中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生物科

第二名

030306

水螳螂密碼

－長翅水螳螂型態、習性與捕食行為之探討

學校名稱：嘉義市立嘉義國民中學

作者：	指導老師：
國二 彭琪涵	柯博議
國二 余沂錡	李宗來

關鍵詞：長翅水螳螂、形態特徵與習性、捕食行為

水螳螂密碼—長翅水螳螂形態、習性與捕食行為之探討

摘要：

長翅水螳螂生活史包括卵、若蟲與成蟲期，卵與若蟲期日數約為 49.49±4.21 天，若蟲齡期越大，日數越長，一齡蟲死亡率高。成蟲壽命 9 個月以上。捕捉足與口器隨齡期越大佔體長比例變小且成長速率小於體長，呼吸管則相反。齡期越大棲息深度越深，成蟲較淺水域捕食與搜尋的能力降低。成蟲依水中振動搜尋獵物易向頻率較高的振動。近獵物採坐等姿勢輔以視覺捕食。食餌密度越高捕食量越大，搜尋成功機率越大，處理時間越短。攻擊熱區為複眼前方約 10.5±1.6mm，垂直面角度從複眼上方約 151.20±12.38 度至複眼下方約 9.55±11.28 度；複眼兩側攻擊角度約為 89.67±16.59 度，出手捕捉獵物時間約須 0.3 秒。

壹、 研究動機：

忙裡偷閒的到舅舅鄉下家附近騎腳踏車輕鬆一下自己的心情，正好看見有人剛好將水池中捕魚長形籠網收起，一時興起的跑去看看到的抓到了水中的什麼魚，在許多的魚蝦中無意中發現了一隻好像竹節蟲的昆蟲，但心想竹節蟲不是應該陸生嗎？回家後著實花了一些時間，終於得到了解答，原來牠是一隻在田野間因棲地破壞與農藥的使用下已不再常見的水生椿象—水螳螂。這樣的際遇引起了我想了解與探索牠的濃厚興趣！

貳、 研究目的：

一、長翅水螳螂的採集

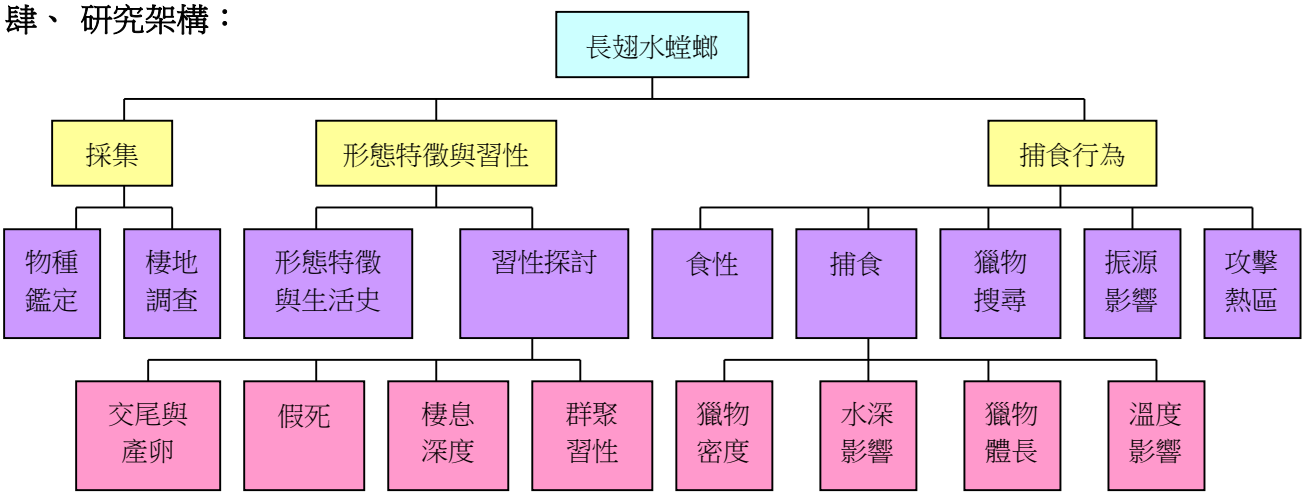
二、長翅水螳螂形態特徵與習性的探討

三、長翅水螳螂捕食行為的探討

參、 研究設備及器材：

4 號昆蟲針	加溫棒與控溫器	粉紅色透明網袋	插花海綿	節拍器
解剖顯微鏡	電子游標卡尺	數位相機	數位攝影機	翻拍架
水族箱(22.5×14.5×13.5 cm、29×19×17 cm、36.5×21×21.5 cm)				鐵架
正方形透明塑膠盒(10×10×10 cm)		長方形綠色塑膠盒(35.5×30.5×9.5 cm)		
長方形透明壓克力盒(27×11.5×12 cm)		長方形透明塑膠盒(25.5×20.5×13 cm、21×13×13 cm)		
圓形透明玻璃管(直徑 3 cm、高 12.5 cm)		圓形透明塑膠盒(直徑 7.5 cm、高 4.5 cm與直徑 11.7 cm、高 7 cm)		

肆、 研究架構：



伍、 研究過程、方法、結果與討論：

一、長翅水螳螂的採集

(一)物種鑑定：

研究方法：翻閱文獻並搜尋網路水螳螂相關資料進行整理。

結果與討論：文獻上台灣的水螳螂共有五種，採集到的水螳螂是屬於螳蝎椿屬(Ranatra)，我們比對文獻與請教附近一具規模昆蟲館的研究人員後將我們所採集的水螳螂鑑定為長翅水螳螂，學名為*Ranatra longipes longipes* Stal。長翅水螳螂分類上屬於動物界，節肢動物門，昆蟲綱，半翅目，蝎椿科，螳蝎椿屬，長翅水螳螂種。這種水螳螂在日本、中國大陸與東南亞也都有分佈，在日本甚至已被列即將瀕危的生物。

(二)野外採集與棲地調查：

研究方法：文獻中得知水螳螂大多棲息淺水的池塘或靜水流域，我們針對生活周遭這些棲地環境進行採集與調查。採集分以下三種方式：

1. **目視法：**以目視的方法進行搜尋與採集。
2. **掃網法：**以魚網進行掃網採集。
3. **誘捕法：**先假設水螳螂以嗅覺進行獵物的追蹤，以蝦籠內放置數隻麥皮蟲進行誘捕。

結果：

1.三種方法皆可發現水螳螂

目視法發現水螳螂	掃網法發現水螳螂	誘捕法發現水螳螂

2.樣區採集：(○)代表發現蹤跡；(x)代表沒有發現蹤跡

(○)樣區一：魚池	(x)樣區二：生態池	(x)樣區三：蓮花池	(x)樣區四：魚池	(x)樣區五：魚池
(x)樣區六：睡蓮池	(x)樣區七：睡蓮池	(x)樣區八：睡蓮池	(○)樣區九：生態池	(x)樣區十：蓮花池

討論：

採集的樣區中有兩個樣區發現了長翅水螳螂的蹤跡，從樣區中帶回 22 隻作為實驗用。從文獻上以及鄉下務農長輩的口中，得知水螳螂在以往是相當常見的，但從我們的採集過程與結果發現水螳螂已不如以往那麼容易見到，相反的，像我們在樣區六、七、八、十卻發現大量的三星鬥魚、泰國鱧幼魚等外來優勢物種，讓我們感受到水螳螂在生存上不僅可能有著棲地破壞與農藥施用的壓力，可能還存在著外來物種的威脅。因此如這類的水棲昆蟲是需要我們投入更多的關注、了解與保育的。

