

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

第一名

030308

扭腰擺巢-探討褐帶紋水螟蛾幼蟲之保護構造和
運動方式

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者： 國二 陳妍儒 國二 賴思嘉	指導老師： 陳 卉 呂俊賢
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：褐帶紋水螟蛾、造巢能力、幼蟲運動方式

得獎感言

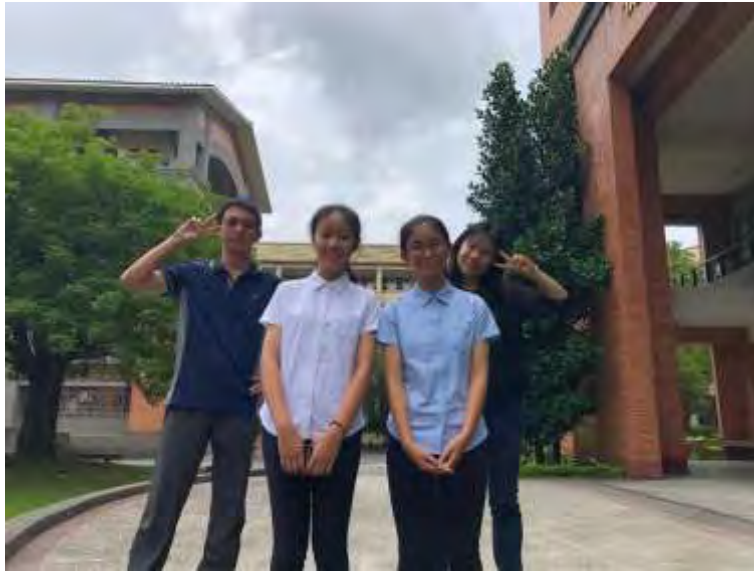
與毛毛蟲相處的 18 個月

一年半的時間，從縣賽到全國賽的殿堂，過程的辛苦一言難盡，但成果卻也因那些流下的淚水而豐碩美麗。

當聽著主持人緩緩著說出「生物科第一名，復興國中」時我們便馬上由椅子上跳了起來，內心的興奮，不言而喻。

一開始，我們都還懵懵懂懂，有些害怕，但也懷抱熱情和希望，想要一探這個小動物的奧秘，幸虧有我們的指導老師，耐心的教導我們，讓我們順利的進入狀況。起初，實驗也進行的不那麼順利，但一次次的嘗試，也讓我們更加進步。過程中有爭執，但我們都感謝對方的體諒，才能合作無間，默契十足。除此我們也遭遇許多困難，課業的壓力、實驗失敗皆使得我們感到生氣、挫折、氣餒甚至想放棄，但在老師不停的鼓勵下，與夥伴相互扶持下，便又重新燃起了戰鬥力，繼續的往前邁進，因此我們得到了全縣第一的殊榮，並幸運的榮獲進入全國賽的機會，漸漸的，越來越多人肯定我們的努力，支持著我們繼續前進，而在全國賽，也得到了第一名的佳績。做科展，不是短時間就能看到成果，要持續的努力，才能得到成功的果實，感謝我們的指導老師，在忙碌之餘還要指導我們，也感謝夥伴，我們會產生爭執，但那都是為了讓作品更好。

得獎固然是一件令人開心的事情，不過中間的過程更值得我們學習，即便中途遇到了困難的關卡，仍需繼續奮戰，如果放棄了前面的努力便會化為烏有。將來我們秉持著這份不屈不撓的精神，走向每個專屬於我們的里程碑。這 18 個月的點點滴滴更可成為滋潤我們的養分。



我們整個團體的照片



我們在比賽前的照片



這就是水螟蛾的幼蟲

摘要

褐帶紋水螟蛾(*Parapoynx crisonalis*)幼蟲棲息於池塘的水域環境，幼蟲為增加身體浮力使移動更有效率和保護自身避免天敵攝食，而有造巢的行為。無巢水螟蛾幼蟲以毛蟲運動方式前進，但移動速度比有巢者慢。有巢水螟蛾幼蟲移動時，會伸出前端七個體節，左右擺動身體，讓身體與巢以 S 形的方式移動。有巢幼蟲移動速度，主要受蟲體擺動的角速度影響；幼蟲轉彎時改變的角度，主要受蟲體該次左右擺動之角速度差影響。因幼蟲會攝食自身的巢，因此造巢葉片選擇順序和攝食喜好是一致的。巢具有立體的外觀，可增加巢的浮力；形狀呈橢圓形，且短軸與長軸的比值為 0.22，可使巢在水流中所受的阻力較小。

壹、研究動機

有一天，我們經過學校附近的池塘，看到水面有一片葉子在扭動前進，近看之下發現，裡面居然有一隻像毛毛蟲的生物把兩片葉子合起來當成『家』，查了資料後發現，原來裡面的小動物是水螟蛾的幼蟲，它對巢有選擇性嗎？是如何帶著巢扭動前進呢？於是我們對它產生了好奇心，並決定把它當作科展題目。

貳、研究目的

1. 探討褐帶紋水螟蛾幼蟲對食物是否具有選擇行為。
2. 探究褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢葉片的特徵。
3. 探索褐帶紋水螟蛾幼蟲與巢的運動模式。
4. 探討褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢的原因。

參、實驗生物與研究設備

一、實驗生物: 褐帶紋水螟蛾(*Parapoynx crisonalis*)

科學分類

Arthropoda	節肢動物門
Insecta	昆蟲綱
Lepidoptera	鱗翅目
Crambidae	草螟科



圖一:褐帶紋水螟蛾(*P. crisonalis*)



圖二:褐帶紋水蜉蛾(*P. crisonalis*)幼蟲
啃食睡蓮葉

幼蟲體表有毛狀構造，是水蜉蛾幼蟲的呼吸器官，又稱氣管鰓。水蜉蛾幼蟲造可攜式巢，其策略是幼蟲可帶著巢游到他處尋找新的食物(施等人，2010)。

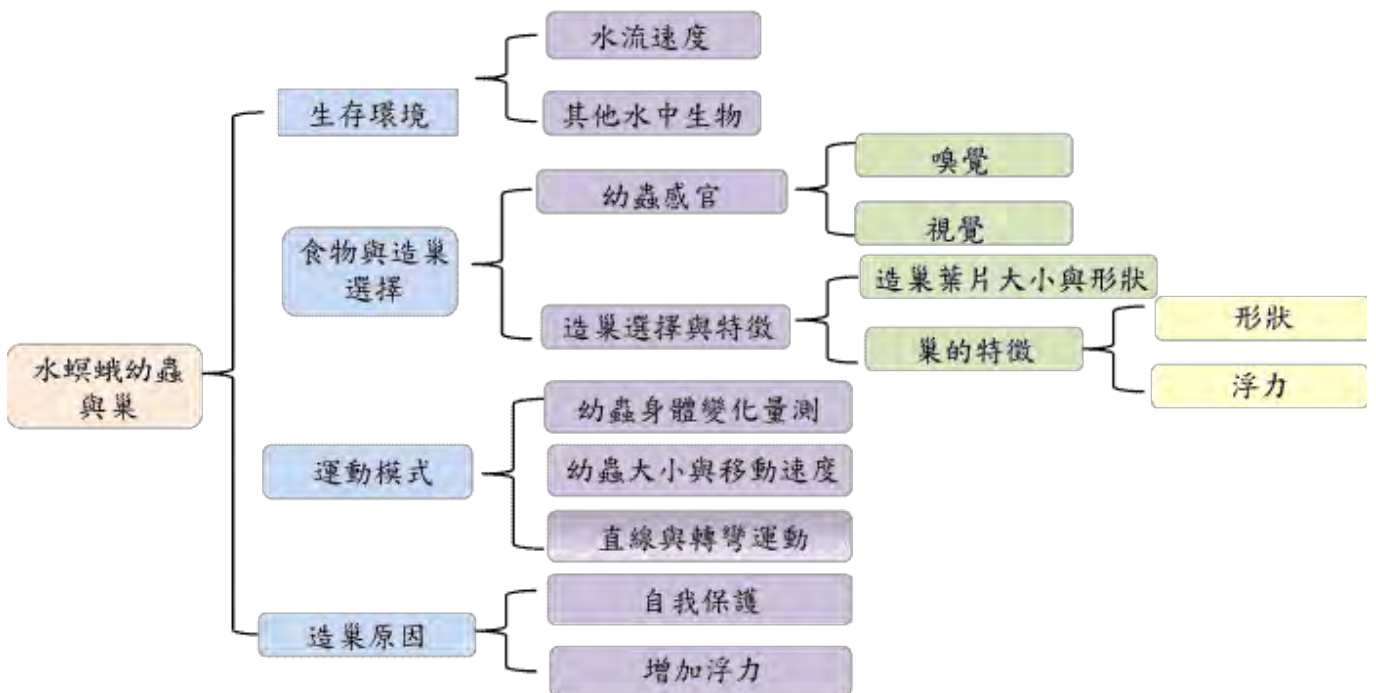
幼蟲為水生，攝食各種水草，因此被視為害蟲的一種。

二、研究設備

睡蓮葉、台灣菱、原生種槐葉萍、人厭槐葉萍、鳳尾菜、地瓜葉、高麗菜、正方形盒(10×10×10cm³)、長方形盒(15×10×10cm³)、電子天秤、縮時攝影機、腳架、鑷子、剪刀、黑色擋光板、針、滴管、塑膠袋、保麗龍球、細線、塑膠尺、手機、塑膠片、碘液、Sudan III 試劑、Biuret 試劑、Movies Maker 軟體、image j 軟體

肆、研究步驟

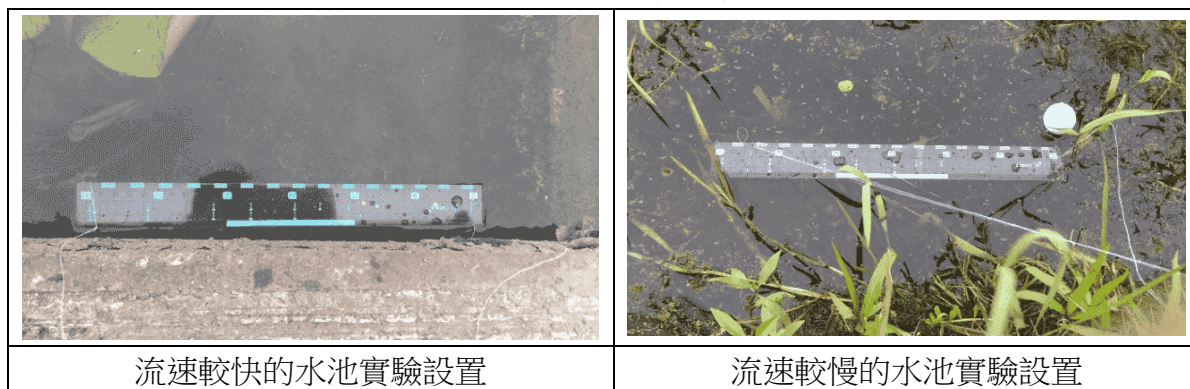
研究架構



一、水螟蛾幼蟲生存環境調查

(一)水域流速快慢

- 1.在塑膠尺上綁上細線(避免其掉入水中)，並將其放入水中。
- 2.將保麗龍球放入水中，並先用鑷子擋住保麗龍球不讓保麗龍球漂走。
- 3.開始攝影並同時放開擋住保麗龍球的鑷子(圖三)。



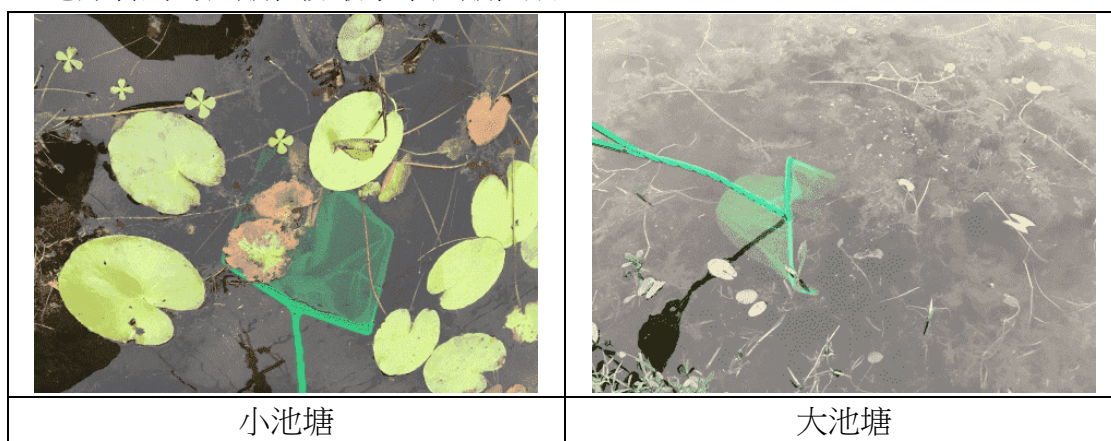
圖三:水流測試方法

(二)水域水中雜質

- 1.分別在水螟蛾幼蟲生存流速較快和較慢的水池採取水樣。
- 2.觀察水池中的雜質。

(三)調查水域中水中動物

- 1.肉眼觀察和利用網子(長 25cm、寬 19cm、深 25cm)撈取流速較快和較慢水池的水中昆蟲(因水螟蛾幼蟲主要是浮在水面上，所以網子只撈取水面至水深 20cm)(圖四)。
- 2.紀錄看到的昆蟲和撈取水中昆蟲種類。



圖四:調查大小池塘水表面動物

二、幼蟲對食物種類和造巢植物的選擇

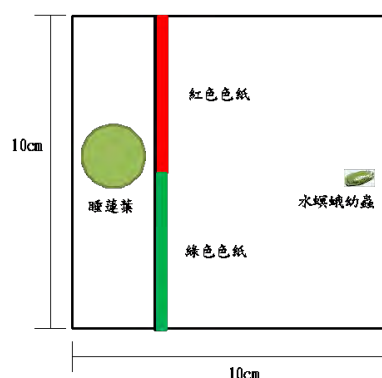
(一)不同食物種類對幼蟲攝食量之影響

- 1.各取一片人厭槐葉萍、台灣菱、睡蓮的葉子，擦乾水分後用電子天秤秤重，並分別記錄重量。
- 2.分別拍照，並用 image j 計算面積。
- 3.在人厭槐葉萍、台灣菱和睡蓮的葉子上分別放上三隻體長 1.0~1.2 cm(五齡幼蟲)的幼蟲。
- 4.於 24 小時後拍照計算吃掉的葉子面積，並換算成重量。
- 5.比較人厭槐葉萍、台灣菱和睡蓮的攝食量。

(二)幼蟲利用何種感官選擇食物

1.視覺

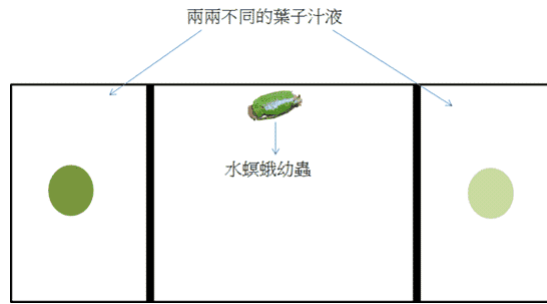
- (1)將正方形盒(10×10×10cm³)一端分別貼上紅色和綠色的色紙，色紙下方可讓水流通，睡蓮葉放在色紙後方(圖五)。
- (2)分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢(以睡蓮葉為巢)的幼蟲 10 隻，觀察記錄幼蟲選擇情況。



