

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

佳作

040704

「嘴」大「顎」極，飢要擇食

-水蠶覓食策略探討

學校名稱：國立臺東高級中學

作者： 高二 林延翰 高二 謝 韜 高二 施秉宏 高二 翁國璨	指導老師： 黃韋嘉
---	--------------

關鍵詞：權衡(trade off)、最適食譜(Optimal diet theory)

摘要

本實驗主要目的是以行為生態學的觀點來探討烏點晏蜓 (*Anax guttatus*) 水蠶的攻擊發動之條件，以及面對獵物採取的捕食策略。

本實驗結果發現，水蠶發動攻擊的起因與獵物的大小及距離均呈負相關。而發動攻擊的範圍多在下唇顎所及之處，支持水蠶為伏擊型獵食者(sit and waiting predator)。面對不同大小獵物時會有所選擇，因為極小或極大的獵物難以捕食，且在捕獵大獵物會消耗較多時間成本，所以水蠶會在獵食風險（失敗、受傷、時間成本）及獲益（能量）之間取得平衡。當水蠶面對獵物密度高低不同的環境，會因水蠶體型大小出現積極、保守、消極的不同策略。

綜合以上實驗結果，水蠶在捕食行為上能做最適的權衡(trade off)，選擇以最低的風險與成本獲得最高能量，為生態中最佳捕食者之一。

壹、 研究動機

烏點晏蜓為臺東陸生水域的原生昆蟲，分類地位屬於昆蟲綱〔Insecta〕；蜻蛉目(Odonata)；不均翅亞目(Anisoptera)；晏蜓科(Aeshnidae)；烏點晏蜓(*Anax guttatus*)。成蟲主要出現於3至11月，胸部以上多為綠色，鑑定依據主要為前額之三角型黑色斑塊。

在晏蜓的生活史中，稚蟲時期的它們主要是生活在水中，一直到長成可以羽化的階段後才會爬到挺水植物上或岩石上進行羽化，但文獻中往往針對成蟲行為方面有較多的報告，而針對稚蟲(即水蠶)的行為所進行的研究卻是付之闕如，這也促使我們想對晏蜓稚蟲的行為深入了解。

在觀察和飼養水蠶的過程中，水蠶伸出下唇顎攫住獵物，並把獵物移到自己的下唇顎附近才食用的特殊行為最為吸引我們，所以我們決定將研究焦點集中於水蠶的攻擊行為。我們發現這個行為雖然又快又準，但並不是每次都能夠確實的把獵物捉住，有時甚至不會對獵物有攻擊行動。而這樣的情形卻又更加引發我們去思索更多的問題，諸如：是什麼原因引起水蠶的攻擊反應？當水蠶面對不同條件的食物是否又會有所選擇？或是只要是他能夠抓得住的都來者不拒？同時我們也想起在學習基礎生物第三章時，老師曾經提到捕食者會採取較佳的捕食策略以使自己能獲得最大的利益。我們便以此為出發點開始蒐集資料並進行本次實驗。



圖一、烏點晏蜓水蠶

貳、研究目的

- 一、探討烏點晏蜓稚蟲的攻擊發動起因：
 - (一)烏點晏蜓稚蟲在何種情況會對自己眼前的獵物發動攻擊？
 - (二)烏點晏蜓稚蟲在面對不同大小及遠近的目標時，攻擊行為是否不同？

- 二、探討烏點晏蜓稚蟲的最佳覓食策略：
 - (一)觀察烏點晏蜓稚蟲在不同條件下對於獵物的選擇是否不同？
 - (二)探討烏點晏蜓稚蟲的獵食行為具有何種生態意義？

- 三、探討烏點晏蜓稚蟲最佳覓食策略的回饋：
 - (一)以能量與時間的觀點來探討烏點晏蜓水蠶對於獵物的選擇，是否符合最佳捕食理論？

參、研究設備及器材

一、實驗物種：烏點晏蜓 (*Anax guttatus*)

二、實驗設備與設備：

- 1、飼養器材：燒杯 (200 cc、500 cc)、水族箱 (飼養大肚魚與水草)、枯木樹枝 (羽化場地)、水草 (金魚藻、水蘊草)。
- 2、測量器材：游標尺、起波儀、溶氧量監測組、量筒、電子天秤、Data Studio 軟體。
- 3、實驗器材：壓克力製觀察盒 (30 cm×1.5 cm×5 cm) (30 cm×2 cm×5 cm)、觀察用培養皿、滴管、尖鑷子、壓克力隔板 (隔盒)、保鮮膜、烘箱、底片盒、碼錶。
- 4、實驗藥品：70%酒精。
- 5、其他器材：HDD 數位攝影機、解剖顯微鏡



圖二、烘箱



圖三、電子天秤



圖四、壓克力觀察箱



圖五、游標尺



圖六、解剖顯微鏡



圖七、起波儀



圖八、溶氧量監測組



圖九、HDD 數位攝影機



圖十、碼錶

肆、研究過程或方法

一、烏點晏蜓水蠶捕捉與飼養：

(一) 烏點晏蜓水蠶捕捉地點：

- 1、卑南文化公園生態池
- 2、綠色隧道灌溉池
- 3、知本森林遊樂區
- 4、琵琶湖



(二) 捕捉方式：穿著防水衣進入水池中，以手翻動水草、底泥，尋找並捕捉，置入底片盒中，帶回實驗室飼養。

(三) 飼養方式：

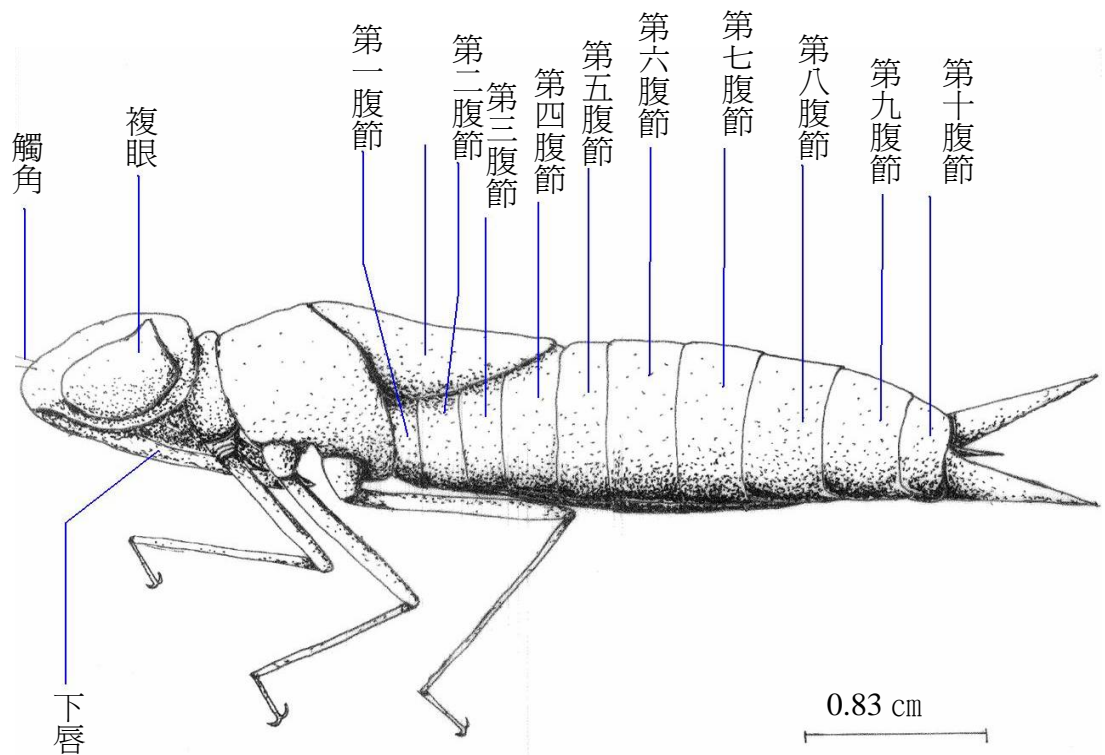
- 1、將採集的稚蟲以 1.5~2.5cm、2.5~3.5cm、3.5cm 以上分爲小中大三組，每組飼養水質(均用含氧水)水量維持在 350ml，飼養食材(大肚魚、孑孓)，底層鋪以 0.5~1.5cm 長的鵝卵石。
- 2、每隻稚蟲分別以培養皿(半徑 2.19cm 高 4.38cm)飼養。
- 3、每星期用游標尺測量稚蟲長度，並每日觀察稚蟲是否蛻殼，若有蛻殼則紀錄起來。

