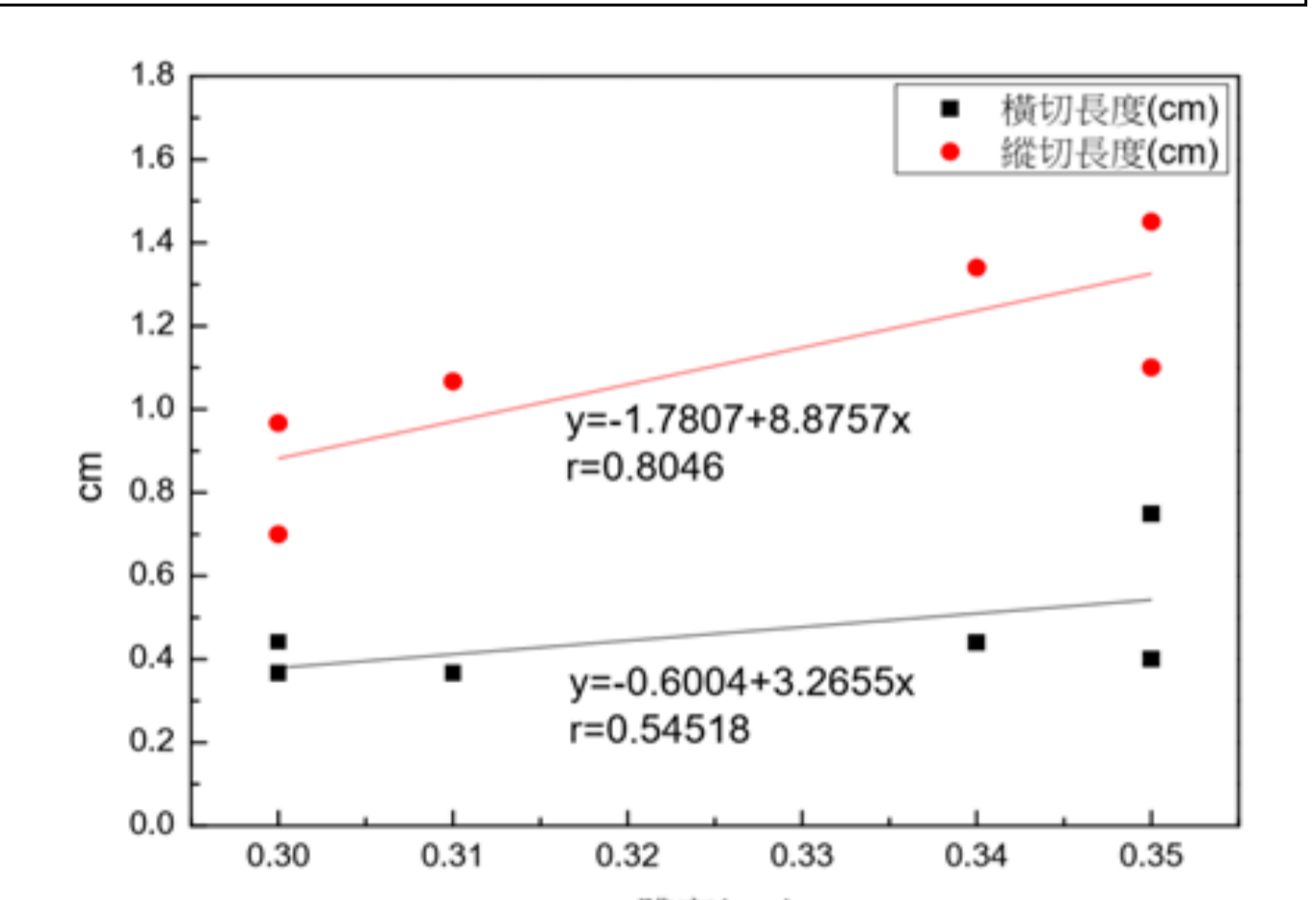
1. 成蟲體長與葉長、葉寬的關係
2. 成蟲體長與巢長、巢寬的關係
3. 測量巢長巢寬巢重

實驗 2-2 結果～進行巢室的建造『葉片切割』的研究。

表 13：象鼻蟲從中肋『橫向』走到葉緣，進行縱向切割。

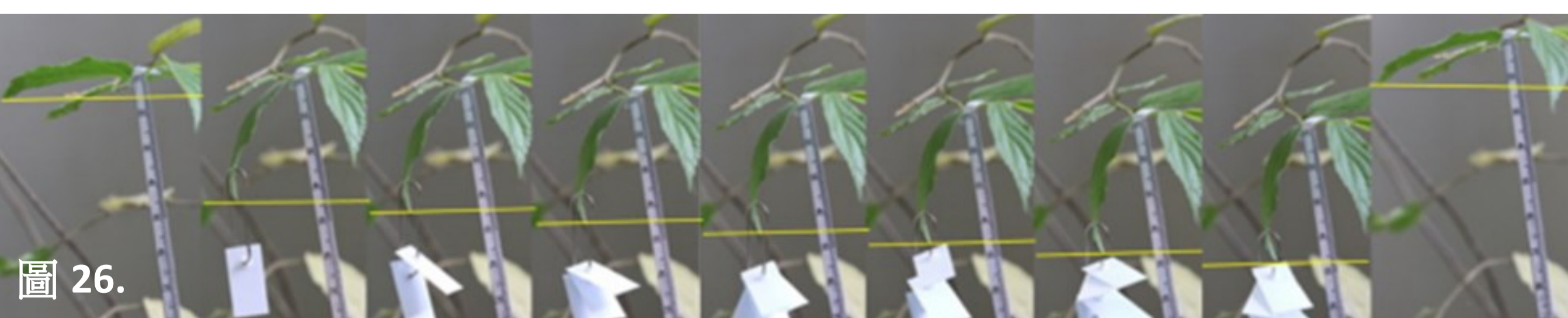


說明：切割距離 0.5±0.07cm，橫切、縱切長度 0.61±0.28 cm、1.08±0.34cm。(N=22)