圖五:水螟蛾幼蟲視覺測試

2.嗅覺

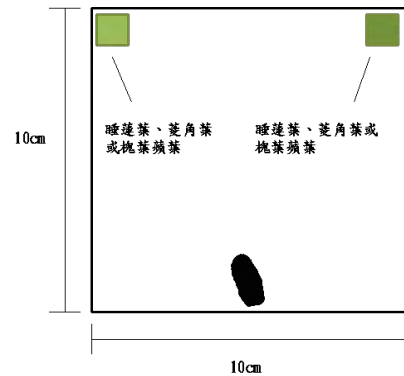
- (1)將長方形盒(15×10×10cm³)周圍貼上黑色擋光板，取兩片黑色擋光板用針各戳 10 個洞，用封箱膠帶將兩片黑色擋光板固定於離盒子邊緣 3cm 處，並把邊緣封死(避免氣味從邊緣逸散)(圖六)。
 - (2)將睡蓮葉、原生種槐葉萍和人厭槐葉萍搗碎，各取 0.5ml 的葉子汁液加入 2.5ml 的水。
 - (3)將睡蓮葉和原生槐葉萍一組，原生種槐葉萍和人厭槐葉萍一組，分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢(以睡蓮葉為巢)的幼蟲 10 隻，進行實驗比較。
- 註:進行本實驗為 11 月，此時已無台灣菱的葉片，故使用上述三種植物葉片。



圖六:水螟蛾幼蟲嗅覺測試

(三)水螟蛾幼蟲對不同水生植物是否有選擇性

- 1.將人厭槐葉萍、台灣菱葉、睡蓮葉分別切成 1cm^2 的正方形。
- 2.將三種葉子兩兩一組分別放在正方形盒的兩個角落(如圖七所示)。
- 3.分別放入體長 $1.0\sim 1.2\text{cm}$ 且有巢(以睡蓮葉為巢)的幼蟲 10 隻。
- 4.兩兩一組分別做比較，觀察並記錄幼蟲的選擇。



圖七: 水螟蛾幼蟲對不同水生植物的選擇性

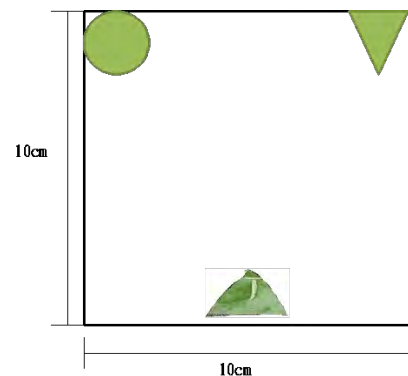
(四)水螟蛾幼蟲對不同陸生植物是否有選擇性

- 1.將鳳尾菜、地瓜葉、高麗菜分別切成 1cm^2 的正方形。
- 2.將三種葉子兩兩一組分別放在正方形盒的兩個角落(如圖七放置方式所示)。
- 3.分別放入體長 $1.0\sim 1.2\text{cm}$ 且有巢(以睡蓮葉為巢)的幼蟲 10 隻。
- 4.兩兩一組分別做比較，觀察並記錄幼蟲的選擇。

三、幼蟲造巢葉片的選擇性

(一)葉片形狀對幼蟲做巢之影響

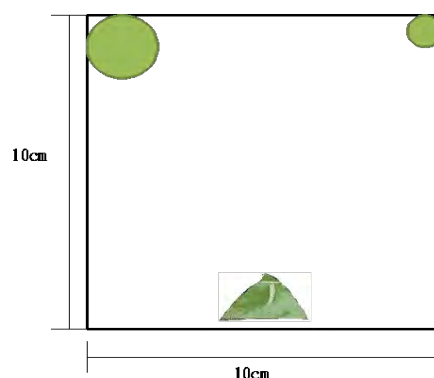
- 1.將睡蓮葉分別裁成邊長 2cm 的正方形、邊長 2cm 的正三角形、直徑 2cm 的圓形葉片(圖八)。
- 2.分別放入體長 $1.0\sim 1.2\text{cm}$ 無巢的幼蟲 10 隻，將幼蟲置於大花咸豐草葉片上。
- 3.兩兩一組分別作比較。



圖八:幼蟲做巢與葉片形狀之實驗

(二)葉片大小對幼蟲做巢之影響

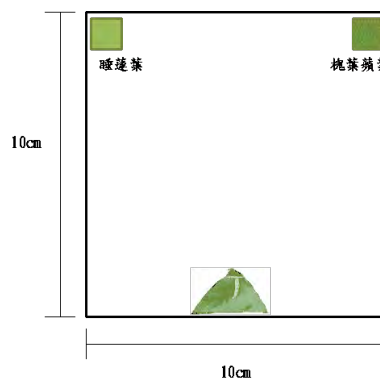
- 1.取睡蓮葉片並分別裁切成直徑 1cm、2cm 和 3cm 的圓形。
2. 1cm 和 2cm 一組、2cm 和 3cm 一組分別放於方形盒中的兩個角落(如圖九所示)。
- 3.分別放入體長 1.0~1.2cm 無巢的幼蟲 10 隻，置於大花咸豐草葉片上觀察並記錄幼蟲的選擇。



圖九:幼蟲做巢與葉片大小之實驗

(三)幼蟲是否會依對食物喜好性選擇造巢葉片種類

- 1.取睡蓮葉片和人厭槐葉蘋葉片分別裁切成 1cm²的正方形。
- 2.分別放於方形盒(10×10×10cm³)中的兩個角落(如圖十所示)。
- 3.分別放入體長 1.0~1.2cm 無巢的幼蟲 10 隻，置於大花咸豐草葉片上。觀察並記錄幼蟲的選擇。



圖十:幼蟲做巢與植物種類之實驗

(四)幼蟲造巢時分泌黏性物質之成分

- 1.準備十隻水螟蛾幼蟲的巢，把幼蟲引導出來，將巢打開，刮下巢周圍之黏性物質，放在載玻片上，滴上清水並蓋上蓋玻片。
- 2.準備碘液、Biruet 試劑和 Sudan III 試劑分別測試黏性物質是否含有澱粉、蛋白質和脂質等成分。

四、水螟蛾幼蟲與巢的運動模式

(一) 幼蟲體長、體重、巢長、巢寬和巢重之間的關係

- 1.找尋十隻體長約 1.0~1.2cm 之水螟蛾幼蟲，測量其體長、體重、巢長、巢寬和巢重。
- 2.以 excel 分析相關性。

(二)不同重量的幼蟲與移動速度之關係

- 1.以水螟蛾幼蟲巢長軸中點作為運動質心(M)，以一段運動移動片段用 Movies Maker 播放，計算 M 初始與結束移動的直線距離(S)和時間(t)。
- 2.利用 excel 分析相關性。

(三)蟲體基本資料量測

1.找尋五隻體長約 1.0~1.2cm 之水螟蛾幼蟲，將其分別命名為(甲)、(乙)、(丙)、(丁)、(戊)。

2.量測照片中的數據，量測數據包含下列兩項：

(1)蟲體與巢的質量

將具有巢之水螟蛾幼蟲，稍微將水分拭乾，以電子天平秤取重量。

(2)靜止時蟲體的長度與寬度

水螟蛾幼蟲未運動前，在培養箱下方打光，測量有巢水螟蛾幼蟲之體長和體寬。

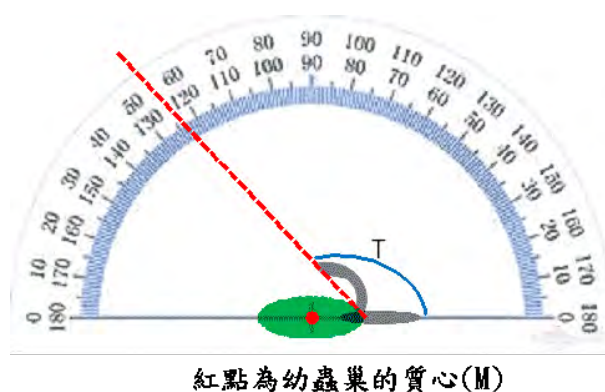
(3)運動時蟲體伸出體節與長度

利用高速攝影機錄下水螟蛾幼蟲運動過程，再利用movies maker擷取移動蟲體伸出體節與長度。

(四)分析水螟蛾幼蟲質心(M)直線運動

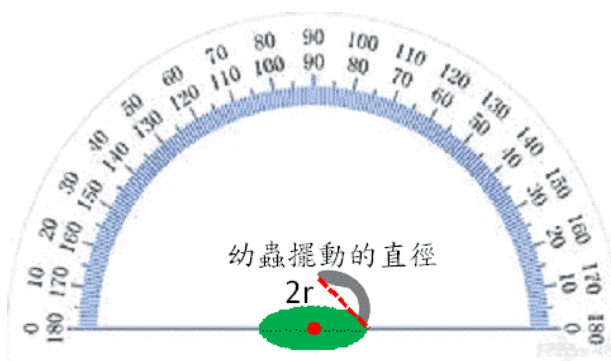
1.擺動角度和半徑測量方式

(1)以幼蟲頭部前端與巢長軸上的質心(M)呈一直線當作基準，量取幼蟲頭部擺動後與基準所夾的角度(θ)，如圖十一。



圖十一: 擺動角度之測量

(2)量取幼蟲的頭部頂端與巢前端的長度除以 2，即為擺動半徑(r)，如圖十二。



圖十二: 擺動半徑之測量

2.擺動的力量的計算

擺動的力量，計算公式如下：

角動量

$$L=I\omega$$

L 角動量；I 為轉動慣量； ω 角速度

$$\omega=\Theta \pi /180/t$$

Θ 為幼蟲擺動角度

因蟲體屬於一個有多個質點的系統，可以用無限個質點的轉動慣量和，所以用積分計算其轉動慣量。

轉動慣量

$$I=ml^2/3$$

m 為質量；l 為蟲體伸出長度

力矩

$$\tau = (t_2L-t_1L) / t_2-t_1 = lF$$

τ 為力矩；t 為時間；F 為擺動力量

擺動力量

$$F= \tau / l$$

3.直線運動

(1)以水螟蛾幼蟲(甲)之運動為例，選取影片中四段M移動為直線的過程，分別為a、b、c、d，a為直線前進第一次擺動；b為直線前進第二次擺動；c為直線前進另一段的的第一次擺動；d為直線前進另一段的第二次擺動。

(2)測量(甲)、(乙)、(丙)、(丁)、(戊)五隻幼蟲每段擺動的半徑(r)、角度(Θ)、距離(S)和時間(t)。

(3)利用Microsoft Office軟體分析r、 Θ 、S、t之間的相關性。

4.轉彎運動

- (1)以水螟蛾幼蟲(甲)之運動為例,選取影片中四段M移動為轉彎的過程,分別為a、b、c、d, a為轉彎前第一次擺動; b為轉彎後第二次擺動; c為轉彎後第三次擺動; d為轉彎後第四次擺動。
- (2)測量(甲)、(乙)、(丙)、(丁)、(戊)五隻幼蟲每段擺動的半徑(r)、角度(Θ)、距離(S)和時間(t)。
- (3)利用Microsoft Office軟體分析r、 Θ 、S、t之間的相關性。

(五)不同水流阻力對水螟蛾幼蟲移動之影響

- (1)準備一個魚缸(長 22 cm ×寬 18.5 cm×高 18.5 cm),放入可調整水流大小的沉水馬達。
- (2)設定水流速度 5、10、15、16 cm/s,架設好攝影機、直尺和睡蓮葉(圖十三)。
- (3)將有巢的水螟蛾放入,攝影紀錄水螟蛾移動過程。



圖十三:不同水流速度與幼蟲移動實驗

五、探討褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢的原因

(一)保護幼蟲

- 1.自水螟蛾幼蟲生存水域中,捕抓龍蟲、水蠶、大肚魚,分別放入有巢和無巢各兩隻之水螟蛾幼蟲(圖十四),觀察並紀錄水螟蛾幼蟲存活情況。



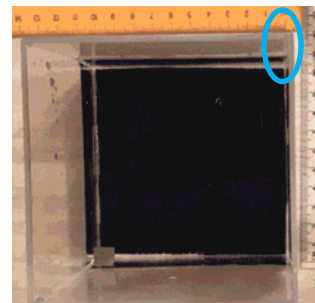
圖十四:有巢和無巢之水螟蛾幼蟲

2.因水鳥生性害羞，所以以雞隻代替，分別將有巢和無巢之水螟蛾幼蟲放在水深 1 cm 的淺盤中，觀察並紀錄水螟蛾幼蟲存活情況。

(二)浮力

1.有巢與無巢幼蟲的移動過程

- (1)準備正方形容器，在容器一端放置睡蓮葉片。
- (2)為了避免無巢水螟蛾移動有下沉的現象，實驗過程中水深為 3 cm。
- (3)將有巢與無巢之水螟蛾幼蟲分別放入正方形容器另一端，觀察並紀錄水螟蛾幼蟲活動情況(圖十五)。



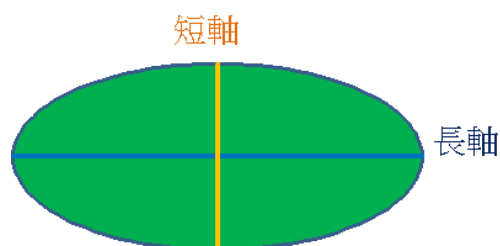
圖十五:無巢水螟蛾幼蟲移動至睡蓮葉之實驗裝置(藍色橢圓形處，為水螟蛾幼蟲放置處)

2.無巢幼蟲移動方式

- (1)準備塑膠淺盤使水深為 1cm，放入無巢的水螟蛾幼蟲。
- (2)利用攝影機記錄無巢幼蟲移動方式。

3.巢的形狀

量測 10 隻水螟蛾幼蟲大小範圍在 1.0~1.2cm 之間的巢，並分析長軸、短軸(圖十六)比例和幼蟲體長、體重之關係。



圖十六:巢之長軸與短軸

4.巢的浮力大小

- (1)以電子天平秤取透明塑膠片重量，每片 0.25 cm^2 的塑膠片重量為 0.0035g。
- (2)秤取每個巢的重量，將塑膠片放在巢的上方，計算巢下沉時塑膠片的數量。
- (3)另外準備兩片大小形狀相同的睡蓮葉片，同樣將塑膠片放在葉片上方，計算巢下沉時塑膠片的數量。

伍、實驗結果

一、水螟蛾幼蟲生存環境調查

(一)生存水域流速速度

經過實驗後我們發現在肉眼觀察流速較快為小池塘，流速為 2.5 cm/s，而肉眼觀察流速為靜止的大池塘，表面流速為 0 cm/s。

(二)大小池塘水中雜質



圖十七:大小池塘雜質

大池塘的雜質非常多，小池塘清澈見底。

(三)大小池塘水中動物調查

表一:水中動物調查結果

動物種類	大肚魚	水黽	龍蝨	水蠶	水鳥
大池塘	?	○	○	○	○
小池塘	○	○	×	×	×
	大肚魚是用肉眼看的，大池塘雜質太多無法確認，但有看到其他較大的魚類	用肉眼觀察到的	網子撈到的	網子撈到的	水鳥集中在八、九月出現

二、幼蟲對食物種類的選擇行為

(一)幼蟲對不同水生植物的攝食量

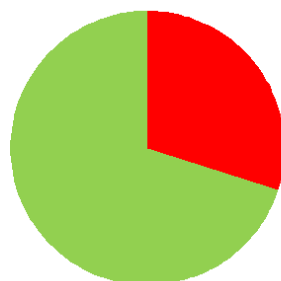
表二: 不同水生植物幼蟲的攝食量

項目 種類	攝食前葉片 重量(g)	攝食前葉片 面積(cm ²)	攝食後葉片 面積(g)	攝食面積 (cm ²)	攝食重量(g)
睡蓮葉	0.61	2751.764	2674.746	77.018	0.0171
台灣菱	0.47	1606.028	1574.467	31.661	0.0093
槐葉蘋	0.04	226.540	224.848	1.992	0.0004

在 24 小時後我們發現睡蓮葉幾乎被吃完了，而台灣菱葉則是有被啃咬的痕跡，槐葉萍葉則是沒有被吃過或是啃咬的痕跡。從表二中可看出幼蟲的攝食量:睡蓮>台灣菱>槐葉蘋的攝食量。睡蓮的攝食量約為台灣菱的 1.8 倍，為槐葉蘋的 42.8 倍；台灣菱則為槐葉蘋的 23.3 倍。

