

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第三名

080323

深負子技-大負子蟲捕食與繁殖行為之探討

學校名稱：嘉義市東區崇文國民小學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 小五 顏郁恩 小五 彭詣雅 小五 陳冠穎 | 指導老師： 李宗來 廖建溢 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：大負子蟲、捕食、繁殖

摘要：

大負子蟲主要以嗅覺與振動來感覺獵物，捕食方式主要採坐等方式，飢餓、獵物密度低或獵物在一定範圍內時可能主動出擊，也會在水域的底層翻攪取食。前、側、後方攻擊距離分別約 3.8cm、2.5cm、1.1cm。活動深度可達 233 cm，捕食範圍深廣。

雄蟲會在水面起伏求偶，以模擬雄蟲求偶機實驗時，發現振動幅度越大、振動距離越近、有背卵振動對雌蟲有較好引誘率與繁殖行為完成度。振動頻率愈高雖然引誘率愈高，但繁殖行為完成度仍以每秒約 2-3 下較高。

產卵時雄蟲會以氣泡讓卵接觸空氣。雄蟲背卵後會減少取食，且卵越成熟越容易到水面讓卵曝氣。

棲息縫隙的習性可能有助於蓮花種子的傳播，可做為孑孓與福壽螺的生物防治昆蟲。

壹、 研究動機

「茲卡病毒來勢洶洶，台灣出現境外移入個案」、「疾管署公布今夏以來第 N 例本土登革熱病例」。真可怕!病媒蚊新聞不斷播報，小頭症等可怕後遺症更怵目驚心!

「克制登革熱病媒蚊 動物園加碼負子蟲」。台北動物園的新聞好像黑暗中的曙光，原來本土生物負子蟲就是消滅病媒蚊高手!我們認真到田裡尋找蟲跡，想好好研究這可能對我們大有幫助的神奇生物。教材相關性:四下第 3 單元 昆蟲家族、五下第 3 單元 動物世界面面觀

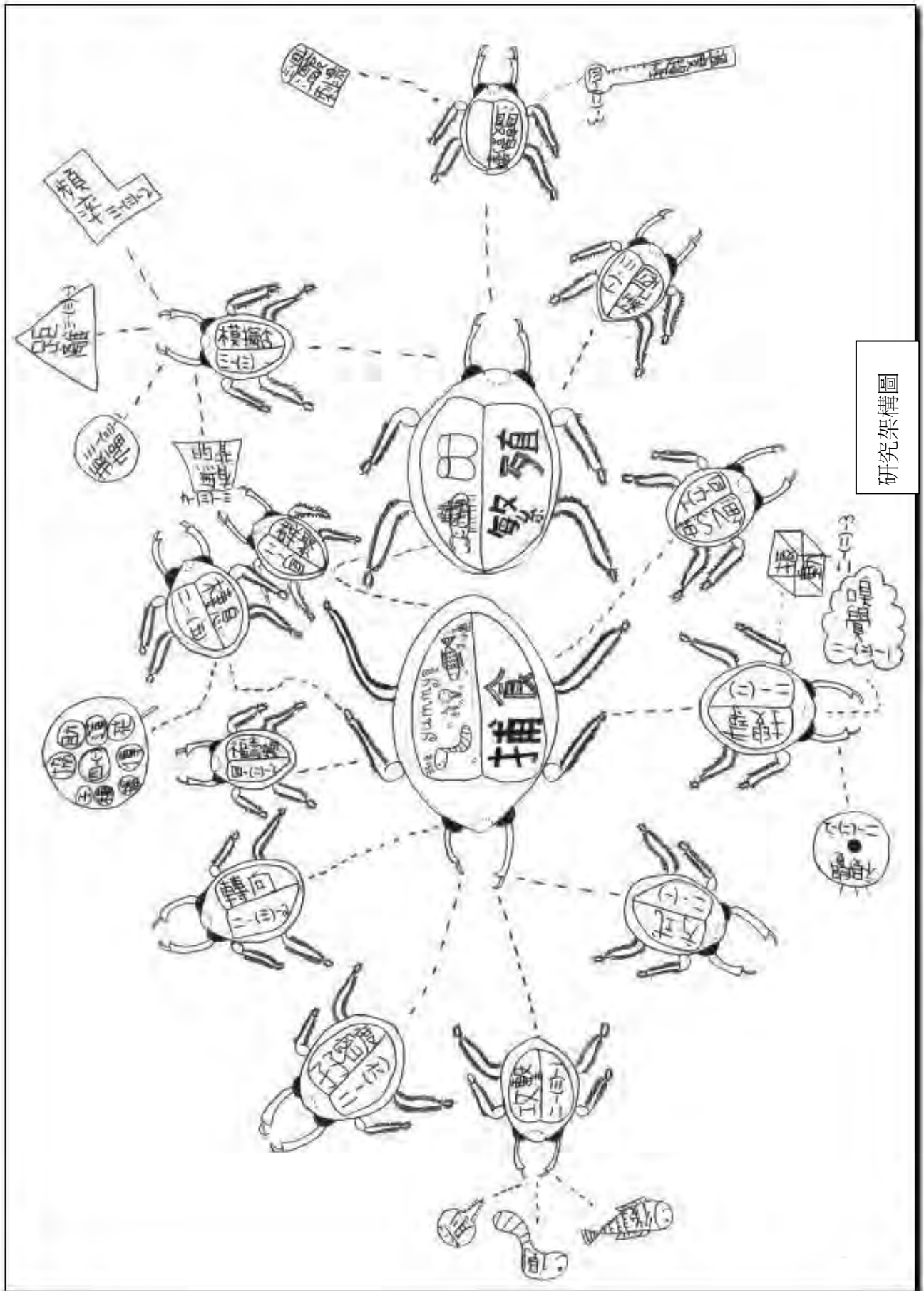
貳、 研究目的

- 一、大負子蟲的捕食行為
- 二、大負子蟲的繁殖行為
- 三、大負子蟲的生活習性與其他物種或環境的關係

參、 研究設備及器材

23 cm×14.5 cm×6.5 cm長方形透明盒、透明布丁盒(直徑 7.5 cm、高 4.5 cm與直徑 11.7 cm、高 7 cm)、4 號昆蟲針、7cm7 cm×5 cm容器、10 cm×10 cm×10 cm公升盒、水槽(37cm×30cm×10 cm與 105cm×60cm×24 cm)、長 120cm，直徑 4 公分透明管、模擬雄蟲求偶機、攝影機、解剖顯微鏡。

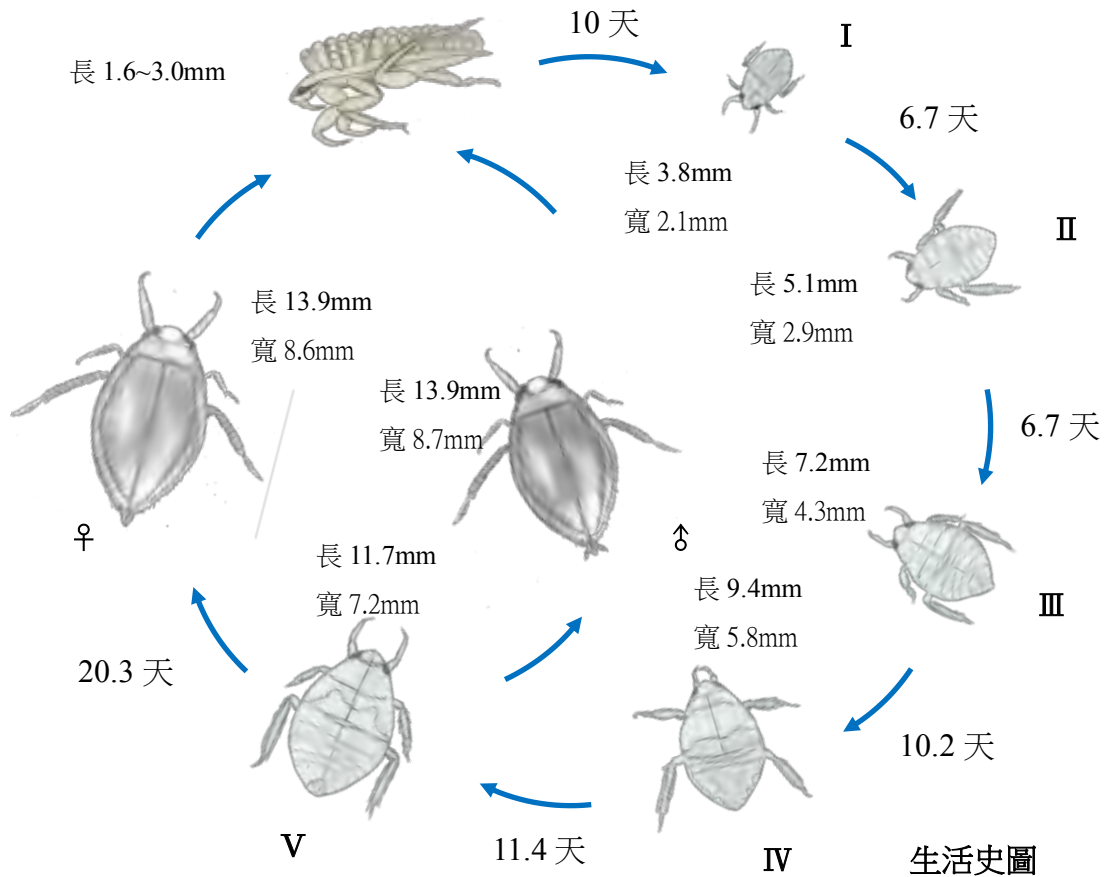
肆、 研究架構



伍、研究過程、方法、結果與討論

一、大負子蟲的生活史

由實際飼育、記錄與文獻閱讀，大負子蟲的生活史可能受到如溫度、濕度、光照週期、餵食量等的影響。我們的成長日程記錄如下圖：



二、大負子蟲的捕食行為

(一)大負子蟲的捕食方式

1 捕食方式：觀察實驗如下

(1)捕食子子：觀察飢餓三天的大負子蟲對不同獵物的捕食行為。



| 密度:容器內僅 1 隻孑孓 | | 主動出擊為主 | | 密度: 10 隻孑孓 | | 主動出擊與坐等都有 | |
|--|--|---|--|---|----------|-----------|-----------|
|  |  |  |  | (1)主動追捕攻擊 | (2) 捕食成功 | 坐等姿勢等待獵物 | 主動往獵物追捕攻擊 |
| 孑孓數量很少時，大負子蟲主動追捕獵物的行為非常明顯 | | | | 有一定數量孑孓時，坐等行為明顯，但若一直沒有孑孓靠近，就較容易出現主動追捕行為 | | | |
| 密度: 20 隻孑孓 | | 主動出擊與坐等都有 | | 密度高: 容器內放入 50 隻孑孓 | | 坐等為主 | |
|  |  |  |  | 坐等姿勢等待獵物 | 主動往獵物出擊 | 坐等姿勢等待獵物 | 坐等獵物靠近再捕食 |
| 與 10 隻孑孓類似，坐等與追捕行為都有出現，成功取時過後就改以坐等為主 | | | | 孑孓密度高，常會自己靠近大負子蟲，因此大負子蟲大部分以坐等為主 | | | |

(2)捕食仰泳椿：容器內僅 1 隻仰泳椿

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| (1)坐等姿勢捕食 | (2)主動出擊 | (3)捕食成功 |

(3)捕食蝌蚪：我們以上述(2)方式，放入蝌蚪，也發現同樣的結果。(圖片參考報告簡報檔)

(4)至底層翻攪取食：觀察到水族箱內成蟲至許多沉積物的底層翻攪取食，挖出搖蚊幼蟲

| | |
|---|--|
|  |  |
| 從上層至底層翻攪，翻攪起許多沉積物 | 在底層來回攪動成功取食到紅蟲活體 |

2.討論：根據以上觀察與文獻，我們發現捕食行為與文獻略有不同，整理如下表：

| | | | |
|--------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 捕食行為 | 1.坐等為主 | 2.坐等+主動出擊 | |
| 研究者觀點 | 很少主動追捕獵物，獵物接近時利用鐮刀狀捕捉足迅速將獵物抓住。 (蘇新基等，1991) | 因獵物移動速度來決定是否主動出擊。(劉汶宜等，2011) | |
| 我們觀察 | 1.坐等 | 2.近距離主動出擊 | 3.翻攪底層搜捕獵物 |
| 行為決定條件 | 1. 子子等獵物密度高時 2. 獵物主動靠近 | 獵物密度低時或感覺到一定範圍內有動靜，可能會主動攻擊(後續實驗有探討) | 可能飢餓(或聞到氣味)，會輪流到水域底層翻攪並捕食受驚擾逃出的獵物 |

疑問:1.大負子蟲如何以感官功能察覺獵物的靠近？ 2.如果在一定範圍會主動攻擊，攻擊範圍多大呢？以下是我們的實驗探討。

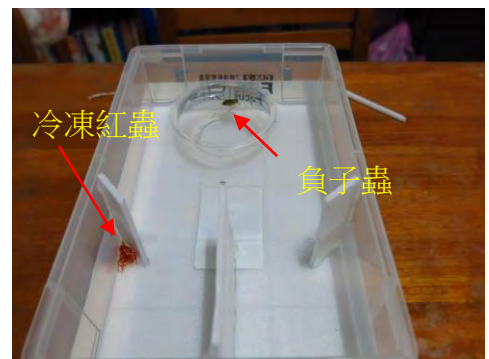
(二)大負子蟲如何感覺獵物存在：

大負子蟲如何知道獵物位置而決定捕食方式呢？是嗅覺、視覺還是感覺呢？

1-1.嗅覺實驗一：以迷宮藏放冷凍紅蟲

研究方法：

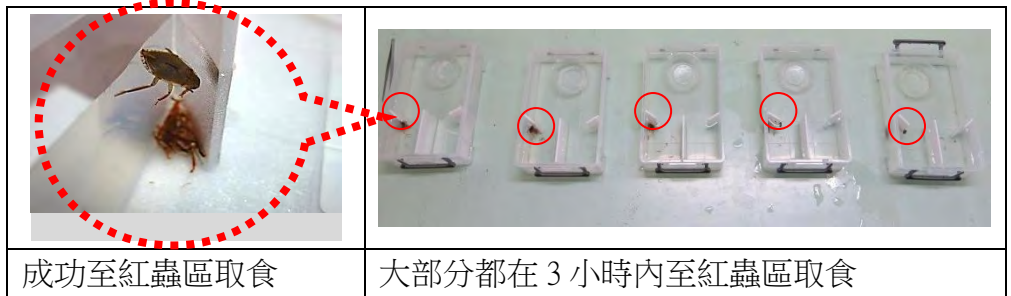
- (1)長方形透明盒內設計迷宮如右圖。
- (2)布丁盒則放入一隻飢餓三天的成蟲，適應一天後再進行實驗。
- (3)將冷凍紅蟲藏在迷宮夾角(讓負子蟲無法以視覺看到)，慢慢加水到透明盒內，讓水溢出直到水位高於布丁盒使蟲能游出。
- (4)觀察大負子蟲是否可以成功搜尋到夾角處的冷凍紅蟲，每 30 分鐘、1 小時、2 小時、3 小時、4 小時及 24 小時記錄大負子蟲的位置。每次實驗五組，實驗重複三次。



結果：如下表與圖

| 時間 項目 | 30 分鐘 | 1 小時 | 2 小時 | 3 小時 | 4 小時 | 24 小時 | 未至紅 蟲區 |
|----------|-----------------------------------|------|------|------|------|-------|-----------|
| 總隻數 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 統計 | 4 小時內受引誘至紅蟲區隻數=11 隻(受引誘成功率=73.3%) | | | | | | |

討論：前 4 小時內
受引誘成功率達
73.3%我們認為大
負子蟲應可利用嗅
覺成功搜尋獵物。



1-2.嗅覺驗證實驗二：為了驗證大負子蟲可利用嗅覺來搜尋獵物，因此我們設計紅蟲汁液實驗再做驗證。



研究過程與方法：

- (1)以滴管吸取冷凍紅蟲汁液，然後再緩慢靠近在大負子蟲的前斜下方輕輕滲出汁液。
- (2)隨機重複實驗 10 隻大負子蟲，觀察記錄其反應。

結果：在 10 隻測試的負子蟲，趨前攻擊的有 10 隻，攻擊率為 100%。



1-3.嗅覺驗證實驗三：以上述 1-2 實驗方式，將紅蟲汁液改成水進行對照實驗。

結果：在 10 隻測試的負子蟲，趨前攻擊的為 0 隻，攻擊率為 0%。

討論：由以上實驗可以讓我們更確認大負子蟲應可利用嗅覺來感覺與攻擊獵物



2-1.視覺實驗一：試管隔離子實驗

研究過程與方法：

(1)實驗設計如右圖。

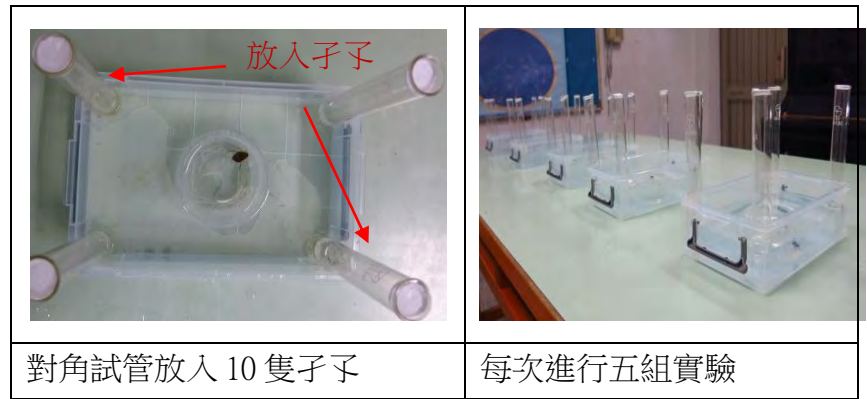
(2)布丁盒放入一隻飢餓三天的成蟲，成蟲適應一天後再進行實驗。

(3)於透明盒四個角落分別放置透明試管，並於對角兩支試管內放入 10 隻子

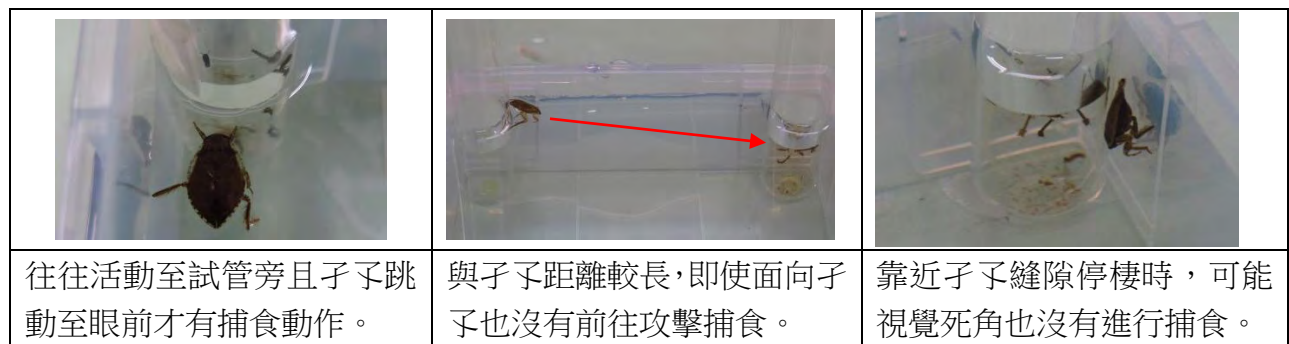
子。試管口皆以珍珠板封住。

(4)測試時間 1 小時，每次測試五組，觀察記錄大負子蟲的反應，實驗重複三次。

結果：負子蟲會在透明盒內鑽動，我們計算大負子蟲在透明盒內反應的隻次，確認大負子蟲利用捕捉足攻擊試管內移動的子子才視為攻擊。結果如下表。



| 項目 | 攻擊子子試管 | 攻擊無子子試管 | 棲息子子試管縫隙 | 棲息無子子試管縫隙 | 無移動 | 合計反應隻次 |
|----|-----------------------------------|---------|----------|-----------|-----|--------|
| 隻次 | 9 | 2 | 7 | 14 | 5 | 37 |
| 統計 | 攻擊子子處的隻次(9) > 無子子處的隻次(2)，但攻擊比率並不高 | | | | | |



往往活動至試管旁且子子跳動至眼前才有捕食動作。

與子子距離較長，即使面向子子也沒有前往攻擊捕食。

靠近子子縫隙停棲時，可能視覺死角也沒有進行捕食。

討論：發現大負子蟲往往隨機活動到試管旁，發現有子子跳動才以捕捉足進行攻擊，有些個體在較長距離外，即使面向子子試管卻不會前往攻擊。我們認為大負子蟲視覺應是獵物在相當近距離且移動時才會捕食。

2-2.視覺實驗二：昆蟲針緩慢靠近實驗(無振動)-為驗證大負子蟲視覺反應進行下列實驗。

研究過程與方法：

(1)透明布丁盒內放入一隻飢餓三天的大負子蟲，隨機實驗 10 隻大負子蟲。

(2)將昆蟲針垂直固定在透明吸管前端，以利操作。

(3)昆蟲針從大負子蟲複眼前方由遠至近慢慢接近，在大負子蟲複眼前方約 0.5cm 位置時停止移動 5 秒，觀察記錄大負子蟲的反應。

結果：我們發現大負子蟲對遠距離的昆蟲針都沒有反應，僅有一隻在距離 0.5cm 停止 1.2 秒時進行攻擊，我們將昆蟲針距離複眼前方 0.5cm 時的反應結果記錄如下表：(距離 0.5cm 時攻擊昆蟲針時的時間)

| 項目 | 0.5cm 時攻擊昆蟲針 | 0.5cm 時沒有攻擊昆蟲針 | 其他距離攻擊昆蟲針 |
|----|--------------|----------------|-----------|
| 隻數 | 1(1.2 秒) | 9 | 0 |

討論：

1.發現大負子蟲視覺反應可能不太靈敏。實驗中我們發現當昆蟲針從水體中移出時產生波紋時，大負子蟲才較容易攻擊昆蟲針，對照 2-1 試管視覺實驗，我們推測大負子蟲可能對在複眼前近距離移動的獵物光影變化才有較大的視覺反應。