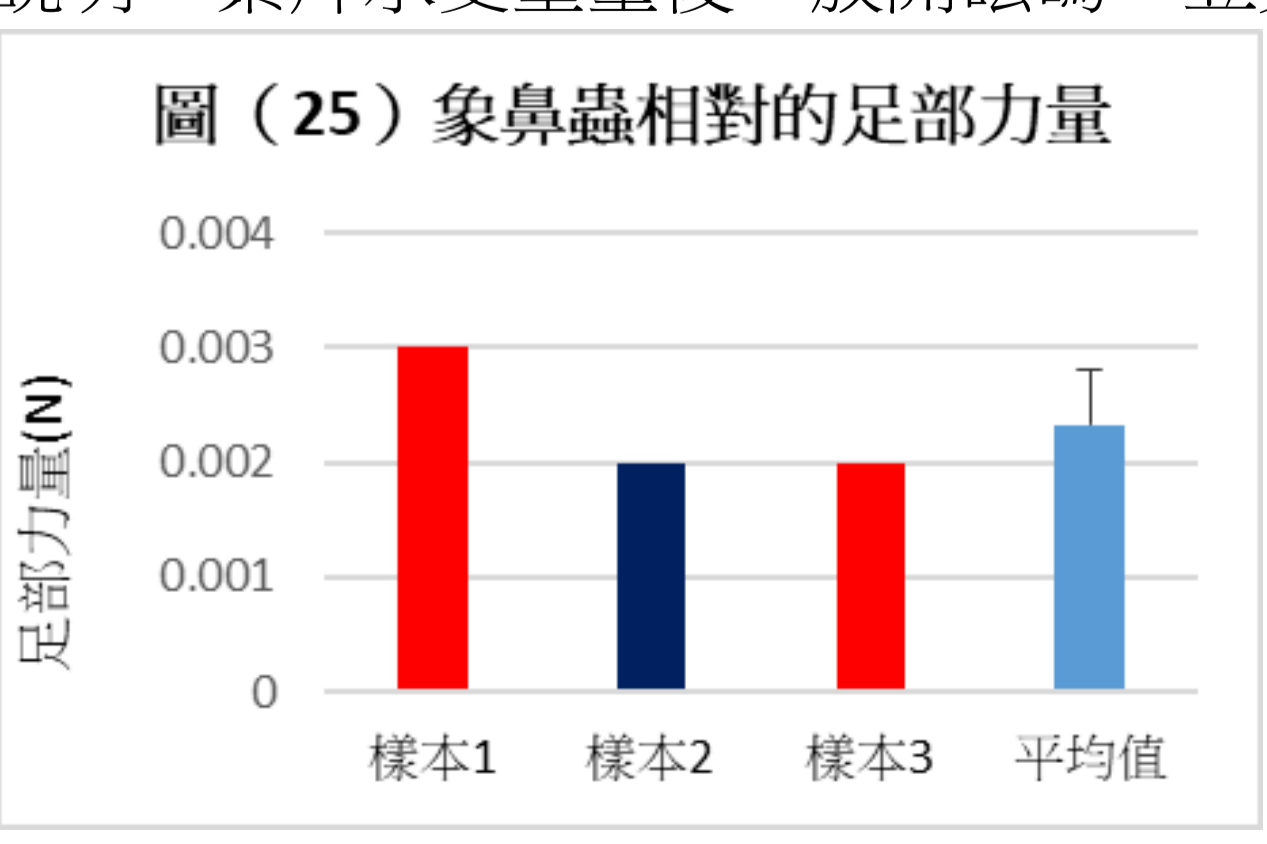


說明：成蟲體寬與縱切長度呈高度相關性。

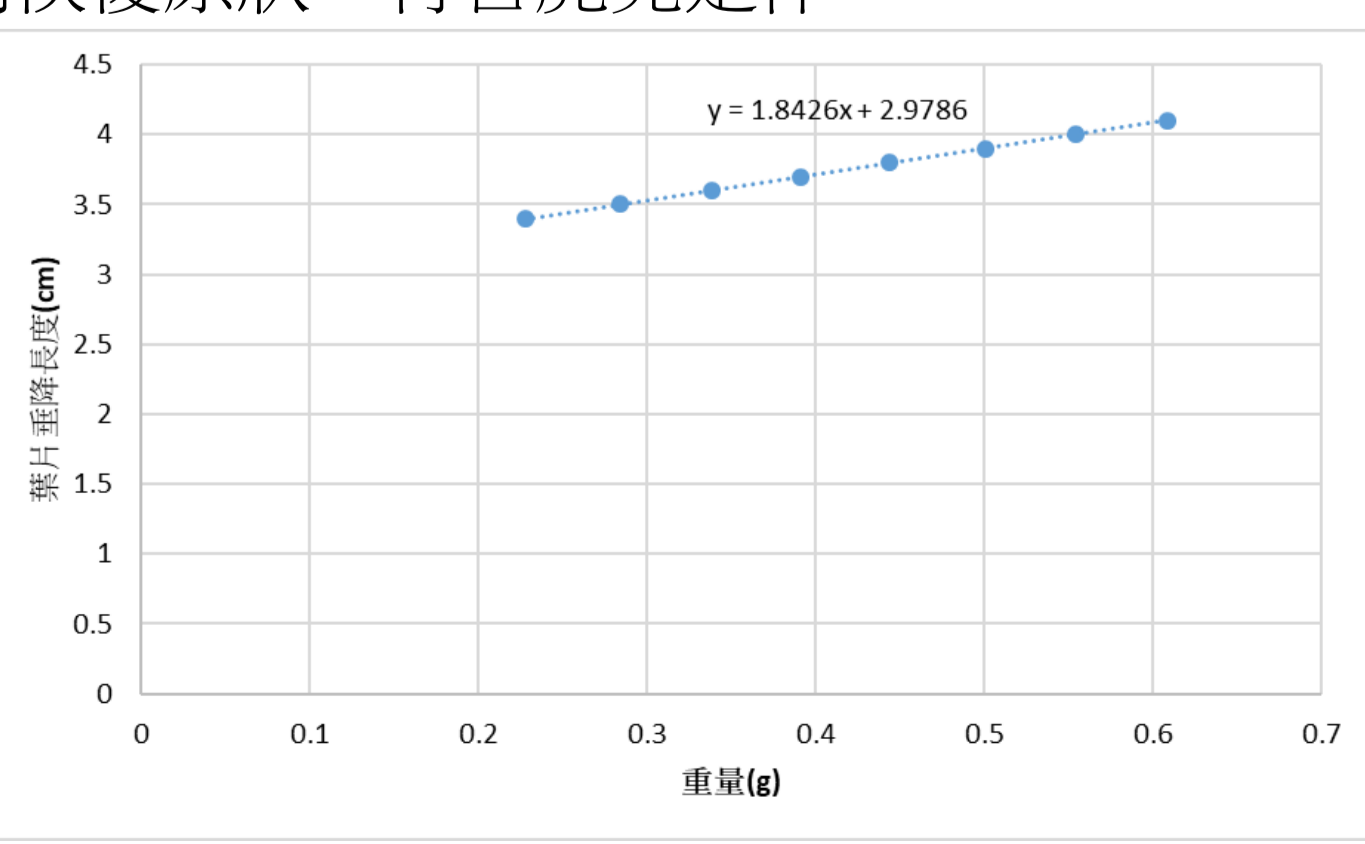
實驗 2-3-1 結果～象鼻蟲對葉片『施力與葉片的彈力』行為研究。



說明：葉片承受重量後，放開砝碼，立刻恢復原狀，符合虎克定律。

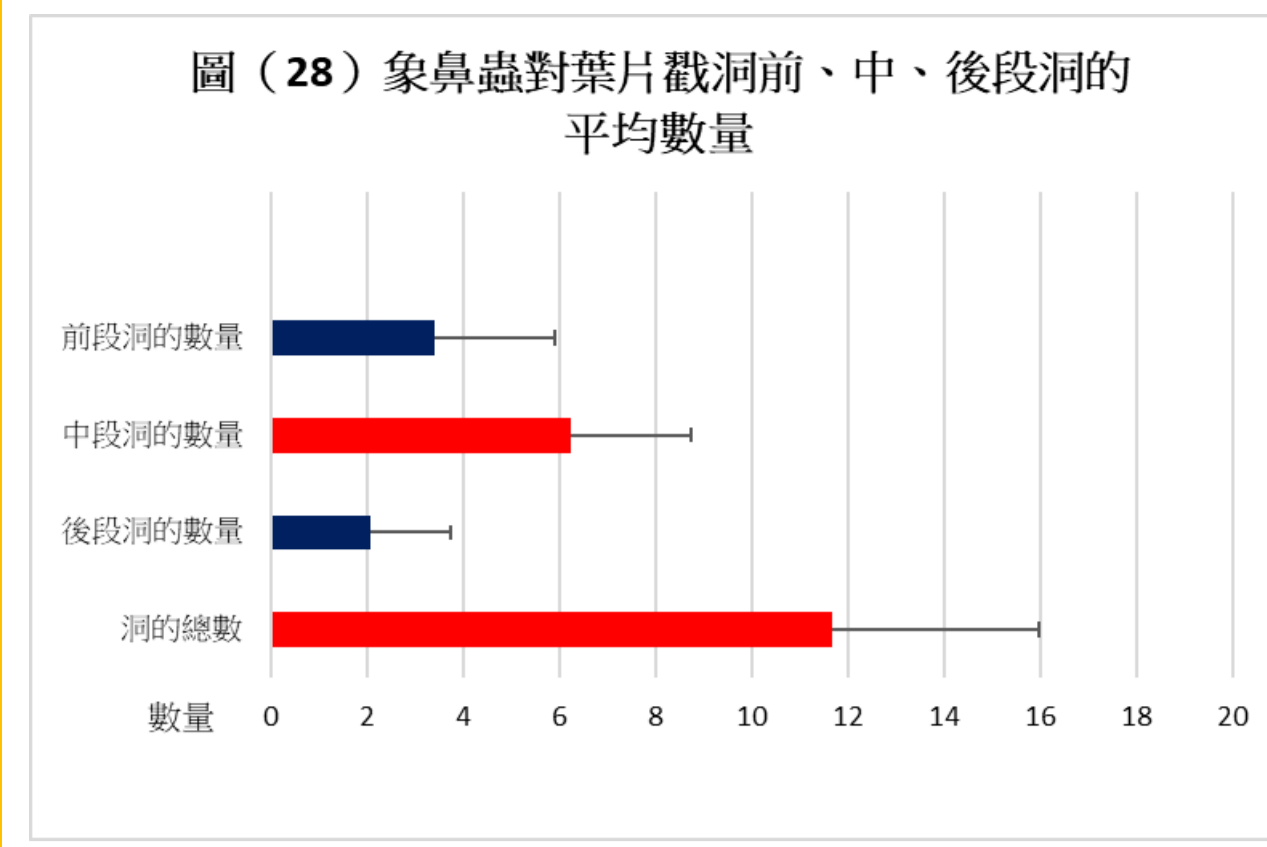


說明：足部平均施力 2.3×10<sup>-3</sup>±4.7×10<sup>-4</sup> N。(N=3)