(二)幼蟲利用何種感官選擇食物

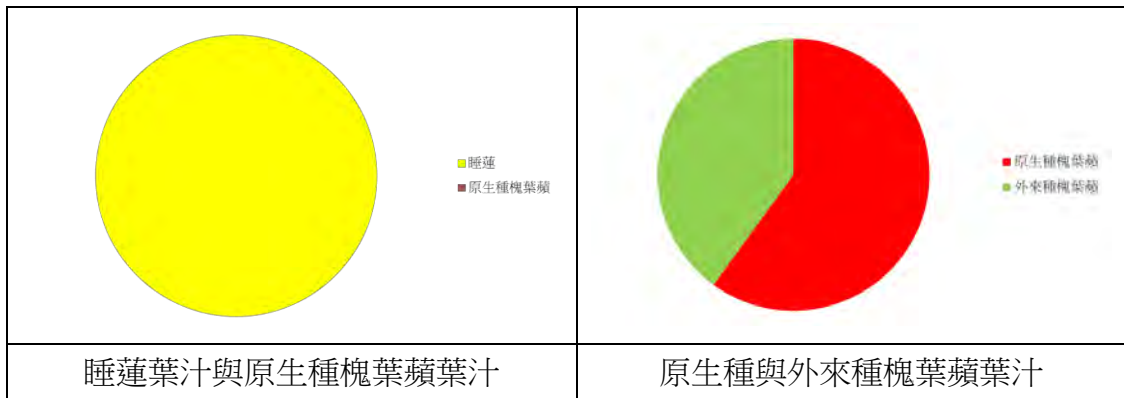
1.視覺



圖十八:水螟蛾幼蟲碰觸顏色的次數

水螟蛾幼蟲 70%會先往綠色移動，因色塊無法攝食，所以之後並未停留在任一色塊前。

2. 嗅覺



圖十九:水螟蛾幼蟲首先靠近植物種類葉汁的次數

水螟蛾幼蟲 100%會往滴有睡蓮葉汁液的一邊移動。幼蟲的氣味選擇和食物選擇相同。但 10 分鐘後，因味道已散開，又無發現食物，幼蟲就會到處移動。

(三)水螟蛾幼蟲對不同水生植物是否有選擇性

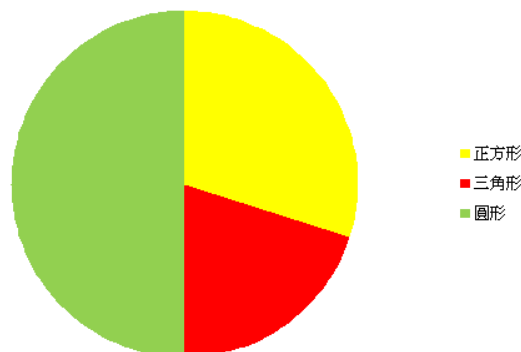
幼蟲優先選擇了睡蓮葉，次之為台灣菱葉，而槐葉蘋葉則是在沒有其他食物可選擇的情況下才攝食。

(四)是否會攝食陸生植物

水螟蛾幼蟲在實驗過程中，一開始會先攝食自身的巢，之後持續不給睡蓮、台灣菱或槐葉蘋等水生植物葉子，幼蟲才會選擇鳳尾菜，且給予面積大的葉片，幼蟲甚至會以此葉造巢；次之為地瓜葉，而高麗菜葉則因口感較硬，則是最後才考慮攝食的對象。

三、幼蟲造巢的選擇性

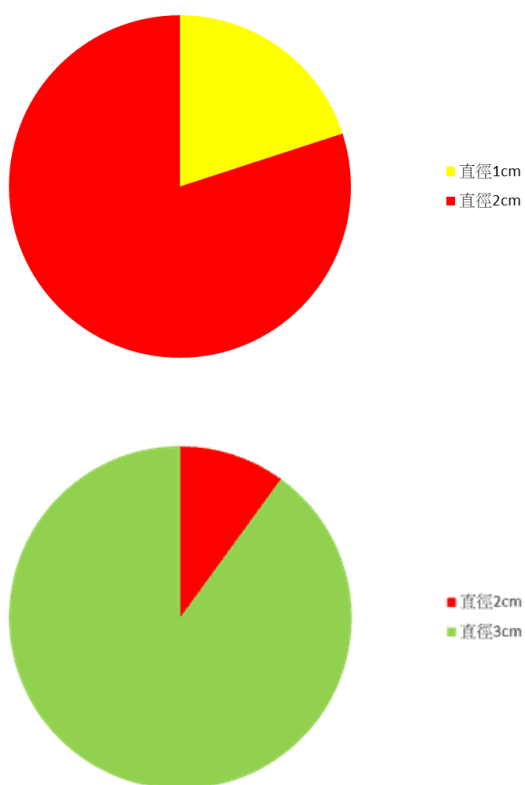
(一)葉片形狀對幼蟲做巢之影響



圖二十:葉片形狀對幼蟲做巢的關係

幼蟲 50%選擇圓形葉片做巢，其它依序為正方形和三角形。

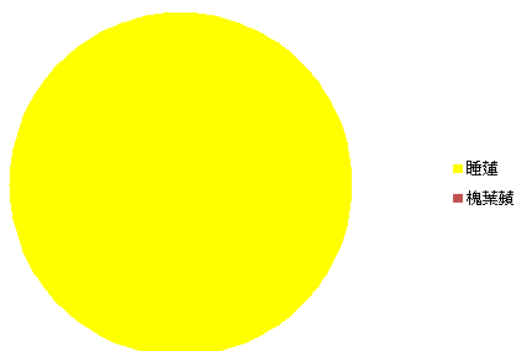
(二)葉片大小對幼蟲做巢之影響



圖二十一:葉片大小與幼蟲做巢的關係

幼蟲會選擇直徑大的葉片，並咬成適當大小製作自己的巢。

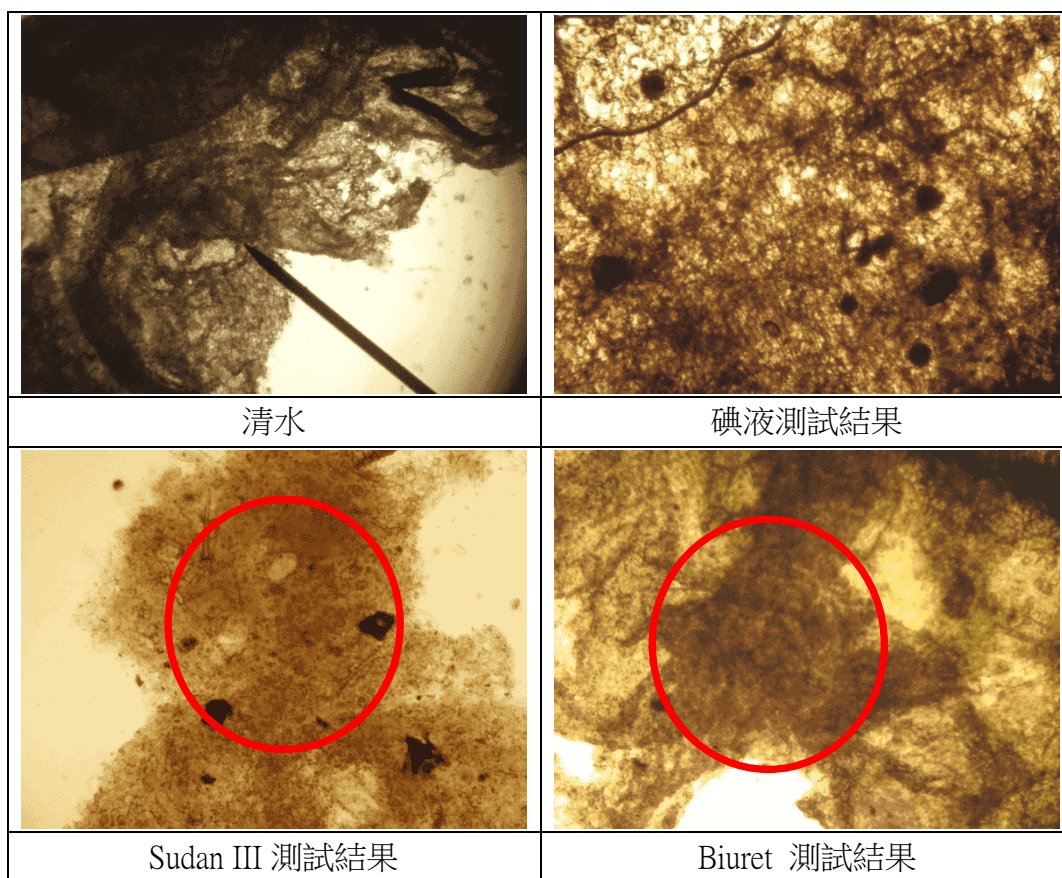
(三)幼蟲是否會依對食物喜好性選擇造巢葉片種類



圖二十二: 幼蟲選擇造巢葉片種類

幼蟲選擇牠最喜愛攝食的種類—睡蓮葉造巢。

(四)幼蟲造巢時分泌黏性物質之成分

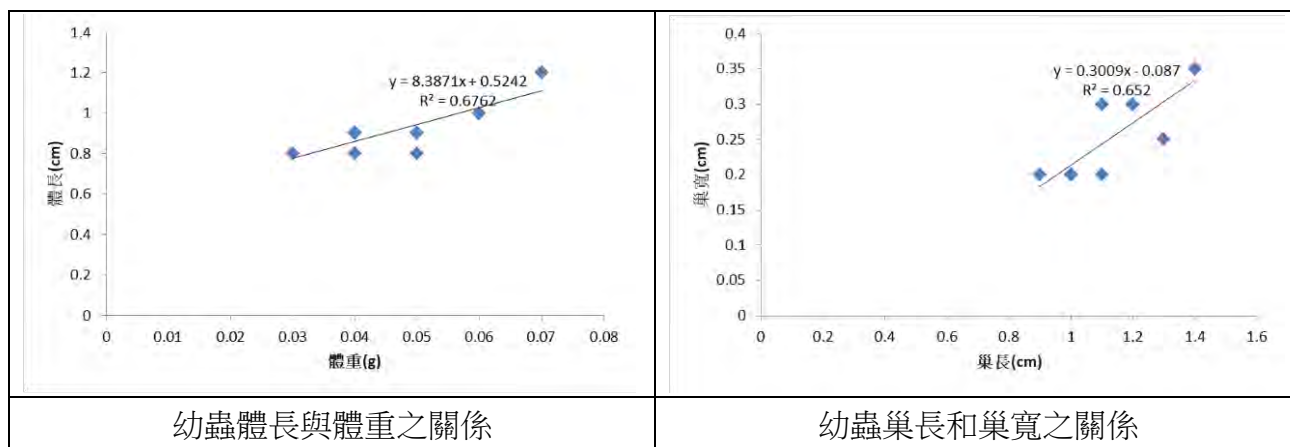


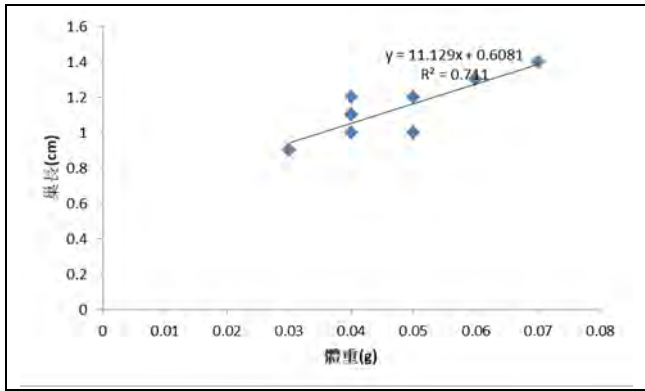
圖二十三:碘液、Sudan III 試劑和 Biuret 試劑測試黏性物質的成分

