

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物科

第三名

030312

**'kalus-nibu'** 的生殖行為—探討枯葉大刀螳螂  
交尾、產卵、孵化的生殖行為研究

學校名稱： 南投縣立宏仁國民中學

作者：  國二 王楷甯  國二 蕭方語  國一 黃鈺菱	指導老師：  李季篤  李宜芳
---	-----------------------------

關鍵詞： kalus-nibu、心臟線、前若蟲

## 摘要

本研究探討枯葉大刀螳螂(*Tenodera aridifolia*)生殖行為，研究一交尾行為結果：過程中雄螳螂會以  $78\pm 19.8\text{cm/s}$  的速率逃離雌螳螂的獵捕，如被雌螳螂咬斷頭胸，可再活 5 天。研究二產卵結果：雌螳螂腹部擺動幅度  $2.5\pm 0.1\text{cm}$  做類心臟線蝶蛸，為後代預留一道  $0.744\text{cm}$  出口。研究三蝶蛸對卵防護結果：0.12g 水在防水片全蒸散後，蝶蛸內仍有 0.06 g，受外力擠壓後可回復 2/3 形態。研究四孵化結果：前若蟲跳出蝶蛸，平均重力位能  $3.23\times 10^{-5}\text{J}$ ，以 0.005mm 線柄吊在空中、可承受 0.02gw、需 12min 脫皮成為初齡若螳，以上完成交尾、產卵、對卵防護、孵化生殖行為之研究。

## 壹、研究動機

族語的社團課中，老師講到布農族人命名昆蟲的單元(圖 A、B)，當時大家只是覺得好玩、有趣，尤其聽到 kalus-nibu' 的詞面義是『抓+陰囊』之意思時，大家還互看愣了一下，老師接著說，在很久很久以前布農族還未穿衣服時，有隻螳螂用牠的雙爪抓了男生的陰囊，所以族人就以『抓陰囊來隱喻螳螂』(全，2022)，這時教室內傳出了哄堂的大笑聲。

我們覺得布農族人對於『螳螂』的形容實在太有趣了，於是上網找資料，可惜並沒有找到相關研究，不過關於雌螳螂把雄螳螂吃掉的報導卻有不少(文獻十一、十二、十三)。我們認為螳螂雖然看似兇猛，應該不大可能抓男生的陰囊。佩服布農族人對各種生物的想像力之餘，我們也對螳螂產生了好奇，例如：雌雄螳螂交尾、產卵方式，以及蝶蛸的功能等生殖行為，希望透過這次研究，對螳螂之生存有更進一步的了解。



族語老師翻閱書籍說明

B	詞彙	詞面意	隱喻語意	概念
1	haluhalu-daki	滾+翼	翼金龜	以所作的動作而稱之
2	kalus-nibu'	抓+陰囊	螳螂	牠的前爪會抓(另有故事)
3	sinap-cakut	追+山羌	黃鼠狼	牠會追捕山羌來吃

動物命名的轉喻(文獻二)



螳螂看似凶猛，但不會抓人陰囊

## 貳、研究目的

- 一、研究枯葉大刀螳螂『交尾的行為』
- 二、研究枯葉大刀螳螂『產卵的行為』
- 三、研究『蝶蛸對卵的防護』
- 四、研究『初齡若螳孵化的過程』

## 參、研究設備及器材

1. MS Pipette、滴管、培養皿、燒杯
2. 電子天秤(小數點四位)、數位攝影機、顯微鏡
3. 量角器、壓力計、手機、碼表、直尺
4. 魚缸、飼養箱、CO<sub>2</sub> 鋼瓶、捕蟲網、毛筆刷
5. 方格紙、超微量砝碼
6. 筆電、GeoGebra 軟體、Image J 軟體、Tracker 軟體、Prism 軟體。

## 肆、前人研究資料的重點整理與我們閱讀後的見解

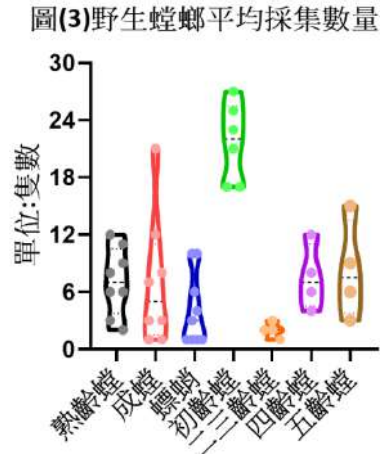
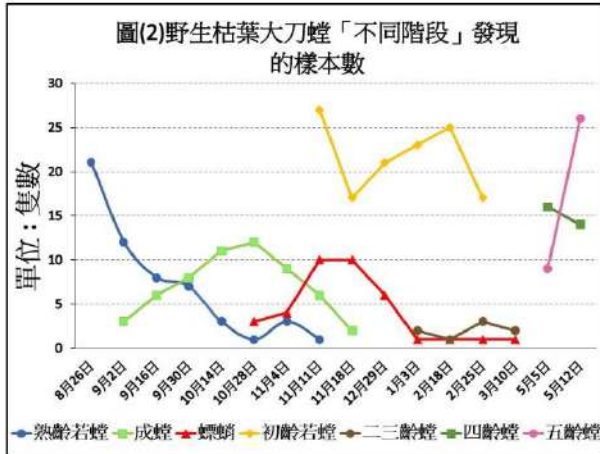
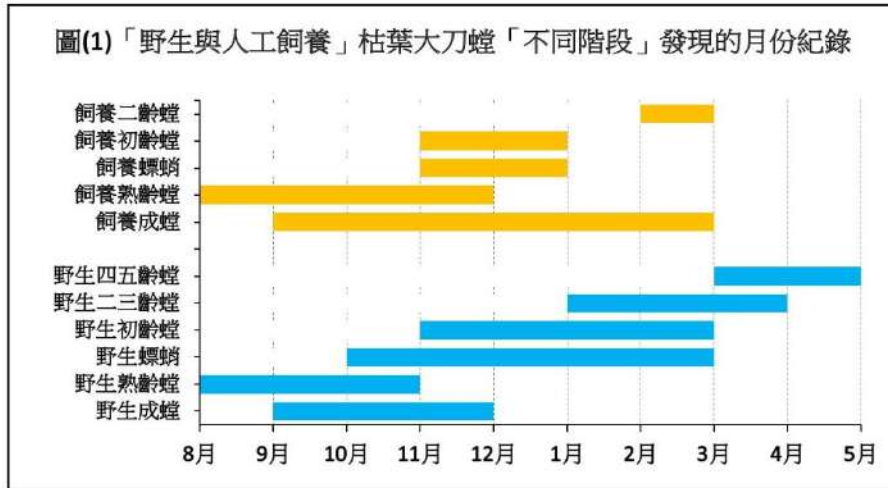
作者與出版年	研究螳螂的主題	前人研究報告的重點整理(作者歸納與整理)
趙云彤，2022	螳螂捕食行為之生物力學初步探討	一、 <b>捕食生物力學</b> ：體長越長、所產生拉力越大。 二、『 <b>體長</b> 』與『 <b>不同接觸材質</b> 』：體長小的螳螂拉力影響較大；體長大的螳螂拉力影響較小。
游力行，2022	「光」晃「螳」皇—探究光週期對螳螂生理及行為的影響	一、光週期對螳螂『 <b>生理的影響</b> 』：改變全日黑暗組的螳螂生長量、存活率，都會受到影響。 二、光週期對螳螂『 <b>行為的影響</b> 』：短期光週期對螳螂獵食敏感度造成了負面影響。
倪克齊，2020	精雕花刃的草叢獵人--棕汗斑螳螂	一、 <b>草叢獵人</b> 『 <b>捕捉獵物</b> 』：棕汗斑螳螂捕捉本身1/5 體型獵物，在光線極低下也能捉到獵物 二、 <b>棕汗斑螳螂</b> 『 <b>生活史</b> 』：經 9 次脫皮後為成蟲，平均孵化 104 隻幼螳，雌雄比例約 8：2。
柴又寧，2010	環保寵物~祈禱蟲螳螂篇	一、 <b>環保寵物</b> 對『 <b>農業的貢獻</b> 』：雌母寬腹螳螂一天可以吃掉 17 隻菜蟲，是生物防治的活教材。 二、 <b>祈禱蟲螳螂</b> 的『 <b>食性多樣化</b> 』：在活體缺乏下，會吃泡軟狗飼料與質地較軟的水果。
陳澤豪，2008	“螂”來了一螳螂的型態比較與行為探索	一、 <b>螂來了</b> 『 <b>型態的比較</b> 』：三種螳螂前足、翅膀、頭胸、卵囊等，可用於種類及性別的分辨。 二、『 <b>行為的探索</b> 』：三種螳螂有威嚇、正趨光行為，環境顏色對寬腹體色改變有不一樣的影響。
閱讀前人文獻之後，我們提出四個研究目的與實驗架構	<p>閱讀前人研究報告之後，最大心得是這些研究多以螳螂型態的觀察或捕食行為為主，而對於螳螂的生殖相關研究比較少。因此我們認為，既然這方面研究較少，我們就從這裡開始著手，首先研究螳螂交尾的行為、接著研究螳螂產卵的方式與蝶蛸如何保護卵、最後探討若螳的孵化過程。以上『<b>四個研究目的，是經過閱讀後，我們所設計的研究方向，朝向前人還沒研究過的內容</b>』，其架構如下：</p> <pre> graph TD     Root[Kalus-nibu' 的生殖行為] --&gt; C1[一 螳螂交尾]     Root --&gt; C2[二 產卵行為]     Root --&gt; C3[三 蝶蛸防護]     Root --&gt; C4[四 孵化過程]          C1 --&gt; C1_1[抱住雌螳]     C1 --&gt; C1_2[不同體色]     C1 --&gt; C1_3[雄螳脫逃]     C1 --&gt; C1_4[雄螳斷頭]          C1_1 --&gt; C1_1_1[間距]     C1_2 --&gt; C1_2_1[配對]     C1_3 --&gt; C1_3_1[速率]     C1_4 --&gt; C1_4_1[心跳]          C2 --&gt; C2_1[受精成功]     C2 --&gt; C2_2[提高受精]     C2 --&gt; C2_3[多久產卵]     C2 --&gt; C2_4[溫溼度]     C2 --&gt; C2_5[產卵]     C2 --&gt; C2_6[蝶蛸形狀]          C2_1 --&gt; C2_1_1[精英]     C2_2 --&gt; C2_2_1[環境]     C2_3 --&gt; C2_3_1[時間]     C2_4 --&gt; C2_4_1[噴水]     C2_5 --&gt; C2_5_1[擺動]     C2_6 --&gt; C2_6_1[心臟線]          C3 --&gt; C3_1[吸水防水]     C3 --&gt; C3_2[沉入水中]     C3 --&gt; C3_3[失去蝶蛸]     C3 --&gt; C3_4[外力擠壓]          C3_1 --&gt; C3_1_1[水珠]     C3_2 --&gt; C3_2_1[漂浮]     C3_3 --&gt; C3_3_1[保護]     C3_4 --&gt; C3_4_1[形變]          C4 --&gt; C4_1[前若螳]     C4 --&gt; C4_2[外力位能]     C4 --&gt; C4_3[線柄]     C4 --&gt; C4_4[負重]          C4_1 --&gt; C4_1_1[形態]     C4_2 --&gt; C4_2_1[垂降]     C4_3 --&gt; C4_3_1[有多大]     C4_4 --&gt; C4_4_1[砵碼] </pre>	

## 伍、研究方法

### 研究一、探討枯葉大刀螳螂『交尾的行為』

#### (一) 樣區的選擇與樣本的調查、觀察與發現：

我們從 112 年 8 月到 113 年 5 月的月初、月中與月底之星期六、日，持續在投 71 線道 7~9.5 公里間，利用白天徒步方式，以目測路旁草叢方式，尋找枯葉大刀螳螂的蹤跡。結果發現在 8 個樣區內有為數不少的枯葉大刀螳螂棲息。我們將發現的樣本採集部分數量回校飼養，持續記錄牠們成長月份，初步獲得不同齡期螳螂有重疊生存的現象(圖 1、2、3、A、B、C、D、E 皆為作者製作與拍攝)。



圖(1)枯葉大刀螳螂出現月份：不管野生或人工飼養，不同成長階段間，有重疊出現的現象。

圖(2)熟齡若螳於 8~9 月份觀察到數量最多(n=56)，進入 9 月份之後，開始陸陸續續羽化為成蟲(n=57)。10 月底採集到蝶蛸(n=37)。11 月中在野外記錄到了初齡若螳(n=130)。

圖(3) 112 年 8 月~113 年 5 月野外螳螂平均調查數量：熟齡若螳平均記錄到  $7.00 \pm 6.38$  隻；成螳平均記錄到  $7.12 \pm 3.33$  隻；蝶蛸為  $4.11 \pm 3.76$  個；初齡若螳平均記錄到  $21.67 \pm 4.13$  隻。113 年 1 月之後陸續發現二、三齡若螳  $2.00 \pm 0.82$  隻，四齡若螳  $15.00 \pm 1.41$  隻，及  $17.50 \pm 12.02$  隻的五齡螳。圖 A、投 71 線道是研究枯葉大刀螳螂的起點。圖 B、112 年 10 月 1 日發現雄螳螂棲息在草叢。圖 C、D、E 為 113 年 5 月 12 日發現四~五齡若螳。

112 年 10 月 3 日尋找枯葉大刀螳螂蹤跡時候在樣區草叢裡發現了許多隻雌、雄螳螂聚集。過程中，看到其中一隻雄螳螂快速抱住雌螳螂，接著很快把腹部連到雌螳螂腹部交尾，我們採集 78 隻熟齡若螳，並飼養到成蟲再進行實驗(圖 A、A-1、B 皆為作者拍攝與製作)。



(二) 提出疑問：我們看到螳螂交尾的時候，腦中一連產生了幾個疑問。雄螳螂跳到雌螳螂背部不怕被吃掉嗎？不同體色的螳螂會交尾嗎？牠們交尾的時間要多久呢？

(三) 提出假設：第一、雄螳螂怕被雌螳螂獵捕，所以不會貿然的跳到雌螳螂背部；第二、不同體色的螳螂也會交尾，交尾時間可能在數小時以上。

(四) 動手實驗：

**實驗 1-1 假設一、研究雄螳螂怕被雌螳螂獵捕，所以不會貿然的跳到雌螳螂背部。**

**步驟 1. 雄螳螂用何種方式跳到雌螳螂的體背？**

- (1) 樣本取得與實驗條件：採集雌雄若螳 78 隻，飼養到羽化蛻變為成蟲個體，成蟲飼養 2 週後，依照羽化不同時間分批進行實驗，溫度  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 、溼度 55~65 %、40cm × 20cm × 25cm 及 28cm × 18cm × 21cm 共 13 個飼養箱，交尾之前用大麥蟲餵飽雌雄螳螂。
- (2) 記錄雄螳螂跳到雌螳螂的體背方式：把雌螳在前、雄螳螂在後的位置，放到上述飼養箱中，記錄雄螳螂用什麼樣方式，跳到雌螳螂身上，每個樣本重複跳三次，但一次上背成功的雄螳螂，就不再進行第二次實驗(n=21，雌 9 隻、雄 12 隻)。

**步驟 2. 雄螳螂在雌螳螂的體背『要如何防止被獵捕』？**

- (1) 雄螳螂會保持距離：將交尾中雌雄螳螂放在有刻度的方格軟墊上當作比例尺，拍下『雌螳螂靜止、移動、攀爬』時雌雄螳螂的姿態，再用 Image J 軟體測量不同姿態下的雌雄螳體長與體寬之間平均的間距(n=21，雌 9 隻、雄 12 隻)。
- (2) 不同間距與雌螳螂獵捕範圍關係：雄螳螂正常姿勢與雌螳螂捕捉足距離離稱為『正常間距』；當雄螳螂身體向後仰沒有勾住雌螳螂時稱為『危險間距』。

**步驟 3. 雄螳螂在交尾過程中，『有沒有機會脫逃』？**

- (1) 假設『有機會脫逃』？使用攝影機拍攝雄螳螂脫逃方式，再測量『脫逃距離』。
- (2) 求成功脫逃百分比。再進一步以(速率)=  $\frac{x(\text{移動距離})}{t(\text{移動秒數})}$  公式、求『脫逃速率』(n=32)。
- (3) 根據步驟 1-3-1 測量獲得的『脫逃距離』，分析與雌螳螂『獵捕範圍』的關係。
- (4) 根據步驟 1-3-2 求得雄螳螂『脫逃速率』，分析與雌螳螂『獵捕速率』的關係。

**實驗 1-2 假設二、研究不同體色的螳螂也會交尾，交尾時間在數小時以上。**

**步驟 1.** 將螳螂體色分成四組：第一組雌綠雄綠、第二組雌褐雄褐，以上二組是相同體色的螳螂配對，第三組雌綠雄褐、第四組雌褐雄綠是不同體色的螳螂配對。

**步驟 2.** 把四組雌雄螳螂分別放到飼養箱中，每組每次放入 1 隻雌螳螂、1 隻雄螳螂。記錄不同體色間螳螂會不會交尾、交尾時間、交尾百分比 (n=24，雌 8 隻、雄 16 隻)。

**步驟 3.** 記錄不同體色螳螂交尾時間，並以曲率 =  $\frac{1}{r}$ ，計算雄螳螂交尾時腹部彎曲的程度。

## 研究二、探討枯葉大刀螳螂『產卵的行為』

### (一) 觀察：

完成研究一螳螂交尾的實驗之後，我們把雌螳螂獨自放在飼養箱內飼養，不久後看到了雌螳螂不斷擺動腹部忽左忽右、忽上忽下、或停在中央的產卵行為，同時間也看到雌螳螂把卵一顆顆整齊排列成一個圓形，卵粒呈現橙黃色(圖 A、B、C 皆為作者拍攝與製作)。

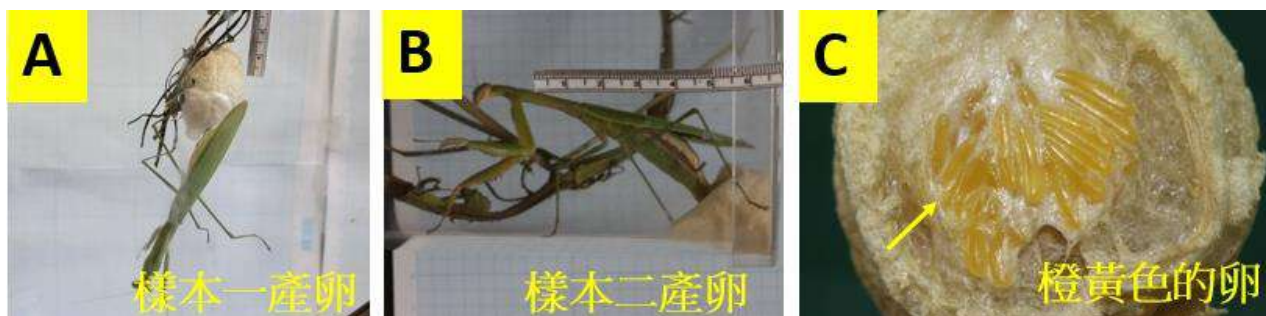


圖 A、B 不同樣本雌螳螂，在不同飼養箱中產卵；圖 C、橙黃色的卵粒。

(二) 提出疑問：只有交尾受精過的雌螳螂才會產卵嗎？雌螳螂會如何把卵產下？

(三) 提出假設：第一、產卵之前雌、雄螳螂會先交尾受精。第二、沒有交尾的雌螳螂也會產卵。第三、雌螳螂會藉由腹部擺動繞圓的方式，『產下大小不一的蝶蛹』。

### (四) 動手實驗：

**實驗 2-1 假設一、研究產卵前雌雄會先交尾受精，如何判定雌螳螂交尾後『是否有受精』。**

**步驟 1. 樣本取得與實驗條件：**交配中的雌雄螳螂(8 隻雌螳螂、14 隻雄螳螂，n=22 隻螳螂)、38.5cm × 18cm × 23cm 玻璃飼養箱。實驗室溫度 27± 1°C、濕度 55~65 %。

**步驟 2. 實驗方法：**記錄交尾時雌螳螂接受雄螳螂的精莢狀況，作為受精成功與否的依據。

**步驟 3. 根據步驟 2-1-2 的結果，**發現部分雄螳螂的精莢掉落到雌螳螂身體外面，因此推測可能與交配時『環境或外界干擾』有關，**所以我們改變交尾的環境再次進行實驗。**

**步驟 4. 改變交尾環境後實驗：**在魚缸中交錯放置的樹枝，讓交尾的雌螳螂可以攀爬與變換姿態，並降低干擾，記錄是否能提高受精情形(5 隻雌螳螂、10 隻雄螳螂，n=15)。

**實驗 2-2 假設二、研究『沒有交尾』的雌螳螂也會產卵。**

**步驟 1. 樣本取得與實驗條件：**實驗組是飼養若螳羽化為成蟲後，『沒有交尾的雌性個體』、對照組是飼養到羽化的成蟲個體且『完成交尾』，實驗室溫、溼度同 2-1 實驗。

**步驟 2. 實驗方法：**將有、無交尾的雌螳螂一隻隻分開放到飼養箱飼養。記錄沒有受精的雌螳螂是否會產卵；如果會，同時記錄要經過多久之後才會產卵(n=15)。

**步驟 3. 根據上述 2-1、2-2 實驗結果，**我們發現在原本實驗條件下，交尾後距離產卵天數很長，我們推測可能與實驗室溫溼度有關？**因此，我們改變溫溼度後再進行實驗。**

**步驟 4. 改變環境溫溼度後的實驗：**實驗組『冷氣機將白天溫度調降到 24°C± 1°C，且每隔 2 小時對飼養箱噴水一次，讓溼度維持在 70~85%間』，晚上則將冷氣機關機。對照組為『原來實驗溫度 27± 1°C、溼度 55~65 %』。以此比較有、無交尾產卵天數(n=10)。

### 實驗 2-3 假設三、研究雌螳螂會藉由腹部擺動繞圓的方式，『產下大小不一的蝶蛹』

**步驟 1.** 腹部擺動與蝶蛹大小有關嗎？實驗前使用大麥蟲餵飽雌螳螂。實驗組『人工產蝶蛹』、對照組『野生蝶蛹』。因產卵時不能受到干擾，因此採游標尺測量實驗組與對照組蝶蛹最小與最大直徑，再推測雌螳螂腹部擺動直徑是否與蝶蛹大小有關(n=15)。

**步驟 2.** 不同大小的蝶蛹內『都是卵』嗎？實驗組『人工產蝶蛹』、對照組『野生蝶蛹』。第一種方式，根據後代出蝶蛹所留下孔洞痕跡，去測量卵的分布範圍；第二種方式，切開空蝶蛹測量卵的分布，比較不同環境產下的蝶蛹重量是否有差異(n=15)。

### 研究三、探討蝶蛹的『對卵的防護』

#### (一) 觀察：

在進行研究二實驗的時候，我們就對卵外面那層『摸起來軟中帶硬的蝶蛹』感到好奇與對卵有什麼好處？當研究二的實驗結果指出，後代孵化時會朝單一方向的出口鑽出來。我們立刻把還沒有孵化的蝶蛹與 10 個已經孵化的蝶蛹拿來比對，果然在『所有已經孵化的蝶蛹』表面，發現單一系列清晰可見的小孔洞(圖 A、B、C 皆為作者拍攝與製作)。前人曾說這些孔洞不是小螳螂鑽出來的痕跡，而是介於卵與螳螂之間的『前若蟲』鑽出後所留下來的痕跡(李，2018)。原來蝶蛹對卵的好處，是提供了一個安全的場所，讓卵能夠在裡面發育成長。



(二) 提出疑問？蝶蛹有什麼功能？如果沒有了外層的蝶蛹，裡面的卵會受到影響嗎？

(三) 提出假設：第一、蝶蛹有保護卵的功能；第二、失去外層的蝶蛹會影響卵的發育。

(四) 動手實驗：

### 實驗 3-1 假設一、研究蝶蛹有保護卵的功能

**步驟 1.** 蝶蛹『會吸水』、還是『能防水』？

- (1) 樣本取得與實驗條件：實驗組『有卵蝶蛹』、對照組『乾燥的吸水海綿與防水片』、溫度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、濕度 65~70% 之間、使用 MS Pipette 滴 0.1ml、重 0.1223g 的水。
- (2) 實驗方法：用剪刀把吸水海綿剪出一個長 2.0cm × 寬 1.5cm、重約 1.7~1.9g 的模型，以及方格紙用護貝模護貝之後，剪出一個長 5cm × 寬 4.2cm、重約 1.7~1.9g 的防水片。接著分別在實驗組與對照組的表面滴上 0.1ml 水珠，計算水珠滴入前、後的蝶蛹、吸水海綿與防水片每小時的重量變化，直到水分散失。實驗重複三次(n=10)。
- (3) 如果『水不會』滲入蝶蛹：防水片上水分蒸散量 = 蝶蛹水分的蒸散量。  
如果『水會』滲入蝶蛹：水分滲入蝶蛹量 = 防水片水蒸散量 - 蝶蛹水蒸散量。

**步驟 2.** 根據步驟 1 的實驗結果，進一步探討『蝶蛹會因為吸水而沉入水中』嗎？

- (1) 樣本取得與實驗條件：實驗組：『有卵蝶蛹』、對照組：『無卵蝶蛹、保麗龍』、溫度在  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 、溼度 58~65% 間、燒杯內有 200ml 水、蝶蛹泡水一夜。

- (2) **實驗方法**：把實驗組與對照組放入有 200ml 水的燒杯內，靜置一夜後，拍照後分別計算重量、浮力、再將照片放到 Image J 軟體計算沉水面積，實驗重複三次(n=10)。

### 步驟 3. 蝶蛸『能承受外力的擠壓』嗎？

- (1) **樣本取得與實驗條件**：實驗組『整顆已經孵化無卵的空蝶蛸』、對照組『剖開已經孵化無卵的半面空蝶蛸』，對蝶蛸施 300gw、900gw、1500 gw 三種力(n=8)。
- (2) **實驗方法**：使用壓力計分別對實驗組與對照組三種力，用尺計算受壓前、後『外觀』與『內部』蝶蛸形變的高度，拍照後再用 Image J 軟體計算形變的面積。

### 實驗 3-2 假設二、研究『失去了外層泡沫狀的蝶蛸』，會影響卵發育

**步驟 1. 樣本取得與實驗條件**：實驗組『除去全部蝶蛸、留下一半蝶蛸』、對照組『完整有卵蝶蛸』、溫度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、溼度 59~68%間。

**步驟 2. 實驗方法**：(1)利用雌螳螂正在產卵時，使用毛筆刷去除全部蝶蛸，只留下卵粒，成無蝶蛸狀態。(2)留下一半蝶蛸、使半面卵粒裸露。(3)完整有卵蝶蛸。以上三種狀態分別給予噴水與不噴水的方式，記錄卵是否發育為初齡若螳(n=10)。

## 研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』

### (一) 觀察：

113 年 1 月 16 日我們把卵、前若蟲、剛孵化初齡若螳(圖 A、B、C 皆為作者拍攝與製作)，用顯微鏡與直尺記錄，發現，『前若蟲』已經有小螳螂模樣，只是身上還披著一層薄皮膜。前人也曾說剛孵出的若蟲身體包著一層膜，之後由背部開始從皮膜出來，再伸展足部(陳，2008)，而我們的觀察與前人研究的結論之不同點，在於測出了三種不同型態的大小。



(二) **提出疑問**：前若蟲脫皮之前、後有何變化？何種因素會影響脫皮？

(三) **提出假設**：前若蟲脫皮前後體長、體重有變化；孵化姿態與位置會影響前若蟲脫皮。

(四) **動手實驗**：

### 實驗 4-1 假設一、研究『前若蟲脫皮前後體長、體重有變化』。

**步驟 1. 樣本取得與實驗條件**：蝶蛸樣本 5 粒、溫度  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、濕度 63~75%。

**步驟 2. 實驗方法**：測量前若蟲跳出蝶蛸後線柄長度，測量脫皮前後體長、體重變化。

### 實驗 4-2 假設二、研究前若蟲『不同脫皮姿態會影響初齡若螳的蛻變』。

**步驟 1. 實驗組**：『垂降脫皮』、**對照組**：『橫躺脫皮』，記錄不同姿勢脫皮的時間與失敗率。

**步驟 2. 野生蝶蛸原產地**，最常見牠被雌螳螂產在枝條或葉片下，所以垂降脫皮的位置或高度不會一樣，因此我們再設計『不同高度時』，前若蟲所跳出蝶蛸的『重力位能』：

- (1) **實驗分組**：以野生蝶蛸常被產下的高度，設計實驗組為蝶蛸離地『第一組 100cm、第二組 80cm、第三組 60cm』、對照組為第四組貼在地上『2cm』(n=8)。
- (2) **實驗方法**：前若蟲平均 0.0042g 重，在不同高度時，求牠對地面的重力位能的大小。公式為：重力位能= 質量(kg) × 重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ ) × 高度(m)。

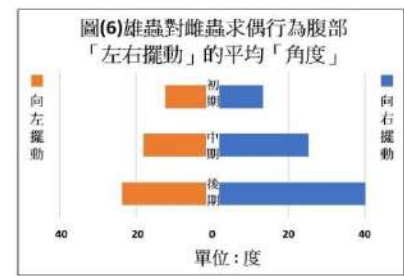
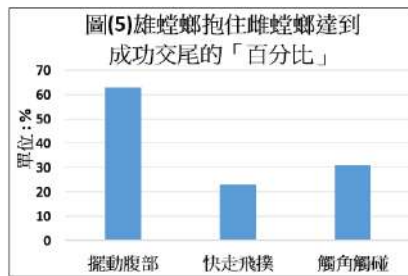
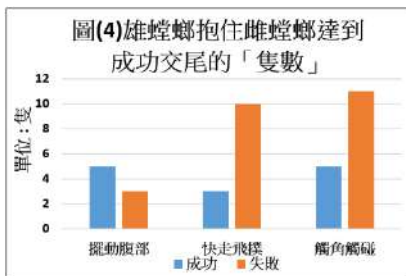