二、長翅水螳螂的形態特徵與習性探討

(一)長翅水螳螂各蟲期的形態特徵與生活史

研究方法：

1.約四至五隻水螳螂放入 29 cm×19 cm×16.5 cm、35 cm×19.5 cm×21 cm不同的水族箱中進行飼育與觀察水螳螂的行為，進行打氣以維持水中足夠的溶氧量。以水蚤、孑孓及冷凍紅蟲進行餵食。

2.水族箱中佈置數塊插花海棉與水生植物供交尾後的雌蟲產卵。

3.將雌蟲產於海棉上的卵收集至 10×10×10 cm的正方形容器內並開始紀錄卵期、形態特徵。

4.孵化的一齡若蟲以直徑 7.5 cm、高 4.5 cm的透明布丁盒進行飼育(每個容器放入一隻若蟲)，四齡後改以直徑 11.7 cm、高 7 cm的透明布丁盒進行飼育，並記錄各齡期發育日數、形態特徵與行為。

收集當天的卵開始紀錄	一至三齡以小飼育盒飼育	四齡後以較大飼育盒飼育

5.解剖顯微鏡下測量各齡期蟲體體長、體寬、捕捉足長度、口器長度、呼吸管長度，比較各齡期蟲體捕捉足、呼吸管與口器長度佔體長比例的變化。參考相關文獻知道生物在不同的階段時期，不同的器官可能會有不同比例的成長速率。公式為$y=ax^b$ (I．S．Huxley＆G．Teissier所提)。y代表器官的大小，x為體長，a為常數，b為成長指數，其中b＞1代表器官較體長成長得快；b＝1代表器官與體長成長速率相同；b＜1代表器官成長速率小於體長。將公式兩邊取成以10為底數的對數使得公式成為一線性方程式 $\log y = \log a + b \log x$將線性方程式以excel進行迴歸直線分析找出b值。各齡期樣本15隻。

結果：

1.長翅水螳螂的各蟲期的形態與特徵

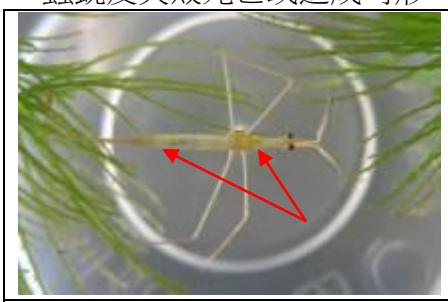
(1)卵與若蟲期：

蟲期	圖片	期間 (天)	長度 (mm)	寬度 (mm)	形態特徵
卵		6.92±0.81	2.08±0.20	0.70±0.09	卵白色呈長橢圓形，孵化前會變得較偏黃色，頂端具兩根鞭毛狀的呼吸角，長度約6.31±0.50mm。
一齡	 剛孵化個體淡褐色 一齡蟲不具翅芽	5.87±2.03	4.27±0.14	0.68±0.06	身體細長柔軟，呈淡褐色，複眼圓形，頭呈倒三角形，具刺吸式口器，無翅芽。前足特化成類似螳螂之捕捉足，中後足細長腹部尾端具呼吸管。
二齡	 剛蛻皮，呈淡黃色	6.27±1.661	6.44±0.33	0.84±0.10	剛蛻皮的二齡蟲呈淡黃色，約一天後慢慢轉成淡褐色。
三齡	 體色為淡褐色 箭頭處為翅芽	6.57±1.35	9.37±0.28	1.13±0.08	淡褐色。長出長度約至後胸位置的短小翅芽，透明不易觀察。

四齡	 體長已大於10mm 箭頭處為翅芽	8.19±1.54	13.32±0.55	1.34±0.13	前四齡蟲期形態上都相當相似，僅在體型大小與部份細部特徵(如翅芽有無及長度)上有所差異，翅芽長度約可至腹部第一節，但後翅翅芽可達腹部第二節前端。
五齡	 翅芽已可透過肉眼觀察 箭頭處為翅芽	15.54±2.31	18.55±0.80	1.88±0.17	中後胸部位的翅芽可以肉眼較明顯看出，但仍未長出完整的翅，翅芽長度明顯變長約可至腹部第二節。

蛻皮：根據我們的觀察，長翅水螳螂蛻皮的時間約須10分鐘左右。蛻皮過程如下圖：

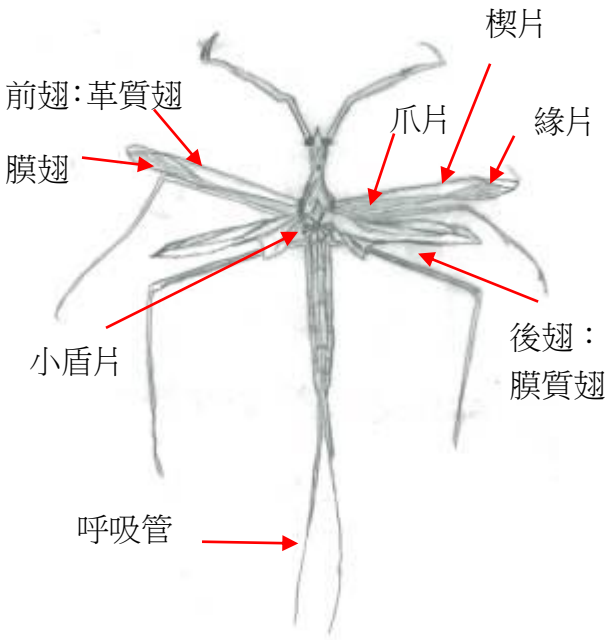
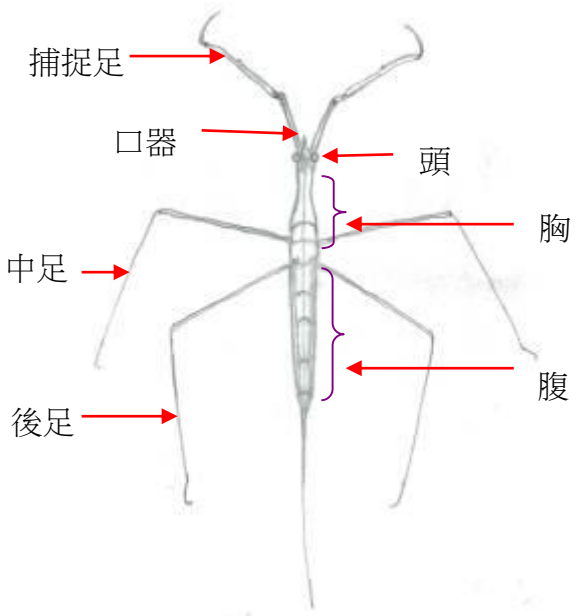
五齡蟲在蛻皮成成蟲前在翅芽與尾節部份會轉呈黃橘色，蛻皮時若受到干擾可能會使得若蟲蛻皮失敗死亡或造成畸形。

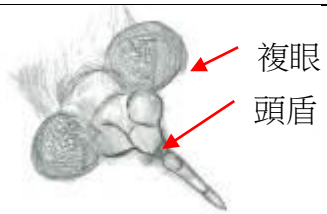
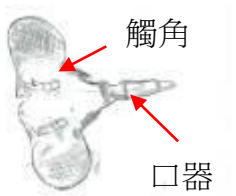
		
五齡蟲蛻皮前翅芽與尾節會轉成黃橘色(箭頭處)	受到干擾可能造成蛻皮失敗	受到干擾亦可能造成畸形構造(箭頭處形成了畸形翅)