利用碘液測試發現黏性物質不含澱粉成分，但利用 Sudan III 試劑和 Biuret 試劑測試結果分別呈現紅色和紫紅色，代表黏性物質含有脂質和蛋白質的成分。

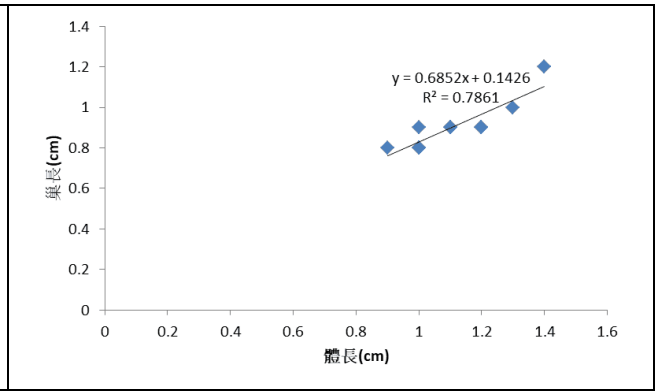
四、探索水螟蛾幼蟲與巢的運動模式

(一) 幼蟲體長、體重、巢長、巢寬和巢重之間的關係

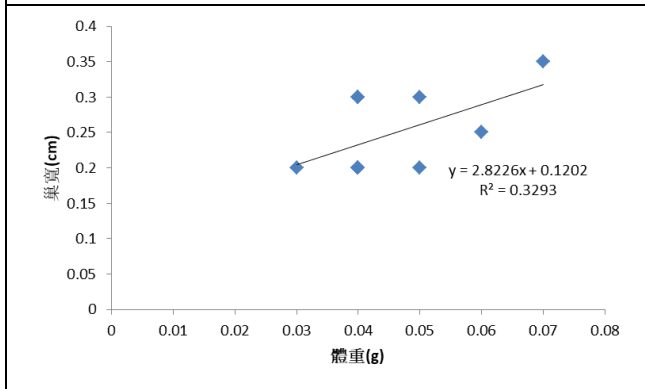




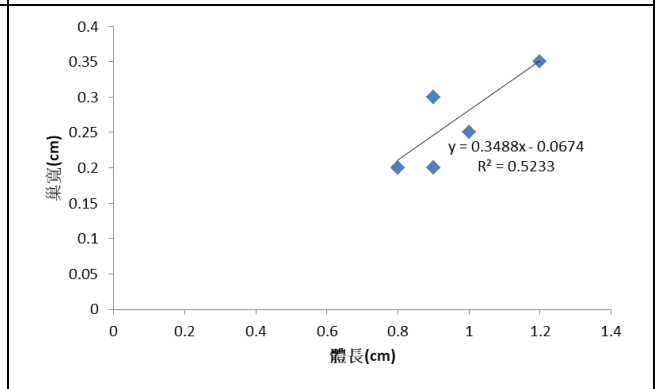
幼蟲體重和巢長之關係



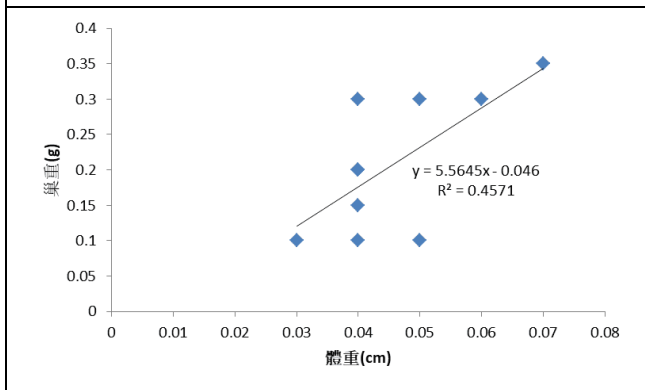
幼蟲體長和巢長之關係



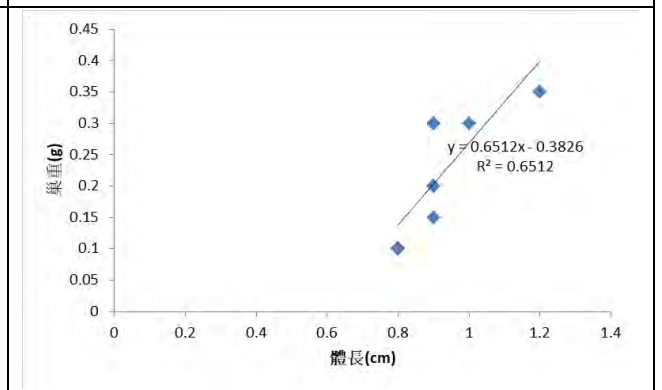
幼蟲體重和巢寬之關係



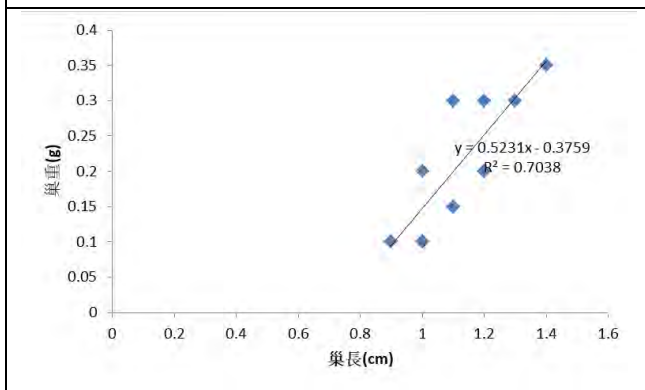
幼蟲體長和巢寬之關係



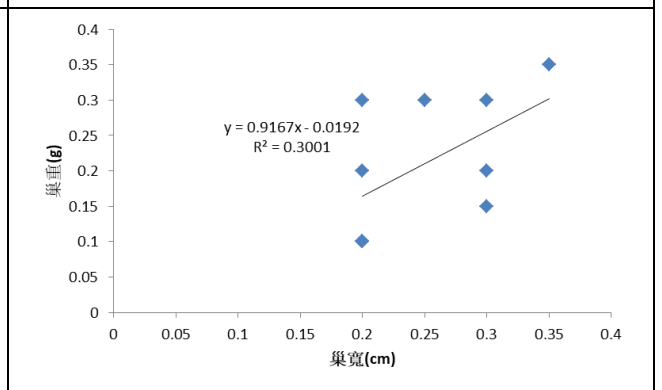
幼蟲體重和巢重之關係



幼蟲體長和巢重之關係



幼蟲巢長與巢重之關係

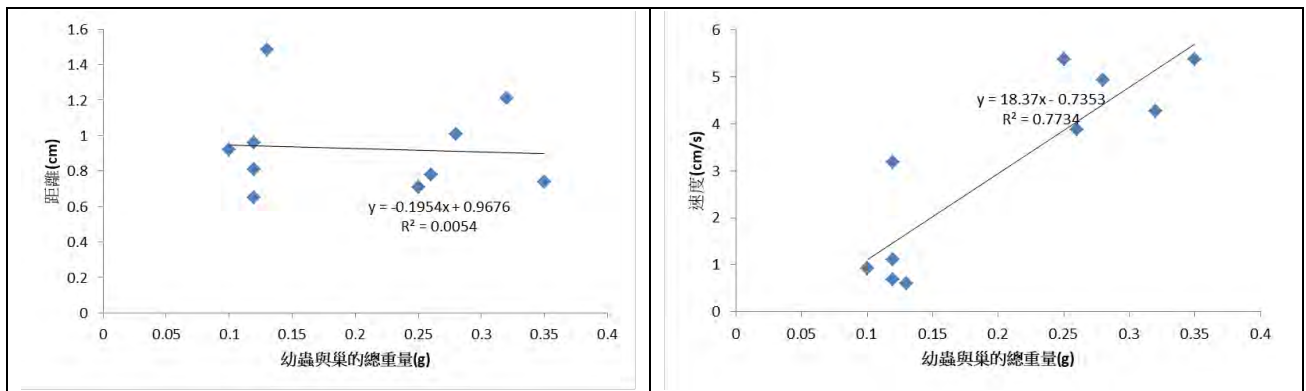


幼蟲巢寬與巢重之關係

圖二十四:幼蟲體長、體重、巢長、巢寬和巢重之間的關係

幼蟲體重和巢寬、巢寬和巢重呈低度相關；幼蟲體長和體重、巢長和巢寬、體長和巢寬、體重和巢重、體長和巢重呈中度相關；但幼蟲體重、體長、巢重皆與巢長呈高度相關。

(二)幼蟲和巢的重量、長度與移動速度之關係



圖二十五:幼蟲和巢的總重量與移動距離及速度之關係

幼蟲和巢的重量與移動速度相關性為 0.77。因此幼蟲和巢的重量愈大，移動速度愈快。

(三)幼蟲運動方式與基本資料之量測



圖二十六:有巢水螟蛾幼蟲運動方式

根據四(一)和(二)之結果，幼蟲移動速度與幼蟲和巢的重量呈高度相關，因此要進一步了解幼蟲運動模式，我們選用體長 1.0~1.2 cm 的水螟蛾幼蟲進行實驗。

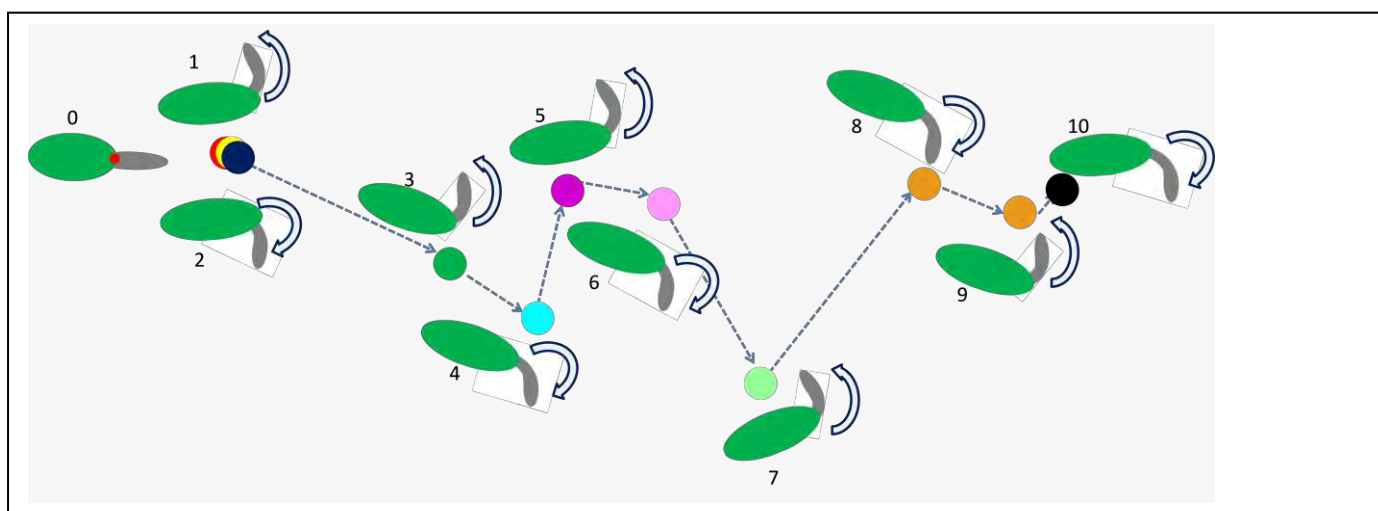
表二:幼蟲運動時體節與體長的量測結果

代號	項目	體節數	體長(cm)	移動時伸出的體節數	移動時伸出的體節平均長度(cm)
甲		13	1.1	7	0.65
乙		13	1.2	7	0.65
丙		13	1.0	7	0.53
丁		13	1.1	7	0.59
戊		13	1.0	7	0.53
數目或平均		13	1.1±0.1	7	0.59±0.06

五隻實驗幼蟲皆為 13 個體節，平均體長約 1.1±0.1 cm；移動時伸出 7 個體節，約 0.59±0.06 cm。

(四)水螟蛾幼蟲與巢的運動過程

1.水螟蛾幼蟲巢前端中心點移動路徑

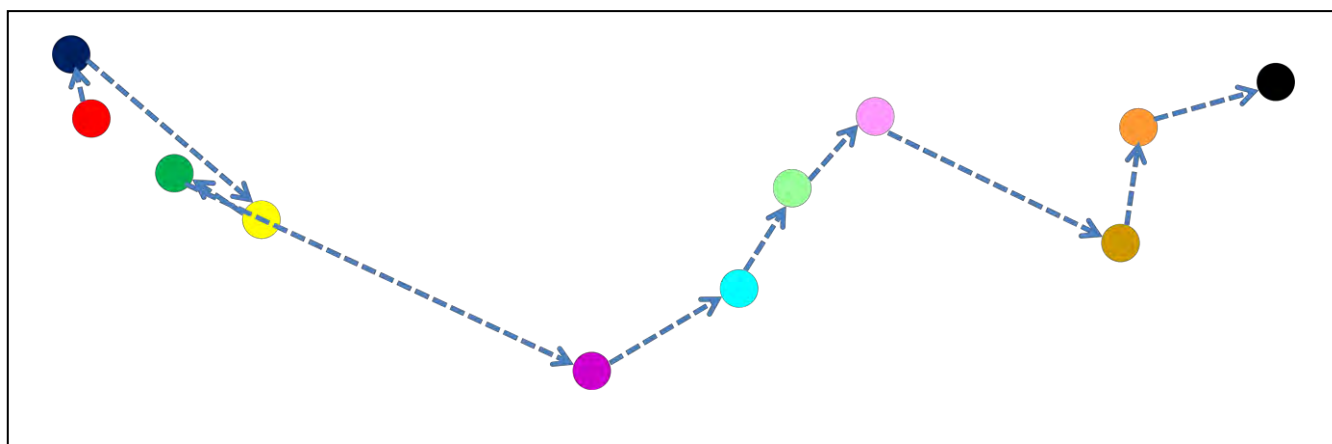


圖二十七: 水螟蛾幼蟲與巢運動過程示意圖

圖二十七:編號甲的水螟蛾幼蟲某段運動路徑與巢前端中點移動過程

位置 0 的紅點處為巢前端中心點。水螟蛾幼蟲從靜止到開始移動，需要擺動 2 次，巢前端才會離開原先靜止的地方。分析結果發現此段運動路徑巢前端中心點每次在頭部左右各擺動一次後，與第三次擺動後的位置非呈一直線。

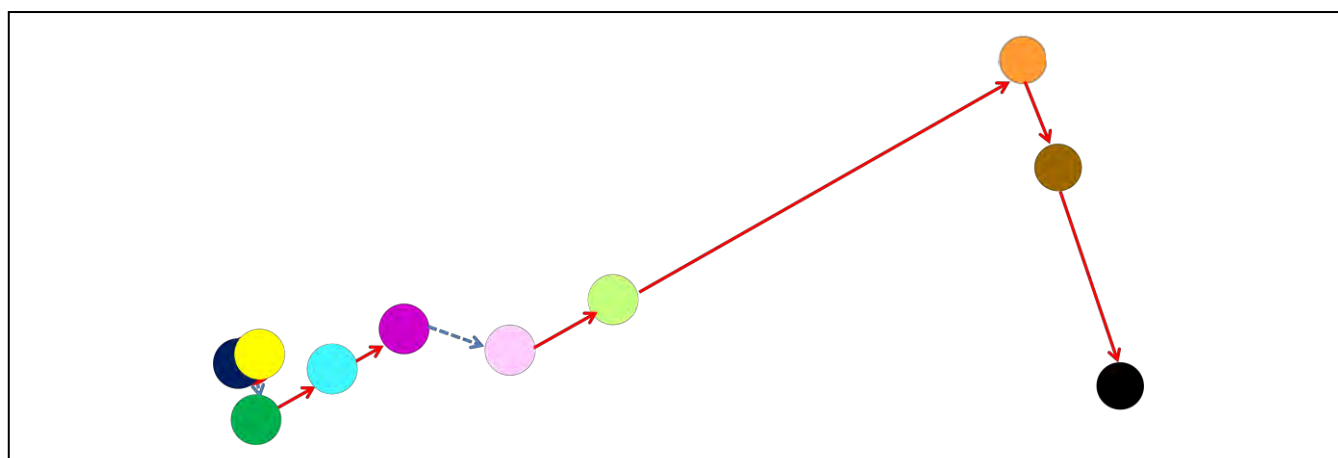
2.水螟蛾幼蟲頭部頂端移動路徑



圖二十八:編號甲的水螟蛾幼蟲某段運動路徑與頭部擺動一次後的位置

幼蟲帶著巢移動是靠頭部擺動的力量，分析結果發現在頭部左右各擺動一次後，與第三次擺動後的位置非呈一直線。

3.水螟蛾幼蟲巢的質心(M)移動路徑



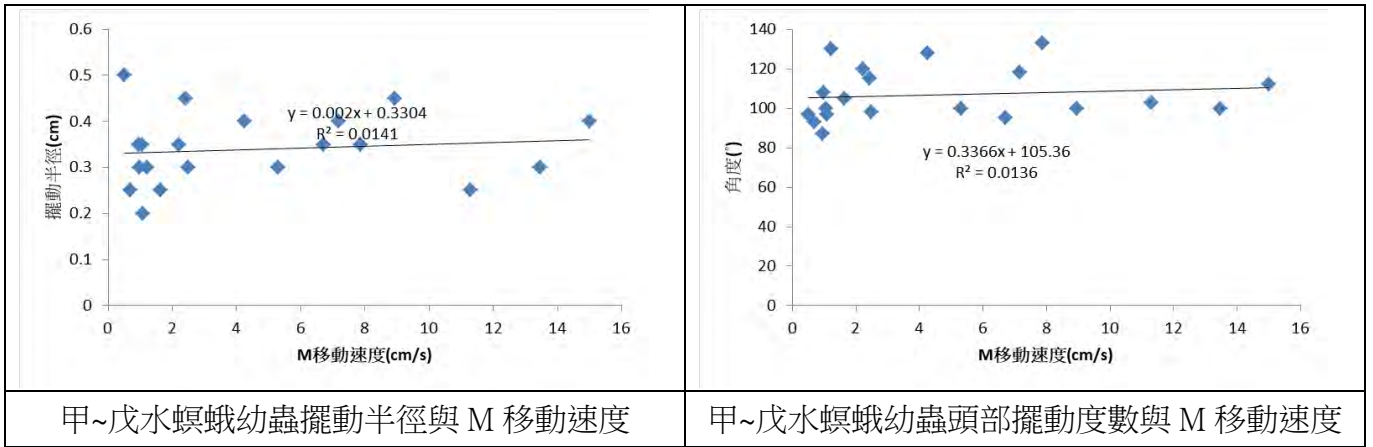
圖二十九:編號(甲)的水螟蛾幼蟲某段運動路徑與頭部擺動一次後的 M 位置

幼蟲的巢比幼蟲體重多 2~6 倍，因此我們以巢的長軸中心當作 M。分析結果發現部分路徑在頭部左右各擺動一次後，與第三次擺動後的位置會呈現趨近一直線的情況。紅色線條為水螟蛾幼蟲 M 移動呈現趨近一直線的路徑。

為了進一步了解幼蟲移動受 r 和 θ 的影響，避免其他因素干擾，我們以 M 移動呈現趨近一直線的路徑，測量頭部左右擺動一次的 r 、 θ 、擺動一次所需 t 及擺動一次的 S 。