## 陸、研究結果

### 研究一、探討枯葉大刀螳螂『交尾的行為』之實驗結果

#### 1. 實驗 1-1-1 雄螳螂怕被雌螳螂捕食，所以不會貿然跳到雌螳螂背部的實驗結果與分析：

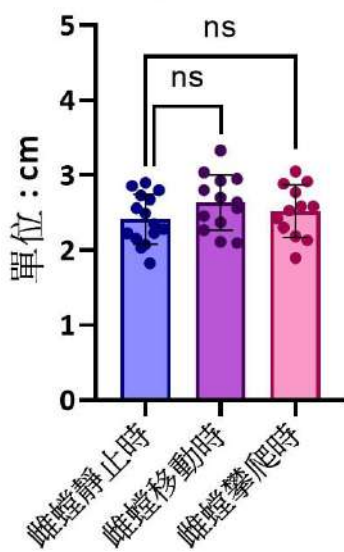
- (1) 雄螳螂利用擺動腹部、快走飛撲、觸角觸碰等三種方式，去抱住雌螳螂達到交尾目的。
- (2) 雄螳螂『擺動腹部』：雌螳螂靜止，雄螳螂對雌螳螂做出腹部擺尾的行為，擺動角度平均可由最小  $26^{\circ}$  至最大  $64^{\circ}$ ，此種方式有 63% 的成功率。
- (3) 雄螳螂『快走飛撲』：雌螳螂爬行時時，雄螳螂跟隨並跳飛到雌螳螂身上，做出飛抱交尾的行為，此種方式有 23% 的成功率。
- (4) 雄螳螂『觸角觸碰』：雌螳螂靜止時，雄螳螂慢慢靠近雌螳螂，並用身上觸角觸碰雌螳螂，再慢慢爬到雌螳螂身上，此種方式有 31% 的成功率 (如圖 4、5、6 作者製作)。



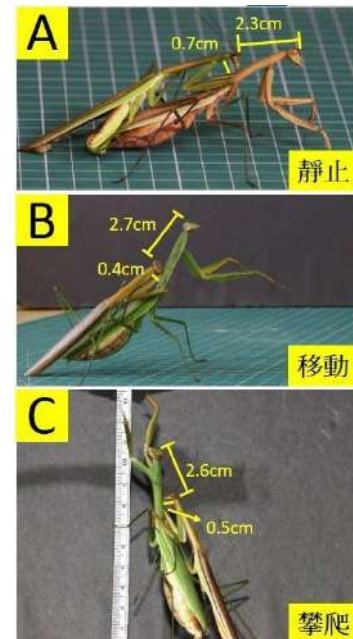
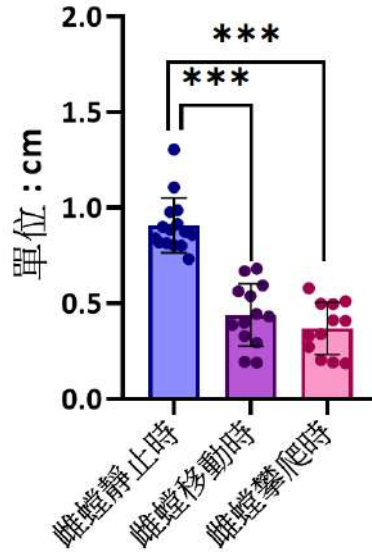
#### 2. 實驗 1-1-2 雄螳螂在雌螳螂的體背，『如何防止被雌螳螂獵捕』的實驗結果分析：

- (1) 雌雄螳『體長』間距：交尾時雌螳螂在靜止、移動或攀爬，雌雄螳的體長間距分別在  $2.41 \pm 0.33 \text{ cm}$ 、 $2.64 \pm 0.37 \text{ cm}$  與  $2.52 \pm 0.35 \text{ cm}$ ，體長間距沒有顯著性差異 (如圖 7)。
- (2) 雌雄螳『體寬』間距：交尾時雌螳螂在靜止、移動或攀爬，雌雄螳的體寬間距分別在  $0.91 \pm 0.14 \text{ cm}$ 、 $0.44 \pm 0.16 \text{ cm}$ 、 $0.37 \pm 0.14 \text{ cm}$ ，彼此間距\*\*\*  $p < 0.001$  具非常顯著性差異，顯示雌螳螂動作會影響雄螳螂把身體壓低，以躲避雌螳螂獵捕(如圖 8、A~C 作者拍攝)。

圖(7)交尾時雌雄螳螂平均「體長間距」



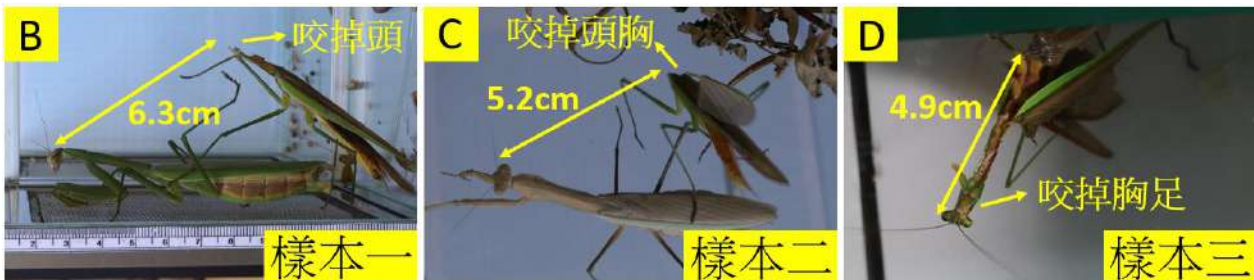
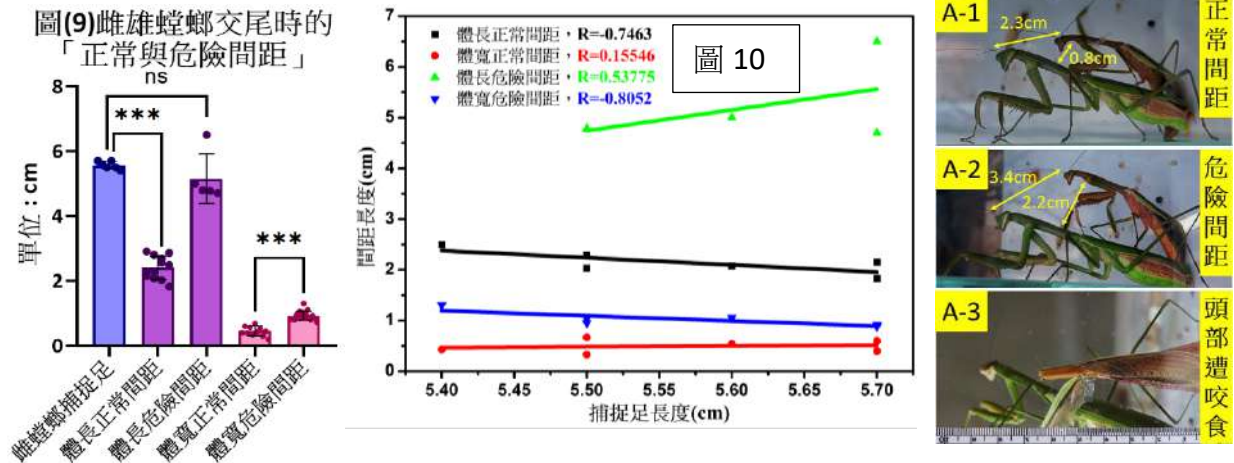
圖(8)交尾時雌雄螳螂平均「體寬間距」



- (3) 不同的間距與雌螳螂捕捉足獵捕範圍：當雌雄螳螂『體長間距接近』雌螳螂捕捉足的  $5.57 \pm 0.12 \text{ cm}$  範圍，兩者間沒有顯著性差異，顯示此間距較接近雌螳螂捕捉足長度，屬

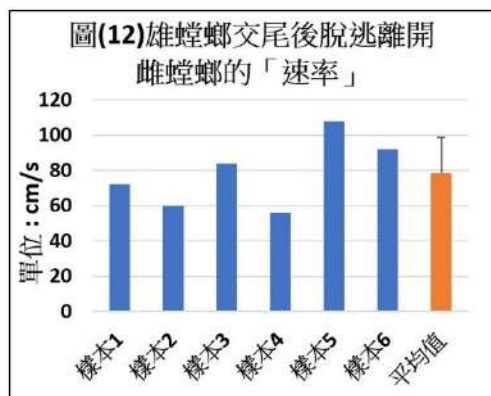
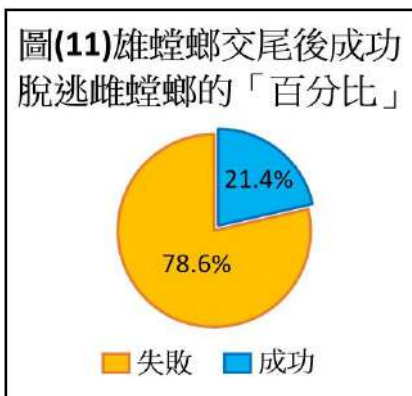
危險間距。反之，雄螳螂離雌螳螂捕捉足的  $2.41 \pm 0.36 \text{cm}$  以下範圍，兩者間\*\*\*  $p < 0.001$  具非常顯著性差異，顯示雄螳螂此時體長離雌螳螂的距離較遠、是正常間距(如圖 9)。

(4) 雌螳螂捕捉足與『體長』間距的相關性，R 值分別-0.74、0.53 屬於高度與中度相關，顯示雄螳螂不管處於正常或危險間距，都有可能被獵捕。而捕捉足與『正常體寬』間距 R 值為 0.15 屬於低度相關，顯示雄螳螂在此間距下比較不容易被雌螳螂的捕捉足抓到。但是雄螳螂一旦身體後仰沒有勾住雌螳螂時，體寬間距與捕捉足長度 R 值為-0.80 高度相關，顯示在這種狀態下，雄螳螂易被雌螳螂獵捕(如圖 10、A-1~3、B、C、D 作者拍攝)。



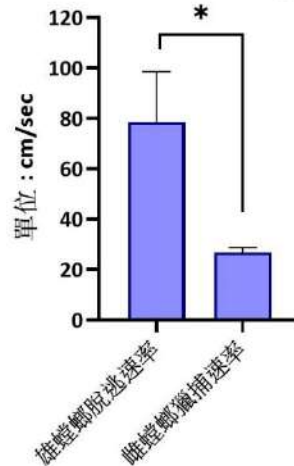
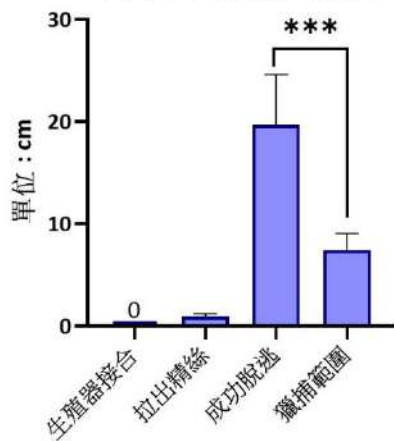
### 3. 實驗 1-1-3 雄螳螂在交尾過程中，『有沒有機會脫逃』的實驗結果與分析：

(1) 脫逃的『方式』：①雄螳螂準備脫逃時，拉出一條長  $0.92 \pm 0.31 \text{cm}$  的精絲，讓雌螳螂以為持續交尾中、②再平均以  $78.70 \pm 19.87 \text{cm/s}$  速率逃到  $19.67 \pm 4.97 \text{cm}$  遠距離，第一次證實交尾時雄螳有 21.4% 的機會可以脫逃(如圖 11、12、A~C：雄螳螂拉精絲，脫逃過程。皆為作者拍攝與製作)。



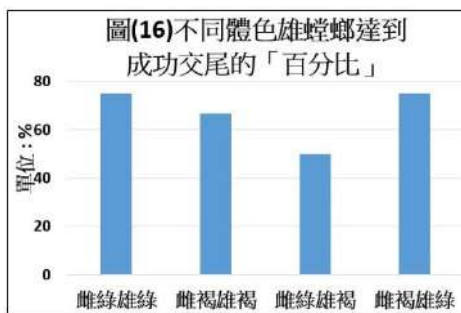
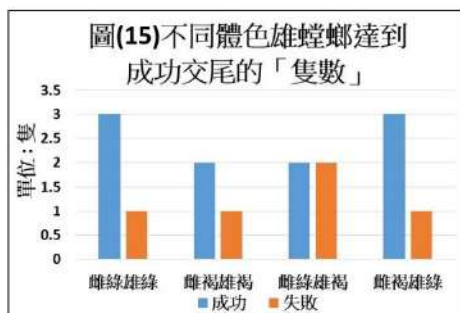
- (2) 雌螳螂的獵捕『範圍』：雌螳螂獵捕範圍為  $5.57 \pm 0.12 \text{ cm}$ ，而雄螳螂的脫逃距離為  $19.67 \pm 4.97 \text{ cm}$ ，兩者間\*\*\*  $p < 0.001$  具非常顯著性的差異，在雌螳螂沒有追捕的情況下，第二次證實交尾時雄螳螂有機會成功脫逃(如圖 13)。
- (3) 雌螳螂的獵捕『速率』：雌螳螂獵捕速率為  $26.95 \pm 1.91 \text{ cm/sec}$ ，而雄螳螂的脫逃速率為  $78.70 \pm 19.87 \text{ cm/s}$ ，兩者間\*  $p < 0.05$  具顯著性的差異，在雌螳螂沒有追捕的情況下，第三次證實交尾時雄螳螂還是有機會成功脫逃(如圖 14、A、B、B-1 皆為作者拍攝與製作)。

圖(13)雄螳螂完成交尾後成功「脫逃」與雌螳螂獵捕的範圍  
圖(14)雄螳完成交尾後「脫逃速率」與雌螳螂「獵捕速率」的比較

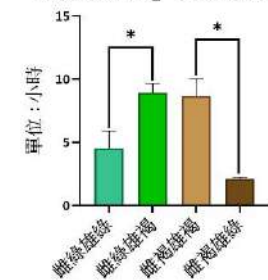


#### 4. 實驗 1-2-1 不同體色間的螳螂『會不會交尾』及『交尾的姿態』實驗結果與分析：

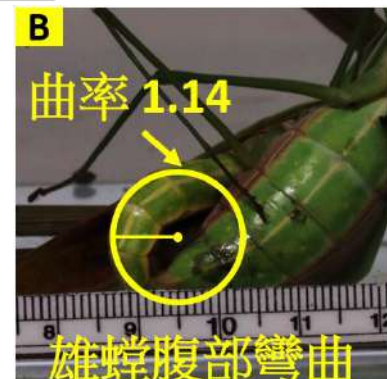
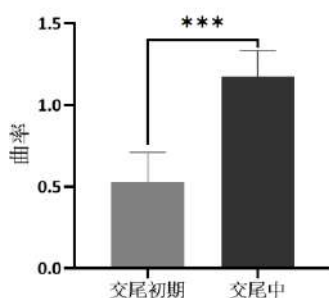
- (1) 不同體色雌雄螳螂會交尾，成功百分比為 50~75%。交尾時間\*  $p < 0.05$  雖有顯著性差異，但是推測飼養環境或交尾過程的干擾影響交尾結果(如圖 15、16、17 作者拍攝 n=33)。
- (2) 交尾姿態結果：雄螳螂交尾時腹部初期曲率  $0.53 \pm 0.18$ ，期間不斷觸碰雌螳螂腹部，當腹部平均  $1.17 \pm 0.16$  彎曲時，雄螳螂會緊緊勾住雌螳螂進行交尾(圖 18、A、B 作者拍攝)。



圖(17)「不同體色」的雌雄螳螂「交尾器結合」平均交尾時間



圖(18)雄螳螂交尾時腹部所折彎之「曲率」



## 實驗後產生的疑問？

關於雄螳螂被雌螳螂獵捕，前人曾研究寬腹斧螳的性食率問題，結果得知雌螳螂幾乎不會受到營養狀況的影響，不論狀況好壞皆具有極高性食率(林，2017)。上述實驗我們也確實看到了雌螳螂即使在被餵飽狀態，雄螳螂仍被獵捕。因此我們不僅研究雌雄螳螂的交尾過程，更對被雌螳螂咬斷頭的雄螳螂感到好奇，心想斷頭後的雄螳螂還活著嗎？或還能活多久？

### 再次實驗，解決疑問：

提出新假設：被雌螳螂咬斷或吃掉頭的雄螳螂，牠還會移動、心臟還會跳動，所以還活著。

### 再實驗假設一、從雄螳螂斷頭後，因為『身體是否還能移動』，所以還活著：

步驟 1. 樣本取得與實驗條件：利用交尾、雌螳螂咬掉雄螳螂的頭時取下身體，並依照咬食程度不同分成第一組：斷頭胸翅、第二組：斷頭、第三組：斷頭胸等三組(n=10)。

步驟 2. 實驗方法：利用 Tracker 軟體分析斷頭雄螳螂移動的距離，及多久後會停止移動。

### 再實驗假設二、從雄螳螂斷頭後，因為『心臟還跳動著』，所以還活著：

步驟 1. 樣本取得與實驗條件：實驗組為『遭咬食失去頭胸雄螳螂』、對照組為『被 CO<sub>2</sub> 迷昏沒有斷頭的雄螳螂』(n=12)。

步驟 2. 實驗方法：斷頭後心臟『收縮』時間，從失去頭開始，每個樣本每天早、中、晚各測量 5 次，一天共測 15 次，求心臟最大舒張到最大收縮花費時間，單位是秒。

步驟 3. 斷頭後心臟『舒張』時間：為心臟最大收縮到舒張間所花費時間，實驗步驟同上。

步驟 4. 斷頭後的『心跳率』：計時一分鐘，測量單位時間所產生的心跳週期次數，單位是次/分鐘。測試直到心跳停止為止。

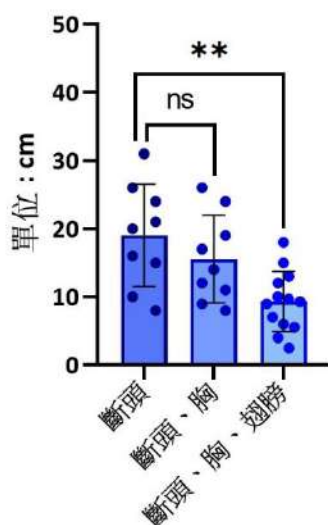
步驟 5. 『血液流速』：以距離(cm)/sec，求斷頭與沒有斷頭雄螳螂每日每秒平均血液流速。

### 再次實驗的結果分析

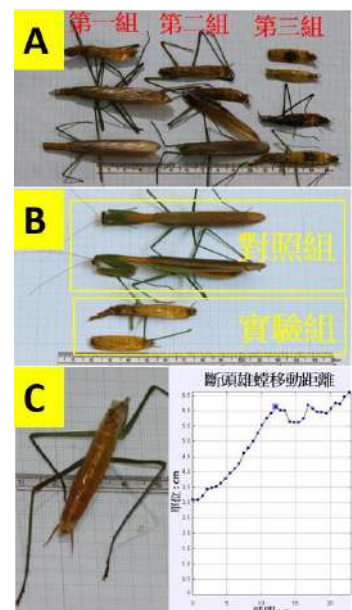
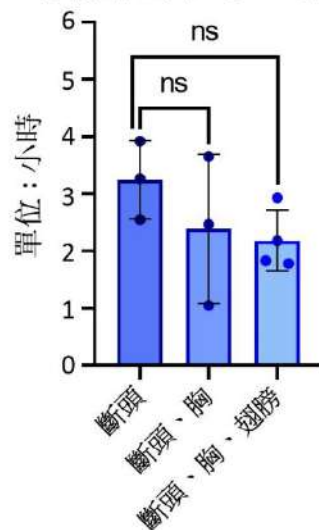
#### 1. 斷頭後，『身體是否還能移動』的實驗結果與分析：

不管斷頭胸或斷頭胸翅，雄螳螂每分鐘還能爬行  $9.3 \pm 4.4 \sim 19.0 \pm 7.5$ cm，經過  $2.2 \pm 0.5 \sim 3.2 \pm 0.7$ hr 後才停止爬行，但是身體仍然不斷左右擺動或上下抖動，因此被斷頭後的雄螳螂還活著(如圖 19、20、A、B、C 皆為作者拍攝與製作)。

圖(19)斷頭雄螳螂身體每分鐘「移動」的平均「距離」

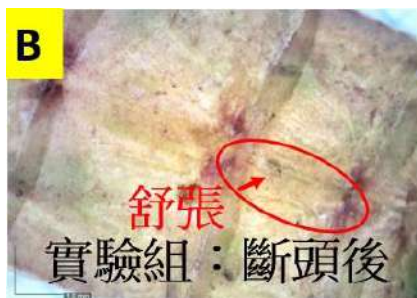
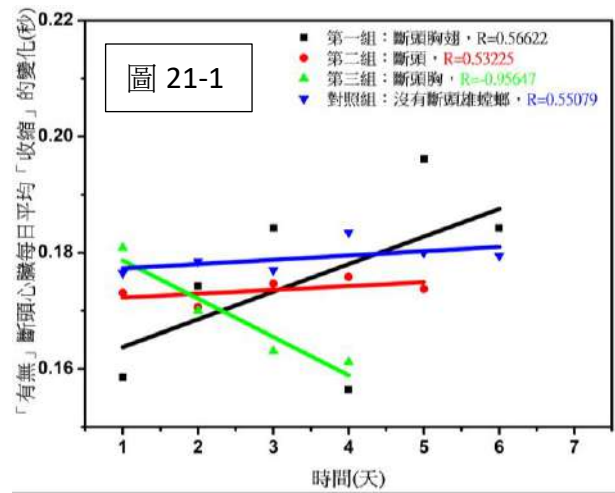
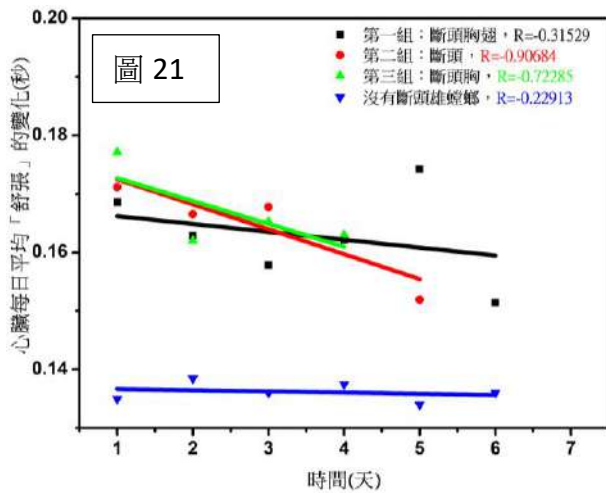


圖(20)斷頭雄螳螂身體「停止移動」的平均「時間」

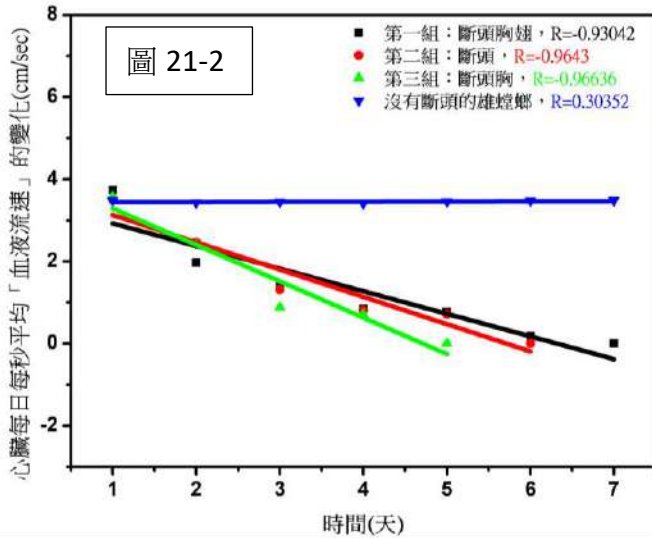


**2. 斷頭後，因為『心跳還跳動著』的實驗結果與分析：**

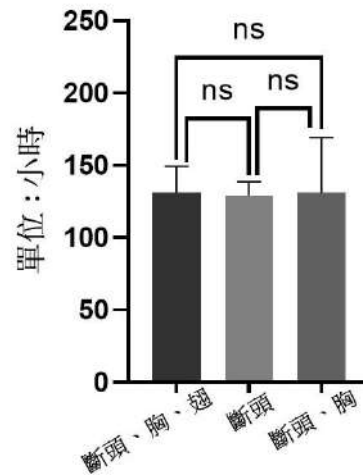
- (1) 雄螳螂被斷頭胸翅後，心臟的平均每秒舒張與天數之間 R 值為-0.31，屬於中度相關，而斷頭或斷頭胸與天數間 R 值卻是-0.90、-0.722 為高度相關。可推測此時的雄螳螂心臟舒張會隨時間變化減少，但頻率很不穩定。對照組舒張雖然穩定些，但相關係數只有-0.22 為低度相關，所以心臟『舒張』變化可能還受其他因素影響(圖 21 作者製作)。
- (2) 當雄螳螂被斷頭胸翅、斷頭，心臟的平均每秒收縮與天數之間 R 值為 0.56、0.53，屬於中度相關，與斷頭胸 R 值為 0.95 為高度相關。對照組的收縮 R 值為 0.55，為中度相關，所以心臟『收縮』的變化，約經過 129.00±9.90~ 131.00±18.38 小時後舒張與收縮停止。同樣可能與其他因素有關(圖 21-1、A、A-1、B、B-1、B-2 皆為作者拍攝與製作)。



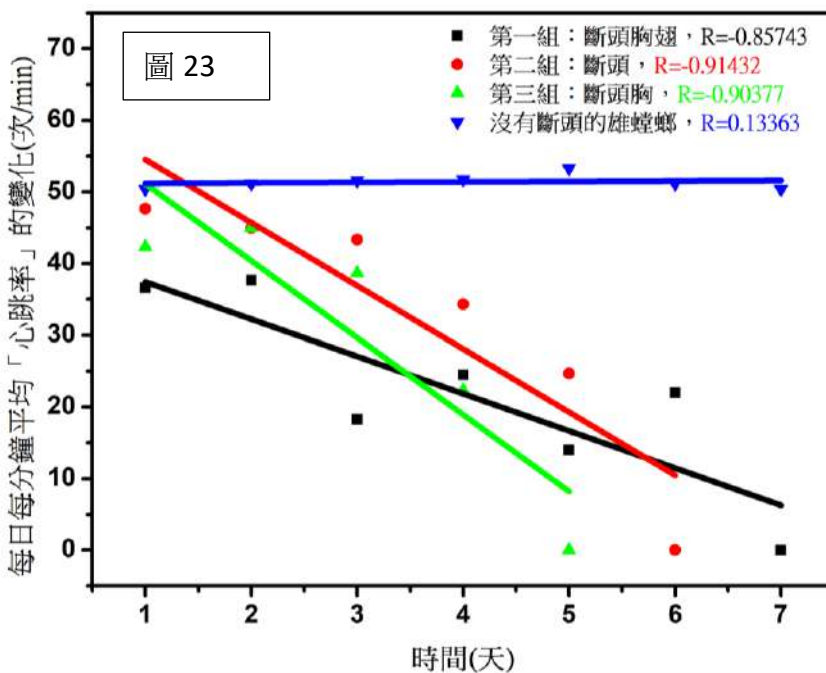
- (3) 雄螳螂斷頭胸翅、斷頭、斷頭胸後，『血液流速』與天數 R 值分別為-0.93、-0.96、-0.96 皆屬高度相關，可推測隨時間增加，雄螳螂血液流速由第一天  $3.61 \pm 0.40 \text{ cm/sec}$  減慢到第七天  $0.51 \pm 0.27 \text{ cm/sec}$ 。而對照組沒有斷頭螳螂血液流速第一天  $3.48 \pm 0.11 \text{ cm/sec}$ 、第七天流速  $3.49 \pm 0.08 \text{ cm/sec}$  變化不大。因此雄螳螂被雌螳螂咬斷失去頭後，血液流速逐漸減慢且平均在第 6 天停止流動(圖 21-2、22 作者製作)。



圖(22)雄螳斷頭後「存活時間」



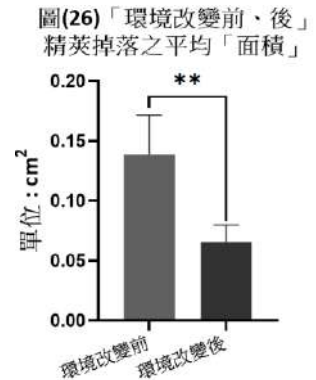
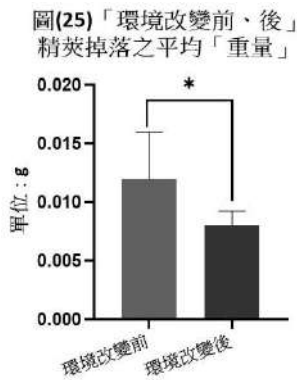
- (4) 雄螳螂斷頭胸翅、斷頭、斷頭胸後，『心跳率』與天數的 R 值分別為-0.85、-0.91、-0.90 皆屬於高度相關，可推測隨時間的增加，雄螳螂的心跳率會減少，雄螳螂心跳率會減少，但每分鐘平均還能跳 25 下，心跳平均到第 5 天停止跳動，因此預估斷頭後的雄螳螂平均能再存活 5 天。而對照組心跳率與天數 R 值只有 0.13，為低度相關，其心跳率的變化可能與其他因素的影響有關(圖 23 作者製作)。
- (5) 失去頭部的雄螳螂，第一天交尾器不斷蠕動，第二~第三天還會排出軟便，但到了第五天死亡之後，整個交尾器變得鬆弛，不再有任何擺動交尾的動作(圖 C、C-1、C-2 作者拍攝)。



## 研究二、探討枯葉大刀螳螂『產卵的行為』之實驗結果

### 1. 實驗 2-1 如何判定雌螳螂交尾後『是否有受精』的實驗結果與分析：

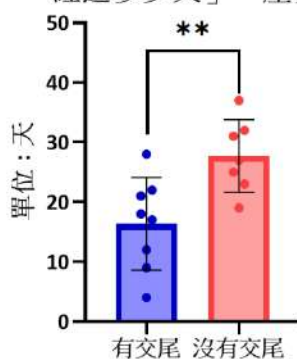
- (1) 精英是否被雌螳螂接收：交尾過程中我們發現在精英會從雌蟲身上掉落到體外，其重量介於 0.0094~0.0156g；面積在 0.098~0.199cm<sup>2</sup> 之間(如圖 24 作者製作)。
- (2) 改變環境後、精英接收狀態：精英仍會掉落，但相較改變環境前，掉落精英的重量平均減少了 0.0063g，兩者間\* $p < 0.05$  具顯著性差異。而環境改變前、後的面積相差 0.0732 cm<sup>2</sup>，\*\* $p < 0.01$  具極顯著性的差異(如圖 25、6、A、B、C、D 皆為作者拍攝與製作)。顯示雌螳螂若在可攀爬的環境中交尾，能不定時抬高腹部，有利於接收雄螳螂的精英。