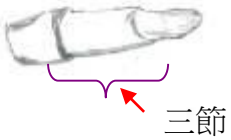
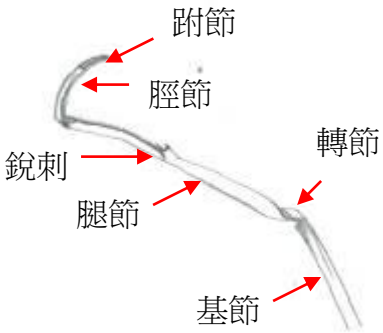
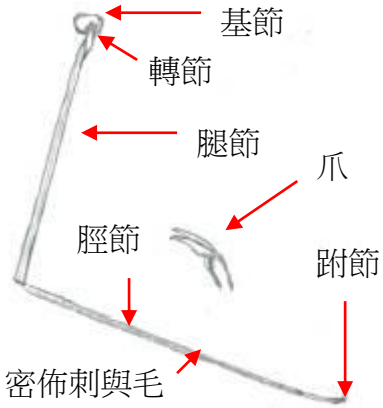
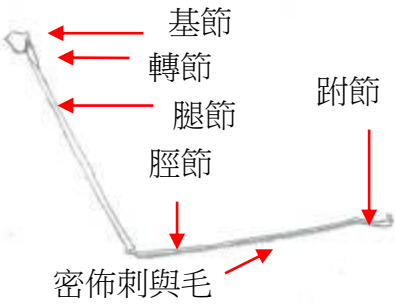
(2)成蟲期：剛蛻皮後的成蟲為具透明感的淡黃色，之後慢慢轉成淡褐色、黃褐色或為深褐色，雌、雄成蟲體長分別為23.58±0.81、21.47±0.43mm，雌、雄蟲體寬分別為2.33±0.10、2.01±0.12mm成蟲壽命可超過9個月。

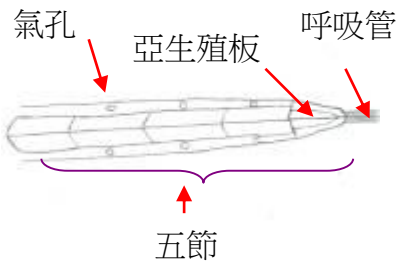
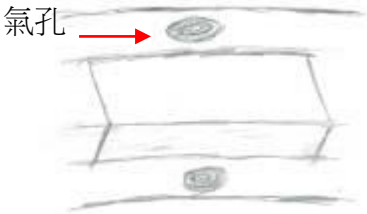
剛羽化時具透明感的淡黃色	慢慢轉為淺褐色、黃褐色。	部份個體轉成黑褐色。

成蟲型態特徵：各部位形態構造整理如下：

正面	腹面
	

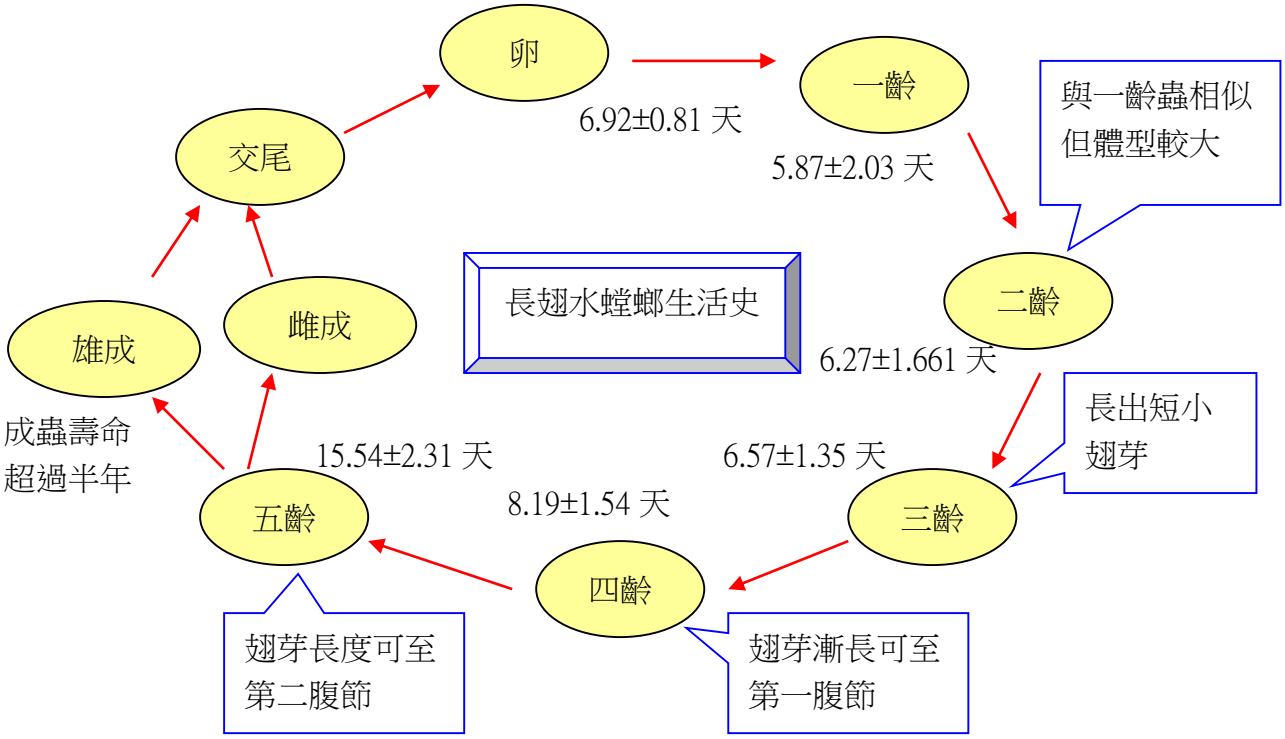
部位	形態與功能描述	照片	繪圖
頭部(背面)	頭部為三角形，具有一對圓球形複眼，由許多小眼構成，複眼上半部為黑色，下半部為紅色。不具單眼。		
頭部(腹面)	具刺吸式口器，一對觸角分別在複眼下方。		

觸角	觸角三節，最末節呈分叉形，具毛。		
口器	口器為刺吸式口器，共分為三節。		
前胸(前足)	(1) 前胸特別延伸。 (2) 前足特化為捕捉足，基節特別延長，展開可增加捕捉獵物的距離。腿節具槽，槽著生兩枚銳刺，利用脛節與腿節夾合以捕捉獵物。		
中胸(前翅、中足)	(1) 著生一對前翅，前半部為革質翅。後半部為膜質翅，解剖顯微鏡下可清楚見到翅脈。 (2) 中足細長，長約28.82±1.08mm，跗節末端具有兩爪，以利鉤住水草棲息於其間。腿節、脛節與跗節長有刺與毛。		
後胸(後翅、後足)	(1) 著生一對後翅，全為膜質翅。 (2) 後足細長，長約29.93±0.97mm，與中足形態相似但略長。		

腹部	(1) 腹部：腹面可見腹節有5節。腹面最後一節的亞生殖板處可辨識雄雌。 (2) 腹部側面具氣孔構造。 (3) 尾節末端尾毛特化成二根細長的呼吸管。		
氣孔	呈橢圓形網狀構造，離開水體時可藉由氣孔進行氣體交換。		
呼吸管	可伸出水面進行氣體交換，呼吸管上長有細毛，兩根呼吸管通常會合在一起。		