(五)影響水螟蛾幼蟲與巢直線移動速度的因素

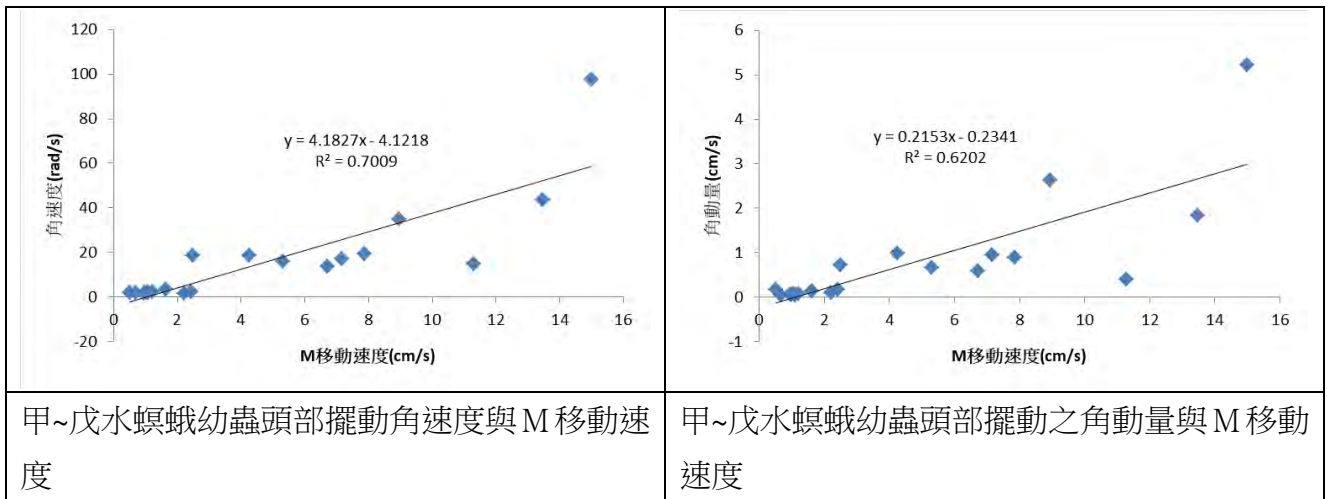
1.擺動半徑(r)、擺動角度(Θ)與質心(M)移動速度

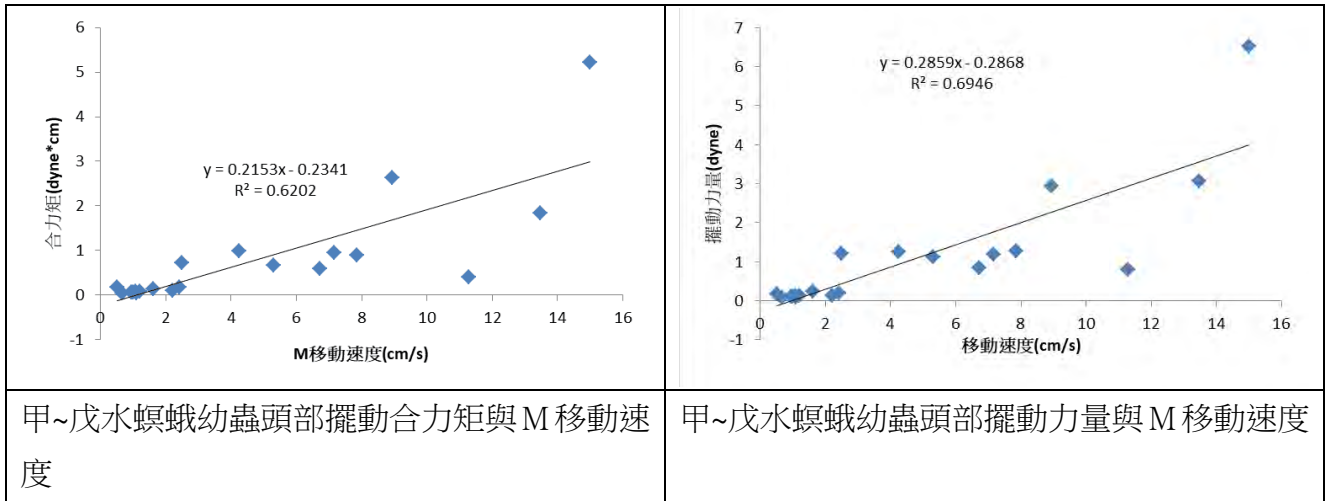


圖三十:擺動半徑(r)、擺動角度(Θ)與質心(M)移動速度之關係

實驗分析結果水螟蛾幼蟲 M 移動速度與擺動半徑、頭部擺動度數，幾乎不相關。

3.角速度、角動量、合力矩、擺動力量與質心(M)移動速度之關係



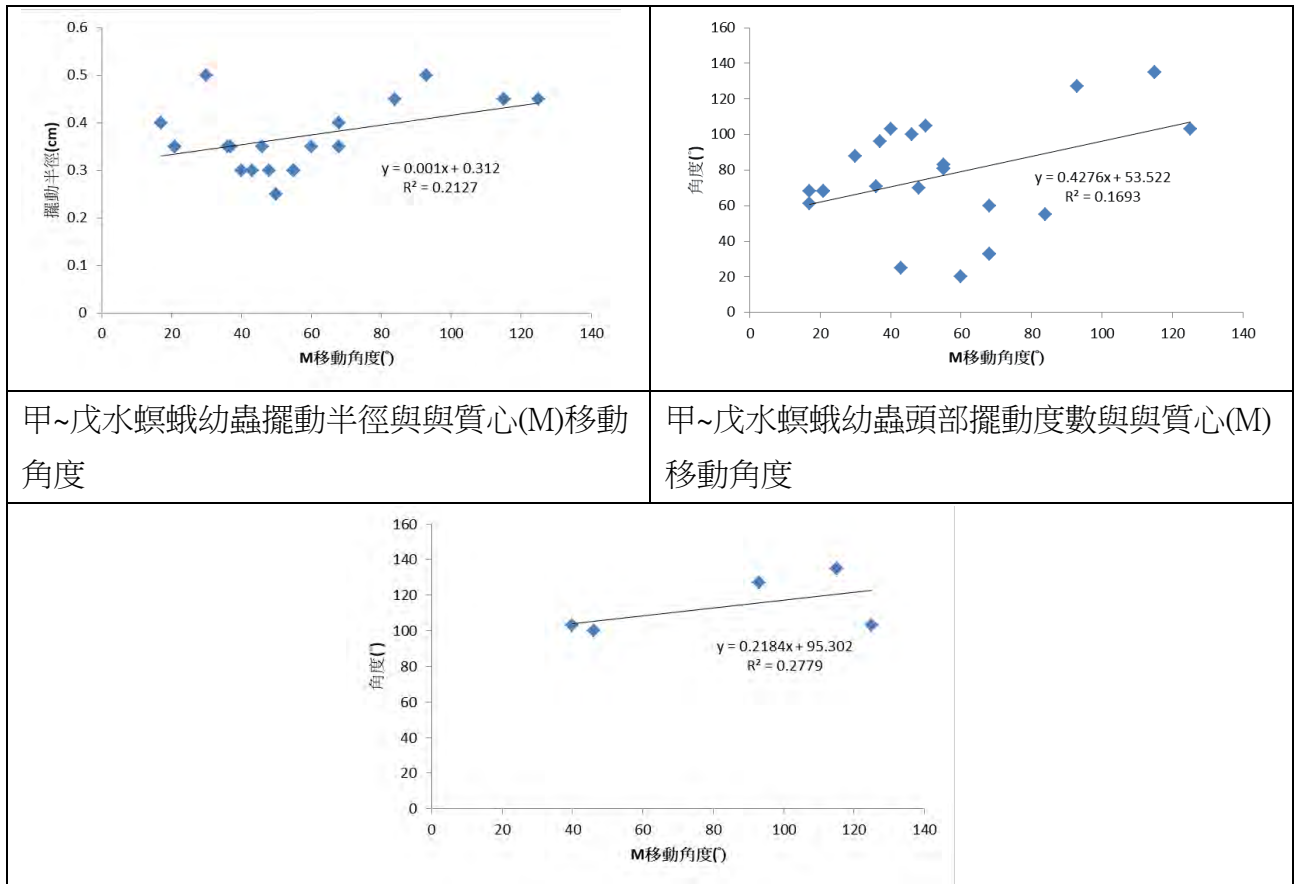


圖三十一：甲~戊水螟蛾幼蟲角速度、角動量、合力矩、擺動力量與質心(M)移動速度之關係

實驗分析結果水螟蛾幼蟲 M 移動速度與幼蟲頭部擺動之角動量、合力矩、擺動力量呈中度相關；與角速度呈高度相關。

(五)影響水螟蛾幼蟲與巢轉彎移動的因素

1.擺動半徑(r)與質心(M)移動角度



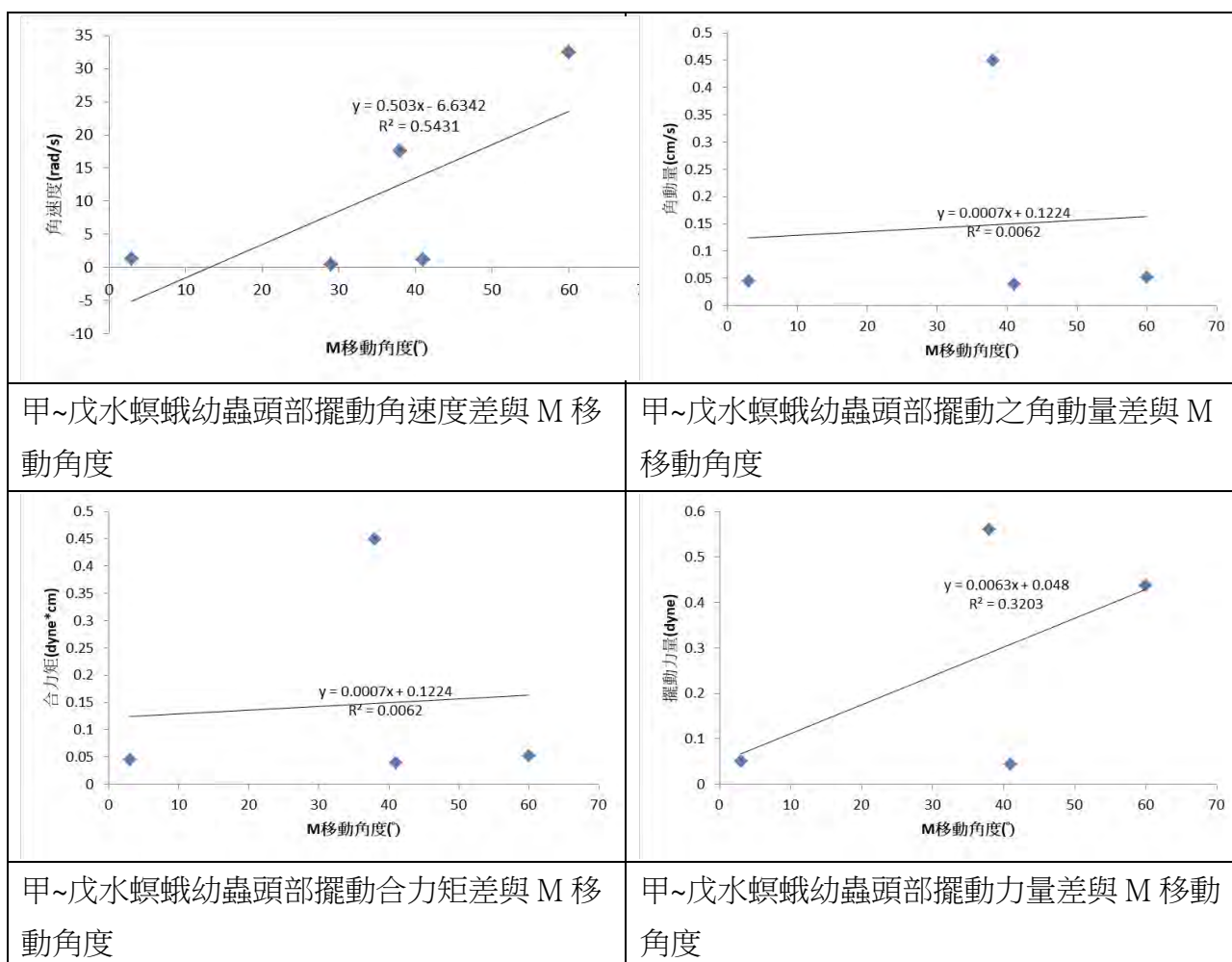
甲~戊水螟蛾幼蟲頭部擺動度數差與質心(M)移動角度

圖三十二：甲~戊水螟蛾幼蟲擺動半徑、頭部擺動角度與 M 移動角度

實驗分析結果水螟蛾幼蟲 M 移動角度與擺動半徑、頭部擺動角度皆呈低度相關。

2. 角速度差、角動量差、合力矩差和擺動力量差與質心(M)移動角度之關係

水螟蛾幼蟲進行轉彎時，該次左右擺動會造成質心(M)移動較大的角度，因此我們分析該次幼蟲左右擺動的角速度差、角動量差、合力矩差和擺動力量差與質心(M)移動角度的關係。



圖三十三: 甲~戊水螟蛾幼蟲頭部擺動角速度差、角動量差、合力矩差和擺動力量差與質心(M)移動角度之關係

實驗分析結果水螟蛾幼蟲 M 移動角度與幼蟲頭部擺動角動量差、合力矩差幾乎不相關；與轉彎時的擺動力量，兩者呈現低度相關；與角速度差呈中度相關。

(四)不同水流速度對水螟蛾幼蟲移動之影響

表三:不同水流速度對有巢水螟蛾幼蟲移動之影響

水流速度 (cm/s)	幼蟲移動速度(cm/s)				備註
	一	二	三	平均	
5	0.13	0.13	0.11	0.12±0.012	幼蟲帶著巢以擺動方式前進
10	0.08	0.08	0.08	0.08	幼蟲帶著巢以擺動方式前進 幼蟲無法帶著巢以擺動方式前進
15	0.04	0.06	0.06	0.05±0.012	牠需靠著壁，以毛蟲運動爬行
16	0	0	0	0	幼蟲無法前進，直接被水沖走

水流速度愈大，水螟蛾幼蟲移動速度愈慢。水流速度大於 15 cm/s，幼蟲無法以擺動方式前進，牠需沿著壁，以毛蟲運動爬行。水流速度大於 16 cm/s 幼蟲無法前進，直接被水沖走。

五、探討褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢的原因

(一)天敵

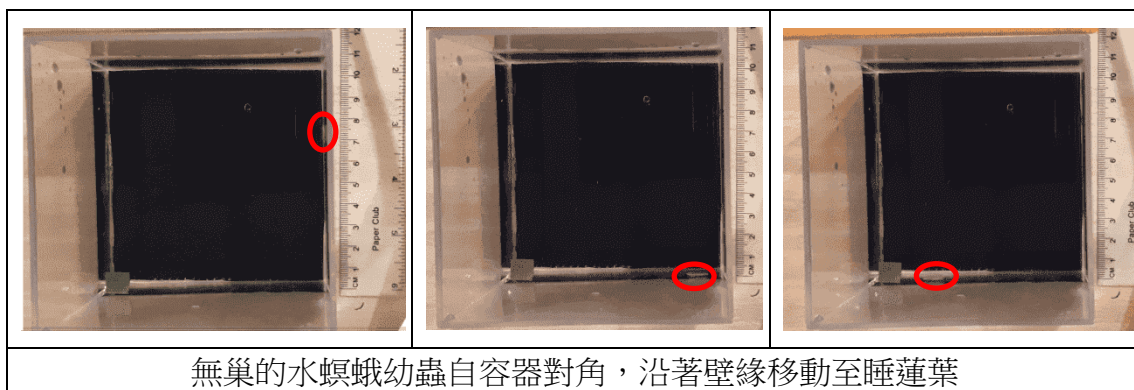
表四:不同生物面對有巢與無巢水螟蛾幼蟲之反應

生物種類	組別	有巢之水	無巢之水	備註
		螟蛾幼蟲	螟蛾幼蟲	
龍蝨		未攝食	未攝食	會稍微碰觸一下無巢的水螟蛾幼蟲，但一下就離開了。
水蠶		未攝食	未攝食	皆未碰觸水螟蛾幼蟲
大肚魚		未攝食	未攝食	會稍微啄一下無巢的水螟蛾幼蟲，但一下就沒興趣了。
鳥		未攝食	攝食	剛把水螟蛾幼蟲放在鳥的活動範圍時，鳥一開始是不敢靠近，待一段時間後，鳥開始啄食(因無巢幼蟲消失了)，但卻不啄食有巢的幼蟲(因有巢幼蟲皆存活)。

實驗過程中發現龍蟲、水蠶和大肚魚對有巢和無巢之水螟蛾幼蟲沒有攝食行為。在自然水域中的水鳥，因為不易近距離觀察，所以我們以雞代替進行實驗。我們觀察鳥最先試啄一下無巢的水螟蛾幼蟲，之後就吃掉了。但鳥卻不會啄食有巢的水螟蛾幼蟲，兩天後有巢的水螟蛾幼蟲依然存活。