二、烏點晏蜓水蠶外觀：

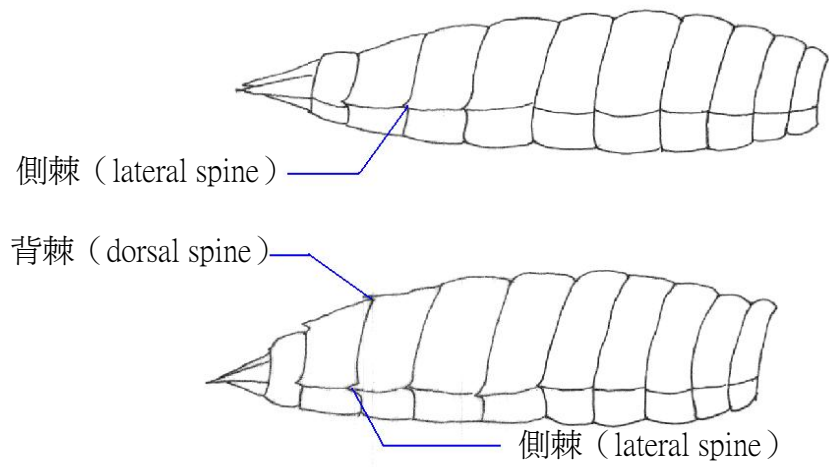
烏點晏蜓水蠶體長最長可達 5cm，型態修長，腹部第六至第八腹節膨大，且腹部約佔全長三分之二至四分之三，第一至第十腹節均無背棘 (dorsal spine)，第七至第九腹節具有側棘 (lateral spine)，側棘短而尖，尾部具五根刺狀結構，分別為肛上片 (epiproct) 一根、肛錐 (anal pyramid) 兩根、肛側片 (paraproct) 兩根。胸部與腹部交界處延伸出翅芽 (wing sheath)，最長可達第四腹節。頭部具有明顯向側邊凸出的水晶狀複眼 (compound eye)，及絲狀短觸角 (antenna)，在觸角後方具 3 個單眼 (ocellus)，排列略呈正三角形，小而不難觀察。下唇主要分為兩個次級結構，分別為下唇基節 (mentum) 與下唇亞基節 (submentum)，可摺疊，扁平狀，藏於頭部下方，終齡稚蟲的大顎可達 2cm，最前端左右各具兩尖勾狀結構的可動鉤 (movable hook seta)，為兩尖勾構成，一長一短，可攫住獵物。

鑑定依據：根據日本產蜻蛉幼蟲、成蟲檢索圖說(石田昇三等，1988)有下列特徵：1.不均翅亞目 2.扁平下唇 3.無背棘 4.第七至第九腹節據側棘 5.腮幅(日語)：下唇寬=1：2。

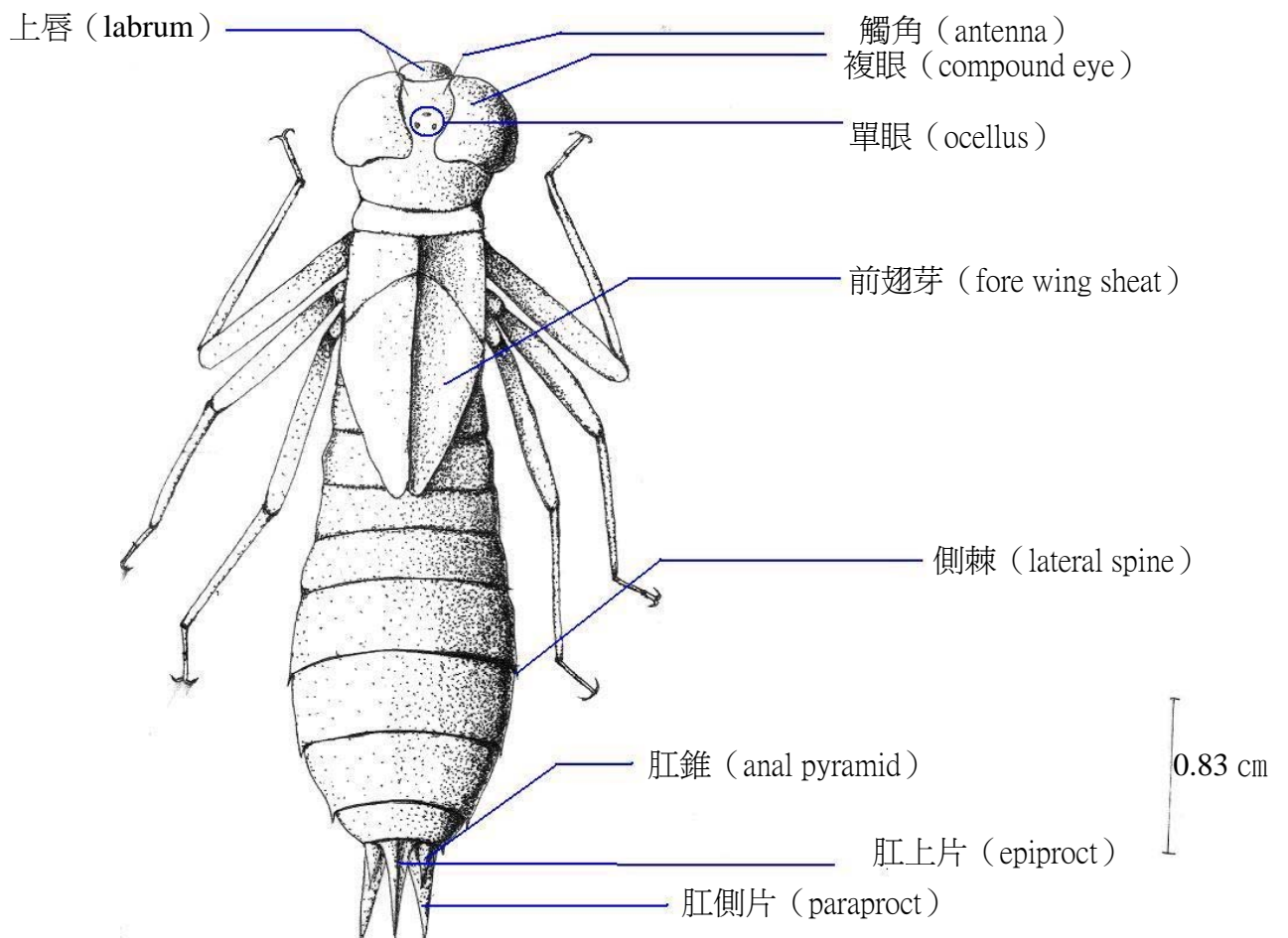
圖十一、烏點晏蜓終齡水蠶側視圖



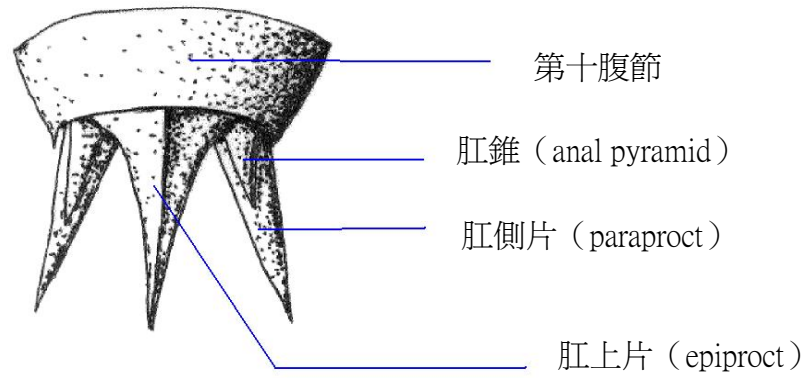
圖十二、腹部特寫圖



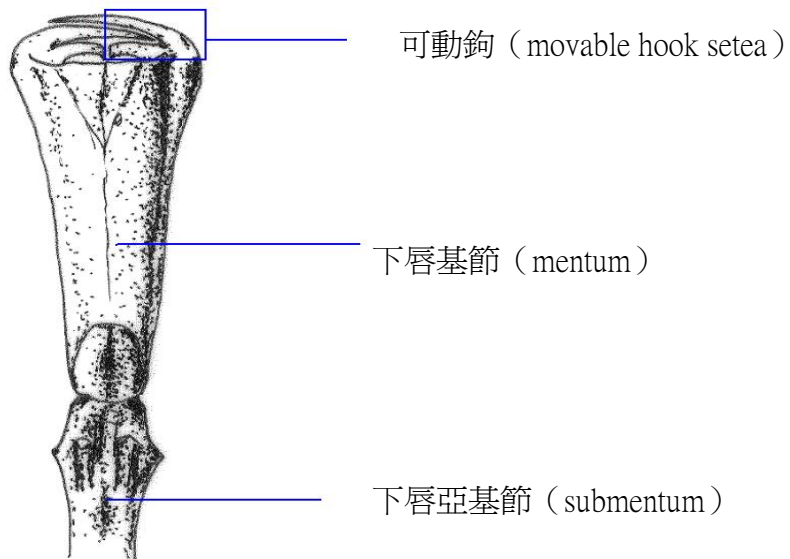
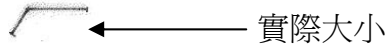
圖十三、烏點晏蜓終齡水蠶俯視圖



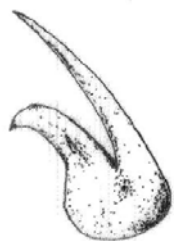
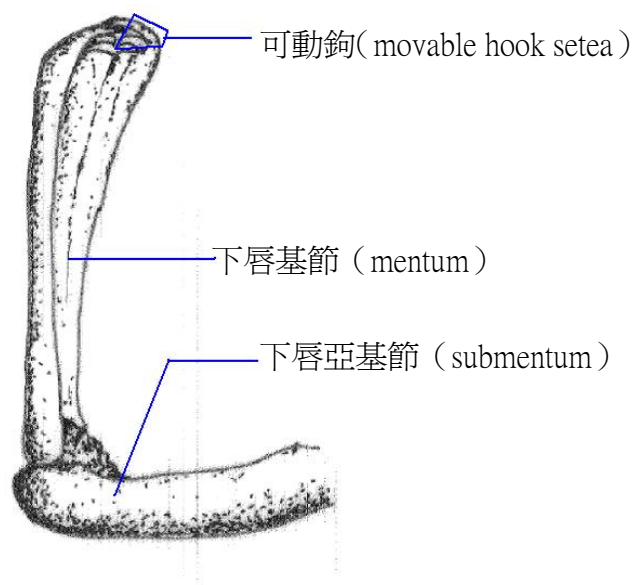
圖十四、尾部特寫圖



