

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030307

仰式泳椿拳

—小仰泳椿捕食孑孓之生物防治潛力評估

學校名稱：嘉義縣立永慶高級中學(附設國中)

作者： 國二 劉尚弦 國二 吳睿濬	指導老師： 張珮珊
-------------------------	--------------

關鍵詞：仰泳椿、孑孓、生物防治

摘要

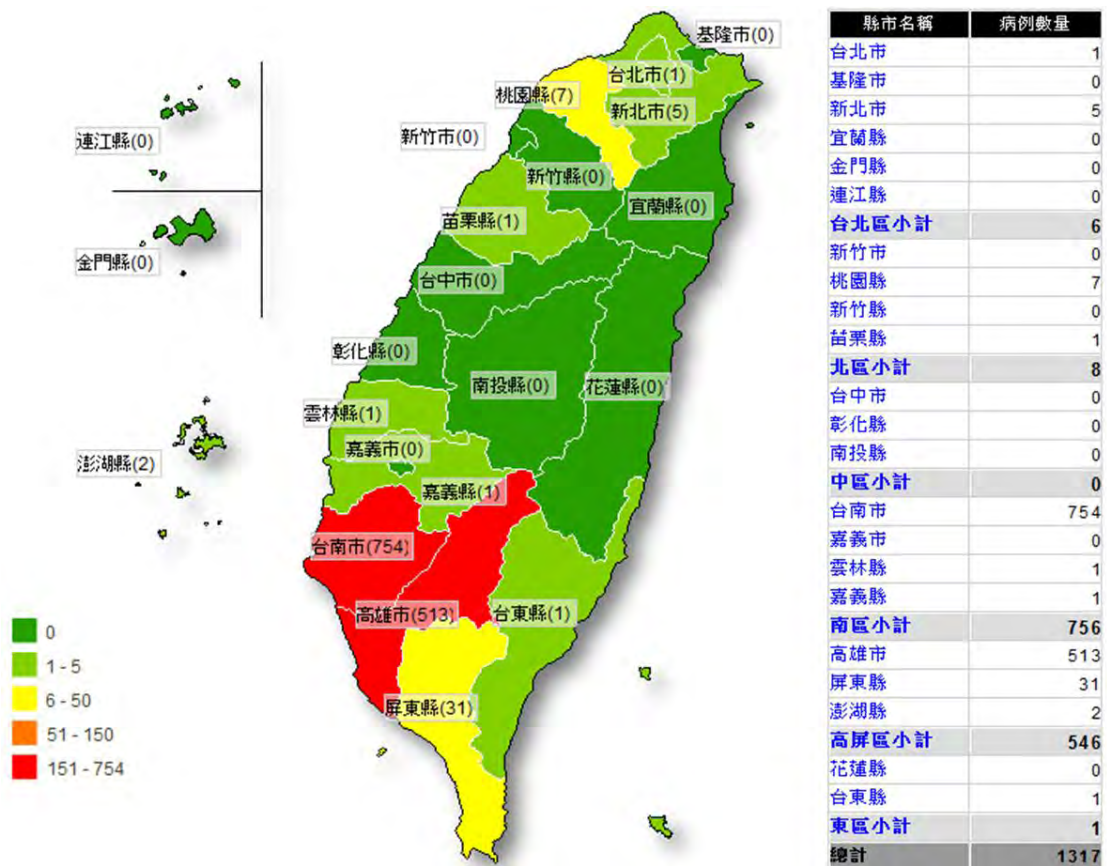
蚊子不僅擾人，更為重要病媒昆蟲，在臺灣傳播登革熱、日本腦炎等法定傳染病。近來橈足類防除病媒蚊頗具效用，南區之劍水蚤防治亦有良好試驗結果，然相較劍水蚤因體型小而偏好捕食一齡孑孓的限制，我們的實驗主角—仰泳椿具大體型優勢。本實驗透過捕食量、捕食速率與偏好試驗，初步瞭解仰泳椿之齡期、饑餓程度等因素會影響對孑孓捕食量、捕食速率及各齡孑孓捕食的偏好，仰泳椿齡期愈大、饑餓程度愈高其捕食量、捕食速率亦較高，且偏好捕食高齡期孑孓。透過捕食行為分析建立仰泳椿「被動等待」與「主動靠近」二種捕食模式，饑餓程度愈大會因養分需求較迫切而傾向以「主動靠近」模式來捕捉高齡孑孓。綜合研判，中高齡仰泳椿對孑孓防治具高度發展潛力。

壹、研究動機

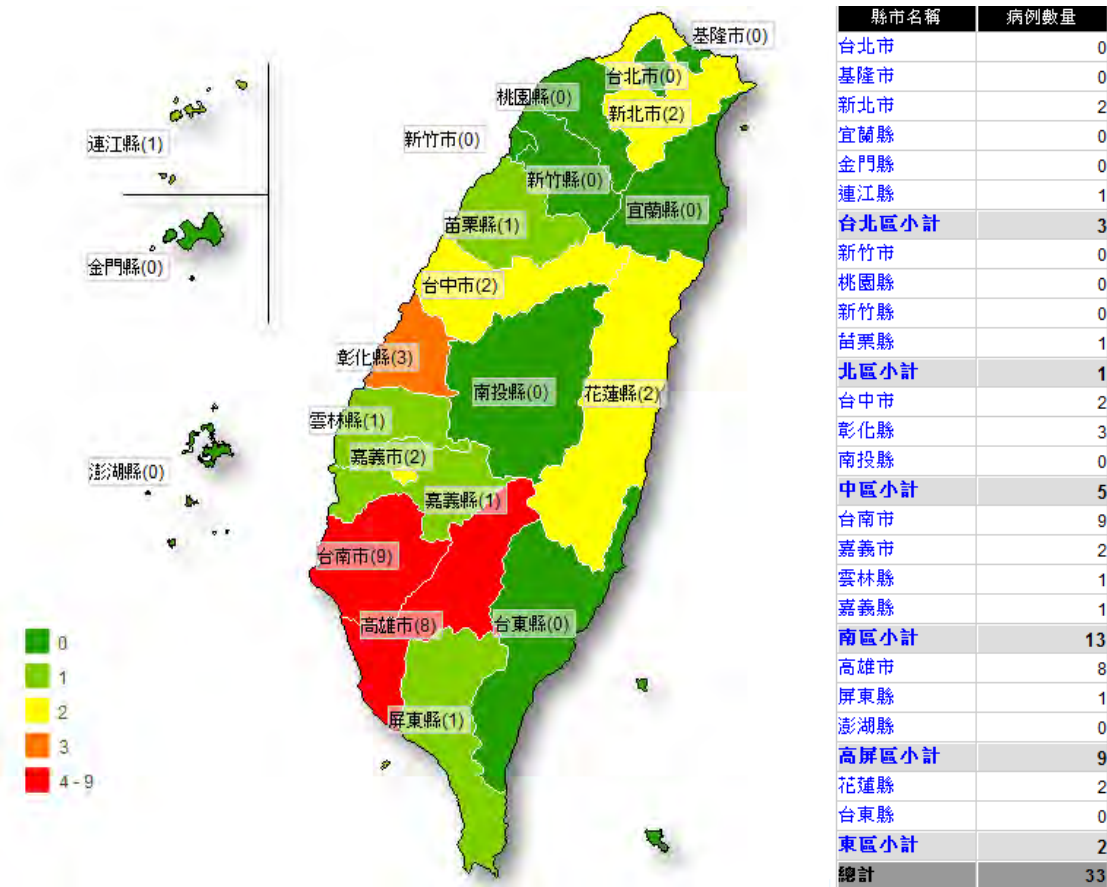
「好癢喔!」我抓著紅腫的小腿，看著滿目「瘡痍」的腳，體認到令人期待又怕受傷害的夏天已經來臨。隨著氣候漸暖，蚊子猖獗更盛，除了騷擾或叮咬後紅腫、發癢，讓人感到不舒適之外，更會引發多種蚊媒傳染病，如登革熱、日本腦炎等。根據行政院衛生署疾病管制局 (Centers for Disease Control, CDC) 統計顯示，去年 2012 元月至今年六月中旬全國登革熱本土病例累計高達 1317 病例，主要分佈於臺南市與高雄市 (如圖一)，而全國日本腦炎也有 33 起病例 (含本土及境外移入病例)，亦是臺南市與高雄市居多 (如圖二)，嘉義縣市雖然僅有零星案例，但由於緊鄰疫情最嚴重的臺南市，再加上目前最重要的蚊媒傳染病登革熱病例均分佈於嘉義布袋以南，因此嘉義儼然成為防止疫情向北擴散的重要守門員，在病媒蚊的防治上更具急迫之必要性。

在臺灣傳播登革熱病毒的病媒蚊，為埃及斑蚊 (*Aedes aegypti*) 和白線斑蚊 (*Aedes albopictus*)，而日本腦炎病毒則主要藉由三斑家蚊 (*Culex tritaeniorhynchus*) 傳播。因此清除此類病媒蚊之孳生是預防登革熱、日本腦炎最基本、重要的防治法。除了居家環境周圍之水盤、廢瓶罐、水缸、水桶、廢輪胎或樹洞等積水處的定時刷洗、換水、清除、倒置或覆蓋外，亦可搭配殺蟲劑進行化學性的防治，但噴灑藥劑僅能治標而不能治本，多數殺蟲劑亦會造成生態環境一定程度的傷害，而目前國內普遍使用的殺蟲劑多半為除蟲菊酯類，此成分初期對蚊子確能達到防治效果，但相對容易產生抗藥性 (徐爾烈，1996；葉擇奇，2009)，因此，近年來利用生物間掠食、寄生、交配等交互作用所發展的生物防治愈廣為受到重視。

許多生物均有發展生物防治的潛力，如細菌、大肚魚、蓋斑鬥魚、橈足類生物如劍水蚤 (*Mesocyclops spp.*) 等 (蔡承晏，2011)。澳洲科學家歐尼爾 (Scott Oeill) 等人將沃巴赫氏菌 (*Wolbachia pipientis*)，注射至埃及斑蚊的卵中，研究發現，體內有沃巴赫氏菌的埃及斑蚊對登革熱病毒產生抵抗力，因此不會傳播疾病 (Coffey, 2011)；美國生物學家詹姆斯 (Anthony James) 則將阻礙雌蚊飛行肌發育的基因放進埃及斑蚊的卵中，透過基因改造的雄蚊和野生雌蚊交配行為，來消滅特定野外族群，藉此阻擋疾病傳播 (Trivedi, 2012)；而運用橈足類防治登革熱在東南亞國家行之有年，而行政院衛生署疾病管制局、臺灣大學公共衛生學院蔡坤憲教授共同研商「劍水蚤生物防治法」，利用劍水蚤對孑孓的掠食特性，藉此杜絕病媒蚊孳生，去年三月已於南臺灣嘉義、臺南、高雄、屏東部分地區進行先驅試驗，初步實驗結果良好，期待未來能發揮防治功效。因此，我們本欲瞭解劍水蚤對嘉義區孑孓防治的效果並針對溫度、水質做進一步探討時，卻陷入找不到實驗生物的困境，而正逢我們遍尋不著劍水蚤之際，恰巧在學校的生態池中發現了一種我們從未見過的水棲昆蟲，與孑孓共培養時，會毫不客氣的把孑孓「榨乾」，透過初步文獻探討才瞭解此水棲昆蟲為「仰泳椿」，相較於劍水蚤因體型較小而偏好捕食一齡孑孓的限制 (蔡承晏，2011)，仰泳椿具大體型的優勢，或許能應用於高齡期孑孓的防治，因此我們決定以「仰泳椿防治孑孓」作為研究題材，設計實驗來試驗仰泳椿對各齡期孑孓的捕食量及捕食速率，並探討仰泳椿齡期大小、饑餓程度對孑孓捕食的影響，用以評估仰泳椿未來應用於孑孓之生物防治的潛力。



圖一、全國登革熱本土病例地理分布 (2012/01/01 - 2013/06/09 ; 引自 CDC)



圖二、全國日本腦炎含本土及境外移入病例分布 (2012/01/01 - 2013/06/16 ; 引自 CDC)

貳、研究目的

本實驗主要是希望瞭解各齡期仰泳椿(一齡至五齡)對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)的捕食量、捕食速率，進而探討仰泳椿齡期大小、饑餓程度對孑孓捕食的影響，並進一步建立仰泳椿捕食模式，以評估仰泳椿應用於孑孓之生物防治的潛力，以下為本實驗之待答問題與研究假設：

待答問題：

- 一、現撈各齡期仰泳椿(一齡至五齡) 對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之捕食量多寡與捕食速率為何？
- 二、不同飢餓度(現撈:0、餓一天:1、餓二天:2)之各齡期仰泳椿(一齡至五齡) 對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之捕食量是否有差異？
 - 二-1、不同飢餓度各齡期仰泳椿(一齡至五齡) 對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之捕食總量是否有差異？
 - 二-2、不同飢餓度(現撈 0、餓一天 1、餓二天 2)之仰泳椿對各齡期孑孓(一齡至四齡)之捕食總量是否有差異？
- 三、仰泳椿的齡期大小、飢餓程度是否會影響其對不同齡期孑孓的捕食偏好？
- 四、仰泳椿捕食孑孓的模式為何？
- 五、仰泳椿野外防治成效為何？

實驗假設：

- 一、仰泳椿因齡期大小而有不同的捕食量及捕食速率，推測仰泳椿齡期愈高，捕食量愈高，捕食速率也愈好。
- 二、不同飢餓度會影響仰泳椿對孑孓的捕食量，推測仰泳椿飢餓度愈高，捕食量也愈大。
- 三、仰泳椿會因本身齡期大小、飢餓程度而影響其對不同齡期孑孓的捕食偏好。推測齡期愈高，飢餓程度愈大的仰泳椿會因養分的需求而偏好捕食較高齡期的孑孓。
- 四、仰泳椿捕食孑孓具有一定的行為特徵，但不同飢餓度可能會影響仰泳椿的捕食策略，而仰泳椿主要透過機械感覺毛來發現孑孓位置，並輔以視覺作距離的精確研判。
- 五、仰泳椿能存活於易孳生孑孓的水中，並具有良好的防治成效。