(二)浮力

1.有巢與無巢幼蟲在水中的移動過程



圖三十四: 無巢的水螟蛾幼蟲移動過程

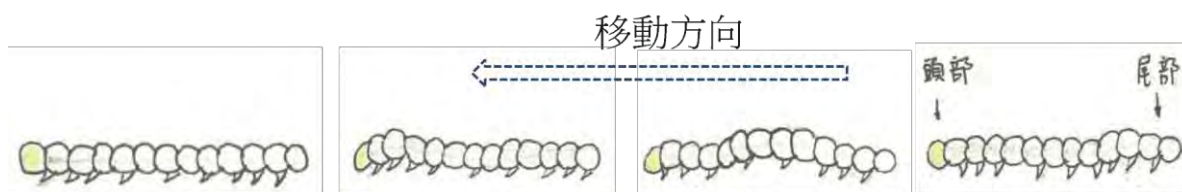
無巢的水螟蛾幼蟲移動方式有兩種，一為直接沿著容器壁緣；另一種則是下沉至水底，移動一小段距離後，浮到水面上，慢慢移動到食物位置。為避免水螟蛾下沉無法計算路徑長度，所以水深只有 3 cm。如無限制水深，水螟蛾幼蟲移動速度則會更慢。

表五:比較無巢和有巢之水螟蛾幼蟲移動速度

編號					平均
		1	2	3	
組別					
無巢的水 螟蛾幼蟲	時間(s)	360	420	324	368±48
	距離(cm)	20	20	20	20
	速度(cm/s)	0.056	0.048	0.062	0.055±0.007
有巢的水 螟蛾幼蟲	時間(s)	36	30	21	29±7.6
	距離(cm)	11.5	11.5	11.5	11.5
	速度(cm/s)	0.319	0.383	0.548	0.416±0.118

無巢水螟蛾沿著壁緣的移動方式為毛蟲運動。而有巢的水螟蛾幼蟲不僅移動到目標的距離短，且移動速度較無巢的快很多。

2.無巢幼蟲水淺時的移動方式



圖三十五:無巢幼蟲移動時身體變化

身體後端的體節會先離開地面，並縮收向前，之後再碰觸地面當作施力點緩慢向前行。無巢幼蟲移動速度為 0.060 cm/s。

3.巢的形狀

表六:水螟蛾幼蟲短軸和長軸之比值

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
巢的長軸(cm)	1.2	1.2	1.4	1.3	1	1.1	0.9	1	1.1	1	1.12±0.15
巢的短軸(cm)	0.3	0.3	0.35	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.25±0.06

巢的形狀呈橢圓形，平均短軸/長軸的值為 0.22。巢的長軸與短軸之相關係數為 0.81，屬高度相關。巢的長軸分別與幼蟲體長及體重的相關係數分別為 0.89 和 0.84，皆呈高度相關。

4.巢的浮力大小

表七:巢與葉片的浮力比較

塑膠片數目	1	2	3	4	5	平均
長軸	1.5	1.5	2.4	2.1	1.8	1.9±0.39
短軸	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	3.5±0.04
重量(巢重/葉重)	0.02/0.05	0.04/0.05	0.08/0.10	0.05/0.060	0.04/0.05	0.05±0.02/ 0.06±0.02
水螟蛾巢的浮力 (片數)	40	44	63	80	52	55±16.13
葉片浮力(片數)	25	23	31	37	27	28±5.55

利用兩片葉片模擬水螟蛾的巢(大小和平面形狀)，實驗結果水螟蛾巢的浮力幾乎是葉片浮力的兩倍。

陸、討論

水螟蛾幼蟲會吃睡蓮葉、台灣菱、水草等水生植物，會影響這些生物的經濟價值與生存。我們上網查了防治的方法，發現行政院農業委員會動植物防疫檢疫局提供使用農藥種類和範圍的資料。但詢問我們採樣池塘附近的工作人員，施灑農藥效果只是一時，不久蟲害又開始嚴重了，而且會破壞水生生態，造成其他生物的死亡。兩個池塘的水生植物在6~7月時，皆被咬的破爛不堪，但到了8月，我們發現大的池塘已很難發現水螟蛾幼蟲的痕跡，可是小水池水螟蛾幼蟲還是非常多，甚至到了11~12月還是數量不少。我們很好奇兩個池子到底為甚麼差異那麼大，所以我們比較兩個實驗採樣區域，將兩者環境的生物因子和環境因子進行比較。

表八:大小池塘的環境與生物因子之比較

生態因子 \ 池子種類		大池塘	小池塘
環境因子	水的酸鹼值	中性	中性
	水中雜質量	雜質多	雜質少
	水流速度	0cm/s	2.5cm/s
生物因子	龍蝨	○	×
	水蠶	○	×
	大肚魚	?	○
	水鳥	○	×

之前有報告指出，水螟蛾幼蟲喜歡棲息在流速緩慢的水域環境，像池塘或小水池，這對造巢及覓食有極大幫助(陳等人，2004)。但野外觀察，水流速度達2.5cm/sec的池塘，並不會影響水螟蛾幼蟲生存。水流阻力實驗水流速度達10 cm/s，水螟蛾幼蟲亦可帶著巢以擺動方式移動。水流速度甚至達15 cm/s，幼蟲可以毛蟲運動帶著巢爬行壁緣，碰到目標葉片，會將葉片夾在巢的中間以固定葉片，方便攝食(表三)。

小水池中的水螟蛾幼蟲終年都可以發現蹤跡，其生存環境生物多樣性低，水生昆蟲種類少亦無水鳥棲息。在大池塘中有各種肉食性昆蟲，例如龍蝨，幼蟲和成蟲皆有強壯的大顎，均以肉食性為主。但實驗證明，這些昆蟲並未攝食水螟

蛾幼蟲。也因為大水池的生物多樣性較高，環境天然且少人為干擾，八月會有水鳥棲息甚至造巢於此處，水螟蛾幼蟲亦在八月左右數量下降。利用雞隻實驗，確實會啄食水螟蛾幼蟲(表四)。因此推論水鳥應為水螟蛾幼蟲最大天敵。

水螟蛾是陸生昆蟲，在幼蟲期卻以水生植物為食如睡蓮、台灣菱、滿江紅、青萍、槐葉蘋等，本研究發現水螟蛾幼蟲也會攝食其他陸生的葉菜類，例如鳳尾菜、地瓜葉。水螟蛾幼蟲做巢的選擇和食物喜好的順序相同，依序為睡蓮葉，其次為台灣菱葉，最後則是槐葉蘋葉。實驗過程中，我們亦發現水螟蛾幼蟲有攝食自己巢的現象，因此幼蟲做巢葉片種類的選擇和食物喜好的順序相同，就有合理的解釋。之前有研究指出黑紋塘水螟蛾(*Elophila nigrablis*)巢材大多以槐葉蘋為主(陳等人，2004)，但褐帶紋水螟蛾(*P. crisonalis*)幼蟲巢材以睡蓮為主，不太喜愛利用槐葉蘋造巢。推測可能原因是水螟蛾種類不同，亦或前人實驗未比較睡蓮葉與槐葉蘋。至於水螟蛾幼蟲是利用何種感官選擇葉片種類，實驗證明主要是嗅覺，準確率高達 100%(圖十九)，而視覺的實驗結果卻沒有顯著差異(圖十八)，推測原因可能與水螟蛾幼蟲的習性有關，幼蟲在晚上活動力旺盛，主要攝食時間亦在晚上。

無巢的水螟蛾幼蟲在水底的運動方式為身體後端的體節會先離開地面，並縮收向前，之後再碰觸地面當作施力點緩慢向前行(圖三十五)。我們查到的資料，這種運動方式是典型的毛蟲運動形式。有些大型蛇類的運動方式也是如此如蟒蛇，它們大型的腹鱗會離開地面並藉由腹部肌肉縮收向前，之後再碰觸地面當為施力點緩慢向前行。

有巢的水螟蛾幼蟲在水面上以身體左右擺動的方式，頭部類似像槳一樣，利用水的阻力向前(圖二十七)。本次研究發現幼蟲移動速度與擺動半徑、擺動角度無直接關係(圖三十)，不過幼蟲位移速度卻與角速度(圖三十一)呈現中度相關，觀察分析資料時，我們發現幼蟲頭部擺動角度超過 100°，不但位移距離近，甚至會在原地打轉。在分析資料過程中幼蟲頭部擺動角度、角速度與位移距離呈負的低度相關。這就像划船的力學原理，力臂愈大，力矩愈大，船所受到的作用也愈大，所以選手必須將手及身盡量向前使力臂加長，力矩也加大。如果選手是將手臂由旁邊划至後面，則船只能在原地打轉，而無法前進。我們也發現編號甲的幼蟲要從靜止到開始移動時，左右擺動角度分別為 83°和 153°，但水螟蛾幼蟲質心幾乎未移動，這就像靜止中的船要出發，起動力必須很大。水螟蛾幼蟲轉彎時，需要整個 M 要移動角度，幼蟲如 M 要改變方向，則該次擺動的角速度明顯大於後續擺動之角速度，因此角速度與 M 移動角度呈中度相關(圖三十三)。

經過實驗觀察，歸納水螟蛾幼蟲移動方式，有以下二種:

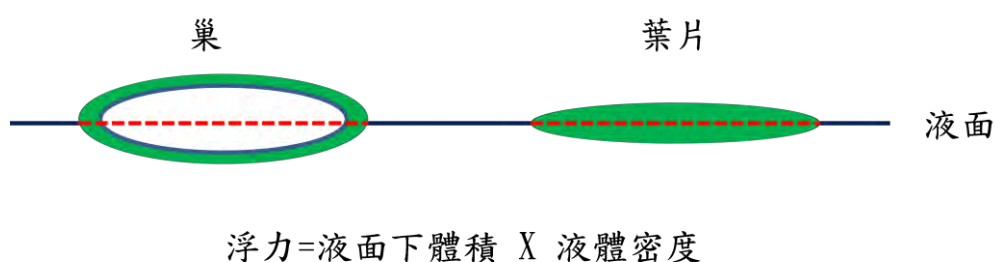
表九:水螟蛾幼蟲移動方式之比較

方式	有無巢	移動方向	速度 (cm/s)	備註
毛蟲運動	無巢或 有巢	身體後端的體節會先離開地面，並縮收向前，之後再碰觸地面當作施力點緩慢向前行。	0.060	發生在水淺處，或短時間沉至水底，或水流強勁時
S 型運動	有巢	左右擺動	0.342	浮在水面上

水螟蛾做巢的原因我們推測可能有兩種，一為保護自己避免天敵發現；另一為增加浮力，讓自己移動更有效率。根據野外觀察，水螟蛾幼蟲數量在較清澈與水流速度較快的池塘數量較多，實地觀察發現這個池子龍蟲、水蠶、大肚魚數量較少(表一)，因此我們實驗一些肉食性的水生昆蟲和魚類，觀察是否會攝食水螟蛾幼蟲，結果發現並不會攝食(表四)。而無巢的水螟蛾幼蟲時的移動路線可延著容器邊緣移動(圖三十三)或沉到水底，慢慢移動到目標(圖三十五)。因為幼蟲缺乏在水中的呼吸器官，所以利用沉到水底移動的方式，也大概只能撐 10 秒左右。測量其移動速率，發現有巢的水螟蛾幼蟲，雖然帶著比身體重可達 2~6 倍的巢，可是移動到目的所需時間卻比無巢的快(表五和表九)，所以巢可增加浮力方便水螟蛾幼蟲移動，應為水螟蛾做巢的原因之一。而我們野外觀察和查詢資料顯示水螟蛾約在每年八月數量會減少，在大池塘這正是水鳥處交配、築巢的時間，我們思考鳥類攝食是否會是水螟蛾做巢的原因之一，但水鳥生性害羞，不易靠近，所以我們利用雞隻代替水鳥，結果無巢的水螟蛾幼蟲被雞吃掉了(表四)。因此我們認為水螟蛾做巢的原因除增加浮力，讓自己移動更有效率，另外也是為了保護自己避免天敵鳥類發現。

巢為幼蟲的保護構造，亦為增加浮力的來源，所以實驗中有大於自己體長的葉片可選擇時，幼蟲不會選擇小於或等於幼蟲體長的葉片(圖二十四)。此情形與我們在自然界中觀察到的相同，幼蟲會選擇睡蓮葉或台灣菱的葉片來造巢，而較少選擇滿江紅、浮萍來造巢。影響水的阻力其中一個重要因素是物體的形狀，上網查詢資料顯示阻力由小到大的形狀依次為流線形、三角形、圓形、長方形，水螟蛾幼蟲的巢形狀呈橢圓形，近似流線形，代表巢在水流中所受的阻力相對較小。我們進一步查詢資料，發現流線形其短軸和長軸的比值在 0.2 和 0.3 之間阻力係數最小。而根據本研究，水螟蛾幼蟲巢的短軸與長軸的比值為 0.22(表六)。摩擦阻力的大小在很大程度上，取決於物體表面的光滑程度。表面越光滑，摩擦

阻力就小。表面若粗糙不平，則會產生很大的摩擦阻力。水螟蛾幼蟲利用葉片造巢，會將葉片的光滑面朝外，粗糙面朝內，此一方式亦可降低摩擦阻力。之前研究黑紋塘水螟蛾利用槐葉蘋造巢認為葉背朝內，是因內層沒有突出的細毛才不會阻礙幼蟲爬行(陳等人，2004)。但本實驗研究結果卻發現表面光滑的睡蓮與台灣菱葉片，葉面皆巢上，推測應與保護色有關。而葉背朝內，葉背有葉脈會形成很多空隙，這些空隙間存有空氣，推測應可供幼蟲躲藏在巢中呼吸及增加浮力。我們也比較兩片葉片與巢的浮力比較，巢的中央為攏起，除幼蟲可藏身於其中，而且巢的浮力比兩片葉片幾乎大 2 倍(表七)，因為巢在液面下的體積大於葉片(圖四十)。



圖三十六:幼蟲的巢與模擬巢的葉片分別浮在液面上的示意圖

經過一連串的實驗證明及推論，我們認為水螟蛾幼蟲造巢的理由，有以下幾點:

1. **食物:**造巢葉片種類為水螟蛾幼蟲食物，食物不足時，可隨時供幼蟲食用。
2. **呼吸:**巢的內部為兩片葉子的葉背，幼蟲白天躲在巢中可以有空氣呼吸。
3. **保護:**巢的外表為兩片葉子的葉面，天敵不易發現。
4. **移動:**巢成橢圓形，可降低水的阻力，比無巢的幼蟲移動速度快。
5. **浮力:**幼蟲無法在水中呼吸，故無法長時間停留在水中，巢可提供幼蟲浮在水面上的能力。且巢的立體空心結構，亦可使浮力增加。

柒、結論

褐帶紋水螟蛾(*P. crisonalis*) 幼蟲為了增加身體浮力使移動更有效率和保護自身避免天敵攝食，而有造巢的行為。幼蟲運動方式有二種:無巢時，依水深或水淺會沿著壁緣或沉到水底以毛蟲運動方式前進；有巢時，水螟蛾幼蟲移動時，會伸出前端七個體節，左右擺動身體，讓身體與巢以 S 形的方式移動。體長愈長的幼蟲，移動速度愈快。幼蟲單次擺動半徑和角度與移動速度幾乎不相關性，但與角速度呈高度相關。幼蟲如進行轉彎移動，則該次左右擺動的角速度差與質心改變角度呈中度相關。水螟蛾幼蟲喜夜間活動，以嗅覺尋找食物，最愛攝食睡蓮葉，並優先以此種植物葉片造巢，其次才是台灣菱、槐葉蘋。在葉片形狀和大小上，幼蟲優先選擇圓形和直徑 $\geq 2\text{cm}$ 的葉片造巢。巢呈橢圓形，長軸與短軸的比值為 0.22，巢的外型可降低幼蟲移動過程中水的阻力。

捌、未來展望

水螟蛾幼蟲會攝食各種水草，被視為害蟲的一種，一般防治方法皆為使用農藥殺死幼蟲，希望藉由對此生物的了解，找到友善環境的方式進行防治。

玖、參考資料

- 1.陳柏安、李柏歐、吳念臻、陳柏文、姜信宇、洪一心。另類造船高手- 黑紋塘水螟蛾。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會。
- 2.施禮正、顏聖紘、陳宏洲。2010 年。蛾兒水中游-台灣的水螟。自然保育季刊。
- 3.網路資料 <http://courses.me.metu.edu.tr/courses/me410/exp6/exp6.html>