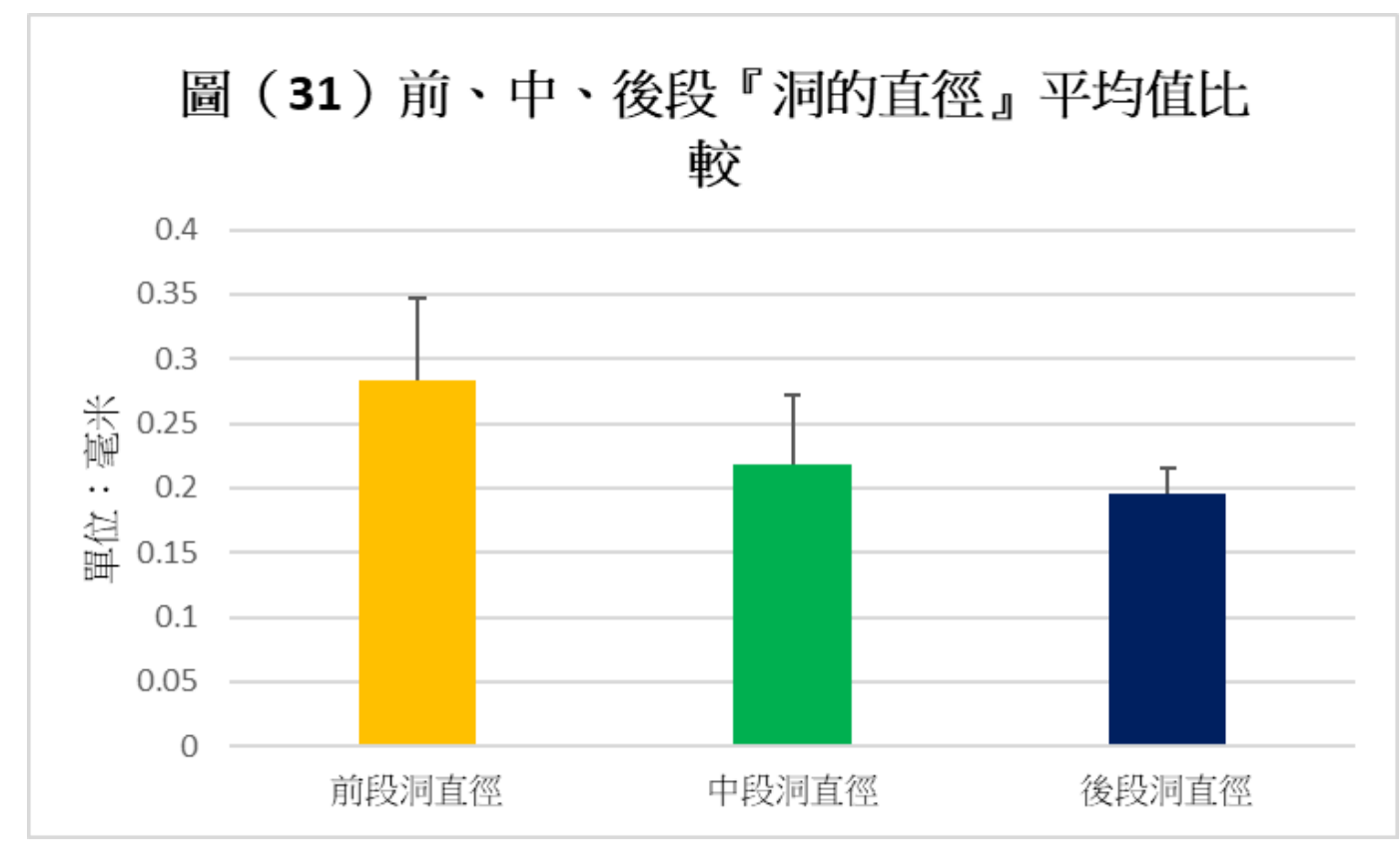


說明：在彈性限度內，重量與葉片的形變量成正比，獲得 k 值為 1.8426cm/g。

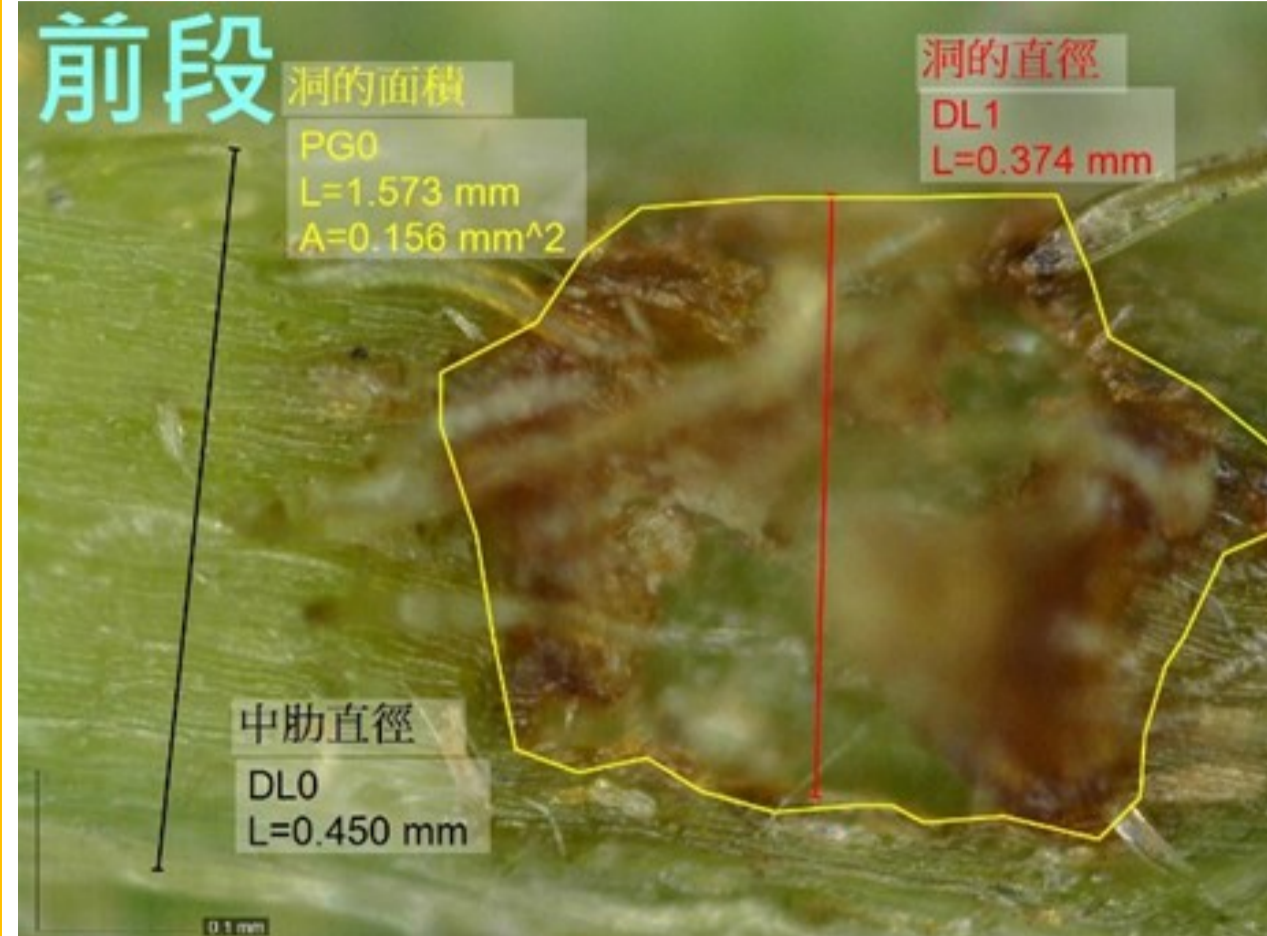
實驗 2-3-2 結果～象鼻蟲對葉片『戳洞降低葉片彈力』行為研究。



說明：平均洞數 11.65±4.3 個，前段 3.41±2.48 個，中段 6.24±2.5 個，後段 2.06±1.65 個。洞與洞之間的距離約為 0.22±0.06cm。(N=29)