參、實驗材料與方法

一、實驗材料：

(一) 小仰泳椿 (*Anisops ogasawarensis*)

1. 來源：校園的生態池(如圖三)
2. 仰泳椿簡介

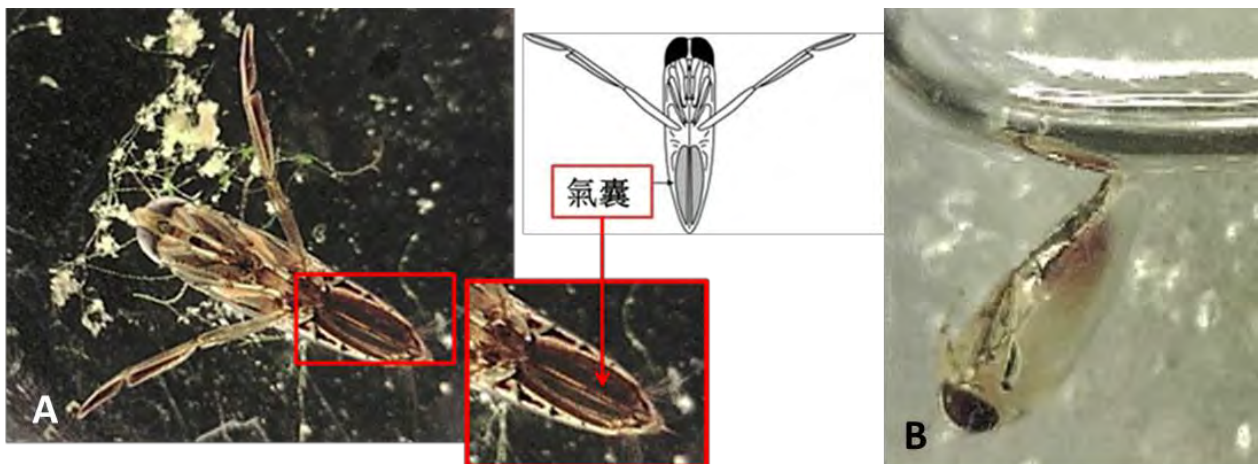
仰泳椿分類上屬於半翅目，仰椿科 (Notonectidae)，小仰椿屬 (*Anisops*) 的水棲昆蟲，以下就其生活環境、生理構造、生活史與齡期研判與捕食習性做進一步介紹。

(1) 生活環境

仰泳椿為水棲昆蟲，生活在水田或者池塘等靜態水域，即使水中含氧量偏低，仰泳椿可利用腹部攜帶空氣膜 (如圖四 A)暫時儲存所需要的氧氣，因此每隔一段時間仰泳椿即會游至上水面換氣 (如圖四 B)。仰泳椿對溫度的適應性也相當高，18 °C 到 32°C 之間均可存活，不過，溫度太低時大多數仰泳椿會聚集在水面下，若超過 43°C 則會漸漸死亡，而最適合生長的溫度則是落在 25°C 至 28°C 的範圍 (申屠萱，1999)。學校生態池雖為開放環境，但夏季水溫約 27 °C，冬季也有 19 °C 左右，因此一年四季均可見仰泳椿。



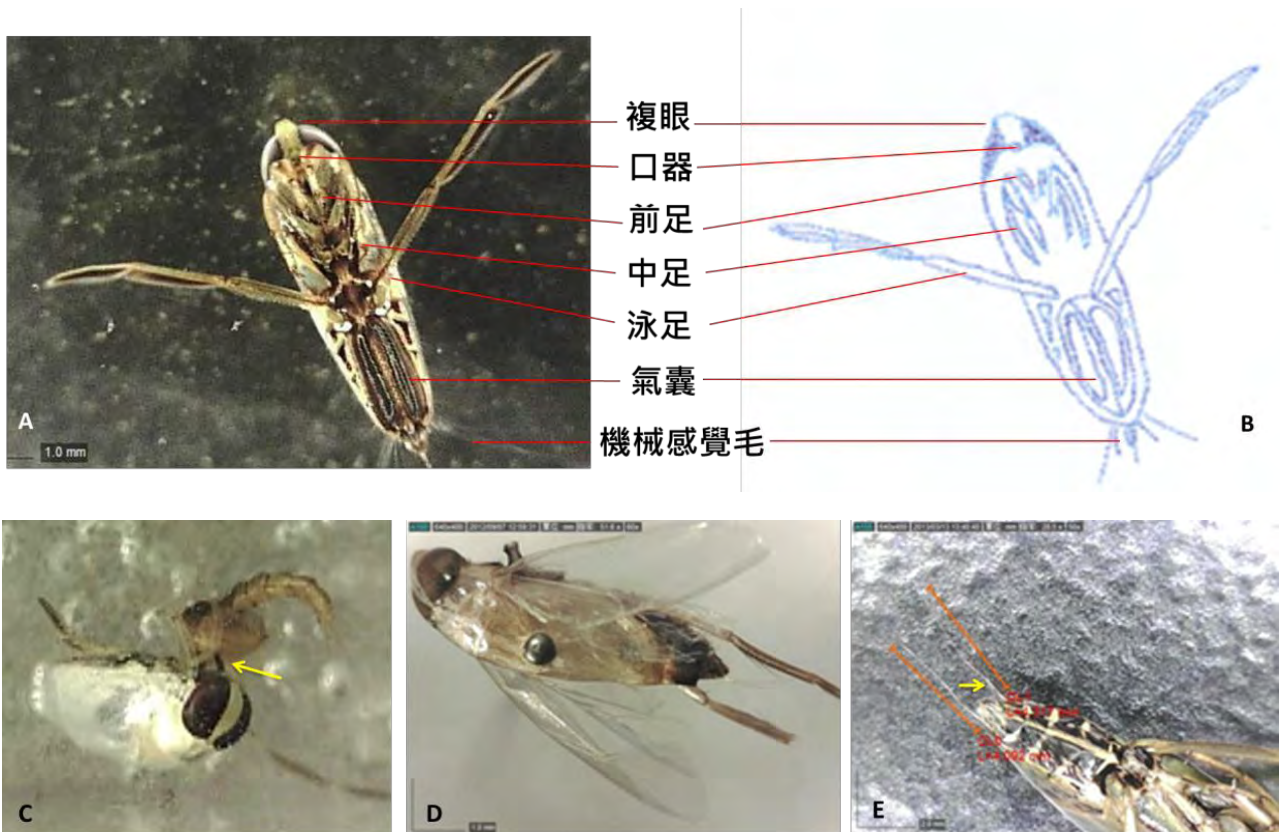
圖三、校園的生態池



圖四、仰泳椿於水中獲得氣體方式。A. 腹部儲存空氣的氣囊；B. 換氣行為。

(2) 生理構造 (如圖五 A、B)

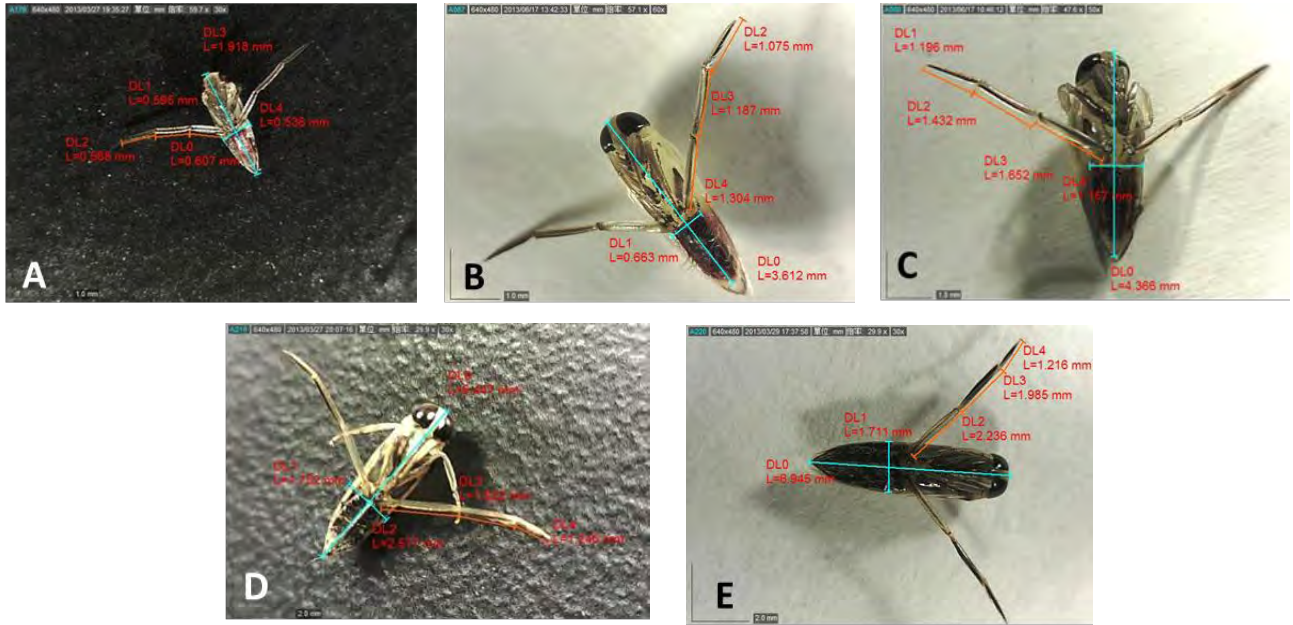
仰泳椿的複眼相當發達，約占頭部的三分之二，具有刺吸式口器 (如圖五 C)；身體分為頭胸腹三節，有一對透明翅膀 (如圖五 D) 可做短距離的跳躍式飛行，前、中足特化成適於捕捉與固定獵物的型態，後足則演化成適於游泳的游泳足，協助其在水中快速游動或滑行；仰泳椿的腹部，有一儲存空氣的氣囊，透過腹部尾端貼近水面的方式來換氣；此外，腹部尾端，亦具有能感應獵物在水中擾動的機械感覺毛 (如圖五 E)，能搭配發達的複眼來確定獵物位置 (申屠萱，1999)。



圖五、仰泳椿生理構造。A. 仰泳椿腹面全圖；B. 仰泳椿腹面手繪全圖；
C. 仰泳椿之刺吸式口器；D. 仰泳椿展翅圖；E. 仰泳椿腹部尾端之機械感覺毛。

(3) 生活史與齡期研判

常溫下仰泳椿的卵平均約需要 11 天的生長，若蟲有五齡，一齡蟲的生長天數約 4 天，二齡生長天數約 4 天，三齡生長天數約 5 天，四齡生長天數約 6 天，五齡生長天數約 10 天，成蟲生長期約 71 天，故一個完整世代約需 111 天 (申屠萱，1999)。本研究以一至五齡若蟲的仰泳椿來進行捕食能力評估，測量仰泳椿體長做為齡期的初步判斷，仰泳椿的體長會隨著齡期增加而增長 (如圖六 A~E)，三齡與四齡仰泳椿體寬相近，但體長變化較顯著，三齡約 4.37 mm，而四齡約 6.5mm 左右 (註一)，因此其體寬與體長的比例不太相同，三齡仰泳椿的身材是矮胖型，而四齡仰泳椿則是高瘦型；此外，五齡仰泳椿體寬與四齡相近，但根據文獻描述五齡仰泳椿的體長可達 7mm 左右。



圖六、仰泳椿齡期研判。A. 一齡仰泳椿的身長約是 1.9mm，而身寬約是 0.5mm；B. 二齡仰泳椿的身長約 3.6mm，而身寬約是 0.66mm；C. 三齡仰泳椿的身長約 4.37mm，而身寬約 1.16mm；D. 四齡仰泳椿的身長約 6.4mm，而身寬約是 1.7mm；E. 五齡仰泳椿的身長約 6.9mm，而身寬約是 1.7mm。

註一：四齡五齡仰泳春拍攝時腹部尾端均有隆起，故實際體長應比測量值更大。

(4) 捕食習性

仰泳椿會捕食孑孓、蛾蚋的幼蟲和青鱗魚，但蛾蚋幼蟲活動力較孑孓低，而青鱗魚游動速度和躲避的能力均相對較強，且具體型優勢，因此仰泳椿偏好捕食孑孓（許芷菱，2011），而根據申屠萱（1999）研究顯示，仰泳椿的一生大約可捕食約 4300 隻的埃及斑蚊四齡孑孓。捕食獵物時，主要以腹部尾端的機械感覺毛偵測獵物移動時所引起的水波，來尋找獵物的方向，並搭配複眼加強對獵物所在距離的判斷，一旦獵物進入捕捉範圍後，則以前足與中足緊緊抓住獵物，再以刺吸式的口器吸食獵物的體液（申屠萱，1999）。