【評語】 030308

此作品探討水螟蛾的生態與行為，包含食物的選擇，抵禦天敵，移動性及對水流速度的反應，針對水螟蛾幼蟲有巢時的擺動及移動速度的觀測使用的運算方式及速度的量測均有合理依據，是很深入的環境與昆蟲行為觀察報告，範圍涉及中學的生物以及物理知識，整體的呈現很有條理，是一份完整度很高的研究報告，此為難得的佳作。

此作品充分體現科學研究方法的精神，是數個系列實驗串連而成的研究，每個實驗都清楚的提出科學問題，以簡單明確的實驗驗證後，再將成果應用在下一個實驗。過程中提出的幾個科學問題都很有趣，也提出相對應問題的假設合理，作者以低技術門檻的工具進行實證，所得的結果數據具有說服力，實驗未能直接證明的議題，也能進一步做出合理的推論，本作品兼顧科學原理與創新思維，相當傑出。

摘要

褐帶紋水螟蛾(*Parapoynx crisonalis*)幼蟲棲息於池塘的水域環境，幼蟲為增加身體浮力使移動更有效率和保護自身避免天敵攝食，而有造巢的行為。無巢水螟蛾幼蟲以毛蟲運動方式前進，但移動速度比有巢者慢。有巢水螟蛾幼蟲移動時，會伸出前端七個體節，左右擺動身體，讓身體與巢以 S 形的方式移動。有巢幼蟲移動速度，主要受蟲體擺動的角速度影響；幼蟲轉彎時改變的角度，主要受蟲體該次左右擺動之角速度差影響。因幼蟲會攝食自身的巢，因此造巢葉片選擇順序和攝食喜好是一致的。巢具有立體的外觀，可增加巢的浮力；形狀呈橢圓形，且短軸與長軸的比值為 0.22，可使巢在水流中所受的阻力較小。

壹、研究動機

有一天，我們經過學校附近的池塘，看到水面有一片葉子在扭動前進，近看之下發現，裡面居然有一隻像毛毛蟲的生物把兩片葉子合起來當成「家」，查了資料後發現，原來裡面的小動物是水螟蛾的幼蟲，它對巢有選擇性嗎？是如何帶著巢扭動前進呢？於是我們對它產生了好奇心，並決定把它當作科展題目。

貳、研究目的

1. 探討褐帶紋水螟蛾幼蟲對食物是否具有選擇行為。
2. 探究褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢葉片的特徵。
3. 探索褐帶紋水螟蛾幼蟲與巢的運動模式。
4. 探討褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢的原因。

一、水螟蛾幼蟲生存環境調查

(一) 水域流速快慢

1. 在塑膠尺上綁上細線(避免其掉入水中)，並將其放入水中。
2. 將保麗龍球放入水中，開始攝影並同時放開擋住保麗龍球的鑷子。



(二) 調查水域中水中動物

1. 肉眼觀察和利用網子(長 25cm、寬 19cm、深 25cm)撈取流速較快和較慢水池的水中昆蟲。
2. 紀錄看到的昆蟲和撈取水中昆蟲種類。

二、幼蟲對食物種類的選擇行為

(一) 不同食物種類對幼蟲攝食量之影響

1. 各取一片人厭槐葉蘚、台灣菱、睡蓮的葉子，秤重量，並用 image j 計算面積。
2. 分別放上三隻體長 1.0~1.2 cm 的幼蟲。於 24 小時後拍照計算吃掉的葉子面積，並換算成重量。



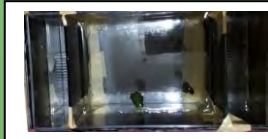
(二) 幼蟲利用何種感官選擇食物

1. 視覺

- 將正方形盒一端分別貼上紅色和綠色的色紙，色紙下方可讓水流過，睡蓮葉放在色紙後方。分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢的幼蟲 10 隻，觀察記錄幼蟲選擇情況。

2. 嗅覺

- (1) 將長方形盒周圍貼上黑色擋光板，取兩片黑色擋光板用針各戳 10 個洞，用封箱膠帶將兩片黑色擋光板固定於離盒子邊緣 3cm 處。
- (2) 將睡蓮葉、原生種槐葉蘚和人厭槐葉蘚搗碎成汁，兩兩一組，分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢的幼蟲，進行實驗比較。



(三) 水螟蛾幼蟲對不同水生植物是否有選擇性

1. 將人厭槐葉蘚、台灣菱葉、睡蓮葉分別切成 1cm² 的正方形。將三種葉子兩兩一組分別放在正方形盒的兩個角落。
2. 分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢的幼蟲 10 隻。兩兩一組分別做比較，觀察並記錄幼蟲的選擇。

(四) 水螟蛾幼蟲對不同陸生植物是否有選擇性

1. 將鳳尾菜、地瓜葉、高麗菜分別切成 1cm² 的正方形，將三種葉子兩兩一組分別放在正方形盒的兩個角落。
2. 分別放入體長 1.0~1.2cm 且有巢的幼蟲 10 隻。兩兩一組分別做比較，觀察並記錄幼蟲的選擇。

三、幼蟲造巢葉片的選擇性

(一) 幼蟲是否會依對食物喜好性選擇造巢葉片種類

1. 取睡蓮葉片和槐葉蘚葉片分別裁切成 1cm² 的正方形。分別放於方形盒中的兩個角落。
2. 分別放入體長 1.0~1.2cm 無巢的幼蟲 10 隻，置於大花咸草葉片上。觀察並記錄幼蟲的選擇。



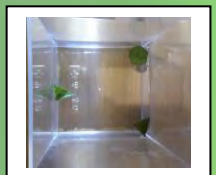
(二) 葉片形狀對幼蟲做巢之影響

1. 將睡蓮葉分別裁成邊長 2 cm 的正方形、邊長 2 cm 的正三角形、直徑 2 cm 的圓形葉片。
2. 分別放入體長 1.0~1.2cm 無巢的幼蟲 10 隻，兩兩一組分別作比較。



(三) 葉片大小對幼蟲做巢之影響

1. 取睡蓮葉片並分別裁切成直徑 1cm、2cm 和 3cm 的圓形。
2. 兩兩一組分別放於方形盒中的兩個角落。
3. 分別放入體長 1.0~1.2cm 無巢的幼蟲 10 隻，觀察並記錄幼蟲的選擇。



(四) 幼蟲造巢時分泌黏性物質之成分

1. 準備十隻水螟蛾幼蟲的巢，把幼蟲引導出來，將巢打開，刮下巢周圍之黏性物質，放在載玻片上，滴上清水並蓋上蓋玻片。
2. 準備碘液、Biruet 試劑和 Sudan III 試劑分別測試黏性物質是否含有澱粉、蛋白質和脂質等成分。

四、探索水螟蛾幼蟲與巢的運動模式

(一) 蟲體基本資料量測

1. 找尋五隻體長約 1.2cm 之水螟蛾幼蟲，將其分別命名為(甲)、(乙)、(丙)、(丁)、(戊)。
2. 量測照片中的數據，量測數據包含下列三項：
 - (1) 蟲體與巢的質量
 - (2) 靜止時蟲體的長度與寬度
 - (3) 運動時蟲體伸出體節與長度

參、研究器材

一、實驗生物: 褐帶紋水螟蛾(*Parapoynx crisonalis*)

幼蟲體表有毛狀構造，是水螟蛾幼蟲的呼吸器官，又稱氣管鰓。水螟蛾幼蟲造可攜式巢，其策略是幼蟲可帶著巢游到他處尋找新的食物(施等人, 2010)。幼蟲為水生，攝食各種水草，因此被視為害蟲的一種。

二、實驗設備

睡蓮葉、台灣菱、原生種槐葉蘚、人厭槐葉蘚、鳳尾菜、地瓜葉、高麗菜、正方形盒(10×10×10cm³)、長方形盒(15×10×10cm³)、電子天平、縮時攝影機、腳架、鑷子、剪刀、黑色擋光板、針、滴管、塑膠袋、保麗龍球、細線、塑膠尺、手機、Movies Maker 軟體、image j 軟體、碘液、Biruet 試劑、Sudan III 試劑

肆、研究步驟

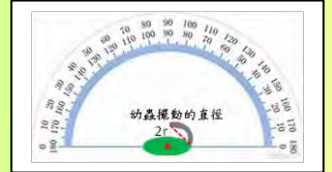
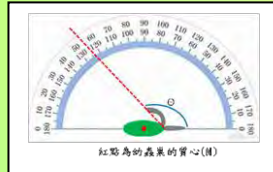
(二) 不同重量的幼蟲與移動速度之關係

以水螟蛾幼蟲巢長軸中點作為運動質心(M)，以一段運動移動片段用 Movies Maker 播放，計算 M 初始與結束移動的直線距離(S)和時間(t)，利用 excel 分析相關性。

(三) 分析水螟蛾幼蟲質心(M)運動

1. 擺動角度和半徑測量方式

- (1) 以幼蟲頭部前端與巢長軸的上的 M 呈一直線當作基準，量取幼蟲頭部擺動後與基準所夾的角度(Θ)。
- (2) 量取幼蟲的頭部頂端與巢前端的長度除以 2，即為擺動半徑(r)。



2. 擺動的力量的計算

擺動的力量，計算公式如下：

角動量

$$L = I\omega$$

L 角動量；I 為轉動慣量； ω 角速度
 $\omega = \Theta\pi/180/t$
 Θ 為幼蟲擺動角度

因蟲體屬於一個有多個質點的系統，可以用無限個質點的轉動慣量和，所以用積分計算其轉動慣量。

轉動慣量

$$I = m^2/3$$

m 為質量；l 為蟲體伸出長度

力矩

$$\tau = (t_2L - t_1L) / t_2 - t_1 = IF$$

τ 為力矩；t 為時間；F 為擺動力量

擺動力量

$$F = \tau/l$$

3. 直線運動

- (1) 以水螟蛾幼蟲(甲)之運動為例，選取影片中四段 M 移動為直線的過程，分別為 a、b、c、d，a 為直線前進第一次擺動；b 為直線前進第二次擺動，c 為直線前進另一段的第一次擺動；d 為直線前進另一段的第二次擺動。
- (2) 測量每段擺動的半徑(r)、角度(Θ)、距離(S)和時間(t)。
- (3) 利用 Microsoft Office 軟體分析 r、 Θ 、S、t 之間的相關性。

4. 轉彎運動

- (1) 以水螟蛾幼蟲(甲)之運動為例，選取影片中五段 M 移動為轉彎的過程，分別為 a、b、c、d、e，a 為轉彎前第一次擺動；b 為轉彎後第二次擺動，c 為轉彎後第三次擺動；d 為轉彎後第四次擺動；e 為轉彎後第五次擺動。
- (2) 測量(甲)、(丙)、(丁)每段擺動的半徑(r)、角度(Θ)、距離(S)和時間(t)。
- (四) 不同水流速度對水螟蛾幼蟲移動之影響

- (1) 準備一個魚缸，放入可調整水流大小的沉水馬達。
- (2) 設定水流速度 5、10、15、16 cm/s，架設好攝影機、直尺和睡蓮葉。
- (3) 將有巢的水螟蛾放入，攝影紀錄水螟蛾移動過程。
- (4) 測量幼蟲擺動的距離(S)和時間(t)。

五、探討褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢的原因

(一) 保護幼蟲

1. 自水螟蛾幼蟲生存水域中，捕抓龍虱、水蠶、大肚魚，分別放入有巢和無巢各兩隻之水螟蛾幼蟲，觀察並紀錄水螟蛾幼蟲存活情況。
2. 因水鳥生性害羞，所以以雞隻代替，分別將有巢和無巢之水螟蛾幼蟲放在地上，觀察並紀錄水螟蛾幼蟲存活情況。

(二) 浮力

1. 有巢與無巢幼蟲的移動過程

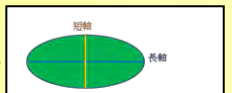
- (1) 準備正方形容器，在容器一端放置睡蓮葉片。
- (2) 為了避免無巢水螟蛾移動有下沉的現象，實驗過程中水深為 3 cm。
- (3) 將有巢與無巢之水螟蛾幼蟲分別放入正方形容器另一端，觀察並紀錄水螟蛾幼蟲活動情況。

2. 無巢幼蟲移動方式

- (1) 準備正方形盒且使水深為 3cm，放入無巢的水螟蛾幼蟲。
- (2) 利用攝影機記錄無巢幼蟲移動方式。

3. 巢的形狀

量測 10 隻水螟蛾幼蟲大小範圍在 1.0~1.2cm 之間的巢，並分析長軸、短軸比例和幼蟲體長、體重之關係。



4. 巢的浮力大小

- (1) 以電子天平秤取透明塑膠片重量，每片 0.25 cm² 的塑膠片重量為 0.0035g。
- (2) 秤取每個巢的重量，將塑膠片放在巢的上方，計算巢下沉時塑膠片的數量。
- (3) 另外準備兩片大小形狀相同的睡蓮葉片，同樣將塑膠片放在葉片上方，計算假巢下沉時塑膠片的數量。



伍、研究結果

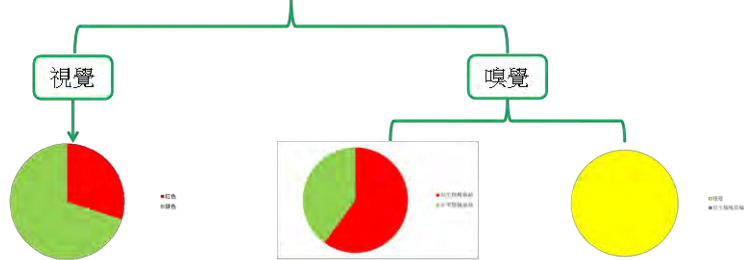
一、幼蟲對食物種類和造巢植物的選擇

不同食物種類對幼蟲攝食量

項目	攝食前葉片重量(g)	攝食前葉片面積(cm ²)	攝食後葉片面積(g)	攝食面積(cm ²)	攝食重量(g)
睡蓮葉	0.61	2751.764	2674.746	77.018	0.0171
台灣菱	0.47	1606.028	1574.467	31.661	0.0093
槐葉蘋	0.04	226.540	224.848	1.992	0.0004

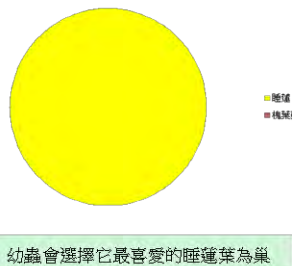
從表中可看出幼蟲的攝食量:睡蓮>台灣菱>槐葉蘋。睡蓮的攝食量約為台灣菱的1.8倍,為槐葉蘋的42.8倍;台灣菱則為槐葉蘋的23.3倍。而我們進一步進行實驗讓幼蟲選擇水生葉片時,發現其結果與攝食量實驗相同。且在沒有水生植物時會先攝食自身的巢,持續不給水生植物會攝食鳳尾菜,地瓜葉及高麗菜葉,甚至會以鳳尾菜築巢。