說明：前段洞的直徑平均為 0.283±0.064mm，中段洞的直徑平均為 0.219±0.053mm，後段洞的直徑平均為 0.196±0.02mm。

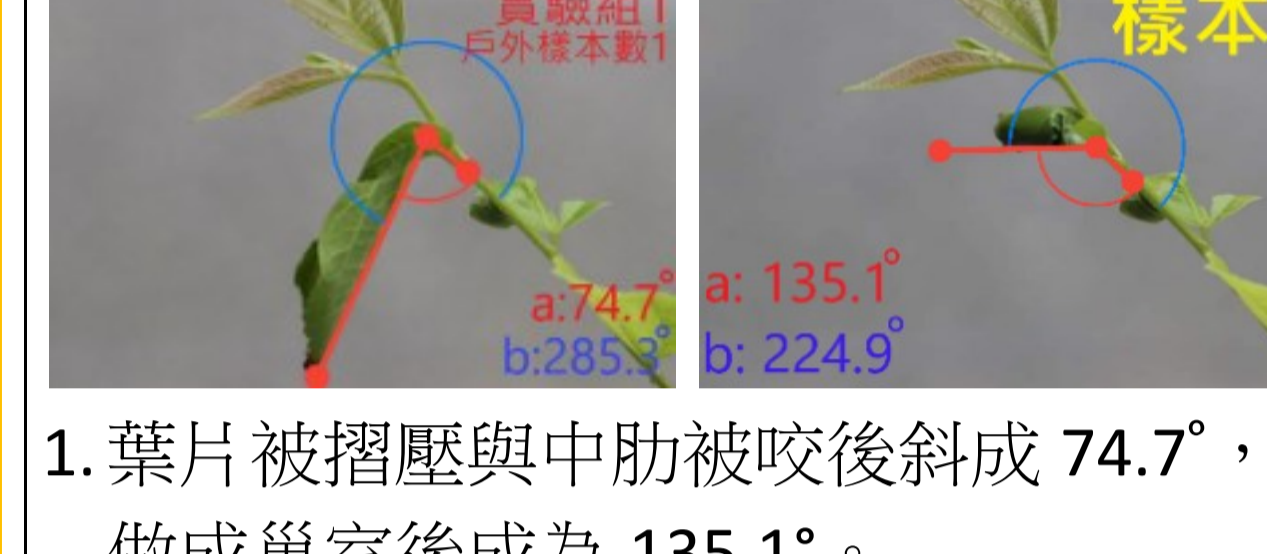


說明：象鼻蟲前段咬食洞面積 0.156mm<sup>2</sup>，而中肋直徑比洞的直徑大。

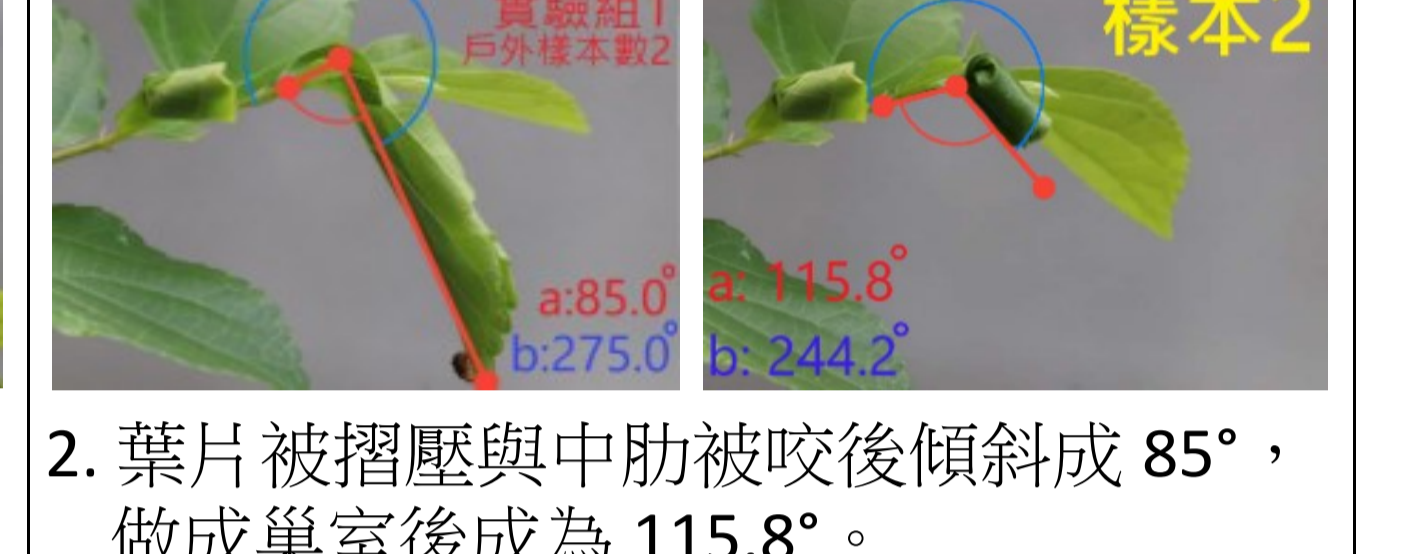


說明：象鼻蟲後段咬食洞面積 0.051mm<sup>2</sup>，而中肋直徑比洞的直徑大。

表 16：在戶外『葉片被戳洞』與『做成巢室』後結果

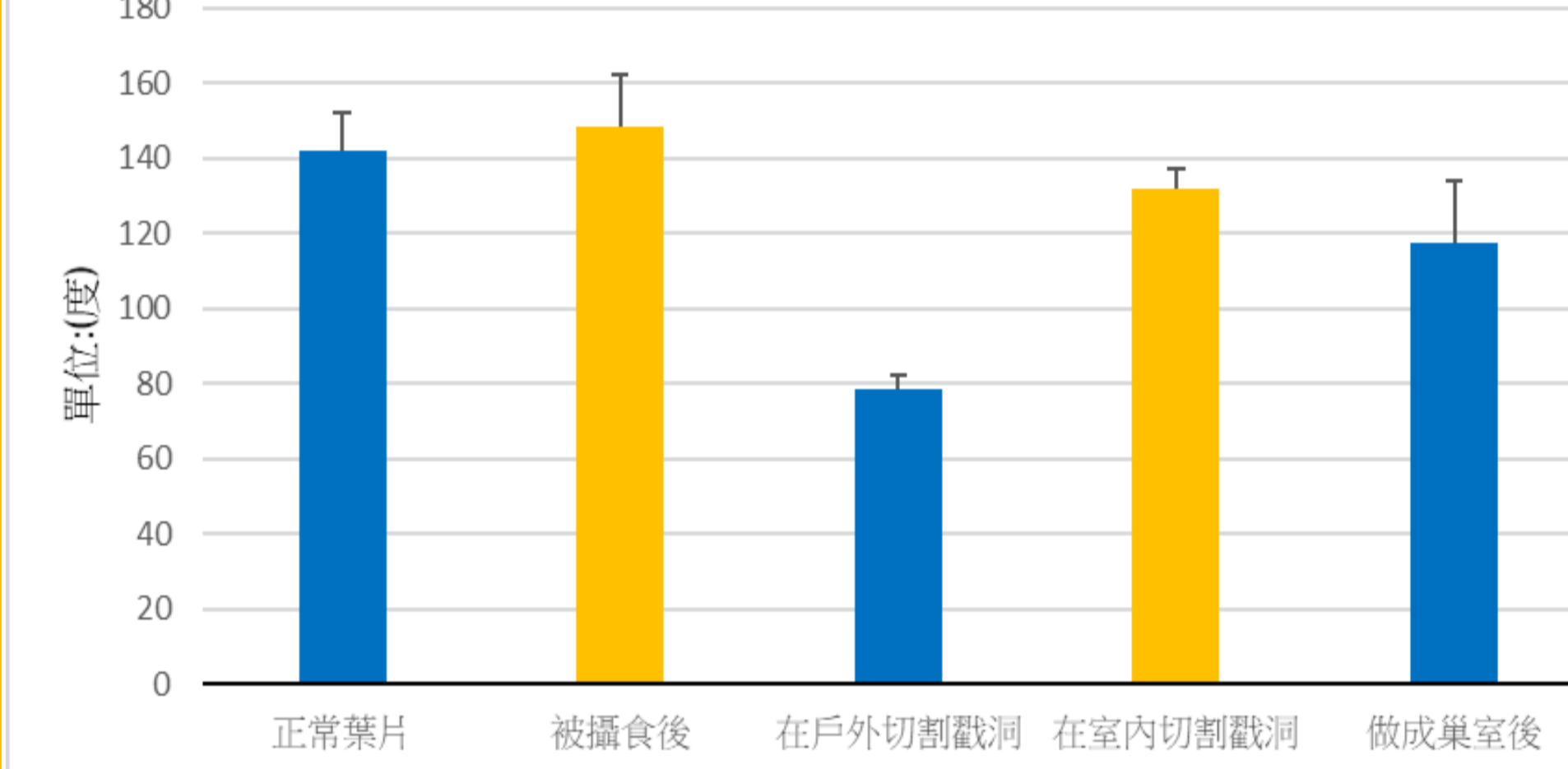


1. 葉片被摺壓與中肋被咬後斜成 74.7°，做成巢室後成為 135.1°。



2. 葉片被摺壓與中肋被咬後傾斜成 85°，做成巢室後成為 115.8°。

圖(36) 正常、被攝食、被切割與戳洞和做成巢室後『中肋與葉柄』間平均增減角度



說明：(1)正常葉片與中肋葉柄間呈 141.85±9.96°(2)被攝食後呈 148.27±13.86°(3)在戶外切割戳洞 78.3±3.91°(4)在室內切割戳洞 131.54±5.55°(5)做巢室後 117.23±16.49°。



1. 正常葉片 158°、135° 切割葉片是 122°。

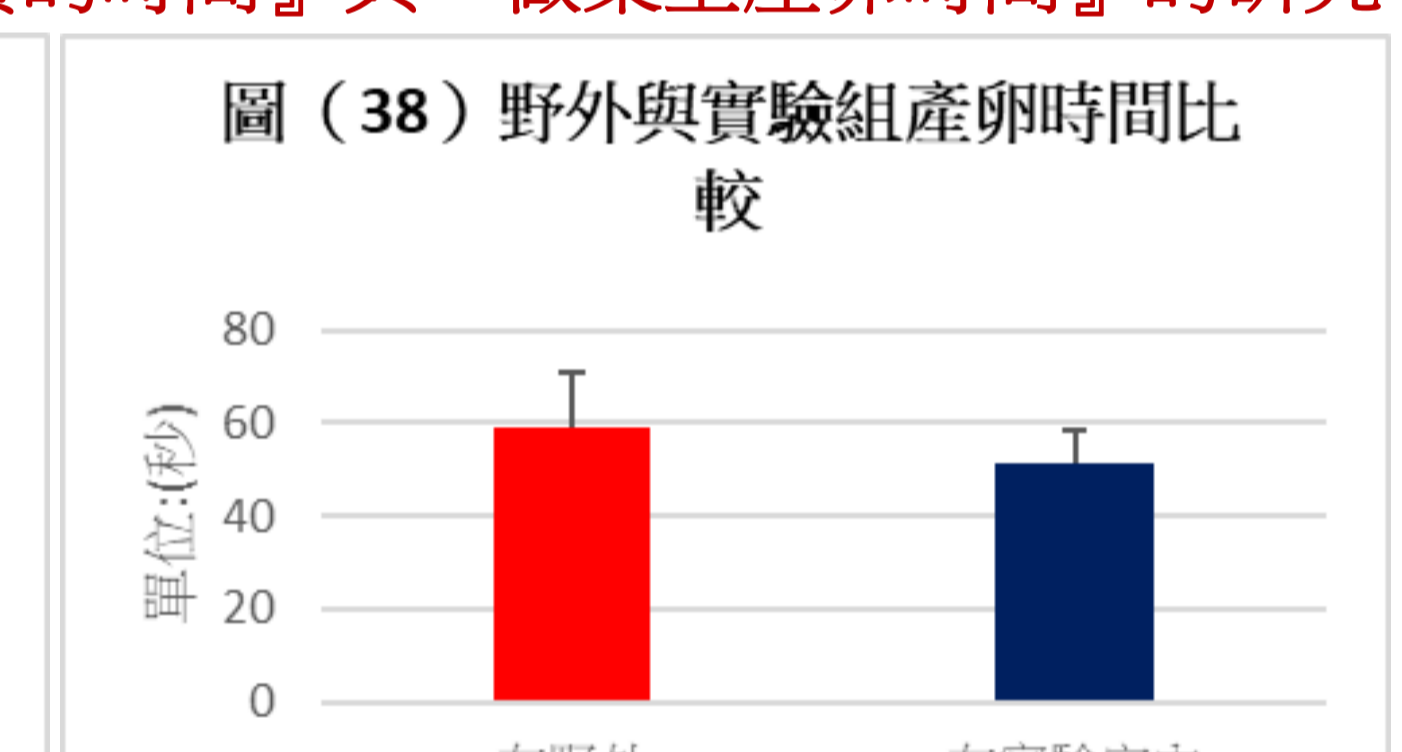


2. 做成巢室後角度降為 135°、119°與 90°。

實驗 2-4-1 結果～象鼻蟲『做巢室花費的時間』與『做巢室產卵時間』的研究

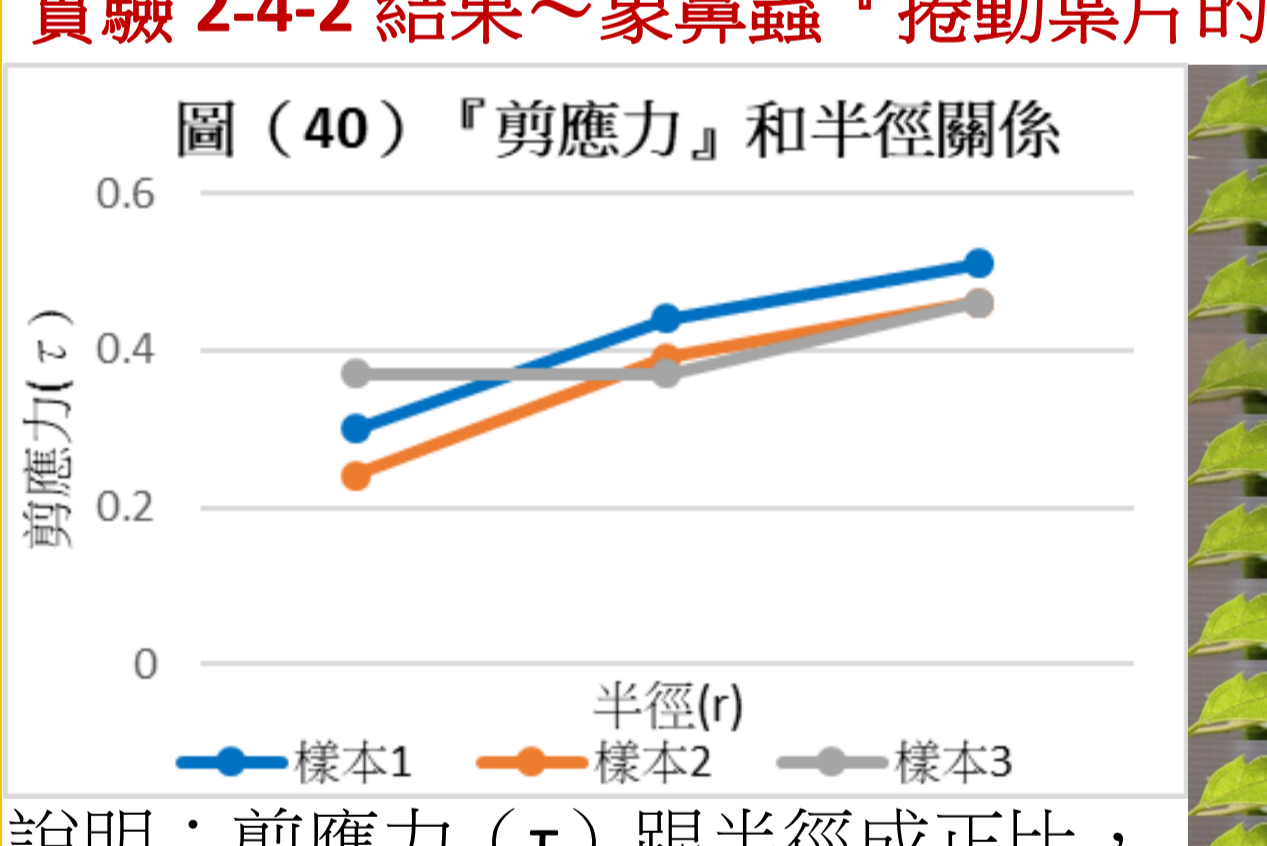


說明：野外做巢室時間 44.88±4.55min，實驗室內做巢室 40.97±5.51min。(N=5)