昆蟲針在大負子蟲複眼前方停留 5 秒鐘

2.我們餵食大負子蟲時，發現若在水面振動冷凍紅蟲，大負子蟲容易撲前捕食，因此我們設計了以下實驗觀察大負子蟲捕食和振動的關係。

3.振動實驗：

研究過程和方法：

(1)透明布丁盒內放入一隻飢餓三天的大負子蟲，隨機實驗 15 隻大負子蟲。



不同直徑的釣魚線

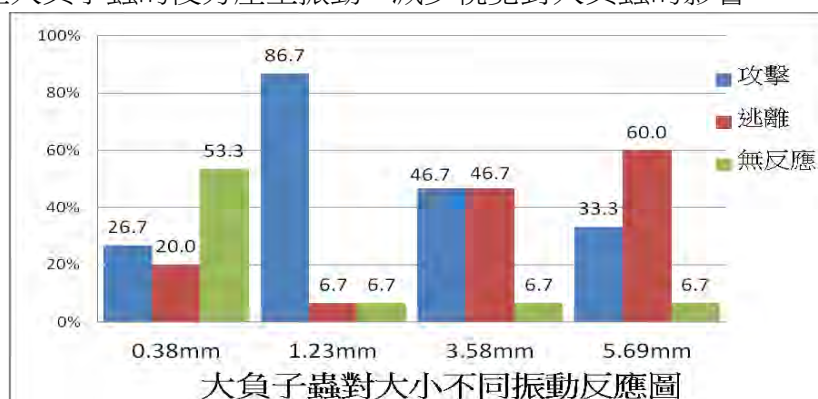


從負子蟲後方振動靠近

(2)分別以前端不同直徑(0.38、

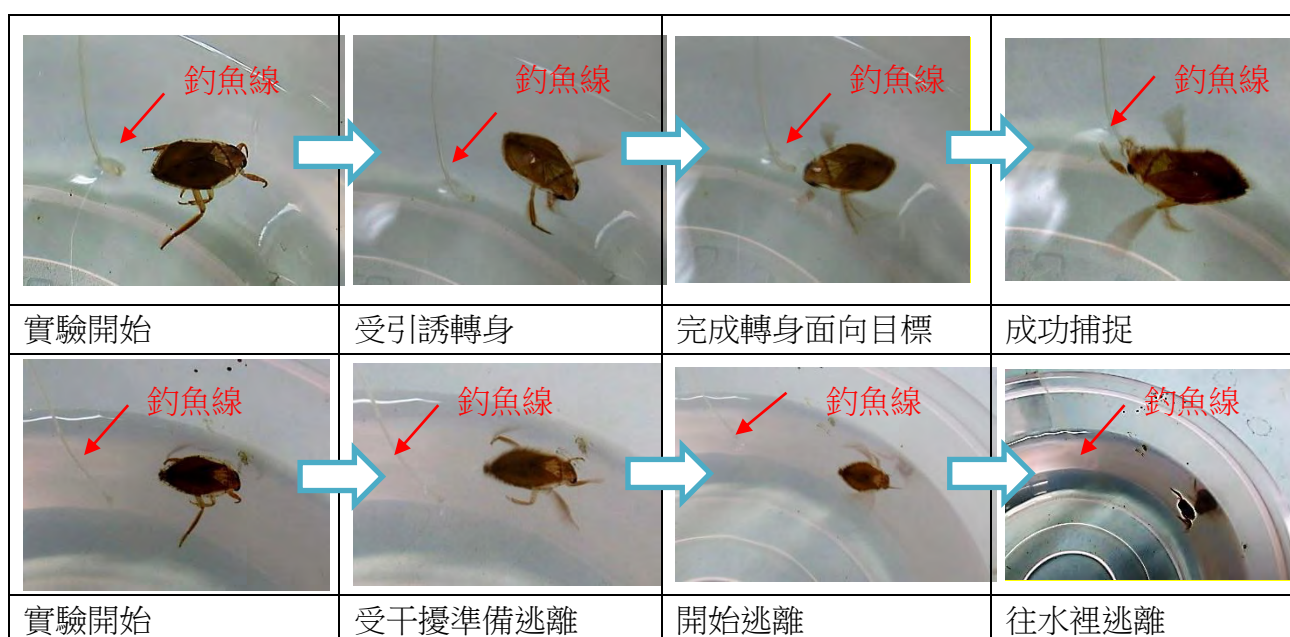
1.23、3.58、5.69mm)透明釣魚線在大負子蟲的後方產生振動，減少視覺對大負蟲的影響，再記錄大負子蟲的反應。

(3)振動時間 30 秒，固定一人振動且心理默數數字盡量減少振動大小與頻率高低產生的影響。



結果：

- (1)1.23mm 振源的攻擊反應最明顯。
- 2)3.58mm 攻擊與逃離比例差不多，更大的反而偏向逃離。
- (3)0.38mm 這種小的振動傾向沒反應。



討論：

- (1)我們認為大負子蟲可能會根據振動判斷獵物大小決定是否主動攻擊，對於 1.23mm 左右的振動有較高的攻擊率，較大的振動可能視為干擾或較大敵人靠近，因而有較高的逃離率。對於較小振動可能在感應上較不明顯或主動攻擊意願較低。
- (2)對照我們飼育大負子蟲的過程中，發現大負子蟲在食物接近至一定距離時突然攻擊，因此我們透過以下實驗來找出大負子蟲的前、側、後方的攻擊距離。

(三)大負子蟲的攻擊範圍：

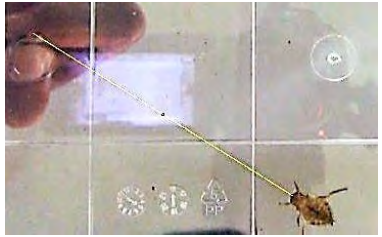


1.大負子蟲前、側、後方的攻擊距離：

研究過程與方法：

- (1)將一隻飢餓三天的大負子蟲放入長方形透明盒內，等他穩定後，以冷凍紅蟲分別從大負子蟲的前方、複眼兩側、後方，由遠至近振動靠近。
- (2)以攝影機由下往上拍攝捕食過程，然後透過視訊軟體截取攻擊冷凍紅蟲照片，再利用 ImageJ 軟體計算攻擊距離。
- (3)隨機重複實驗 10 隻大負子蟲成蟲。

結果：如下表與圖

| | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|
| 方向 | 前方 | 側方 | 後方 |
| 攻擊距離(cm) | 3.8 | 2.5 | 1.1 |
| 攻擊距離：前方 > 側方 > 後方 | | | |

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| 前方攻擊距離最長可達 8.8cm | 側面最長攻擊距離可達 7.5cm | 後方最長攻擊距離可達 4.6cm |

討論：我們發現大負子蟲對於前方的獵物會在較遠的距離即進行攻擊，而後方則較近。我們推測可能是因大負子蟲對於前方以外方向的獵物必須轉身面向才進行攻擊的關係。因此我們在以下實驗則進行大負子蟲轉向側方與後方，面向獵物所需花費的時間。

2.大負子蟲轉向獵物的時間

研究方法：

同上實驗，但以視訊軟體以每個影格逐一播放方式找出在不同方位晃動紅蟲，大負子蟲轉向正確方向所需時間。

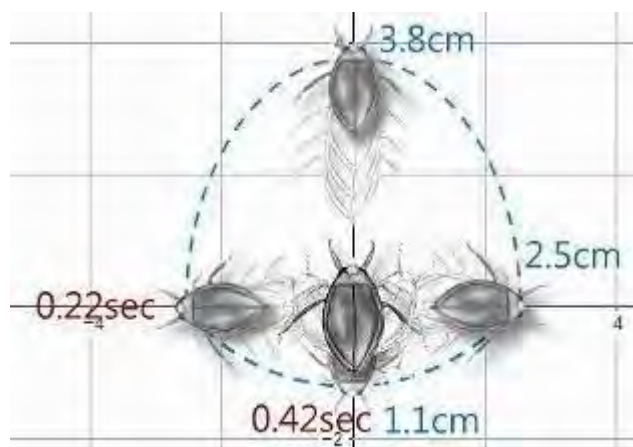
結果：如下表

| | | |
|--------------|------|------|
| 方向 | 側方 | 後方 |
| 轉向時間(秒) | 0.22 | 0.42 |
| 轉向時間：側方 < 後方 | | |



討論：

我們發現大負子蟲因為須轉向面向獵物捕食，因此在後方轉向所花的時間越多，會重新等待獵物更靠近再進行捕食，以提高捕食成功率。將(三)-1 與(三)-2 製成右圖。以了解大負子蟲的攻擊範圍。



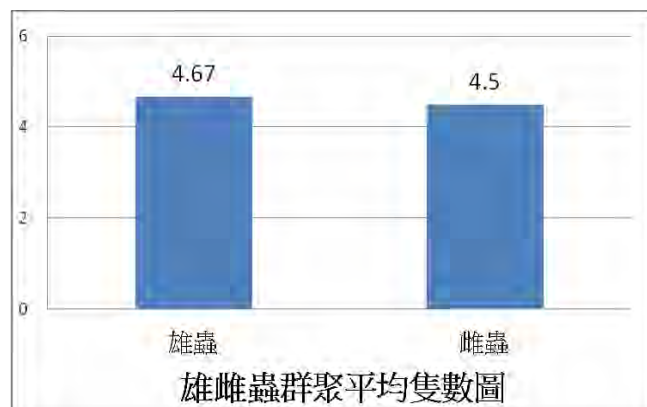
(四)大負子蟲的群聚與取食關係：

我們在飼育的過程中，發現大負子蟲共同棲息水草間時，往往僅有一隻或二隻等少數大負子蟲會先到底層的取食冷凍紅蟲，而其他棲息的個體則會前往與捕食成功的個體進行共食。所以大負子蟲可能也會為了取食而有著群聚的特性。那麼牠們真的具有群聚特性嗎？以下我們進行實驗驗證。



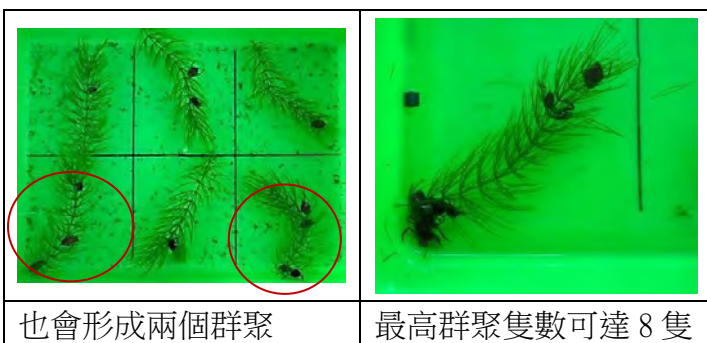
研究過程與方法：

- (1)水槽畫分成 6 等份，每一等份放入約 10 公分的水草與 2 隻雄成蟲。
- (2)觀察群聚行為，每 24 小時記錄 1 次，持續三天，重複四次。
- (3)每次以最多的群聚隻數作為紀錄。計算平均值，平均值 ≥ 3 隻視為具有群聚性。
- (4)將雄蟲更換成雌蟲再依上述過程進行雌蟲群聚實驗。



結果：雄雌蟲群聚平均數都大於 3 隻，如雄雌蟲群聚平均隻數圖。

討論：我們認為大負子蟲具有群聚的特性，透過我們的觀察與實驗，大負子蟲群聚可能與其共食與求偶的特性有關。之前觀察大負子蟲會至水域底層翻攪取食或主動攻擊捕食，我們推測當一隻大負子蟲



獵捕成功時，群聚的其他個體容易聚集共食成功。而輪流捕食後多隻共食，除了可能可以減少個別個體的體力消耗，且當食物短缺時，多數個體仍能因共食取得食物增加族群存活機會。

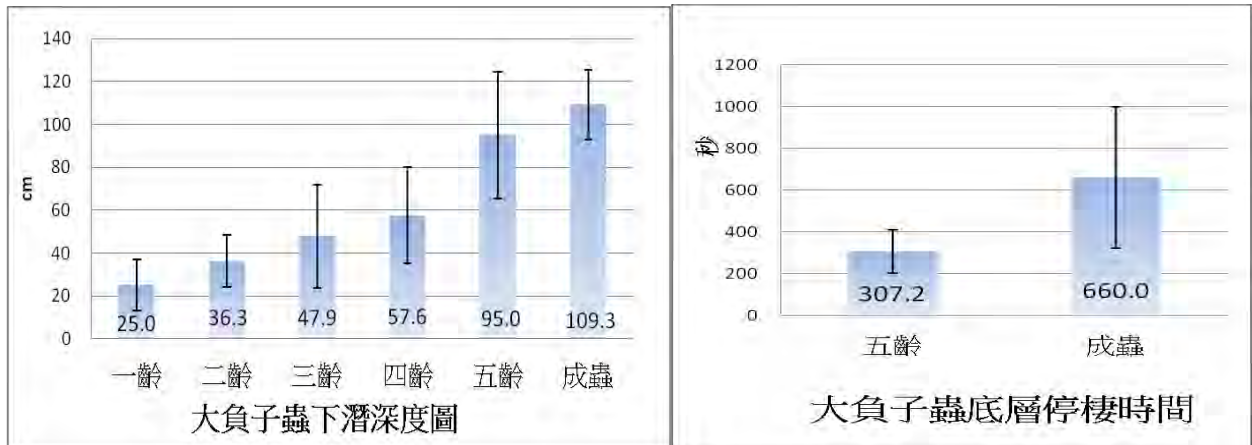
(五)大負子蟲的棲息深度

我們在(一)-1-(4)觀察實驗中發現大負子蟲會至水族箱底層翻攪取食，因此我們想知道到底大負子蟲可以到多深的水域翻攪取食呢？以及不同齡期是否有差異呢？因此設計潛水實驗。

1.短潛水管實驗：

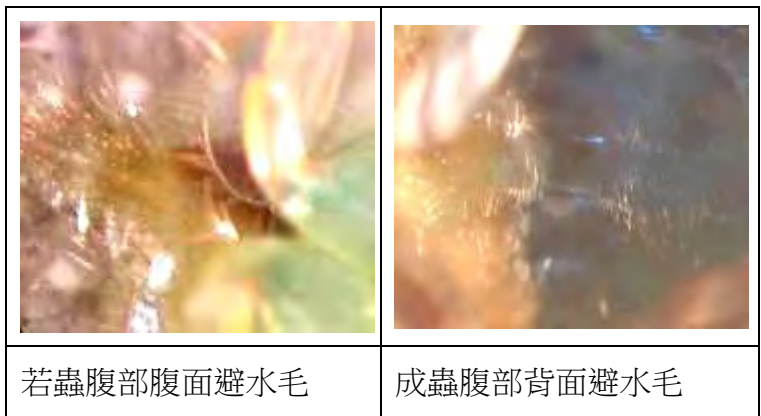
研究過程與方法：

- (1)在長 120cm，直徑 4 公分的透明塑膠管內裝入深 117cm 的水。
- (2)放入不同齡期的大負子蟲於水面上，然後進行干擾，觀察記錄大負子蟲往下潛的深度與在底層的停留時間。隨機重複實驗 10 隻各齡期蟲，每隻測三次，取最深紀錄，然後求平均值。
- (3)底層停留時間，將各齡期蟲底層停留時間加總平均，進行比較。



結果：發現五齡蟲與成蟲可下潛至最底部(117cm)因此我們分別記錄五齡及成蟲在底層停留時間。

討論：我們發現齡期越大，下潛水深越深，而五齡蟲與成蟲雖都可以下潛至最底層，但底層停留時間，成蟲仍比五齡蟲長。我們認為大負子蟲各齡期能夠活動的水域應該不同，而這樣的差異可能與各齡期儲氣構造(若蟲利用腹部腹面避水毛，成蟲利用腹部背面避水毛)的儲氣量與承受水壓



能力有關。另外這個實驗的透明管最深到 117cm，成蟲輕易就可到達了，牠們的活動區域是否能更深呢？我們以加長透明管來探討。

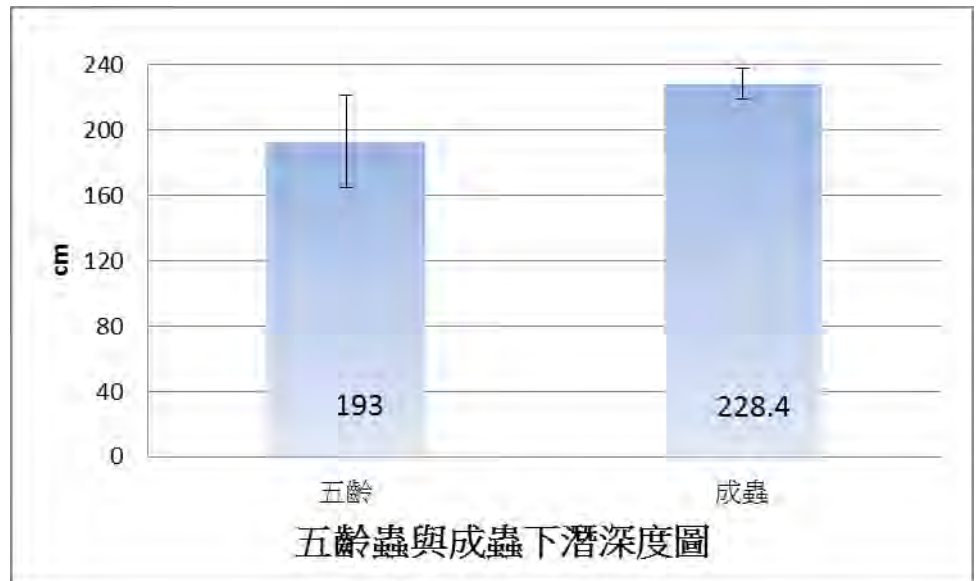
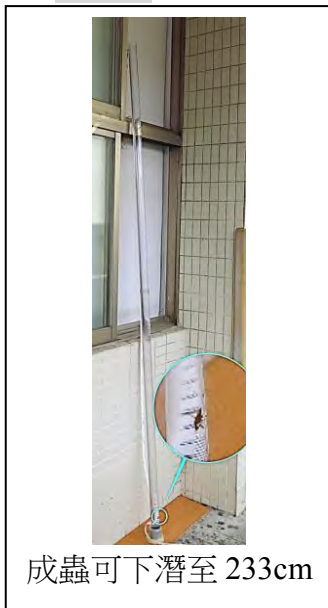
2.長潛水管實驗：

研究過程與方法：

- (1)將前實驗透明塑膠管延長至 240cm，加水至 233cm 深，分別放入五齡蟲與成蟲於水面上，干擾後記錄大負子蟲往下潛的深度。隨機重複實驗 5 隻五齡蟲與成蟲，每隻測三次，取最深紀錄，然後求平均值。

(2)同上述步驟，隨機選取 10 隻成蟲，紀錄底部停留時間。

結果：1.成蟲幾乎都可以下潛至最深處(233cm)，而五齡蟲僅一隻次可以達到。



2.成蟲在長透明管底部停留時間約 199.2 ± 66 秒。

討論：

- 1.由上實驗發現大負子成蟲的潛水深度可達 233cm，因此推測成蟲的捕食範圍相當深廣。
- 2.成蟲在長透明管底部停留時間(199.2 秒)明顯少於短透明潛水管(660.0 秒)，我們推測大負子蟲滯留底部時間除了可能受到儲氣構造的儲氣量影響外，水壓愈大時可能可以憋氣停滯時間愈短。

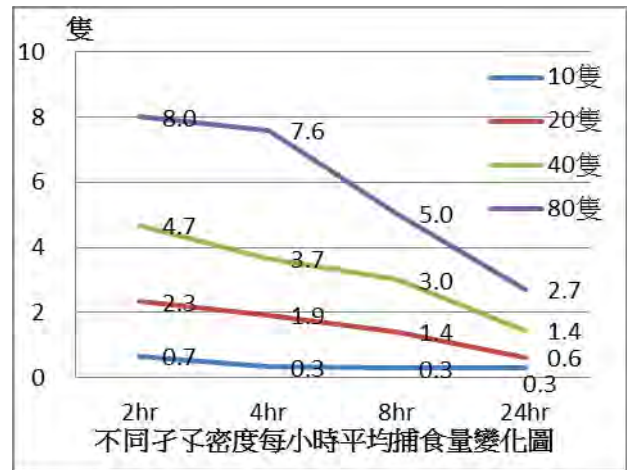
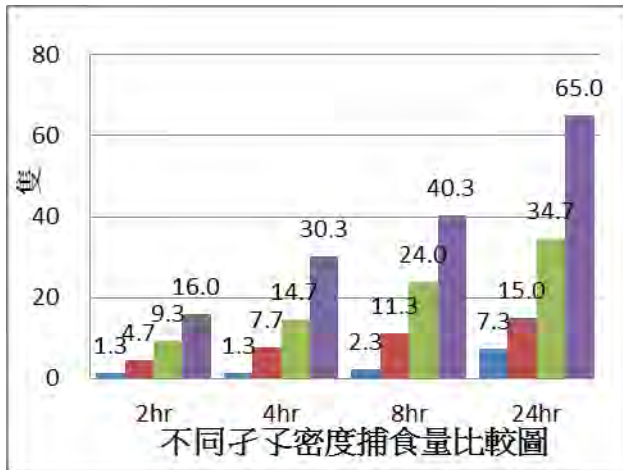
(六)不同獵物密度的捕食

從上述實驗我們知道成蟲的捕食範圍可能可以相當大，那捕食的量有多大呢？又不同密度的獵物捕食量上是否有差異呢？

研究過程與方法：

- (1)將 4 隻雌蟲分別放入 4 個水 700cc 的正方形公升盒內。再分別放入 10 隻、20 隻、40 隻、80 隻不同密度的孑孓。
- (2)分別記錄 2 小時、4 小時、8 小時與 24 小時的捕食量，實驗重複三次。

結果：隨孑孓隻數密度愈高，捕食量愈大。在 2 小時內捕食量會達最大。



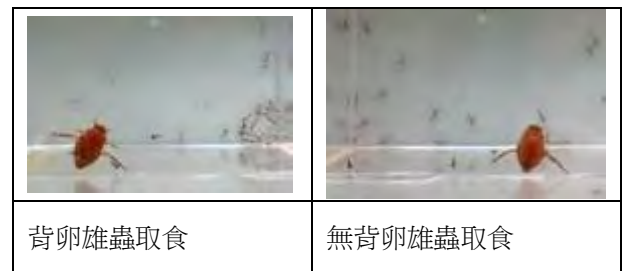
討論：子子密度高時，接近大負子蟲的機率高，所以坐等捕食在較少耗能下可以持續捕食，增加捕食量。在前2小時捕食達最大量並飽食後，可能較少主動出擊而慢慢減少了捕食量。