(二) 斑蚊 (*Aedes*)與家蚊 (*Culex*) 孑孓

1. 來源：自嘉義縣竹崎鄉、中埔鄉、太保市、朴子市，臺南市白河區，高雄市大樹區等居家附近、及靠山邊的區域採集（如圖七）。

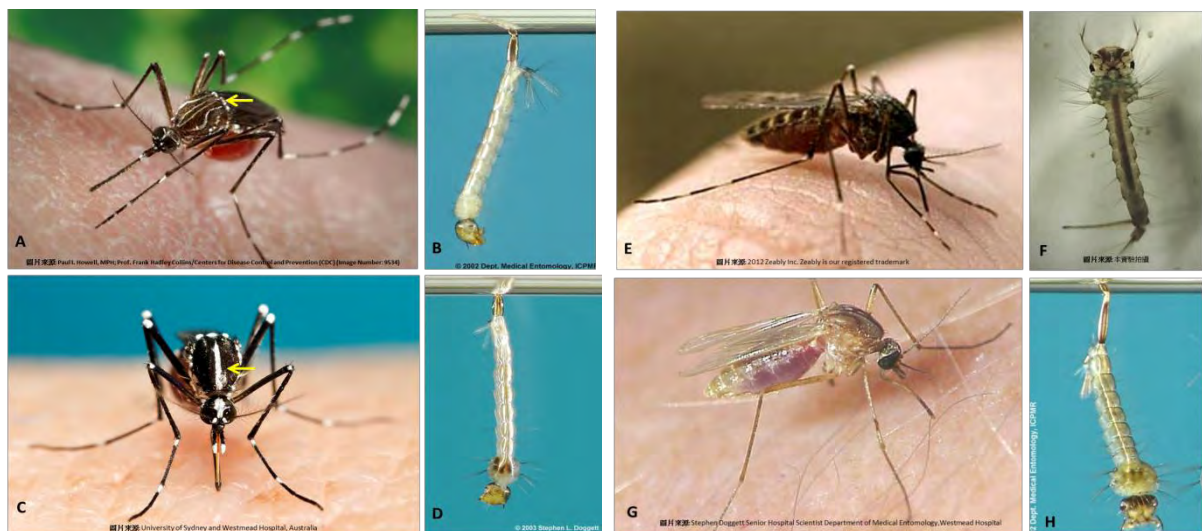


圖七、孑孓野外採集地點分佈圖

2. 斑蚊 (*Aedes*)與家蚊 (*Culex*) 簡介

(1) 斑蚊屬 (*Aedes*) 常見的有埃及斑蚊與白線斑蚊，斑蚊適合在 20~32°C 的環境下生活。埃及斑蚊主要分部在北緯 35 度與南緯 35 度之間的熱帶及亞熱帶地區，在臺灣的分布則是嘉義布袋以南至屏東佳冬以北。成蚊的胸部背板上有一對銀白色似括弧的曲線，中間另具一對白色細線 (如圖八 A)。雌蚊偏好產卵於暗色的積水容器，如水泥槽、陶瓷水缸或廢輪胎等，在環境條件適宜情況下，卵孵化至成蟲約需一周左右(卵 2 天→一齡子孓 1.5 天→二齡子孓 1.5 天→三齡子孓 1.5 天→四齡子孓 1.5 天→蛹期 1 天→成蟲)；白線斑蚊在臺灣本島分布極廣，平地及海拔一千五百公尺以下山區或都市均有其蹤跡，與埃及斑蚊最大的區別在於白線斑蚊成蟲胸部背板中間，僅有一條直的銀白色線 (如圖八 C)。雌蚊亦喜好於水際暗色粗糙器物表面下產卵，由卵孵化至成蟲約莫需要 10 天左右(卵 2 天→一齡子孓 2 天→二齡子孓 2 天→三齡子孓 2 天→四齡子孓 2 天→蛹期 1 天→成蟲)，然成蟲壽命較埃及斑蚊短，僅 15 天左右，不過不論是埃及斑蚊或白線斑蚊其卵的休眠期均很長，亦均為傳播登革熱病毒的重要病媒蚊，臺灣夏季溫度平均 30°C 以上，斑蚊在 25~32°C 的環境中，產卵數是 20°C 時的 2 倍，幼蟲發育至成蟲的天數也會縮短，可能因而加快蚊媒傳染的速度 (蔡坤憲，2012；蔡承晏，2011)。

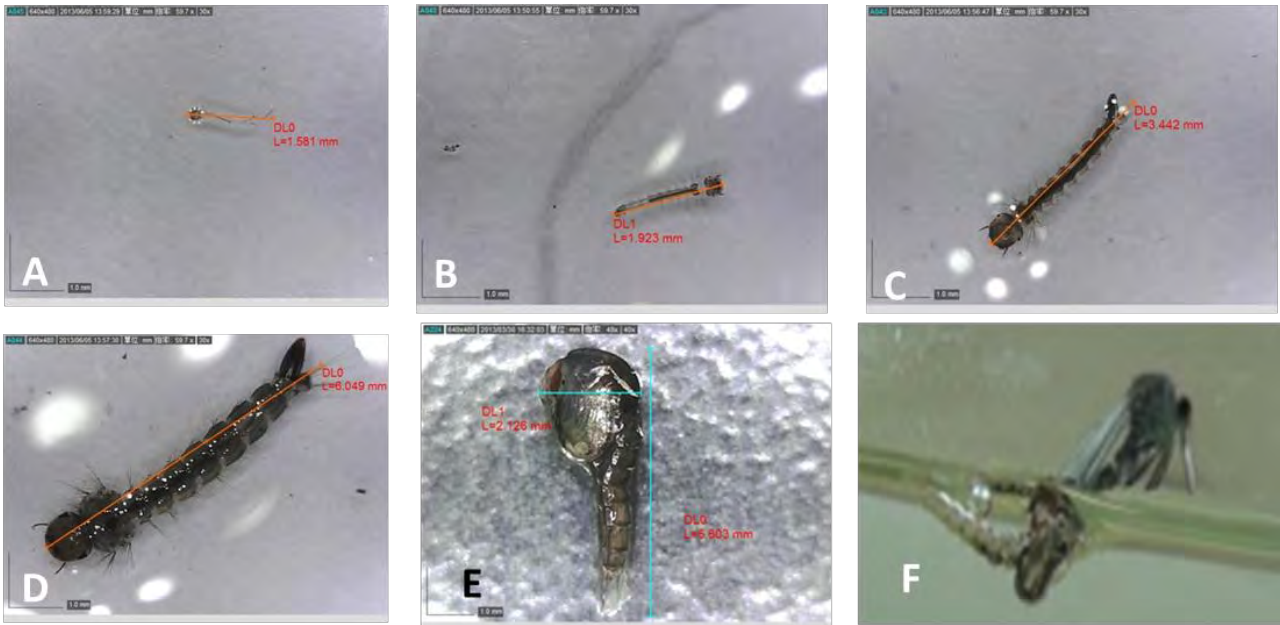
(2) 家蚊屬 (*Culex*) 中最廣為人知的即是日本腦炎主要病媒-三斑家蚊，主要孳生於水田、水窟、小溪溝等，卵孵化至成蟲約需近二星期(卵 2 天→一齡子孓 2 天→二齡子孓 2 天→三齡子孓 2 天→四齡子孓 2 天→蛹期 1 天→成蟲)。而居家附近則常見熱帶家蚊，好孳生於含氧量較低的水中，如含有機質較多的水域或人工容器，卵孵化至成蟲也約需近二星期 (卵 2 天→一齡子孓 2 天→二齡子孓 2 天→三齡子孓 2 天→四齡子孓 2 天→蛹期 1 天→成蟲)。家蚊子與斑蚊最大的差異為呼吸管較長，體表多剛毛突起，活動力亦較低 (如圖八 F、H) (蔡承晏，2011)。



圖八、斑蚊與家蚊成蚊與子孓。A. 埃及斑蚊成蚊；B. 埃及斑蚊子孓；C. 白線斑蚊成蚊；D. 白線斑蚊子孓；E. 三斑家蚊成蚊；F. 三斑家蚊子孓；G. 熱帶家蚊成蚊；H. 熱帶家蚊子孓。

(3) 子孓的齡期區別

本研究將採集自野外的子孓與蛹先進行初步的分類，再依據體長判別子孓齡期，以白線斑蚊為例，一齡子孓的體長最小，約 1~1.5mm；二齡子孓則為 2mm 左右；三齡子孓為 3~4mm 左右；四齡子孓體長可達 5~6mm，且體寬有明顯增加，蛹的形狀自側面看起來成逗點狀，因此容易研判(如圖九 A~F)。



圖九、子孓的齡期區別。A. 一齡子孓的體長最小，約 1~1.5mm；B. 二齡子孓則為 2~2.5mm；C. 三齡子孓為 3~4mm 左右；D. 四齡子孓體長約 5~6mm；E. 蛹為逗點狀，體長約 5~5.5mm；F. 蛹羽化為成蟲。

二、器材：

表一、實驗器材清單

1.	微距攝影機 (Dino-Lite)	2.	捕食能力測試瓶	3.	橡皮筋
4.	數位攝影機、照相機	5.	1000ml 量筒	6.	廚餘桶
7.	電腦	8.	滴管	9.	紗窗網、洗衣袋
10.	培養皿	11.	試管、試管夾	12.	溫度計
13.	釣魚線	14.	長尾夾	15.	水族箱

三、實驗設計：

(一)實驗一、捕食量多寡與捕食速率試驗

本實驗運用自製捕食能力測試瓶逐一針對各齡期仰泳椿(一齡至五齡)對各齡期子孓(一齡至四齡、蛹)之捕食進行試驗，每次實驗均設三組實驗組，每組皆含同齡期仰泳椿與相同齡期各十隻子孓，並建置只放入仰泳椿對照組，此外，為排除子孓自然死亡造成實驗誤差，同時建置只含子孓之對照組。

根據實驗前初步觀察，仰泳椿捕食需要一段時間的潛伏，因此本實驗紀錄子孓

倒入捕食能力測試瓶後 30 分鐘、60 分鐘及 24 小時之孑孓捕食量，詳細實驗設計（如圖十）。

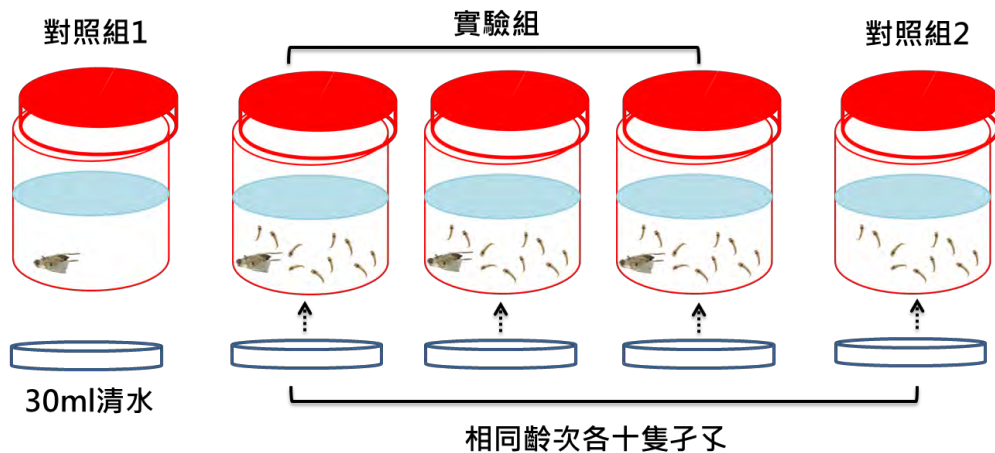
1. 捕食量與捕食速率定義：

本實驗之捕食量可分為絕對捕食量與相對捕食量：

- (1)絕對捕食量(隻): 10 隻－存活孑孓剩餘數量
- (2)相對捕食量(%): (原有孑孓數－剩餘孑孓數)/原有孑孓數×100%
- (3)捕食速率: 相對捕食量(%)/單位時間(時)

2. 實驗步驟：

- Step1 將野外採集之孑孓進行各齡期的分類，並將同齡期之孑孓各十隻分置於培養皿中(約含 30ml 清水)等待試驗。
- Step2 自校園生態池中以細魚網、燒杯捕撈各齡期仰泳椿置於培養缸等待試驗。
- Step3 準備五個捕食能力測試瓶，內含有 150ml 清水及 50ml 池水以模擬生態池環境並降低水濁度以利拍攝。
- Step4 將試驗齡期之仰泳椿放入四個捕食能力測試瓶(三組實驗組、一組對照組)。
- Step5 紀錄起始時間後，將培養皿中等待的孑孓倒入捕食能力測試瓶，同步錄影 30 分鐘，並於 30 分鐘、60 分鐘及 24 小時紀錄捕食能力測試瓶中存活孑孓剩餘數量，以推測仰泳椿對孑孓捕食量與捕食速率。



圖十、捕食能力實驗設計

(二)實驗二、不同飢餓度(現撈:0、餓一天:1、餓二天:2)之仰泳椿捕食量多寡與捕食速率試驗

1. 飢餓度定義：

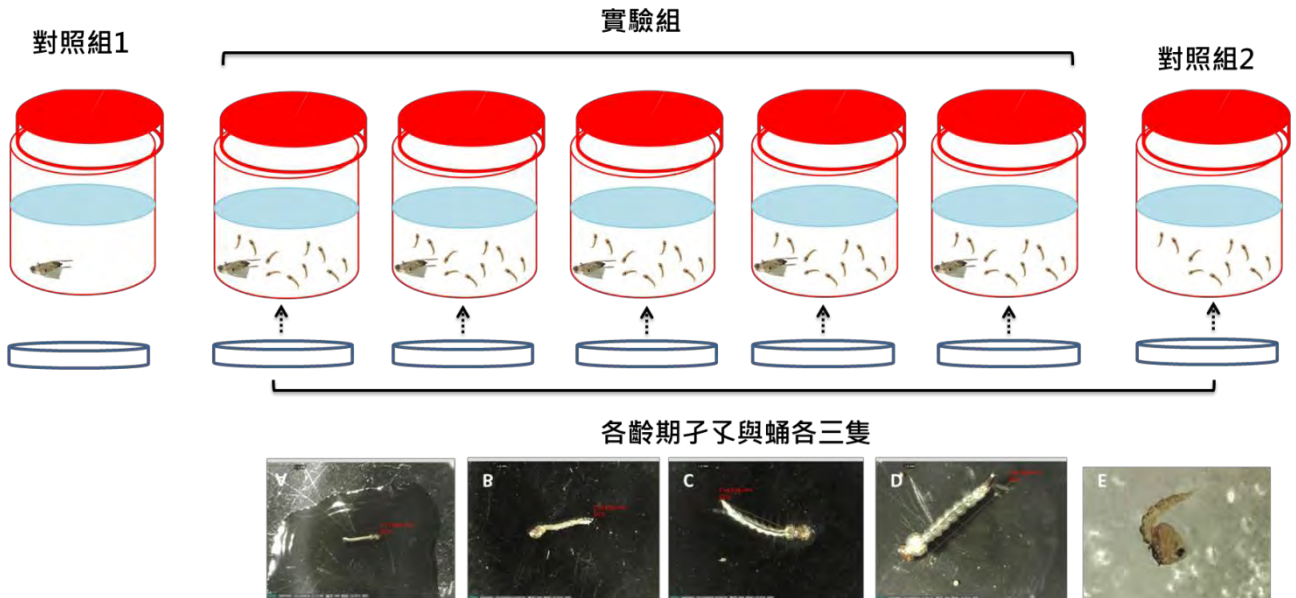
飢餓度為 0 者為自校園的生態池現撈後，立即進行實驗測試的仰泳椿；而飢餓度為 1 或 2 者，則是捕食試驗前一天與前二天先自生態池打撈仰泳椿，再飼養於實驗室中的簡易水族箱中，飼養條件為池水與清水約 1:1。