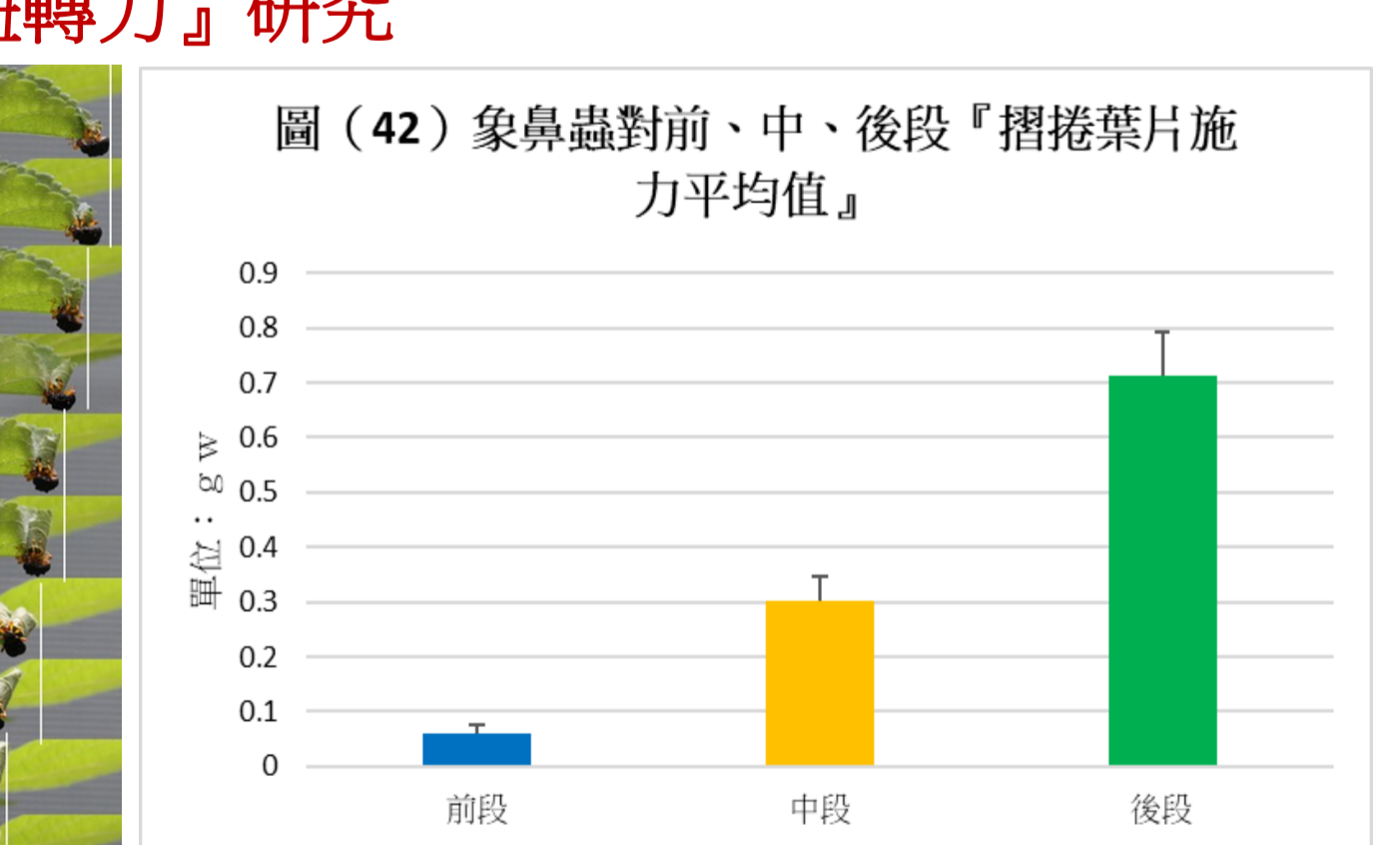


說明：在野外產卵的時間 59s±12.19s，在實驗室內時間 51.6s±7s。(N=5)