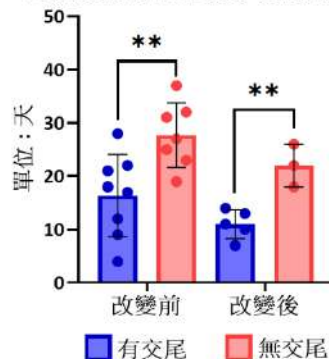
### 2. 實驗 2-2 『沒有交尾』的雌螳螂也會產卵的實驗結果與分析：

- (1) 有、無交尾的雌螳螂是否產卵：有交尾雌螳螂經過 16.38±7.72 天後產下卵、無交尾的雌螳螂經過 27.71±6.07 天產下卵，兩者的產卵天數\*\* $p < 0.01$  具有極顯著性差異。顯示有無交尾的雌螳螂產卵的天數有所不同(如圖 27 作者製作)。
- (2) 改變環境後，雌螳螂產卵天數是否改變：溫度降低、提高溼度，有交尾產卵天數從 16.38±7.73 天縮短成 11.00±2.74 天，而無交尾從 27.71±6.07 縮短成 22.00±4.00 天，兩者的\*\* $p < 0.01$  均具有極顯著性差異，顯示溫溼度會影響產卵天數(如圖 28、29 作者製作)。

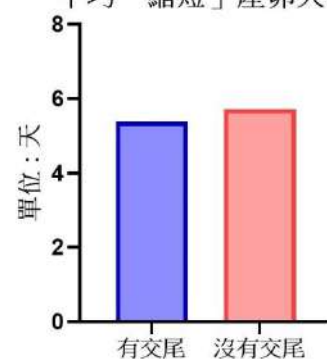
圖(27)雌螳螂「有無交尾」需「經過多少天」「產卵」



圖(28)雌螳在不同「溫溼度」下「有無交尾」經過幾天產卵比較

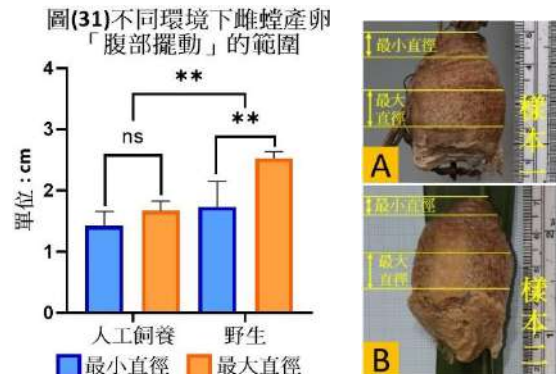
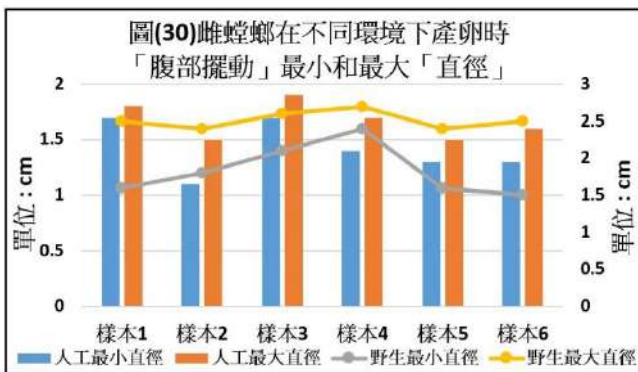


圖(29)雌螳在「溫溼度」改變後平均「縮短」產卵天數



3. 實驗 2-3 雌螳螂藉由腹部擺動繞圓方式，『產下大小不一螺蛸』實驗結果分析：

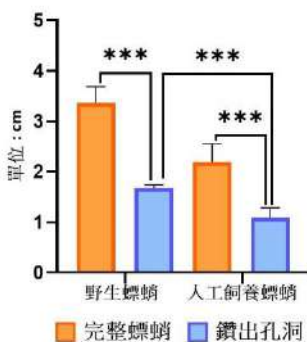
(1) 野生與人工飼養雌螳螂腹部擺動範圍：分別為  $2.52 \pm 0.12 \text{ cm}$ 、 $1.67 \pm 0.16 \text{ cm}$ ，兩者的  $**p < 0.01$  具極顯著性差異，顯示腹部擺動幅度會影響到螺蛸大小(如圖 30、31、A、B 皆為作者製作與拍攝)。



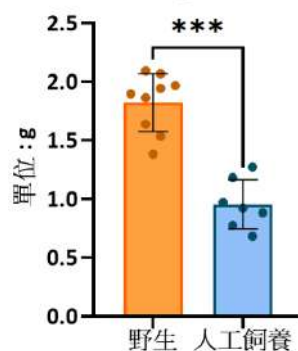
(2) 不同大小的螺蛸內『都是卵』嗎？的實驗結果與分析：

- ① 後代鑽出螺蛸：野生螺蛸長  $3.37 \pm 0.32 \text{ cm}$ 、後代鑽出  $1.68 \pm 0.07 \text{ cm}$ ；人工產螺蛸長  $2.19 \pm 0.37 \text{ cm}$ 、後代鑽出  $1.09 \pm 0.20 \text{ cm}$ 。野生或飼養螺蛸與孔洞長間  $***p < 0.001$  具非常顯著差異(如圖 32、33、A、B、C 作者拍攝)。顯示野生螺蛸長、重量大、孔洞多代表後代也多。
- ② 螺蛸內有卵比例：野生螺蛸有卵面積  $6.65 \pm 1.31 \text{ cm}^2$ 、占螺蛸  $50.00 \pm 4.13\%$ ；人工產面積僅  $3.63 \pm 0.21 \text{ cm}^2$ ，卵部分占螺蛸  $55.62 \pm 10.23\%$ ，兩者間無顯著性差異(如圖 34、D、E 作者拍攝)。顯示螺蛸大小雖不同，但裡面卵『數量比例』差別不大，所以螺蛸內並非都是卵。

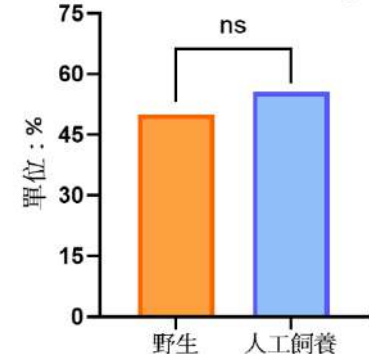
圖(32)「完整螺蛸」及「前若蟲鑽出孔洞」的長度之比較



圖(33)野生與人工飼養螺蛸「重量」之比較



圖(34)「螺蛸內部的卵」占整顆螺蛸的「面積百分比」





## 實驗後我們產生的疑問？

上述螳螂『產卵的行為』實驗過程，我們看到雌螳螂是利用腹部擺動，噴出白色膠狀物時順勢畫出一個圓、把卵產在圓內，再噴出膠狀物畫圓、再把卵產下，一個個重疊上去(如圖 A1~A4 作者拍攝與製作)，形成一個似圓非圓的螺蛸形態。我們很好奇，『這個似圓非圓的螺蛸在數學上具有的意義』？以及『雌螳螂做類圓形螺蛸目的為何？對後代有何意義』？

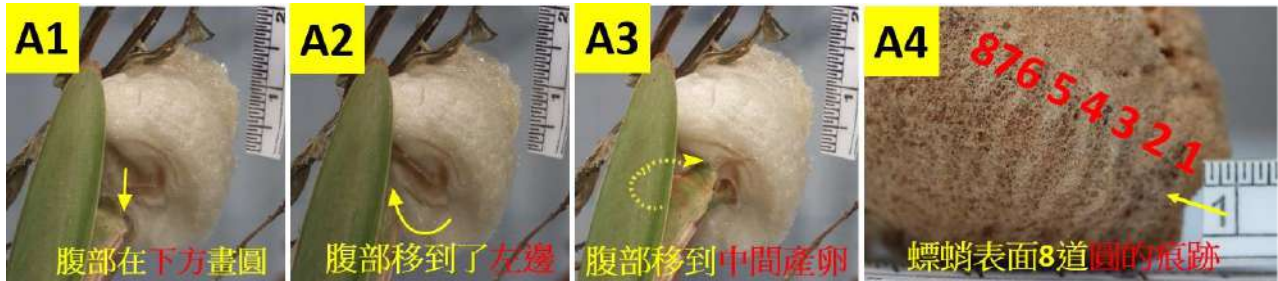


圖 A1~A3 雌螳腹部類似畫圓產卵的過程；圖 A4，在螺蛸的表面，留下多處圓的痕跡。

## 再次實驗，解決疑問：

提出新假設：第一、螺蛸像心臟形態的部分，在數學上的意義，被稱為『心臟線』。

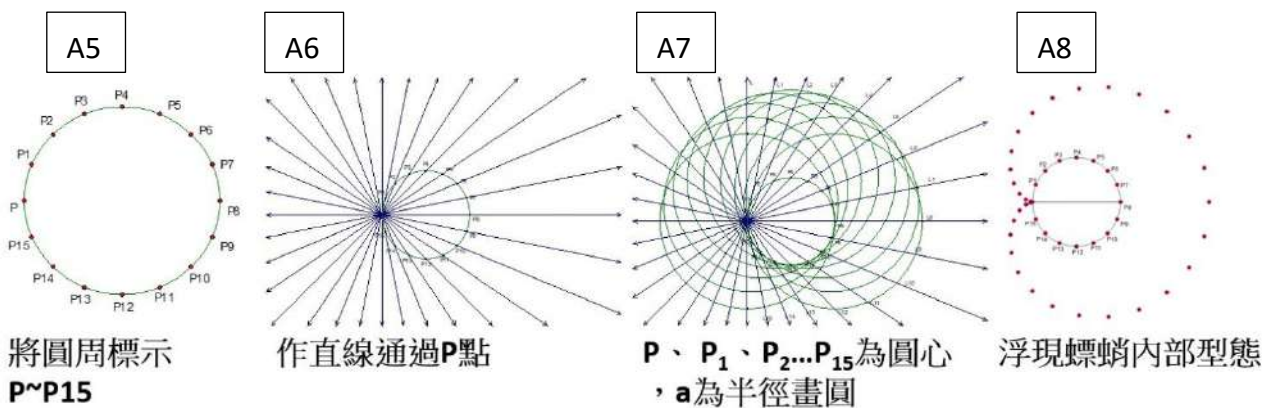
第二、雌螳螂做類心臟線的螺蛸，目的是在為後代『留下一道出口路徑』。

再次進行實驗：假設一、螺蛸像心臟形態的部分，在數學上的意義，被稱為『心臟線』。

步驟 1. 觀察雌螳螂腹部畫出類圓形的螺蛸，再用美工刀切開已經孵化的空螺蛸(n=6)。

步驟 2. 用『GeoGebra』應用程式做圖：根據上述的觀察，用 GeoGebra 模擬雌螳螂腹部擺動『做圓的軌跡』以及畫出螺蛸『內部可能的形態』，方式如下列 4 點。

- (1) 假設雌螳螂的腹部擺動像在做圓：取適當長的  $a/2$  為半徑作一圓，以垂直線和角平分線將圓周 16 等分，並標示 P~P15。
- (2) 做直線：將  $\overline{PP_1}$ 、...、 $\overline{PP_{15}}$  及通過 P 點垂直  $\overline{PP_8}$  的直線，並直線命名為 L、L<sub>1</sub>...L<sub>15</sub>。
- (3) 標定圓心：當 P、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>...P<sub>15</sub> 為圓心，a 為半徑畫圓，並交直線 L、L<sub>1</sub>...L<sub>15</sub> 於兩點。
- (4) 除去痕跡、找出極座標：當作圖完成並消去圖的痕跡只保留交點，此時完成了螳螂產卵時『腹部做圓的軌跡』模擬以及『浮現螺蛸內部的形態』，(如圖 A5~A8 作者自繪)。
- (5) 將真螺蛸直徑代入及座標，求螺蛸周長與面積，並確認螺蛸『類圓形』形狀(n=6)。



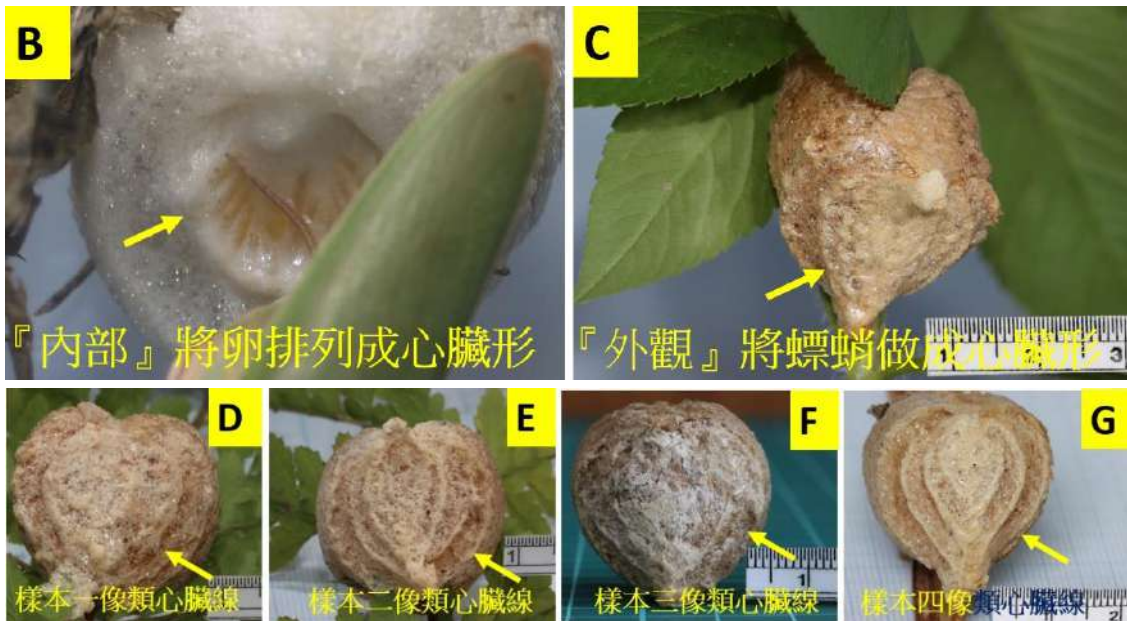
再次進行實驗：假設二、雌螳螂做類心臟的螺蛸，目的是在為後代『留下一道出口路徑』。

步驟 切開螺蛸，從中找出後代出口路徑方向，並測量螺蛸內的最短與最長路徑(n=6)。

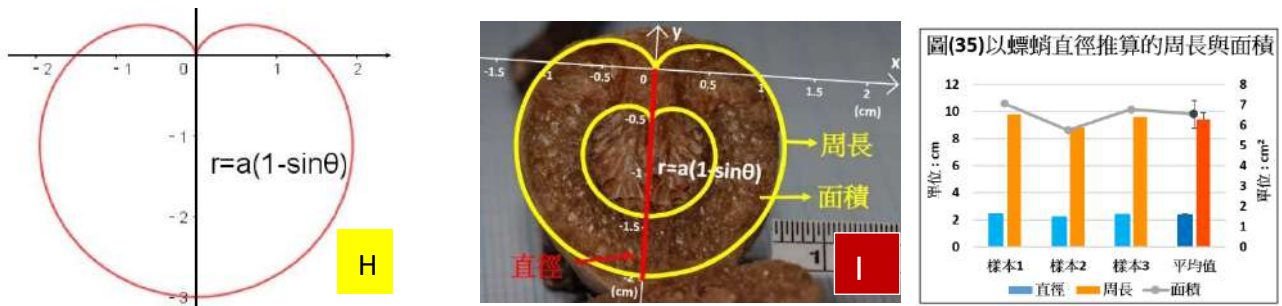
## 再次實驗的結果與分析

1. 觀察雌螳螂產下的類圓形蝶蛹，是一種『心臟線』的實驗結果。

(1) 雌螳螂做類心臟線：產卵時，雌螳螂將內部的卵排成一個『類心臟線』的形態，再用腹部噴出泡沫狀膠質畫出『類心臟線』外表，同時把卵包覆在裡面(如圖 B~G 作者拍攝)。

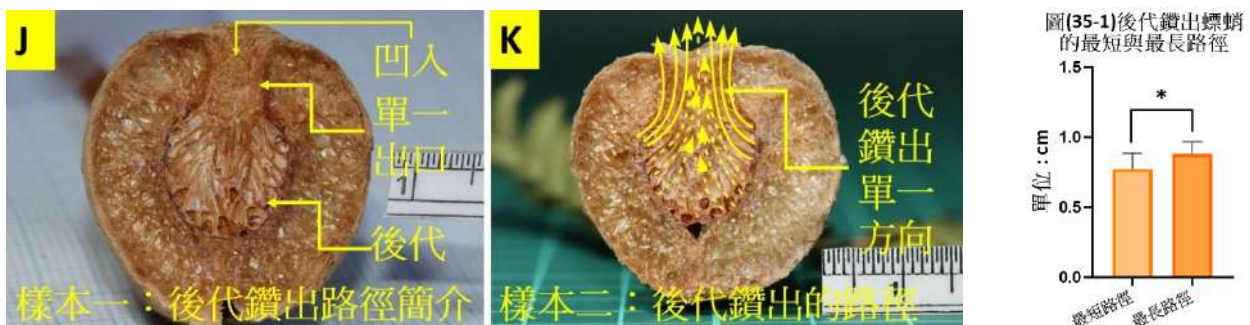


(2) 類心臟線的定義與實際的結果：根據模擬做圖所獲得的形態結果，它的形狀看起來像數學上的『心臟線』。而心臟線以極座標  $r=a(1-\sin\theta)$  的形式表示，如當  $a=1$ ，心臟線的周長為 8，其面積為  $3\pi/2$ 。我們繪製出蝶蛹外層輪廓與內部卵的分布，並求出蝶蛹『類心臟線』的直徑  $2.34\pm 0.12\text{cm}$ ，周長  $9.425\pm 0.690\text{cm}$ ，面積  $6.571\pm 0.918\text{cm}^2$ (如圖 H、I、35 作者繪)。



2. 雌螳螂做類心臟線蝶蛹目的是在為後代『留下一道出口路徑』實驗結果。

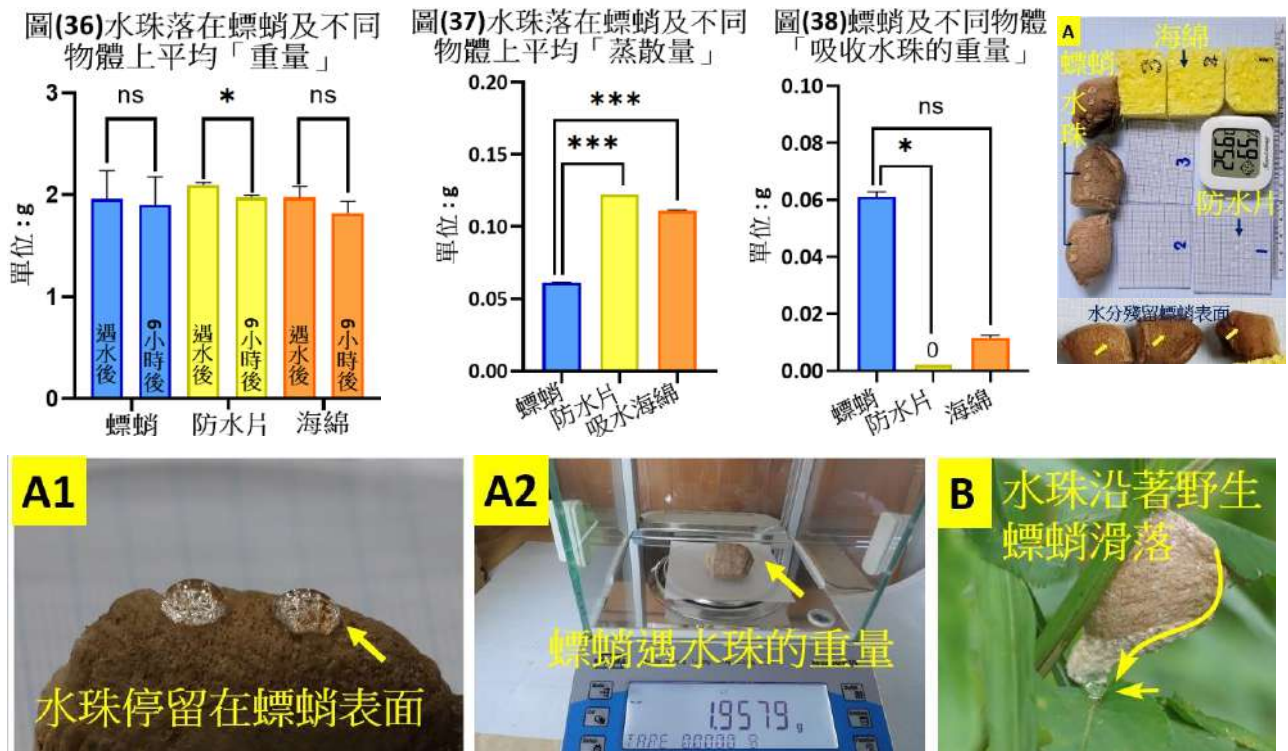
類心臟線的出口：類心臟線凹入線段，形成一道單一方向出口路徑，長短在  $0.77\pm 0.11\text{cm}$ ~ $0.88\pm 0.09\text{cm}$ ，後代只會從這出口鑽出，不會從其他位置孵化(圖 J、K、35-1 作者拍攝製作)。



### 研究三、探討『蝶蛸對卵的防護』實驗結果

#### 1. 實驗 3-1-1 蝶蛸『會吸水』、還是『能防水』？的實驗結果與分析：

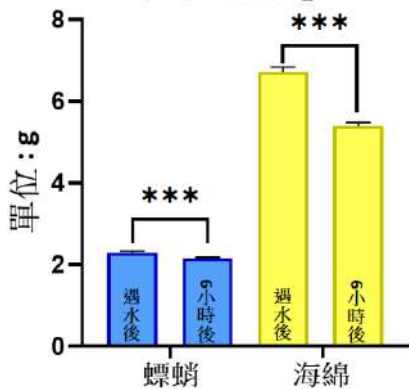
- (1) 水在蝶蛸上的重量：蝶蛸原重  $1.8401 \pm 0.2771\text{g}$ ，遇  $0.1223\text{g}$  的水後為  $1.9624 \pm 0.2771\text{g}$ ，經六小時後重  $1.9003 \pm 0.2774\text{g}$ ，兩者間無顯著性差異；但防水片原重  $1.8924 \pm 0.1474\text{g}$ ，遇水重  $2.0994 \pm 0.0211\text{g}$ ，經六小時後重  $1.8924 \pm 0.1474\text{g}$ ，兩者  $*p < 0.05$  具顯著性差異。顯示當防水片六小時後只剩原來重量時，蝶蛸仍保有部分水重(如圖 36、A、A1、A2、B 皆為作者製作與拍攝)。
- (2) 蝶蛸上的『蒸散量』：蝶蛸六小時後僅蒸散  $0.0621 \pm 0.0009\text{g}$  的水分，而防水片卻蒸散了  $0.1223\text{g}$ ，兩者間  $***p < 0.001$  具非常顯著差異，顯示防水片上的水分蒸散量會大於蝶蛸上水分的蒸散量 (如圖 37 作者製作)。
- (3) 蝶蛸的『吸水量』：蝶蛸六小時剩  $0.0601 \pm 0.0009\text{g}$  的水吸收了 49% 的水分，與不吸收水分的防水片之間  $*p < 0.05$  具顯著性差異。同時，海綿吸收  $0.0116 \pm 0.0008\text{g}$  的水與蝶蛸無顯著性差異。以上皆證明蝶蛸上水分蒸散量少，能吸收、留住水分(如圖 38 作者製作)。



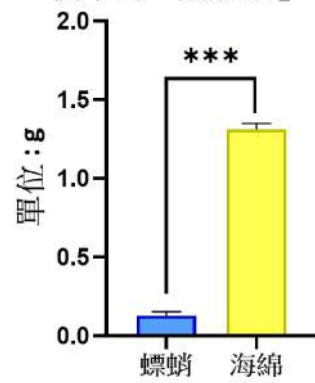
#### 2. 實驗 3-1-2 蝶蛸『會因吸水而沉入水中嗎』？的實驗結果與分析：

- (1) 蝶蛸泡一夜水後的重量：蝶蛸泡一夜水重  $2.30 \pm 0.03\text{g}$ ，六小時後則剩  $2.17 \pm 0.01\text{g}$ ，這泡水前、後間  $***p < 0.001$  具非常顯著差異性；而吸水海綿泡水後重量遽增至  $6.72 \pm 0.12\text{g}$ ，同樣具有非常顯著性差異(如圖 39、A、A-1、B、B-1 皆為作者製作與拍攝)。
- (2) 蝶蛸泡一夜水後的蒸散量與吸水量：蝶蛸泡水一夜後吸收了  $0.21 \pm 0.05\text{g}$  的水，六小時後蒸散了  $0.13 \pm 0.03\text{g}$  水；而海綿吸收了  $4.74 \pm 0.06\text{g}$  的水，蒸散  $1.31 \pm 0.04\text{g}$  的水。二者  $***p < 0.001$  都屬非常顯著性差異。第二次證實蝶蛸具吸收水分功能(如圖 40、41 作者製作)。

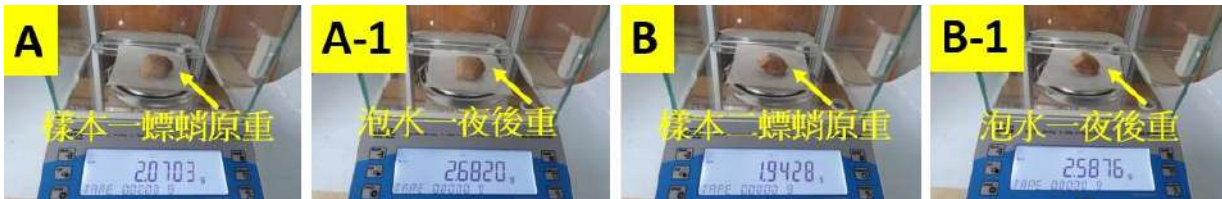
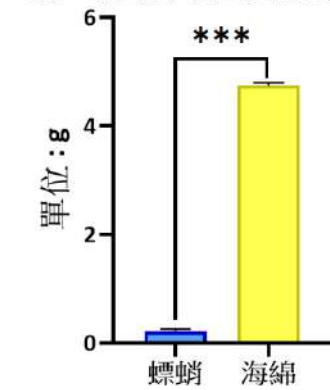
圖(39) 螻蛄泡水「一夜」後平均「重量」



圖(40) 螻蛄泡水「一夜」後平均「蒸散量」

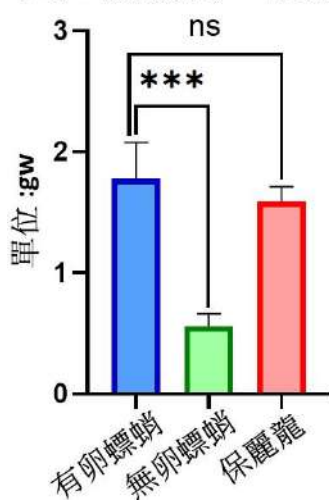


圖(41) 螻蛄泡水「一夜」後「吸收水分的重量」



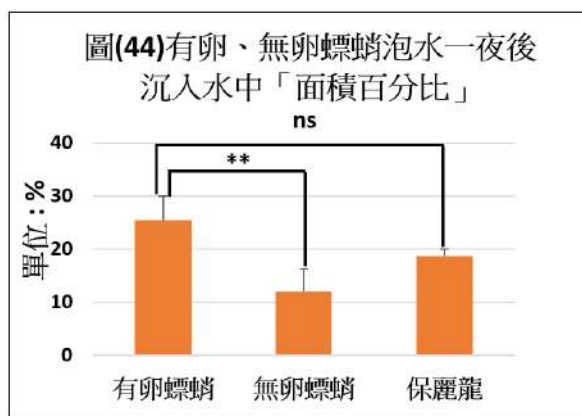
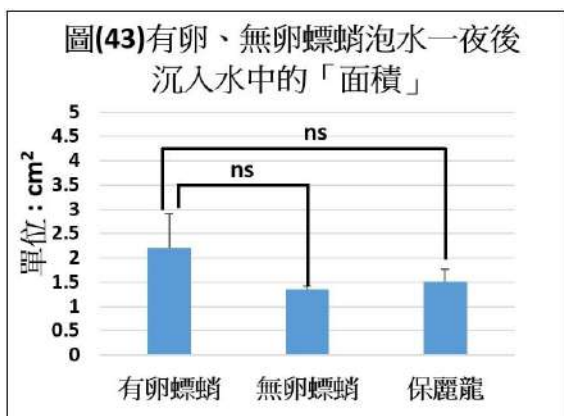
(3) 螻蛄在水面上的浮力：有卵螻蛄浮力  $1.77 \pm 0.30 \text{ gw}$ ，保麗龍  $1.59 \pm 0.12 \text{ gw}$ ，兩者間無顯著性差異。但無卵的空螻蛄與有卵螻蛄浮力間  $***p < 0.001$  具非常顯著性差異，顯示有卵螻蛄雖然較無卵空螻蛄重、浮力大也不會沉入水中(如圖 42、A、B、C、D 皆為作者拍攝)。