圖十五、大顎俯視圖



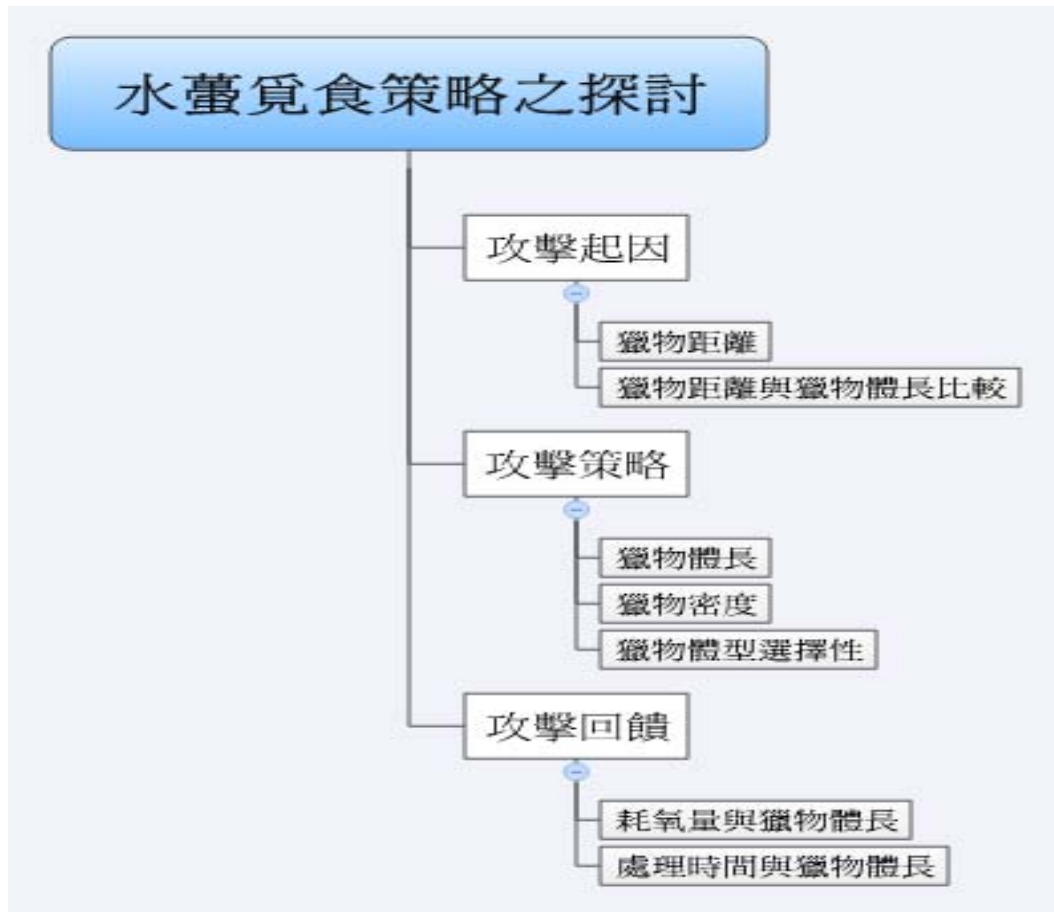
圖十六、大顎側視圖



圖十七、可動鉤特寫圖

三、 實驗方法

(一) 實驗架構圖：



圖十七、實驗架構

(二) 攻擊發動起因

1、 獵物距離

(1) 距離與警戒率：

- 實驗假設：獵物距離與水蠶的警戒率呈負相關。
- 實驗過程：
 - 測量水蠶身長。
 - 將水蠶與大肚魚置入壓克力觀察盒中，以壓克力隔板隔開。
 - 固定同一距離，以碼錶計時一分鐘，觀察水蠶之警戒行爲。
 - 改變距離，再重複上一步驟。

(2) 距離與發動率：

- 實驗假設：獵物距離與水蠶的攻擊率呈負相關。
- 實驗過程：

- 測量水蠶身長。
- 將水蠶與大肚魚放入壓克力觀察盒中。
- 固定同一距離，以碼錶計時一分鐘，觀察水蠶之攻擊行爲。
- 改變距離，再重複上一步驟。

2、獵物距離與獵物體長之比較

(1) 獵物距離與獵物體長之警戒率比較

- 實驗假設：水蠶在同一距離會選擇體長較短的獵物產生警戒行爲，以降低風險，進而提高捕獲率，來獲得最大利益。
- 實驗過程：
 - 測量大肚魚與水蠶身長
 - 將水蠶與大肚魚放入壓克力觀察盒中
 - 固定同一距離，以碼錶計時一分鐘，觀察水蠶之警戒行爲。
 - 更換大肚魚，再重複以上一步驟。

(2) 獵物距離與獵物體長之攻擊率比較

- 實驗假設：水蠶在同一距離會選擇體長較短的獵物產生攻擊行爲，以增加淨利益，來獲得最大利益。
- 實驗過程：
 - 測量大肚魚與水蠶身長
 - 將水蠶與大肚魚放入壓克力觀察盒中
 - 固定同一距離，以碼錶計時一分鐘，觀察水蠶之攻擊行爲。
 - 更換大肚魚，再重複以上一步驟。

(三) 最佳覓食策略

1、獵物體長：

(1) 身長比實驗（魚）：

- 實驗假設：身長比大小與攻擊率呈負相關。
- 實驗過程：
 - 測量大肚魚與水蠶身長
 - 將大肚魚與水蠶同置於一培養皿中
 - 計時三分鐘觀察並紀錄水蠶的攻擊行爲及成功與否。

(2) 身長比實驗（孑孓）：

- 實驗假設：水蠶的攻擊發動應有最適攻擊對象的選擇性，故應存在一個身長比，低於此身長比，攻擊率應與獵物身長呈正相關。

- 實驗過程：
 - 測量子孑與水蠶身長
 - 將子孑與水蠶同置於一培養皿中
 - 計時三分鐘觀察並紀錄水蠶的攻擊行爲

2、獵物密度：

- 實驗假設：水蠶攻擊發動率和獵物密度呈正相關。
 - 大體型的水蠶
 - 中體型的水蠶
 - 小體型的水蠶
- 實驗材料：水蠶、子孑、培養皿、濾紙
- 實驗方法：
 - 將水蠶依體型分大中小三組
 - 將相同大小子孑分別配成 5 隻與 50 隻的培養皿
 - 每次實驗將水蠶置入其中一種密度進行觀察
 - 以一分鐘為時間間隔，紀錄子孑的數量變化及水蠶攻擊次數。
 - 隨時補充減少的子孑以保持穩定密度
 - 50 分鐘後停止紀錄
 - 觀察完一次後間隔一些時間再做不同密度的實驗
 - 重複數次實驗後進行比較

3、獵物體長選擇性：

- 實驗假設：水蠶攻擊大型子孑的次數會明顯高於攻擊小型子孑的次數。
- 實驗過程：
 - 取 25 隻大型子孑（約 0.5cm 以上）25 隻小型子孑（約 0.5cm 以下）
 - 將子孑與水蠶同置於一培養皿中
 - 計時 50 分鐘並紀錄水蠶每分鐘的攻擊大型子孑及小型子孑的次數

(四) 最佳覓食策略的回饋：

1、獵物體長與處理時間：

- 實驗假設：獵物體長與處理時間呈正相關。
- 實驗材料：大肚魚、水蠶、碼錶。
- 實驗過程：
 - 測量大肚魚與水蠶身長

- 將大肚魚與水蠶同置於一培養皿中
- 當水蠶捕獲獵物時開始計時，至水蠶清理口器之行爲停止爲止。

2、 獵物體長與耗氧量：

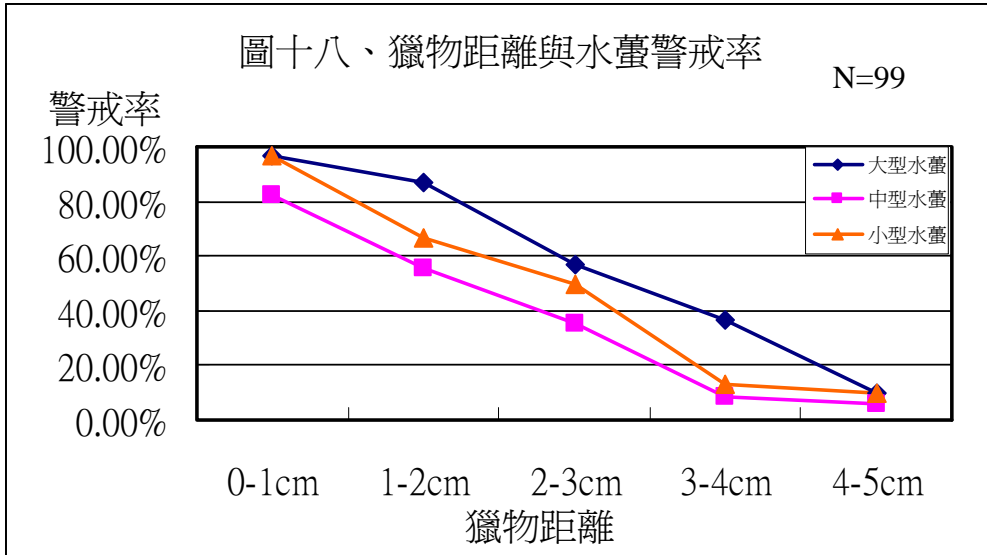
- 實驗假設：耗氧量與獵物體長呈正相關。
- 實驗材料：保鮮膜、培養皿、溶氧量感應器、起波器、大肚魚
- 實驗過程：
 - 測量實驗水蠶並篩選 3.5cm 以上之個體
 - 檢測魚的耗氧量
 - 將魚和水蠶放入其中進行捕食耗氧量測量