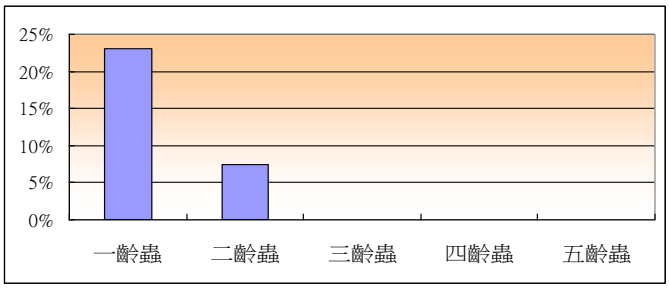
2.長翅水螳螂的生活史：

長翅水螳螂是整個生活史可以完全在水中完成的水棲昆蟲，與螳螂的形態相當相似，因而得名。身體與三對足都相當細長，與竹節蟲形態亦有所相似，因此英文名稱為water walking stick。生活史包括了卵、若蟲與成蟲三個時期，各蟲期在室溫下發育期間如生活史圖示，卵與若蟲發育期共需49.49±4.21天，若蟲齡期越大，發育時間越長。成蟲壽命則可超過9個月。生活史如下圖：



3.若蟲期在死亡率方面，結果如下：

項目 齡期	飼育隻數	死亡隻數	死亡率
一齡蟲	52	12	23.08%
二齡蟲	40	3	7.5%
三齡蟲	37	0	0%
四齡蟲	37	0	0%
五齡蟲	37	0	0%



若蟲期死亡率統計圖

討論：發現長翅水螳螂一齡蟲有著最高死亡率，二齡蟲之後死亡率漸降，三齡蟲後存活率皆可達 100%。

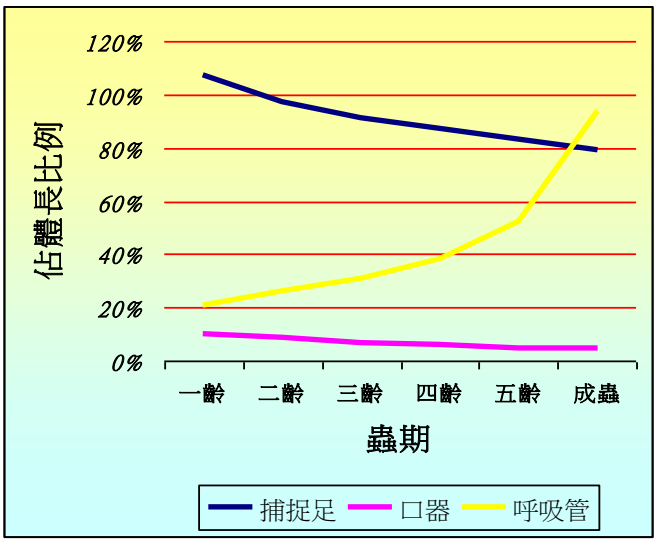
4.長翅水螳螂各齡期身體構造與體長比例及成長速率比較之探討

(1)各蟲期身體構造佔體長比例關係：分別將各蟲期 15 隻若蟲與成蟲的捕捉足、口器、呼吸管與體長測量結果如下

蟲期	體長(mm)	捕捉足(mm)	口器(mm)	呼吸管(mm)
一齡若蟲	4.27±0.14	4.58±0.19	0.44±0.06	0.97±0.08
二齡若蟲	6.44±0.33	6.22±0.31	0.57±0.06	1.60±0.09
三齡若蟲	9.37±0.28	8.51±0.41	0.63±0.05	2.63±0.16
四齡若蟲	13.32±0.55	11.61±0.52	0.81±0.06	4.44±0.26
五齡若蟲	18.55±0.80	15.47±0.62	0.98±0.07	8.07±0.37
成蟲	22.87±1.23	18.01±0.82	1.22±0.0.8	16.95±0.95

將各蟲期捕捉足、口器與呼吸管占體長的百分比整理如下表與右圖：

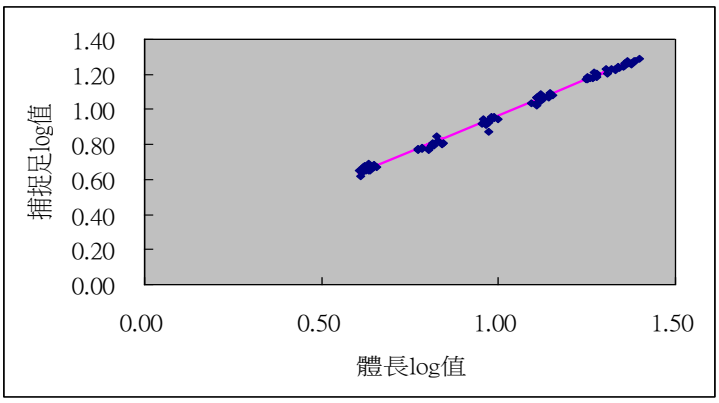
構造 蟲期	捕捉足	口器	呼吸管
一齡若蟲	107%	10%	21%
二齡若蟲	97%	9%	26%
三齡若蟲	91%	7%	31%
四齡若蟲	87%	6%	38%
五齡若蟲	83%	5%	52%
成蟲	79%	5%	94%



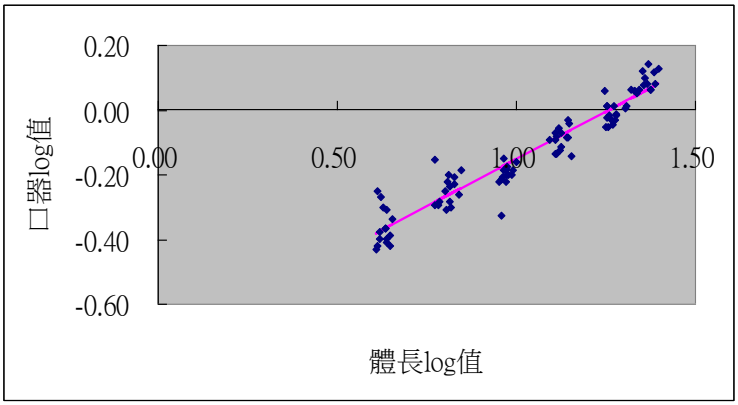
討論：發現捕捉足與口器隨著齡期的增加占身體的比例越來越小，呼吸管的比例則越來越大。

(2)不同構造與體長成長速率的比較：透過 excel 回歸分析獲得 b 值，探討這些構造與體長的成長速率的關係。

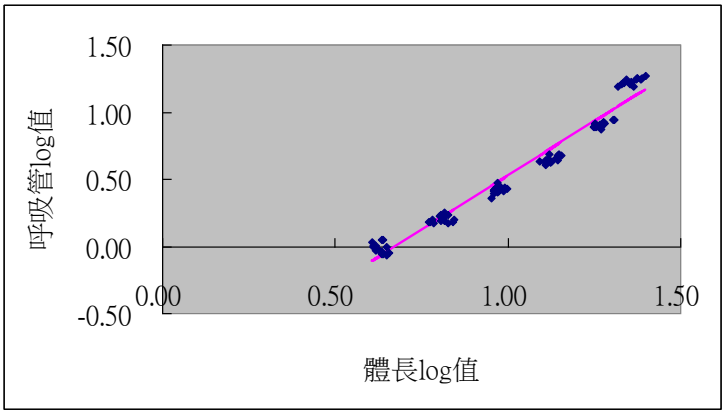
①捕捉足與體長成長速率關係：迴歸分析後，R^2=0.995，t=131.934，p<0.001，常數與係數代入公式後，公式為 log y=0.130+0.830log x，b=0.830<1，可知捕捉足的成長速率相對於體長成長速率是較慢的，分析圖如下：