(七)背卵雄蟲的取食

我們在餵食背卵雄蟲時發現雄蟲似乎總是食慾不振，難道雄蟲為了照顧小孩犧牲自己取食嗎？我們進行實驗驗證。

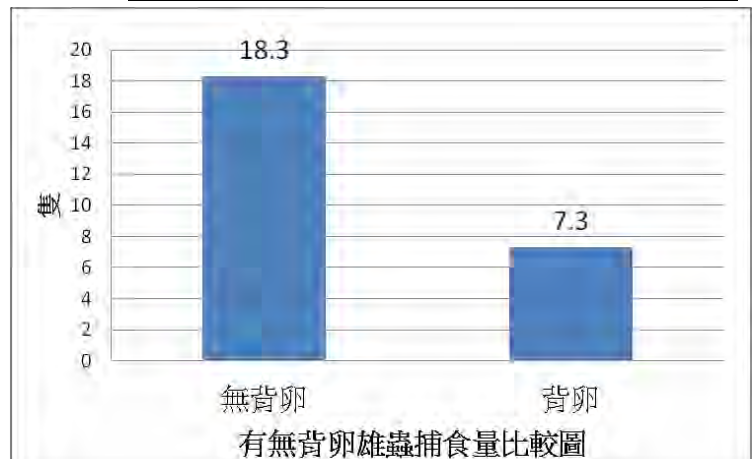
研究過程與方法：

- (1)將背卵雄蟲與未背卵雄蟲各一隻分別放入水 700cc 的公升盒內。放入 40 隻子子。
- (2)取食一天後記錄捕食量比較，共操作三組。



結果：雄蟲背卵後捕食量明顯減少了。如右圖。

討論：我們認為背卵雄蟲捕食量減少應是為了護卵育幼。



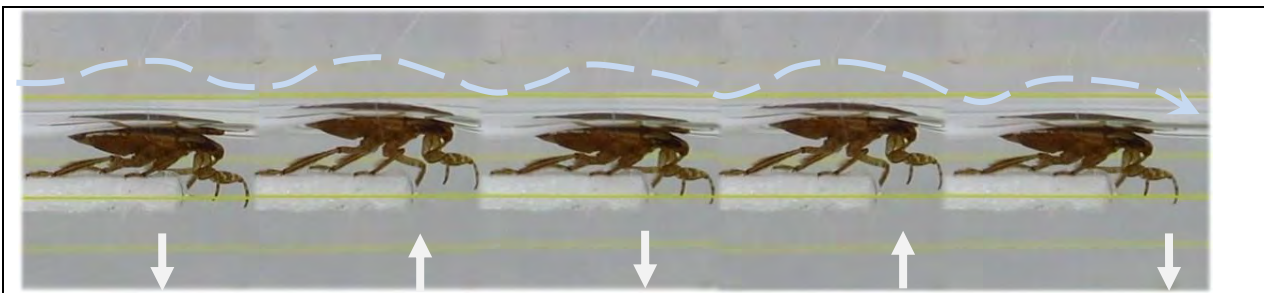
三、大負子蟲繁殖行為

(一)大負子蟲的求偶與產卵行為觀察

研究過程與方法：觀察負子蟲產卵過程，並攝影、拍照加以記錄。

結果：

- 1.雄蟲的求偶行為：雄蟲在羽化後不論是否有雌蟲在附近，當性成熟時就會出現上下搖晃身體的行為。



- (1)雄蟲會棲息靠近水面位置後利用中足與後足上下撐高放低身體，造成水波。
- (2)計算搖動頻率約為每秒 2.27 下(n=15)，中間間隔約 2.56 秒(n=15)。
- (3)若有其他雄蟲則會出現各據枝條行為，一段時間後也發現會主動接近雌蟲再搖動。

2.交尾與產卵行為

| | | |
|---|--|--|
| | | |
| <p>(1)雌蟲察覺雄蟲振動後會靠近雄蟲棲息位置。</p> | <p>(2) 交尾時雌蟲與雄蟲利用後足定位與摩擦抖動來互相確認，雄蟲並伸出呼吸管兩側毛摩擦刺激。</p> | |
| | | |
| <p>(3)雌蟲用後足確認產卵位置，並引導雄蟲挪動身體。(4)每交尾一次產卵一次。</p> | | |

3.特殊發現:雄蟲會由腹部末端的儲氣構造中擠壓氣泡包裹住卵，卵數量多時則會中斷交配動作，雄蟲浮出水面將卵曝氣後重新求偶再交尾產卵。

- (1)**氣泡包卵:** 剛產卵時雄蟲從腹背部與外翅間擠出氣泡包裹住卵，並在氣泡漂走時收回，左右輪替，雌蟲也會協助包裹氣泡，有時氣泡還會合併成較大氣泡再各自收回。
- (2)**卵多時曝氣:**當公蟲背負的卵數量多到氣泡無法包覆時，會浮出水面讓卵曝氣，如果這時與母蟲失散了則會重新求偶。
- (3)**其他雌蟲爭奪交配權:** 當原來公蟲將卵曝氣時，周圍如果有其他母蟲也常會利用這個機會爭取產卵。

(4)背卵未完全覆蓋背部時雄蟲的再求偶行為：如果原雌蟲卵已經生完，雄蟲背部仍未填滿時，雄蟲常會再重新求偶。

(5)產卵有方向性: 雌蟲產卵時都由雄蟲尾端往頭部方向填滿, 如果雄蟲近尾部背的卵脫落只剩中間的卵, 雌蟲會由中間往頭部方向的空間填滿, 而不會將尾部填滿, 卵孵化時通常也從尾部末端的卵開始孵化。

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 雌蟲產卵在雄蟲背上, 且從靠近尾部開始生 | 雄蟲從腹背部與外翅間擠出氣泡 | 與雌蟲一起將氣泡包裹卵 |
|  |  |  |
| 吐左邊氣泡到卵 | 在氣泡漂走前收回氣泡 | 吐右邊氣泡到卵 |
|  |  |  |
| 每產一顆卵就須重新交尾一次 | 產卵多時公蟲會先到水面接觸空氣後再重新求偶 | 如果附近有其他母蟲會趁機爭奪交配機會 |

討論:

1. 如果雄蟲起伏振動是吸引雌蟲的主要因素, 那麼振動大小、頻率快慢、距離遠近是否會影響雌蟲靠近的機率呢? 為了設計這樣的實驗我們想自己製造假雄蟲來測試。

2.雌蟲產卵後雄蟲會用氣泡包覆新產的卵，包覆不住的話還會上來曝氣，我們推測很可能是接觸空氣能夠幫卵固化，如果未來能夠找出卵能黏在雄蟲背部的成分，也許能夠發明水中黏膠，在水中黏好後噴氣就能黏固呢!

3.我們認為:對雄蟲來說交尾一次產一次卵，雄蟲可以確保背負的卵是自己後代，而會盡量將卵背滿則能發揮辛苦照顧同一批卵的最大效益。不同雌蟲爭取交配機會，將卵產在同一隻雄蟲上，即使雄蟲遷徙到其他地方孵出若蟲，也能保有一部分的基因差異。

(二)模擬雄蟲實驗—模擬雄蟲求偶機製作

觀察中發現雄蟲以身體起伏方式吸引雌蟲，因此假設水波是負子蟲求偶信號，是否能夠以人造假蟲成功吸引雌蟲呢?

1.翻製假蟲：

2.模擬振動

第一代釣魚式模擬雄蟲

研究過程與方法:將假蟲頭部固定在金魚藻,尾部以線綁上連接透明吸管，拉扯模擬振動。

結果:成功吸引到雌蟲

討論:

優點:可以模擬振動並隨時調整速度與震動大小。

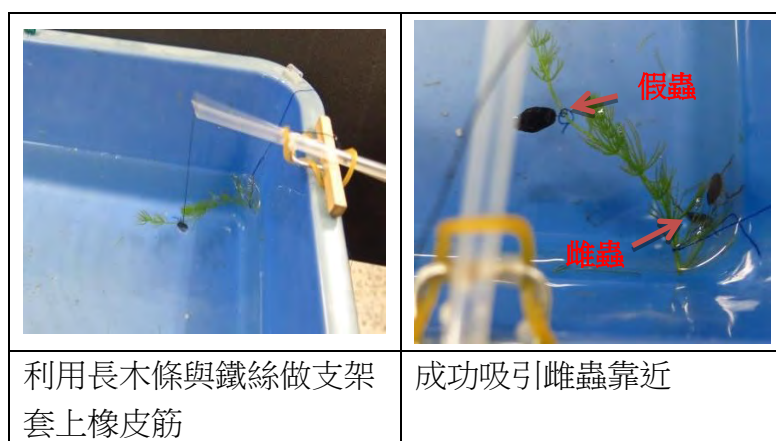
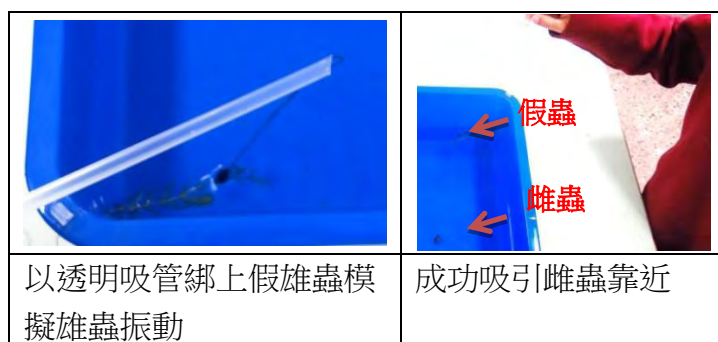
缺點:手部力量大小與頻率不易控制，且手很容易就酸了，位置也不易固定。

第二代電報式模擬雄蟲

研究過程與方法:

將第一代的透明吸管裝上支點，並以打電報方式輕壓末端造成前端上下振動。

結果:成功吸引雌蟲

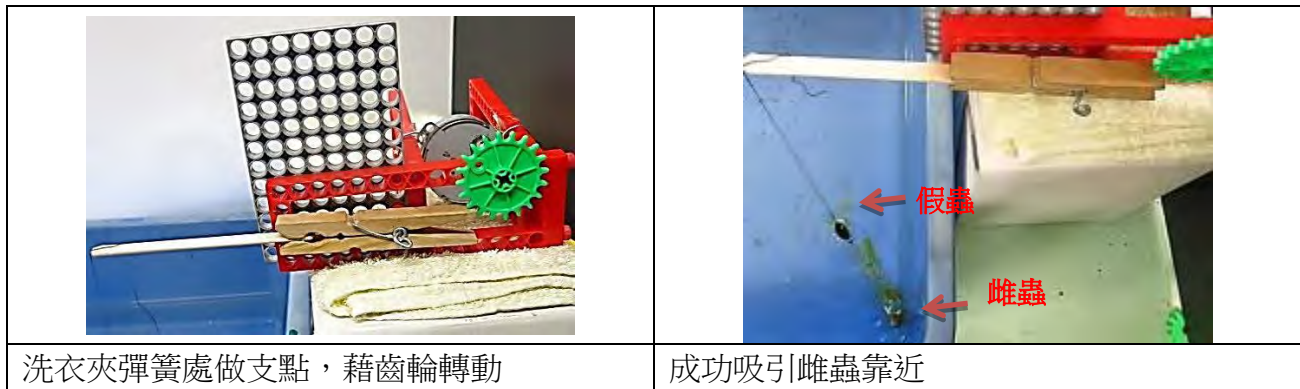


討論:

(1)力量大小容易控制多了，雖然盡量維持速度一致，但久了還是會累而有差異，而人靠近操作容易干擾雌蟲，而且觀察記錄有點不方便。

(2)如果可以使用電動馬達來控制振動，應該可以解決以上問題，並且可以固定振動大小與頻率。

第三代積木齒輪式模擬雄蟲



研究過程與方法:

(1)我們找到電風扇轉向用的低速馬達，組裝在積木支架上並安裝齒輪，馬達每 10 秒約一轉，帶動 20 齒的齒輪每秒約 2 齒，符合雄蟲每秒約 2.27 下的頻率。

(2)以鐵絲穿過洗衣夾彈簧孔作為槓桿，連接冰棒棍到齒輪，另一端則用縫衣線帶動模擬雄蟲。

結果:成功吸引雌蟲

討論:

(1)洗衣夾槓桿震動後會搖晃，傳遞到模擬雄蟲時會很像多抖一下，為了解決這個問題，我們找到一種零件軸承-可以平順轉動。

(2)洗衣夾不容易固定到軸承上，所以改全部使用冰棒棍。

第 4 代齒輪與軸承式模擬雄蟲



研究過程與方法:

(1)經測量內徑 0.8 公分的軸承可以正確安裝在積木組上，黏貼上冰棒棍後組裝上第三代機組上作為支點。

(2)為了可以改變振動的幅度大小，以 2 根冰棒棍做成活動式懸臂。

結果:更容易成功吸引雌蟲

討論:

(1)製作出振動大小與頻率固定且可以吸引雌蟲的模擬雄蟲求偶機後，我們想量化比較不同振動幅度、不同頻率等因素是否會影響雌蟲靠近意願

(2)以可彎懸臂改變抗力臂長度可以改變振動幅度，利用不同齒數的齒輪則可以改變頻率。

(3)真雄蟲在雌蟲靠近時就會主動將尾部靠近雌蟲交尾，模擬雄蟲只能原地振動，因此如果量化雌蟲對模擬雄蟲的反應時我們認為應分為 2 種評分方式:①引誘率--成功誘引雌蟲到同一棲息枝條作為引誘率，計算平均隻次與總數的比率。②繁殖行為完成度。

(4)我們界定繁殖行為完成度共分為五個等級，為攀附同枝(攀附同一水草上)、碰觸雄蟲、爬上雄蟲、雌尾碰雄尾、產卵，並在後續實驗中以此驗證雄蟲的那些繁殖行為對雌蟲較具吸引力。

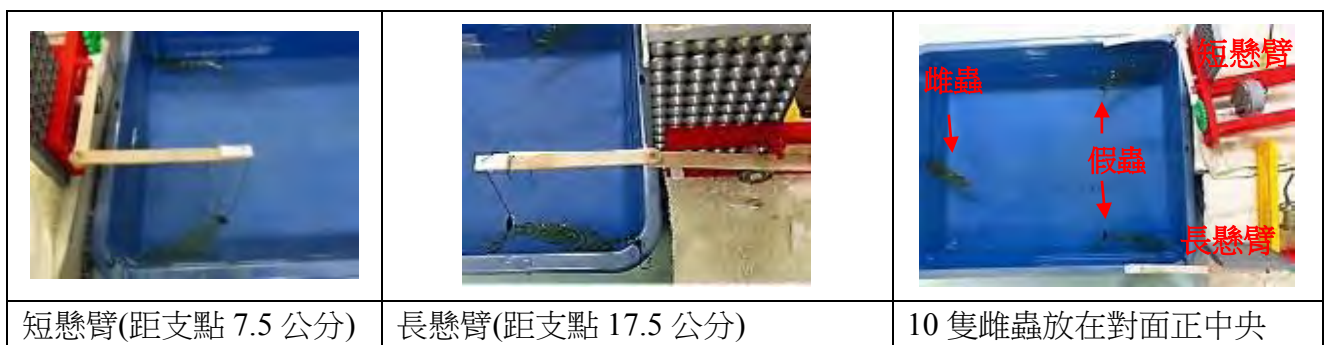
(三)模擬雄蟲實驗—不同振動因素對雌蟲的吸引

1.不同大小振動幅度對雌蟲吸引力是否有影響

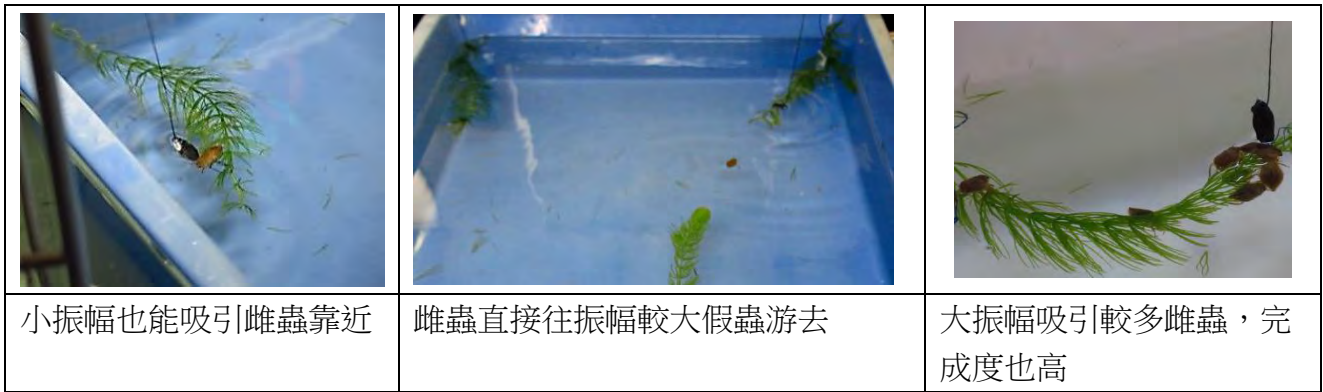
研究過程與方法:

(1)調整懸臂為一長一短，改變振動幅度並分別設置於水槽兩端。

(2)在對面正中央水草為起點，放置 10 隻雌蟲，穩定後啟動並實驗。每次 10 分鐘，重複三次。

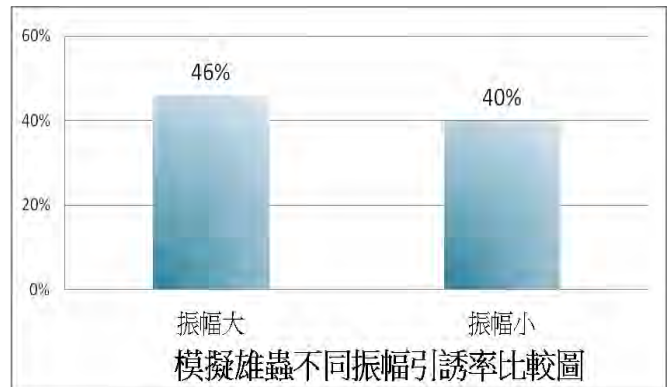


結果:



(1) 引誘率:

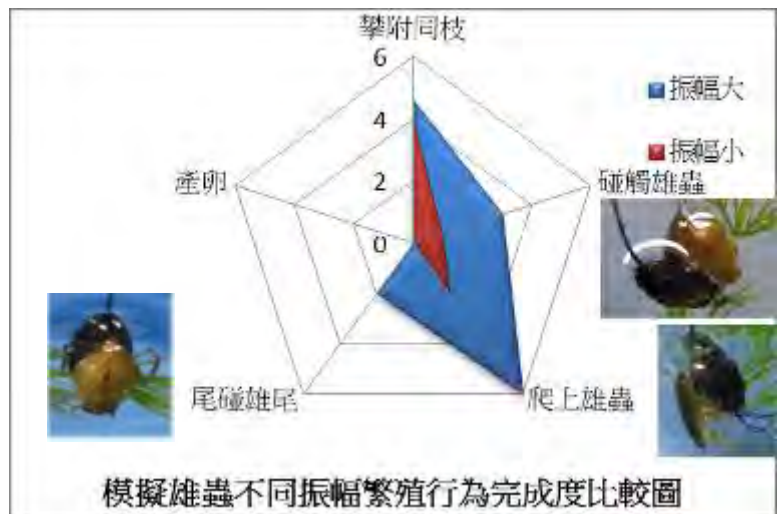
模擬雄蟲以大振幅起伏的平均引誘率較高，單次實驗中甚至在 10 分鐘內就誘集了 15 隻次的母蟲，但小振幅的也會吸引母蟲靠近。



(2) 完成度:

大振幅雄蟲的繁殖行為完成度較高，雌蟲表現相當活潑，會往假雄蟲身上爬，甚至以尾部碰觸假雄蟲。小振幅的次數則明顯較少。

| 項次 行為(隻次) | 振幅大 | 振幅小 |
|--------------|-----|-----|
| 攀附同枝 | 4.6 | 4 |
| 碰觸雄蟲 | 3 | 1 |
| 爬上雄蟲 | 6 | 2 |
| 雌尾碰雄尾 | 2 | 0 |
| 產卵 | 0 | 0 |



討論:

我們推測雌蟲對振幅大的雄蟲反應較明顯，很可能是在擇偶條件中選擇較強壯的雄蟲，確保有良好護卵育幼能力，增加子代存活率。

2. 不同振動頻率的對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法:

- (1) 將不同齒數的齒輪裝在 2 組第四代雄蟲模擬機上，並測試每圈振動次數後裝置假雄蟲於水槽中(共分為 1.2 下/秒 v.s 2 下/秒，2 下/秒 v.s 3 下/秒，3 下/秒 v.s 3.6 下/秒)。
- (2) 將 10 隻雌蟲置於起點等穩定後開啟模擬雄蟲擺動並觀察記錄。每次 10 分鐘，重複三次。

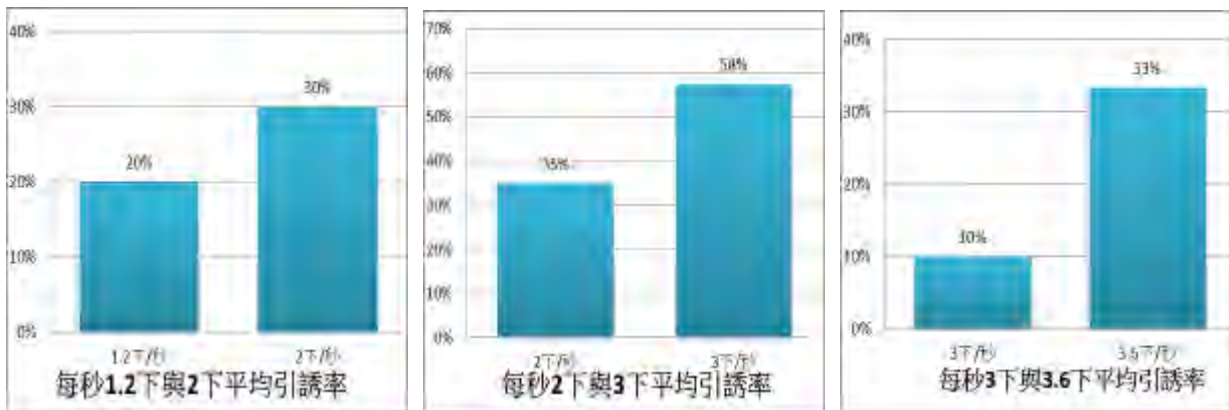


準備不同尺數齒輪作為改變頻率配速用

組裝不同齒數齒輪

結果:

(1) 引誘率比較:

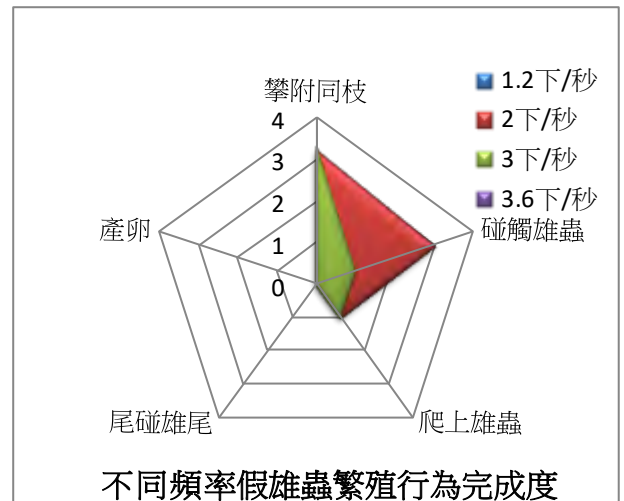


因為是每次兩種頻率一起比較，因此即使相同頻率在跟不同頻率互相作用下引誘率也有差異，特別是每組實驗中頻率較高的假雄蟲引誘率都大於頻率低的假雄蟲。

(2) 繁殖行為完成度:

| 不同頻率 | 1.2 下/秒 | 2 下/秒 | 3 下/秒 | 3.6 下/秒 |
|------|---------|-------|-------|---------|
| 攀附同枝 | 2.00 | 3.25 | 3.38 | 3.33 |
| 碰觸雄蟲 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 爬上雄蟲 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 尾碰雄尾 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 產卵 | 0 | 0 | 0 | 0 |