圖(42) 螻蛄的「浮力」



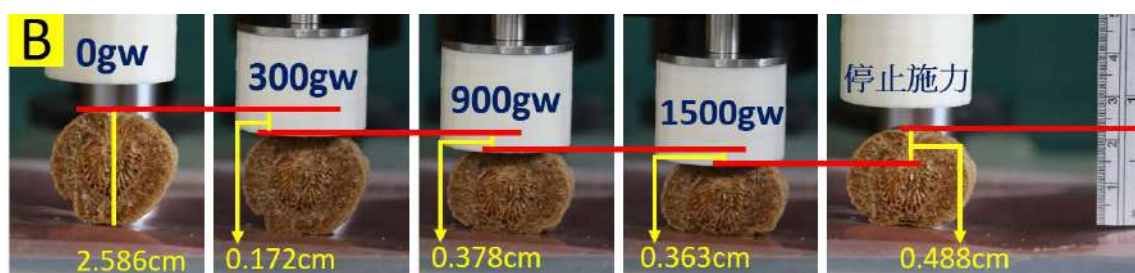
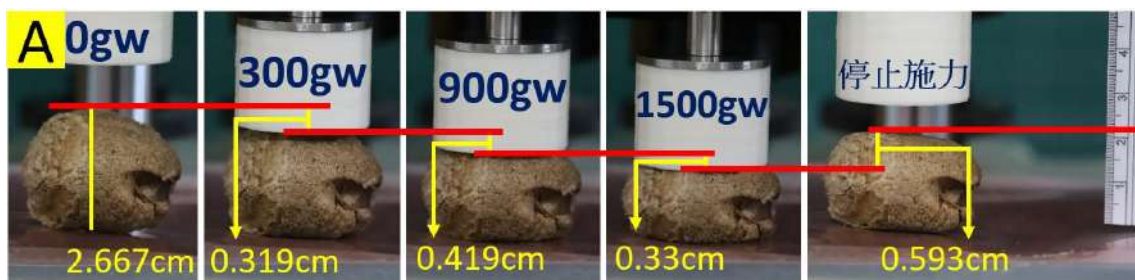
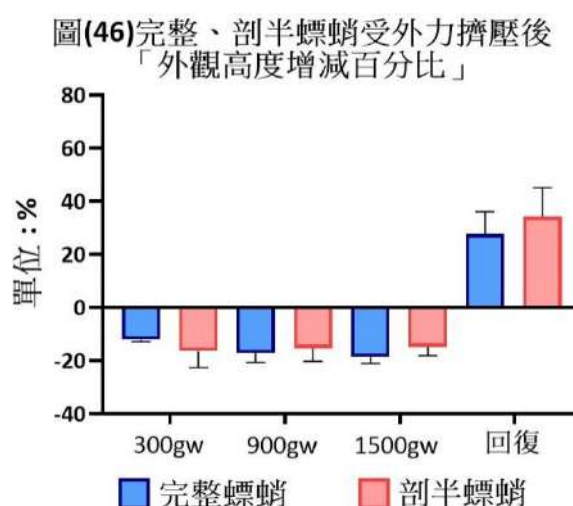
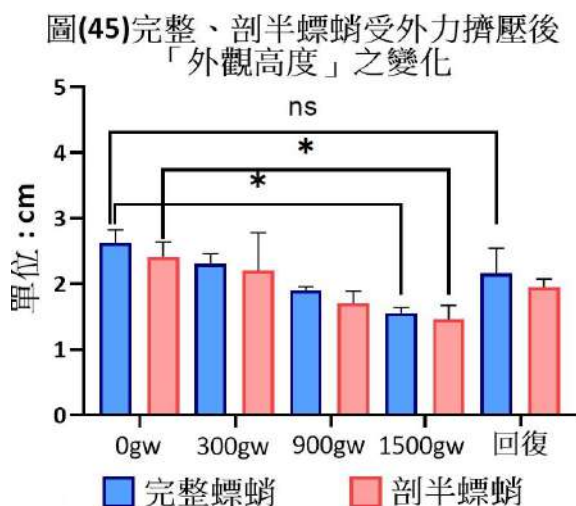
(4) 螻蛄沉入水中的面積：有卵螻蛄並不會整顆沉入水中，沉入水中部分的面積為  $2.21 \pm 0.71 \text{ cm}^2$ ，無卵螻蛄者為  $1.52 \pm 0.25 \text{ cm}^2$ ，而保麗龍沉水面積為  $1.36 \pm 0.06 \text{ cm}^2$ ，上述三者間並無顯著性差異，顯示都能浮在水面之上 (如圖 43 作者製作)。

(5) 螻蛄在水面下的面積百分比：有卵螻蛄在水面下的面積，占整顆螻蛄的  $25.50 \pm 4.51\%$ ，無卵螻蛄占  $12.00 \pm 1.29\%$ ，這兩者間  $**p < 0.01$  具有極顯著差異性，顯示有卵螻蛄較重，沉在水面下的面積較多。而對照組的保麗龍看似輕，實際上它沉水的面積也占了  $18.75 \pm 4.27\%$ ，與有卵螻蛄無顯著性差異，顯示有卵螻蛄能浮於水面(如圖 44 作者製作)。



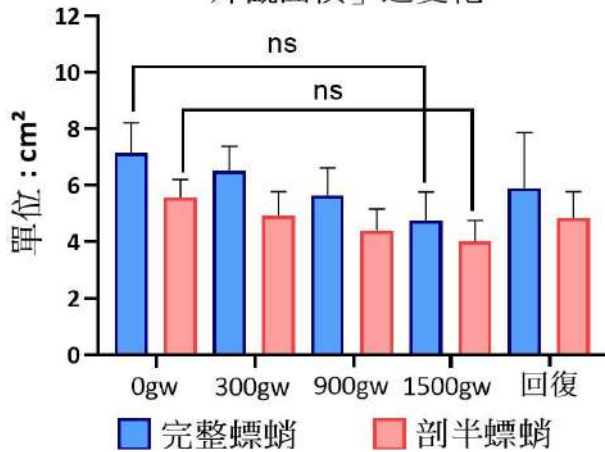
### 3. 實驗 3-1-3 蝶蛸『能承受外力擠壓』嗎？的實驗結果分析：

(1) 蝶蛸『外觀高度』的形變：完整無卵蝶蛸受外力擠壓，當施力到 1500gw 時，高度由原本  $2.62 \pm 0.20\text{cm}$  下降到  $1.55 \pm 0.09\text{cm}$ ，形變  $40.6 \pm 1.3\%$ ，受壓前、後  $p < 0.05$  具有顯著性差異，顯示蝶蛸會因受到外力而產生形變。然而當停止施力，蝶蛸高度平均會回升  $2.17 \pm 0.38\text{cm}$  的 27% 處，這與原本的高度間出現無顯著性差異，證實蝶蛸受外力施壓『雖然會形變』，但也有『恢復部分形態』的功能(如圖 45、46、A、B 皆為作者製作與拍攝)。

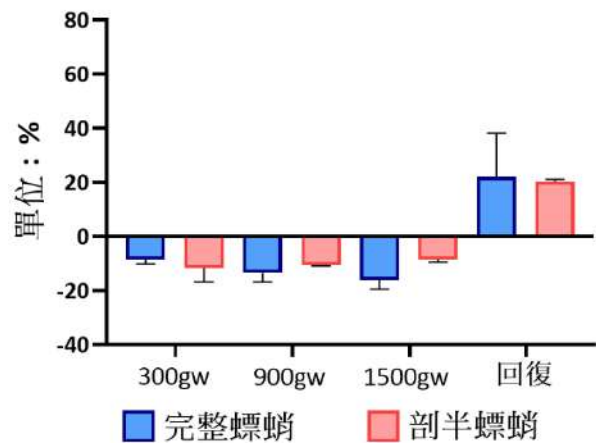


(2) 蝶蛸『外觀面積』的形變：完整的無卵蝶蛸受外力擠壓前面積為  $7.15 \pm 1.07 \text{ cm}^2$ ，當受到 1500gw 的外力後，面積變為  $4.77 \pm 1.00 \text{ cm}^2$ ，形變  $33.6 \pm 4.0\%$ ，停止施力後，蝶蛸面積回升  $22.0 \pm 16.1\%$  至  $5.89 \pm 1.98 \text{ cm}^2$ ，以上面積變化皆為無顯著性差異，顯示蝶蛸受到外力擠壓後，面積形變不大，能抵禦外力施壓而保護裡面的卵 (如圖 47、48 作者製作)。

圖(47)完整、剖半蝶蛸受外力擠壓後「外觀面積」之變化

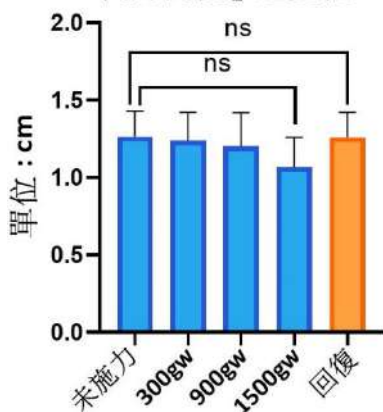


圖(48)完整、剖半蝶蛸受外力擠壓後「外觀面積增減百分比」

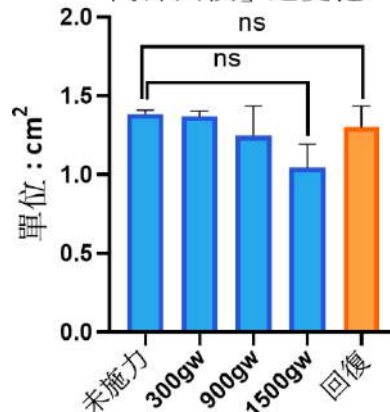


(3) 蝶蛸『內部高度與面積』的形變：蝶蛸內部受到外力擠壓前平均高度為  $1.27 \pm 0.17 \text{ cm}$ 、面積為  $1.38 \pm 0.03 \text{ cm}^2$ 。受 1500gw 力後，高度降為  $1.07 \pm 0.19 \text{ cm}$ ，形變 19.4%、面積降為  $1.04 \pm 0.15 \text{ cm}^2$ ，形變 25.3%。停止施力後，高度回升了 18.9% 至  $1.26 \pm 0.16 \text{ cm}$ ；面積則回升 17.7% 至  $1.30 \pm 0.13 \text{ cm}^2$ 。受力後高度與面積均為無顯著性差異，顯示內部能受到蝶蛸的保護，內部高度與面積形變不大，能抵禦外力擠壓 (如圖 49、50、51、A~C 皆為作者製作與拍攝)。

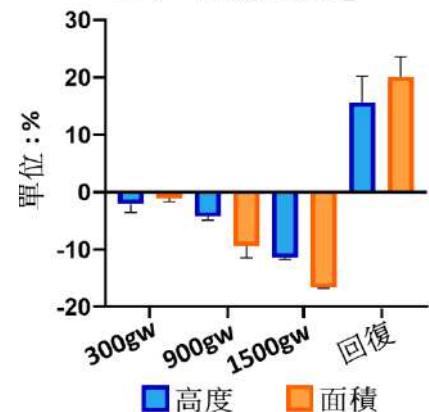
圖(49)蝶蛸受外力擠壓後「內部高度」之變化



圖(50)蝶蛸受外力擠壓後「內部面積」之變化



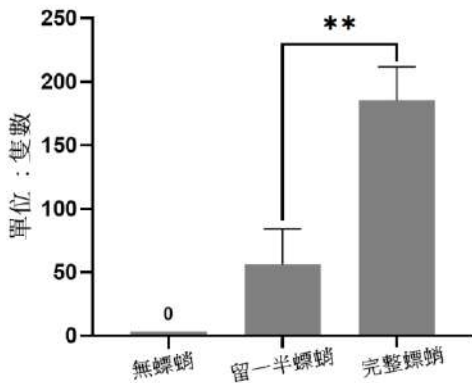
圖(51)蝶蛸「內部高度與面積」平均「增減百分比」



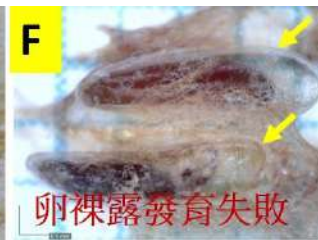
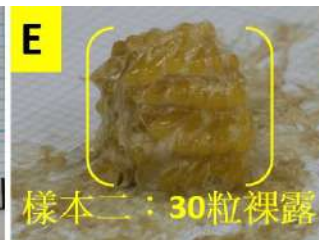
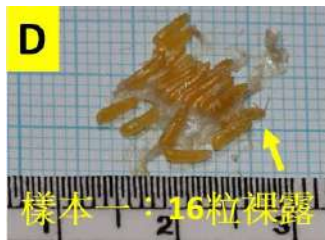
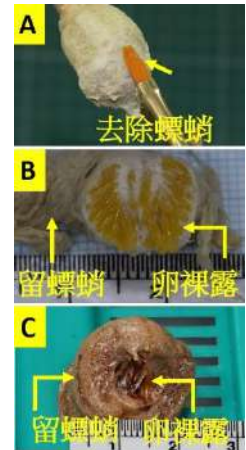
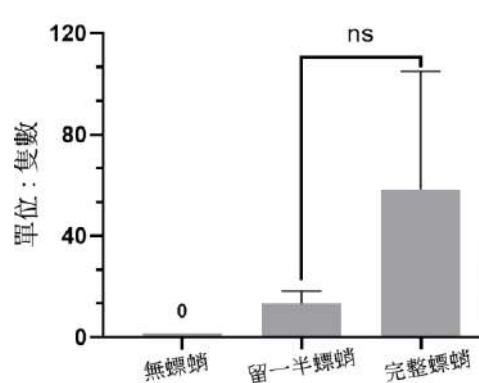
4. 實驗 3-2 『失去了外層泡沫狀的蝶蛸』，會影響卵的發育實驗結果分析：

- (1) 失去蝶蛸與卵的發育：卵若完全失去蝶蛸，即使有噴水也無法孵化為若螳。若保留一半蝶蛸且定期噴水，平均還可孵化  $56.33 \pm 27.75$  隻，和完整蝶蛸孵化的  $185.00 \pm 26.63$  隻的  $**p < 0.01$  具有極顯著性差異，顯示失去外層蝶蛸會影響卵發育(如圖 52 作者製作)。
- (2) 蝶蛸如果沒有足夠水分：完整蝶蛸與保留住一半蝶蛸樣本，在沒有充足水分下，孵化數下降到  $13.33 \pm 4.90$  與  $58.33 \pm 46.60$  隻，因此水會影響卵發育(圖 53、A~G 作者拍攝製作)。

圖(52)卵在有無蝶蛸及「有噴水」下成功孵化為若螳的數量



圖(53)卵在有無蝶蛸及「無噴水」下成功孵化為若螳的數量

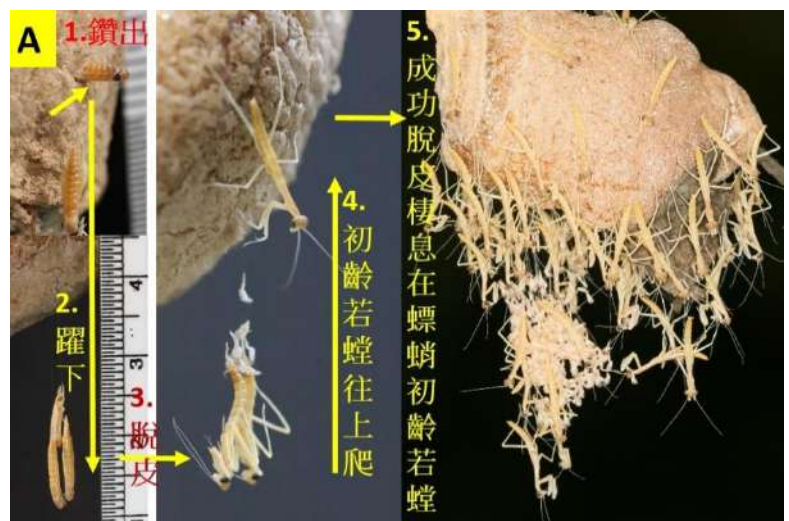
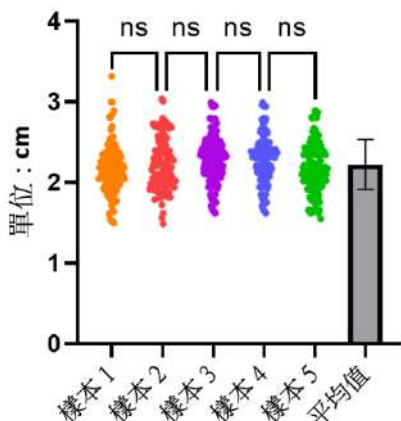


研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』實驗結果

1. 實驗 4-1-1 前若蟲脫掉皮膜成為初齡若螳』的實驗結果分析。

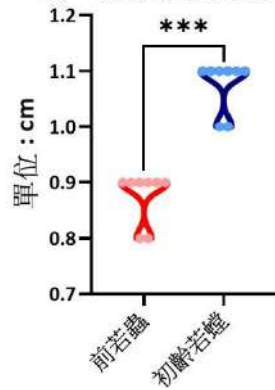
- (1) 線柄的長度：前若蟲孵化的時候，會鑽出蝶蛸並躍下到外面，這時每一隻前若蟲身上繫著一條絲線，稱為『線柄』。這些線柄的平均長度為  $2.36 \pm 0.26$ cm，將前若蟲懸吊在半空中，接著快速脫皮成為初齡若螳(如圖 54、A 作者拍攝與製作)。

圖(54)「前若蟲」鑽出蝶蛸時垂降的「線柄長度」範圍



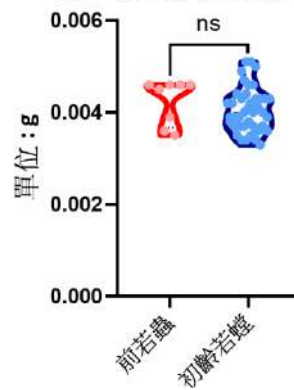
- (2) 前若蟲平均『體長』只有  $0.88 \pm 0.05 \text{cm}$ ，一但脫下皮成為初齡若蟥體長為  $1.05 \pm 0.07 \text{cm}$ ，脫皮後的體長是脫皮前 1.2 倍，兩者  $***p < 0.001$  非常顯著性差異 (如圖 55、A、B、C)。
- (3) 前若蟲脫皮前『體重』為  $0.0042 \pm 0.0005 \text{g}$ ，脫皮後的初齡若蟥體重為  $0.0040 \pm 0.0004 \text{g}$ ，兩者間重量並無顯著性差異。(如圖 56、D、E、F)。

圖(55)前若蟲與初齡若蟥的『體長』之比較



(作者拍攝與製作)

圖(56)前若蟲及初齡若蟥的『體重』之比較

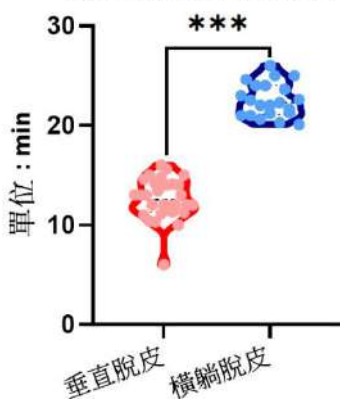


(作者拍攝與製作)

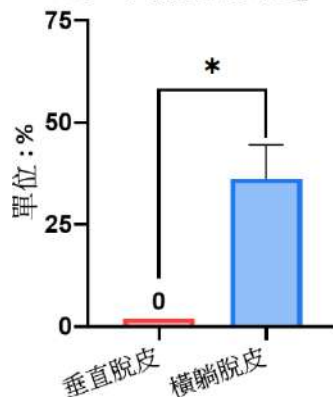
## 2. 實驗 4-2-2 前若蟲『不同脫皮姿態會影響初齡若蟥的蛻變』實驗結果與分析：

- (1) 前若蟲『脫皮時間』：前若蟲垂直跳下時，脫皮時間平均  $12.58 \pm 2.03 \text{min}$ 。橫躺脫皮則平均  $22.56 \pm 1.67 \text{min}$ ，兩者平均相差  $9.98 \text{min}$ ，兩者間  $***p < 0.001$  具有非常顯著性差異。顯示垂直脫皮的前若蟲能在較短時間內蛻變為初齡若蟥(如圖 57、A、B 作者拍攝與製作)。
- (2) 『不同脫皮姿態』：垂直脫皮皆能完成，失敗率 0%；橫躺脫皮則有  $36.27 \pm 8.25\%$  失敗率，兩者間  $*p < 0.05$  具顯著性差異，顯示垂直脫皮成功率高，能夠順利蛻變成為初齡若蟥，蛻變失敗初齡蟥腳上或腹部會沾黏前若蟲皮膜而死亡(如圖 58、C、C-1、C-2 作者拍攝)。

圖(57)前若蟲垂直與橫躺『脫皮時間』之比較



圖(58)垂直與橫躺孵化的『失敗百分比』





- (3) 『不同高度狀態』前若蟲跳下時重力位能：離地不同高度的蝶蛸，前若蟲所躍下的重力位能分別  $4.05 \times 10^{-5} \pm 2.56 \times 10^{-7} \text{ J} \sim 2.41 \times 10^{-5} \pm 2.00 \times 10^{-7} \text{ J}$ ，平均為  $3.23 \times 10^{-5} \text{ J}$ 。橫躺脫皮的重力位能只有  $2.47 \times 10^{-7} \pm 1.48 \times 10^{-7} \text{ J}$ ，不同高度重力位能\*\*\* $p < 0.001$  皆具非常顯著性差異，顯示蝶蛸所處位置愈高重力位能愈大(如圖 59、A、B、C、D、E 皆作者拍攝製作)。



### 實驗後的疑問？

上述的實驗我們看到每一隻前若蟲身上都繫著一條線柄，這條線柄的功能不僅拉住了前若蟲不會掉到地上，成功讓前若蟲順利脫皮成為初齡若螳，並沿線柄往上爬到蝶蛸上面棲息。在此我們產生的疑問是，每一條線柄有多粗？能承受多重？會不會在脫皮中途斷掉呢？

### 再次實驗，解決疑問：

**提出新假設：**前若蟲身上的絲線不容易斷掉，而且能承受比自己身體還重的重量。

**步驟 1. 『線柄』直徑有多大：**用 80X、100X、220X、560X 等多種顯微鏡倍率觀察拍照。

**步驟 2. 『超微量砝碼』的製作：**利用方格紙，在背面貼上 2.0cm 的雙面膠、另外 0.5cm 不貼雙面膠，剪出一支長 2.5cm、寬 0.1cm，重約 0.0040~0.0043g 的『超微量砝碼』。

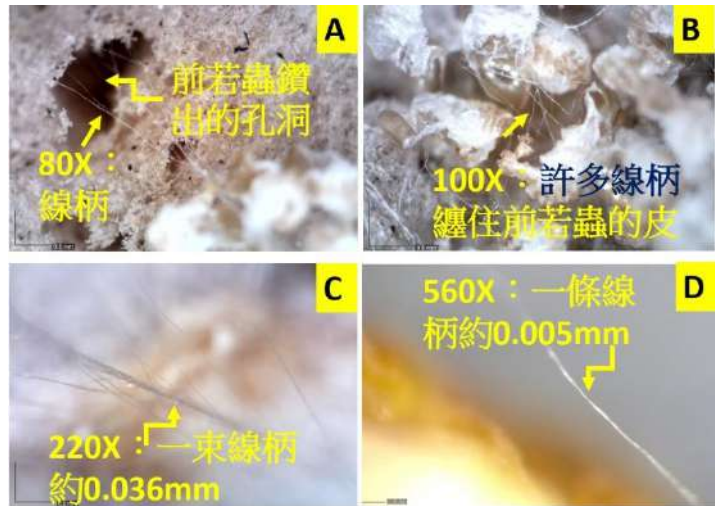
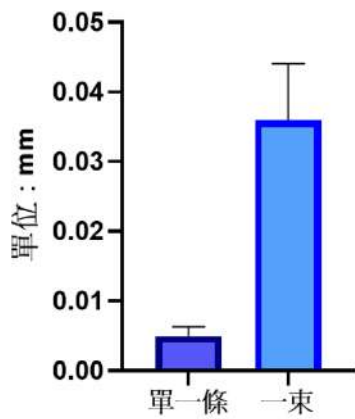
**步驟 3. 線柄的『負重』實驗方法：**

- (1) 單一線柄的最小負重：能夠承受前若蟲與初齡若螳的負重。
- (2) 單一與多條線柄的最大負重：用夾子夾 0.5cm 沒有貼雙面膠的地方，屏住呼吸，將第一個超微量砝碼黏到線柄與前若蟲所脫下來的舊殼上，接著一個個把超微量砝碼黏上去，直到線柄斷掉，最後將所有超微量砝碼拿到小數點四位的電子秤上秤重，求出線柄最大的負重與多條線柄負重，再以統計分析最小與最大負重的差異性。

### 再次實驗的結果與分析

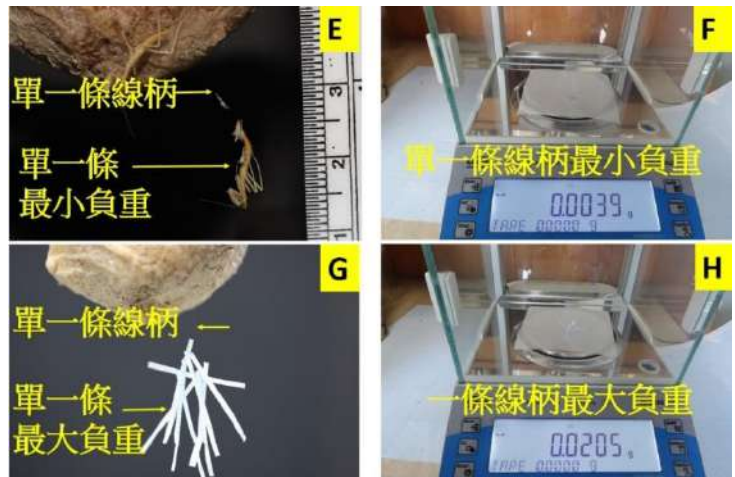
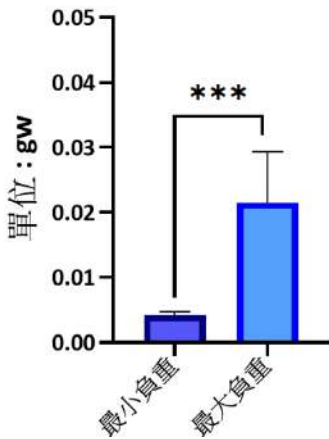
1. 『線柄』直徑的結果：單一條為  $0.005 \pm 0.001 \text{ mm}$ ，而多隻前若蟲的線柄糾纏在一起時，會形成  $0.036 \pm 0.008 \text{ mm}$  一束線柄，直徑間\*\*\* $p < 0.001$  具非常顯著性差異(圖 60、A~D 作者製作與拍攝)。
2. 單一『線柄』最小與最大負重：前若蟲線柄最小負重為  $0.0042 \pm 0.0005 \text{ gw}$ ，最大負重  $0.0215 \pm 0.0078 \text{ gw}$ ，兩者間\*\*\* $p < 0.001$  具非常顯著性差異，顯示單一線柄能承受本身重量的 5 倍，因此前若蟲不會掉到地面上(圖 61、E~H 作者製作與拍攝)。
3. 不同粗細『線柄』的最大負重：單一線柄的最大負重  $0.0215 \pm 0.0078 \text{ gw}$  與三條線柄、一束線柄的最大負重  $0.0546 \pm 0.0118 \text{ gw}$ 、 $0.5259 \pm 0.0578 \text{ gw}$ ，不同粗細線柄間\*\*\* $p < 0.001$  皆具非常顯著性差異。顯示當『線柄糾結形成一束』的時候，並提高負重，一次能乘載更多隻前若蟲與脫皮後初齡若螳的重量(圖 62、I~L 作者製作與拍攝)。

圖(60)「前若蟲」鑽出時懸吊的線柄「直徑」



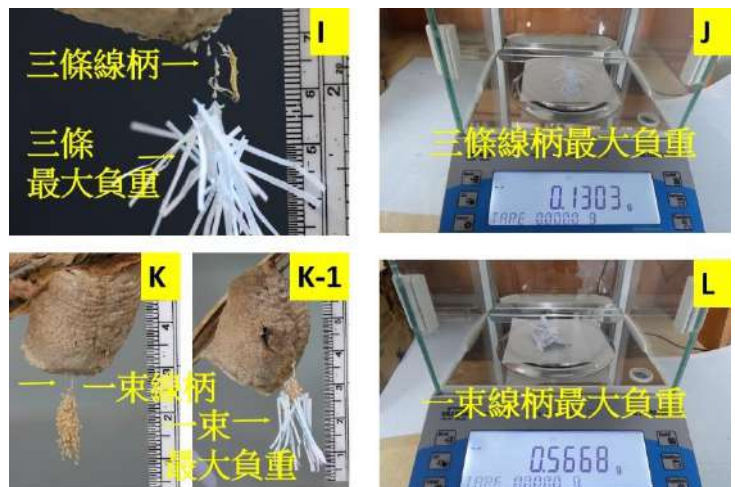
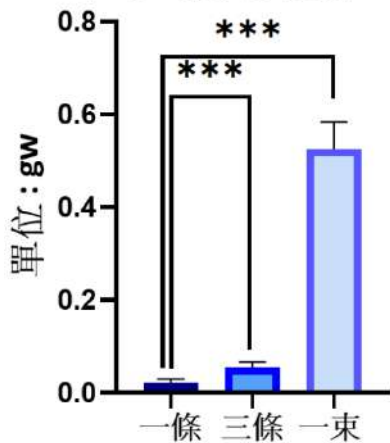
(皆為作者拍攝與製作)

圖(61)單一條「線柄」的「最小、最大」平均負重



(皆為作者拍攝與製作)

圖(62)「不同粗細」線柄的平均「最大負重」



(皆為作者拍攝與製作)

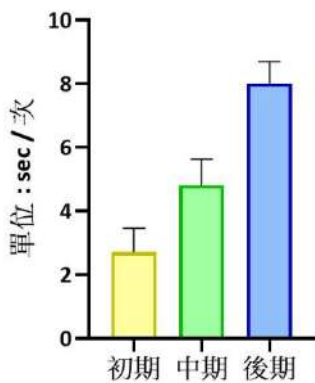
## 柒、問題與討論

### 一、關於研究一枯葉大刀螳螂「交尾的行為」問題與討論

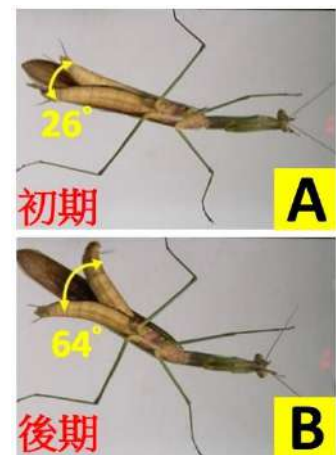
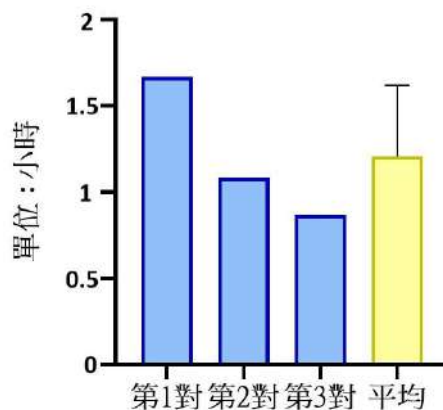
提到螳螂的交尾，網路上有各式各樣的訊息，大家所關注的幾乎都是同一件事情，就是螳螂交尾時，雌螳螂會把雄螳螂吃掉，或者是雄螳螂被吃掉頭後還能繼續交尾。所以我們在做實驗之前，也很擔心這樣的狀況會發生，因此，一開始在採集實驗用的雄性若螳時，便比雌螳螂多採集了 2 倍數量回來。實驗前我們先把雌雄螳螂餵飽，再把雌雄螳螂放入魚缸之中，我們發現當雄螳螂一見到前方的雌螳螂就很謹慎，通常停在原地不動，直視著雌螳螂的一舉一動。