②口器與體長成長速率關係：迴歸分析後，R^2=0.919，t=31.747，p<0.001，常數與係數代入公式後，公式為 log y= -0.738+0.585log x，b=0.585<1，可知口器的成長速率是小於體長的成長速率，分析圖如下：



③呼吸管與體長成長速率關係：迴歸分析後，R^2=0.965，t=48.943，p<0.001，常數與係數代入公式後，公式為 log y= -1.097+1.618log x，b>1，可知呼吸管的成長速率比體長的成長速率快。分析圖如下：



討論：如下表：

	成長速率與佔體長比例	**推測原因**
捕捉足	成長速率比體長慢，佔體長比例隨齡期越大比例越小	捕捉足與口器成長速率則是比體長慢。捕捉足在較小齡期時占整體身體較大比例與成長速率小於體長的原因，我們推測可能在於較小齡期若蟲活動與移動力較弱且耐飢力不足(飼育時發現一齡蟲若一至兩天未取食則容易死亡)，再加上可能因越小齡期死亡率越高(本研究發現一齡蟲死亡率最高為 23.08 %)或較容易受天敵攻擊等因素，因此推測較低齡期若蟲必須利用較長捕捉足盡快與提高機率取食靠近身邊的食物，盡快成長以提高自身的存活率。在齡期越大後，我們推測可能因活動力越強，耐飢力大，死亡率越來越低，相對來說捕捉足將不再需要佔那麼大的比例，因此在成長速率上比體長慢。
口器	成長速率比體長慢，佔體長比例隨齡期越大比例越小	而口器的變化(佔體長比例與成長速率小於體長)，可從水螳螂的取食來加以了解，水螳螂透過捕捉足捕食，然後再將獵物移近至刺吸式口器進行吸食，因此推測口器在比例上並不須隨著體長變長而同比例的成長，相同的，成長速度亦不須和體長成長速度一致甚至快於體長。
呼吸管	成長速率比體長快，佔體長比例隨齡期越大比例越大	呼吸管隨著齡期增加比例亦隨著增加且成長速率大於體長成長速率，這樣長期演化下的成長可能使得水螳螂在齡期越大時可往越深處水域棲息，齡期越大攻擊能力越大的情況下這樣的變化可能使得能捕捉的獵物體型更大、更多樣而提升能量的取得且更容易躲避水面上天敵的攻擊。而呼吸管變長後亦可能造成在較淺水域捕食與搜尋獵物的困難，但如此卻可避免世代重疊時同種間相互競爭的問題。本研究亦將對水螳螂各蟲期之棲息深度**(實驗二-(四))**與水深對於成蟲捕食與搜尋獵物之影響**(實驗三-(四)、(五))**進行實驗驗證。

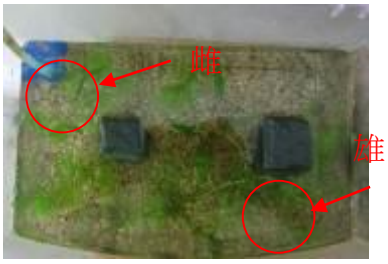
(二)長翅水螳螂的交尾與產卵

研究方法：

1.以解剖顯微鏡觀察雄雌的差異。

2.將一對長翅水螳螂放入水族箱(29×19×17 cm)中，並於交尾時觀察其行為與紀錄交尾時間。在各飼育箱內皆進行過交尾後(共二對)，將飼育箱內的雄蟲互換，進行交尾專一性的觀察。

3.將三對在圓形飼育盒內(直徑 11.7 cm、高 7 cm)交尾後的長翅水螳螂分別放入放有椒草、水蘊草、金魚草、異葉水蓑衣(水蘿蘭)、落葉的三個透明塑膠盒內，並於塑膠盒兩側放製插花海綿以模擬野外岸邊的土提，觀察並紀錄長翅水螳螂產卵的偏好。

		
放入雌雄蟲，觀察交尾行為。	擺入不同產卵介質供產卵。	共進行三組實驗

結果：

1.辨識長翅水螳螂的雄雌：雄雌可透過下圖兩種方式進行辨識：

雌蟲(左)體型較比雄蟲大(右)雌蟲體長 23.58±0.81mm＞雄蟲體長 21.47±0.43mm。平均值達顯著差異(t 值=-5.391，p<0.01)	雌蟲(左)腹面尾節產卵器透過解剖顯微鏡明顯可見，而雄蟲(右)亞生殖板如劍鞘般。	

2.長翅水螳螂交尾行為：結果如下圖：

雄上雌下的交尾姿勢：由雄蟲採取主動接進雌蟲，雄蟲會先以中後足跨著固定雌蟲，然後一前足勾住雌蟲前胸位置，另一前足則不停的向前方揮擊與勾動雌蟲捕捉足。	亞生殖板背板打開伸出交配器：若雌蟲未拒絕離開，雄蟲會慢慢將腹部伸往雌蟲腹部下方，然後打開亞生殖板的背板伸出交配器與雌蟲進行交尾。	雄蟲交配器：交尾期間雌雄蟲皆能持續取食。交尾時間可達 3 小時，間隔一日後即可產卵，可重複交尾且不具專一性，遇干擾時則可能會放棄交尾。

3.截至目前為止發現二隻雌水螳螂產了 13 個卵於插花海棉上。

討論：雄蟲交尾前前足在水中揮擊與勾動雌蟲的姿勢，我們認為可能是雄蟲的求偶行為。我們以羽化超過四個月的成蟲進行產卵偏好實驗，發現產卵狀況不如預期，推測我們實驗的階段並非產卵的高峰期。之前也觀察到水螳螂是會將卵產於水生植物的莖或葉柄上(如下圖)，因此我們認為長翅水螳螂應較偏好將卵產於野外水域岸邊的土堤。因我們的樣本數並不充足，因此這方面結果仍須更多的數據方能驗證。

產卵於椒草葉柄	產卵於中柳葉柄	產卵於水蘊草莖上

(三)假死行為：

研究方法：

1.選取 10 隻成蟲放入水量 300cc 的布丁盒內。將其腹面向上，使其呈現假死狀態，當身體開始活動持續 10 秒鐘以上或整個身體轉成背面向上時，視為假死狀態結束，紀錄時間。

2.以水中假死實驗的 10 隻成蟲，將其腹面向上放置在白色珍珠板上，使其呈現假死狀態。其他步驟如上。

3.比較水螳螂在水中與陸上環境假死行為持續時間長短的差異。

水中假死	陸上假死

結果：長翅水螳螂假死時身體會靜止不動有如死亡，其中陸上環境假死時捕捉足會向身體前方伸直，水中環境則較不明顯。結果如下：

編號	水中假死持續時間	陸上假死持續時間	編號	水中假死持續時間	陸上假死持續時間
1	510 秒	12905 秒	6	729 秒	3169 秒
2	375 秒	4449 秒	7	650 秒	4652 秒
3	492 秒	1174 秒	8	100 秒	9123 秒
4	1953 秒	5106 秒	9	80 秒	2445 秒
5	178 秒	4400 秒	10	88 秒	19217 秒
水中假死平均值＝515.50 秒，陸上假死平均值＝6664.00 秒，達顯著差異(t 值＝-3.473，P＜0.01)					