2. 實驗步驟：

除 Step2 自校園生態池中以細魚網、燒杯捕撈各齡期仰泳椿置於簡易水族箱飼養一天至二天，等待飢餓度試驗之外，其餘實驗步驟與實驗一大致相同。

(三)實驗三、仰泳椿捕食偏好試驗

在實驗（一、二）中發現低齡期的仰泳椿捕食高齡期子子的量偏低，而高齡期的仰泳椿捕食蛹的量也不高，推論可能與仰泳椿內在因素（饑餓度、齡期大小）有關，因此，實驗三欲初步瞭解仰泳椿對不同齡期的子子是否有所偏好。因本實驗主要為偏好測試，因此僅記錄 30 分鐘及 60 分鐘的實驗數據，實驗設計（如圖十一），實驗組放入各齡子子（一齡至四齡、蛹）各三隻，亦有兩組控制組分別僅只加入仰泳椿或子子，其餘條件與實驗（一、二）相仿。



圖十一、捕食偏好實驗設計

- Step1 準備 7 個捕食能力測試瓶，裝有 150ml 清水及 50ml 池塘水。
- Step2 將現撈仰泳椿或水族箱中飢餓度為 2 的仰泳椿放入測試瓶。
- Step3 到達測試時間時將子子放入，開始錄影，等待並紀錄第一隻被捕食之子子之齡期，與 30、60 分鐘內被捕食子子之齡期。

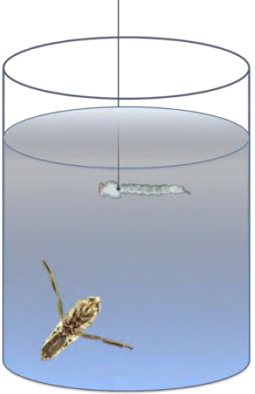
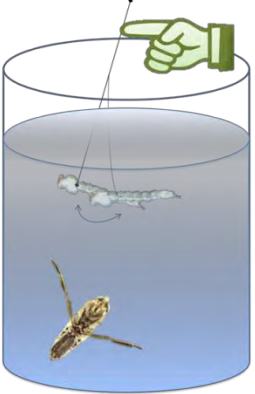
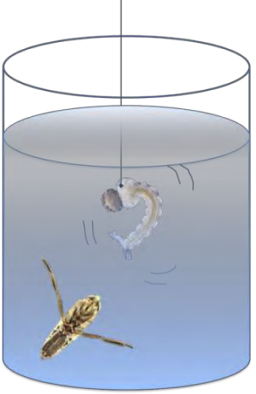

(四)實驗四、仰泳椿捕食子子的模式分析

實驗四-1 仰泳椿捕食模式建立

- Step1 文獻探討分析前人提出的捕食模式，以視訊編輯軟體 (Corel VideoStudio 12) 進行影片的圖像輸出，再運用微距攝影機擷取麻醉、吸食의影像。
- Step2 以視訊編輯軟體 (Corel VideoStudio 12) 剪輯、分析實驗一、二所收集的捕食行為影片，初步觀察四部捕食影片後建立仰泳椿捕食模式。
- Step3 再運用「行為模式檢核表」統計其他七部影片，檢視比對仰泳椿捕食模式。

實驗四-2 仰泳椿「發現」子子的感知分析

根據 Murphey (1973)、Giller 與 McNeill (1981) (引自申屠萱, 1999) 等人研究，仰泳椿主要透過腹部末端之機械感覺毛偵測獵物本身所引發的水波震動來搜尋獵物所在位置，再輔以視覺作距離的精確研判。本實驗設計四種情境(如圖十二所示)以深入探討仰泳椿在「發現」階段如何感知子子，並進一步比較仰泳椿之不同饑餓度是否影響其感知子子後的捕食行為。

	情境一	情境二	情境三	情境四
	細線垂吊死亡孑孓	細線垂吊死亡孑孓 + 手擾動	細線垂吊活孑孓	活孑孓置於試管中
				
水擾動	-	+	+	-
視覺	+	+	+	+

圖十二、感知實驗情境設計

(五)實驗五、半野外實驗

野外實驗可評估仰泳椿實際應用於未來生物防治的可行性，然適逢梅雨季，野外蚊子族群大小、產卵地點、產卵數並無相關調查資料協助預測，再加上時間限制，故本實驗自野外採集大量孑孓，且為瞭解仰泳椿是否能存活於孑孓孳生的水中，而採用孑孓孳生處收集的水於戶外環境進行仰泳椿防治孑孓的半野外的防治測試，其步驟如下：

- Step1 準備五個測試桶(廚餘桶)，各加入一升由野外孑孓孳生處收集的水。
- Step2 實驗組與對照組 1 分別放入現撈四齡仰泳椿各三隻。
- Step3 實驗組與對照組 2 各加入固定數量的大量孑孓進行實驗，註二。
- Step4 以洗衣袋製作的紗網或紗窗網封蓋，並以長尾夾、橡皮筋固定。
- Step5 置於校園或居家曾有採集孑孓紀錄的地點，避免陽光直射或大雨沖刷。
- Step6 每隔 1~2 日觀察及記錄仰泳椿和孑孓存活數量(實驗組數值採三組平均)，持續觀察六天後，若尚有孑孓存活者則於數日後再紀錄其羽化率。



圖十三、半野外實驗設計

註二：孑孓數量是採集情況及齡期大小而作彈性變化，一、二齡孑孓數量較多，故加入 100 隻；三四齡孑孓不易一次採集龐大數量，故加入 50 隻。

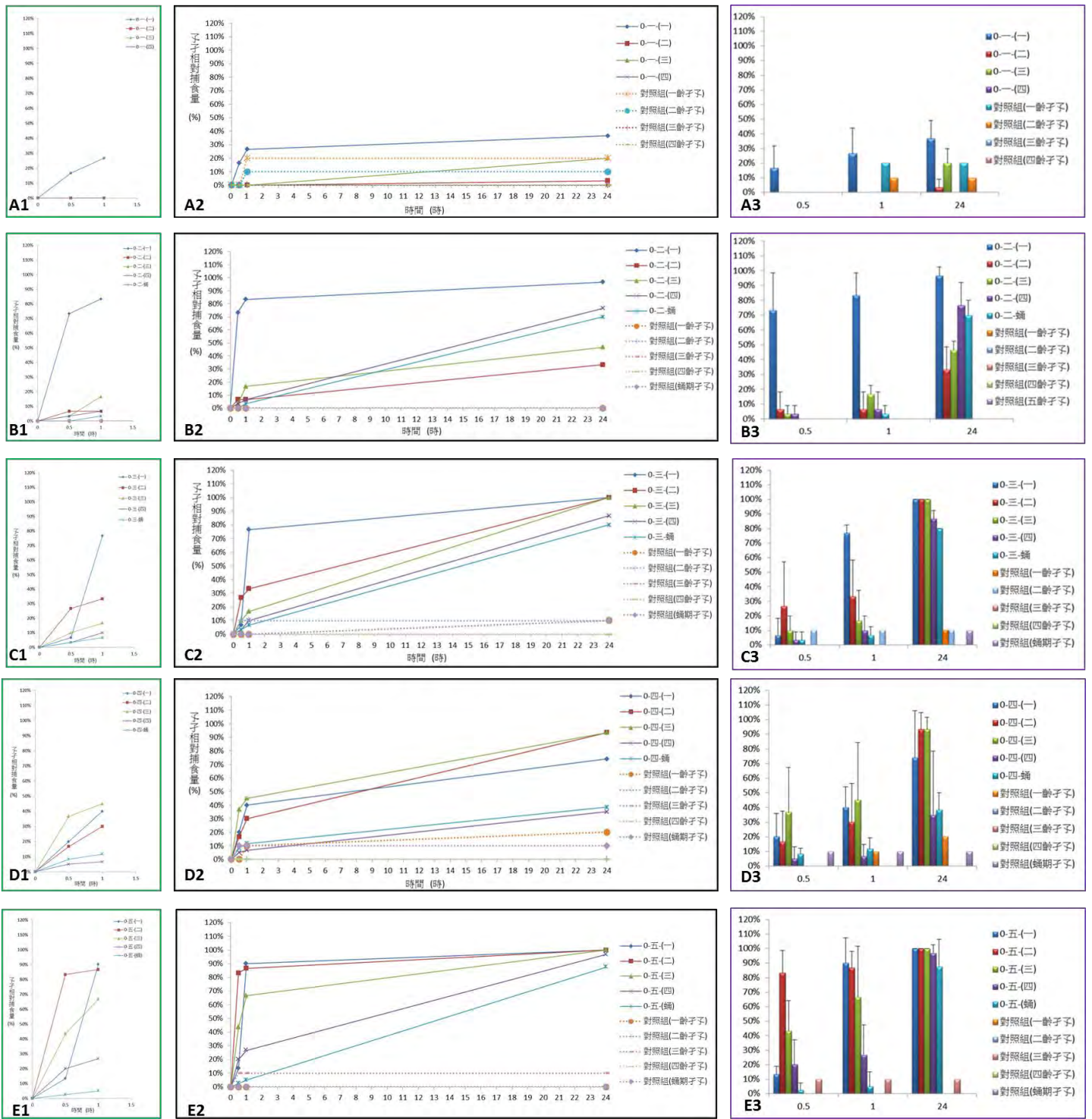
肆、研究結果

一、現撈各齡期仰泳椿(一齡至五齡)對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之捕食量多寡與捕食速率

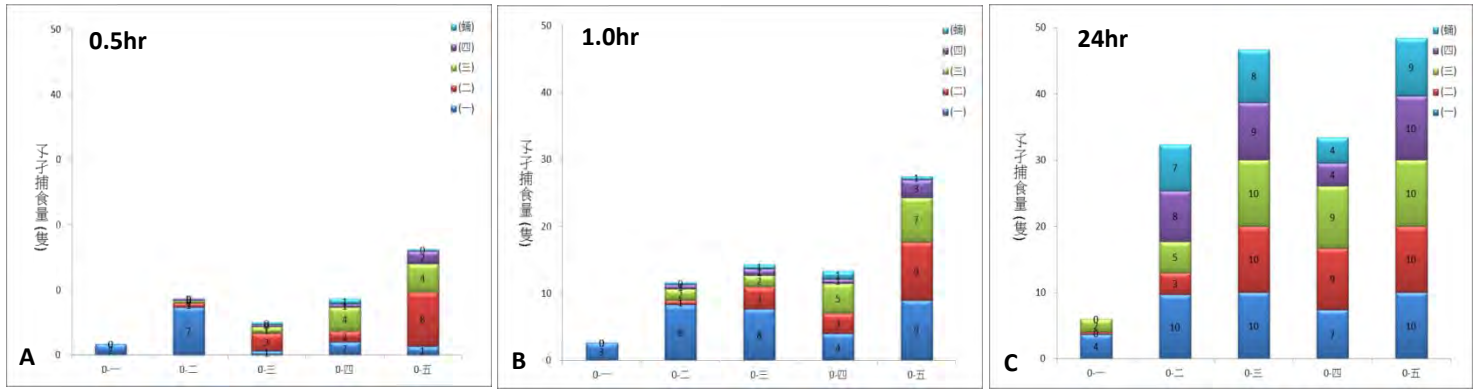
各齡期仰泳椿(一齡至五齡)對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之相對捕食量與捕食速率如圖十四 A~E 所示。低齡期(一齡與二齡)仰泳椿對一齡孑孓的相對捕食量均高於對其他齡期孑孓(如圖十四 A3~ B3),其 0.5 與 1 小時對一齡孑孓捕食速率亦高於其他齡期(如圖十四 A1~ B1),且二齡仰泳椿的捕食能力表現優於一齡仰泳椿,24 小時二齡仰泳椿對一齡孑孓的相對捕食量高達 90%,對其他齡期孑孓或蛹的捕食亦有緩慢增加(如圖十四 A2~ B2)。中高齡期(三齡、四齡與五齡)仰泳椿在 0.5 與 1 小時內對中低齡期孑孓(一齡、二齡與三齡孑孓)的捕食速率較高,五齡仰泳椿捕食四齡孑孓的速率亦高於三齡、四齡仰泳椿(如圖十四 C1~ E1),而 24 小時三齡與五齡仰泳椿對各齡期孑孓的相對捕食量均可達 70%以上,唯四齡仰泳椿對四齡孑孓與蛹的捕食量偏低,但中低齡期孑孓亦可達七成左右(如圖十四 C2~ E2、C3~ E3)。

各齡期仰泳椿對各齡期孑孓之絕對捕食量如圖十五 A~C 所示,除一齡仰泳椿的捕食總隻數偏低外,包括二齡仰泳椿與其他中高齡期仰泳椿於 24 小時對孑孓的捕食總量,均相當高(如圖十五 C),三齡與五齡仰泳椿捕食孑孓數甚至高達 48 與 49 隻。

由上述數據分析顯示仰泳椿確實會因齡期大小而有不同的捕食量及捕食速率,仰泳椿齡期愈高,捕食量、捕食速率均較低齡期,即一齡仰泳椿來得高。唯中高齡期仰泳椿之間似乎沒有太大差異。