雄螳螂以擺動腹部方式交尾，為何交尾成功的比例會最高呢？我們觀察到：擺尾的雄螳螂原本也是在原地停了一陣子，見雌螳螂不再移動之後，會緩慢的先小幅度左右擺動，初期，腹部擺動一次需要  $2.71 \pm 0.76s$ ，之後雖擺動的動作越來越大(圖 A、B 作者拍攝與製作)，進入中期的一次  $4.80 \pm 0.84s$ 、後期  $8.00 \pm 0.71s$ ，但其頭胸仍然不動，直視著雌螳螂。接著，一個快速的前衝，雄螳精準的抱住雌螳螂，開始進行交尾。這顯示雄螳螂要抱住雌螳螂前，腹部擺動角度越大、每次擺動的時間也越長(圖 63)，而其平均擺動時間為  $1.21 \pm 0.41hr$  (圖 64 作者製作)。

圖(63)雄螳螂對雌螳螂「不同階段」腹部「擺動時間」



圖(64)雄螳螂擺尾的平均時間



雄螳螂除了擺尾之外，也會快走飛撲、觸角觸碰去抱住雌螳螂。我們觀察到這 2 種行為的交尾率失敗較高。過程中也為雄螳螂捏了一把冷汗，因為每次衝到雌螳螂旁邊，如沒成功交尾，則被獵捕的機率很高。以下是我們記錄雌雄配對過程交尾的驚險瞬間，以及雄螳螂避免被獵捕的應對方式。



(皆為作者拍攝與製作)

## 二、關於研究二枯葉大刀螳螂『產卵的行為』的問題與討論

關於實驗 2-1 交尾過後有無受精成功，所發現精莢掉落的問題，我們去查閱關資料，其中有篇研究關於鬼艷鍬形蟲交配的實驗，發現鬼艷鍬形蟲交配後有精莢掉落，推測雄性除護雌行為降低精子競爭風險，可能還有不同雄性精子置換策略(陳，2017)。這與我們的實驗有所不同，原因是我們的實驗是一隻雄性螳螂，有多次交尾的行為，沒有進行精子的置換。

精莢掉落時，我們就開始思考這個問題。當時就注意到，雌雄螳螂配對成功之後，雌螳螂不會一直停在原地，而是攜著雄螳螂走來走去，不過為了能夠方便觀察與記錄，所以選用透明玻璃缸，也沒有放入任何東西，在這樣的環境下，雌螳螂的姿勢只能是平面或垂直，而精莢掉落時的位置，通常就是在平面的環境下。因此我們才想到，多加入一些樹枝，模擬像野生的環境，結果意外發現，接受精莢的比例增加了，再者掉落的精莢重量、面積都有變小，因此，我們認為交尾時能讓雌螳螂攀爬並提高腹部有助於接受精莢提高受精率(圖 65)。

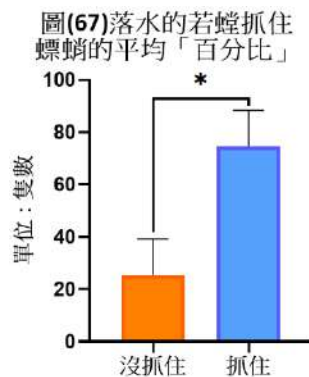
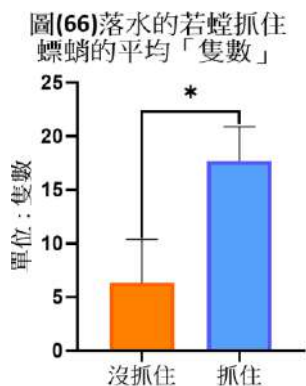
圖(65)雌螳螂「環境改變前後」  
「完全接受精莢」比例



## 三、關於研究三『蝶蛸對卵的防護』問題與討論

在進行研究三的時候，我們就不斷在思考，沉入水中與浮在水面的蝶蛸，對卵有何影響？沉入水中，我們可以預期的是，長期浸泡在水裡的卵，應該會膨脹破裂而死亡，不利卵的發育。而浮在水面上的蝶蛸直到 113 年 1 月 16 日在做實驗的時候，才意外發現，漂浮在水面上的蝶蛸，裡面的前若蟲竟然孵化了。眼前出現了幾個畫面：(1)有許多的初齡若螳浮在水面、(2)有許多初齡若螳停在蝶蛸上面、(3)有不少初齡若螳已經爬到燒杯的外面(圖 A)。

利用這個機會，我們馬上進行實驗。第一：記錄落水初齡若螳是否會游泳(n=21)，實驗重複三次、第二：有無蝶蛸初齡若螳的反應。最後得到結論，若螳不會游泳，浮在水面上的蝶蛸像游泳圈，若螳只要抓住蝶蛸，即可脫離在水中造成的死亡威脅(圖 66、67 作者製作)。



落水的初齡若螳，漂浮在水面，不會游泳。

只要爬到浮在水面上的蝶蛸、再爬到燒杯外面而獲救。

(作者拍攝)

研究總結：我們『研究的新發現』與『前人研究』之間的比較

探討的主題	前人的研究	與前人『不同的研究』與『新發現』
一、探討枯葉大刀螳螂『交尾時雄螳螂會躲避雌螳螂』的行為	無研究	<p><b>1.新發現：</b>雄螳螂交尾時，若擺動腹部方式則有63%的成功率，高於快走飛撲與觸角觸碰。</p> <p><b>2.新發現：</b>雌螳螂靜止到移動，雄螳螂的姿勢會從<math>0.91\pm 0.14\sim 0.37\pm 0.14\text{cm}</math>，壓低姿勢躲避雌螳螂。</p> <p><b>3.新發現：</b>交尾時雄螳螂會拉出約0.93cm精絲，再以<math>78.70\pm 19.87\text{cm/s}</math>的速率，跳離雌螳螂獵捕的範圍。因此不是所有雄螳螂交尾過程都會被雌螳螂獵捕，至少有21.4%的機會可以脫逃。</p>
二、探討雄螳螂『斷頭後能否還能移動與心臟持續跳動？』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>失去頭胸的雄螳螂每分鐘還可以移動<math>9.3\pm 4.4\sim 19.0\pm 7.5\text{cm}</math>，大約<math>3.24\pm 0.68\text{hr}</math>時停止移動。</p> <p><b>2.新發現：</b>斷頭後的雄螳每天的心臟收縮、舒張間有中度~高度相關，血液流速減慢，每天每分鐘心跳平均還能跳25下，直到第5天心跳停止，顯示斷頭後的雄螳螂仍然有生命跡象。</p>
三、探討雌螳螂的『產卵行為』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>環境改變前、後間，精莢掉落的重量與面積之間<math>*p &lt; 0.05</math>與<math>**p &lt; 0.01</math>的差異。</p> <p><b>2.新發現：</b>所產下的螻蛄，內部的卵只占50~55%</p> <p><b>3.新發現：</b>產卵時腹部約畫出周長9.4cm與面積<math>6.5\text{cm}^2</math>的『類心臟線』、是雌螳螂為後代留下單一出口、是前若蟲為何只從單一個方向鑽出的原因。</p>
四、探討螻蛄對卵的『防護功能』	前人在討論中提出：雌螳螂在產卵時會分泌泡沫膠質包著卵粒，等硬化之後可以提供保護(文獻三，第15頁)。	<p><b>1.不同的研究新發現：</b>螻蛄有吸收水分的功能，如遇到豪雨侵襲落入水中，螻蛄能夠浮在水面上，沉入水中的面積只占整顆螻蛄的<math>25.50\pm 4.51\%</math>。</p> <p><b>2.不同研究新發現：</b>失去螻蛄卵無法發育為若螳。</p> <p><b>3.不同的研究新發現：</b>當螻蛄受到1500gw外力擠壓時，『高度』會從2.62cm降到1.55cm，停止外力後會回復到2.17cm。『面積』會從<math>15\text{cm}^2</math>降到<math>4.77\text{cm}^2</math>，停止外力後回復到<math>5.89\text{cm}^2</math>。經過分析『擠壓後高度與面積皆與原來無顯著性差異』，顯示螻蛄能抵禦外力施壓形變，並且保護裡面的卵。</p>
五、探討『初齡若螳的孵化方式與過程』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>前若蟲鑽出螻蛄後，躍下的重力位能平均為<math>3.23\times 10^{-5}\text{J}</math>。由長2.36cm的線柄繫著懸吊在半空中，完成脫皮。</p> <p><b>2.新發現：</b>前若蟲身上線柄直徑約0.005mm除了能支撐<math>0.0042\text{gw}\sim 0.0215\text{gw}</math>的負重。另外當數十或百條線柄糾纏一起時，可承受0.525gw以上的重量，這是線柄可懸吊百隻初齡若螳重量的原因。</p>

## 捌、結論

### 研究一、探討枯葉大刀螳螂『交尾的行為』實驗結論

- (1) **雄螳螂的交尾方式**：有擺動腹部、快走飛撲、觸角觸碰三種，成功率為 63、23、31%。
- (2) **雄螳螂交尾的安全間距**：雌螳螂捕捉足與『體長』、『體寬』間距、R 值分別-0.74、0.53、0.80 都屬於高度或中度相關，顯示不管在正常或危險間距範圍，都有可能被捕食。
- (3) **雄螳螂的脫逃方式**：利用交尾器結合拉出一條長約  $0.92\pm 0.31\text{cm}$  的精絲，讓雌螳螂以為還在交尾中、再平均以  $78.70\pm 19.87\text{cm/s}$  的速率脫逃。而不同體色螳螂也會交尾。
- (4) **雄螳螂交尾姿勢**：彎曲程度達平均最大曲率 1.17，此時會緊緊勾住雌螳螂進行交尾。
- (5) **雄螳螂被斷頭後的存活**：雄螳螂被雌螳螂咬斷頭後，每分鐘至少還能移動  $9.3\pm 4.4\text{cm}$ ，心跳率與天數的 R 值分別為-0.85、-0.91、-0.90 皆屬高度相關，可推測隨時間的增加，雄螳螂心跳率會減少，每分鐘平均還能跳 25 下，直到心跳停止前，平均還能存活 5 天左右。

### 研究二、探討枯葉大刀螳螂『產卵的行為』實驗結論

- (1) **受精率的提高**：掉落到體外的精莢重量介於  $0.0094\sim 0.0156\text{g}$ ；面積在  $0.098\sim 0.199\text{cm}^2$  之間，改變環境後，精莢雖然仍會有掉落的情形，但平均重量減少了  $0.0063\text{g}$ ，面積也相差  $0.0732\text{cm}^2$ ，可見，改變環境有利於雌螳接收精莢、提高受精率。
- (2) **產卵天數與蝶蛹內卵的範圍**：當降溫提高溼度有交尾從 16.38 天縮為 11.00 天。不管野生或人工產蝶蛹，內部卵的比例佔整個蝶蛹的  $50.00\pm 4.13\%\sim 55.62\pm 10.23\%$ 。
- (3) **產卵行為**：雌螳螂腹部擺動直徑  $1.83\pm 0.35\text{cm}\sim 2.52\pm 0.12\text{cm}$ 。藉腹部擺動畫出『類心臟線』蝶蛹，其直徑為  $2.34\pm 0.12\text{cm}$ ，周長為  $9.425\pm 0.690\text{cm}$ ，面積為  $6.571\pm 0.918\text{cm}^2$ 。雌螳螂做『類心臟線』的目的原來是在為後代留下單一方向的出口，以利前若蟲由此處鑽出。

### 研究三、探討『蝶蛹對卵的防護』實驗結論

- (1) **蝶蛹會吸水**：從水珠滴在蝶蛹表面起，蝶蛹六小時可吸收  $0.0602\pm 0.0009\text{g}$ 、49% 的水分，與不吸收水分的防水片之間  $*p < 0.05$  具顯著差異性。第二、蝶蛹泡水一夜後吸收了  $0.21\pm 0.05\text{g}$  的水分、蒸散  $0.13\pm 0.03\text{g}$  的水，所以蝶蛹具吸水功能。
- (2) **蝶蛹會浮於水面**：有卵蝶蛹浮力為  $1.77\pm 0.30\text{gw}$ ，保麗龍為  $1.59\pm 0.12\text{gw}$ ，兩者間無顯著差異。蝶蛹在水面沉入水中的部分面積為  $2.21\pm 0.71\text{cm}^2$ ，只占整顆蝶蛹的  $25.50\pm 4.51\%$ ，
- (3) **失去外層泡沫狀蝶蛹、失去水，會影響卵的發育**：卵若完全失去蝶蛹，即使有噴水，也無法孵化為若螳。若保留一半蝶蛹且定期噴水，沒有裸露的部分、平均可以孵化  $56.33\pm 27.75$  隻，但仍和完整蝶蛹孵化的  $185.00\pm 26.63$  隻的  $**p < 0.01$  具有極顯著差異性，可見失去了外層泡沫狀的蝶蛹，會影響卵的發育。
- (4) **蝶蛹能承受外力**：完整無卵蝶蛹在受  $1500\text{gw}$  的外力擠壓後，蝶蛹會形變 40.6%，受壓前、後  $*p < 0.05$  具有顯著性差異，顯示蝶蛹會受到外力而形變，但是當停止施力後，蝶蛹高度會回升 27%，所回升的高度與面積皆與原來無顯著性差異 因此證實蝶蛹受到外力施壓後，雖然會形變但也能恢復，具有保護卵的功能。

### 研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』實驗結論

- (1) **前若蟲孵化方式**：鑽出並躍下到蝶蛹外面，身上繫著一條平均  $2.36\pm 0.26\text{cm}$  的『線柄』。
- (2) **垂直脫皮時間**：垂直脫皮的時間平均花費  $12.58\pm 2.03\text{min}$ 。橫躺脫皮則平均需花費  $22.56\pm 1.67\text{min}$ ，兩者平均相差  $9.98\text{min}$ ， $***p < 0.001$  具有非常顯著性差異，顯示垂直孵化縮

短了脫皮時間。原来越早成為初齡若螳，便越快能行走、移動與躲避天敵。

- (3) **脫皮前後體長差異**：前若蟲平均體長只有  $0.88\pm 0.05\text{cm}$ ，一但脫皮成為初齡若螳後，體長變為  $1.05\pm 0.07\text{cm}$ ，脫皮後約為脫皮前的 1.2 倍，兩者  $***p < 0.001$  非常顯著性差異。
- (4) **前若蟲跳下時的重力位能**：前若蟲躍下的平均重力位能  $3.23 \times 10^{-5}\text{J}$ ，不同高度重力位能皆具有非常顯著性差異，顯示螳螂所處位置愈高、位能愈大、脫皮越能成功。
- (5) **線柄的大小與功能**：單一直徑  $0.005\text{mm}$ 、最大負重  $0.0215\text{gw}$ ，顯示單一線柄能承受前若蟲本身重量的 5 倍。一束線柄最大負重為  $0.5259\pm 0.0578\text{gw}$ ，因此一束線柄可承受數十甚至百隻若螳的重量，這就是為什麼當百隻前若蟲躍下後還能懸吊在半空中脫皮蛻變成初齡若螳，線柄不會中途斷掉的原因。

## 玖、參考資料及其他

- 一、李季篤(2018)·螳螂飼養與觀察·臺北市：晨星出版社。
- 二、全茂永(2022)·卡社布農語隱喻·南投縣政府原住民族行政局。
- 三、陳澤豪(2008)·“螂”來了一螳螂的型態比較與行為探索·中華民國第 48 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、柴又寧(2010)·環保寵物~祈禱蟲螳螂篇·中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、林偉爵(2017)·寬腹斧螳雌蟲營養狀態與雄蟲被偵測與否對於性食行為的影響·國立台灣大學碩士論文。
- 六、陳亮瑜(2017)·鬼豔鍬形蟲護雌行為及生殖策略之探討·中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 七、倪克齊(2020)·精雕花刃的草叢獵人--棕汗斑螳螂·中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 八、游力行(2022)·「光」晃「螳」皇—探究光週期對螳螂生理及行為的影響·新竹市第 40 屆國民中小學科學展覽會作品說明書。
- 九、趙云彤(2022)·螳螂捕食行為之生物力學初步探討·中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 十、趙文敏·心臟線 [https://episte.math.ntu.edu.tw/articles/sm/sm\\_21\\_05\\_1/index.html](https://episte.math.ntu.edu.tw/articles/sm/sm_21_05_1/index.html)
- 十一、蔡淑媛(2019 年 7 月 13 日)·目擊交配殺機!母螳螂一邊交配一邊吃掉公螳螂頭和胸·自由時報·取自 <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/2851864>
- 十二、為什麼雌螳螂交配後，一定要啃掉伴侶的頭(2019 年 9 月 25 日)·取自 <https://www.storm.mg/lifestyle/1716778>
- 十三、邱名鍾(2021 年 2 月 25 日)·螳螂為什麼弑夫? 誤導科學家一個世紀的問題·取自 <https://hackmd.io/@Ming-Chung-CHIU/HkiDwStC7>

## 拾、待研究的問題

此次的研究主要是針對枯葉大刀螳螂的生殖行為過程進行探討，過程中關於螳螂的防護，其中我們認為寄生性的天敵對螳螂的影響是值得去研究的內容。還有枯葉大刀螳螂成長的環境也同樣有著濃厚的興趣，期待接下來能朝向環境變化與螳螂天敵生存的關係進行研究。

## 【評語】 030312

本研究探討枯葉大刀螳螂的生殖行為，研究其交尾、產卵、對卵防護及孵化過程，揭示了雌螳螂在交尾後對雄螳螂的獵捕行為及蝶蛸對卵的保護機制。對了解此物種的生殖生態有科學意義。敘述枯葉大刀螳螂在交尾過程中的防捕行為、產卵及蝶蛸對卵的防護機制，此研究結果加強昆蟲生殖生態學的理论基礎，對昆蟲保護及生物控制有實際應用價值。研究使用野外觀察和實驗室實驗等不同實驗方法，實驗數值資訊紀錄清楚，組間顯著性統計分析可驗證結果的顯著性。

1. 本研究探討枯葉大刀螳螂的生殖行為。樣品的採樣紀錄完整，值得鼓勵。實驗設計完整，觀察仔細，不過建議圖表應加註每組實驗數據來自幾組螳螂交配的結果，圖說說明可再加強，例如顯著性分析部分應標示。
2. 觀察到螳螂交尾行為、產卵、孵化的生殖行為研究，其中有一項討論為「有沒有機會脫逃—雄螳螂怕被雌螳螂獵捕」，是一個很有趣的觀測。但為何捕捉足與「正常體寬」間距 R 值為 0.15 屬於低度相關，顯示雄螳螂在此間距下比較不容易被雌螳螂的捕捉足



抓到。審查者好奇為何會與體寬有關？是因為捕捉足移動機制或是其他原因呢？

3. 討論斷頭後的公螳螂是否還活著的議題，發現雄螳螂被雌螳螂咬斷失去頭後，心跳平均到第 5 天停止跳動，血液流速逐漸減慢且平均在第 6 天停止流動。在此觀察之下，該如何定義存活或死亡？
4. 討論部分為實驗結果的延伸說明，缺乏與其他相關研究的比較。建議引用更多相關文獻。

實驗組與對照組設計合理，涵蓋多種變量（如不同體色、交尾與否、溫濕度變化），但仍可再加強二者間的對比。

研究未來發展方向：

1. 螳螂之生殖行為研究在基礎資料之收集具重要性，但如能加入環境變遷之影響將更具保育重要性。
2. 雄螳螂脫逃成功後，母螳螂少吃一餐，會不會影響產卵數量及孵化效率？這也是一個未來可以探討的有趣議題。

## 作品簡報

# kalus-nibu' 的生殖行為—

探討枯葉大刀螳螂交尾、產卵、

孵化的生殖行為研究



## 摘要

本研究探討枯葉大刀螳螂(*Tenodera aridifolia*)生殖行為，研究一交尾行為結果：過程中雄螳螂會以  $78 \pm 19.8 \text{ cm/s}$  的速率逃離雌螳螂的獵捕，如被雌螳螂咬斷頭胸，可再活 5 天。研究二產卵結果：雌螳螂腹部擺動幅度  $2.5 \pm 0.1 \text{ cm}$  做類心臟線蠕動，為後代預留一道  $0.744 \text{ cm}$  出口。研究三蝶蛹對卵防護結果： $0.12 \text{ g}$  水在防水片全蒸散後，蝶蛹內仍有  $0.06 \text{ g}$ ，受外力擠壓後可回復  $2/3$  形態。研究四孵化結果：前若蟲跳出蝶蛹，平均重力位能  $3.23 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，以  $0.005 \text{ mm}$  線柄吊在空中、可承受  $0.02 \text{ gw}$ 、需  $12 \text{ min}$  脫皮成為初齡若螳，以上完成交尾、產卵、對卵防護、孵化生殖行為之研究。

## 壹、研究動機

布農族語課中，講到命名昆蟲的單元，當時大家只覺有趣，尤其聽到 *Kalus-nibu* 的詞面義是『抓+陰囊』之意思時，大家互看愣了一下，老師接著說，很久以前布農族還未穿衣服時，有隻螳螂用牠的雙爪抓了男生的陰囊，所以族人就以『抓陰囊來隱喻螳螂』(全, 2022)，這時教室內傳出了哄堂的大笑聲。

聽了老師解說，我們覺得布農族人對於『螳螂』的形容太有趣了，於是上網找資料，可惜並沒有找到相關研究，不過關於雌螳螂吃掉雄螳螂的報導卻有不少。我們認為螳螂雖看似兇猛，但不大可能抓男生的陰囊。佩服布農族人對生物的想像力之餘，我們也對螳螂產生了許多好奇，例如：雌雄螳螂交尾、產卵方式，以及蝶蛹的功能等生殖行為，希望透過這次研究更進一步了解螳螂的生存。

## 貳、研究目的

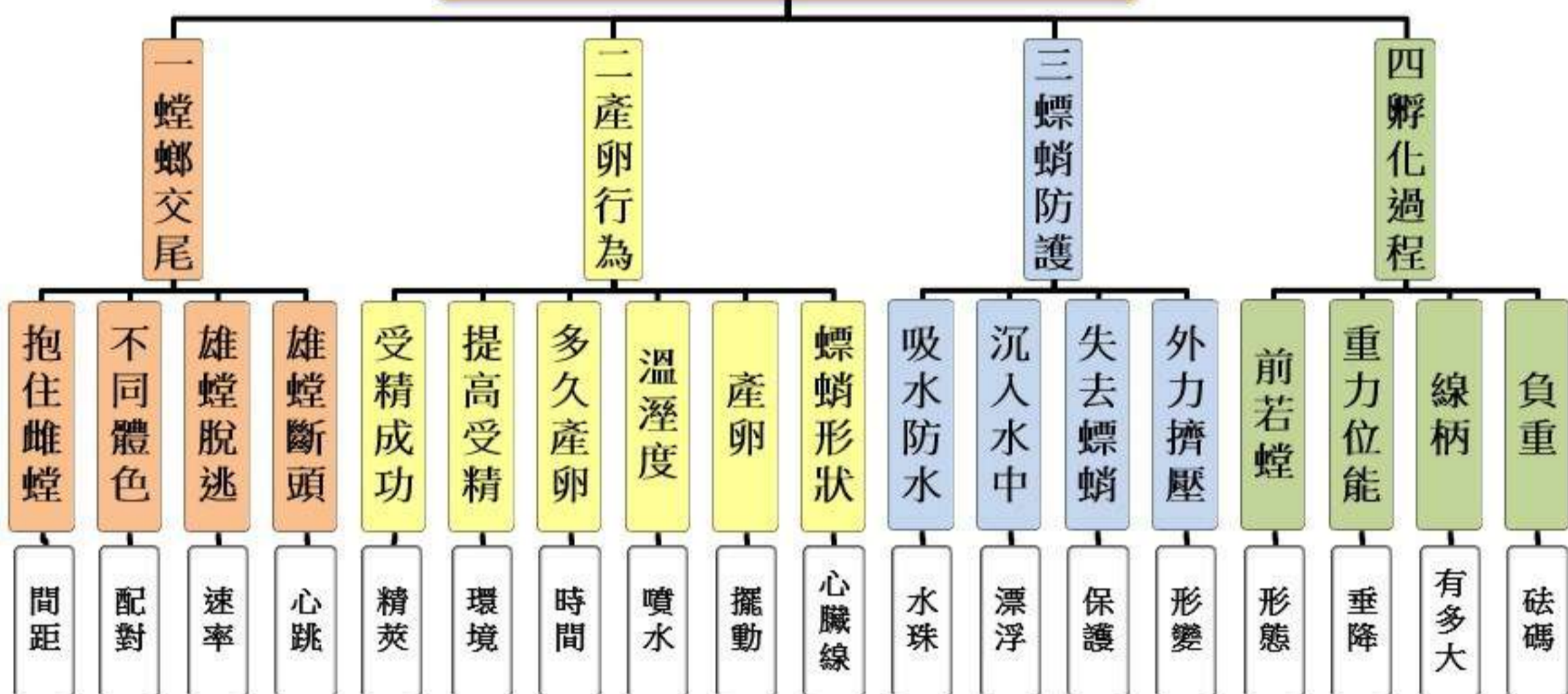
- 一、研究枯葉大刀螳螂『交尾的行為』
- 二、研究枯葉大刀螳螂『產卵的行為』
- 三、研究『蝶蛹對卵的防護』
- 四、研究『初齡若螳孵化的過程』

## 參、研究設備及器材

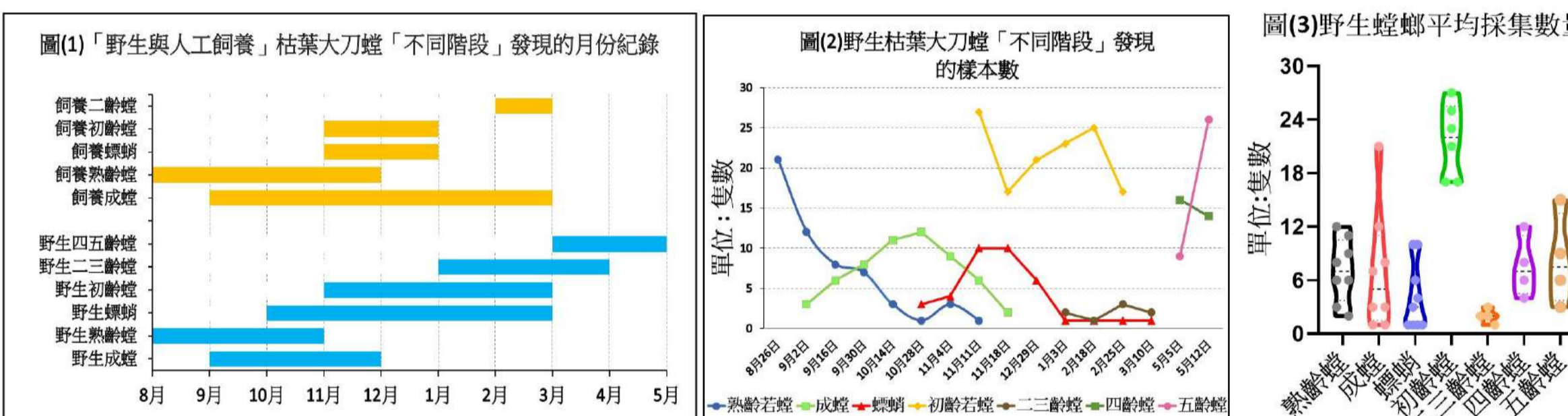
1. MS Pipette、滴管、培養皿、燒杯；
2. 電子天秤、攝影機、顯微鏡
3. 量角器、壓力計、手機、碼表、直尺；
4. 魚缸、飼養箱、 $\text{CO}_2$  鋼瓶、捕蟲網、毛筆刷；
5. 方格紙、超微量砝碼；
6. 筆電、Prism 軟體、GeoGebra 軟體、Image J 軟體、Tracker 軟體

## 肆、研究方法

### Kalus-nibu 的生殖行為



### 研究一、探討枯葉大刀螳螂『交尾的行為』



(二) 提出疑問：雄螳螂跳到雌螳螂背部不怕被吃掉嗎？不同體色的螳螂會交尾嗎？牠們交尾的時間要多久呢？

(三) 動手實驗：

實驗 1-1 假設一、雄螳螂不會貿然跳到雌螳螂背部。

1. 雄螳螂跳到雌螳螂背的方式：每樣本重複三次，成功者就不再繼續 (n=21, 雌 9 隻、雄 12 隻)。

2. 雄螳螂如何防止被雌螳螂獵捕：測量雌螳靜止與移動時體長體寬間距。找出雌螳獵捕範圍與安全、危險間距關聯(n=21)。

3. 雄螳螂有機會會逃脫嗎？雄螳螂交尾、脫逃方式與脫逃後離雌螳螂距離。

實驗 1-2 假設二、不同體色螳螂也會交尾，交尾時間在數小時以上。

1. 不同體色螳螂會不會交尾？記錄不同體色螳螂交尾情形及時間，再以曲率=1/r 算雄螳螂交尾腹部彎曲程度(n=24, 雌 8、雄 16)。

### 研究二、探討枯葉大刀螳螂『產卵的行為』



(一) 觀察後的疑問：受精過的雌螳才會產卵嗎？雌螳會如何產卵？

(二) 動手實驗：

實驗 2-1 假設一、產卵前雌雄螳會先交尾再受精。

1. 實驗方法以雌螳接受雄螳精莖狀況作為受精成功與否依據。

2. 根據步驟 1 的結果發現部分精莖掉落到雌螳體外，推測可能與

交配時『環境或外界干擾』有關，所以改變交尾環境再實驗。

3. 改變環境魚缸中放樹枝讓交尾的雌螳可攀爬，記錄受精情形。

實驗 2-2 假設二、『沒有交尾』的雌螳也會產卵

1. 實驗方法若無交尾雌螳會產卵，比較有無交尾的雌螳產卵天數。

2. 依上述實驗結果推測交尾天數可能與溫溼度有關。改變溫溼度再進行實驗。

3. 改變溫溼度在實驗實驗組溫度  $24^\circ\text{C}$ ，溼度維持  $70\sim 85\%$ 。對照組溫度  $27^\circ\text{C}$ 、溼度  $55\sim 65\%$ 。比較有無交尾產卵天數(n=10)。