伍、研究結果

一、攻擊起因：

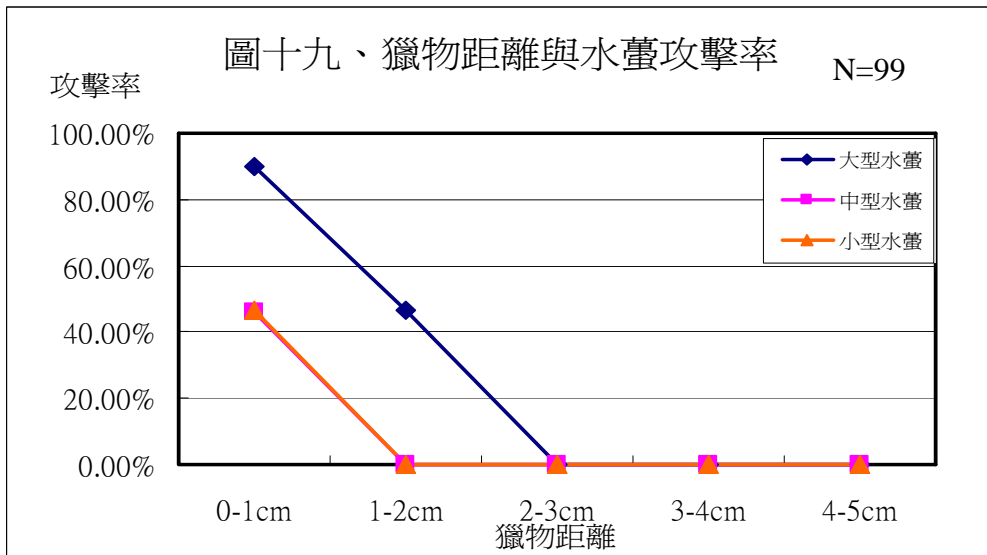
(一) 獵物距離

1、獵物距離與水蠶警戒率：



圖片說明： 如圖十八，無論大、中、小型水蠶在面對相同之獵物時，警戒率與獵物距離皆呈現負相關。其中又以大型水蠶的警戒率最高，小型水蠶次之，中型水蠶最低。

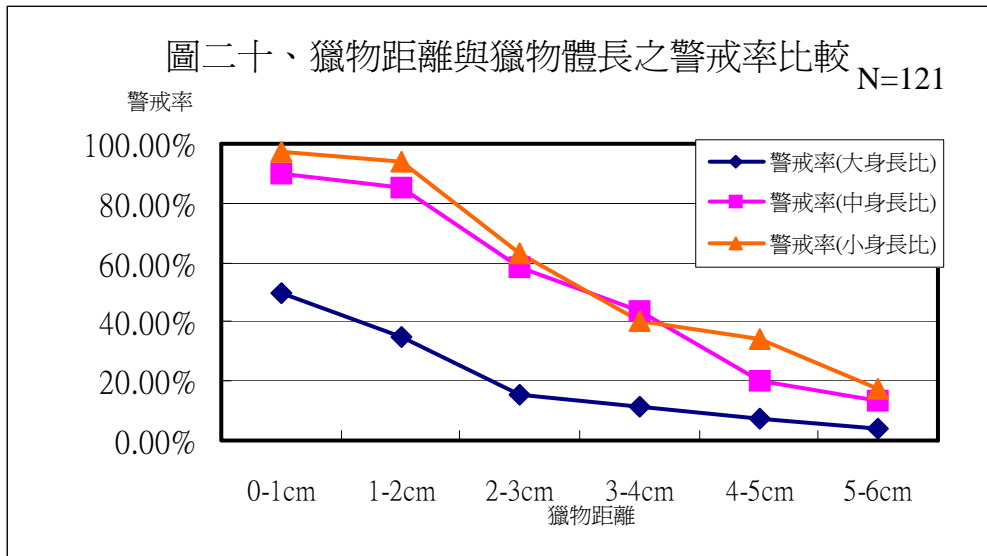
2、獵物距離與水蠶攻擊率



圖片說明： 如圖十九，大型水蠶的會於 0-2 公分處發動攻擊，發動範圍最大，其攻擊率也勝於中小型水蠶。而中型與小型水蠶的攻擊率十分接近，近乎重合，皆低於大型水蠶，其攻擊範圍也相去不遠，皆在 0-1 公分處有攻擊行為發生。

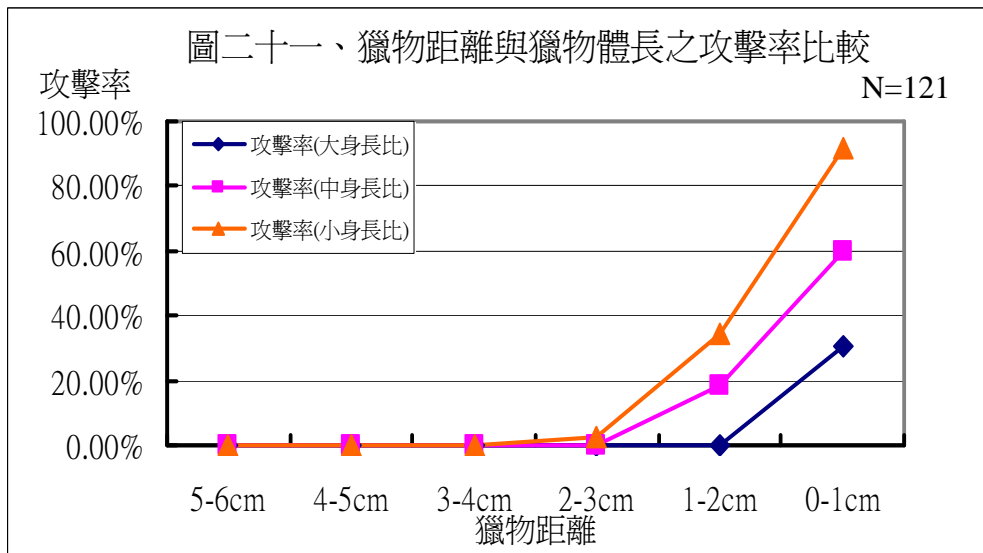
(二) 獵物距離與獵物體長之比較

1、 獵物距離與獵物體長之警戒率比較



圖片說明：如圖二十，水蠶在面對獵物時，無論獵物體長大小，距離皆與警戒率呈負相關，符合獵物距離實驗。然而在水蠶面對大身長比的獵物時，對獵物的警戒率明顯低於中、小身長比的獵物，而水蠶面對中、小身長比的獵物時，警戒率相去不遠。