圖十四、現撈各齡期仰泳椿對各齡期子子之相對捕食量與捕食速率。A1~ A3. 一齡仰泳椿對各齡期子子; B1~ B3. 二齡仰泳椿對各齡期子子; C1~ C3. 三齡仰泳椿對各齡期子子; D1~ D3. 四齡仰泳椿對各齡期子子; E1~ E3. 五齡仰泳椿對各齡期子子。

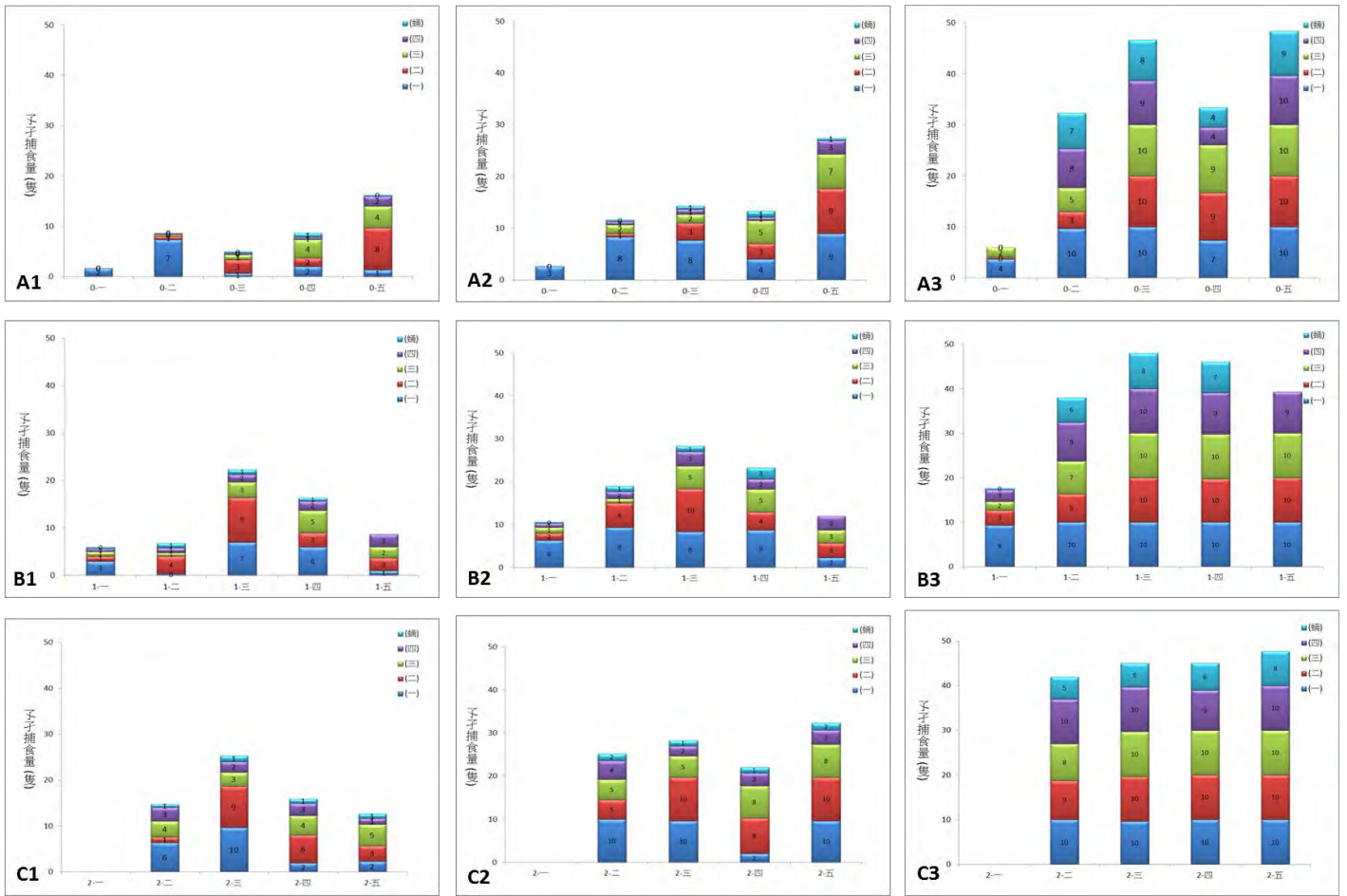


圖十五、各齡期仰泳椿對各齡期孑孓之絕對捕食量。A. 0.5 小時累計總捕食量；B. 1 小時累計總捕食量；C. 24 小時累計總捕食量。

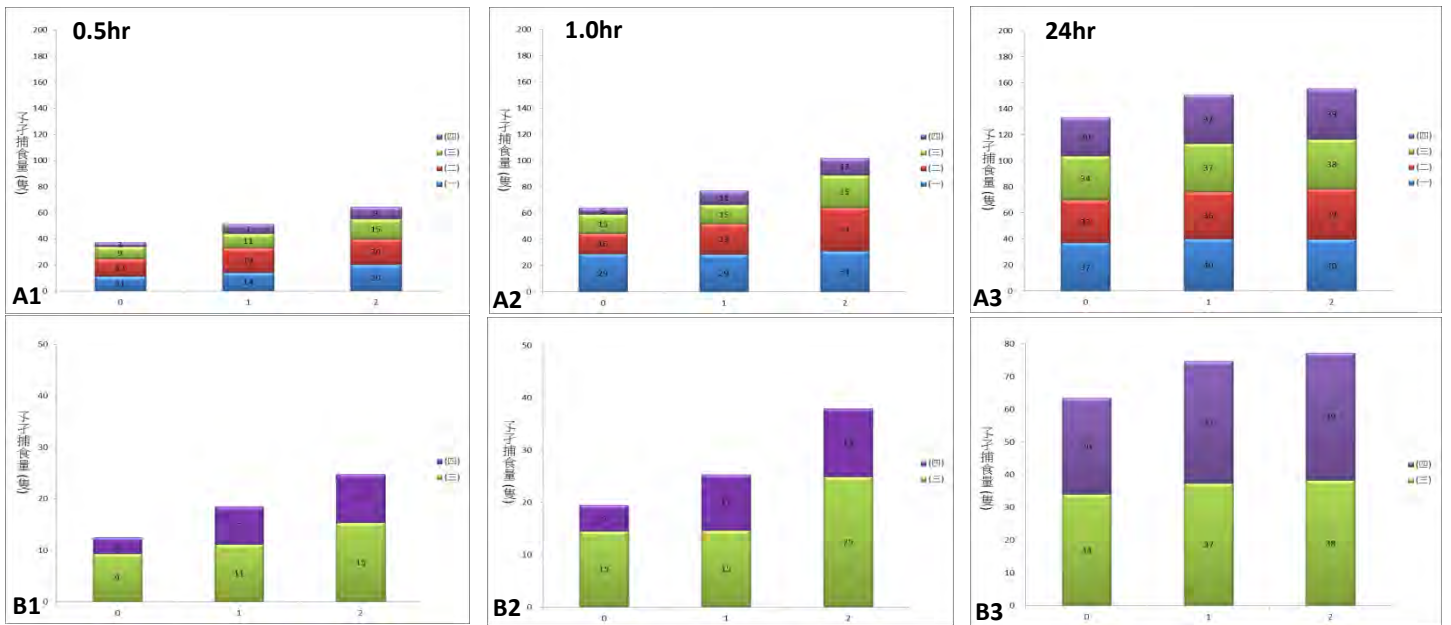
二、不同飢餓度(現撈:0、餓一天:1、餓二天:2)之各齡期仰泳椿(一齡至五齡) 對各齡期孑孓(一齡至四齡、蛹)之捕食量是否有差異

現撈二齡仰泳椿象捕食較高比例的一齡孑孓，然而饑餓一天的二齡仰泳椿則會開始捕食較高齡期的孑孓，而饑餓二天的二齡仰泳椿甚至捕食與其體型相當的四齡孑孓與蛹 (如圖十六 A1~C1、A2~C2)，；而特別的是三齡仰泳椿再經過饑餓的刺激下，其短時間(0.5 小時)的捕食量明顯提升，而略高於四齡與五齡仰泳椿，不過隨時間增加，則無太大的差異 (如圖十六 A1~C1、A3~C3)。而一齡仰泳椿經過饑餓的刺激，其捕食量均有明顯增加，然由於饑餓二天的一齡仰泳椿死亡率偏高，故無法順利進行實驗而缺乏更進一步的證據。而值得注意的是，經過 24 小時，二齡以上仰泳椿對各齡期孑孓的捕食量亦無顯著差異。

仰泳椿對各齡期孑孓之捕食總量會因不同飢餓度而有些許差異，以整體趨勢而言，仰泳椿飢餓度愈高，捕食量也愈大 (如圖十七 A1~A3)；此外，由於目前生物防治運用的劍水蚤受限於體型，只能捕食低齡期(1、2 齡)孑孓，而針對三齡與四齡孑孓的防治可能不足，而仰泳椿具備體型優勢，因此我們特別比較仰泳椿對三齡與四齡孑孓捕食量，數據分析顯示 (如圖十七 B1~B3)，在短時間內仰泳椿對三齡與四齡孑孓捕食量會隨飢餓度增加而增加，而經過 24 小時，捕食量則無顯著差異。



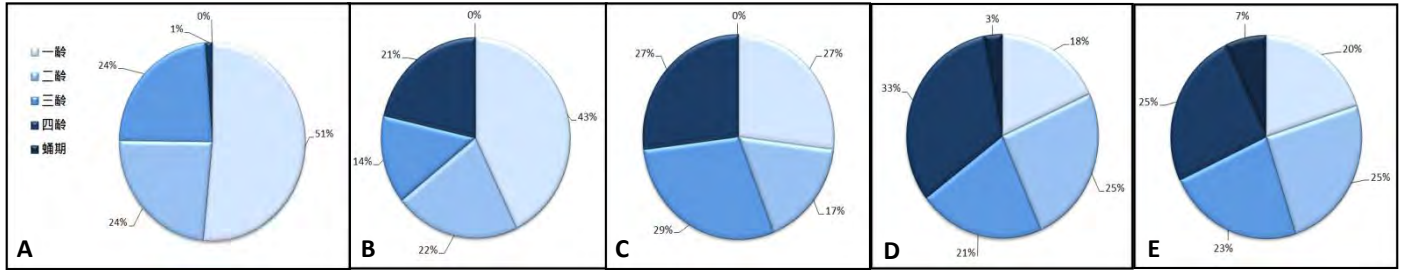
圖十六、不同飢餓度之各齡期仰泳椿對各齡期子子之捕食量。A1~ A3. 現撈(0)之各齡期仰泳椿；B1~ B3. 餓一天(1)之各齡期仰泳椿；C1~ C3. 餓二天(2)之各齡期仰泳椿。



圖十七、不同飢餓度之仰泳椿對各齡期子子之捕食總量。A1~ A3. 各齡期子子之捕食總量；B1~ B3. 三齡與四齡子子捕食總量。

三、仰泳椿本身的齡期大小、饑餓程度會影響其對不同齡期子子的捕食偏好

餓二天(2)之低齡期仰泳椿(一、二齡)偏好捕食低齡期子子(一、二齡)，如圖十八 A、B，占總捕食量的七至八成左右；而中、高齡期仰泳椿則偏好捕食三、四齡之高齡期子子，平均占總捕食量的五成以上，四、五齡之高齡期仰泳椿亦始有捕食蛹的現象，且捕食比例隨齡期愈高而增加 (如圖十八 C、D、E)。

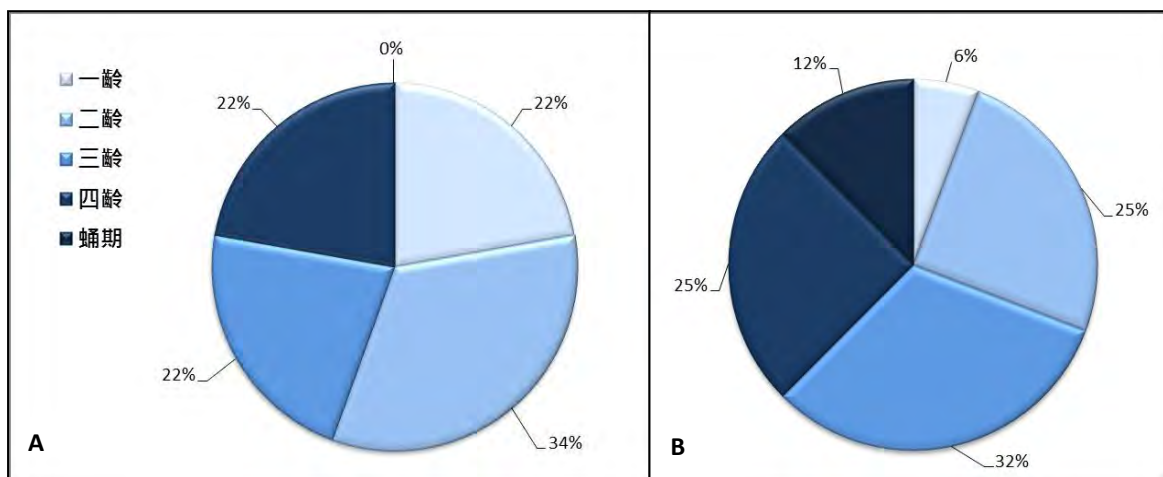


圖十八、飢餓度 2 之仰泳椿一至五齡捕食偏好圓餅圖。A. 餓二天(2)之一齡仰泳椿捕食偏好；B. 餓二天(2)之二齡仰泳椿捕食偏好；C. 餓二天(2)之三齡仰泳椿捕食偏好；D. 餓二天(2)之四齡仰泳椿捕食偏好；E. 餓二天(2)之五齡仰泳椿捕食偏好。