實驗 2-3 假設三、雌螳藉腹部擺動繞圓方式產下大小不一的蝶蛹

1. 腹部擺動與蝶蛹大小的關聯以游標尺測蝶蛹最小與最大直徑，再推測雌螳腹部擺動直徑是否與蝶蛹大小有關(n=15)。

2. 不同大小的蝶蛹內『都是卵』嗎？實驗方法：

(1) 根據後代鑽出蝶蛹所留下的孔洞，測卵的分布範圍(n=15)。

(2) 切開空蝶蛹測量卵分布，比較不同環境重量是否有差異(n=15)。

### 研究三、探討蝶蛹『對卵的防護』



(一) 觀察與疑問：蝶蛹對卵的好處是提供了一個安全的場所。蝶蛹有什麼功能？若沒有蝶蛹，卵會受影響嗎？

(二) 動手實驗：

實驗 3-1 假設一、蝶蛹有保護卵的功能

1. 蝶蛹『會吸水』、還是『能防水』

(1) 實驗方法：分別在表面滴  $0.1 \text{ ml}$  水珠，計算滴水前後蝶蛹、吸水海綿與防水片每小時重量變化。實驗重複三次(n=10)。

(2) 如果水不會滲入蝶蛹，則防水片蒸散量 = 蝶蛹蒸散量。若水會滲入蝶蛹，水滲入蝶蛹量 = 防水片水蒸散量 - 蝶蛹水蒸散量。

2. 蝶蛹會因吸水而沉入水中嗎？把有無卵蝶蛹及保麗龍放入有水燒杯，靜置一夜後算重量、浮力和沉水面積。實驗重複三次(n=10)。

3. 蝶蛹受外力的擠壓：使用壓力計分別對實驗組與對照組施  $300 \text{ gw}$ 、 $900 \text{ gw}$ 、 $1500 \text{ gw}$  三種力，用尺算受壓前、後『外觀』與『內部』蝶蛹形變的高度，拍照後再計算形變面積。

實驗 3-2 假設二、『失去了外層泡沫狀的蝶蛹』，會影響卵發育

實驗組 1：雌螳正在產卵時，用毛筆刷去除全部蝶蛹，只留下卵粒，成無蝶蛹狀態。

實驗組 2：留下一半蝶蛹、使半面卵粒裸露。

對照組：完整有卵蝶蛹。以上三種狀態分別給予噴水與不噴水的方式，記錄卵是否發育為初齡若螳(n=10)。

### 研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』



(一) 觀察與疑問：我們發現『前若蟲』已有小螳螂模樣，只是身上還披著一層薄的皮膜，亦在顯微鏡下觀察到其他兩種型態。前若蟲脫皮前、後有何變化？何種因素影響脫皮？

(二) 動手實驗：

實驗 4-1 假設一、『前若蟲脫皮前後體長、體重有變化』。

實驗方法：測量前若蟲的線柄長度與脫皮前後體長、體重變化。

實驗 4-2 假設二、前若蟲『不同脫皮姿態會影響初齡若螳的蛻變』

1. 設計實驗組：『垂降脫皮』、對照組：『橫躺脫皮』：記錄不同姿勢脫皮的時間與失敗率。

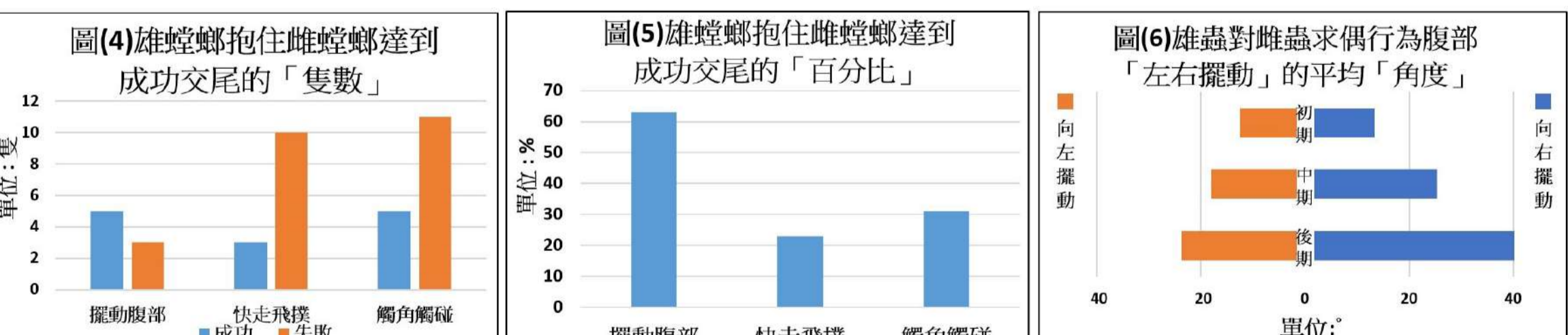
2. 再求『不同高度時』，前若蟲所跳出蝶蛹的『重力位能』：以野生蝶蛹產下的高度設計實驗組，對照組則貼在地上(n=8)。求前若蟲對地面的重力位能的大小。

## 伍、研究結果

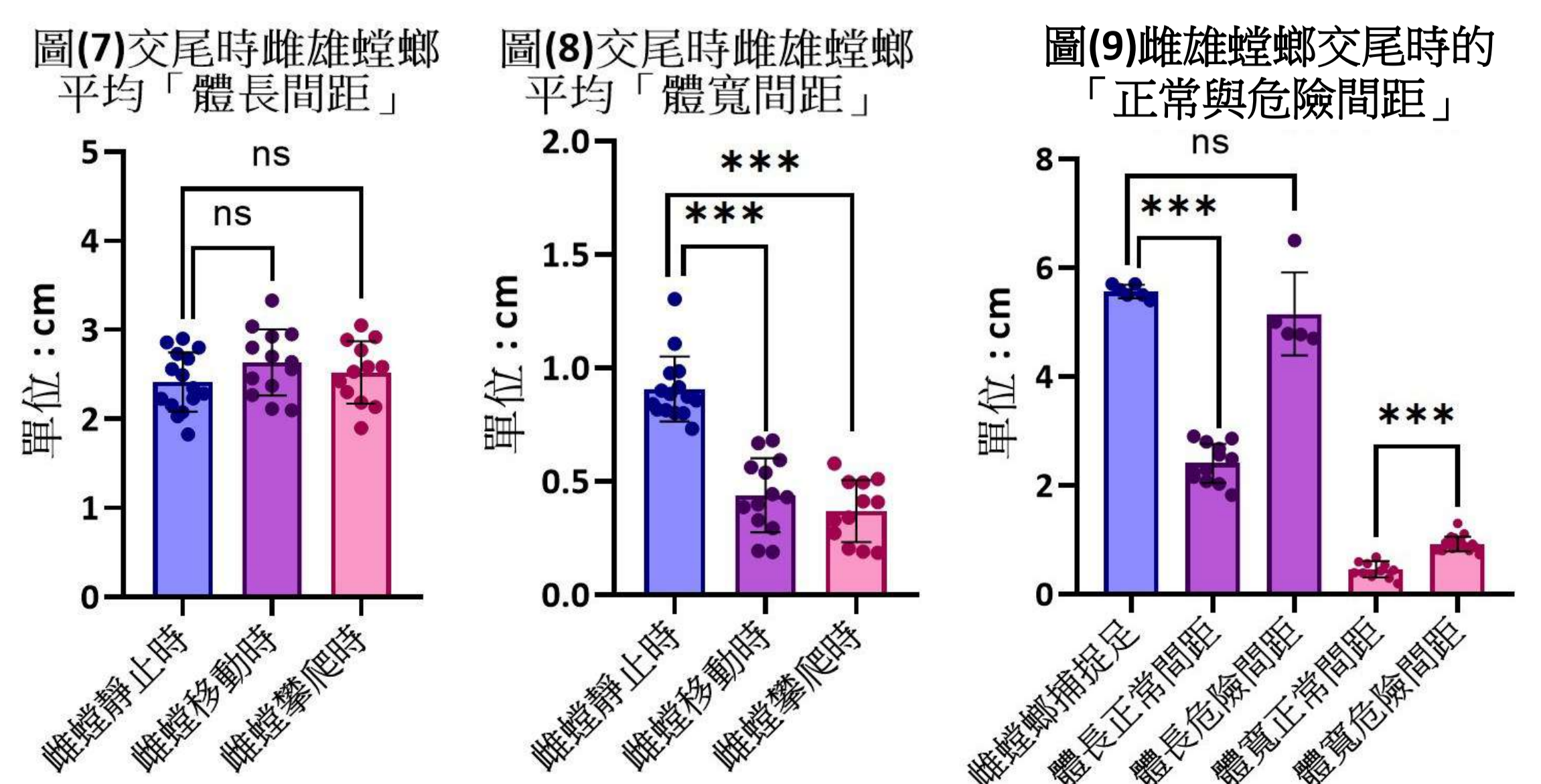
研究一、探討枯葉大刀螳螂的『交尾行為』之實驗結果

實驗 1-1 雄螳螂跳到雌螳螂背部方式的實驗結果分析：

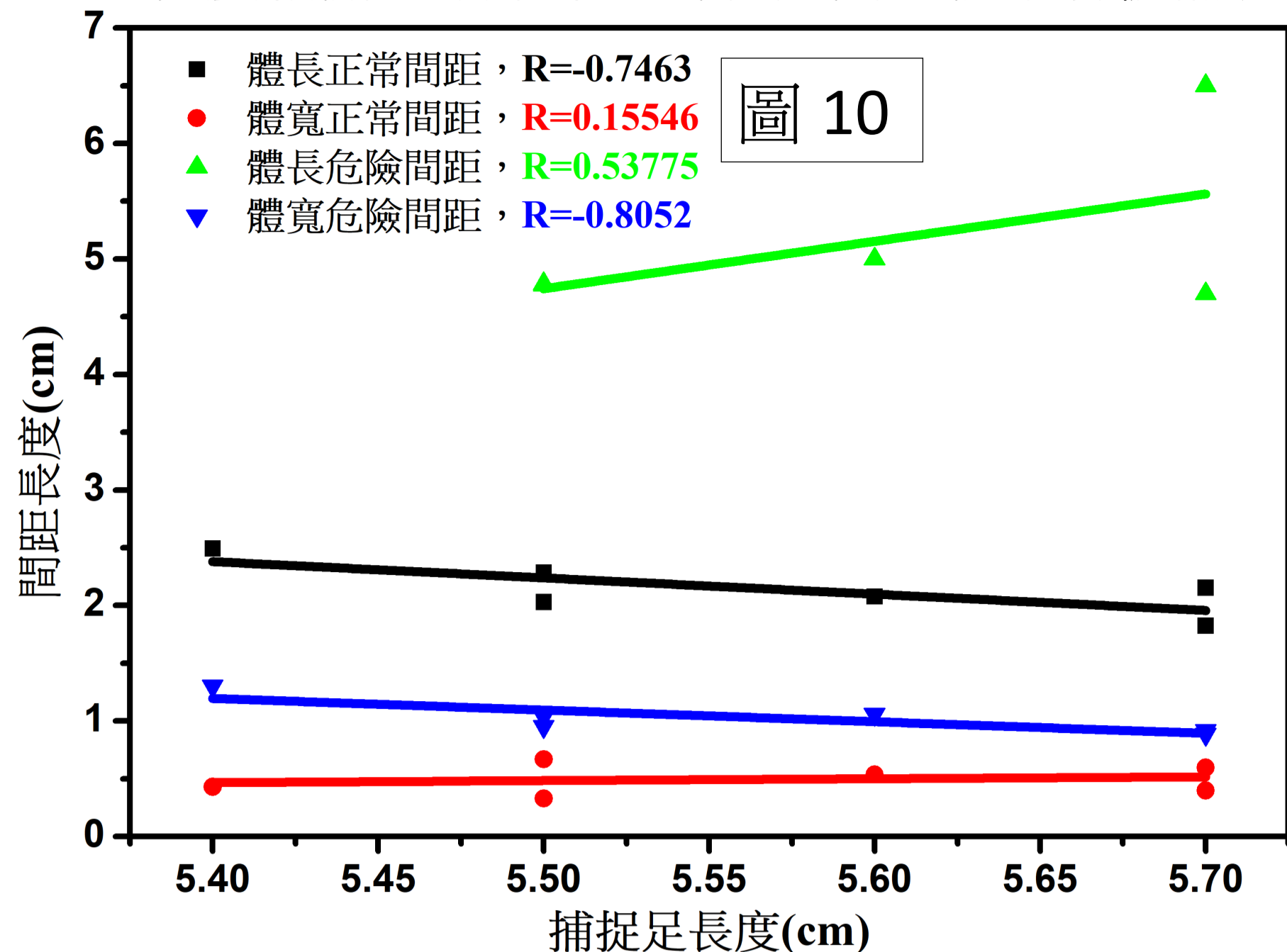
1-1-1 雄螳螂跳上雌螳螂背部：雄螳螂跳上雌螳螂背部時，擺動腹部成功率 63%，快走飛撲 23%，觸角觸碰 31%(圖 4~6)。



1-1-2 雌雄螳螂間距：雌螳靜止與移動時體長間距無顯著差異。雌螳移動時雄螳會壓低姿勢使體寬間距\*\*\*  $p < 0.001$  具非常顯著差異。體長間距接近雌螳捕捉足長度屬危險間距(圖 7~9)。

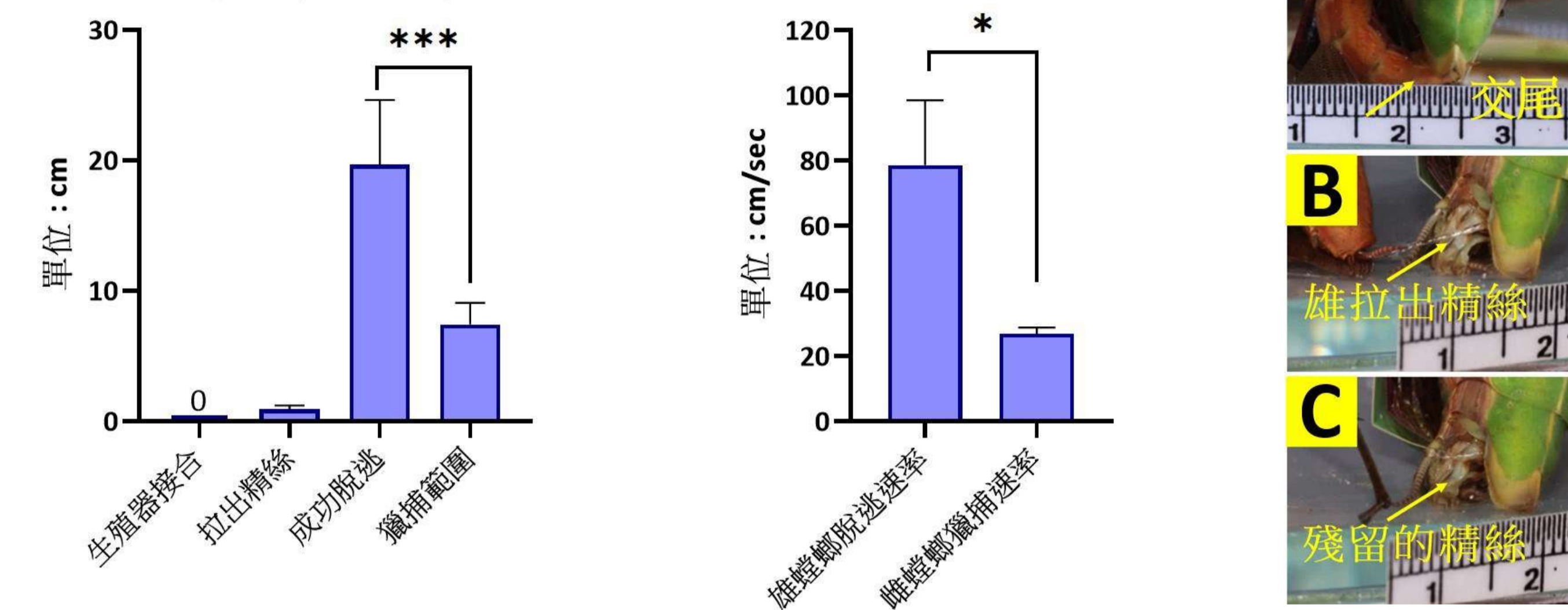


**1-1-2 (2)雄螳螂『如何防止被雌螳螂獵捕』的實驗結果分析：**雌螳螂捕捉足長度與體長間距 R 值為-0.74、0.53 屬高、中度相關，顯示兩者在正常或危險間距都可能被捕食；捕捉足與體寬正常間距 R 值為 0.15，屬於低度相關，顯示雄螳螂在此間距較不易被捕食(圖 10、A1~3)。



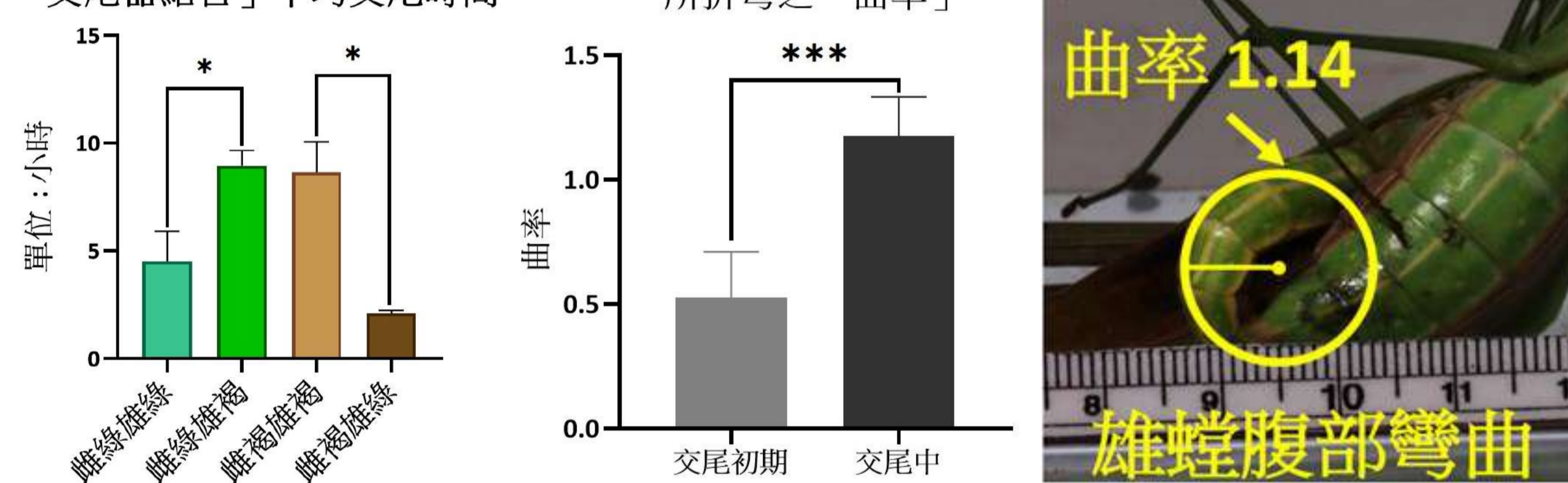
**1-1-3 雄螳螂脫逃的方式：**利用交尾器結合時拉出一條 0.92±0.31cm 的精絲，讓雌螳螂以為還在交尾中，再以 78.70±19.87cm/s 的速率逃開 19.67±4.97 cm 的距離，證實交尾時雄螳螂可以成功脫逃(圖 11~13、A~C)。

圖(13)雄螳螂完成交尾後成功「脫逃」圖(14)雄螳螂完成交尾後「脫逃速率」與雌螳螂「獵捕速率」的比較



**實驗 1-2 雌雄螳螂『不同體色交尾』與『交尾的姿態』的實驗結果分析：**雄螳交尾初期，腹部彎曲曲率為 0.53±0.18，嘗試觸碰雌螳腹部。雄螳腹部彎曲程度可達平均曲率 1.17±0.16，緊緊勾住雌螳進行交尾(圖 17、18、B)。

圖(17)「不同體色」的雌雄螳螂「交尾器結合」平均交尾時間 圖(18)雄螳交尾時腹部所折彎之「曲率」

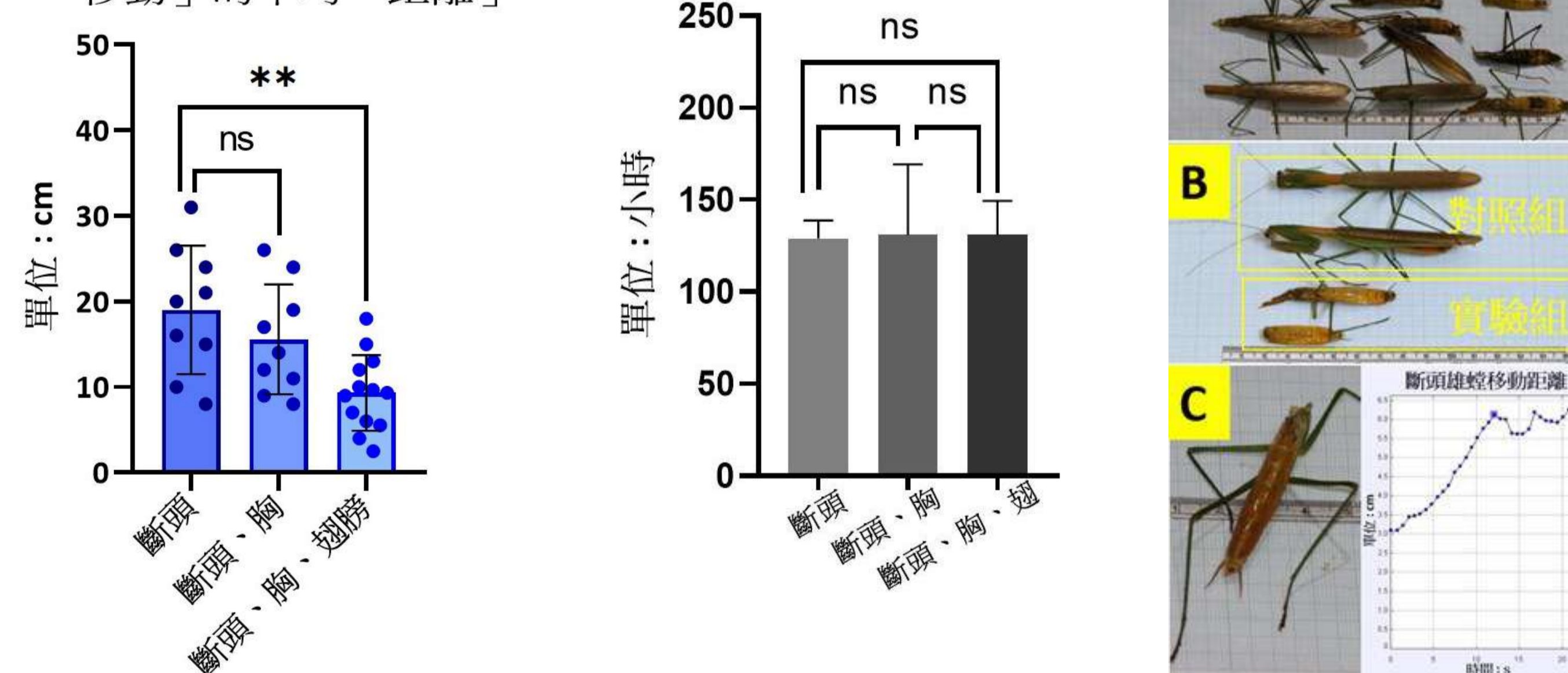


**實驗過後產生的疑問**

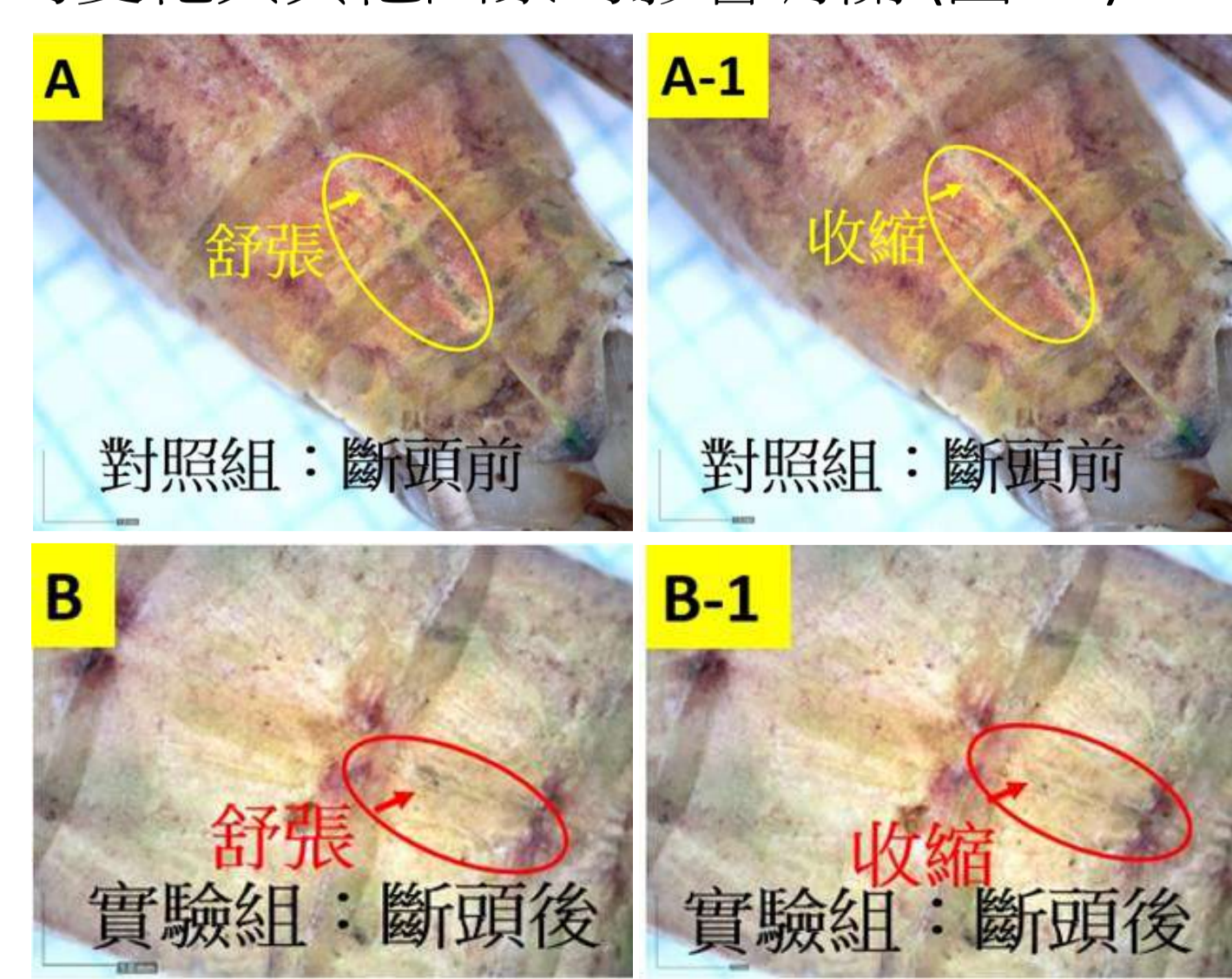
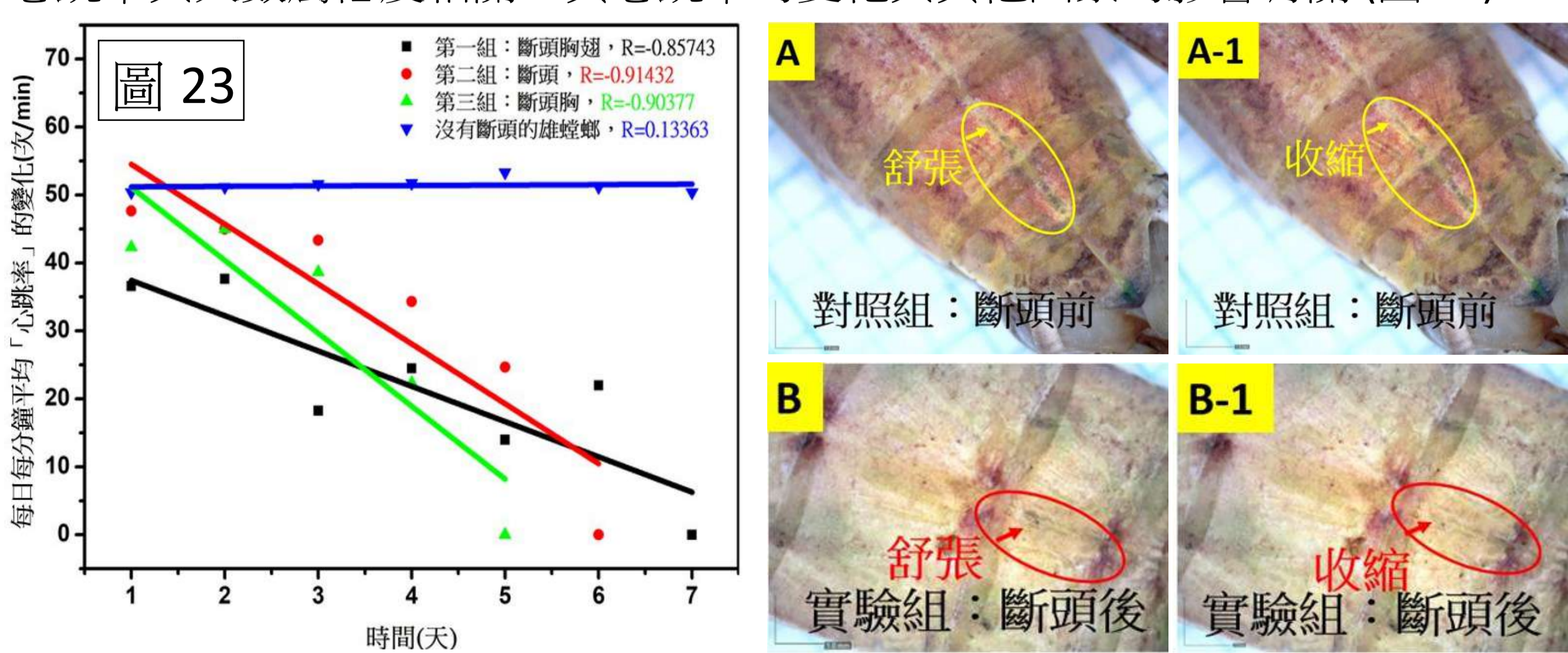
**提出疑問：**被雌螳螂咬斷頭後的雄螳螂仍然活著嗎？能夠存活多久呢？  
**提出新假設：**1. 假設雄螳螂被咬斷頭後，『身體還能移動』，所以還活著。  
2. 假設雄螳螂被咬斷頭後，『心臟還能跳動』，所以還活著。