2、 獵物距離與獵物體長之攻擊率比較

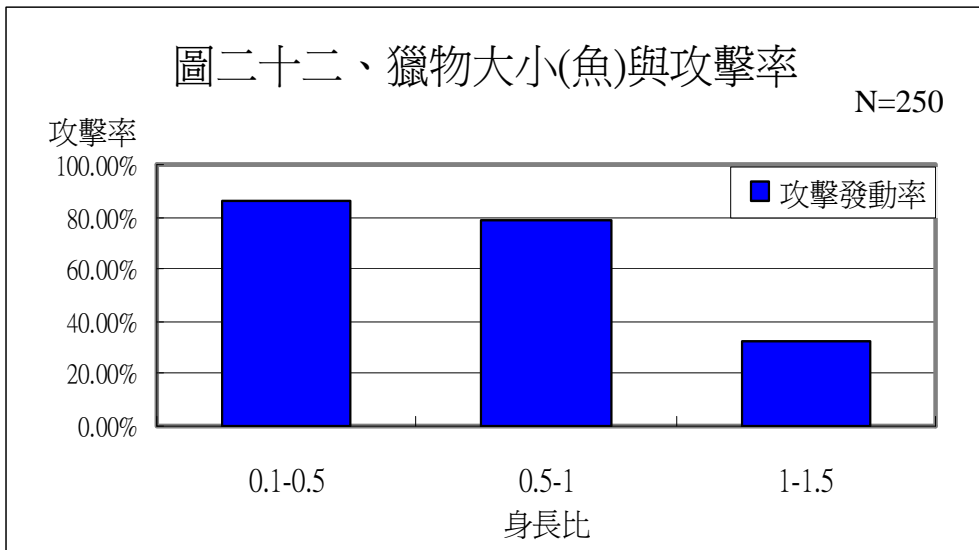


圖片說明：如圖二十一，在水蠶進行攻擊行為後，攻擊率與獵物距離呈負相關。且獵物體長與攻擊率和發動攻擊的範圍呈負相關。

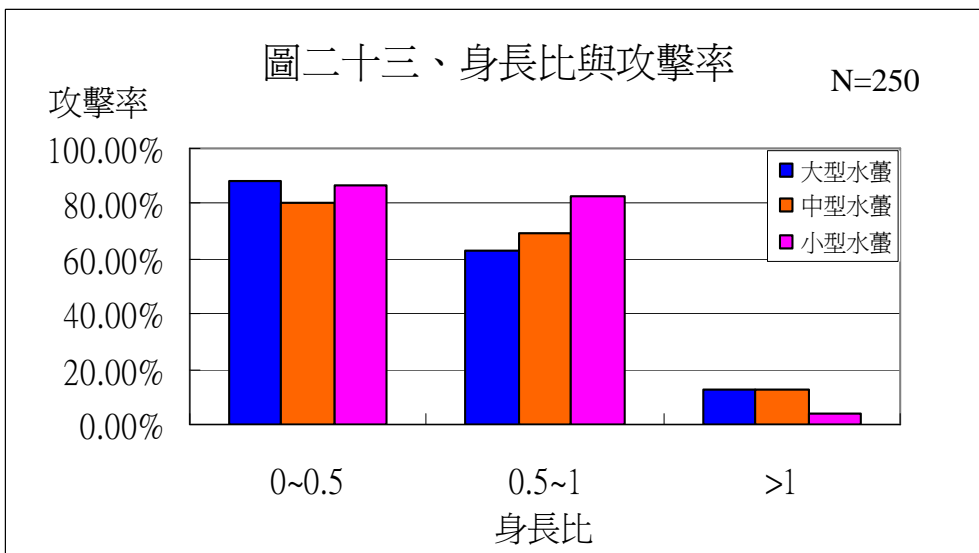
二、攻擊策略：

(一) 獵物體長

1、 獵物身長(魚)與攻擊率：

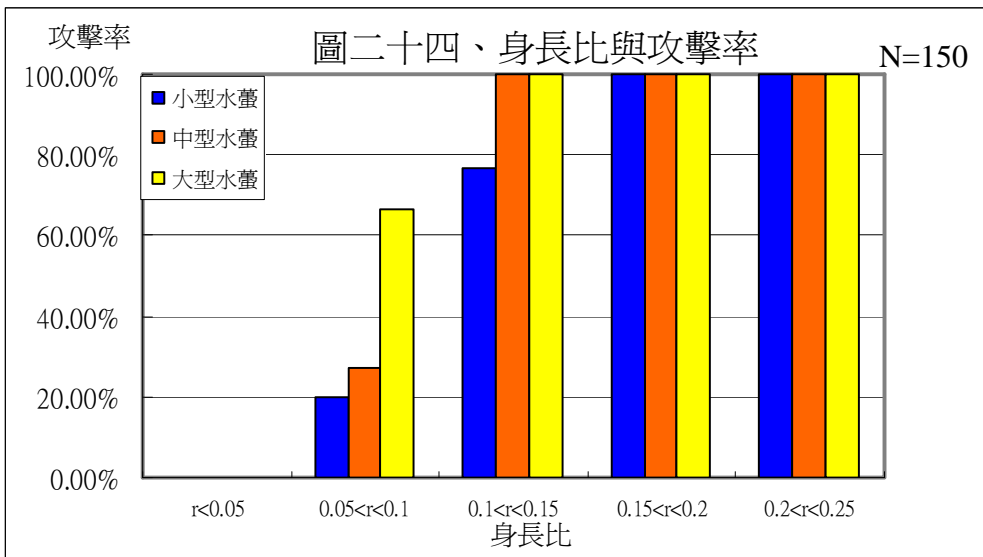


圖片說明： 如圖二十二，水蝨對於小身長比（獵物長/水蝨長小於 0.5）的獵物攻擊成功率最高，中身長比（獵物長/水蝨長大於等於 0.5 小於 1）次之，大身長（獵物長/水蝨長大於 1）比明顯較前二者低。

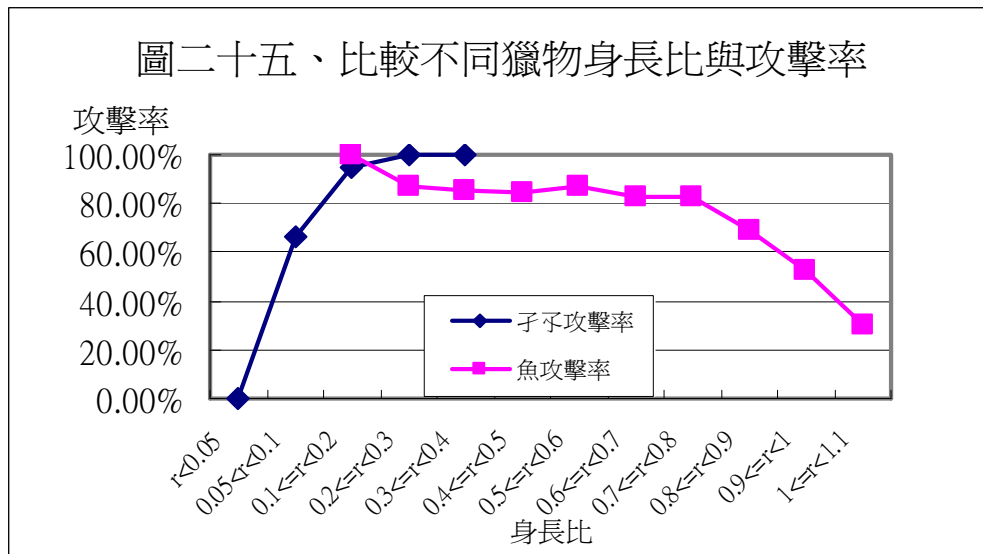


圖片說明： 如圖二十三，水蝨對於小身長比的獵物攻擊率最高，中身長比次之，大身長比明顯較前二者低

2、獵物身長(子孓)與攻擊率：



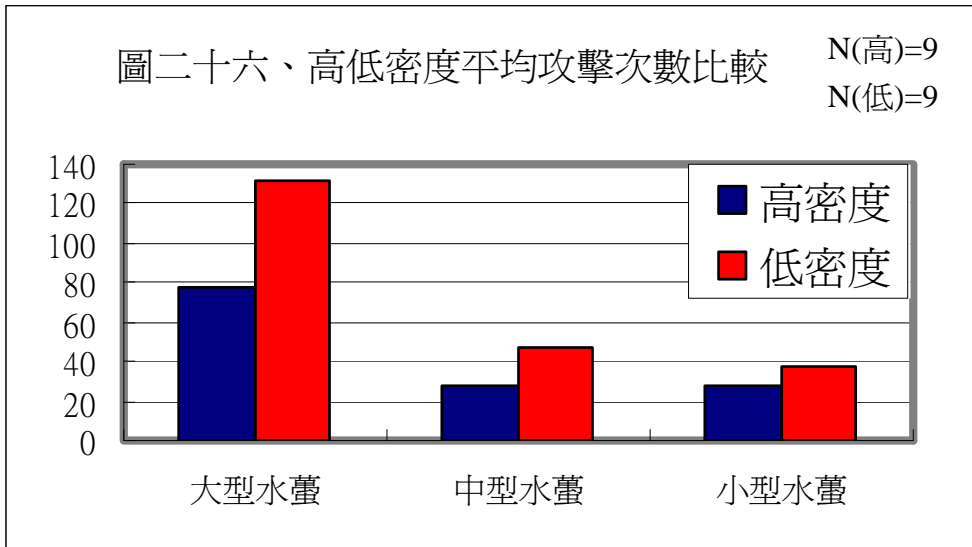
圖片說明： 如圖二十四，面對子孓雖然同樣是小身長比，但是對於身長比 0.15 以上的子孓攻擊發動率較高，在 0.05 以下的身長比，幾乎不攻擊，此時的子孓身長大約小於 0.3cm，另外，在此圖中水蠶體型大小與攻擊率呈正相關。



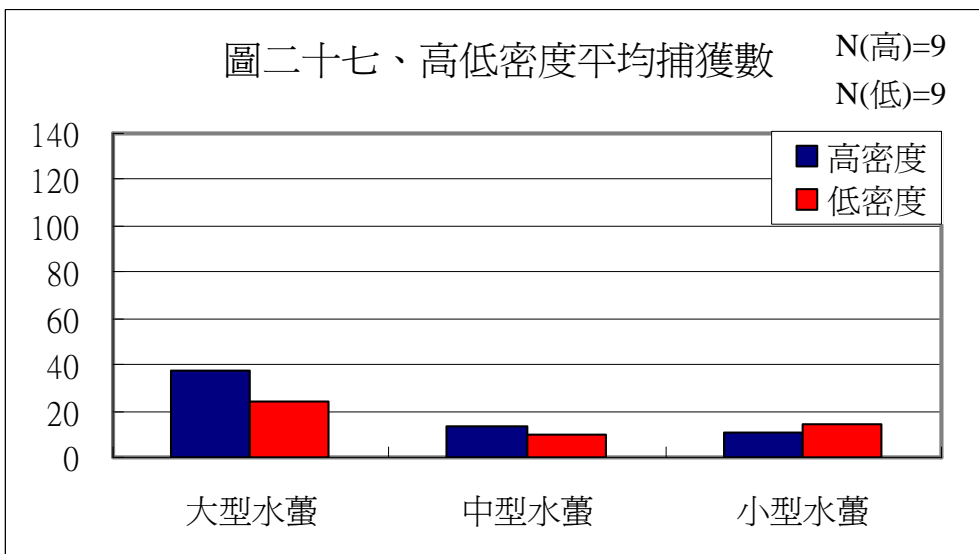
圖片說明： 如圖二十五，藉由將魚與子孓身長比的數據合併後，可以預估出水蠶面對不同身長獵物時的大致上的攻擊趨向，水蠶攻擊率在 0.1-0.8 之間比較高，但此圖由於同時用子孓和魚的數據，所以尚不足以代表此趨向的正確性。