實驗 2-4-2 結果～象鼻蟲『捲動葉片的扭轉力』研究



說明：剪應力(τ)跟半徑成正比，剪應變越大，剪應力也越大。



說明：前段施力平均 0.06±0.01gw；中段 0.30±0.04gw；後段約為 0.71±0.08gw。

研究三結果、研究姬胡麻斑捲葉象鼻蟲『建造巢室』對『後代成長』的重要性

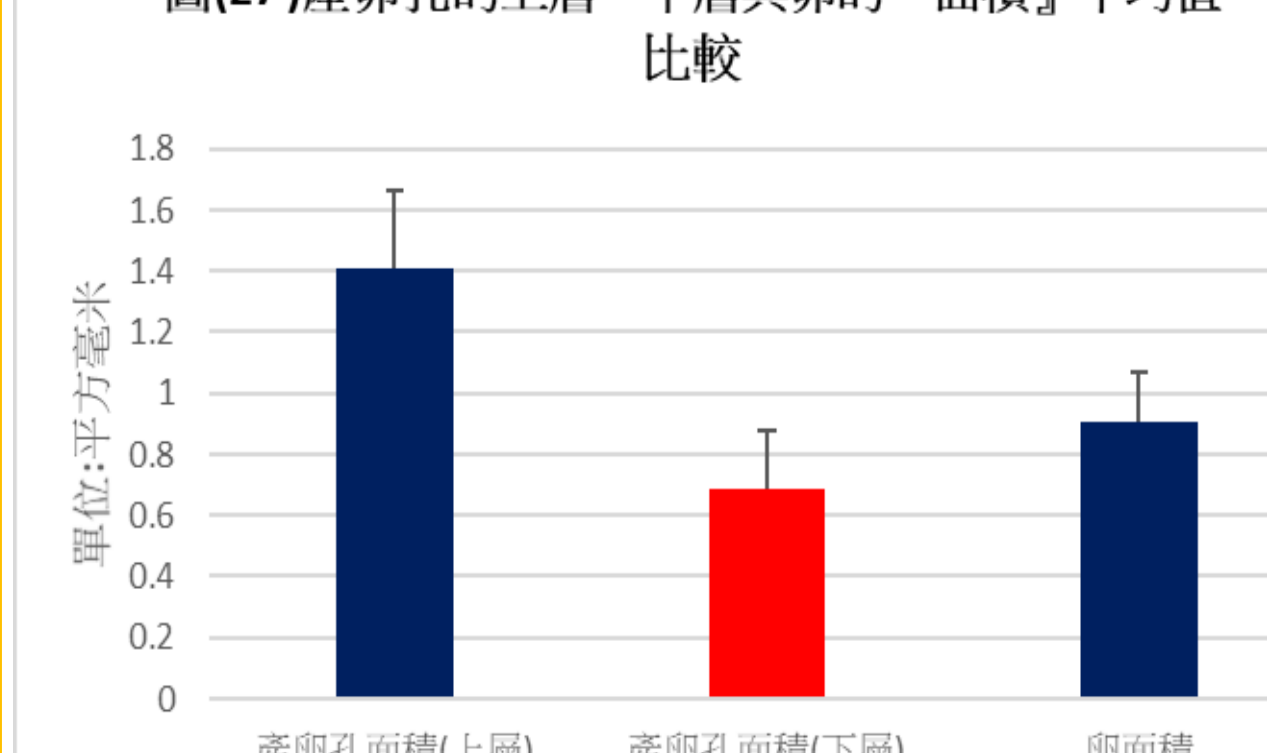
實驗 3-1-1 結果～巢室『如何保護卵』

表 18：巢室捲葉保護卵的結果

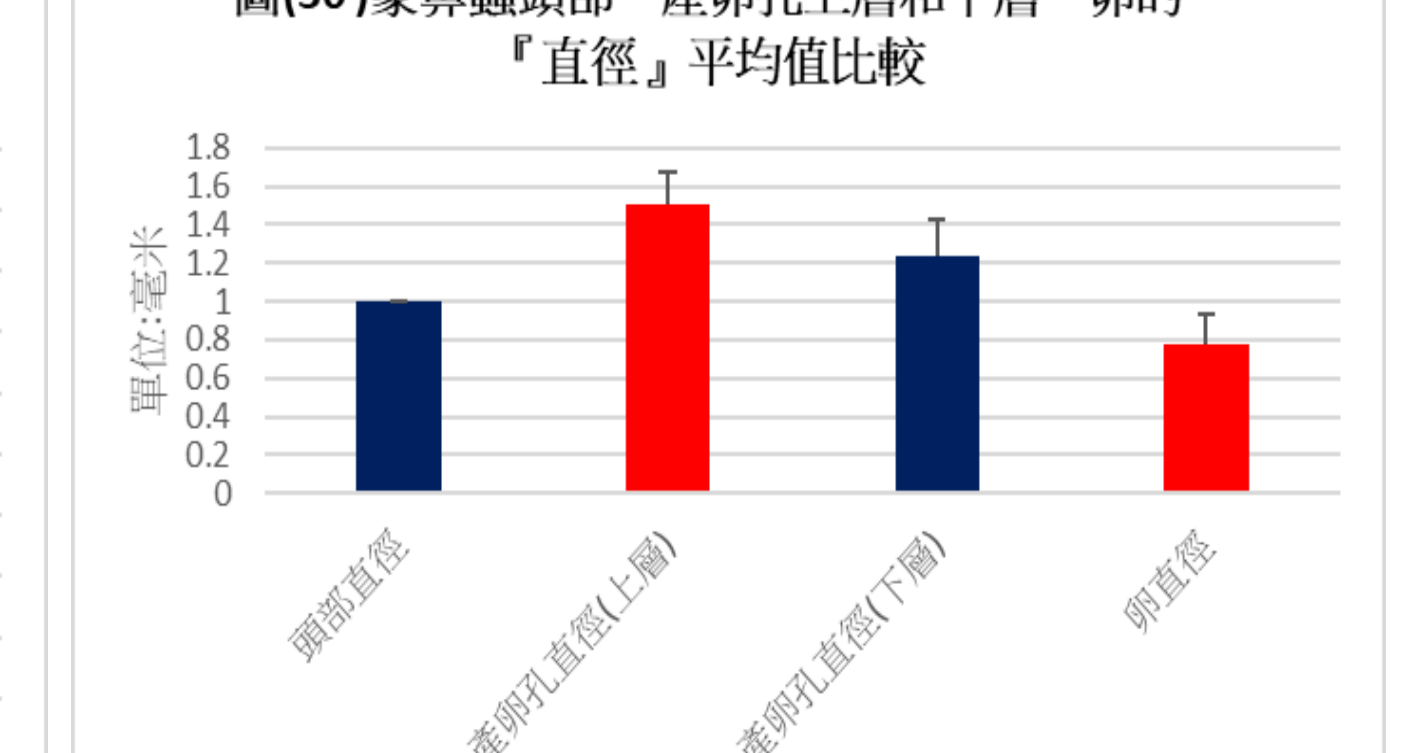


1. 巢室約 4 圈保護卵(樣本一、二)

2. 卵大小

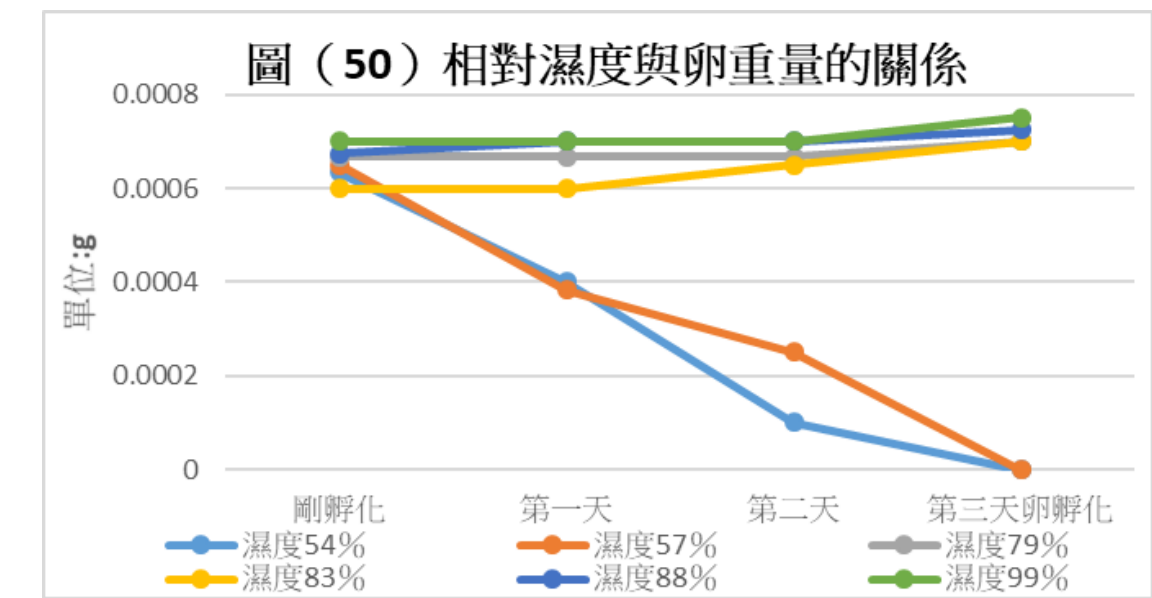


說明：產卵孔(上層)面積 1.406±0.257mm<sup>2</sup> 產卵孔面積(下層)0.686±0.189mm<sup>2</sup> 卵的面積 0.904±0.164mm<sup>2</sup>。

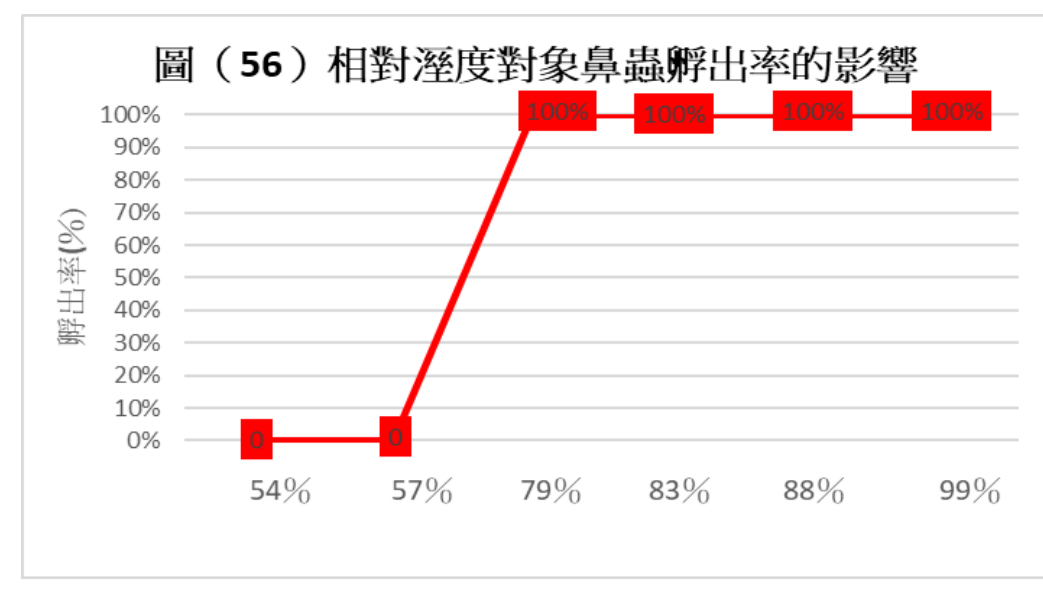


說明：頭部直徑 1mm，產卵孔直徑(上、下層)1.503±0.172mm、1.237±0.193mm 卵的直徑約為 0.779±0.159mm。

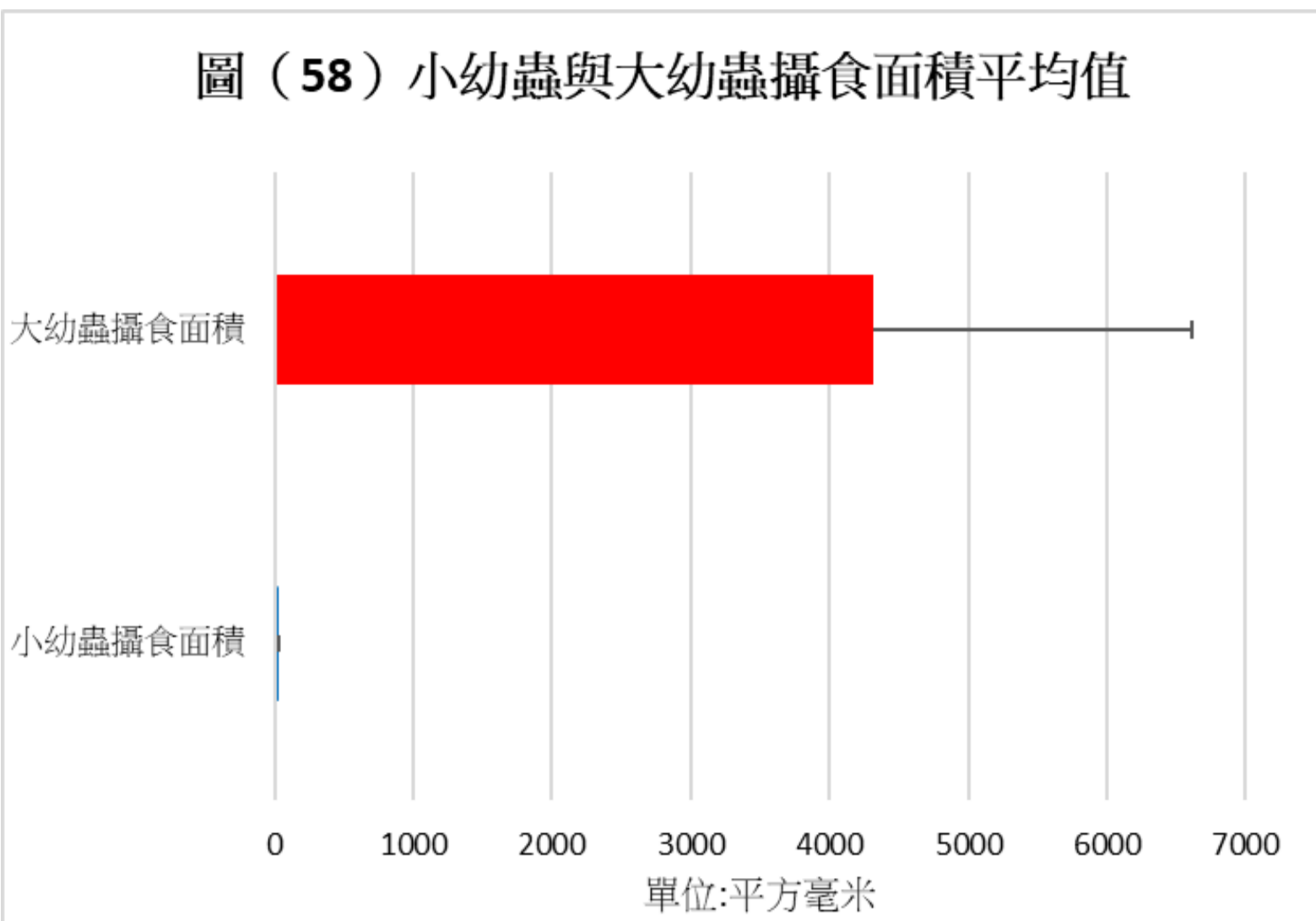
### 實驗 3-1-2 與 3-2-1 結果~不同濕度對卵的影響與巢室給幼蟲食物