假雄蟲振動頻率以 2 下/秒及 3 下/秒的完成度較高，尤其是 2 下/秒的頻率吸引雌蟲前去碰觸雄蟲的次數最多。



討論:

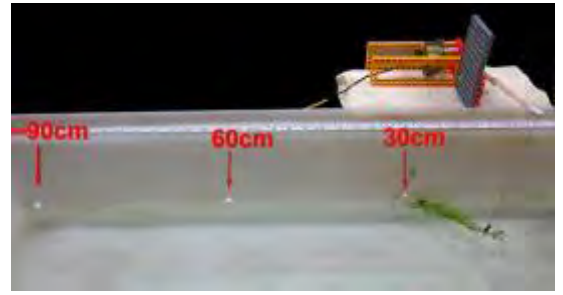
(1) 各組誘集率的比較中雖然每秒 3.6 下 > 每秒 3 下 > 每秒 2 下 > 每秒 1.2 下，但能吸引雌蟲前來碰觸仍以 2 下/秒最多，且在實際測量中，真雄蟲的振動頻率正好也是每秒 2-3 下之間，符合原始生物習性。

(2) 接下來的實驗都以每秒 2 下為標準振動頻率。

3.不同距離對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法:

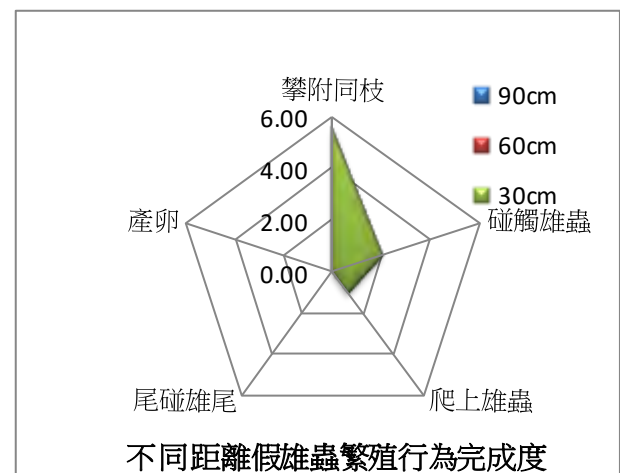
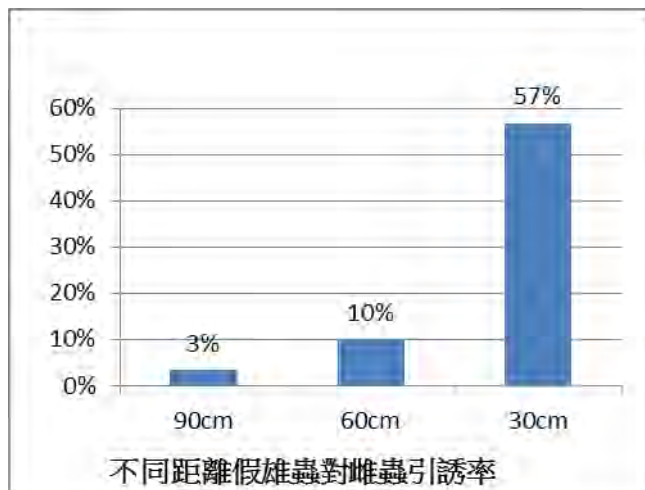
- (1)在 105cm 水槽中，分別設置模擬雄蟲在 30cm、60cm、90cm 的位置。
- (2)分別於起點放置 10 隻成熟母蟲，穩定後以相同振幅及頻率起伏振動測試反應並記錄，每次 10 分鐘，重複三次。



結果:

引誘率:

- (1)模擬雄蟲的距離愈近對雌蟲誘集率愈高，並且差異非常明顯。
- (2)繁殖行為完成度:只有最近的 30 公分組有雌蟲完成後續碰觸及爬上假雄蟲動作，其他組別都沒有。



討論:

- (1)在真蟲觀察中，我們發現雄蟲會到雌蟲附近做出求偶動作，吸引雌蟲趨前求偶，而在這個實驗中，30 公分組的引誘率與完成度都明顯優於其他組別，與真蟲的行為對照之下，我們推測如果振動水波的傳遞因距離而遞減，雌蟲會選擇較近距離的求偶雄蟲交尾，可能較可以確認是求偶信號，可能避免掉不必要的(較不確定的)消耗能量的覓偶行為。而其群聚習性也可能有助於繁殖行為的完成。
- (2)我們觀察到在真蟲的求偶行為中，雌雄蟲的距離多在 30 公分以內，我們的實驗為了測試最遠多遠仍能誘集到雌蟲，因此以較大距離為基準，未來可以取較小範圍作更精密的測試。

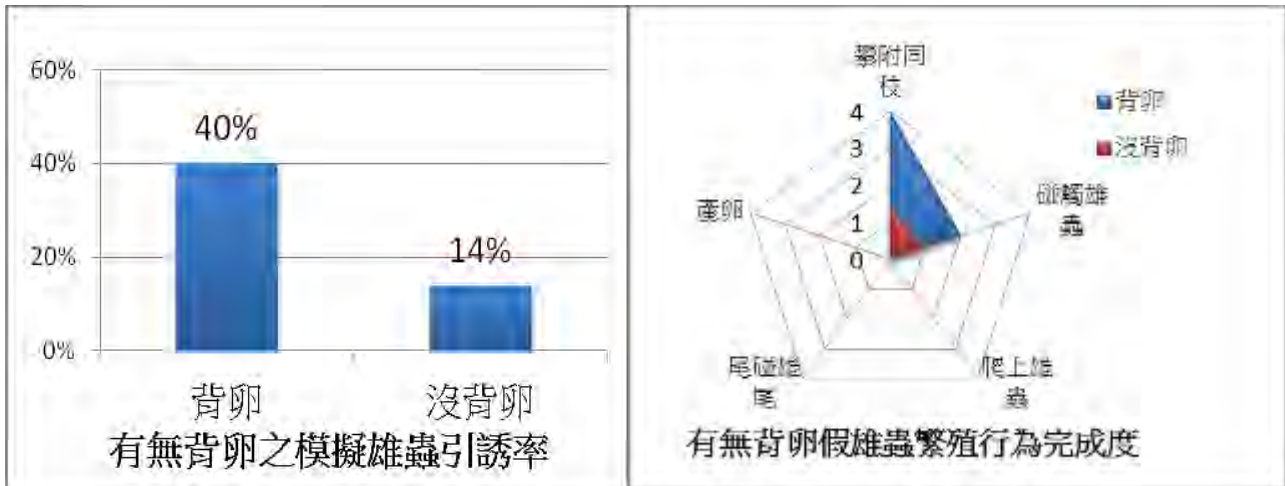
4.有無背卵之模擬雄蟲度對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法:

- (1)將相同大小的 2 隻假蟲，其中一隻在背部末端以保麗龍膠黏上 5 顆被雄蟲遺棄的卵後，分別固定在金魚藻上。
- (2)裝置於水槽中都以 2 下/秒頻率測試雌蟲反應。每次 10 分鐘，重複五次。



結果: 黏上卵的模擬雄蟲對雌蟲的引誘率與繁殖行為完成度都高於沒有卵的。



討論:

已背卵雄蟲較易吸引雌蟲的原因可能有：

- (1)已背卵雄蟲有機會被認為具有育幼能力，或是優勢個體。
- (2)背卵雄蟲可能因背上加上了卵的重量，以致於造成了較大幅度的水波振動，而根據三-(三)-1 實驗結果，振動幅度越大在雌蟲引誘率與繁殖行為完成度上都較高。

(四)不同溫度刺激下負子蟲是否會產卵

為了順利觀察負子蟲的產卵行為及相關研究，我們想知道如何控制負子蟲的繁殖，在飼養觀察中發現換水等冷刺激並不一定能產卵，但氣溫回暖時卻似乎較容易產卵，於是想試驗熱刺激是否能夠負子蟲產卵。

研究過程與方法：

- (1)從分開飼養一個月以上的雌雄成蟲中分別挑出九對成熟負子蟲，充分餵食後分成三缸，每缸三對。
- (2)將三缸負子蟲都放進控溫 13°C 的冰箱中三天(18°C→13°C)，取出後分別以加溫棒控制在 18°C、23°C、28°C，每天觀察記錄共三天。

結果: 13°C→23°C組、13°C→28°C組在三天內都成功產卵。

討論:

(1)降溫的三天都沒有產卵，回升到 23°C 及 28°C 都有產卵，如果以 13°C -23°C 這組來看，升溫 10°C 並到達 20°C 以上有可能產卵。



(2)接下來的繁殖實驗都可以參考這個結果控制求偶與產卵行為。

(五)大負子蟲的護卵育幼行為

1.有無背卵雄蟲與雌蟲棲息水面的時間是否有差異

從飼養觀察中發現，背卵雄蟲常常棲息停留水面，很好奇有無背卵雄蟲與雌蟲棲息水面的比例是否有不同，因此設計以下實驗。

研究過程與方法:

(1)選取沒背卵雄蟲、剛背卵雄蟲、雌蟲各 3 組，分別單獨飼養在 9 個分有水面上、水面、中層、底層等四層棲息板的公升盒中，避免干擾。



(2)每日上午、中午、下午分三次觀察記錄各盒中蟲隻棲息位置直到背卵雄蟲的卵孵化為止。

(3)平均統計不同蟲別棲息在水面的機率

結果:

(1)背卵雄蟲棲息水面比例明顯高於沒背卵的雄蟲與雌蟲。
(2)沒背卵的雄蟲與雌蟲棲息水面時間都接近五成，但雄蟲又略高於雌蟲。



討論:

(1) 根據我們觀察及文獻:背卵期的雄蟲必須將卵暴露於空氣中使卵可以呼吸,但我們更發現,愈接近後期即將孵化時,雄蟲留滯水面附近的機會似乎就愈高,這樣豈不是增加容易暴露在獵捕危險的機會嗎?

(2)為了驗證這項發現,我們想測試不同卵期雄蟲受驚擾後返回水面的情形是否有所差異,以證明雄蟲是否會為了護卵,尤其是在卵越成熟時,寧可暴露於風險中。

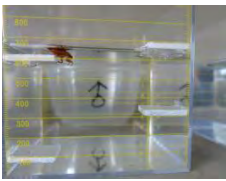






卵上方呼吸孔

(六)不同背卵期的雄蟲受到干擾後潛水滯留與返回水面時間是否有差異

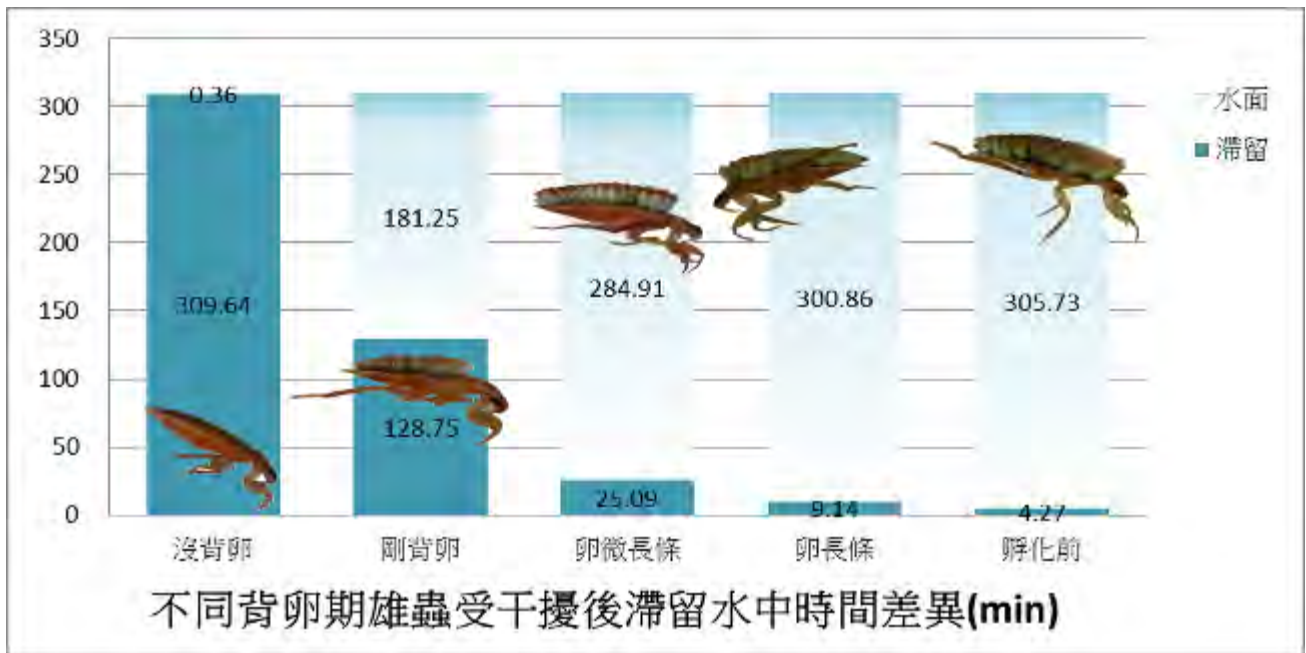
研究過程與方法:

- 1.分別選取沒背卵、剛背卵各一隻,放入設計有水面上、水下 0.5 公分、水下 4 公分及水底 4 種棲息板的容器中。
- 2.以攝影機錄製後計算各種背卵期雄蟲受干擾後(以釣線輕碰尾部使蟲潛到水裡)滯留水中後回到水面棲息的時間,並重複三組實驗。

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| 沒背卵雄蟲 | 剛背卵雄蟲 | 卵發育成微長 條形雄蟲 | 卵發育成長條 形雄蟲 | 有眼點快孵化 卵雄蟲 |

結果:

雄蟲背負的卵發育愈成熟,雄蟲滯留水中時間就愈短,變成長時間棲息在水面附近,即使受到干擾仍然很少潛伏水中。



討論:

- (1)從背卵開始，雄蟲滯留水底的時間就大幅減短，我們推測雄蟲的儲氣構造在背卵後可能有受到影響而減少儲氣量是其中一部分原因。
- (2)當卵發育愈成熟，雄蟲將卵頂端露出水面曝氣的時間也愈長，推測可能是因為卵越成熟所需耗氧量越高的緣故。為了使卵能順利曝氣而放棄躲藏，是盡責的好爸爸，這應該是跑回水面的主要原因。
- (3)雄蟲似乎能夠察覺卵的發育狀況而調整曝氣時間，到底是察覺重量改變或是察覺形狀改變則還需進一步研究。

四、大負子蟲的生活習性與其他物種或環境的關係

透過上述的觀察與實驗以及我們在野外的觀察，以下我們進行大負子蟲生活習性與其他物種或環境關係的探討。

(一)大負子蟲生活習性與蓮蓬種子的關係

在野外採集大負子蟲時，一隻大負子蟲受我們干擾後，竟然急急忙忙的往水面的蓮蓬縫隙鑽進去，再加上大負子蟲會棲息縫隙的生活習性，蓮蓬種子和大負子蟲有甚麼關係呢？

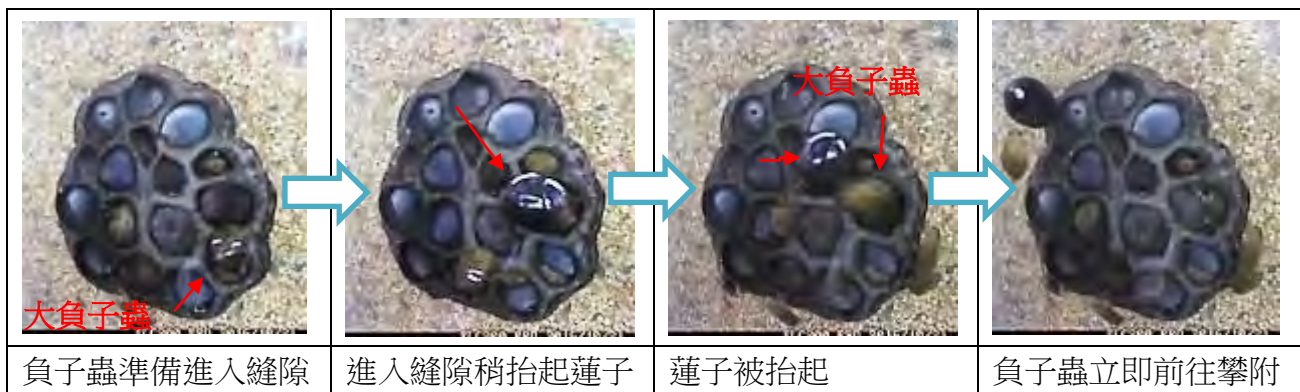
研究過程與方法：

- (1)將野外採集回來的蓮蓬模擬野外觀察蓮蓬情形放置在長方形容器內，再放入 15 隻大負子蟲。實驗設計如右圖示。
- (2)攝影觀察大負子蟲利用蓮蓬棲息情形。



野外蓮蓬正面朝上

結果：我們發現大負子蟲會往蓮蓬的縫隙棲息，在棲息的過程中會將蓮蓬內的種子推擠出來。



討論：我們認為大負子蟲喜愛棲息縫隙的生活習性，尤其是受驚擾時更為明顯，會協助蓮花種子從蓮蓬中散播出來。

(二)大負子蟲生活習性與環境的關係

1.大負子蟲捕食孑孓習性與人類環境的關係：

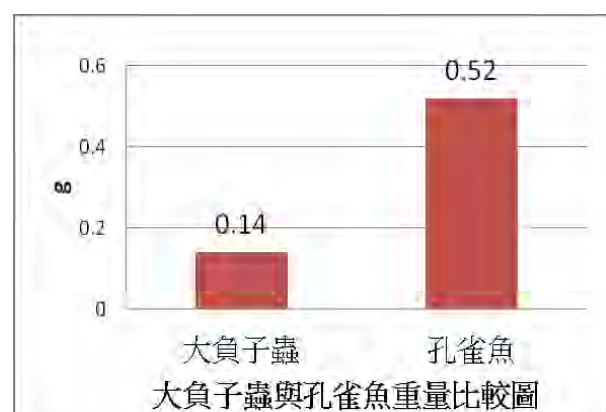
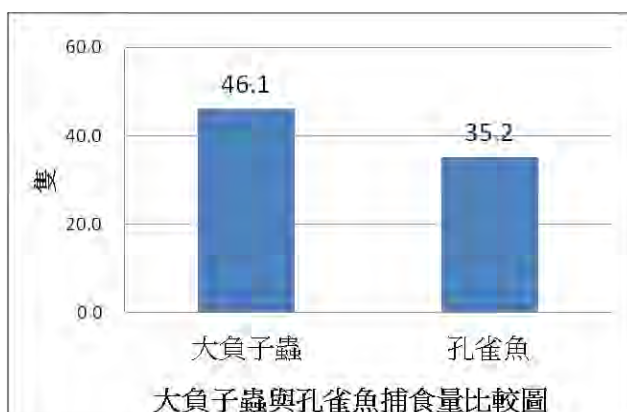
我們透過捕食行為了解大負子蟲對於孑孓具有捕食能力且報導中也提到可作為蚊子剋星，那大負子蟲對於孑孓的捕食能力和傳統上常使用的孔雀魚是誰比較好呢？

研究過程與方法：

- (1)將一隻大負子蟲雌蟲與孔雀魚雌魚分別放入一個正方形容器內，容器加水至 700cc。
- (2)每個容器內放入 50 隻孑孓，取食 24 小時後，記錄取食隻數。每次實驗進行三組，重複三次。
- (3)取食後，分別測量大負子蟲與孔雀魚的重量。



結果：



討論：從上述實驗結果，我們發現大負子蟲的重量比孔雀魚輕，但捕食量卻不輸孔雀魚，且大負子蟲屬於我們原生的物種，因此防蚊剋星若由他來擔任，既可達到一定的滅蚊效果，且對於原生物種的保育也是一大利多。

2.大負子蟲捕食福壽螺與人類環境的關係

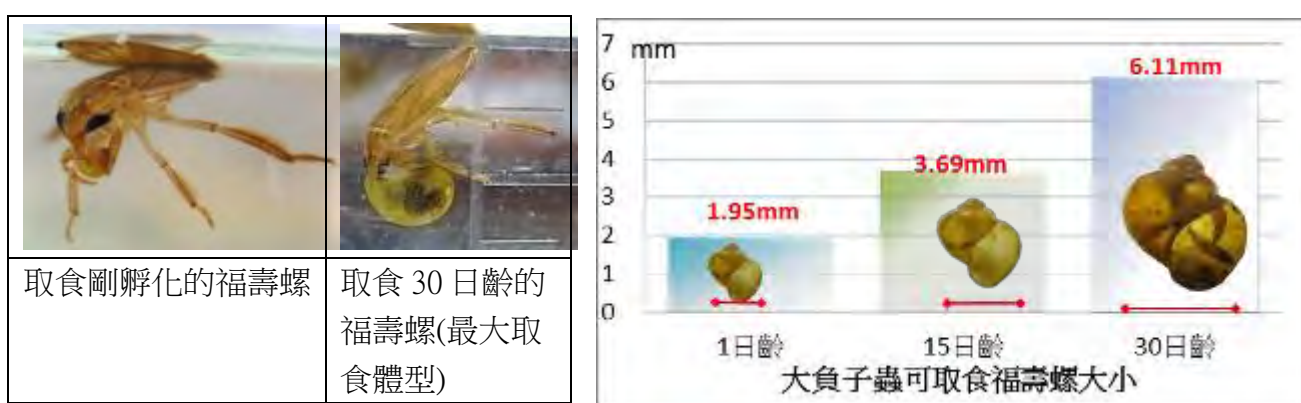
我們從食性方面知道大負子蟲會捕食福壽螺，而福壽螺是農作物的大危害，因此設計實驗探討大負子蟲捕食福壽螺的情形。

研究過程與方法：

(1)將三隻大負子蟲放入正方形容器，再放入 6 隻大小接近的福壽螺供其取食。

(2)記錄大負子蟲捕食的情形並在大負子蟲取食後記錄福壽螺的殼寬大小。

結果：大負子蟲會趁著福壽螺口蓋打開時進行捕食，但不是所有福壽螺都能捕食，最大殼寬約為 6.11mm。



討論：大負子蟲並無法取食所有大小的福壽螺，當福壽螺越大時越難取食，對於剛孵化的福壽螺較容易捕食，將剛孵化的福壽螺(殼寬約 1.95mm)放入容器內，大負子蟲約在 5 分鐘內便能捕捉到，因此我們認為大負子蟲也可當農田內福壽螺的生物防治用。