**1.斷頭雄螳螂身體還能移動：**斷頭頭與斷頭胸翅雄螳螂每分鐘可爬行 9.3~19.0 cm，2.2~3.2hr 後停止移動，5 天後死亡(圖 19、22、A~C)。

圖(19)斷頭雄螳螂身體每分鐘「移動」的平均「距離」 圖(22)雄螳斷頭後「存活時間」



**2.斷頭雄螳螂心臟還在跳動：**斷頭胸翅、斷頭、斷頭胸翅雄螳心跳率會隨時間減少，與天數的 R 值分別為-0.85、-0.91、-0.90，皆屬高度相關；而未斷頭雄螳心跳率與天數屬低度相關，其心跳率的變化與其他因素的影響有關(圖 23)。

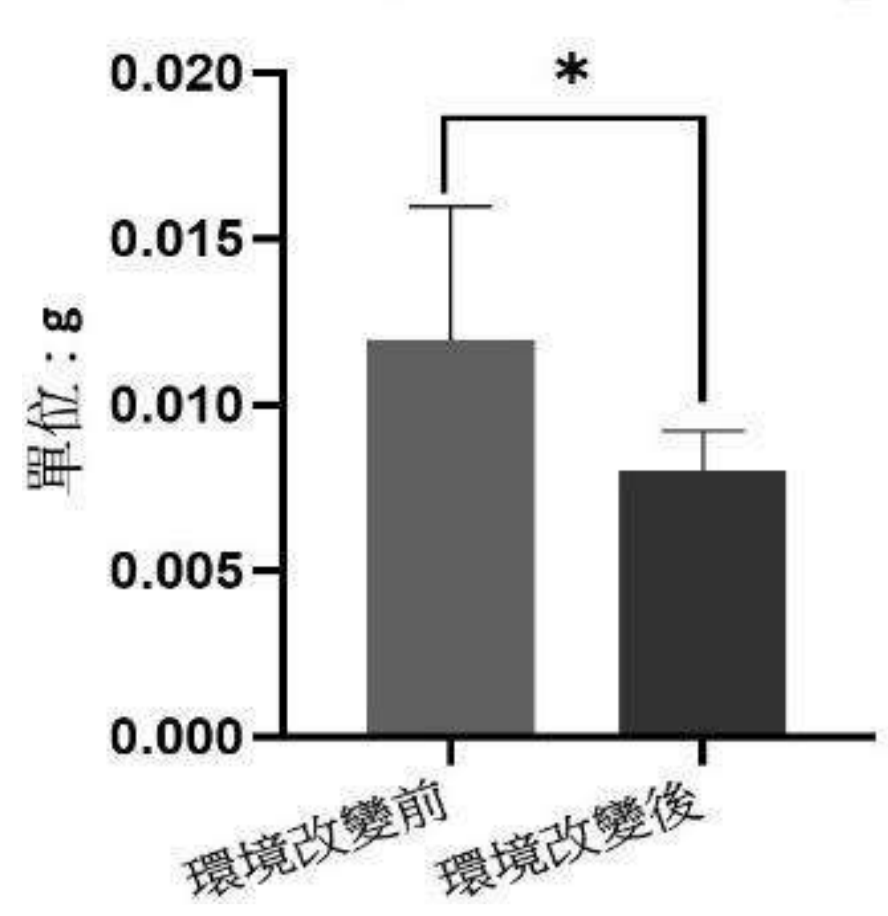


**研究二、探討枯葉大刀螳『產卵的行為』的實驗結果**

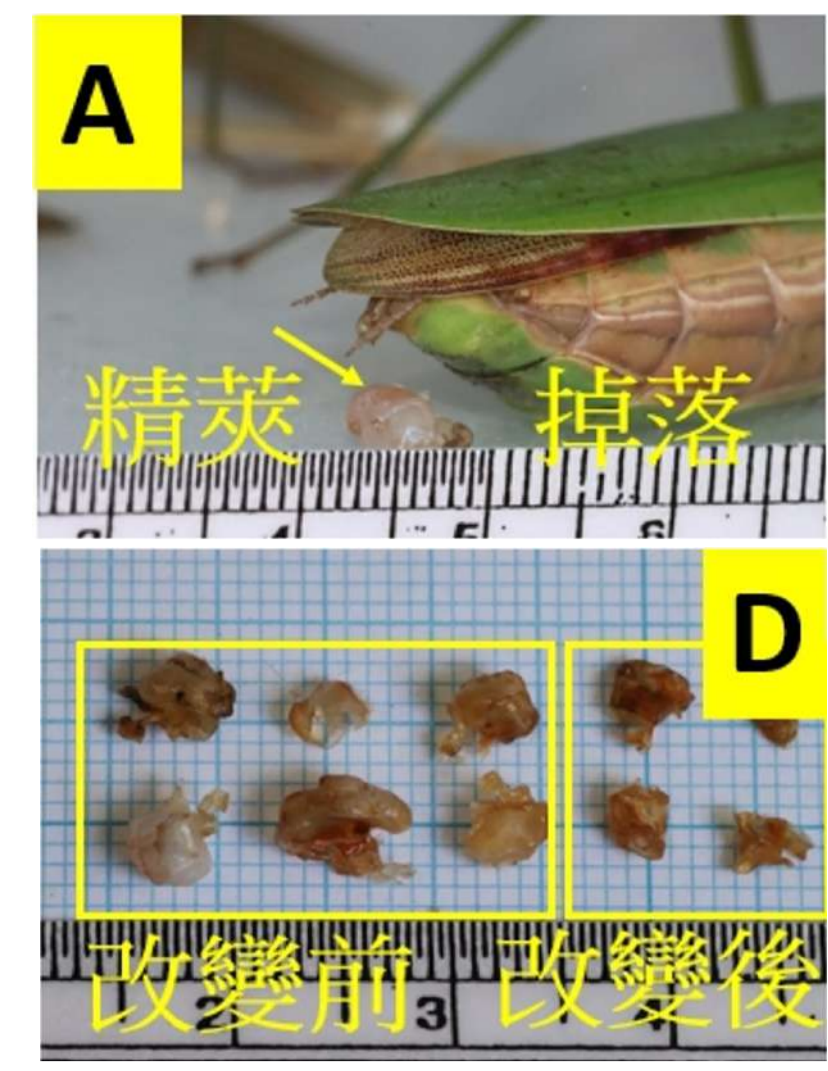
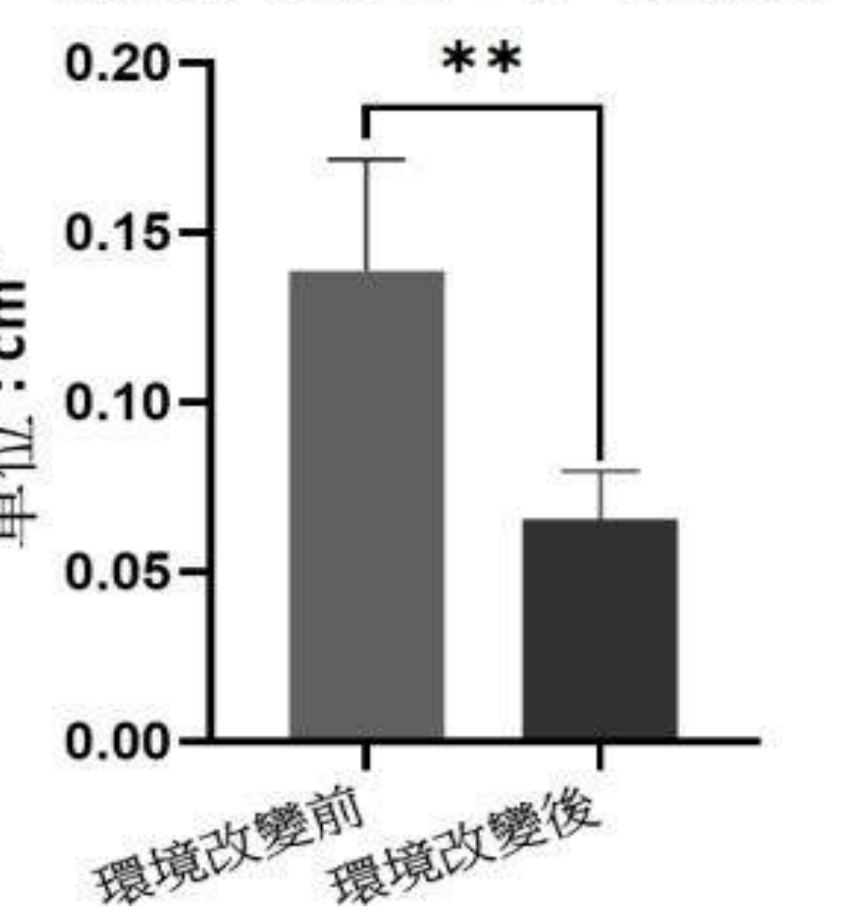
**實驗 2-1 判定雌螳螂交尾後『是否受精成功』的實驗結果分析：**

環境改變後，精莖掉落重量減少 0.0063g 兩者間 \*p < 0.05 具顯著性差異，面積減少 0.0732cm<sup>2</sup>，\*\* p < 0.01 具極顯著性的差異，顯示雌螳螂在可攀爬環境中交尾，能抬高腹部，將有利於接收雄螳螂的精莖(圖 25、26、A、D)。

圖(25)「環境改變前、後」精莖掉落之平均「重量」



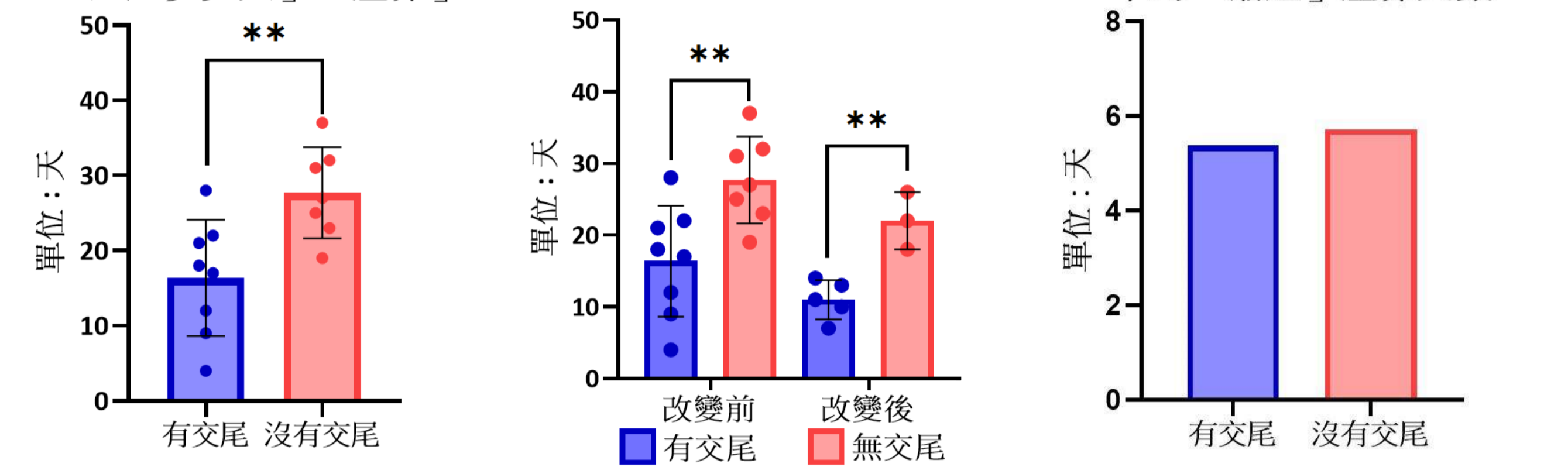
圖(26)「環境改變前、後」精莖掉落之平均「面積」



**實驗 2-2 『沒有交尾』的雌螳螂也會產卵的實驗結果分析：**

有交尾雌螳經 16.38 天產卵、無交尾雌螳經 27.71 天產卵，兩者 \*\*p < 0.01 具極顯著性差異，而降低溫度、提高濕度，兩者產卵天數皆縮短(圖 27~29)。

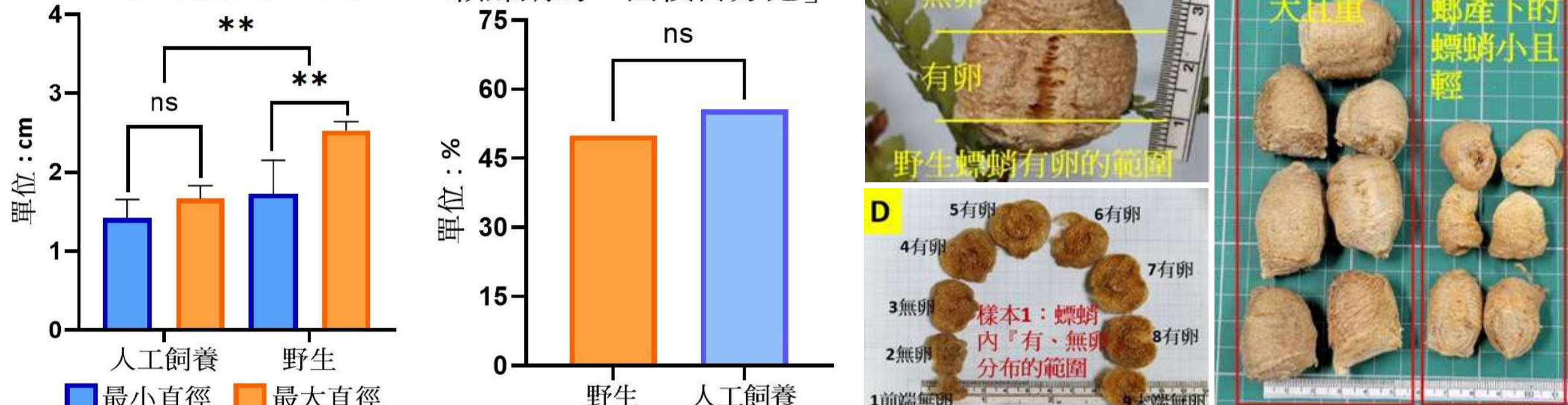
圖(27)雌螳「有無交尾」需「經過多少天」產卵 圖(28)雌螳在不同「溫溼度」下「有無交尾」經過幾天產卵比較 圖(29)雌螳在「溫溼度」改變後平均「縮短」產卵天數



**實驗 2-3 雌螳螂擺動腹部繞圓『產下大小不一螞蟥』的實驗結果分析：**

野生雌螳腹部擺幅大，所產螞蟥直徑範圍可達 2.52±0.12cm，有卵部分占 50.00±4.13%；人工飼養受限於環境而所產螞蟥較小，最大直徑範圍僅 1.67±0.16cm，但有卵比例為 55.62±10.23%(圖 31、34、A~D)。

圖(31)不同環境下雌螳產卵 圖(34)「螞蟥內部的卵」占整體「腹部擺動」的範圍 類螞蟥的「面積百分比」

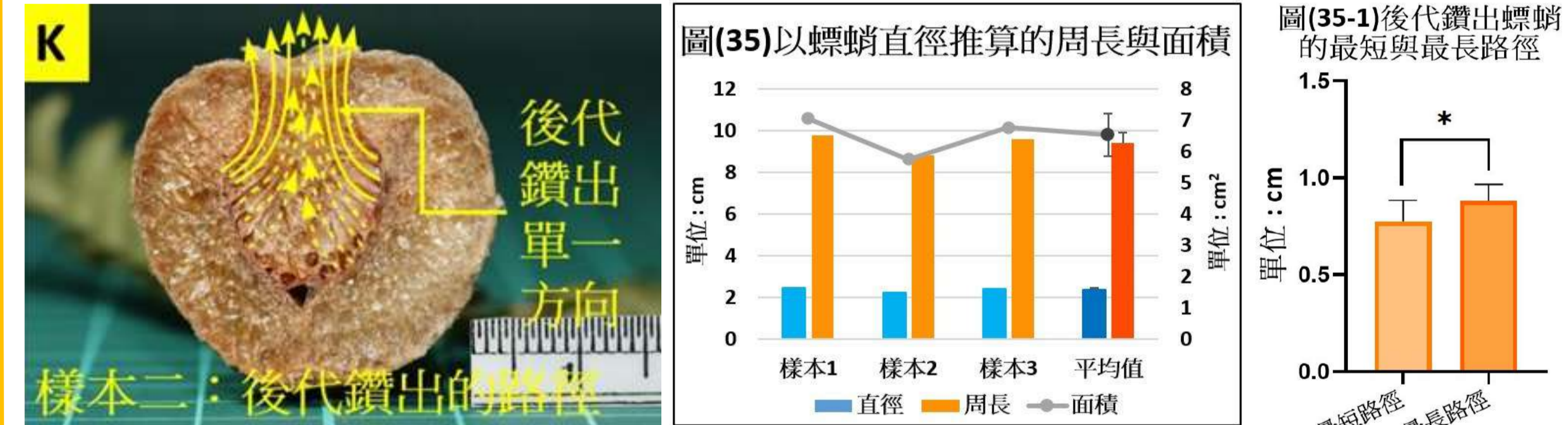


**實驗過後產生的疑問**

**提出疑問：**1. 螞蟥的形態似圓非圓，這有何『數學意義』？  
2. 雌螳螂做類圓形螞蟥目的為何？對後代有何意義？

**提出新假設：**1. 螞蟥心臟形態的部分，形似數學上的心臟線。  
2. 雌螳做類心臟線的螞蟥，目的是為後代留下一道出口路徑。

**再次實驗的結果分析：**螞蟥形態具數學意義，此圖形在數學上稱為心臟線，代入直徑可推得周長為 9.425±0.690cm，面積為 6.571±0.918cm<sup>2</sup>(圖 35)。類心臟線凹入處會形成出口路徑，後代鑽出最短路徑為 0.77±0.11cm(圖 35-1)。

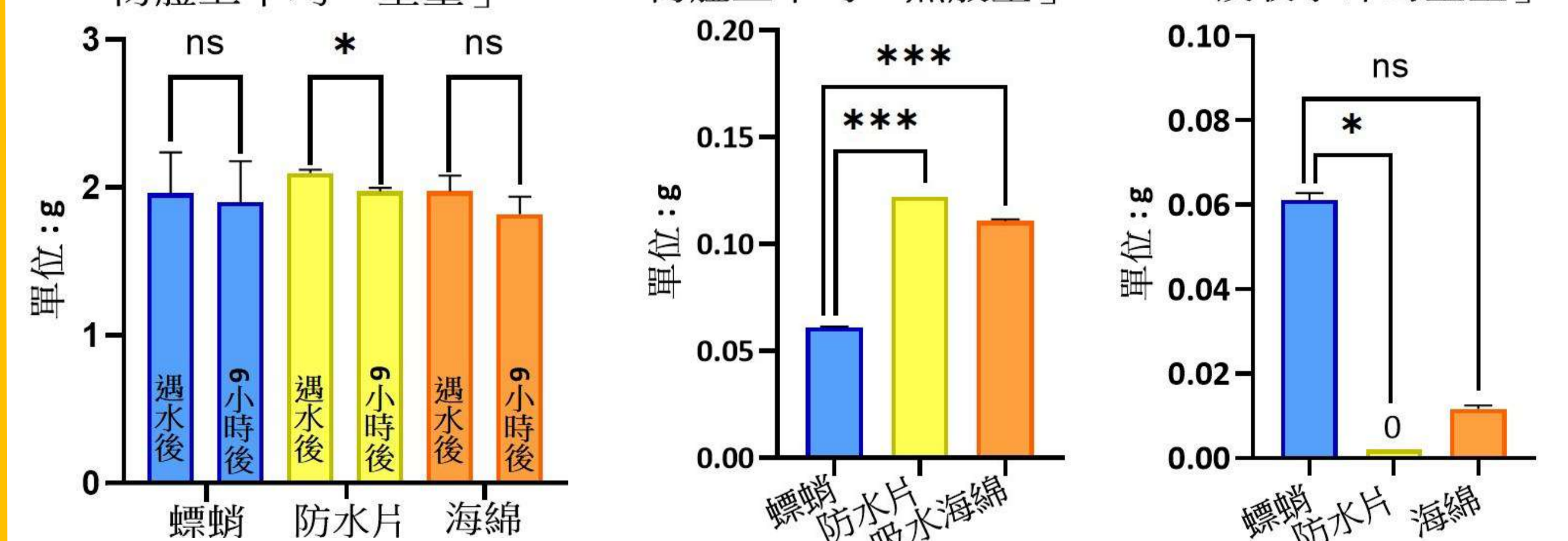


**研究三、探討螞蟥『對卵的防護』的實驗結果**

**實驗 3-1 螞蟥『會吸水』、還是『能防水』的實驗結果分析：**

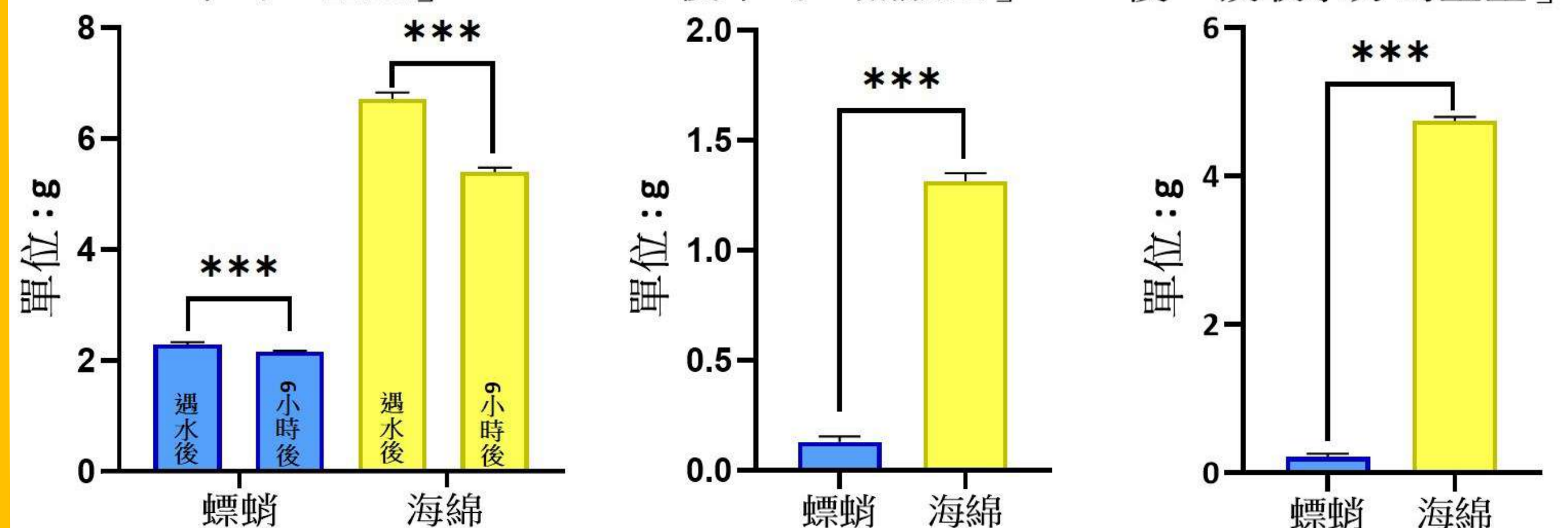
**3-1-1 螞蟥會吸水：**螞蟥 6 小時可吸收 0.0601±0.0009g 的水分，蒸散量 0.0621±0.0009g，具有吸收水分與保留水分的功能(圖 36~38)。

圖(36)水珠落在螞蟥及不同物體上平均「重量」 圖(37)水珠落在螞蟥及不同物體上平均「蒸散量」 圖(38)螞蟥及不同物體「吸收水珠的重量」

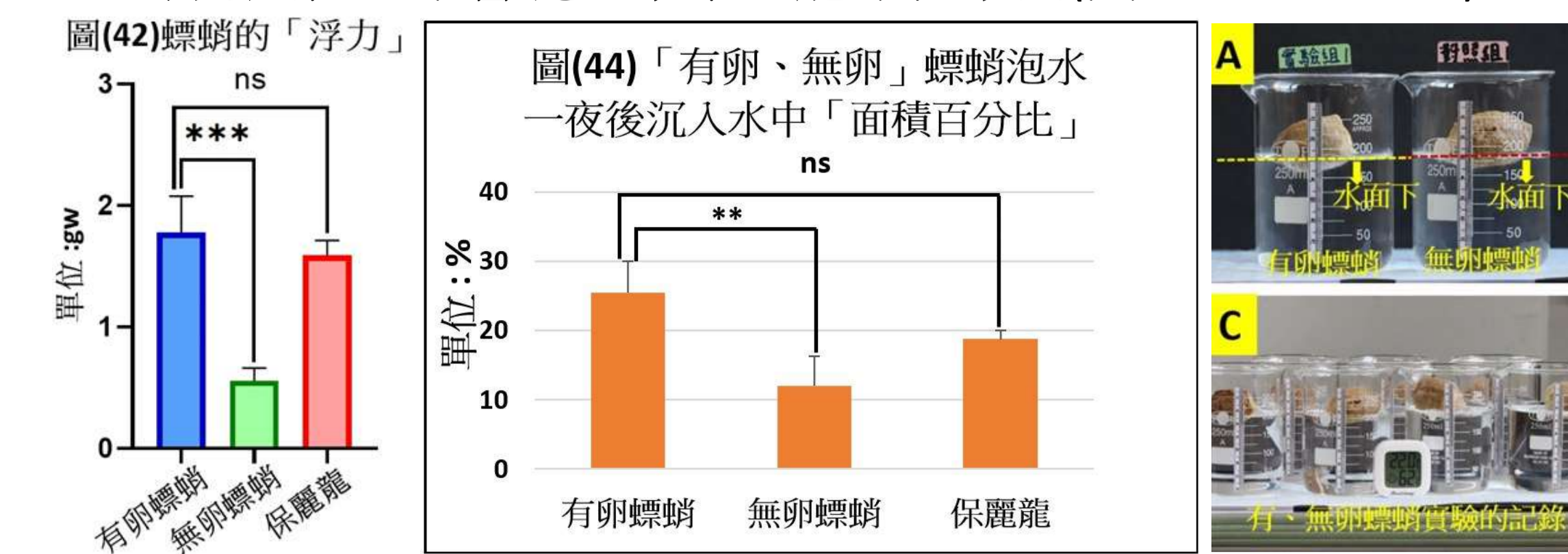


**3-1-2 (1)螞蟥是否會『因吸水而沉入水中』的實驗結果與分析：**螞蟥泡水一夜吸收 0.21±0.05g 的水，六小時蒸散了 0.13±0.03g 的水分(圖 39~41)。

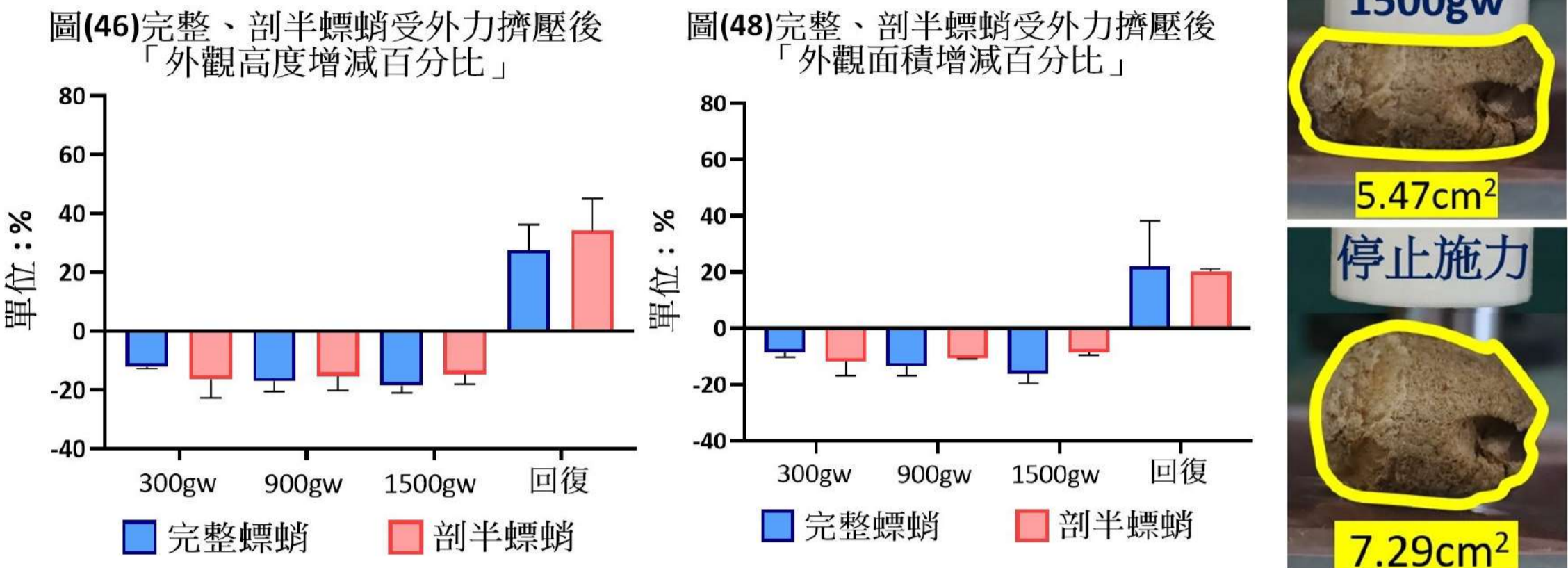
圖(39)螞蟥泡水「一夜」後平均「重量」 圖(40)螞蟥泡水「一夜」後平均「蒸散量」 圖(41)螞蟥泡水「一夜」後「吸收水分的重量」