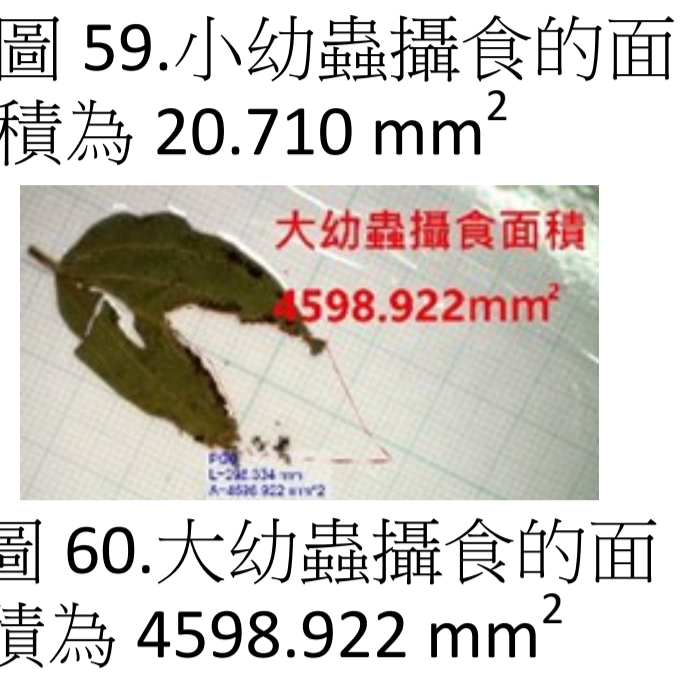
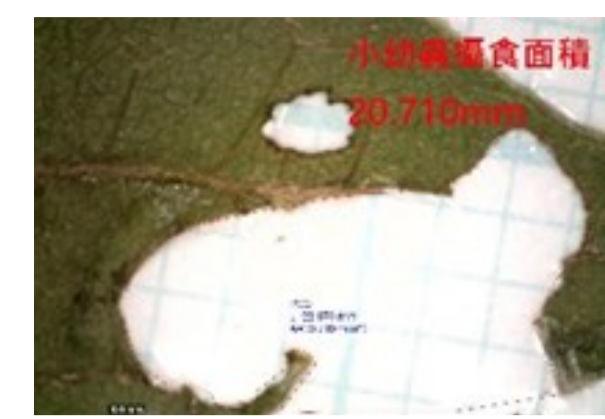
說明：濕度 54%、57%，卵重 0 ~ 0.00065g；79%~99%，卵重 0.0006 ~ 0.00075g。



說明：濕度 54%、57%，卵出率為 0；在濕度 79%~99% 時，卵出率為 100% (N=23)。



說明：大、小幼蟲攝食面積 18.21±11.15mm<sup>2</sup>、4320.78±2286.48 mm<sup>2</sup>



### 上述實驗的結果與疑問？

根據上面的實驗結果。我們感到疑問的是，幼蟲可以在葉片間爬行，但為什麼要在捲葉內才能吃到葉片呢？於是提出新假設進行實驗。

### 再次進行實驗

提出新假設：幼蟲不能固定、以及無法停在『平面的葉片』上攝食。

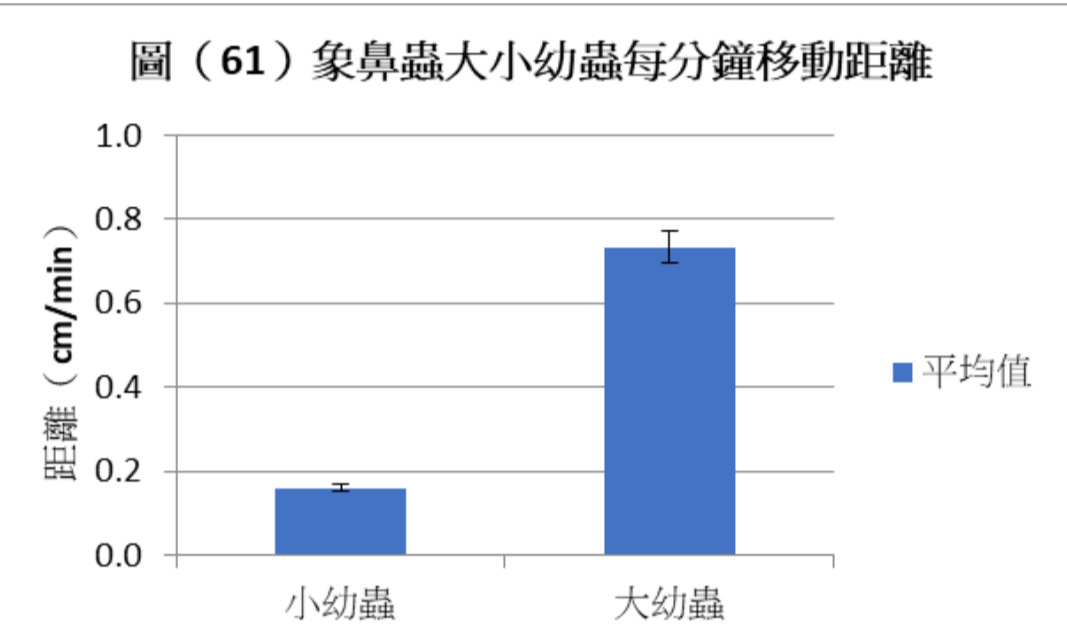
實驗設計 1：探討象鼻蟲『幼蟲的構造與幼蟲行動的方式』實驗

- (1) 解剖顯微鏡 45X 看大小幼蟲，查閱資料，找幼蟲身體主要特徵。
- (2) 測量幼蟲在平面的葉片與方格紙上以及每分鐘爬行距離與時間。

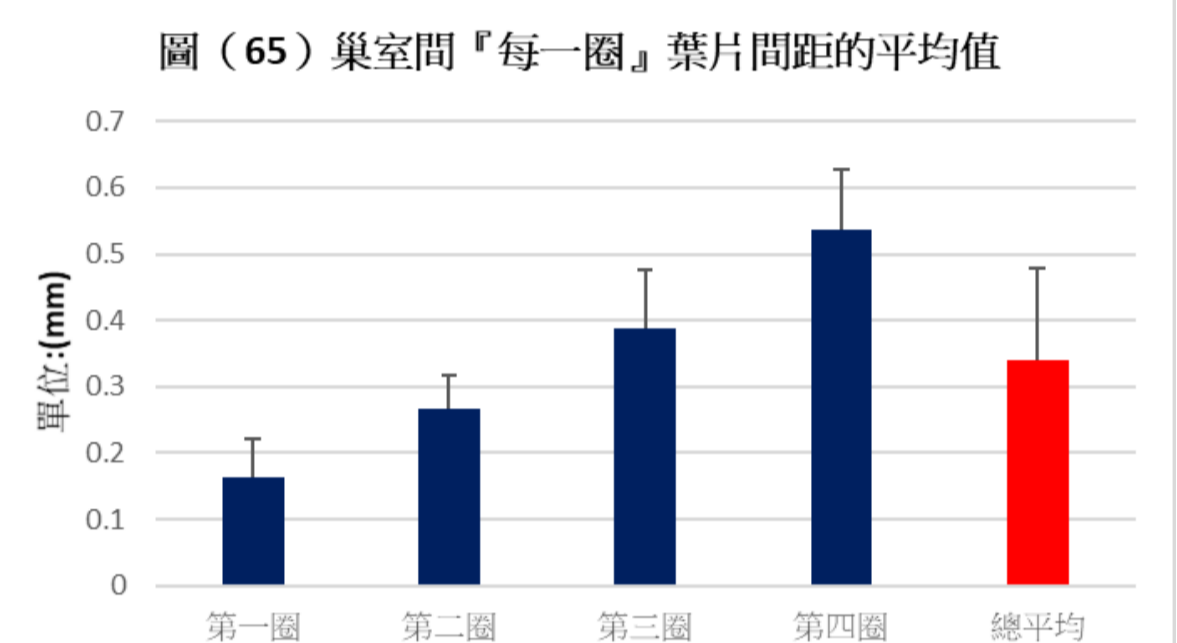
實驗設計 2：求證幼蟲只能在巢室攝食原因~量巢室捲葉間距實驗

- (1) 剪開巢室，用 DinoCapture 測量卵、幼蟲巢室內捲葉間距。

再次進行實驗獲得幼蟲只能在巢室內攝食的實驗結果：



說明：小、大幼蟲爬行 0.2±0.1 cm、0.73±0.24cm。(N=15)



說明：圈數之間總平均間距 0.33±0.13 mm。(N=15)