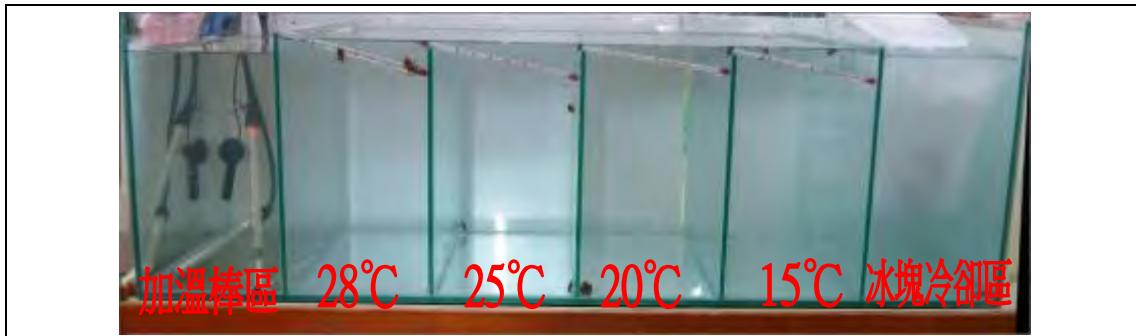
3.大負子蟲與環境溫度的關係

在我們以加溫棒控溫飼育的過程中，發現大負子蟲似乎偏好棲息在加溫棒旁，大負子蟲對環境溫度改變有什麼反應呢？

研究過程與方法：

(1)在 90cm 六連缸的兩端分別加入加溫棒及冰塊加鹽，造成溫差梯度，以溫度計測量中間四缸達到預設的 15°C、20°C、25°C、28°C(原定 30°C 但升不上去)。

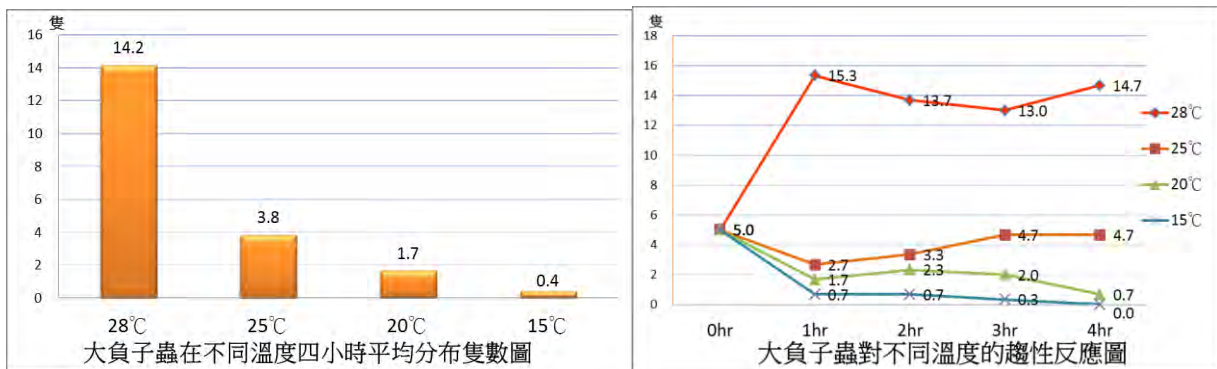
(2)每格分別放入 5 隻大負子蟲，每小時記錄一次移動情形。



以 90 公分長六連缸在左右兩側分別加溫與冷卻，製造出溫差梯度

結果：

- (1)大負子蟲在第一個小時就有 15.3 隻約 77%的蟲聚集到 28°C 缸，一直到結束時仍有 14.7 隻(74%)。
- (2)28°C的蟲數>25°C>20°C>15°C，明顯的溫度愈高，蟲數愈多。



討論：我們認為大負子蟲在環境中可能具有往高溫環境遷移的趨性反應。而大負子蟲是否能在水域環境降溫下，遷徙至溫暖水域，則是未來可以繼續研究的方向之一。

陸、結論

- 一、大負子蟲捕食方式採坐等、進入攻擊範圍時主動出擊及水域底層翻攪取食三種方式。
- 二、感覺獵物主要利用嗅覺與振動，視覺反應不明顯。
- 三、**攻擊範圍**在平均在複眼前方約 3.8cm，側方約 2.5cm，尾部後方約 1.1cm。
- 四、後方因須轉向攻擊所以時間較長，會停等獵物更靠近再進行捕食以提高成功率，**側面轉向時間**平均約 0.22 秒，**後方**約 0.42 秒。
- 五、大負子蟲群聚習性可能有利於共食與求偶。
- 六、子子密度愈高，大負子蟲的捕食量愈大，前 2 小時可達捕食最大量。
- 七、根據到底層翻攪取食習性測試**成蟲可下潛深度深達 233cm**。
- 八、雄蟲與雌蟲會在**產卵時製造氣泡**，可能是為了讓卵接觸空氣固化。
- 九、透過**模擬雄蟲求偶機**，發現**振動幅度大，振動距離近，有背卵振動**，對於雌蟲有較高

的引誘率與繁殖行為的完成度。

十、振動頻率越高引誘率越高，但可能因容易造成干擾，繁殖行為完成度並沒有因此增加，反而維持接近大負子蟲原本生物習性的振動頻率(每秒 2-3 下)具有較高的繁殖完成度。

十一、背卵雄蟲可能可以察覺卵的發育狀況而調整曝氣時間，卵越成熟越容易至水面曝氣。

十二、大負子蟲棲息縫隙的習性可能有助於蓮花種子的傳播。

十三、捕食食性對於孑孓與福壽螺具生物防治效果。

十四、在溫度 13-28°C 區間內，大負子蟲趨向往高溫環境移動。

柒、參考資料及其他

一、劉汶宜等。2011。甜蜜的負荷—負子蟲全記錄。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、蘇新基。1991。負子蟲之生物學研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文。

三、何健鎔。2003。椿象。親親文化事業有限公司。

四、盧耽。2008。圖解昆蟲學。台北市：商周出版。

【評語】 080323

本件作品研究負子蟲的各種行為以及棲息習性。研究中透過實驗得知負子蟲前側後方攻擊距離與活動深度，並針對雄蟲進行背負卵的相關實驗，與雌蟲喜愛的雄蟲特徵進行研究，整體研究詳盡。其中以齒輪模擬雄蟲振動頻率，得到振動頻率多寡為吸引雌蟲的主因，是本作品亮點。

作品海報

壹、研究動機

「茲卡病毒來勢洶洶，台灣出現境外移入個案」、「疾管署公布今夏以來第N例本土登革熱病例」真可怕!病媒蚊新聞不斷播報，小頭症等可怕後遺症更怵目驚心!

「克制登革熱病媒蚊 動物園加碼負子蟲」台北動物園的新聞好像黑暗中的曙光，原來本土生物負子蟲就是消滅病媒蚊的高手!我們認真到田裡尋找蟲跡，想好好研究這可能對我們大有幫助的神奇生物。

貳、研究目的

- 一、大負子蟲的捕食行為
- 二、大負子蟲的繁殖行為
- 三、大負子蟲的生活習性與其他物種或環境的關係

參、研究設備及器材：略

肆、研究過程、方法、結果與討論

一、大負子蟲生活史：略

二、大負子蟲的捕食行為

(一)大負子蟲的捕食方式

| 捕食行為 | 1. 坐等為主 | 2. 坐等+主動出擊 | |
|--------|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| 研究者觀點 | 很少主動追捕獵物，獵物接近時利用鎌刀狀捕捉足迅速將獵物抓住。(蘇新基等，1991) | 因獵物移動速度來決定是否主動出擊。(劉汶宜等，2011) | |
| 我們觀察 | 1. 坐等 | 2. 近距離主動出擊 | 3. 翻攪底層搜捕獵物 |
| 行為決定條件 | 1. 子子等獵物密度高時 2. 獵物主動靠近 | 獵物密度低時或感覺到一定範圍內有動靜，可能會主動攻擊(後續實驗有探討) | 可能飢餓或聞到氣味，會輪流到水域底層翻攪並捕食受驚擾逃出的獵物 |

(二)大負子蟲如何感覺獵物存在：

1-1. 嗅覺實驗一：

研究過程與方法：以迷宮藏放冷凍紅蟲，觀察大負子蟲是否可以成功搜尋到夾角處的冷凍紅蟲。

結果：



大負子蟲利用嗅覺搜尋冷凍紅蟲紀錄表：

| 項目 | 時間 | 30分鐘 | 1小時 | 2小時 | 3小時 | 4小時 | 24小時 | 未至紅蟲區 |
|-----|----|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| 總隻數 | | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| 統計 | | 4小時內受引誘至紅蟲區隻數=11隻(73.3%) | | | | | | |

討論：大負子蟲似乎可利用嗅覺成功搜尋獵物。

1-2. 嗅覺驗證實驗二：

研究過程與方法：

吸取冷凍紅蟲汁液，然後再緩慢靠近在大負子蟲的前斜下方輕輕滲出汁液。觀察記錄反應。

結果：大負子蟲攻擊紅蟲液紀錄表



討論：我們更確認大負子蟲應可利用嗅覺來感覺與攻擊獵物。

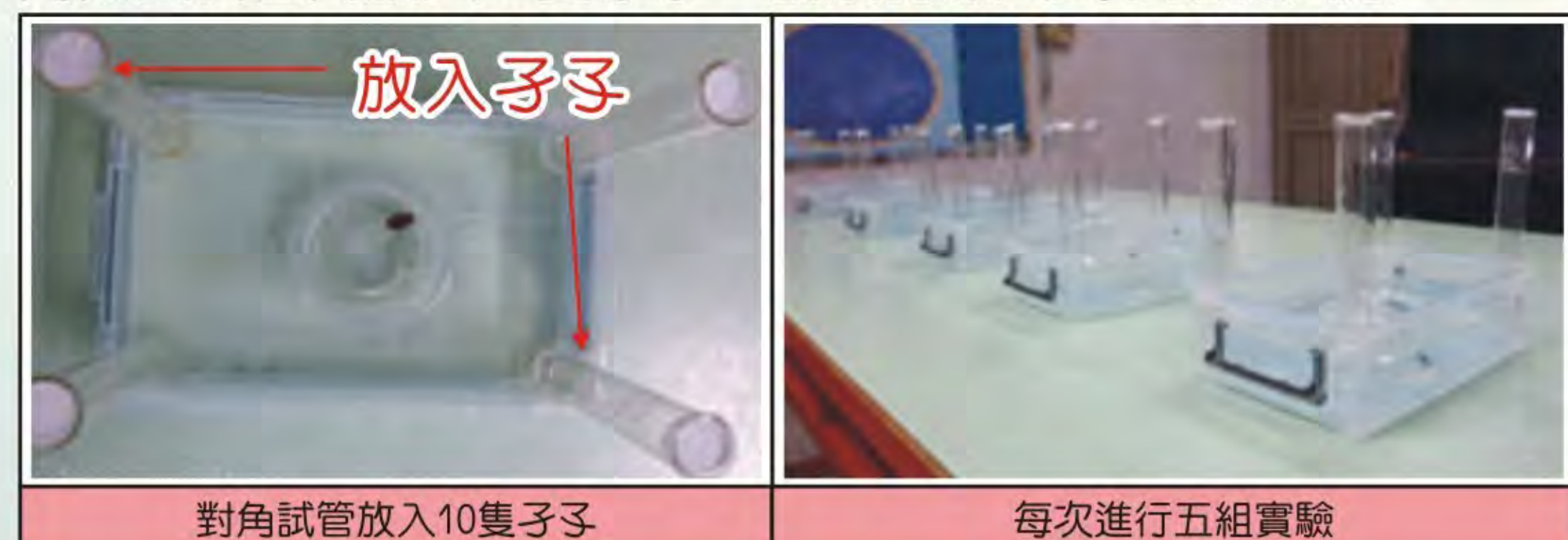
1-3. 嗅覺驗證實驗三：同上，紅蟲汁液改成水進行對照實驗。

結果：在10隻測試的負子蟲，趨前攻擊的為0隻，攻擊率為0%。

討論：由以上實驗可以讓我們更確認大負子蟲應可利用嗅覺來感覺與攻擊獵物。

2-1. 視覺實驗一：試管隔離子子實驗

研究過程與方法：透明盒四個角落分別放置透明試管，並於對角兩支試管內放入10隻子子，觀察記錄大負子蟲的反應。



結果：大負子蟲視覺反應紀錄表

| 項目 | 攻擊子子試管 | 攻擊無子子試管 | 棲息子子試管縫隙 | 棲息無子子試管縫隙 | 無移動 | 合計反應隻次 |
|----|-----------------------------------|---------|----------|-----------|----------|----------|
| 隻次 | 9(24.3%) | 2(5.4%) | 7(18.9%) | 14(37.8%) | 5(13.5%) | 37(100%) |
| 統計 | 攻擊子子處的隻次(9) > 無子子處的隻次(2)，但攻擊比率並不高 | | | | | |

討論：大負子蟲視覺可能要獵物在相當近距離且移動時才會捕食。

2-2. 視覺實驗二：昆蟲針緩慢靠近實驗(無振動)

研究過程與方法：昆蟲針從大負子蟲複眼前方由遠至近慢慢接近，在複眼前方約0.5cm位置時停止移動5秒，觀察記錄反應。

結果：大負子蟲對緩慢靠近昆蟲針反應紀錄表

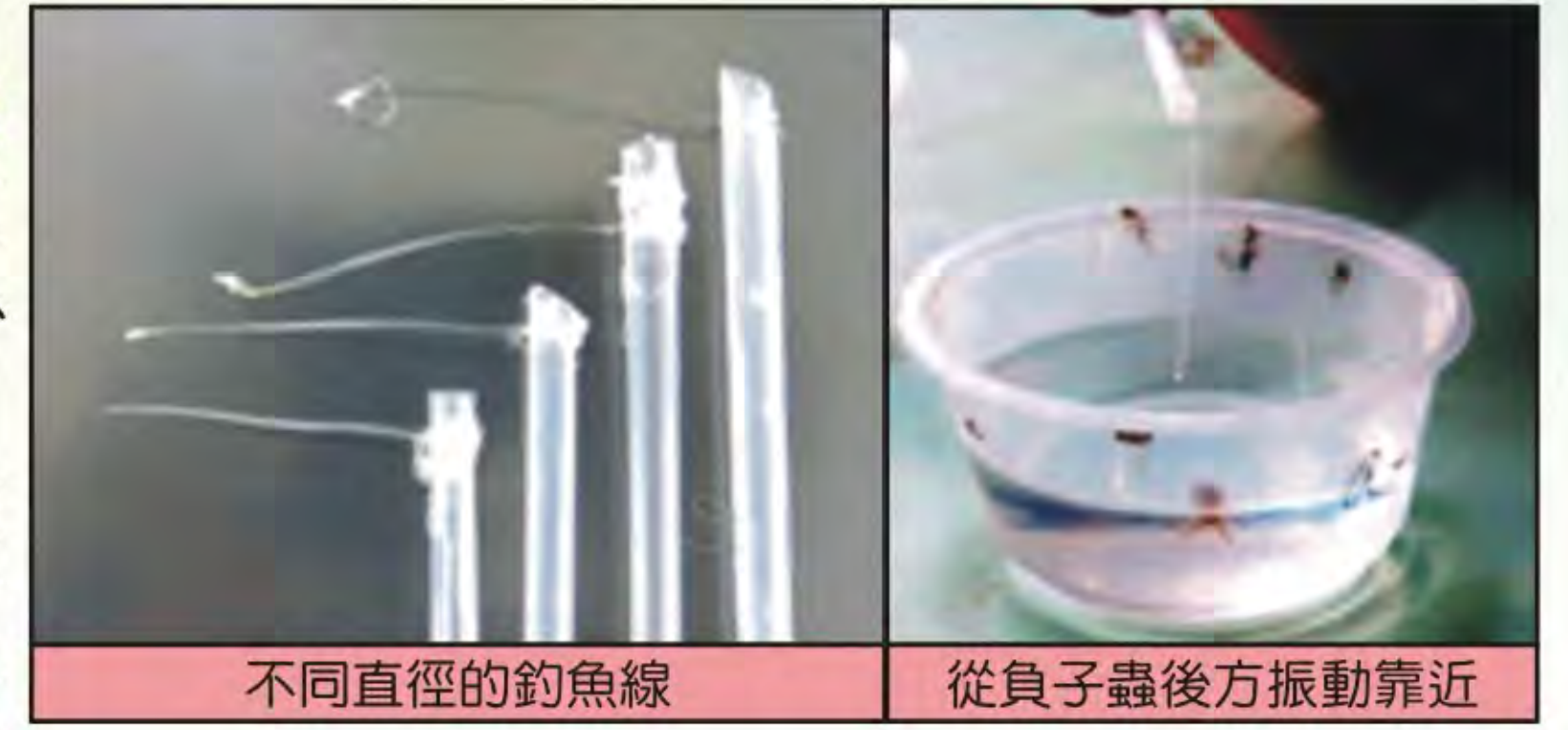
| 項目 | 0.5cm時攻擊昆蟲針 | 0.5cm時沒有攻擊昆蟲針 | 其他距離攻擊昆蟲針 |
|----|-------------|---------------|-----------|
| 隻次 | 1(1.2秒) | 9 | 0 |

討論：大負子蟲可能對近距離移動的獵物才有視覺反應。

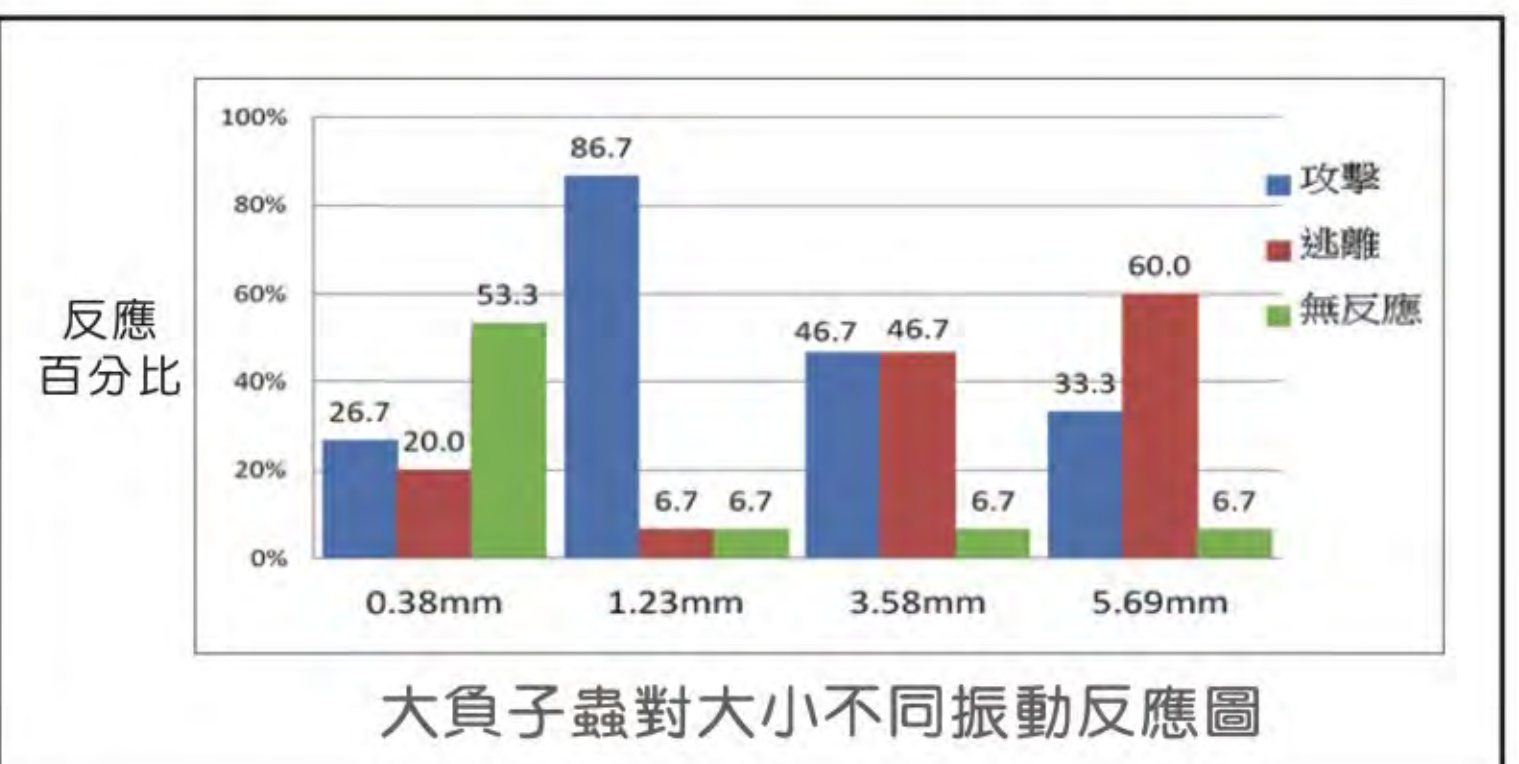
3. 振動實驗：

研究過程與方法：

分別以不同直徑(0.38、1.23、3.58、5.69mm)的透明釣魚線在大負子蟲的後方產生振動，以減少視覺對大負蟲的影響，觀察記錄大負子蟲的反應。



結果：



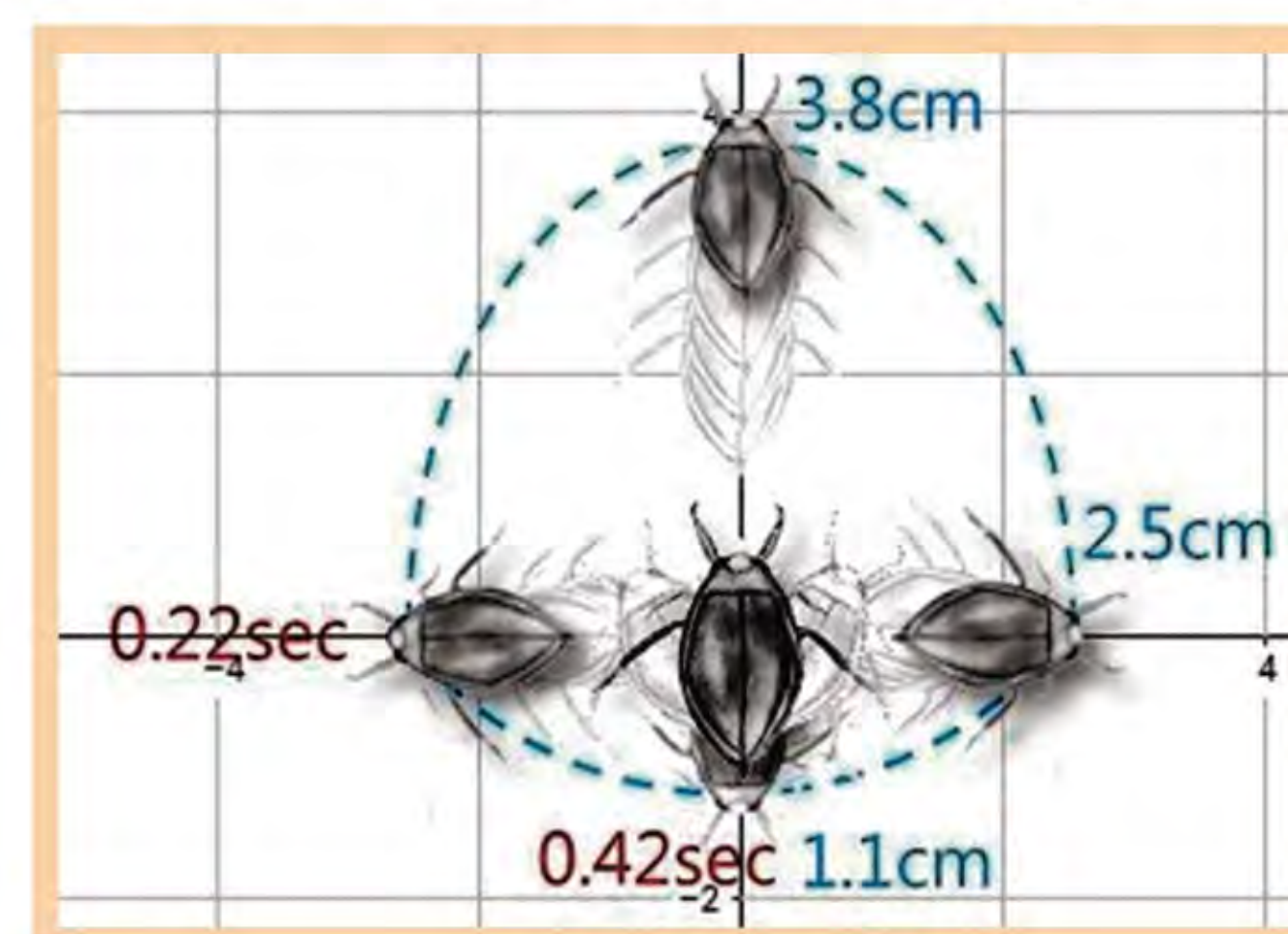
討論：大負子蟲可能根據振動判斷獵物大小來決定是否主動攻擊，對於1.23mm左右的振動有較高的攻擊率，較大的振動可能視為干擾或較大敵人靠近，因而有較高的逃離率。