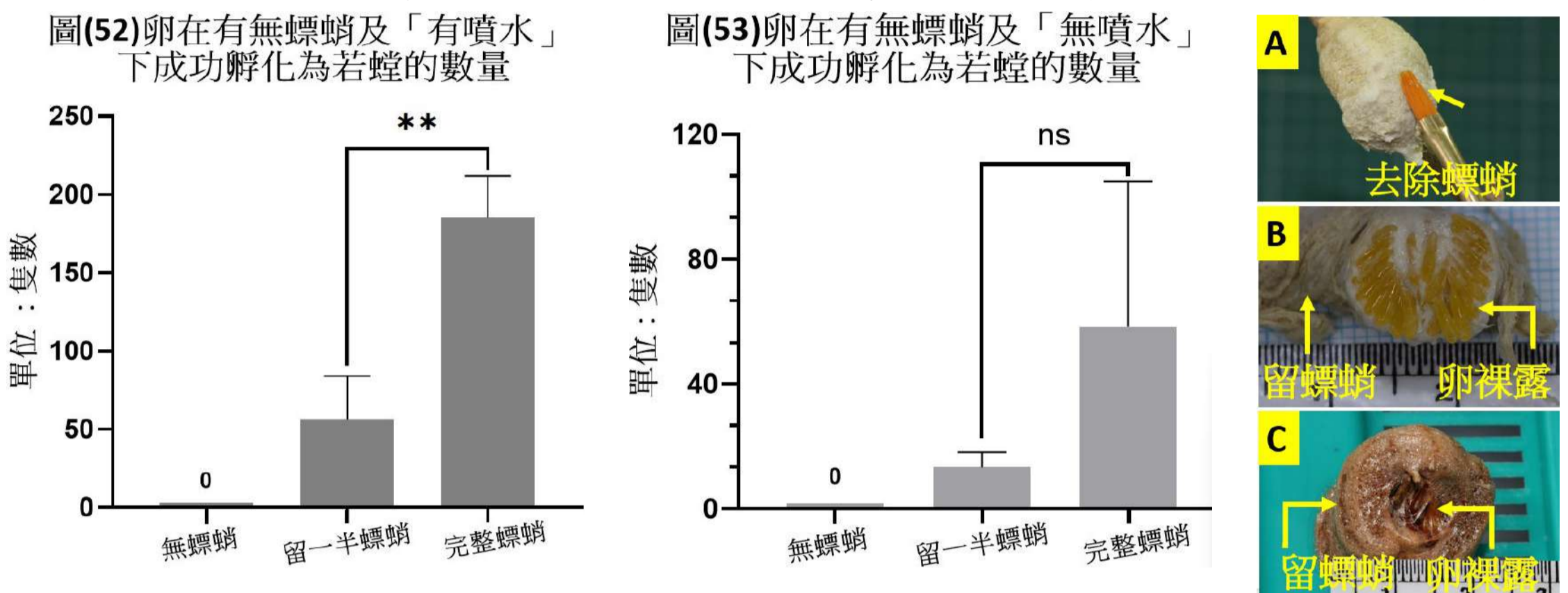
**3-1-2 (2) 螺蛸浮力與沉水面積：**有卵的螺蛸雖然較無卵空螺蛸重、浮力大但也不會沉入水中，能浮在水面(圖 42、44、A~C)。



**3-1-3 受力形變：**停止施力後外觀、內部之高度面積皆回升，顯示形變後可恢復型態(圖 46、48)。



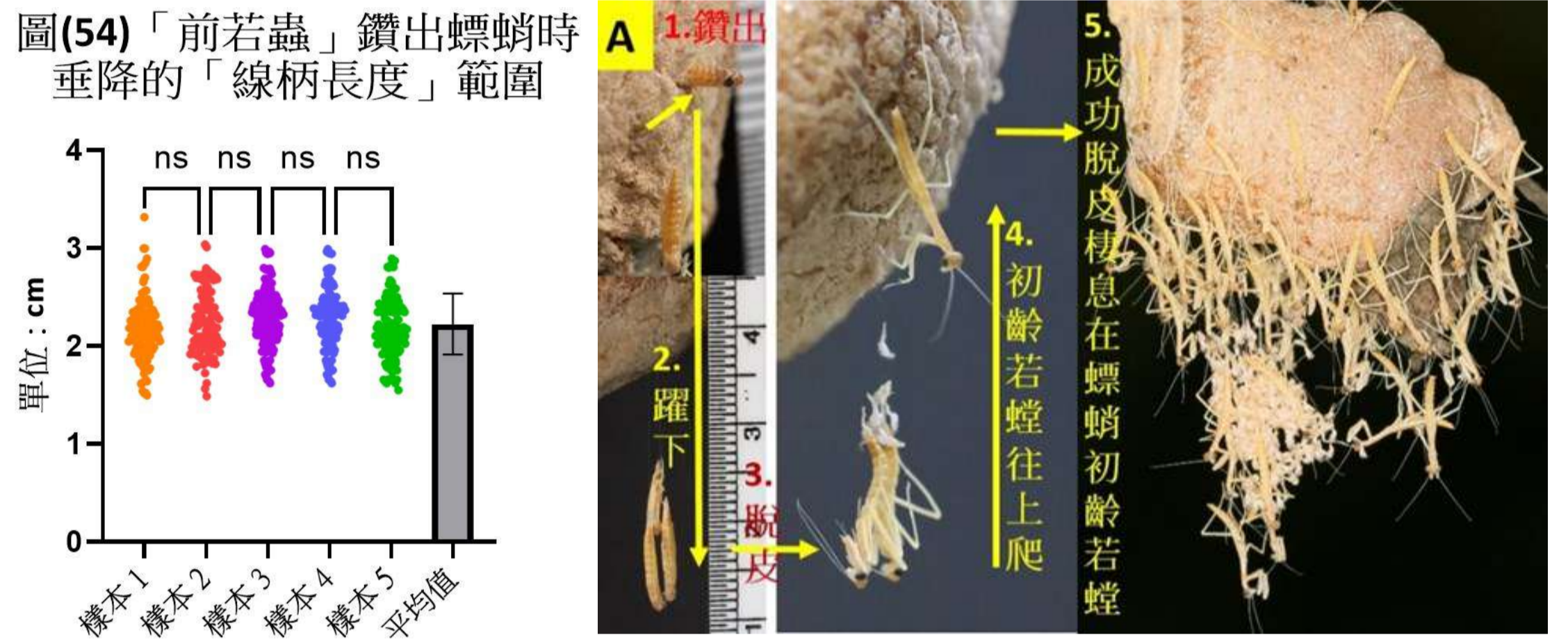
**實驗 3-2 『失去外層泡沫狀的螺蛸』，會影響卵的發育實驗結果：**無螺蛸則無法孵化。留一半者仍和完整者具極顯著差異。若螺蛸無足夠水分，即使留完整螺蛸孵化率仍下降(圖 52、53、A~C)。



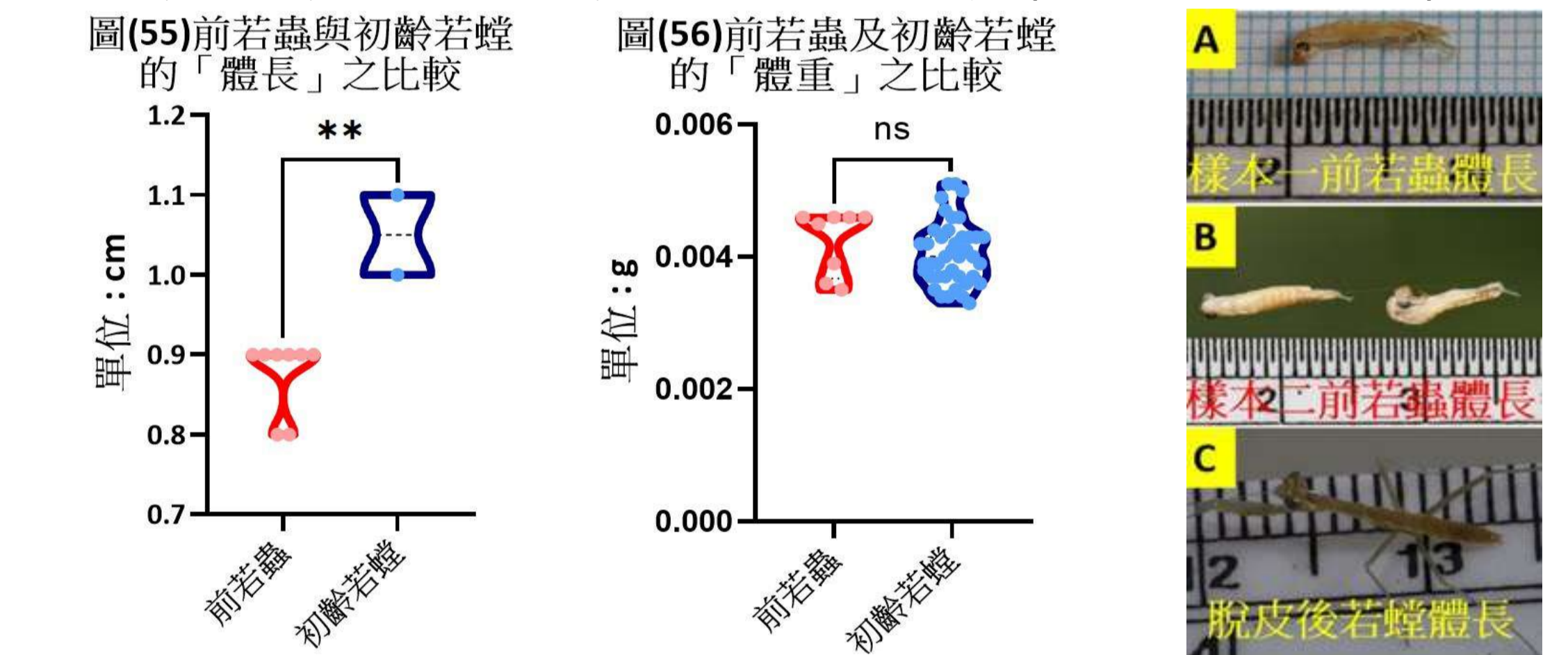
**研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』實驗結果**

**實驗 4-1 研究『前若蟲脫皮前後體長、體重有變化』實驗結果：**

**4-1-1 線柄：**前若蟲身上繫著 2.36±0.26cm 的線柄。(圖 54、A)。

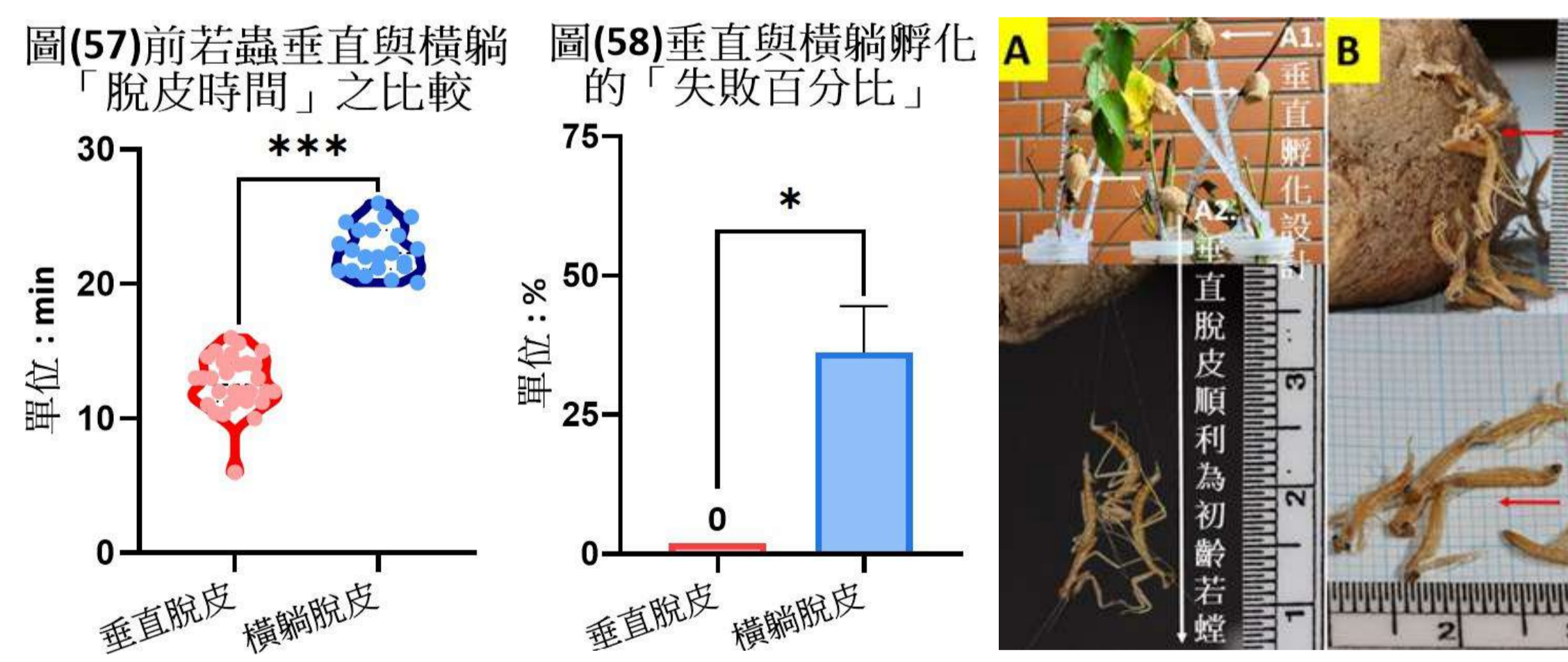


**4-1-1(2) 體長、體重：**前若蟲體長 0.88cm；初齡若蟲 1.05cm，是前者 1.2 倍。上述兩者體重無顯著差異(圖 55、56、A~C)。

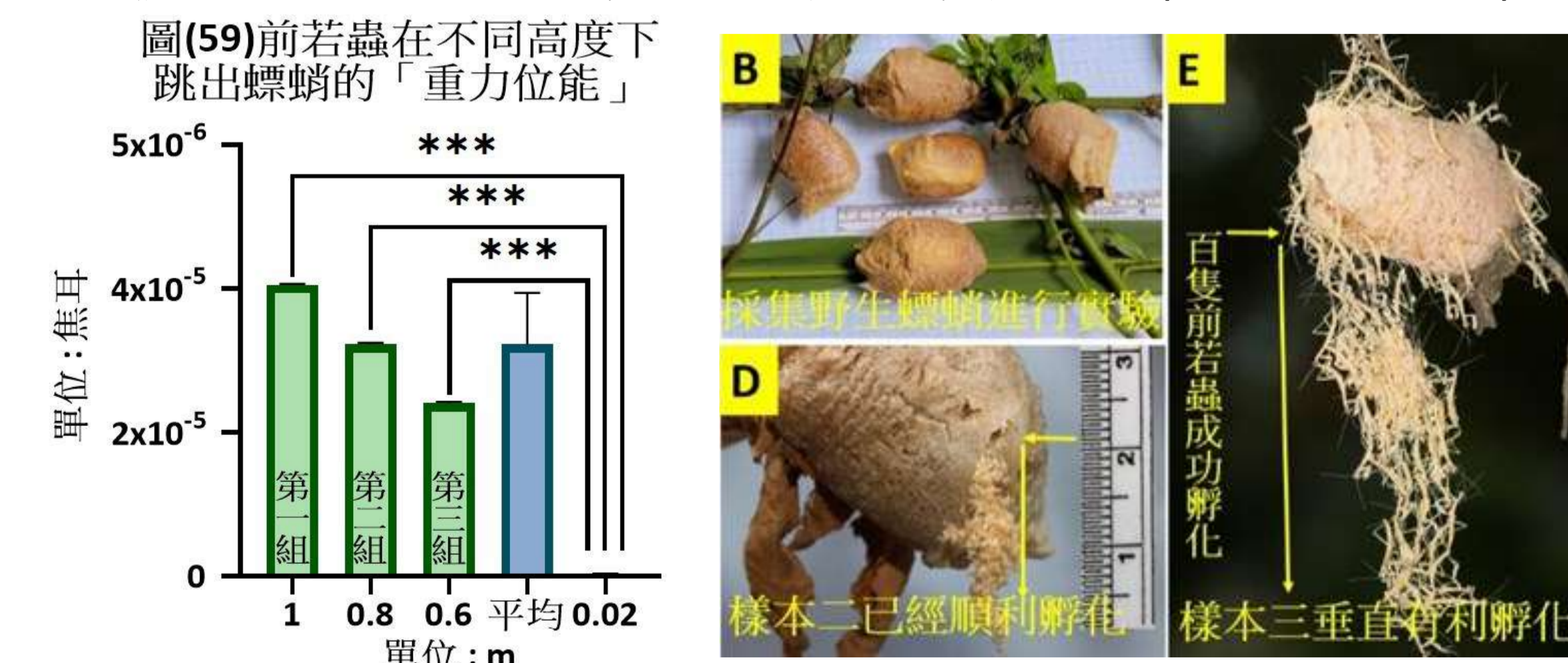


**實驗 4-2 研究前若蟲『脫皮姿態影響初齡若蟲蛻變』實驗結果：**

**4-2-1 脫皮方式：**垂直脫皮較橫躺少 9.98min。垂直脫皮失敗率 0%；橫躺脫皮則 36%。垂直脫皮較能順利蛻變(圖 57、58、A、B)。



**4-2-2 重力位能：**不同高度前若蟲重力位能平均為 3.23x10<sup>-5</sup>J。橫躺脫皮 2.47x10<sup>-7</sup>J，顯示位置愈高重力位能愈大(如圖 59、D~E)。



### 實驗過後產生的疑問

**提出疑問：**線柄有多粗？能承受多重？會不會在脫皮時斷掉呢？

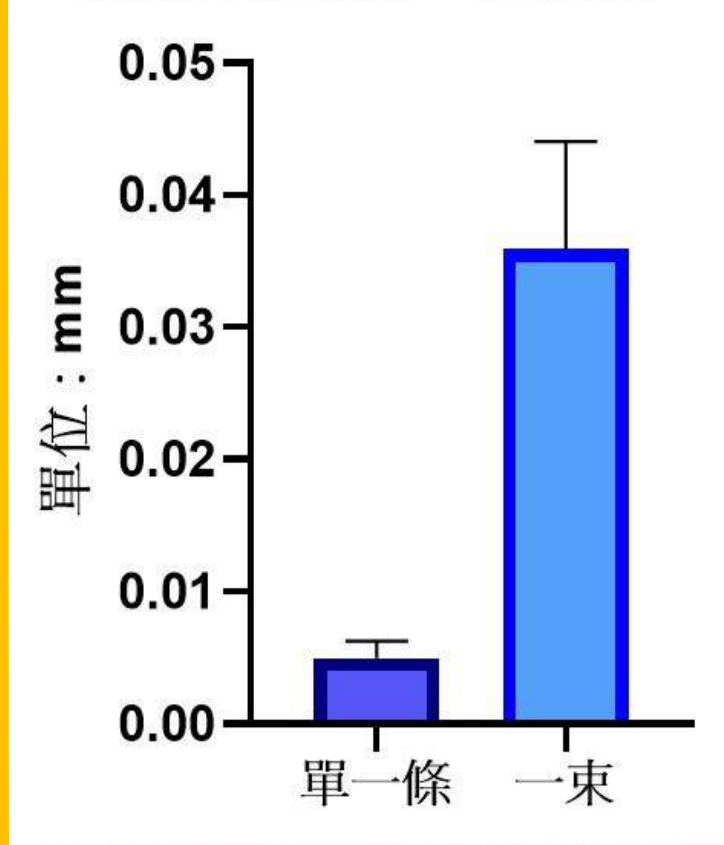
**提出新假設：**假設線柄不易斷掉，且能承受比前若蟲還重的重量。

**實驗器材：**以顯微鏡觀察，再以裁剪方格紙製成超微量砝碼。

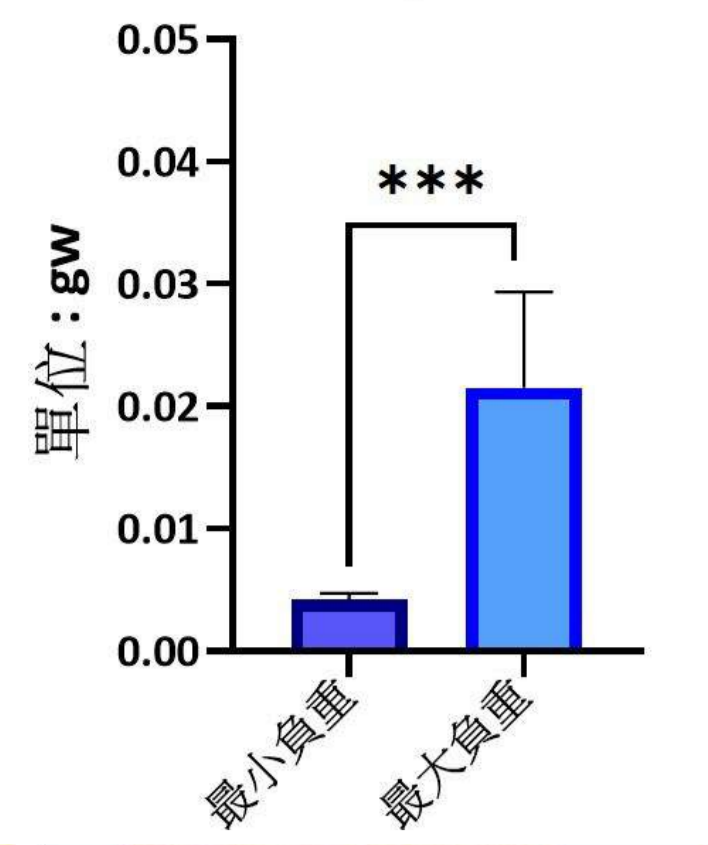
**實驗步驟：**求線柄直徑，再求不同線柄最小最大負重的差異性。

**結果：**單一線柄直徑 0.005mm，而一束線柄則較大。單一線柄最大負重與前若蟲體重\*\*\*p < 0.001。而一束線柄能承受更多前若蟲。

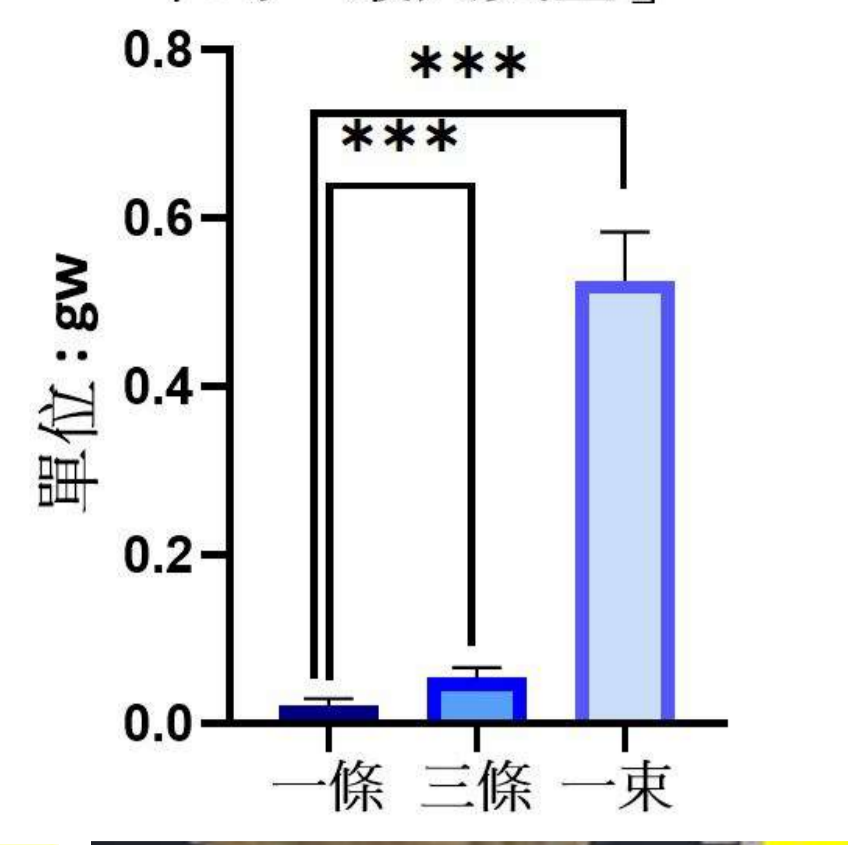
圖(60)「前若蟲」鑽出時懸吊的線柄「直徑」



圖(61)「一條線柄」的「最小、最大」平均負重



圖(62)「不同粗細」線柄的平均「最大負重」



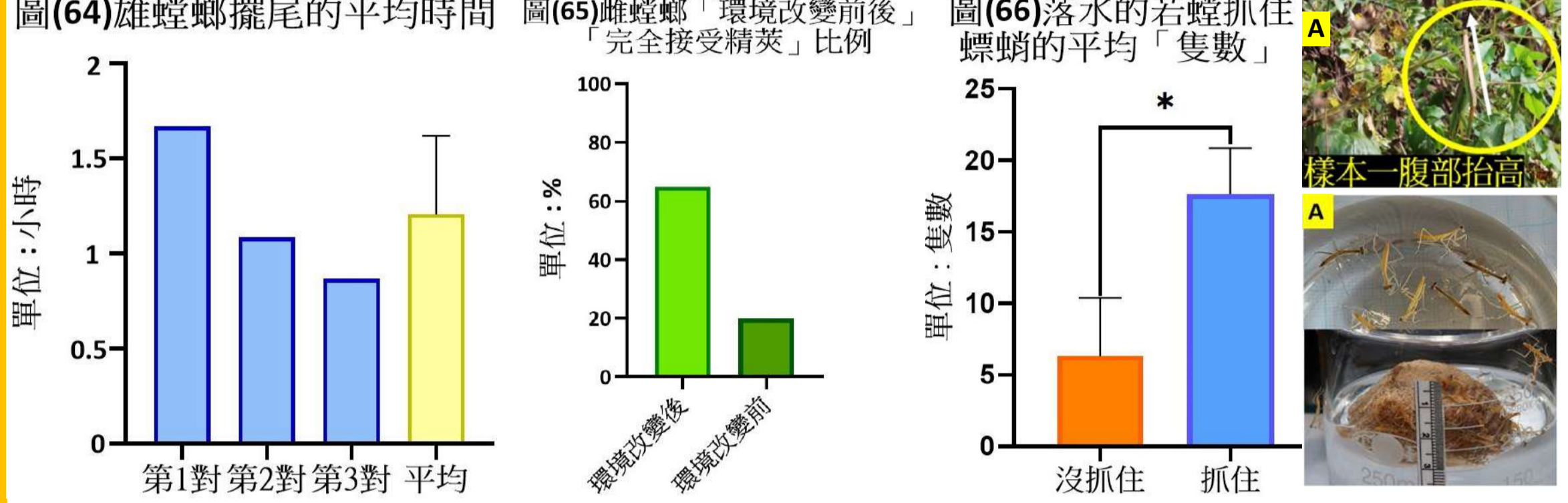
### 陸、問題與討論

一、『雌雄蟲交尾』、『產卵』、『螺蛸防護』之問題與討論

(1) 初期擺動一次需 2.71±0.76s，後期增為 8.00±0.71s (圖 64)。

(2) 雌螳螂攀爬或提高腹部有助接受精莢(圖 65、A)。

(3) 落水的若螳不會游泳，但若抓住螺蛸，即可得救(圖 66、B)。



### 研究總結：我們與前人研究報告的差異結論之比較

探討的主題	前人的研究	與前人『不同研究』與『新發現』
一、探討枯葉大刀螳交尾時雄螳『會躲避雌螳螂』的行為	無研究	<p><b>1.新發現：</b>雄螳擺動腹部有 63%成功率，高於快走飛撲或觸角觸碰。</p> <p><b>2.新發現：</b>雌螳靜止到移動，雄螳從 0.91~0.37cm，壓低姿勢躲避雌螳。</p> <p><b>3.新發現：</b>雄螳交尾以 78.7cm/s 的速率跳離，有 21%機會成功脫逃。</p>
二、探討雄螳『斷頭能否移動與心臟跳動？』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>斷頭雄螳每分鐘可移動 9.3±19.0 cm，3.24hr 後停止移動。</p> <p><b>2.新發現：</b>斷頭雄螳心臟收縮、舒張與天數之間有中~高度相關，心跳每天每分鐘跳 25 下，5 天後停止。</p>
三、探討雌螳的『產卵行為』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>環境改變前後，精莢掉落重量、面積有顯著與極顯著差異。</p> <p><b>2.新發現：</b>周長 9.4cm 面積 6.5cm<sup>2</sup> 的類心臟線，為後代的單一出口。</p>
四、探討螺蛸對卵『防護功能』	雌螳產卵分泌泡沫膠質包裹卵粒，硬化後可供保護(文獻三 p.15)。	<p><b>1.新發現：</b>螺蛸可吸水、浮在水面，而沉水面積占整顆螺蛸 25.5%。</p> <p><b>2.新發現：</b>失去螺蛸卵則不再發育。</p> <p><b>3.新發現：</b>螺蛸受 1500gw 的力後，高度與面積皆與原來無顯著差異。顯示螺蛸能抵禦外力施壓保護卵。</p>
五、探討『初齡若螳的孵化方式與過程』	無研究	<p><b>1.新發現：</b>前若蟲鑽出螺蛸後，躍下的重力位能平均為 3.23x10<sup>-5</sup>J。由平均 2.36cm 的線柄懸吊在空中脫皮。</p> <p><b>2.新發現：</b>線柄直徑約 0.005mm，最大可承受 0.0215gw。多條線柄纏在一起可承受 0.525gw。</p>

### 柒、結論

**研究一、探討枯葉大刀螳『交尾的行為』實驗結論**

- (1) 雄螳達到交尾方式：擺動腹部成功率 63%，為三者之中最高。
- (2) 雄螳交尾間距：雌螳捕捉足與體長、體寬間 R 值分別-0.74、0.53、0.80 高、中度相關。正常危險間距範圍，都可能被捕食。
- (3) 雄螳脫逃：拉出精絲，再以 78.7±19.87cm/s 的速率脫逃。
- (4) 斷頭後存活：每分鐘至少移動 9.3cm，心跳率與天數高度相關。

**研究二、探討枯葉大刀螳『產卵的行為』實驗結論**

- (1) 交尾環境：改變環境後，掉落精莢重量面積減少，受精率提高。
- (2) 卵範圍與產卵天數：卵佔 50~56%，降溫提高濕度減少 5 天產卵。
- (3) 產卵行為：雌螳腹部擺動畫類心臟線螺蛸，直徑 2.34cm，周長 9.43cm，面積 6.571cm<sup>2</sup>。目的為為後代留一道單方向鑽出口。

**研究三、探討『螺蛸對卵的防護』實驗結論**

- (1) 螺蛸吸水、浮於水面：螺蛸可吸收 49%水分；沉水面積占 26%。
- (2) 失去螺蛸：失去螺蛸卵無法孵化。保留一半螺蛸孵化 56.33 隻，和完整螺蛸之間\*\*p<0.01，顯示無螺蛸會影響卵發育。
- (3) 螺蛸受外力：螺蛸受力後高度形變 40.6%，與受壓前間的\*p<0.05。停止施力後回升 27%，顯示螺蛸可恢復型態、保護卵。

**研究四、探討『初齡若螳孵化的過程』實驗結論**

- (1) 前若蟲孵化方式：繫著 2.36±0.26cm 的線柄鑽出並躍下螺蛸。
  - (2) 時間與體長：垂直脫皮需 12.58min，橫躺脫皮需 22.56min，兩者\*\*\*p<0.001 具非顯著性差異。脫皮後體長為先前 1.2 倍。
  - (3) 重力位能：平均 3.23x10<sup>-5</sup>J，不同高度具非常顯著性差異。
  - (4) 線柄：單一能受前若蟲重量 5 倍；一束可承受百隻前若蟲重量。
- (以上所有圖片與圖表皆為作者拍攝與製作)

### 捌、參考資料及其他

- 二、全茂永(2022)•卡社布農語隱喻•南投縣政府原住民族行政局。
- 三、陳澤豪(2008)•螳螂型態比較與行為探索•48 屆中小學科展。