幼蟲利用何種感官選擇食物



從上表中得知,幼蟲視覺實驗時,主要選擇綠色,而嗅覺實驗時,100%選擇有睡蓮葉氣味的一邊因此我們推斷氣味是幼蟲選擇食物的主因。

幼蟲是否會依照對食物的喜好選擇造巢葉片種類



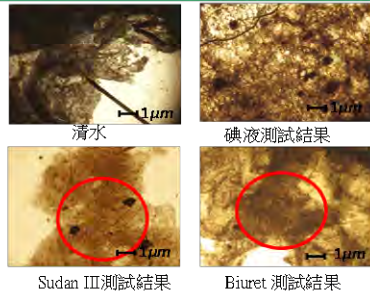
幼蟲會選擇它最喜愛的睡蓮葉為巢

葉片形狀對幼蟲做巢之影響



水螟蛾幼蟲築巢時,50%會選擇圓形的葉片做巢,30%會選擇正方形的葉片做巢,20%會選擇三角形的葉片做巢。

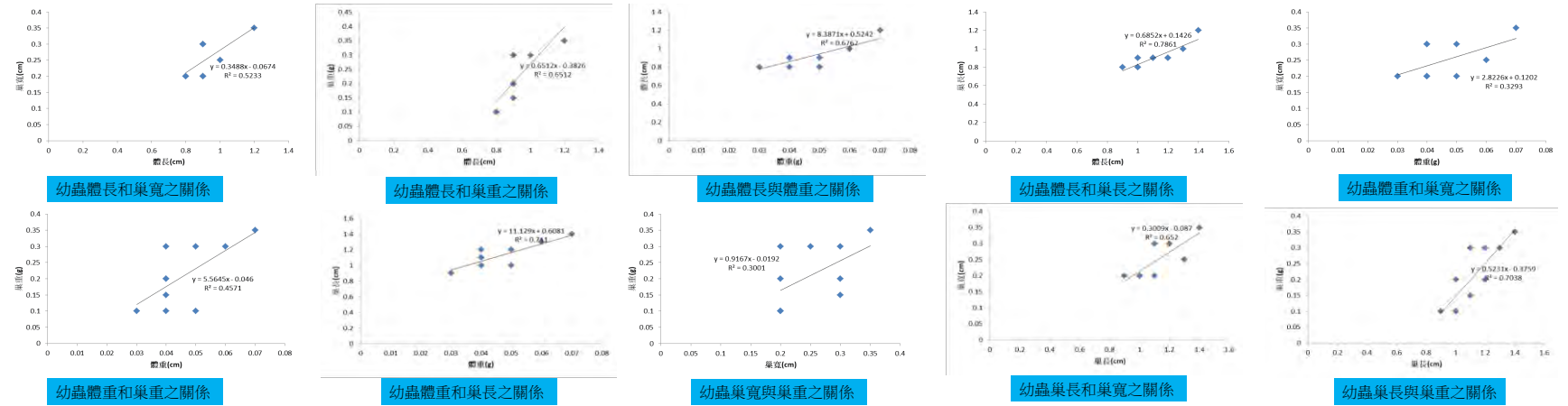
幼蟲造巢時分泌黏性物質之成分



利用碘液測試發現黏性物質不含澱粉成分,但利用Sudan III試劑和Biuret試劑測試結果分別呈現紅色和紫紅色,代表黏性物質含有脂質和蛋白質的成分。

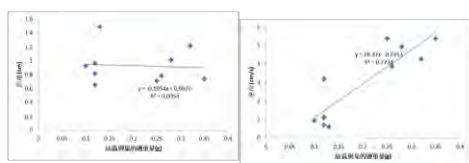
二、水螟蛾幼蟲與巢的運動模式

幼蟲體長、體重、巢長、巢寬和巢重之間的關係



幼蟲體重和巢寬、巢長和巢重呈低度相關;幼蟲體長和體重、巢長和巢寬、體長和巢寬、體重和巢重、體長和巢重呈中度相關;但幼蟲體重、體長、巢重皆與巢長呈高度相關。

幼蟲和巢的重量、長度與移動速度之關係



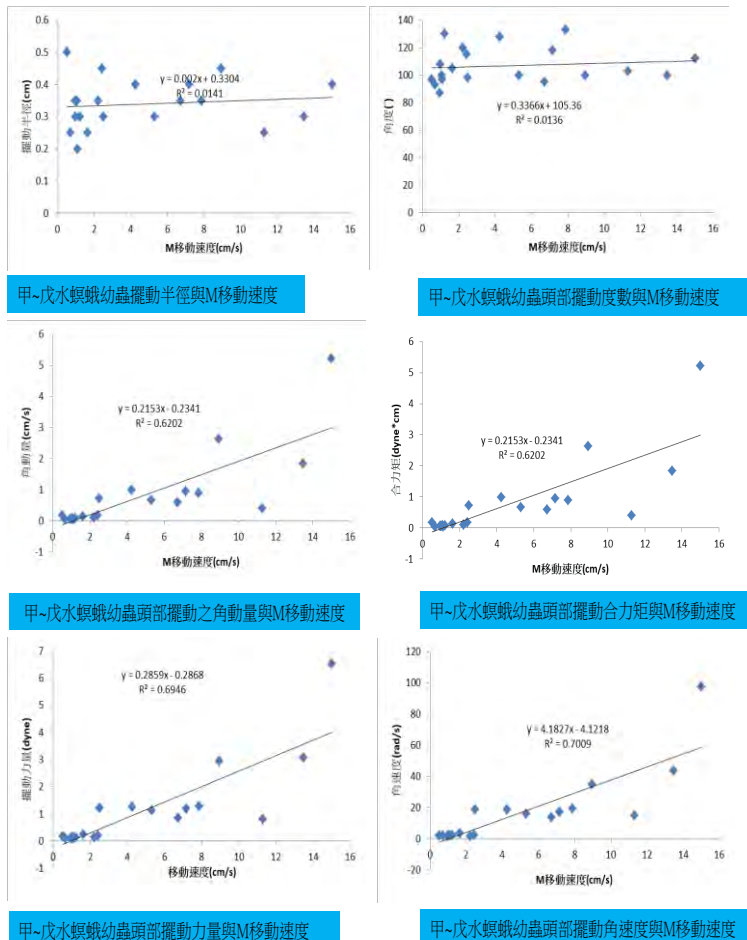
幼蟲和巢的重量與移動速度相關性為0.77。因此幼蟲和巢的重量愈大,移動速度愈快。

幼蟲運動時體節與體長的量測結果

項目	體節數	體長(cm)	移動時伸出的體節數	移動時伸出的體節平均長度(cm)
甲	13	1.1	7	0.65
乙	13	1.2	7	0.65
丙	13	1.0	7	0.53
丁	13	1.1	7	0.59
戊	13	1.0	7	0.53
數目或平均	13	1.1±0.1	7	0.59±0.06

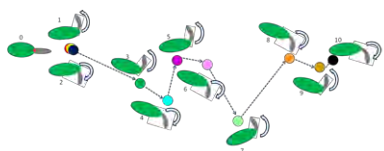
五隻實驗幼蟲皆為13個體節,平均體長約1.1±0.1 cm;移動時伸出7個體節,約0.59±0.06 cm。

影響水螟蛾幼蟲與巢直線移動速度的因素



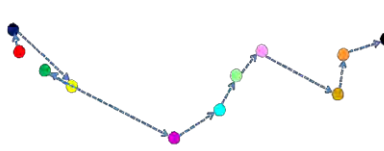
實驗分析結果水螟蛾幼蟲M移動速度與擺動半徑、頭部擺動度數,幾乎不相關。與幼蟲頭部擺動之角動量、合力矩、擺動力量呈中度相關;與角速度呈高度相關。

水螟蛾幼蟲巢前端中心點的移動路徑



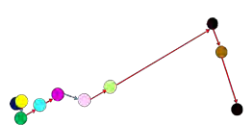
位置0的紅點處為巢前端中心點。水螟蛾幼蟲從靜止到開始移動,需要擺動2次,巢前端才會離開原先靜止的地方。分析結果發現此段運動路徑從巢前端中心點每次在頭部左右各擺動一次後,與第三次擺動後的位置非呈一直線。

水螟蛾幼蟲頭部回端移動路徑



幼蟲帶著巢移動是靠頭部擺動的力量,分析結果發現現在頭部左右各擺動一次後,與第三次擺動後的位置非呈一直線。

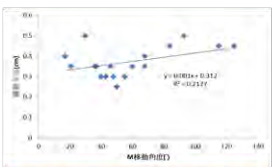
水螟蛾幼蟲質心(M)的移動路徑



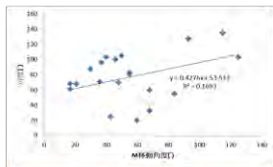
幼蟲的巢比幼蟲體重多6~10倍,因此我們以巢的長軸中心當作M。分析結果發現部分路徑在頭部左右各擺動一次後,與第三次擺動後的位置會呈現趨近一直線的情況。紅色線條為水螟蛾幼蟲M移動呈現趨近一直線的路徑。

三、褐帶紋水螟蛾幼蟲造巢原因

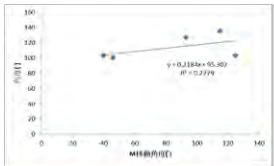
影響水螟蛾幼蟲與巢轉彎移動的因素



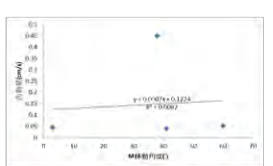
甲-成水螟蛾幼蟲擺動半徑與與質心(M)移動角度



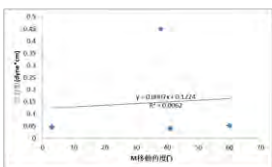
甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動角度與與質心(M)移動角度



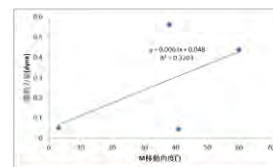
甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動角度與與質心(M)移動角度



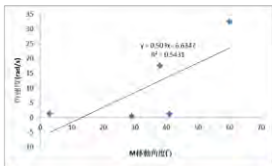
甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動之角度與與質心(M)移動角度



甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動合力矩與與移動角度



甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動力量與與移動角度



甲-成水螟蛾幼蟲頭部擺動角速度與與移動角度

實驗分析結果水螟蛾幼蟲M移動角度與擺動半徑、頭部擺動角度皆呈低度相關，幼蟲頭部擺動角速度、合力矩差幾乎不相關與轉彎時的擺動角度差、擺動力量差，呈現低度相關；與角速度呈中度相關。

天敵

水螟蛾幼蟲生存環境調查

動物種類	大肚魚	水龜	藻益	水蚤	水鳥
大肚魚	?	○	○	○	○
小水龜	○	○	×	×	○
藻益	大肚魚尾用內影穿穿到	用內影穿穿到	蝦子游到	蝦子游到	水鳥巢中在八、九月出現
水蚤	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉
水鳥	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉	太多無捕捉

不同生物面對有巢與無巢水螟蛾幼蟲之反應

生物種類	有巢之水螟蛾幼蟲	無巢之水螟蛾幼蟲	備註
藻益	未攝食	未攝食	會將藻益咬一下無巢的水螟蛾幼蟲，但一下就離開了。
水龜	未攝食	未攝食	幼蟲游到水螟蛾幼蟲
大肚魚	未攝食	未攝食	會將藻咬一下無巢的水螟蛾幼蟲，但一下就游開了。
水鳥	未攝食	未攝食	將無巢水螟蛾幼蟲放在鳥的活動範圍時，鳥一開始是不會靠近，等一段時間後，鳥開始啄食(但無巢幼蟲游走了)，但無巢幼蟲有巢的幼蟲(有巢幼蟲游走了)。



實驗過程中發現藻益、水龜和大肚魚對有巢和無巢之水螟蛾幼蟲沒有攝食行為。在自然水域中的水鳥，因為不易靠近距離觀察，所以我們以籠代進行實驗。我們觀察鳥是否啄一下無巢的水螟蛾幼蟲，之後就吃掉了。但鳥卻不會啄食有巢的水螟蛾幼蟲。

浮力

巢的形狀

編號	巢的形狀										平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
巢的長軸(cm)	1.2	1.2	1.4	1.3	1	1.1	0.9	1	1.1	1	1.12±0.15
巢的短軸(cm)	0.3	0.3	0.35	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.25±0.06

巢的形狀呈橢圓形，平均短軸/長軸的比值為0.22。巢的長軸與短軸之相關係數為0.81，屬高度相關。

移動速度

編號	巢的形狀	移動速度			平均
		1	2	3	
短軸	橢圓	300	420	324	364.48
水螟蛾	距離(cm)	20	20	20	20
幼蟲	速度(cm/s)	0.056	0.048	0.042	0.05±0.007
有巢幼蟲	時間(s)	36	30	21	29.16
水螟蛾	距離(cm)	11.5	11.5	11.5	11.5
幼蟲	速度(cm/s)	0.319	0.383	0.548	0.416±0.118

無巢水螟蛾沿著鏈狀的移動方式為毛蟲運動，而有巢的水螟蛾幼蟲不僅移動到目標的距離短，且移動速度較無巢的快很多。

不同水流速度對有巢水螟蛾幼蟲移動之影響

水流速度 (cm/s)	幼蟲移動速度 (cm/s)				備註
	一	二	三	平均	
5	0.13	0.13	0.11	0.12±0.012	幼蟲停留巢以跳躍方式前進
10	0.08	0.08	0.08	0.08	幼蟲停留巢以跳躍方式前進
15	0.04	0.06	0.06	0.05±0.012	幼蟲停留巢以跳躍方式前進，牠們會游動，以毛蟲運動飛行
16	0	0	0	0	幼蟲無法前進，直接被水沖走

水流速度愈大，水螟蛾幼蟲移動速度愈慢。水流速度大於15 cm/s，幼蟲無法以跳躍方式前進，牠們沿著壁，以毛蟲運動飛行。水流速度大於16 cm/s幼蟲無法前進，直接被水沖走。

巢的浮力大小

編號	巢的浮力					平均
	1	2	3	4	5	
長軸	1.5	1.5	2.4	2.1	1.8	1.9±0.39
短軸	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8±0.04
巢的浮力	0.0290.05	0.049.05	0.080.10	0.0590.08	0.040.05	0.05±0.02
水螟蛾的浮力(側動)	40	44	65	80	52	55±16.13
巢的浮力(側動)	25	23	31	37	27	28±5.35

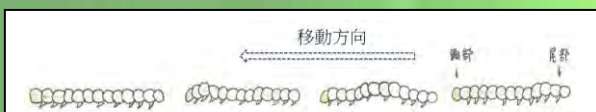
利用兩片葉片模擬水螟蛾的巢(大小和平面形狀)，實驗結果水螟蛾巢的浮力幾乎是葉片浮力的兩倍。

陸、結論

- 1.水螟蛾幼蟲喜愛夜間活動，以嗅覺尋找食物，最愛攝食睡蓮葉，並優先以此種植物葉片造巢，其次才是台灣菱、槐葉蘋。在葉片形狀和大小上，幼蟲優先選擇圓形和直徑≥2cm的葉片造巢。
- 2.幼蟲運動方式有二種：無巢時水螟蛾幼蟲在水底的運動方式為身體後端的體節會先離開地面，並縮收向前，之後再碰觸地面當作施力點緩慢向前行；有巢的水螟蛾幼蟲在水面上以身體左右擺動的方式，頭部類似像槳一樣，利用水的阻力向前。本次研究發現幼蟲移動速度與擺動半徑、擺動角度無直接關係，不過幼蟲位移速度卻與角速度呈現高度相關。觀察分析資料時，我們發現幼蟲頭部擺動角度超過100°，不但位移距離近，甚至會在原地打轉。

水螟蛾幼蟲移動方式，有以下二種：

方式	有無巢	移動方向	速度 (cm/s)	備註
毛蟲運動	無巢或 有巢	身體後端的體節會先離開地面，並縮收向前，之後再碰觸地面當作施力點緩慢向前行。	0.055±0.007	發生在水淺處、或短時間沉至水底、或水流強勁時
S型運動	有巢	左右擺動	0.416±0.118	浮在水面上



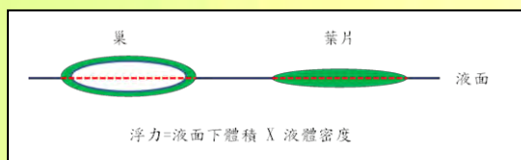
毛蟲運動



S型運動

- 3.褐帶紋水螟蛾(*P. crisonalis*)幼蟲造巢的理由，有以下幾點：

- (1)食物：造巢葉片種類為水螟蛾幼蟲食物，食物不足時，可隨時供幼蟲食用。
- (2)呼吸：巢的內部為兩片葉子的葉背，幼蟲白天躲在巢中可以有空氣呼吸。
- (3)保護：巢的外表為兩片葉子的葉面，天敵-鳥類不易發現。
- (4)移動：巢成橢圓形，短軸與長軸的比值為0.22，可降低水的阻力，而且移動速度比無巢的幼蟲快。
- (5)浮力：幼蟲因不能在水中直接呼吸，故無法長時間停留在水中，巢可提供幼蟲浮在水面上的能力。且巢的立體空心結構，亦可使浮力增加。



陸、未來展望

水螟蛾幼蟲會攝食各種水草，被視為害蟲的一種。一般防治方法皆為使用農藥殺死幼蟲，希望藉由對此生物的了解，找到友善環境的方式進行防治。水鳥出現的時間和水螟蛾消失的時間非常接近，未來希望可以利用誘捕的方式進一步了解水鳥防治水螟蛾的可行性，減少農作物的損失。