### 實驗 3-3、巢室對後代重要性 (3) ~巢室化蛹與蛻變成蟲重要性。

表 23、24：化蛹時間與蛻變成蟲失敗與巢室是下一代成蟲第一餐食物



### 陸、問題與討論

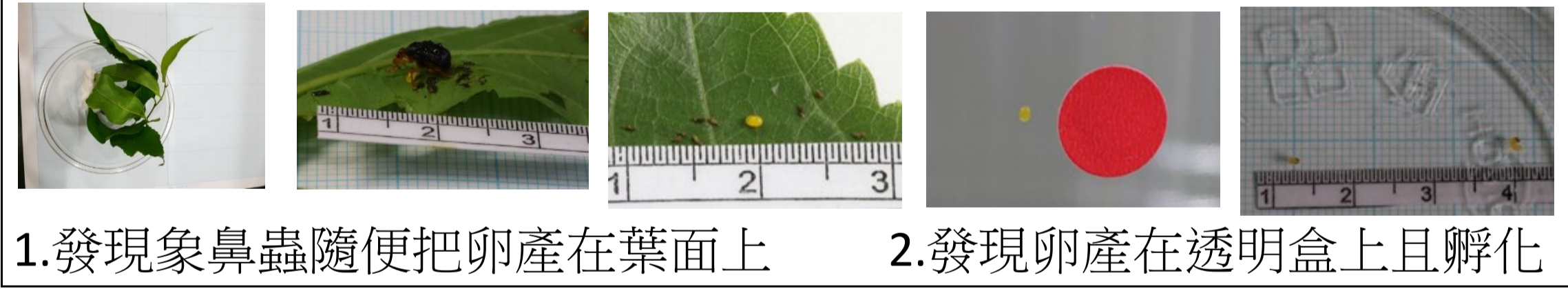
一、象鼻蟲與朴樹上常見生物之間交互作用，會不會影響它的生存討論

表 25：寄生蜂寄生在象鼻蟲的卵及幼蟲記錄討論圖照結果



二、在不同角度或沒有規律的葉片，象鼻蟲會不會建造巢室或產卵討論

表 26：模擬惡劣環境，保持高濕度的討論圖照結果



三、象鼻蟲為什麼在中肋或支脈戳洞，而不直接選擇在葉面上戳洞討論

表 27：正常葉片、被咬食葉片與巢室間水分蒸散觀察討論圖照結果



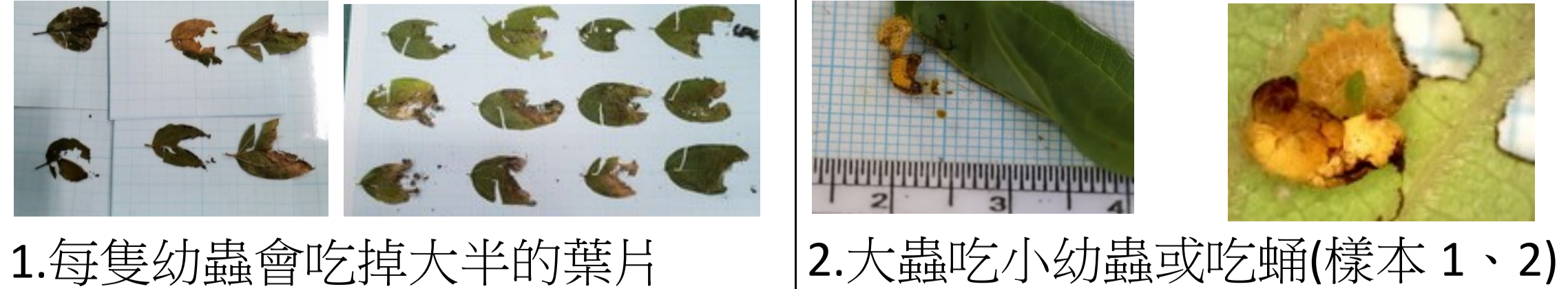
四、關於象鼻蟲是靠什麼方式找到支脈或中肋的部位討論

表 28：象鼻蟲在平面與高低落差行走討論圖照結果



五、六關於象鼻蟲為何一個巢室只產下一粒卵與生活史的討論

表 29、30：象鼻蟲幼蟲吃掉葉面積與幼蟲會互咬與象鼻蟲成長紀錄討論



卵	幼蟲	蛹	成蟲
天數 重量(g)	天數 重量(g)	天數 重量(g)	雌重(g) 雄重(g)
2.7±0.21 0.0007	8.1±0.37 0.03±0.01	2.82±0.2 0.03±0.01	0.027±0.003 0.01±0.002

### 柒、結論

研究一結論、姬胡麻斑捲葉象鼻蟲、食草植物、相關生物交互關係。

- (一) 象鼻蟲與生物形成交互關係中，寄生蜂會造成卵及幼蟲死亡。
- (二) 象鼻蟲雌蟲平均體長在 0.63±0.023cm、體寬 0.322±0.020cm；雄蟲體長在 0.475±0.023cm，體寬 0.277±0.020cm。

研究二結論、姬胡麻斑捲葉象鼻蟲選擇巢室葉片與建造巢室的策略。

(一) 選擇葉片的方法：

1. 選擇枝條前端嫩葉進行試咬，確定能咬出破洞後在進行切割。選擇 5.25±0.88cm 的葉長、2.96±0.34cm 的葉寬，做成 2.00±0.45cm 的巢長、0.710±0.09cm 的巢寬、0.172±0.050g 的巢室重。
2. 象鼻蟲與葉片之間的關係：象鼻蟲體長、體寬、體重對選擇葉長、葉寬、巢重之間的關係研究大多呈現低度或中度相關。

(二) 建造巢室的策略：

1. 離葉柄 0.5±0.07cm 為常見的切割距離點，橫向走到葉緣，縱向切出 1.08±0.34cm 長度，再橫向切出 0.61±0.28 cm 長度。因此體寬的長度與縱向切割長度有高度相關性。
2. 葉片具 1.8426cm/g 彈力係數，象鼻蟲足部以 2.3×10<sup>3</sup>±4.7×10<sup>-4</sup> N 對葉片施力，以 0.71±0.054cm/s 速率在葉片間行走。
3. 每一個葉片在中肋處咬出 11.65±4.3 個洞，而且依照中肋的粗細不同，分別咬出 0.106±0.034mm<sup>2</sup>、0.088±0.027mm<sup>2</sup>、0.068±0.014mm<sup>2</sup> 不同面積的孔洞，使得葉片中肋與葉柄間從原本 141.85±9.96° 降到 78.3±3.91°，降低葉片的彈力，有助於進行捲葉。
4. 摺捲一個巢室約花費 44.88±4.55min，隨著捲巢室直徑越大，分別施 0.06±0.01gw、0.30±0.04gw、0.71±0.08gw 不同的力在滾動摺葉片。

研究三結論、姬胡麻斑捲葉象鼻蟲建造巢室對後代成長的重要性。

(一) 巢室對卵的重要性：

1. 咬出直徑 1.503±0.172mm、1.237±0.193mm，面積 1.406±0.257mm<sup>2</sup> 與 0.686±0.189mm<sup>2</sup> 的產卵孔，產下直徑 0.779±0.159mm、面積 0.904±0.164mm<sup>2</sup> 的卵到孔內，接著快速把葉片摺捲 4 圈左右，連同卵包捲起來保護。
2. 卵在相對濕度 79%~99% 能孵化，54%、57% 的濕度下孵化失敗。

(二) 巢室對幼蟲的重要性：

1. 大小幼蟲每分鐘只能爬行 0.73±0.24cm、0.2±0.1 cm 的短距離，且沒有胸腳、腹足，所以無法固定在葉片上，因此只能待在捲葉內。
2. 大小幼蟲分別攝食 4320.78±2286.48 mm<sup>2</sup>、18.21±11.15mm<sup>2</sup> 的葉片，所以幼蟲無法離開巢室，只有在摺捲巢室內才能獲得充足的食物。

(三) 巢室對化蛹與蛻變成蟲的重要性：

在巢室內化蛹平均為 10.4±0.33min，巢室外化蛹平均為 17.8±2min。而且巢室外化蛹或蛻變成蟲，都容易失敗，巢室為成蟲的第一餐食物。

表 32：研究總結，綜合前人科展研究報告與我們實驗的異同之處

3 篇前人科展研究資料的結果	我們與前人研究的異同處與新發現
1. 發現 6 種小動物，不會對黑點捲葉象鼻蟲生活發生影響。(文獻四) 2. 10 隻身體長約 6mm。	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 象鼻蟲與其它生物有競爭、共生關係，還有卵與幼蟲會被寄生死亡。 2. 統計雌雄蟲體長、體寬大小 (N=21)
1. 選擇 7~8cm 葉片。 2. 8 個在嫩葉上築卵繭。(文獻二、四)	<b>不同研究的新發現：</b> 象鼻蟲在枝條前端試咬葉片，確定是嫩葉後，才成為做巢室的葉片 (N=213)
切割出類似英文字母 L 形狀缺口。(文獻二)	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 離葉柄 0.5±0.07cm 為一個切割距離點 2. 橫向走到葉緣，縱向切出 1.08±0.34cm 長度，再橫向切出 0.61±0.28 cm 長度。 3. 體寬長度與縱向切長度有高度相關性。
葉面上有戳洞，洞與洞之間集中在 0.5~0.8 公分之間。所以洞具有等距關係。(文獻二)	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 測出葉片的彈力係數、足部對葉片的施力、與在葉片行走的速率。 2. 依照中肋粗細不同，咬出不同面積的孔洞。 3. 葉片與中肋葉柄間原本 141.85±9.96° 降到 78.3±3.91°，降低葉片彈力有助於進行捲葉。
1. 捲葉過程歸納有 11 項步驟。(文獻二、四) 2. 卵繭直徑約 7.8mm，長度約 22.2mm。	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 摺捲一個巢室大約花費 44.88±4.55min。 2. 摺捲巢室直徑越來越大，施力也越大。 3. 剪應變越大，剪應力也越大。
1. 捲動到 2~3 層間，咬破葉片將卵產下。 2. 交尾後會產卵並做卵繭。卵黃色、大約 1mm。(文獻二、四)	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 測量雌蟲咬出產卵孔的直徑、面積，統計花費 59s±12.19s 產下卵的時間。 2. 巢室大約捲四圈，算出捲葉之間間距，是用來保護巢室內的卵。 3. 卵在相對濕度 79%~99% 的環境能順利孵化。低於 57% 的相對濕度下，無法孵化。
幼蟲像蠕蟲狀。(文獻四)	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 因幼蟲沒有胸腳、腹足所以無法固定在平面的葉片上。因大小幼蟲只能短距離爬行。 2. 測量不同體型的大小幼蟲攝食葉片的面積，並獲得幼蟲無法離開巢室，只有在摺捲的巢室內才能獲得充足的食物。
文獻二、三、四沒有研究。	<b>不同研究的新發現：</b> 1. 統計巢室內外化蛹時間的差異，獲得巢室外化蛹幼蟲的皮會沾黏在蛹體上面，造成化蛹蛻皮失敗。 2. 巢室外蛻變，蛹體的外皮會卡在成蟲的腳、翅膀無法摺收起來等問題而死亡。 3. 把巢室咬出洞口，是下一代成蟲的第一餐。

### 捌、參考資料及其他

- 一、歐書晴 (2008) · 幾何高手-探討姬胡麻斑捲葉象鼻蟲之『搖籃』數學規律 · 中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 作品說明書
- 二、陳秋綾 (2011) · 製『圓』高手-捲葉搖籃『內接正多邊形』的探討 · 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書