討論：由結果可知不論在水中的假死或陸上的假死的時間都有相當大差異，可能個體對干擾與威脅有不同程度反應，因此在假死的行為上有著相當大的個體差異。

陸上假死平均時間較水中假死持續時間來的長且達顯著差異，我們認為這是因陸上的環境對於水棲昆蟲水螳螂來說是較大的干擾與威脅。

(四)棲息深度實驗：

研究方法：

1.選取各齡期若蟲與成蟲 5 隻。

2.在 21×13×13 cm的長形水族箱內放入 19.5×11×1.3 cm的插花海綿形成斜坡並加入適當水量形成約 0 至 6 cm深淺不同的水深。

3.將同齡期若蟲或成蟲 5 隻分別放入 5 個實驗水族箱內。

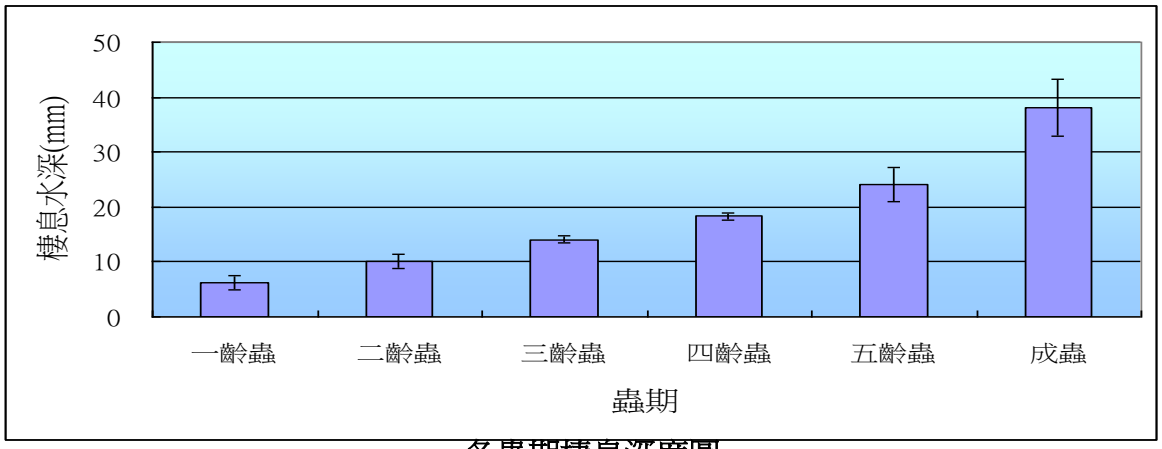
4.於 2、4、6、8、24 小時分別記錄水螳螂棲息水深。

實驗圖示如下頁：

成蟲棲息水深最深且呼吸管常沉入水中	同時放入 5 隻同齡期水螳螂進行實驗	先以空白紙張記錄水螳螂棲身深度	利用電子游標卡尺測量棲息深度

結果：

齡期	一齡蟲	二齡蟲	三齡蟲	四齡蟲	五齡蟲	成蟲
棲息水深(mm)	6.12±1.27	10.13±1.25	14.09±0.68	18.3±0.61	24.12±3.15	38.01±5.21
呼吸管沉水機率	4%	0%	0%	0%	8%	68%



各蟲期棲息深度圖

討論：由結果發現齡期越大棲息越深，可能與呼吸管隨著齡期增加佔體長比例增加及呼吸管成長速率較體長快有關。另外我們發現成蟲常將整個呼吸管沉入水中(機率為 68%)，沉入水中的時間往往超過 10 分鐘以上。而其他齡期的若蟲則較少發現，多為干擾所致，推測呼吸管佔身體比例較大的成蟲也因此有著更深、更廣的活動區域。

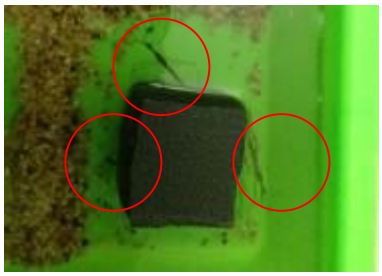
(五)群聚性實驗：

研究方法：

1.將 35.5×30.5×9.5 cm塑膠盒底部以細砂平均分成 6 個區域並裝入約八分滿的水量，每個區域內放入一個 3×3×9 cm插花海綿供其棲息。

2.每區域放入一隻長翅水螳螂成蟲。上午、中午與下午各記錄一次，持續一週。

3.群聚隻數以最多隻數作為該次記錄隻數，再計算平均值，若平均值≥3 隻，則視為具群聚性。

		
群聚實驗佈置	2 隻聚集。○處為水螳螂位置	3 隻聚集。○處為水螳螂位置

結果：

實驗溫度：17-21℃　( )內為另一棲息隻數或群聚隻數							
日期	103/1/6	103/1/7	103/1/8	103/1/9	103/1/10	103/1/11	103/1/12
上午 0800	1	2(1)	3(2)	2(1)	3(2)	3(2)	2(1)
中午 1200	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)	3(1)	2(1)
下午 1600	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)	3(1)	2(1)
群聚總隻數＝46 隻；平均值＝2.19 隻							

討論：

我們發現成蟲並不具群聚性。我們認為不具群聚性對於坐等型捕食的長翅水螳螂在獵物靠近時可避免同種間競爭發生。

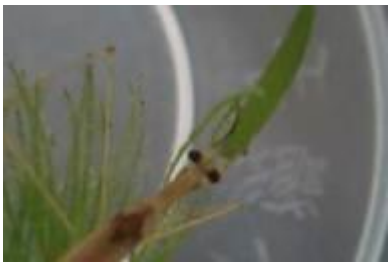
三、長翅水螳螂的捕食行為

(一)長翅水螳螂的食性：

研究方法：以不同的食餌進行餵食，隨時觀察水螳螂的取食並拍照紀錄。

結果：

取食小魚	取食蝌蚪	取食仰泳椿
取食水蚤	取食小蝦	取食孑孓蛹

食物缺乏下水螳螂若蟲也會成為食餌，若蟲期會互相殘殺。	取食冷凍紅蟲(靜止紅蟲並不會取食，須搖動後才會取食)	放置一天以上的死魚並未取食，但搖動後則會取食。
		
搖動的水蘊草、金魚草等植物亦會引起捕捉，當發現並無食餌的養份時，隨即將其丟棄。	取食孑孓，吸食食餌過程中仍會繼續捕食，最多能同時捕食三隻食餌。	吸食食餌時伸出管狀物分泌毒液與消化液後再進行吸食。(箭頭處為管狀物)

討論：長翅水螳螂為肉食性的水棲昆蟲，會捕食在水中活動的小型動物。死亡食餌除非受到外力或干擾造成如活物般移動，否則水螳螂並不會進行捕食，這部分本研究在**實驗三-(三)**有所證明。

(二)長翅水螳螂在不同食餌密度下的取食反應：

研究方法：

1. 選取羽化日期接近的雌成蟲四隻，以確保較一致的活動力。
2. 在底層鋪有約 1.5 cm細砂，植入一長約 11 cm金魚草，水量 700 cc的正方體容器(10×10×10 cm)中。各放入一隻雌成蟲適應與飢餓三天後進行實驗。
3. 在四個正方體容器內放入 10 隻、20 隻、40 隻、80 隻不同量的孑孓(孑孓長度約 0.5-0.8 cm)作為食餌。