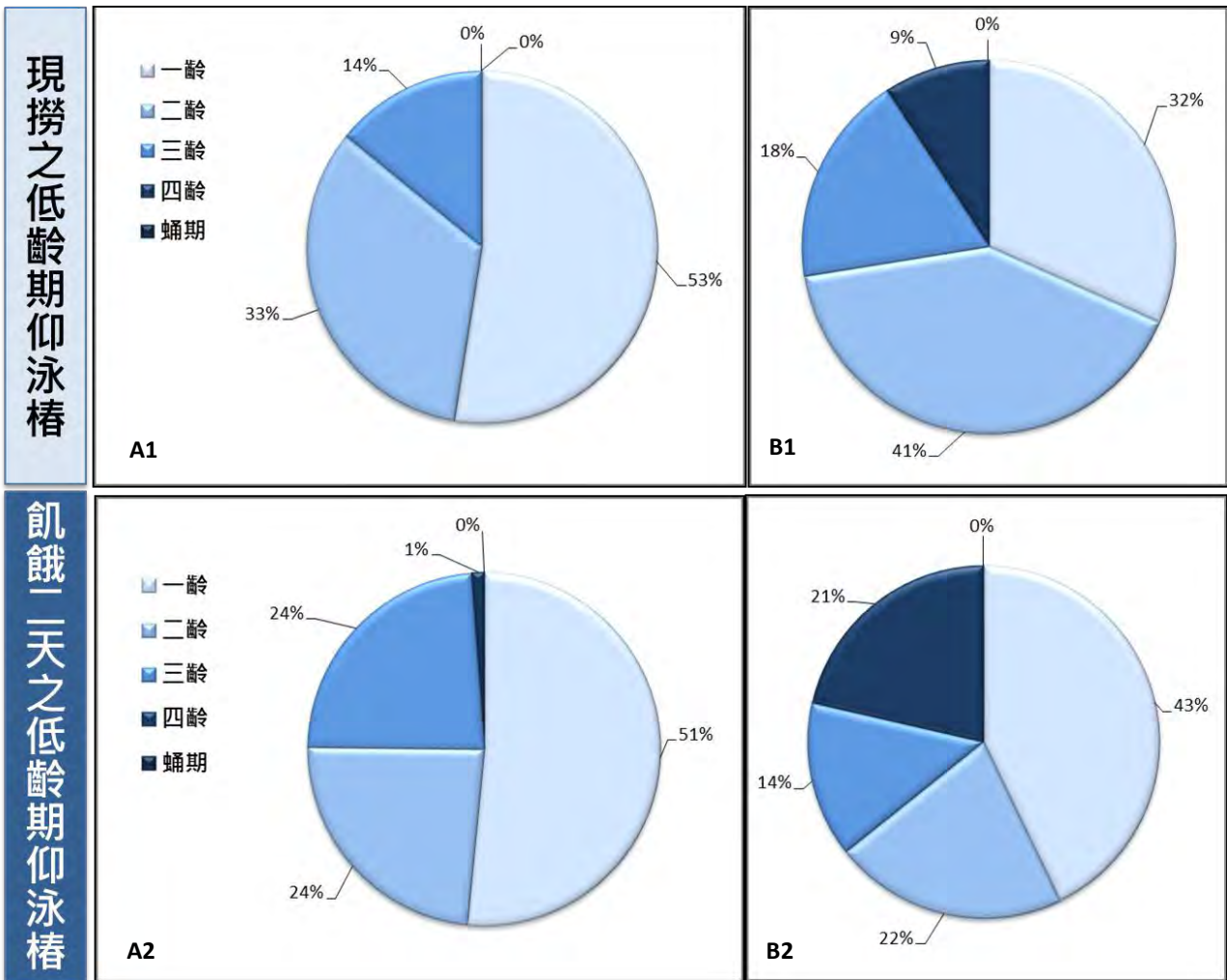
進一步分析仰泳椿每回捕食之第一隻子子(如圖十九 A、B)，發現低齡期仰泳椿仍是以捕捉一、二齡子子占較高比例(約 56%)，而高齡期仰泳椿則是傾向先捕捉三齡、四齡子子及蛹，高達總捕食量的七成左右。

比較現撈與饑餓二天之一、二齡仰泳椿捕食偏好發現，饑餓二天之一齡仰泳椿相對現撈仰泳椿有較高的三、四齡子子捕食比例，自 14% 提升至 25%(如圖二十 A1、A2)；二齡仰泳椿在饑餓二天後，捕食四齡子子比例自 9% 提升至 21%，亦有顯著增加 (如圖二十 B1、B2)。

綜合上述實驗結果顯示，仰泳椿本身的齡期大小、饑餓程度確實會影響其捕食子子的偏好，仰泳椿齡期愈高、饑餓程度愈高，其愈偏好捕捉高齡期子子。



圖十九、飢餓度 2 仰泳椿之第一隻子子捕抓偏好圓餅圖。A. 低齡期(一、二齡) 仰泳椿之第一隻子子捕抓偏好；B. 中高齡期(三、四齡、五齡) 仰泳椿之第一隻子子捕抓偏好。



圖二十、不同饑餓程度之低齡期仰泳椿捕食偏好圓餅圖。A1~A2.:一仰泳椿捕食偏好比例；B1~B2.二齡仰泳椿之捕食偏好比例。

四、仰泳椿捕食子子的模式建立與仰泳椿「發現」子子的感知分析

(一) 前人捕食模式分析

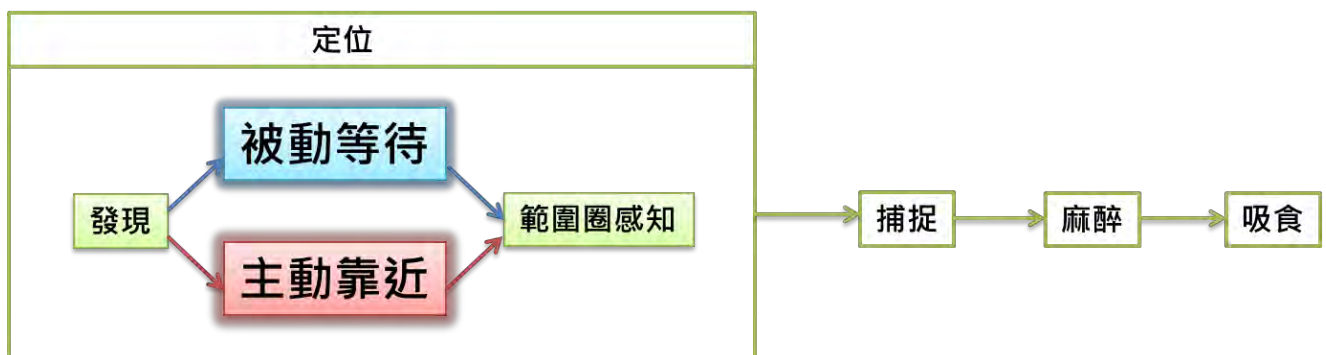
Ellis (1970) 等人觀察研究指出，當仰泳椿發現獵物時，其捕食行為可劃分為「定位→捕捉→麻醉→吸食」等四大步驟，因此我們透過攝影來即時記錄與明確定義仰泳椿捕食獵物的動作，以驗證前人提出的捕食模式 (如圖二十一)。而透過多次的影片分析比較，發現捕捉前的定位階段不甚明確且不同仰泳椿的定位行為似乎有所差異，因此針對此步驟進行更細緻的歸納分析。

步驟	定義	影像擷取	備註
定位	定位即為偵測獵物，仰泳椿以腹部尾端的機械感覺毛為主，複眼為輔，來偵測獵物的位置。當偵測到獵物時，似乎會慢慢地靠近獵物，並以複眼專心鎖定獵物。		影片分析時，此步驟較不易具體分辨。
捕捉	仰泳椿主要利用特化的前足與中足來捕捉獵物。 此捕捉動作相當迅速，前足與中足平時均縮在胸前，發動攻擊的瞬間才瞬間開展，與近身搏鬥的詠春拳有異曲同工之妙		若捕捉任務失敗，仰泳椿會以泳足(後足)先游離一小段距離，停留在一處，等待下一次攻擊機會。
麻醉	仰泳椿捉住獵物後，會立即以刺吸式口器刺入獵物體內，並注入麻醉液，降低獵物反抗的活動力。		—
吸食	獵物反抗的動作停止時，仰泳椿以口器吸食獵物的體液，待吸乾體液後，才放開此獵物剩餘的外殼。		—

圖二十一、前人捕食模式分析 (Ellis & Borden., 1970 : 引自 申屠萱, 1999)

(二) 仰泳椿捕食模式建立

承上述實驗，我們分析實驗一、二的捕食行為影片，觀察發現仰泳椿捕食獵物時具一定攻擊範圍圈，而根據仰泳椿於捕食前的行為差異，大致上可歸納出二種主要的捕食模式，第一種為仰泳椿「被動等待」獵物靠近再捕食，第二種為仰泳椿「主動靠近」獵物並捕食 (如圖二十二)。



圖二十二、仰泳椿捕食模式

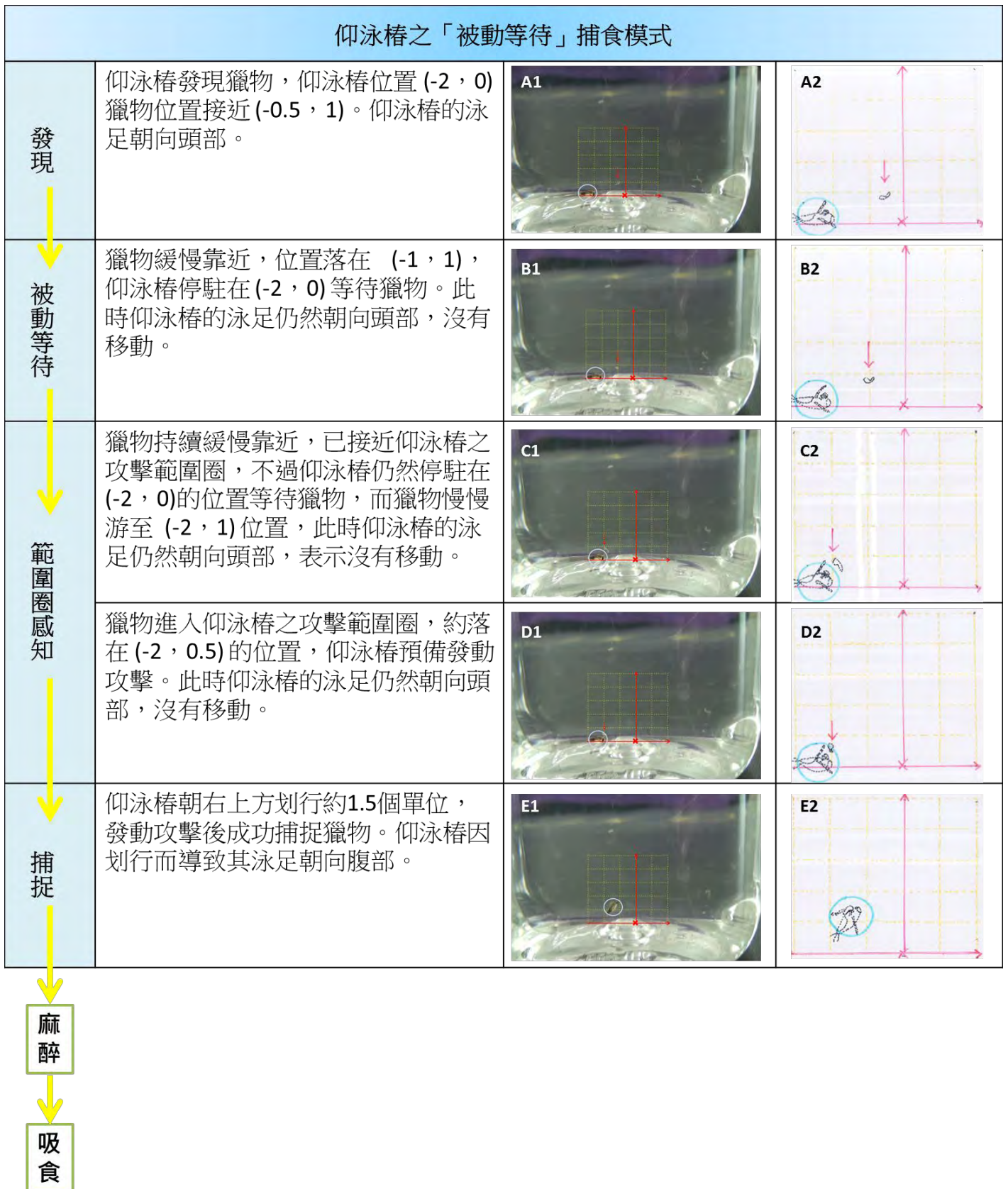
1. 攻擊範圍圈的定義

仰泳椿每次欲發動攻擊時，與獵物間都有一段距離，若獵物位置落在此距離外，仰泳椿則不會進行攻擊，但只要獵物與仰泳椿距離縮小，使獵物進入此攻擊範圍圈內，仰泳椿即會迅速發動攻擊，因此定義此距離為仰泳椿的攻擊範圍圈。

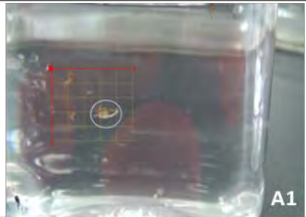
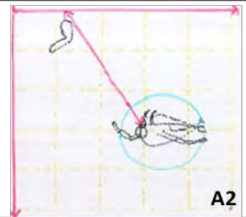
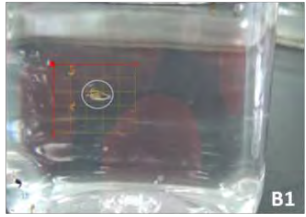
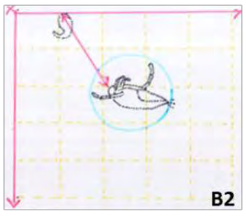
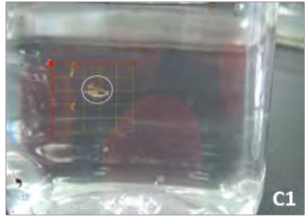
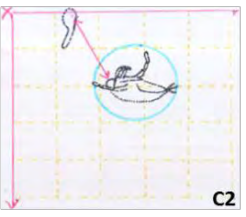
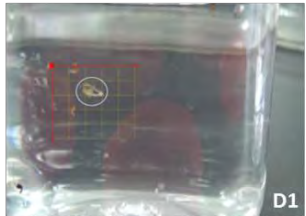
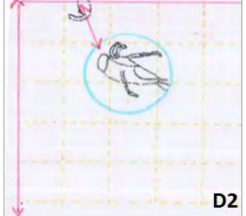
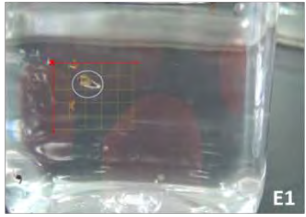