(二) 獵物密度

1、獵物密度

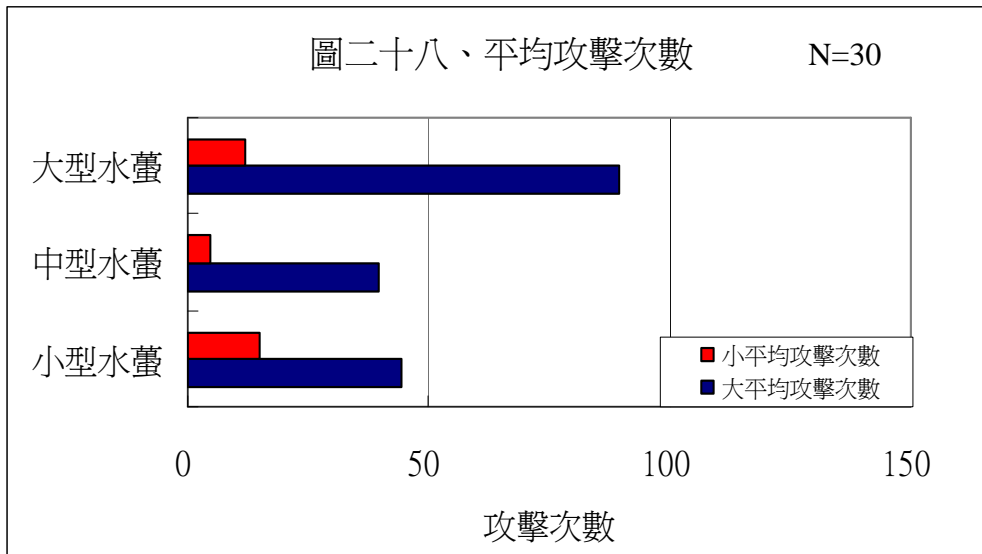


圖片說明： 如圖二十六，可發現無論水蠶體型大小其高密度的攻擊次數皆低於低密度的攻擊次數，而又以大型水蠶的攻擊次數最高，中小型的差異較小。

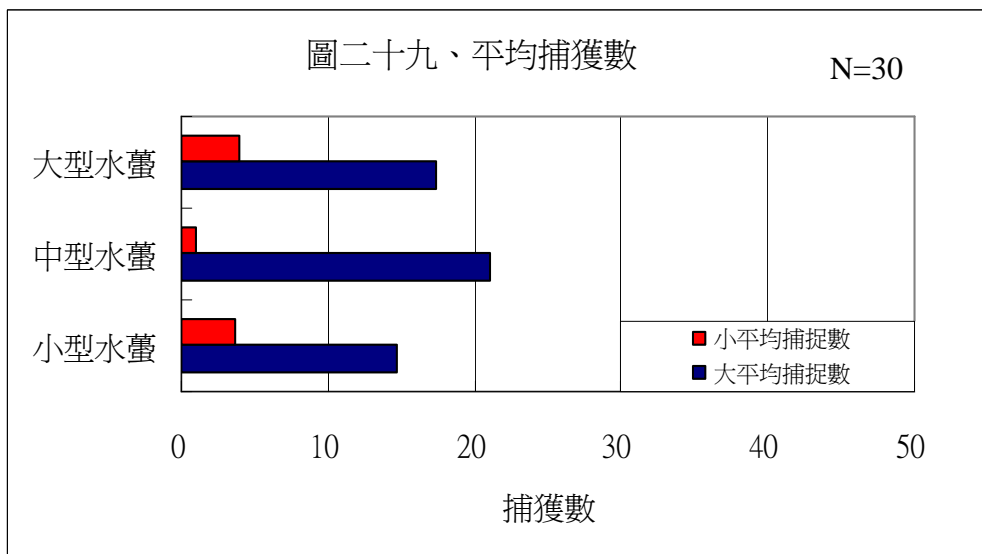


圖片說明： 如圖二十七，大型水蠶在高密度時捕捉數明顯高於低密度，中小型則捕捉數差異較不明顯。

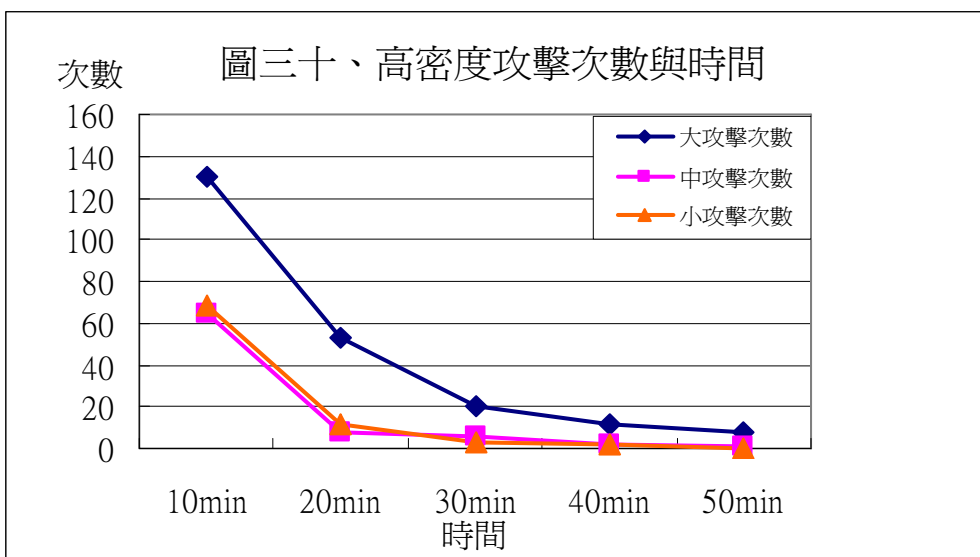
(三) 獵物體長選擇性



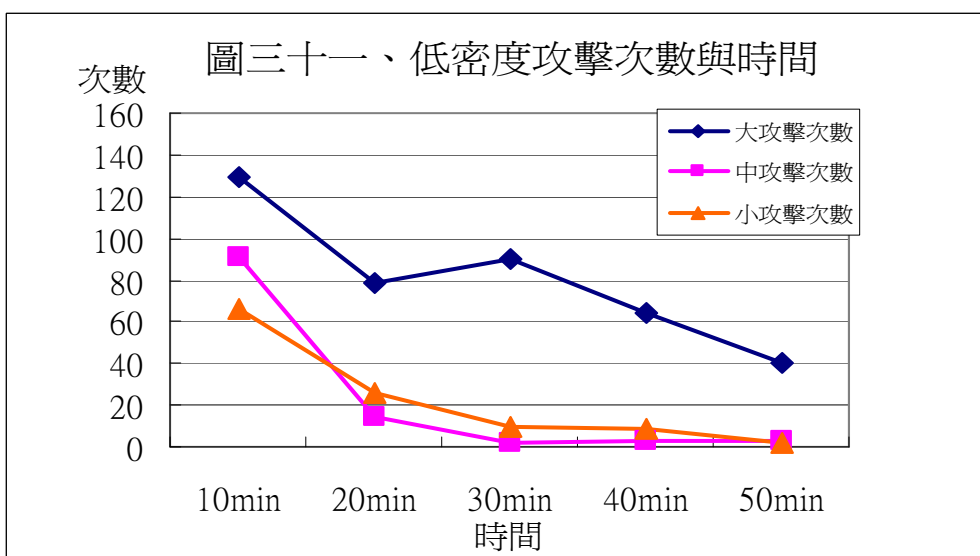
圖片說明： 如圖二十八，對於大水蠶，幾乎不攻擊小子孑，所有的攻擊幾乎瞄準大孑孑。對於中水蠶，攻擊小子孑的次數稍多，但攻擊大孑孑的次數仍是遠高於小子孑。對於小水蠶，對於孑孑的選擇性稍不明顯，但攻擊大孑孑的次數亦高於攻擊小子孑的次數。



圖片說明： 如圖二十九，水蠶對大孑孑的捕獲數皆高於小子孑，小子孑捕獲數很接近，大孑孑方面，中型水蠶大於大型水蠶，大型水蠶大於小型水蠶。



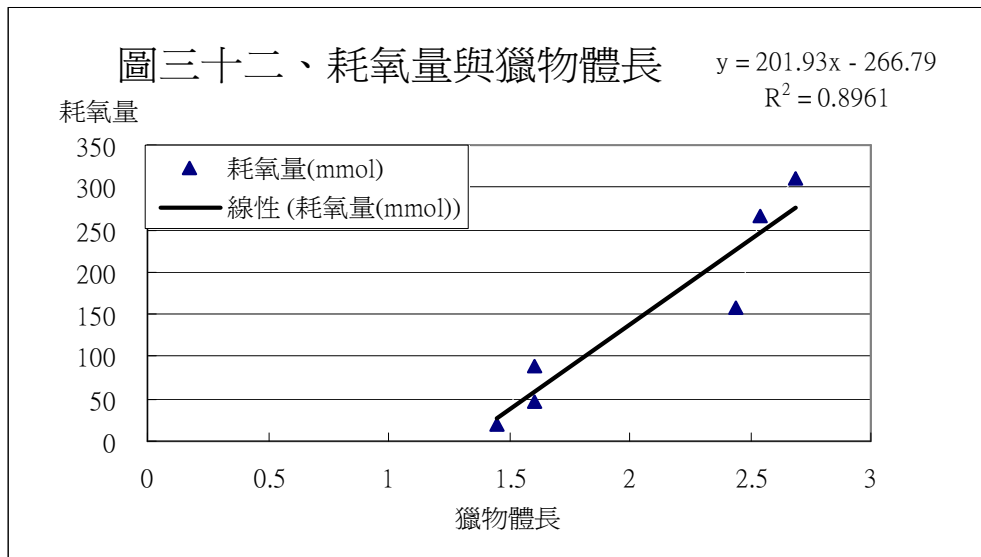
圖片說明： 如圖三十，無論水蠶體型大小，在高密度實驗中，攻擊次數與時間皆呈負相關，其中大型水蠶的的攻擊次數較中、小型高。