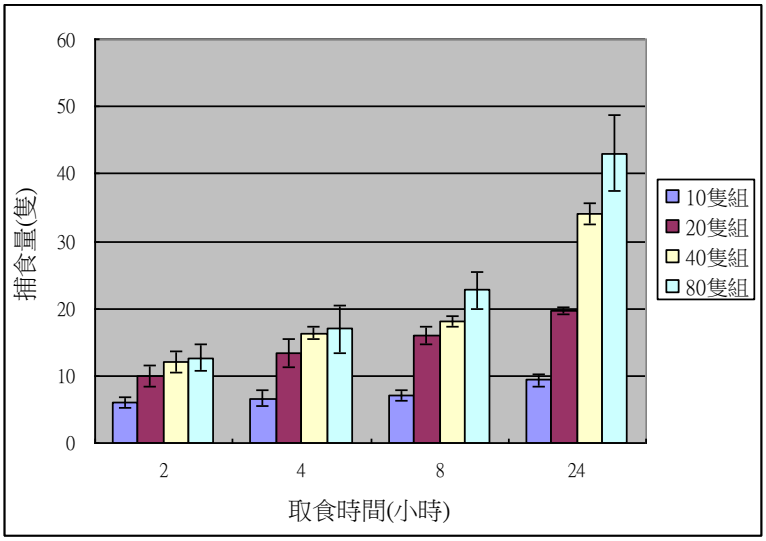
取食不同孑孓密度實驗圖示

4. 於 2、4、8、24 小時記錄取食孑孓的隻數。實驗重複三次。
5. 在蒐集的文獻中發現曾有研究者提出捕食量與食餌密度關係可以公式來表示，且透過這個公式可計算出水螳螂搜尋食餌的成功率與吸食每隻食餌所需的時間。公式為 $N_a=(a\times T_t\times N_0)/(1+a\times T_H\times N_0)$。$N_a$ 代表捕食量，a 代表的是搜尋食餌的成功機率，T_t 代表水螳螂與食餌共存的時間，N_0 指的是食餌的密度。T_H 指的是吸食每隻食餌所需的時間。為了找出 a 與 T_H 先將整個公式等號兩邊同時取倒數改成直線方程式 Y＝AX＋B，成為 $1/N_a=(1/a)\times(1/T_t\times N_0)+T_H/T_t$。透過以 excel 直線迴歸分析求出 A 與 B。

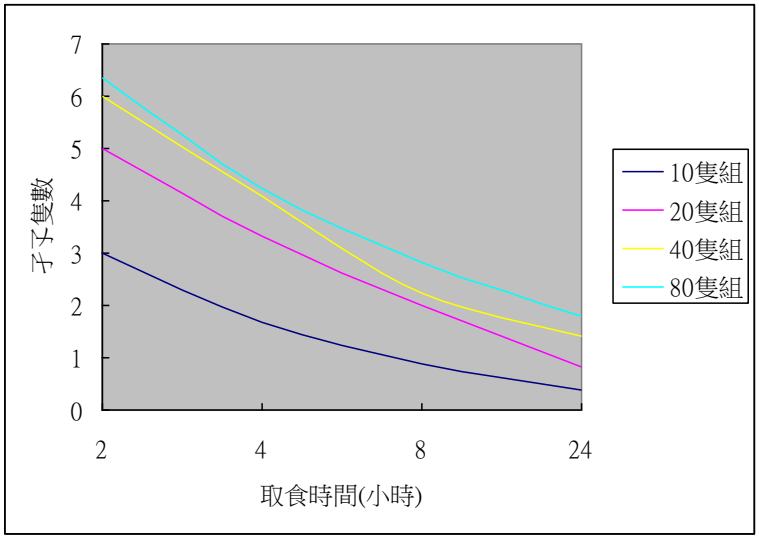
結果：1.各時間內捕食孑孓的平均量紀錄如下：( )為平均每小時取食孑孓的隻數

密度	2 小時(隻)	4 小時(隻)	8 小時(隻)	24 小時(隻)
10 隻	6±0.82(3)	6.67±1.25(1.67)	7±0.82(0.88)	9.33±0.94(0.39)
20 隻	10±1.63(5)	13.33±2.05(3.33)	16±1.41(2)	19.67±0.47(0.82)
40 隻	12±1.63(6)	16.33±0.94(4.08)	18±0.82(2.25)	34±1.63(1.42)
80 隻	12.67±2.05(6.34)	17±3.56(4.25)	22.67±2.62(2.83)	43±5.66(1.79)

不同孑孓密度下捕食量結果如下圖：



不同孑孓密度下每小時平均捕食量結果如下圖：

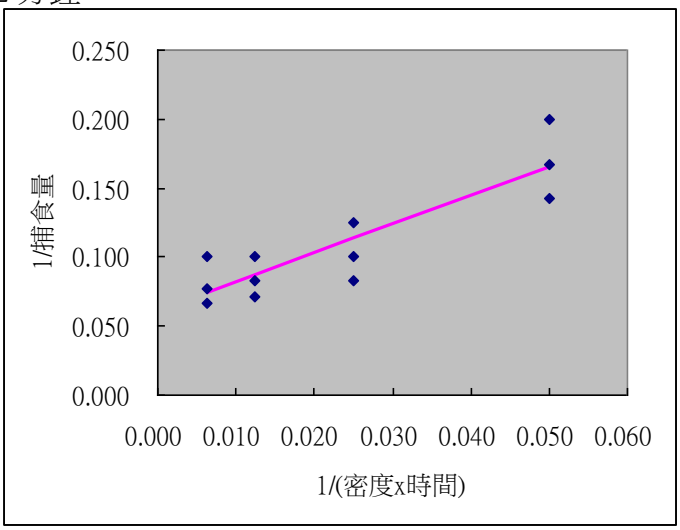


討論：

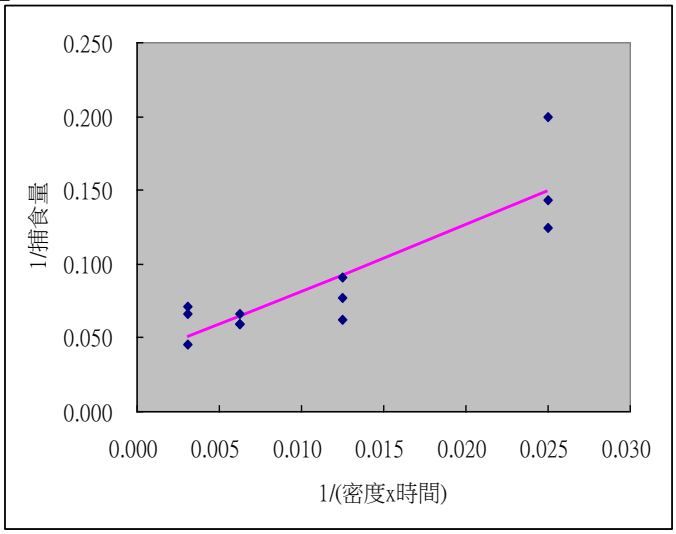
我們發現孑孓密度越高，捕食量越大。在 2 小時內捕食量會達到最大。我們推測在獵物足夠的環境下其會盡快取食以達到飽足感，而在達到飽足感後獵食的行為則會逐漸減少。

2.捕食量與獵物密度關係直線迴歸分析圖如下：

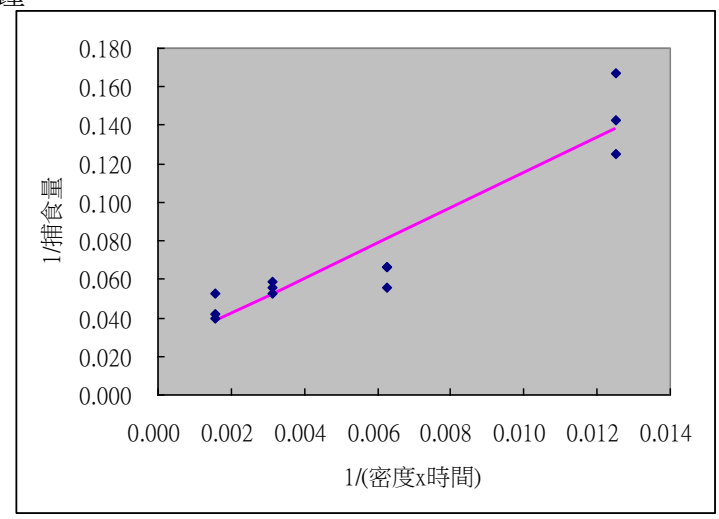
(1) 2 小時組：Y=2.09X+0.06(R^2=0.78，t=6.01，p＜0.001)。搜尋成功機率為 0.48，處理時間為 7.2 分鐘。