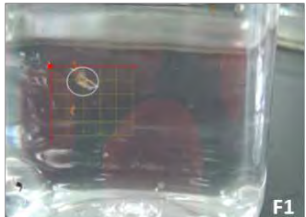
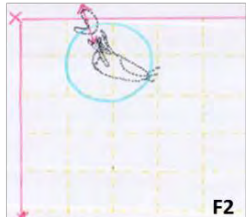
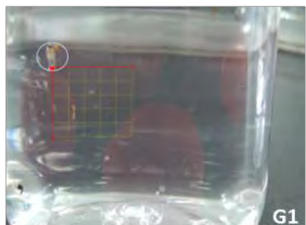

攻擊範圍圈的大小主要是以仰泳椿前足伸展後至腹部尾端距離之長作為直徑畫一個圓。若仰泳椿的攻擊範圍圈始自前足，只要仰泳椿一伸展前足準備攻擊，幾乎可以不用划動身體即能成功捕捉獵物，不過仰泳椿會在預備發動攻擊的瞬間，稍向前划行以提升捕捉的成功率。此外，由於體長隨齡期增加而遞增，故仰泳椿的攻擊範圍亦會隨齡期而變廣。

2. 二種仰泳椿捕食模式

- (1) 「被動等待」模式的假設步驟依序為「發現→被動等待→範圍圈感知→捕捉→麻醉→吸食」(如圖二十三)。當仰泳椿發現獵物時，會停駐在一處等待獵物慢慢游過來，大多數的仰泳椿會以頭部朝向緩慢接近的獵物，當仰泳椿感知到獵物進入其攻擊範圍圈時，如果獵物位於仰泳椿側面，仰泳椿亦會於發動攻擊瞬間轉向，以頭部對準獵物並展開前足、中足撲向獵物，待仰泳椿確實抓住獵物後，立即將頭部口器插入獵物體內，以注射麻醉獵物，等到獵物幾乎不掙扎時，仰泳椿則進行獵物體液的吸食。
- (2) 「主動靠近」模式的假設步驟依序為「發現→主動靠近→範圍圈感知→捕捉→麻醉→吸食」(如圖二十四)。此模式與「被動等待」模式最大的不同在於仰泳椿會自動去尋找獵物，亦即仰泳椿發現目標時，仰泳椿會緩慢靠近獵物，若獵物在此接近過程中移動，仰泳椿亦隨即朝向獵物方向移動，若獵物不動，則仰泳椿也相對處於不動狀態，通常僅會隨著水流慢慢飄向獵物，待獵物暴露自己的所在方位，推測其可能原因為仰泳椿仰賴機械感覺毛判別獵物方位，故需要等待獵物激起波動後方便於準確定位，但不論獵物是否移動，仰泳椿均會緩慢、主動地朝獵物靠近，一旦獵物進入仰泳椿的攻擊範圍圈，隨即進行捕捉。



圖二十三、仰泳椿之「被動等待」捕食模式。

仰泳椿之「主動靠近」捕食模式			
發現	仰泳椿發現獵物，仰泳椿位置 (3, -3) 獵物位置接近 (1, -0.5)。仰泳椿的泳足朝向頭部。	 A1	 A2
	此時仰泳椿略微划動泳足，緩慢靠近獵物，位置由 (3, -3) 接近 (2, -2)，而獵物接近 (1, 0)，位移不明顯。	 B1	 B2
主動靠近	獵物稍微移動，向上游至 (1, 0)，仰泳椿位置仍在 (2, -2)，且只是略微的划動泳足，並無太大動作表現。	 C1	 C2
	獵物持續向右些許移動至 (1.5, 0)，仰泳椿泳足向腹部尾端划動，位置來到 (2, -1.5)。	 D1	 D2
	獵物沒有再移動，位置仍為 (1.5, 0)，仰泳椿泳足亦不再划動，因相當接近獵物 (1.5, -1)，為避免獵物受驚嚇而改採緩慢移向獵物 (1.5, 0) 的策略。	 E1	 E2
	獵物已進入仰泳椿的攻擊範圍圈，此時仰泳椿的前足、中足以及泳足都向獵物方向伸展並發動攻擊	 F1	 F2
捕捉	仰泳椿成功捕捉獵物，位置順著攻擊方向而最終落在約 (0, 0)。此時仰泳椿之泳足亦順勢翻向背側朝頭部的位	 G1	 G2
麻醉			
吸食			

圖二十四、仰泳椿之「主動靠近」捕食模式。

(三) 仰泳椿捕食模式分析檢核

我們運用簡易的「行為模式檢核表」分析、統計其他七部捕食影片，以驗證上述建立的二種仰泳椿捕食模式，分析結果如表二。根據研究發現，仰泳椿的飢餓度會影響其捕食策略，自生態池中現撈仰泳椿(飢餓度 0)，傾向以「被動等待」模式來進行捕食子孓，「主動靠近」捕食模式則是仰泳椿飢餓時，如飢餓度 1、2，而普遍採取的策略


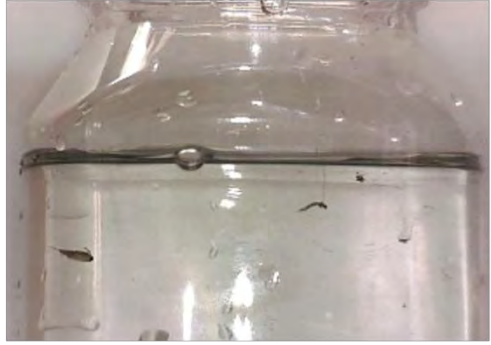






表二、仰泳椿捕食模檢核表

飢餓度-仰泳椿齡期	0-二	0-三	0-四	1-二	1-四	2-二	2-四
步驟							
Step1 發現	+	+	+	+	+	+	+
Step2	被動等待	+	+	+	-	-	-
	主動靠近	-	-	-	+	+	+
Step3 範圍圈感知	+	+	+	+	+	+	+
Step4 捕捉	+	+	+	+	+	+	+
Step5 麻醉	+	+	+	+	+	+	+
Step6 吸食	+	+	+	+	+	+	+

(四) 仰泳椿「發現」子孓的感知分析

仰泳椿「發現」子孓的感知分析結果如圖二十五、表三。現撈仰泳椿除情境一外，在情境二、情境三中均有靠近子孓的現象，顯示不論是人為手動或子孓本身泳動所造成的水擾動現象，仰泳椿都能透過機械感覺毛來感知獵物的位置，然而在情境四中，即使玻璃試管隔絕水擾動，仰泳椿仍然會靠近泳動中的子孓，顯示視覺在仰泳椿感知獵物的過程中亦扮演重要角色，並非只是輔助鎖定獵物位置而已，因此情境一的死子孓無法吸引仰泳椿的靠近，其原因可能不僅是無法感知水擾動，亦有可能是「看到」子孓不動而選擇不靠近。

由於飢餓程度似乎會影響仰泳椿採用「被動等待」或「主動靠近」的捕食模式，因此進一步比較不同飢餓程度的感知分析發現，不論是情境二手動的死子孓，或情境三的泳動的活子孓，同一隻仰泳椿在飢餓二天後，均會「立即靠近」子孓並「捕食」，顯示其對能量需求的迫切性，然而於情境四中，仰泳椿面對試管內泳動的活子孓卻沒有靠近的傾向，推測可能與其捕捉經驗有所關聯，在二天前的實驗中仰泳椿已經驗到子孓的外層有東西阻隔而導致靠近、捕食失敗，因此即便飢餓也不會靠近試管中的子孓。

	現撈之飢餓度0-四齡仰泳椿	飢餓度2-四齡仰泳椿
情境一 死孑孓(靜置)		
	仰泳椿均於測試瓶邊緣游動，並未靠近孑孓	
情境二 死孑孓(手擾動)		
	仰泳椿有靠近孑孓，並在孑孓附近游動	仰泳椿於孑孓附近游動，並捕捉孑孓
情境三 活孑孓		
	仰泳椿皆於孑孓附近游動	仰泳椿於孑孓附近游動，並捕捉孑孓
情境四 活孑孓置於試管中		
	仰泳椿皆於孑孓附近游動，並直接貼在試管壁上	仰泳椿並未靠近裝有孑孓的試管壁上

圖二十五、仰泳椿「發現」孑孓的感知分析。

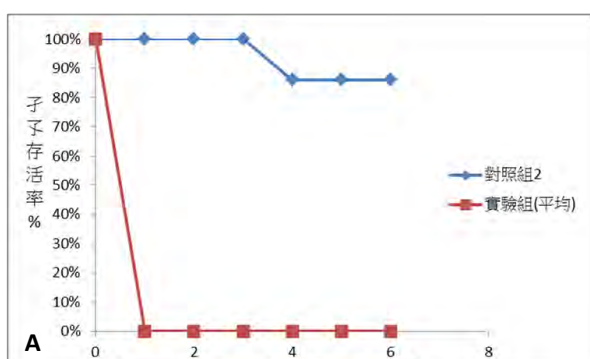
表三、仰泳椿「發現」子孓的感知分析檢核表

饑餓度-仰泳椿齡期-組別	0-四-1	0-四-2	0-四-3	2-四-1	2-四-2	2-四-3
情境組別						
情境一 死孑孓(靜置)	-	-	-	-	-	-
情境二 死孑孓(搖動)	+	+	+*	+*	+*	+*
情境三 活孑孓	+	+	+	+*	+*	+*
情境四 活孑孓置於試管中	++	+	+	-	-	-

+: 表示靠近，+愈多表示靠近程度愈高；-: 表示未靠近；*: 表示捕食。

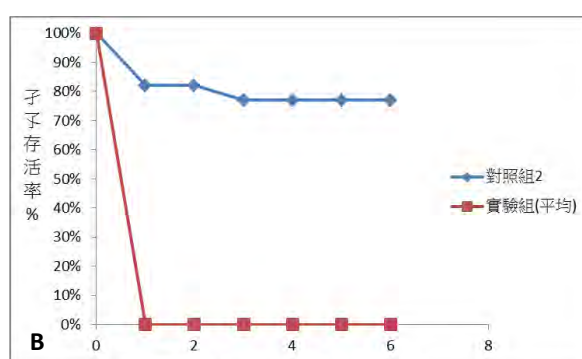
五、仰泳椿實際應用之可行性評估

本研究自五月底至六月中旬於校園(如圖二十六)、居家附近(如圖二十七)進行共七次的半野外實驗評估，其實驗結果顯示仰泳椿防治效果極佳，經過一天之孑孓存活率幾乎均為零，若扣除對照組的自然死亡率，其存活率也不高，而觀察六日之後，仰泳椿於靜置之孳生孑孓的水中亦有一定存活隻數，顯示仰泳椿於實際生物防治應用的可行性。



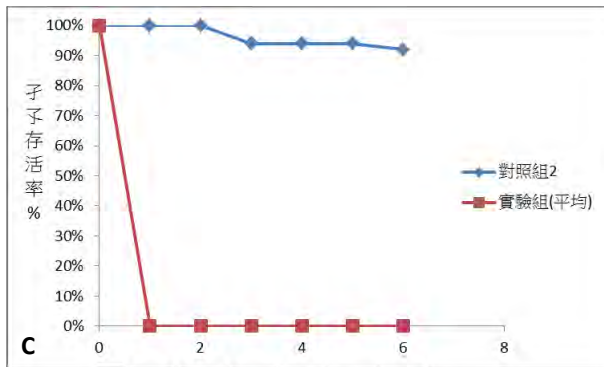
對照組1	3	2	2	2	2	2
實驗組 (avg.)	3	2	1.6	1.3	1	1

仰泳椿存活情況

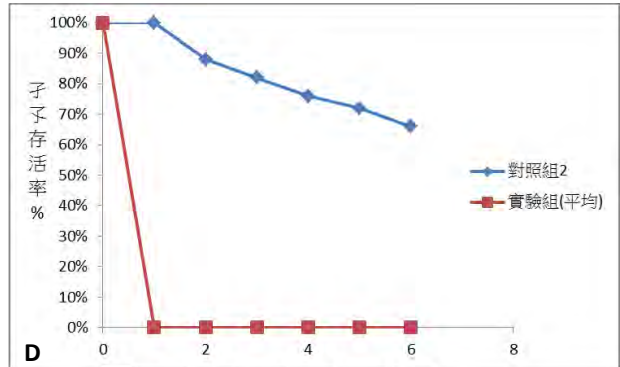


對照組1	3	3	2	2	2	1
實驗組 (avg.)	3	2.6	2.3	1.6	1.6	1.6

仰泳椿存活情況



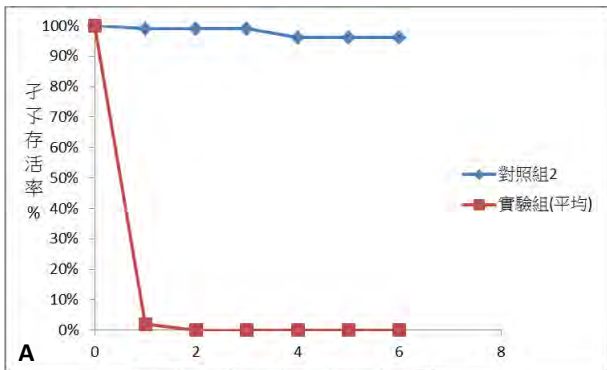
仰泳椿存活情況						
---------	--	--	--	--	--	--