圖片說明： 如圖三十一，無論水蠶體型大小，攻擊次數與時間皆呈負相關，其中大型水蠶的攻擊次數高於中、小型水蠶。

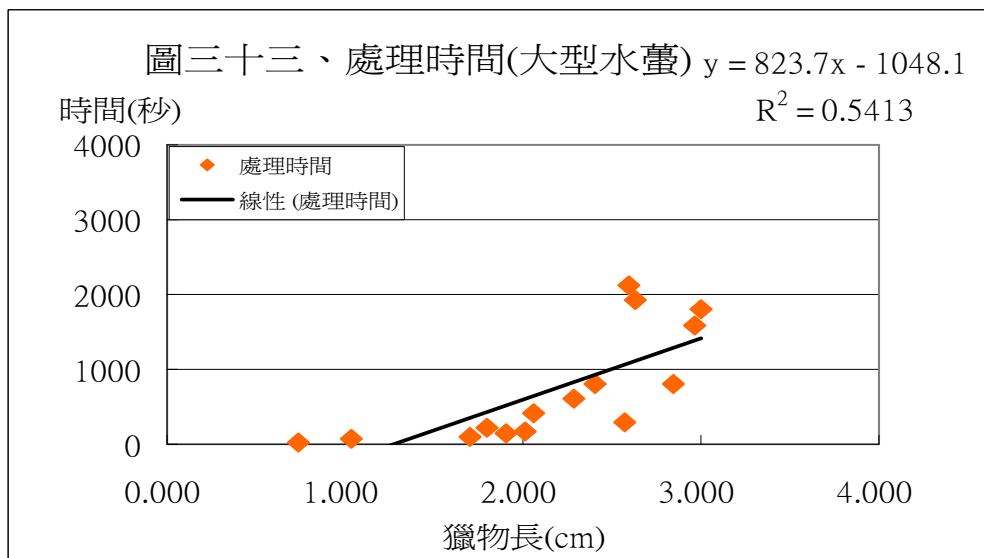
三、攻擊回饋：

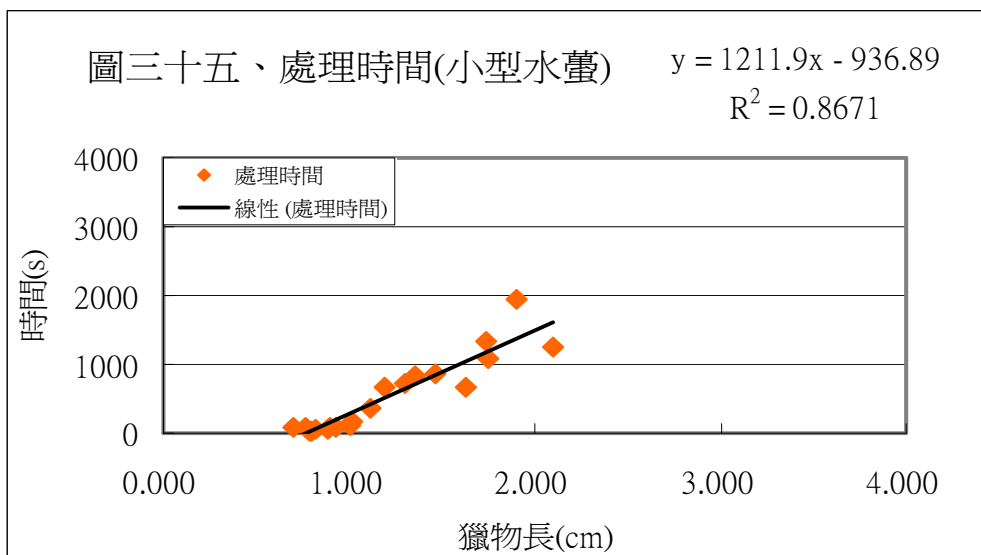
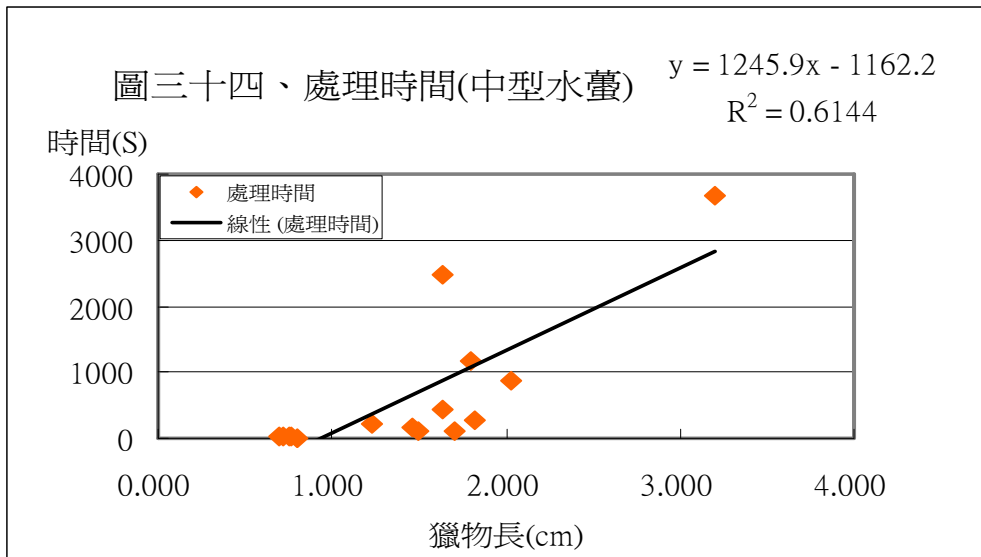
(一) 獵物體長與耗氧量



圖片說明： 如圖三十二，由目前已知的數據可觀察出，耗氧量與所捕食的獵物體長呈現正相關。

(二) 獵物體長與處理時間





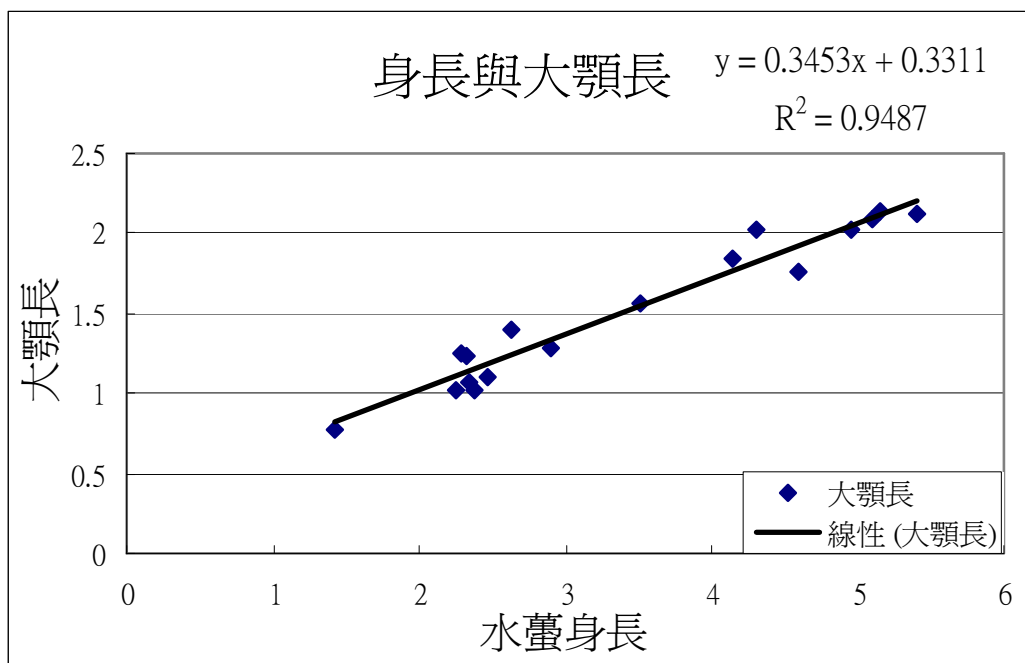
圖片說明： 如圖三十三、圖三十四、圖三十五，無論水蠶體型之大小，處理時間皆與獵物身長呈正相關，其中以大型水蠶對處理時間最短，也就是其要處理同一體長的獵物時，與中小型水蠶相比，所需的時間成本較低。

陸、討論

一、 攻擊起因

(一) 獵物距離

以純遠近實驗來看，水蠶的警戒範圍隨著距離呈負相關(請參照圖十八)，再加上水蠶攻擊距離與大顎長呈正相關(請參照下圖三十六)，攻擊發動率與距離呈負相關(請參照圖十九)，若非進入極近的距離不主動追捕獵物，以上結果均支持水蠶為伏擊型獵食者。推測水蠶的攻擊起因在於與獵物的距離和獵物大小，未來如果要釐清相關起因，可以嘗試測量出警戒範圍、攻擊發動範圍，兩者進行重疊繪製出水蠶對獵物的評估範圍。整理實驗日誌發現，水蠶捕食極小獵物時大顎有許多死角讓獵物可以逃脫，若再加以探討大顎死角進去，也許能更詳細的表示出水蠶實際的評估範圍。



圖三十六、平均大顎長度與水蠶身長關係

(二) 獵物距離與獵物體長之比較

當水蠶面對大身長比之獵物時，會比面對中小身長比之獵物有較小的攻擊率及警戒率(請參照圖二十、圖二十一)。推測可能的原因為大身長比的獵物風險較高，而中小身長比的獵物風險較低。