(三)大負子蟲的攻擊範圍：

研究過程與方法：以冷凍紅蟲分別從大負子蟲的前方、複眼兩側、後方由遠至近振動靠近。再利用ImageJ軟體計算攻擊距離。並在不同方位晃動紅蟲，以視訊軟體測出大負子蟲轉向正確方向所需時間。

結果：

| 1. 大負子蟲攻擊獵物的距離 | | | 2. 大負子蟲轉向獵物的時間 | | | |
|-------------------|-----|-----|----------------|---------|------|------|
| 方向 | 前方 | 側方 | 後方 | 方向 | 側方 | 後方 |
| 攻擊距離(cm) | 3.8 | 2.5 | 1.1 | 轉向時間(秒) | 0.22 | 0.42 |
| 攻擊距離：前方 > 側方 > 後方 | | | 轉向時間：側方 < 後方 | | | |



討論

大負子蟲因為須轉向面向獵物捕食，因此在後方轉向所花的時間越多，會重新等待獵物更靠近再進行捕食，以提高捕食成功率。

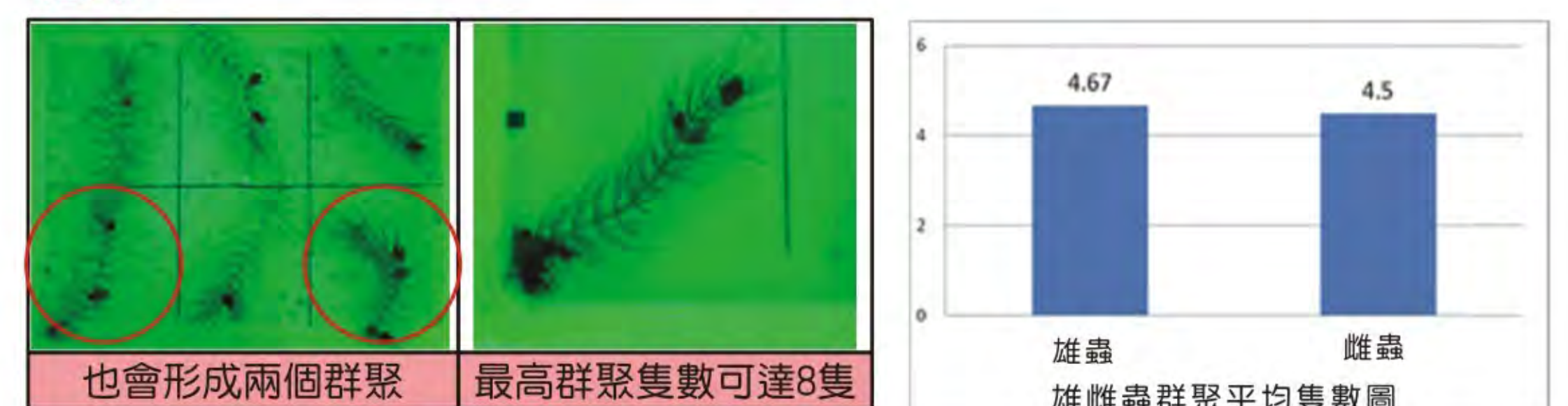
(四)大負子蟲的群聚與取食關係：

研究過程與方法：

(1) 水槽畫分成6等份，每一等份放入約10公分的水草與2隻雄成蟲，記錄群聚行為。

(2) 將雄蟲更換成雌蟲再依上述過程進行雌蟲群聚實驗。

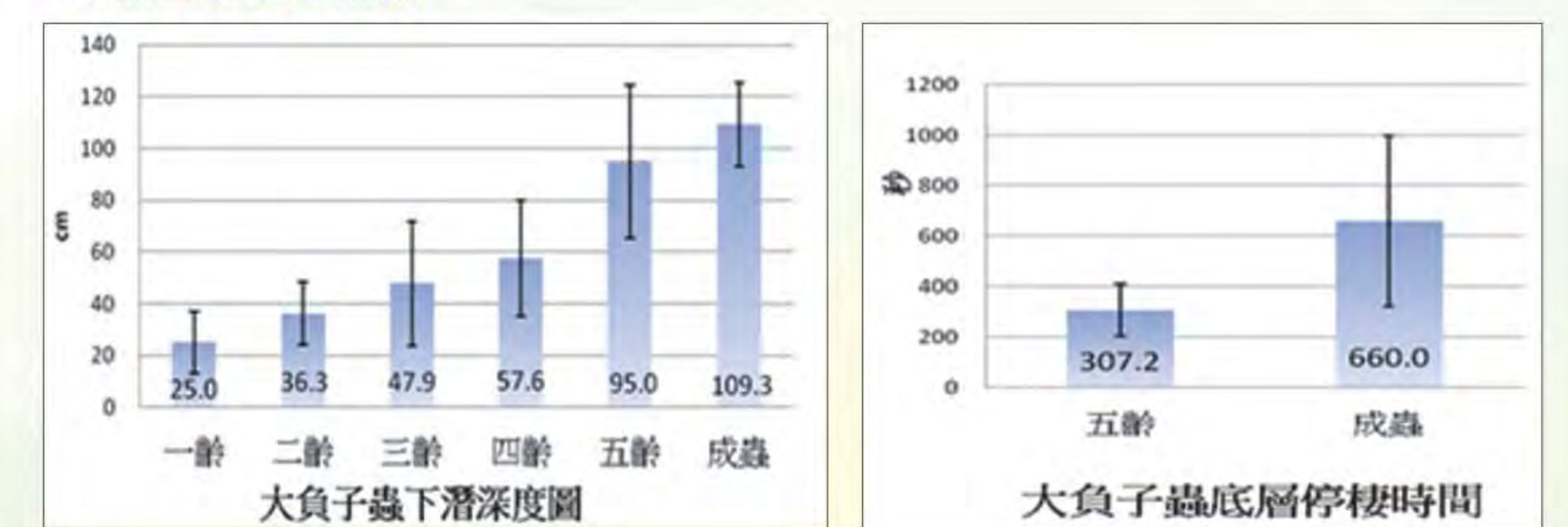
結果：



討論：具群聚性且可能有利於共食與求偶。

(五)大負子蟲的棲息深度

1. 短潛水管實驗：



結果：

發現五齡蟲與成蟲可下潛至最底部(117CM)因此我們分別記錄五齡及成蟲在底層停留時間。

討論：我們發現齡期越大，下潛水深越深，而五齡蟲與成蟲雖都可以下潛至最底層，但若蟲腹部腹面避水毛成蟲腹部背面避水毛底層停留時間，成蟲仍比五齡蟲長。我們認為大負子蟲各齡期能夠活動的水域應該不同，而這樣的差異可能與各齡期儲氣構造的儲氣量與承受水壓能力有關。



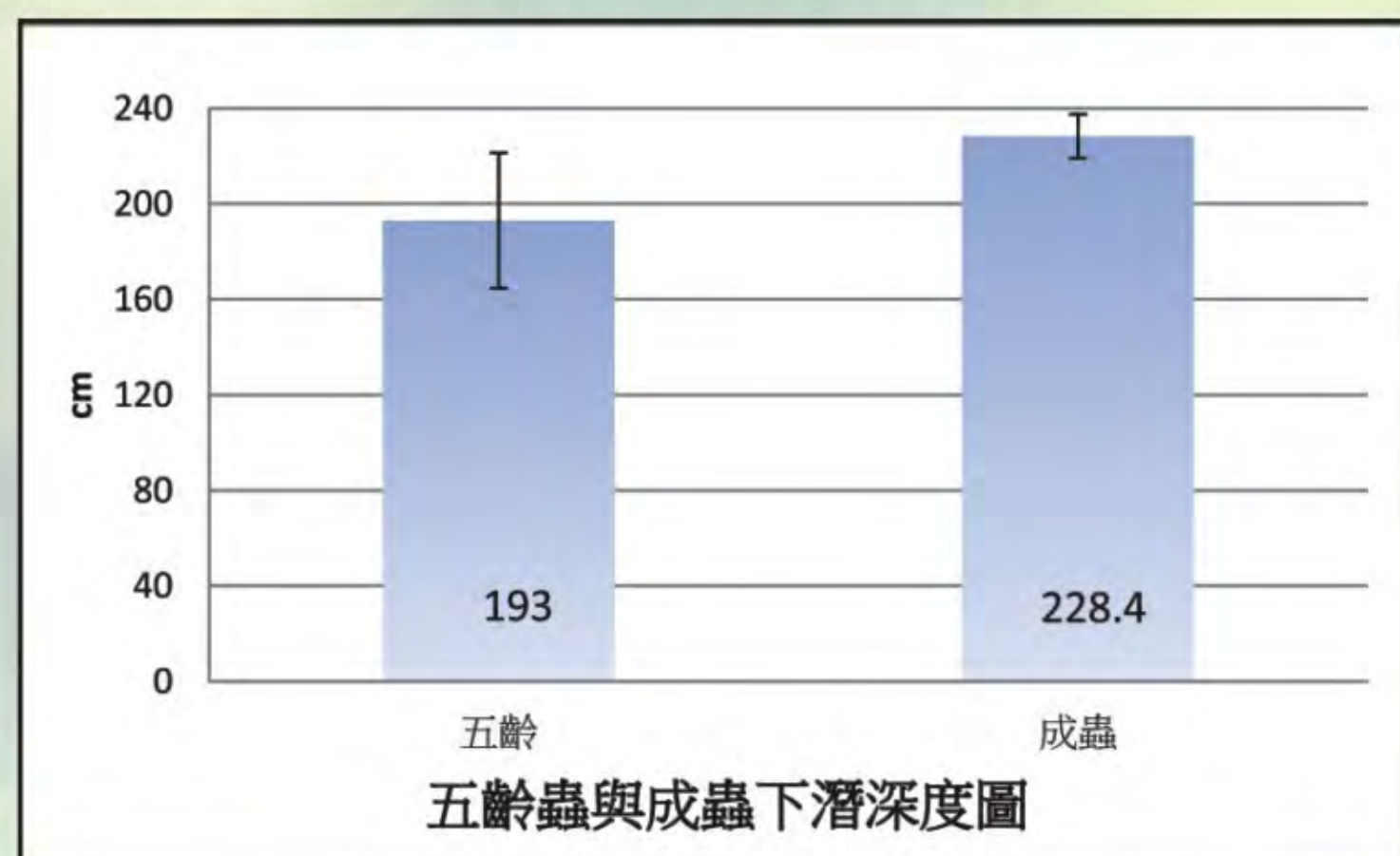
若蟲腹部腹面避水毛 成蟲腹部背面避水毛

2. 加長型潛水管實驗：

研究過程與方法：同前實驗但將透明塑膠管延長至240cm，加水至233cm深。

結果：1. 成蟲幾乎都可以下潛至最深處(233cm)，而五齡蟲僅一隻次可以達到。

2. 成蟲在長透明管底部停留時間約 199.2 ± 66 秒。



討論 由上實驗發現大負子成蟲的潛水深度可達233cm，因此推測成蟲的捕食範圍相當深廣。

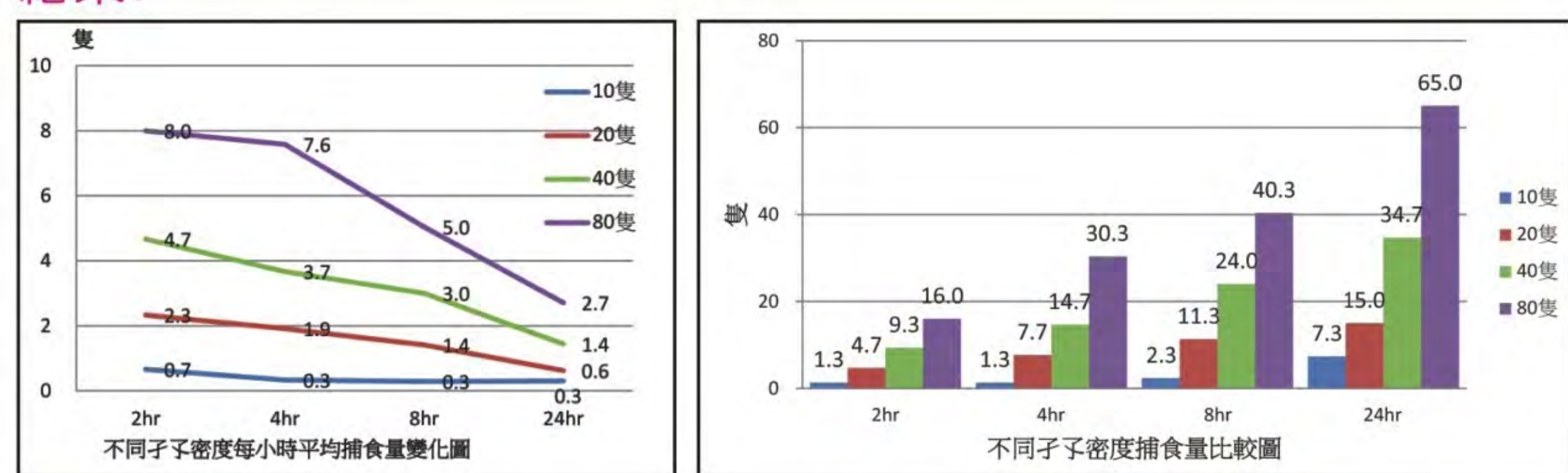
1. 成蟲在長透明管底部停留時間(199.2 ± 66 秒)明顯少於短透明潛水管(660.0秒)，我們推測大負子成蟲滯留底部時間除了可能受到儲氣構造的儲氣量影響外，水壓愈大時可能可以憋氣停滯時間愈短。

(六) 不同獵物密度的捕食

研究過程與方法：

將4隻雌蟲分別放入4個水水700cc的正方形公升盒內。再放入不同密度的子子數，密度分別10隻、20隻、40隻、80隻，觀察記錄捕食量。

結果：

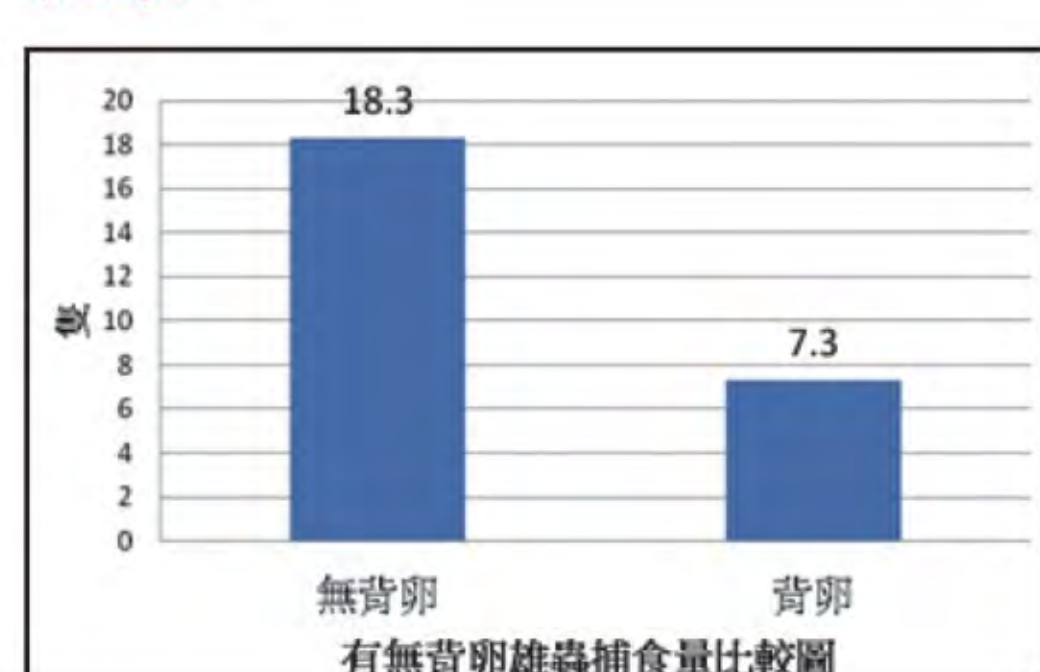


討論 子子密度高接近坐等捕食大負子蟲的機率高，所以在較少耗能下可以持續捕食，增加捕食量。在前2小時捕食達最大量飽食後，可能較少主動出擊而慢慢減少了捕食量。

(七) 背卵雄蟲的取食

研究過程與方法：將背卵雄蟲與未背卵雄蟲各一隻分別放入盛水700cc的公升盒內。放入40隻子子，取食一天後進行捕食量比較。

結果：

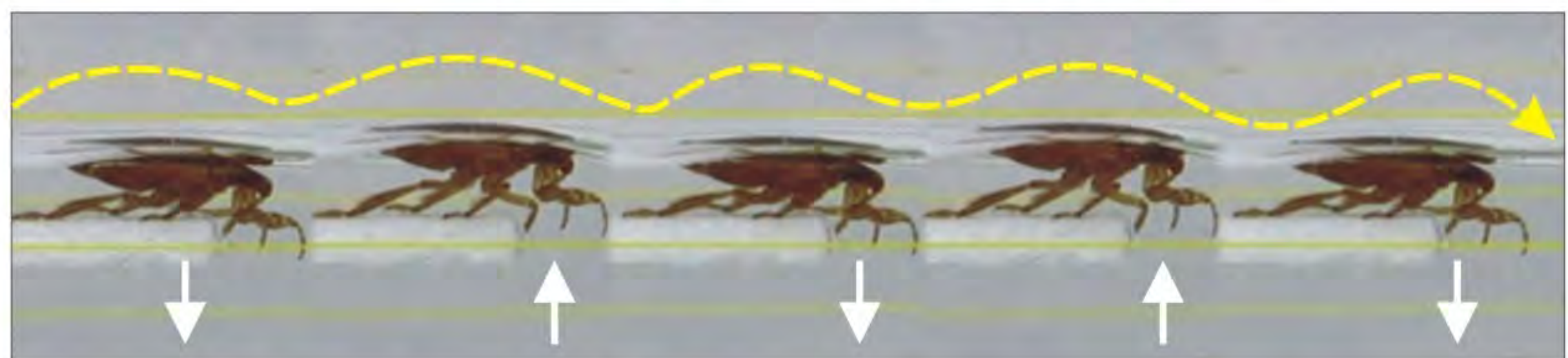


討論 我們認為背卵雄蟲捕食量減少應是為了護卵育幼。

三、大負子蟲繁殖行為

(一) 大負子蟲的求偶與產卵行為觀察

1. 雄蟲的求偶行為：雄蟲在羽化後不論是否有雌蟲在附近，當性成熟時就會出現上下搖晃身體的行為。



- (1) 雄蟲會棲息靠近水面位置後利用中足與後足上下撐高放低身體，造成水波。
- (2) 計算搖動頻率約為每秒2.27下(n=15)，中間間隔約2.56秒(n=15)。
- (3) 若有其他雄蟲則會出現各據枝條行為，一段時間後也發現會主動接近雌蟲再搖動。

2. 交尾與產卵行為

| | | |
|----------------------------|---|--|
| | | |
| (1) 雌蟲察覺雄蟲振動後會靠近雄蟲棲息位置。 | (2) 交尾時雌蟲與雄蟲利用後足定位與摩擦抖動來互相確認，雄蟲並伸出呼吸管兩側毛摩擦刺激。 | |
| | | |
| (3) 雌蟲用後足確認產卵位置，並引導雄蟲挪動身體。 | | |
| (4) 每交尾一次產卵一次。 | | |