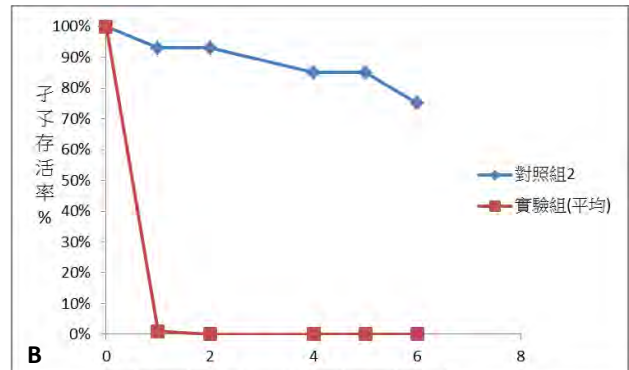
仰泳椿存活情況						
---------	--	--	--	--	--	--

註: 受限於子子數量, 實驗組僅二組

圖二十六、仰泳椿防治— 校園半野外評估。A~B.一齡斑蚊子子 100 隻；
C. 二齡斑蚊子子 100 隻；D.三、四齡家蚊子子 50 隻。

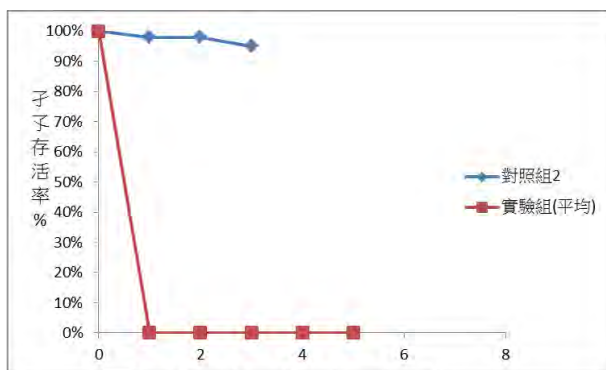


仰泳椿存活情況						
---------	--	--	--	--	--	--



仰泳椿存活情況						
---------	--	--	--	--	--	--

— 表示該日未計數



仰泳椿存活情況						
---------	--	--	--	--	--	--

註: 因放置位置為屋簷下, 第三日大雨過後均有滿溢現象, 一齡子子較小可通過紗網, 故無法再計算實際數量。

圖二十七、仰泳椿防治— 一齡斑蚊子子 100 隻於居家環境之半野外評估。
A.一號同學家 B.老師家；C. 二號同學家。

伍、討論

一、仰泳椿對孑孓捕食潛力之探討

目前在南臺灣地區完成的劍水蚤防治試驗，雖初步結果不錯，但劍水蚤的捕食能力仍受限於體型大小，一般劍水蚤成蟲體長平均 1~1.5mm 左右，與孵化一天之一齡斑蚊孑孓相當 (如圖二十八)，而二齡以上孑孓已大於其體型，但若考量劍水蚤採用集體攻擊策略防治，則必須同時衡量劍水蚤的施放密度 (蔡承晏，2011)；李旦(2010)研究臺灣小划椿的報告中亦顯示，受限於臺灣小划椿最大不超過 3mm 的體長，其 24 小時內雖對一、二齡孑孓有良好的捕食成效，然對高齡期孑孓之捕食率僅七成左右；而本研究發現之仰泳椿則具備大體型的優勢，二齡仰泳椿體長可達約 3 mm，對三齡以上之孑孓、甚至蛹，亦均有一定捕食量 (圖十四 B3)，三齡以上之仰泳椿對高齡期孑孓及蛹之捕食率幾乎可達九成以上。根據實驗一結果顯示，仰泳椿齡期愈高，其孑孓捕食量、捕食速率均較一齡仰泳椿來得高。不過，三齡以上之中高齡仰泳椿則無差異，且相較於劍水蚤與臺灣小划椿，本研究發現之仰泳椿即具有獨立攻擊能力，因此在防治上除一齡仰泳椿較不適宜外，二齡以上之仰泳椿均具有發展潛力。



圖二十八、一齡斑蚊孑孓、劍水蚤成蟲與一齡仰泳椿體型比較。

此外，饑餓度對於仰泳椿捕食能力有些許影響，在短時間，即 0.5 小時至 1 小時內，仰泳椿飢餓度愈高，捕食量也愈大，符合實驗假設二，但若以防治的長時間尺度來看，饑餓度似乎沒有影響，因此在施放仰泳椿來捕食孑孓時，使用現撈的仰泳椿即可達防治效果。不過由實驗結果顯示 24 小時之捕食量普遍接近最大值 50 隻 (圖十六、十七)，因此，在長時間尺度下饑餓度影響不顯著的結果，亦有可能是源自孑孓量供應不足的研究限制，而由實驗四捕食行為、實驗五半野外試驗發現其饑餓程度影響不顯著之原因為後者的可能性頗高。

二、仰泳椿對孑孓捕食行為能驗證最適取食理論(Optimal foraging theory)

根據最適取食理論(Optimal foraging theory)，生態學者指出一般動物會透過提高「能量攝取速率」之最大化的方式來選擇食物，影響「能量攝取速率」因素主要有三，其一為獵物的豐富度；其二則為掠食者花費於尋找獵物所付出的成本或能量，一般以掠食者遇見獵物的遭遇速率來評估，並與掠食者體型、獵物大小、獵物密度成正相關；第三個因子為掠食者處理獵物的時間。

本實驗三之捕食偏好結果顯示，低齡期仰泳椿(一、二齡)偏好捕食低齡期孑孓(一、二齡)，而同為饑餓二天之中、高齡期仰泳椿則傾向捕食高齡期孑孓、甚至蛹。由於中、高齡期仰泳椿體型較大，因此相較低齡期仰泳椿而有較高的遭遇速率，若以捕捉相同的四齡孑孓而言，中、高齡期仰泳椿所付出的成本或能量均較低，因而能提升其「能量攝取速率」。此外，獵物體型愈大其遭遇速率亦愈大，因此對高齡期仰泳椿來說，捕捉三、四齡孑孓較一、二齡孑孓消耗更少的能量成本。再加上低齡期仰泳椿需要花費更長的時間處理較大的孑孓而提高能量成本，因此偏好捕食低齡期孑孓。而在高齡期仰泳椿捕食偏好中，蛹所占的比例雖然隨仰泳椿齡期增加而上升，但相對其他齡期孑孓仍較少，其可能原因除蛹本身泳動性低外，可能與仰泳椿處理革質化的蛹花費較多處理時間而增加所耗費的能量成本有極大的關聯。

而且根據實驗四的影片分析，發現饑餓度會影響其捕食策略，現撈饑餓度 0 的仰泳椿，以「被動等待」模式來進行捕食孑孓，而在簡易水族箱中饑餓一天與二天的仰泳椿可能因為對養分需求較為迫切，而傾向採用「主動靠近」捕食模式來捕捉高齡孑孓，而饑餓程度確實會影響其捕食孑孓的偏好 (如圖二十 B1、B2)，相較於現撈仰泳椿，饑餓二天之低齡期仰泳椿對能量需求較為迫切，因此會更傾向採用提高「能量攝取速率」之最大化的方式來選擇食物，二齡仰泳椿為例，捕食四齡孑孓較三齡孑孓有較高遭遇速率，因而對饑餓二天之仰泳椿而言，選擇捕食四齡孑孓能降低尋找獵物所付出的成本而將「能量攝取速率」提升至最大化。然而感知獵物的試驗中發現，現撈仰泳椿仍會主動靠近手擺動死孑孓、或泳動及試管內活孑孓，不過其靠近的時間均較長，因此推測在「被動等待」時若發現孑孓遲遲不靠近，仰泳椿亦會轉為主動靠近的策略。此外，先前的捕食經驗亦會影響其捕食策略，饑餓二天之四齡仰泳椿雖然饑餓，但不會靠近試管中蠕動的孑孓，以降低無謂的能量耗費。

綜合實驗一至實驗四的研究結果，若採用饑餓程度較高之仰泳椿是否對捕食孑孓有更好的防治能力，值得再深入探討。

三、仰泳椿之生物防治具高度發展潛能

成功的蚊蟲生物防治的應用取決於目標蚊種的生態與生物防治物的生態差異與生物防治物的適應性 (Lacey, 1994，引自李旦, 2010)。在校園生態池中很少發現孑孓，而採集孑孓的地點亦很少有仰泳椿的蹤跡，顯示這二類生物之生態習性可能有顯著差異而導致棲地不重疊，然而，根據初步半野外試驗結果發現，仰泳椿於孳生孑孓的水中仍具有高度的捕食成效，若扣除對照組 2 的孑孓自然死亡率，一天之內仍有八至九成的捕食能力，雖然六天中有些許仰泳椿死亡，不過其死亡原因可能為個體差異或饑餓所致，整體而言仰泳椿對於孳生孑孓的水適應良好。此外，於太保市的一處採集地亦同時發現孑孓與仰泳椿的蹤跡，如圖二十九，有仰泳椿的容器中僅採集到數隻孑孓，而不遠處無仰泳椿分佈的容器中孑孓數量相對較多，顯示其實際應用的潛力，然而孳生孑孓的環境廣泛，斑蚊主要孳生於水質相對乾淨的器皿中，家蚊則喜好含有機質較多的人工容器中，由於本實驗所使用的孳生孑孓水樣來源不同，而仰泳椿於不同水質之生存能力是否有差異？尚需更進一步的實驗探討。



圖二十九、野外採集地點發現仰泳椿。

四、研究限制與未來展望

本研究因無法於實驗室中繁殖孑孓，故實驗材料均於野外採集，然而因去年夏末登革熱病例增加，因此各縣市鄉鎮的防疫工作全面開展，造成孑孓與蛹的採集來源不足，進而導致部分數據缺乏，如一齡仰泳椿捕食蛹，不過根據實驗結果顯示一齡仰泳椿不捕食四齡孑孓，於 24 小時後對二齡孑孓以上捕食量也很低（圖十四 B3；圖十五 C），推測其對蛹的捕食可能性亦不高，因此對實驗結果不會造成太大影響；而饑餓一天之五齡仰泳椿也因為蛹的來源不足而無法進行試驗（圖十六 B1~B3），因此扣除蛹的捕食量，來探討不同飢餓度之仰泳椿對各齡期孑孓之捕食總量的差異（圖十七），希望能藉此降低實驗誤差。本研究的另一個研究限制為採集自野外的孑孓並非同種，觀察其成蟲才瞭解採集的孑孓包含許多種類，如埃及斑蚊、白線斑蚊，與家蚊等，因此可能造成孑孓齡期判別不甚精確而影響實驗結果的推論。

於校園進行的半野外實驗能緊密結合生物與生物間的交互作用的課程單元，並透過教育來宣導病媒蚊防治的重要性，此外亦可徵求自願者，將半野外實驗擴及至居家環境附近。未來尚需透過試驗評估仰泳椿施放對生態系之影響，故擬於嘉義縣部分區域設置誘蚊產卵器，來進一步透過實際的野外防治觀察，瞭解以小仰泳椿防治孑孓之實施的可行性。

陸、結論

本研究顯示仰泳椿齡期大小會影響其對孑孓的捕食量及捕食速率，高齡仰泳椿之捕食量、捕食速率高於一齡仰泳椿，而三齡以上之仰泳椿則無太大差異。仰泳椿本身的齡期大小會影響其對不同齡期孑孓的捕食偏好，仰泳椿齡期愈高、愈偏好捕捉高齡期孑孓。饑餓程度亦對捕食能力、捕食偏好有所影響，而採取的捕食模式也所差異，饑餓程度大之仰泳椿會因養分需求迫切而偏好採取「主動靠近」捕食模式來捕捉較高齡期的孑孓，符合最適取食理論(Optimal foraging theory)的假設，而視覺於此「主動靠近」的歷程中與其機械感覺毛同為重要的感知構造。綜合上述實驗結果與初步半野外試驗研判，三齡以上之中高齡仰泳椿對南臺灣部分地區之孑孓防治具高度發展潛力。

柒、參考文獻

- 申屠萱 (1999)。中華大仰泳椿生活史及捕食量之探討 (未出版之碩士論文)。國立中興大學，台中市。
- 李旦 (2010)。粵東地區蚊蟲及其天敵臺灣小划椿研究 (未出版之碩士論文)。汕頭大學，中國，廣東省。
- 金恆鏞 (譯) (2002)。生態學：概念與應用 (第二版) (原作者：Manuel C. Molles)。台北市：美商麥格羅·希爾國際出版有限公司。
- 徐爾烈 (1996)。登革熱病媒蚊對合成除蟲菊酯抗藥性之研究 (II) (行政院衛生署科技研究發展計畫期末報告編號：DOH85-TD??-029)。台北市：行政院衛生署。
- 陳淑佩 (1994)。台灣仰泳椿總科之分類 (未出版之碩士論文)。國立臺灣大學，台北市。
- 楊嘉慧、蔡坤憲 (2012)。科學 Easy Learn: 最易傳播登革病毒的溫度：25~32°C。台北市，遠流出版公司。
- 葉擇奇 (2009)。登革熱病媒蚊抗藥性之研究 (未出版之碩士論文)。臺北市立教育大學，台北市。
- 蔡承晏 (2011)。臺灣的淡水橈足類生物防治病媒蚊之評估 (未出版之碩士論文)。國立臺灣大學，台北市。
- 涂可欣 (譯) (2011)。智取登革熱 (原作者：Rebecca Coffey)。科學人，111。
- 林雅玲 (譯) (2012)。死亡交配根除登革熱 (原作者：Bijal P. Trivedi)。科學人，124。
- GAGA 昆蟲網。最近瀏覽日期，2013/4/9，取自 <http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>

【評語】 030307

本作品針對小仰泳椿捕食孑孓的生物防治潛力進行探討並確定小仰泳椿能捕食孑孓，因此具有實際應用的潛力，然而作者並未對小仰泳椿在生態系中的存活條件及環境適應情形進行分析，故無法確立實用的可行性。此外，可能也要注意大量繁殖該生物以進行孑孓防治時，是否也會對生態造成意外的衝擊。