二、 攻擊策略

(一) 獵物體長：

整合餵食孑孓與大肚魚的兩組身長比實驗，可以繪製出身長比與獵食的關係曲線(請參照圖二十五)。之所以使用餵食孑孓的資料，其原因在於餵食

大肚魚組配不出極小的身長比。一般而言，魚苗出生體型大約在 0.8cm，故 0.8 cm 以下身長之數據無法補足，因此加進了餵食孑孓組來完成在極小身長比下的攻擊率分析。在孑孓小身長比方面結果中，得知在身長比 0.1-0.8 的範圍中，攻擊率與身長比呈正相關(請參照圖二十五)，另外發現大型水蠶攻擊率較高(請參照圖二十四)，其原因推論是因為孑孓的捕食風險(風險包括捕食失敗率以及時間成本的空耗)相當，理論上，大小水蠶的攻擊發動率應相近，但是實際上固定身長比，大型水蠶所面對的孑孓體型較大所以較容易捕捉，所以獲得的能量較中小型水蠶高，另外，據單純遠近實驗的前置實驗，大小型水蠶視力相差不遠，又因為在同身長比時，大型水蠶面對的獵物體型較大，所以大型水蠶比小型水蠶更能看清楚鎖定獵物，攻擊率理當較高，而中小型同身長比下面對的獵物太小，其獲益較低，且比較不易鎖定，故攻擊率較低。另一方面，在大肚魚的實驗結果中發現，無論水蠶體型大小，攻擊率與獵物大小呈負相關(請參照圖二十二)，又捕獵失敗率與獵物體型呈正相關且也與處理時間呈正相關(參照圖三十三、圖三十四、圖三十五)，故捕食風險會隨獵物體型增加而提高，當水蠶評估風險與獲益後，若較為不利時，水蠶將會降低對其的捕獵行為。由以上實驗推論出水蠶在此的攻擊策略為挑選風險較小、獲益較高的獵物，證明了最佳捕食者總是選擇最有利的獵物的推論。

(二) 獵物密度與獵物體長選擇性：

在行為生態學中有提到最適食譜的理論：最佳捕食者總是選擇最有利的獵物，而在我們的實驗中，水蠶對於大小孑孓處理時間均相同，所以較有利的獵物應當是由獵物大小(含有能量多寡)決定。

另一方面，當有利的獵物達到一定密度後，捕食者會拒絕捕食有利性較小的獵物。故在獵物體長選擇性實驗中(請參照圖二十八、圖二十九)，當我們讓大孑孓(代表有利獵物)、小孑孓(代表不利食物)在環境中同時存在時，水蠶因捕食大孑孓比較有利，所以大多捕獵大孑孓，但乃有少許捕食小孑孓的機率，推斷應與相遇率或判斷誤差有關。

若以大孑孓做高低密度實驗，在高密度情形下(請參照圖二十六、圖二十七、圖三十)，水蠶與孑孓相遇率高，捕食的時間成本低、捕食難易度低，即低成本高獲益，因此在高密度下水蠶的策略是以飢餓程度做為攻擊依據。然而在低密度的情況下(請參照圖二十六、圖二十七、圖三十一)，水蠶採取用較高攻擊次數來彌補在低密度時的低相遇率以及增加的大顎死角和捕食困難度，以獲得和高密度時相當獲益，中、小型水蠶受限捕食能力的限制，即處理獵物須花高時間成本，又因需求較小，故採取降低攻擊次數、

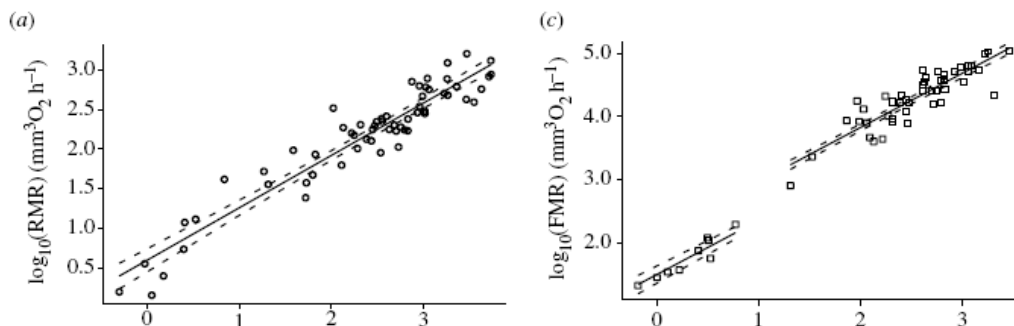
提高攻擊準確度的保守策略面對獵物。

在 Heikki Hirvonen and Esa Ranta (1996) 的論文中，在密度會隨時間而降低的實驗中（即不補充獵物的前提下），發現水蠶的攻擊次數與密度呈正相關，但在以上控制密度的實驗中，水蠶的攻擊次數乃會隨時間下降，與 Heikki Hirvonen and Esa Ranta (1996) 的論文中的結果不符合，經過討論與比較後，我們推斷攻擊次數隨時間下降的現象應與水蠶本身的飽食度有關聯。

三、 攻擊回饋

由處理時間的結果可知不論水蠶體長大小其處理獵物的時間都與獵物體長呈正相關(請參照圖三十三、圖三十四、圖三十五)，但可明顯看出大型水蠶面對每增加一單位體長的獵物所增加處理時間成本較低，而中、小型水蠶的時間成本則相當。另外，耗氧量與所捕食的獵物體長呈現正相關(請參照圖三十二)。

結合處理時間與耗氧量關係，推出水蠶捕食大的獵物時雖能獲得較多能量，但在時間成本與捕食行為耗氧量上卻相對較多，因此理應是有個最大獲益區域。在未來能朝水蠶代謝這方面，尋求攻擊回饋和攻擊策略之間的關聯，如 (Jeremy E. Niven and Jo"rn P. W. Scharlemann, 2005) 的論文中(請參照圖三十七)知道不同大小的蜻蜓進行飛行期間和休息期間的基礎代謝率比較，而其中大型蜻蜓的基礎代謝率高於小型蜻蜓的基礎代謝率，因為蜻蜓為水蠶的成蟲，所以我們藉此推論在稚蟲時期，水蠶的基礎代謝率應該也會因為體型大小不同而有所差異，因此我們認為中小型水蠶會因為代謝較慢，相對獵物的需求量較少，所以較易達到飽足，而大型水蠶因為代謝較快，所以對獵物的需求量自然會大，也因此較不易達到飽足，此可能為造成大型水蠶和中小型水蠶攻擊策略有明顯差異原因。



圖三十七、蜻蜓休息與飛行時的代謝率與蜻蜓體積比
此圖引用自 Jeremy E. Niven and Jo"rn P. W. Scharlemann (2005)

柒、結論

一、在水蠶攻擊起因中，我們發現水蠶攻擊率與獵物距離呈負相關，且不同體型大小的水蠶有不同的誘發條件。例如：大體型水蠶較中小型更寬廣的攻擊範圍以及積極的攻擊行爲，而中型水蠶卻有最保守的攻擊模式，這是前人研究中較少著墨之處。

二、在水蠶攻擊策略中，我們發現水蠶會在風險與獲益做最適權衡。例如：在大身長比的獵物中，雖有較高的能量獲益，但卻有高風險存在，使水蠶願意選擇較小的獲益，但風險較低的獵物；相反地，若在極小身長比時，具有低風險，但獲益量過低，水蠶寧願提高風險去取得較高獲益的獵物。

當水蠶面臨高低密度的獵物環境中，會採取不同策略，來取得最高獲益，例如：高密度時，捕食容易，水蠶攻擊行爲較消極隨意，但在低密度時，捕食困難度增高，水蠶會以提升攻擊次數或精準度來彌補。

另外，當大小獵物同時存在時，且彼此捕食風險相近時，水蠶會選擇具有較高能量的獵物捕食，印證了尙玉昌（2003）在行爲生態學中提及的最適食譜理論。

因此水蠶會挑選最有利的食物的趨勢，也會挑選符合最適食譜的食物，讓本身獲得最高的獲益。

三、水蠶攻擊回饋中，我們發現處理時間與獵物身長呈正相關，且大小水蠶有著不同的處理能力。例如：每增長一單位體長，中、小型水蠶要付出的時間成本較高，大型水蠶所付出的時間成本最低，回應了先前實驗中，為何大型水蠶的攻擊行爲積極，而中小型水蠶的攻擊行爲較消極的根本原因。

四、另外，在耗氧量的實驗中，發現耗氧量與獵物身長呈正相關。也代表著水蠶捕食較大型的獵物（獲能較高的食物）也需消耗較高的能量，因此，水蠶們會在各獵物做一最有利的選擇。

綜合以上討論，我們認為水蠶的攻擊策略是依照淨獲益當作選擇依據，以低成本換取高獲益。

捌、參考資料及其他

- 石田昇三、石田勝義、小島圭三、杉春光俊。(1988)。日本產蜻蛉幼蟲、成蟲檢索圖說。
- 林斯正(1999)。台灣產蜻蜓科(蜻蛉目)幼蟲分類研究。私立東海大學生物研究所碩士論文。未出版。台中市。
- 尙玉昌。(2003)。行為生態學。P.34-94。
- 曹美華。(2006)。台灣 120 種蜻蜓圖鑑。
- G.M. Hughes and P.J. Mill (1996) . Patterns of ventilation in dragonfly larvae . *Journal of Experimental Biology* . (1996) ,44,317-333 .
- Heikki Hirvonen and Esa Ranta (1996) . Prey to predator size ratio influences foraging efficiency of larval *Aeshna juncea* dragonflies . *Oecologia* . 106,407-415 .
- Jeremy E. Niven and Jo" rn P. W. Scharlemann(2005). Do insect metabolic rates at rest and during flight scale with body mass? *Biology letters* . (2005) ,1,346-349 .
- 台東縣家庭教育中心：<http://ttc.familyedu.moe.gov.tw>

【評語】 040704

本作品目的在觀察水蠶的攻擊發動行為。實驗觀察針對的極大、極小獵物詳加觀察其獵食行為並作出詳盡的觀察記錄，而綜合出水蠶之獵食生態。為一件值得鼓勵的生態觀察作品。