3. 特殊發現：

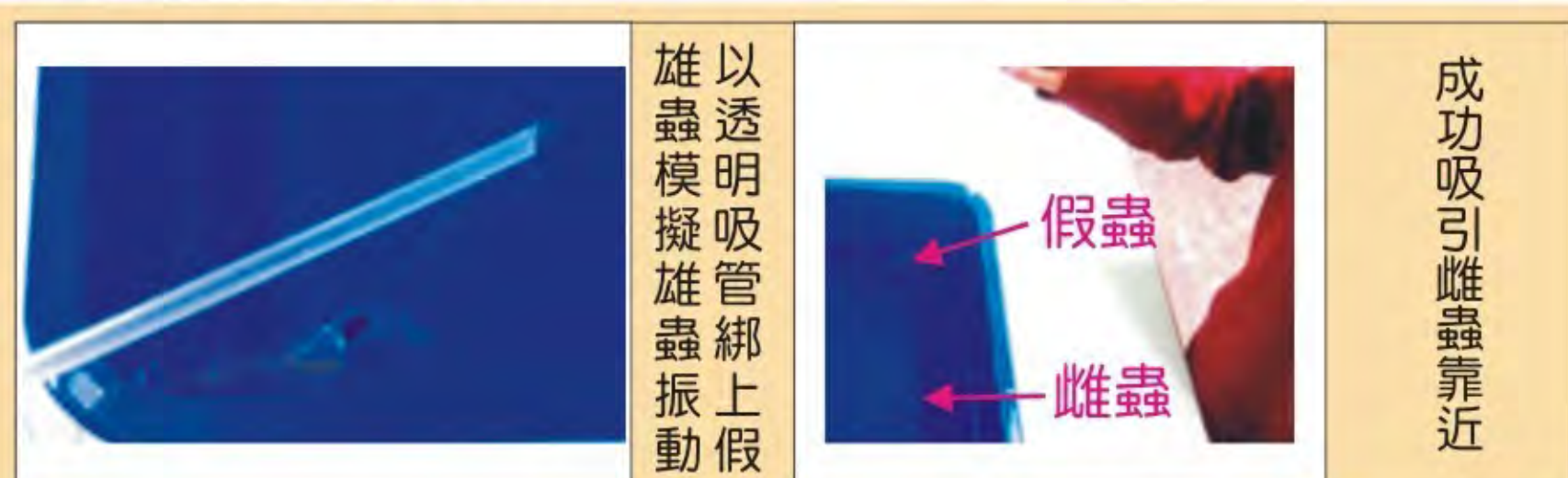
- (1) 氣泡包卵 (2) 卵多時浮出水面曝氣
- (3) 其他雌蟲利用曝氣時間爭奪交配權
- (4) 背卵未完全覆蓋背部時雄蟲的再求偶行為
- (5) 產卵有方向性：

| | | |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
| | | |
| 雌蟲產卵在雄蟲背上，且從靠近尾部開始生 | 雄蟲從腹背部與外翅間擠出氣泡 | 與雌蟲一起將氣泡包裹卵 |
| | | |
| 吐左邊氣泡到卵 | 在氣泡漂走前收回氣泡 | 吐右邊氣泡到卵 |
| | | |
| 每產一顆卵就須重新交尾一次 | 產卵多時公蟲會先到水面接觸空氣後再重新求偶 | 如果附近有其他母蟲會趁機爭奪交配機會 |

(二) 模擬雄蟲實驗—模擬雄蟲求偶機製作

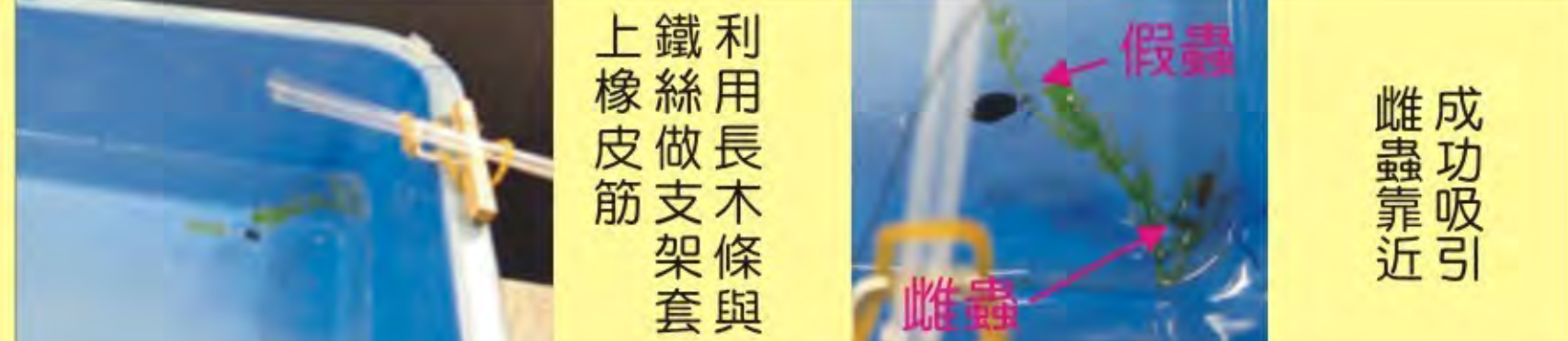
第一代釣魚式模擬雄蟲

優點：成功吸引雌蟲
缺點：手部力量大小與頻率不易控制，且手很容易就酸了，位置也不易固定。



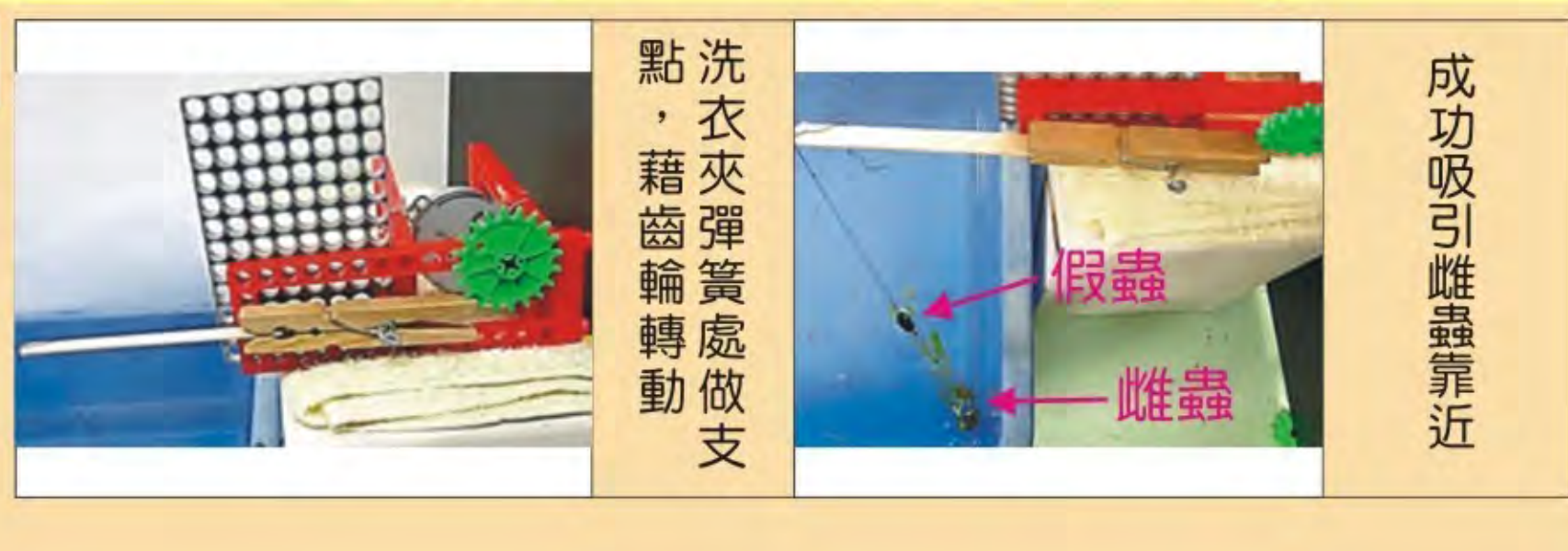
第二代電報式模擬雄蟲

優點：成功吸引雌蟲
缺點：需靠近操作，頻率不易控制。



第三代積木齒輪式模擬雄蟲

缺點與改良：洗衣夾槓桿振動後會搖晃，我們找到一種零件軸承-可以平順轉動，另外洗衣夾不容易固定到軸承上，所以改全部使用冰棒棍。



第四代齒輪與軸承式模擬雄蟲

缺點與改良：洗衣夾槓桿振動後會搖晃，我們找到一種零件軸承-可以平順轉動，另外洗衣夾不容易固定到軸承上，所以改全部使用冰棒棍。



結果：更容易成功吸引雌蟲與操控

- 討論
- (1) 量化比較不同振動幅度、不同頻率等因素是否會影響雌蟲靠近意願。
 - (2) 以可彎懸臂改變抗力臂長度可以改變振動幅度，利用不同齒數的齒輪則可以改變頻率。
 - (3) 量化雌蟲對模擬雄蟲的反應分為2種評分方式：① 引誘率 ② 繁殖行為完成度。
 - (4) 繁殖行為完成度：攀附同枝、碰觸雄蟲、爬上雄蟲、雌尾碰雄尾、產卵等五個分級。

(三) 模擬雄蟲實驗—不同振動因素對雌蟲的吸引

1. 不同大小振動幅度對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法：調整懸臂為一長一短，改變振動幅度並分別設置於水槽兩端，啟動實驗並記錄雌蟲反應。



結果：(1) 引誘率：模擬雄蟲以大振幅起伏的平均引誘率較高。
(2) 完成度：大振幅雄蟲的繁殖行為為完成度較高，雌蟲表現相當活潑，甚至以尾部碰觸假雄蟲。



討論 我們推測雌蟲對振幅大的雄蟲反應較明顯，很可能是在擇偶條件中選擇較強壯的雄蟲，確保有良好護卵育幼能力，增加子代存活率。

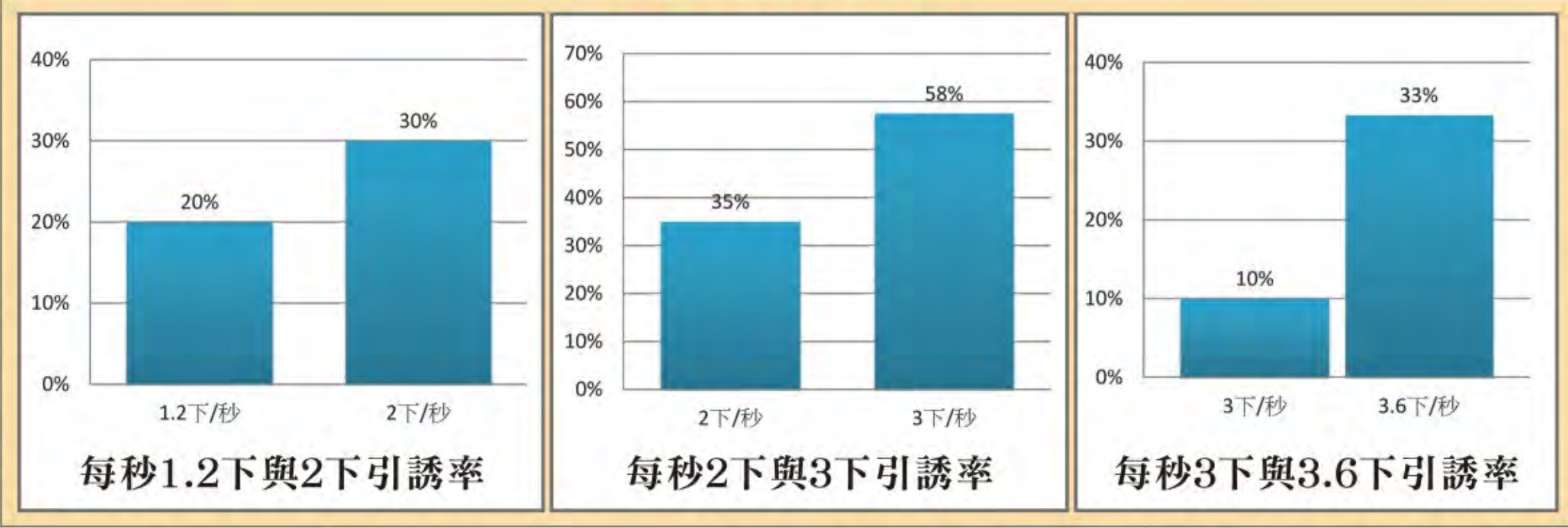
2. 不同振動頻率的對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法：將不同齒數的齒輪裝在雄蟲模擬機上，形成不同振動頻率。實驗共分1.2下/秒、2下/秒、3下/秒、4下/秒、5下/秒等五組。觀察記錄雌蟲反應。



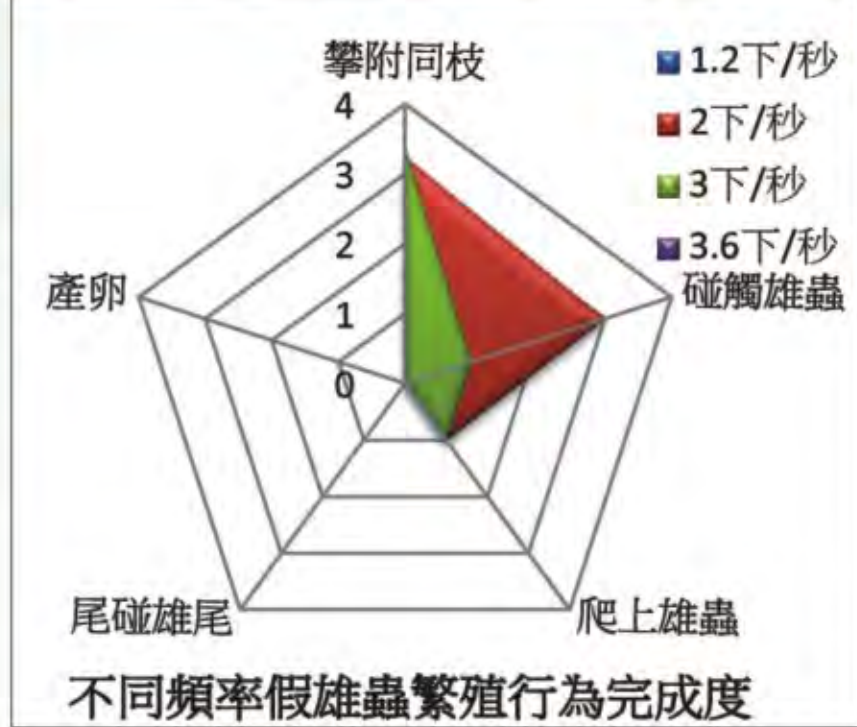
結果：

(1) 引誘率比較：



(2) 繁殖行為完成度：

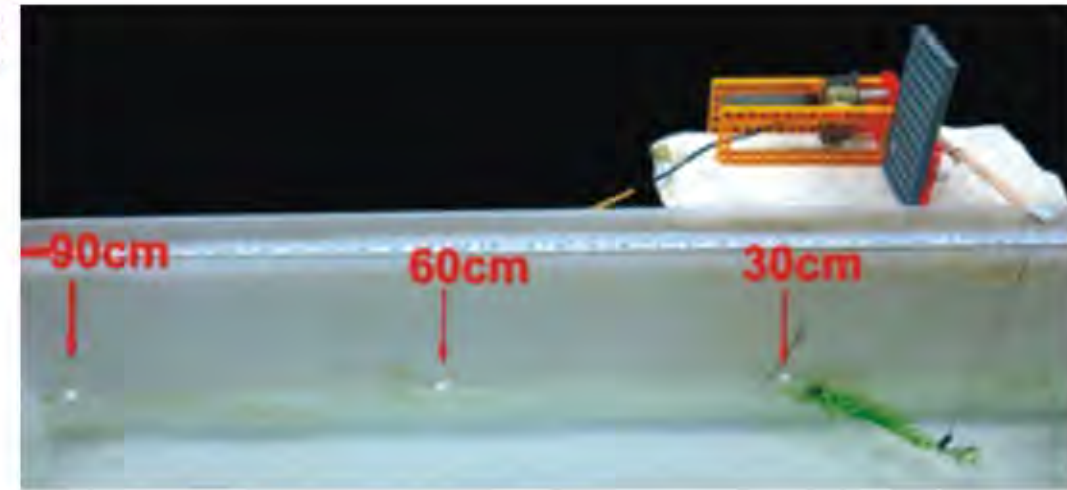
| 不同頻率 | 1.2下/秒 | 2下/秒 | 3下/秒 | 3.6下/秒 |
|------|--------|------|------|--------|
| 攀附同枝 | 2.00 | 3.25 | 3.38 | 3.33 |
| 碰觸雄蟲 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 爬上雄蟲 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 尾碰雄尾 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 產卵 | 0 | 0 | 0 | 0 |



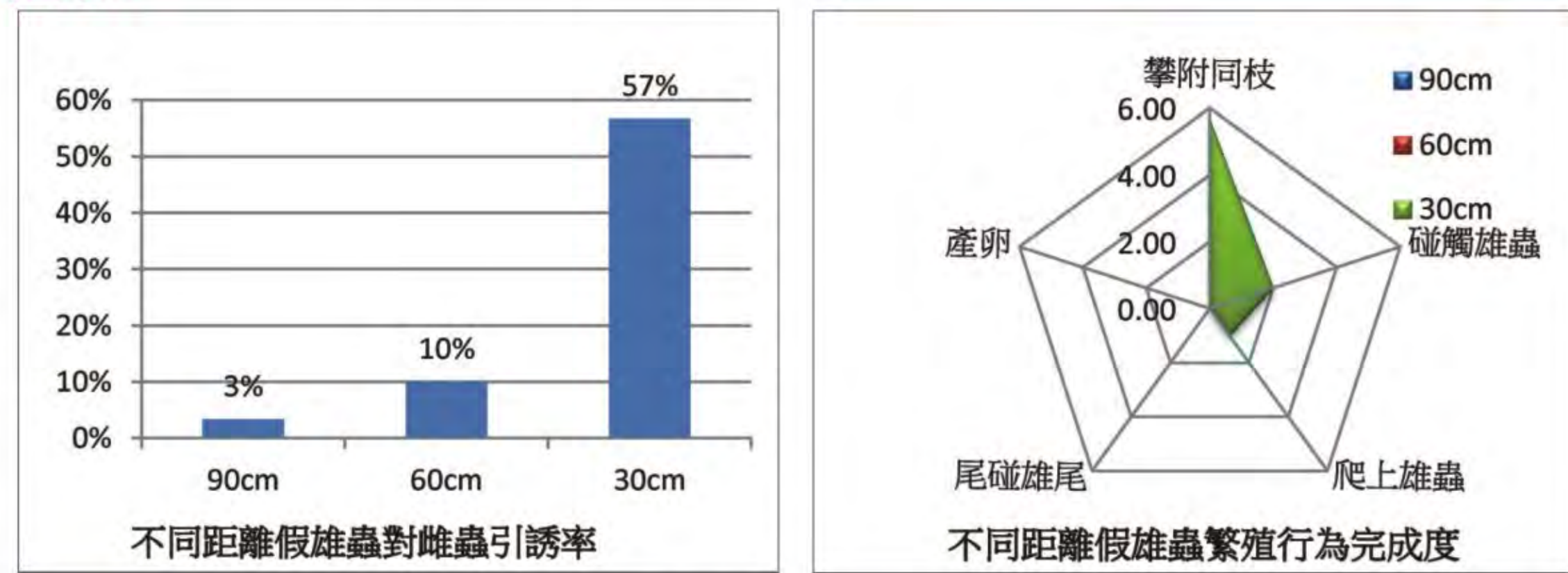
討論 (1) 各組誘集率的比較：3.6下/秒>3下/秒>2下/秒>1.2下/秒，但能吸引雌蟲前來碰觸仍以2下/秒最多，且在實際測量中，真雄蟲的振動頻率正好也是每秒2-3下之間，符合原始生物習性。
(2) 接下來的實驗都以每秒2下為標準振動頻率。

3. 不同距離對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法：分別設置模擬雄蟲在30cm、60cm、90cm的位置以相同振幅及頻率起伏振動並記錄雌蟲反應。



結果：



討論 雌蟲會選擇較近距離的求偶雄蟲交尾，可能較可以確認是求偶信號以避免掉較不確定的消耗能量的覓偶行為。而群聚習性也可能有助於繁殖行為的完成。

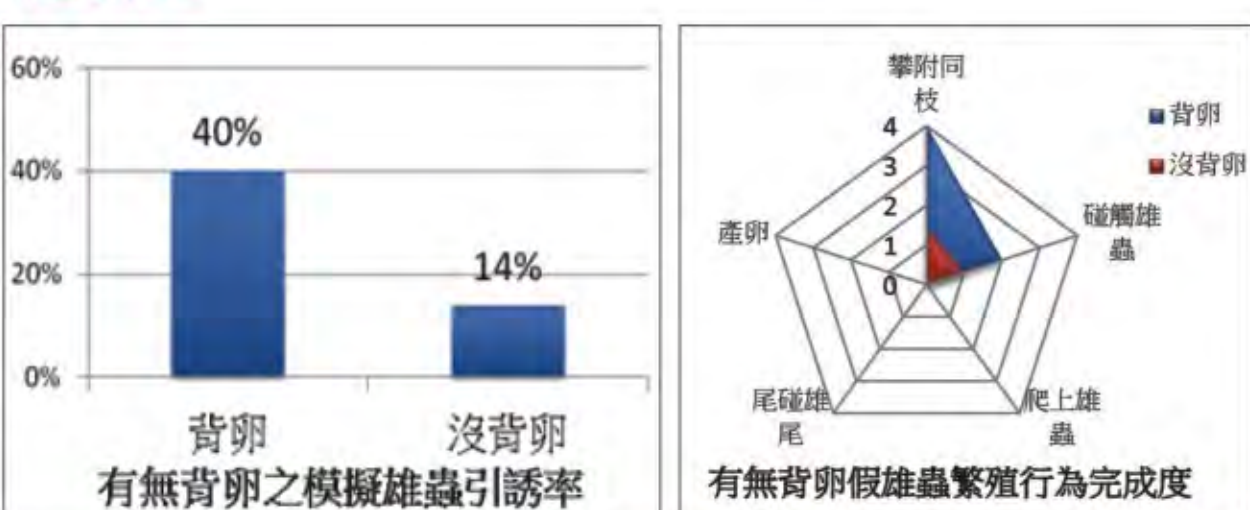
4. 有無背卵之模擬雄蟲度對雌蟲吸引力是否有影響

研究過程與方法：

- (1) 相同大小的2隻假蟲，一隻在背部末端黏上5顆被雄蟲遺棄的卵。
- (2) 以2下/秒頻率測試雌蟲反應。



結果：



討論 已背卵雄蟲較易吸引雌蟲的原因可能有：
(1) 已背卵雄蟲有機會被認為具有育幼能力，或是優勢個體。
(2) 背卵雄蟲可能因背上加上了卵的重量，以致於造成了較大幅度的水波振動。

(四) 不同溫度刺激下負子蟲是否會產卵

研究過程與方法：

- (1) 分別挑出九對成熟大負子蟲，分成三缸，每缸三對。
- (2) 放進控溫13°C的冰箱中三天(18°C→13°C)，取出後分別以加溫棒控制在18°C、23°C、28°C。



討論 (1) 降溫的三天都沒有產卵，回升到23°C及28°C都有產卵，如果以13°C-23°C這組來看，升溫10°C並到達20°C以上有可能產卵。
(2) 接下來的繁殖實驗都可以參考這個結果控制求偶與產卵行為。

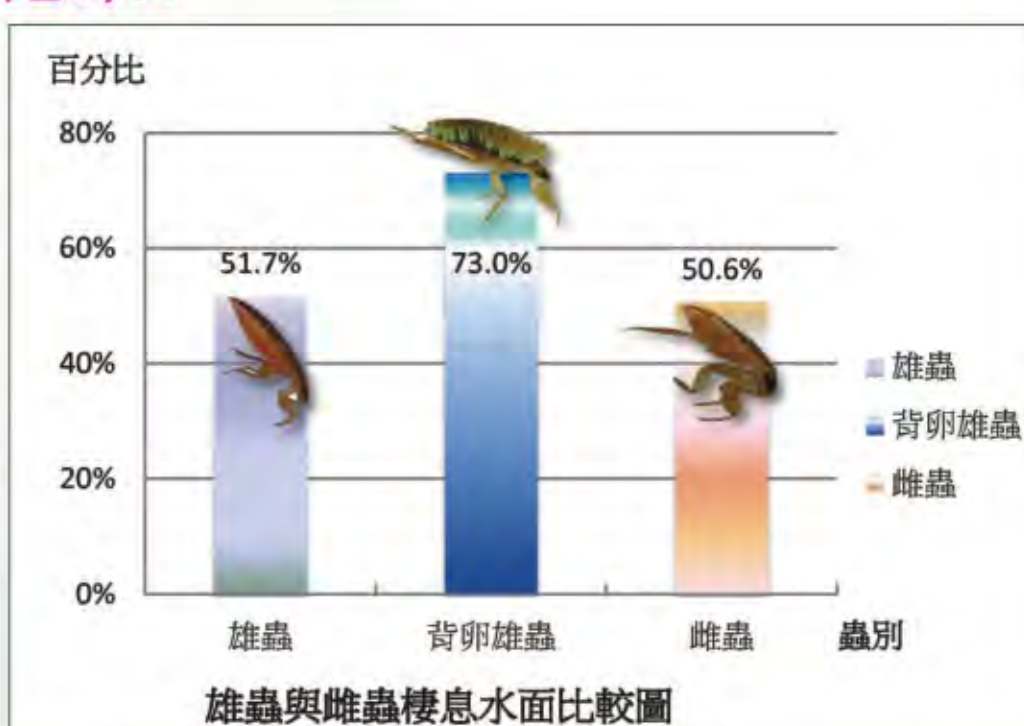
(五) 大負子蟲的護卵育幼行為

1. 有無背卵雄蟲與雌蟲棲息水面的時間是否有差異

研究過程與方法：選取沒背卵雄蟲、剛背卵雄蟲、雌蟲各3組，分別單獨飼養在9個分有水上、水面、中層、底層等四層棲息板的公升盒中，避免干擾。統計不同蟲別棲息在水面的機率



結果：



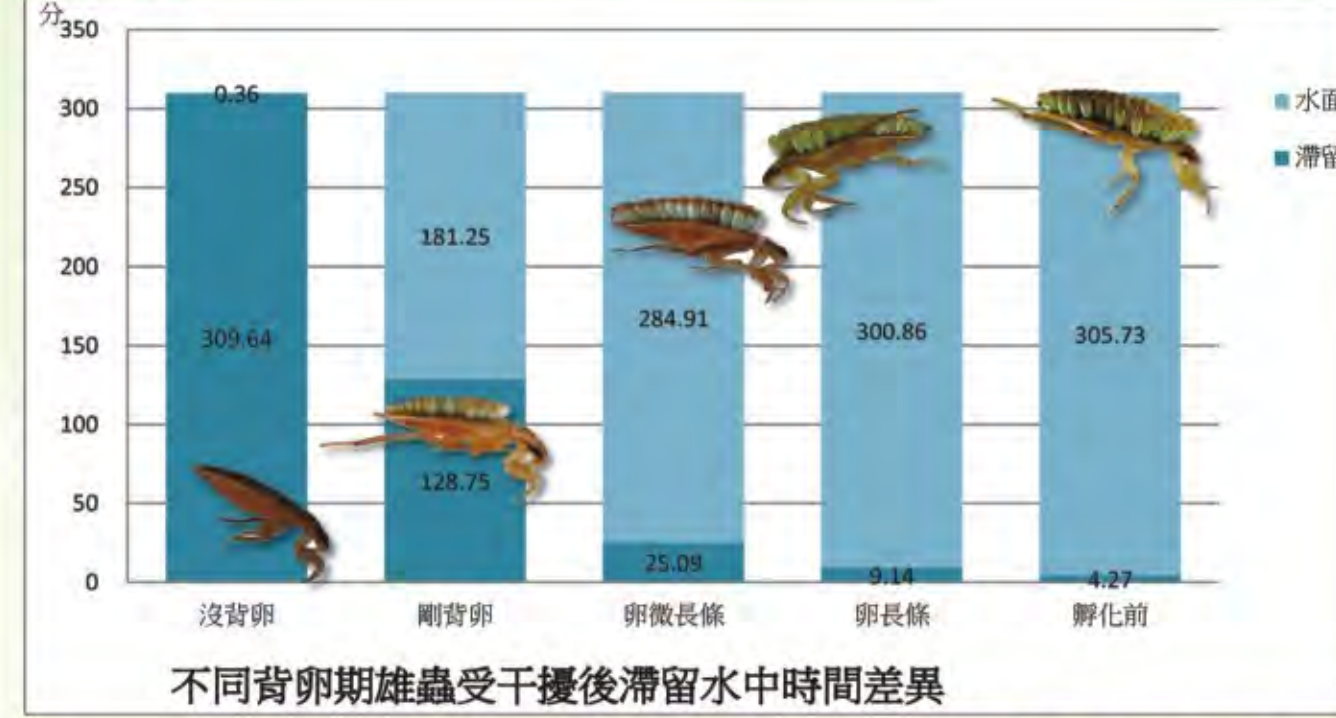
討論 (1) 發現，愈接近後期即將孵化時，雄蟲留滯水面附近的機會似乎就愈高，這樣豈不是增加容易暴露在被獵捕危險的機會嗎？
(2) 為了驗證這項發現，我們想測試雄蟲是否會為了護卵，尤其是在卵越成熟時，寧可暴露於風險中。

(六) 不同背卵期的雄蟲受到干擾後潛水滯留與返回水面時間是否有差異

研究過程與方法：分別選取沒背卵、剛背卵各一隻，放入設計有水面上、水下0.5公分、水下4公分及水底4種棲息板的容器中。計算各種背卵期雄蟲受干擾後滯留水中後回到水面棲息的時間。



結果：



討論 (1) 從背卵開始，雄蟲滯留水底的時間就大幅減短。
(2) 當卵發育愈成熟，雄蟲將卵頂端露出水面曝氣的時間也愈長。
(3) 雄蟲似乎能夠察覺卵的發育狀況而調整曝氣時間。



四、大負子蟲的生活習性與其他物種或環境的關係

(一) 大負子蟲生活習性與蓮花種子的關係

研究過程與方法：將野外採集回來的蓮蓬模擬野外觀察蓮蓬情形放置在長方形容器內，攝影觀察大負子蟲利用蓮蓬棲息情形。

結果：



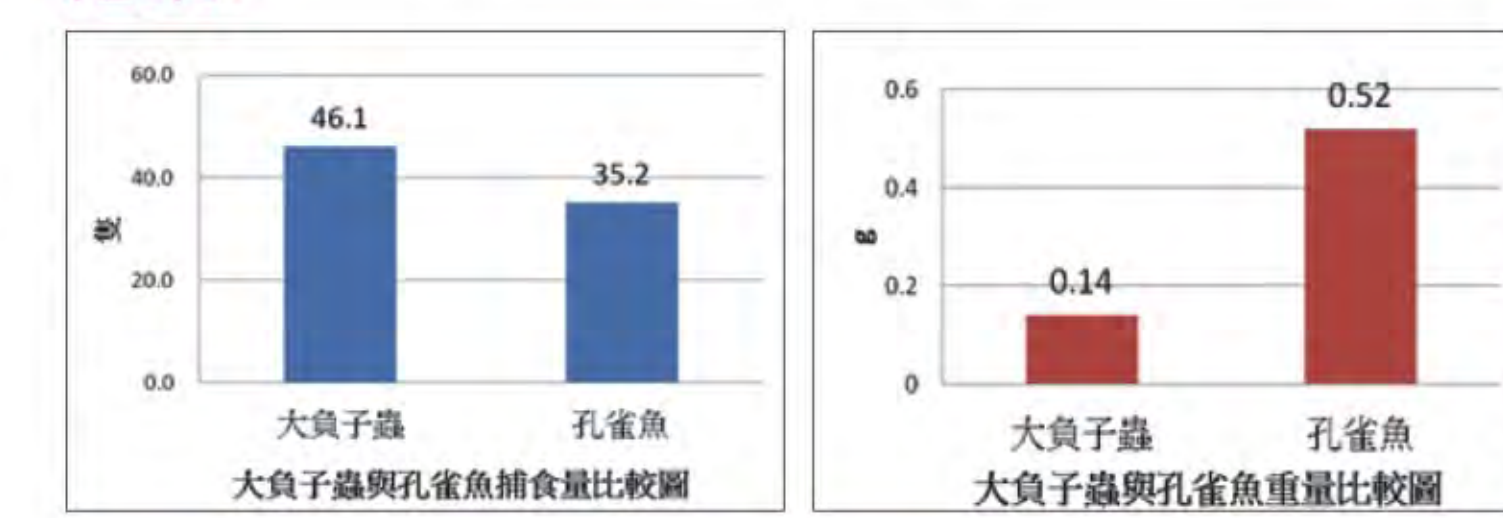
討論 我們認為大負子蟲喜愛棲息縫隙的生活習性，尤其是受驚擾時更為明顯，會協助蓮花種子從蓮蓬中散播出來。

(二) 大負子蟲生活習性與環境的關係

1. 大負子蟲捕食子子習性與人類環境的關係：

研究過程與方法：將一隻大負子蟲雌蟲與孔雀魚雌魚分別放入一個正方形容器內，加水至700cc。放入50隻子子，取食24小時後，比較兩者捕食量與重量。

結果：



討論 我們發現大負子蟲的重量比孔雀魚輕，但捕食量卻不輸孔雀魚，且大負子蟲屬於我們原生的物種，因此防蚊剋星若由他來擔任，既可達到一定的滅蚊效果，且對於原生物種的保育也是一大利多。

2. 大負子蟲捕食福壽螺與人類環境的關係

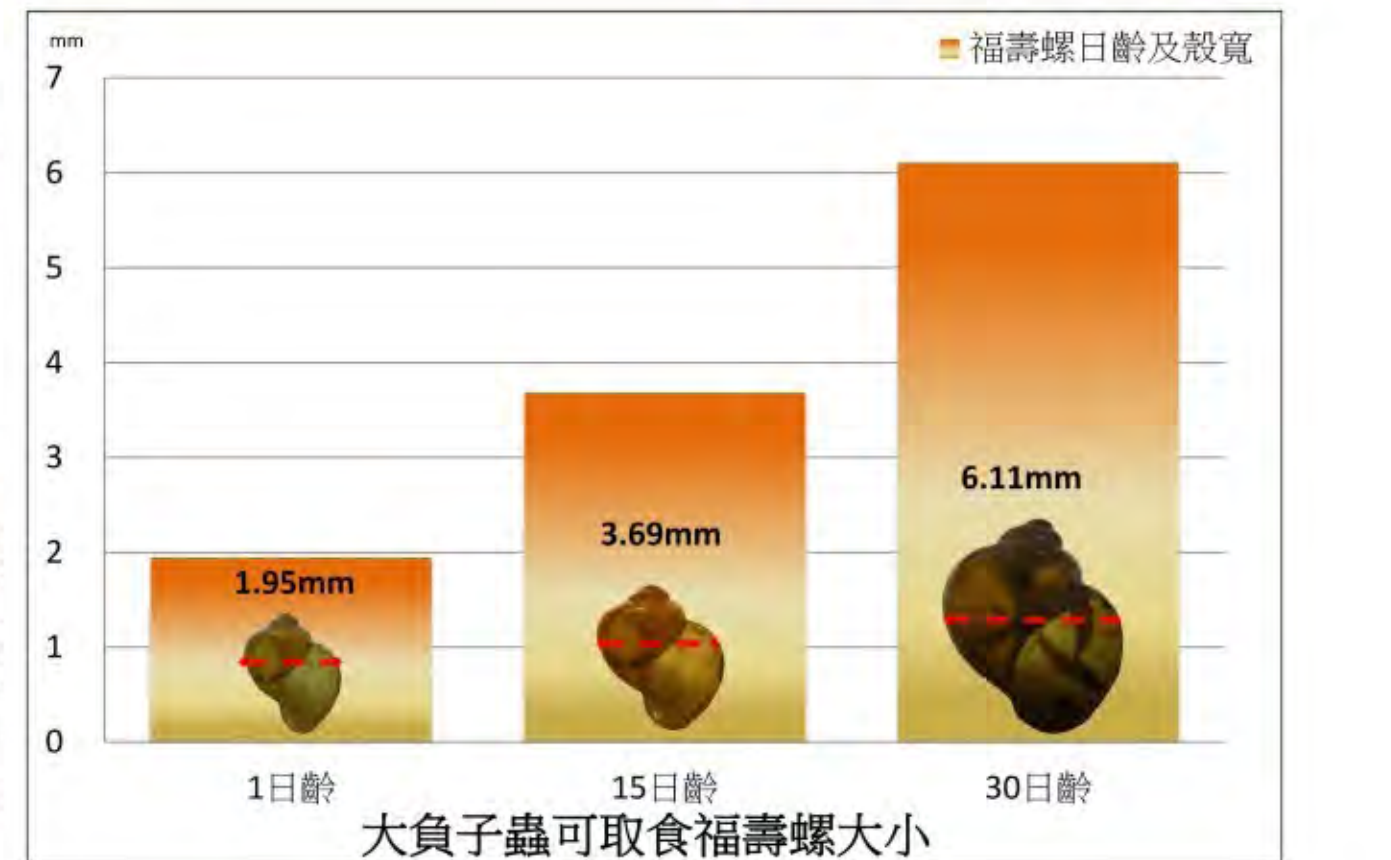
研究過程與方法：

將三隻大負子蟲放入正方形容器，再放入6隻大小接近的福壽螺供其取食，記錄大負子蟲捕食福壽螺情形與記錄福壽螺的殼寬大小。



結果：

大負子蟲會趁著福壽螺口蓋打開時進行捕食，但不是所有福壽螺都能捕食，最大殼寬約為6.11mm。

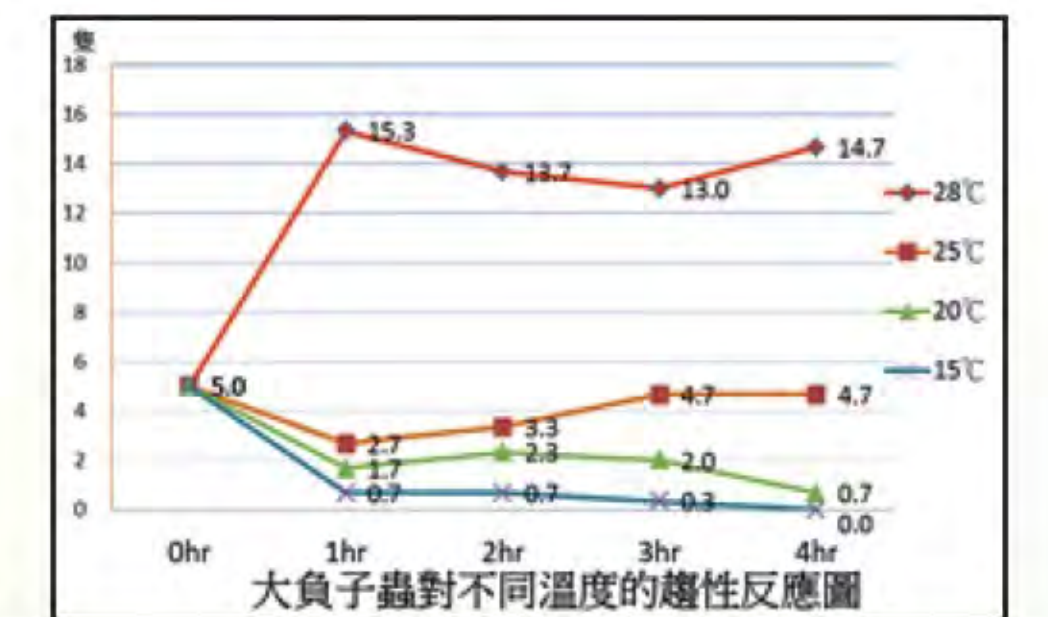
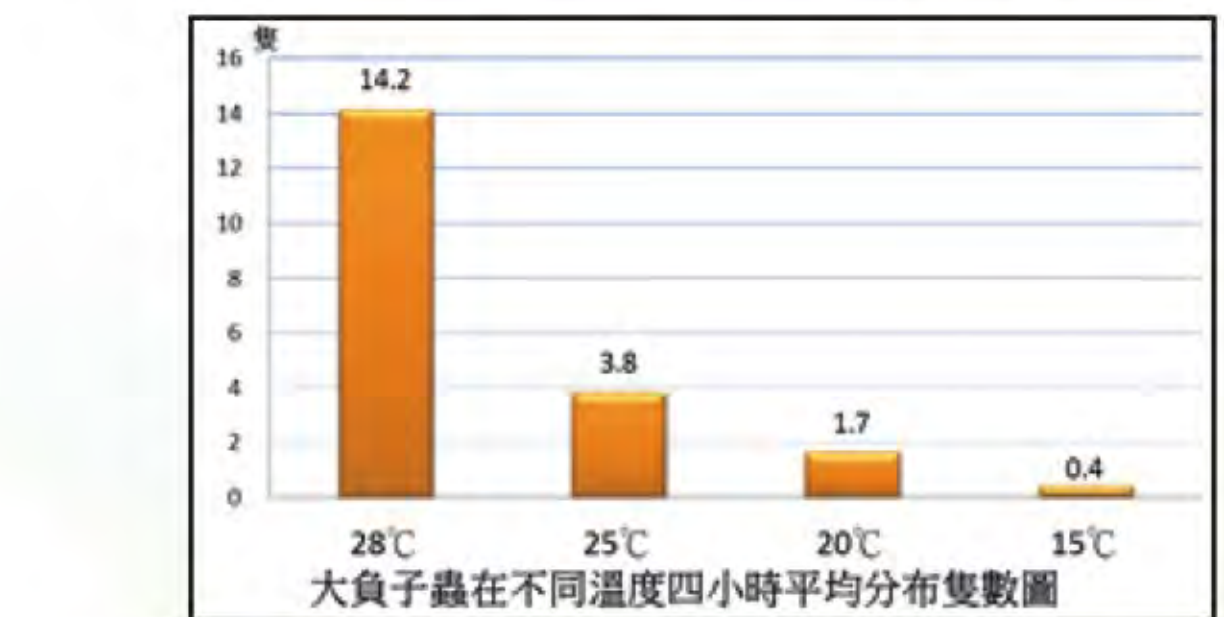
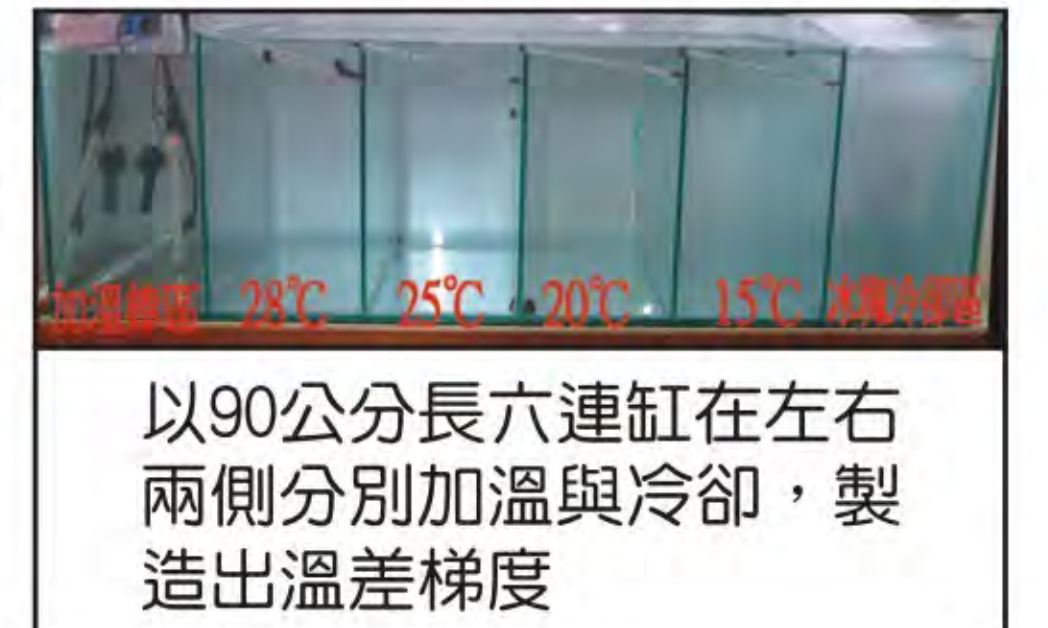


討論 大負子蟲並無法取食所有大小的福壽螺，當福壽螺越大時越難取食，對於剛孵化的福壽螺捕食成功機率高，因此大負子蟲應也可作為農田內福壽螺的生物防治用。

3. 大負子蟲與環境溫度的關係

研究過程與方法：在90cm六連缸的兩端分別加入加溫棒及冰塊加鹽，造成溫差梯度，每格分別放入5隻大負子蟲，紀錄移動情形。

結果： (1) 大負子蟲在第一個小時就有15.3隻約77%的蟲聚集到28°C缸，一直到結束時仍有14.7隻(74%)。
(2) 28°C的蟲數>25°C>20°C>15°C，明顯的溫度愈高，蟲數愈多。



討論 我們認為大負子蟲在環境中可能具有往高溫環境遷移的趨性反應。而大負子蟲是否能在野外水域環境降溫時遷徙至溫暖水域，則是未來可以繼續研究的方向之一。

伍、結論

- *大負子蟲的食量大(每日可捕食60隻以上子子)，棲息與活動範圍廣(可潛水超過2公尺並有攪動底層覓食習性)，捕食對象包含子子、福壽螺等害蟲，在生物防治上具有很好價值。
- *我們的研究找出以溫度可以調控大負子蟲求偶產卵時機，並且以假雄蟲找出成功誘集雌蟲的條件，配合人工孵化蟲卵，未來以我們的研究為基礎人工大量產出蟲卵來推廣防治病媒蚊/福壽螺就指日可待！
- *未來研究方向：
 1. 如果可以找出控制孵出若蟲性別比例的方法，對於後續繁殖與防治推廣能有更精準的操作
 2. 花盆等積水容器用來飼養負子蟲的可行性。