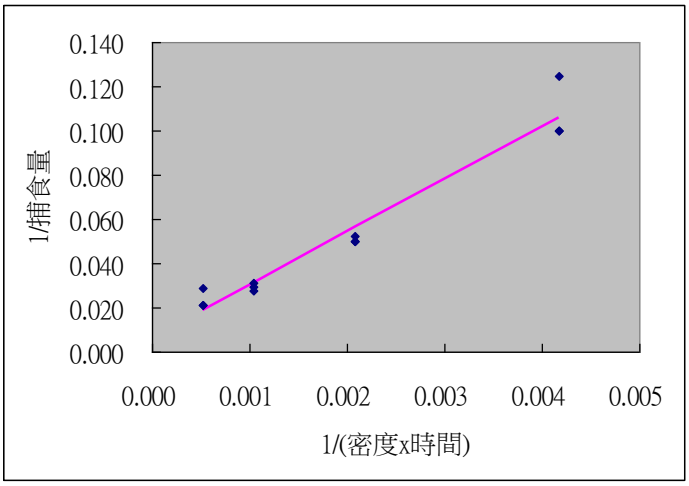
(2) 4 小時組：Y=4.52X+0.04(R2=0.77，t=5.77，p＜0.001)。搜尋成功機率 0.22，處理時間 9.6 分鐘。



(3) 8 小時組：Y=9.14X+0.02(R^2=0.88，t=8.67，p＜0.001)。搜成功機率 0.11，處理時間 9.6 分鐘。



(4) 24 小時組：Y=23.80X+0.007(R2=0.95，t=14.34，p＜0.001)。搜尋成功機率 0.04，處理時間 10.08 分鐘。



討論：發現搜尋成功機率逐漸降低，處理時間則逐漸加長。我們認為在食物較難捕捉到時，長翅水螳螂會將捕捉到的獵物養份充分吸收，使得吸食時間較長。在搜尋獵物較容易時，則會取食獵物較營養部份並接著繼續取食另一隻獵物而縮短了吸食時間。

(三)長翅水螳螂如何搜尋獵物：

1.視覺測試

研究方法：

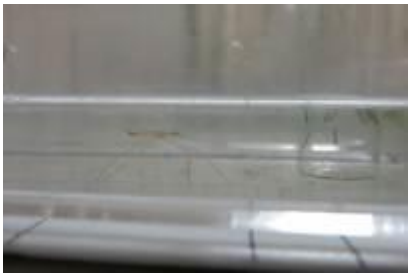
(1)裝有適量水量(與透明塑膠盒水位高度一致)的圓形透明玻璃管(直徑 3 cm、高 12.5 cm)中放入 10 隻長度約 05-08 cm的孑孓，並以保鮮膜封住開口。

(2)透明試管放入長方形透明壓克力盒(27x11.5x12 cm)，分別在距離試管 2 cm、7 cm、12 cm作上標示。

(3)塑膠盒內注入 3 cm水深的水量。

(4)將 15 隻飢餓三天的水螳螂分別放置於不同距離上，測試其視覺反應。

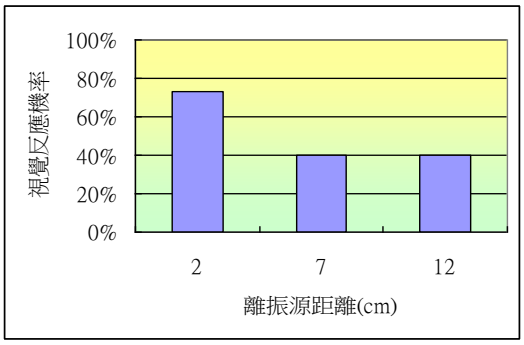
(5)待水螳螂於標示線穩定後進行測試，每次測試時間為 30 分鐘，若成蟲靠近試管且在孑孓靠近時會進行攻擊方視為其具視覺反應。進行機率統計。實驗圖式如下：

		
將水螳螂放置於不同距離	水螳螂與試管內的孑孓	靠近試管並對管內孑孓攻擊。

結果：

距離(cm)	2	7	12
視覺反應隻數 (機率%)	11 (73.33%)	6 (40%)	6 (40%)

討論：從以上得知在 2 cm以內較容易以視覺搜尋獵物，而在 7 cm以外成功搜尋到獵物的機率將大為降低。因此我們認為水螳螂並非主要以視覺搜尋獵物，較具視覺反應的範圍應在 2 cm以內。



視覺反應機率圖

2.嗅覺測試

研究方法：

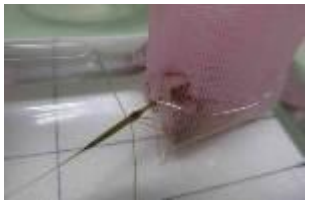
(1)在一網袋內放入 0.5g 冷凍紅蟲與 3 顆紅色石頭為實驗組，另一網袋則僅放入 3 顆紅色石頭作為對照組。

(2)將兩網夾在塑膠盒(25.5×20.5×13 cm)，同一側之左右兩邊，分別在網袋 2 cm、7 cm、12 cm 作上標示。

(3)在塑膠盒內注入 3 cm水深的水量。

(4)將 15 隻飢餓三天的水螳螂分別放置於不同距離上，測試其嗅覺反應。

(5)每次測試時間為 30 分鐘，若成蟲靠近網袋且在冷凍紅蟲位置上進行攻擊方視為其具嗅覺反應。並進行機率統計。實驗圖式如下：

			
不同距離放置水螳螂	正確攻擊冷凍紅蟲 視為具嗅覺反應	移往冷凍紅蟲網袋 但卻勾住他處	移往無冷凍紅蟲網袋

結果：

反應	正確攻擊紅蟲處	勾住或靠近有紅蟲網袋	勾住或靠近無紅蟲網袋	未靠近網袋
2cm	13.33%	13.33%	13.33%	60.00%
7cm	6.67%	6.67%	20.00%	66.67%
12cm	6.67%	6.67%	13.33%	73.33%

討論：

發現以嗅覺正確攻擊冷凍紅蟲的機率不論在哪個距離都偏低，且大部分的個體都無法正確靠近具冷凍紅蟲的網袋，因此我們認為長翅水螳螂並非以嗅覺搜尋食物。

3.振動感覺測試

研究方法：

(1)在塑膠盒(25.5×20.5×13 cm)內注入 3 cm水深的水量。鐵架、節拍器與 4 號昆蟲針組合而成的振源置於塑膠盒的一側，為實驗組，同側另一邊則只放置 4 號昆蟲針，為對照組。

(2)將 15 隻飢餓三天的水螳螂放置於距離振源 12 cm處，測試其對振動反應。

(3)測試時間為 30 分鐘，若成蟲隨著振動移往振源視為對振動具反應。振動頻率為每秒 2 次，進行機率統計。實驗圖式如下：

實驗器材組合圖示	一側為振源，另一側為對照組	將水螳螂置於離振源 12 cm處
受振動吸引朝振源方向移動	接近振源	成功至振源處甚至攻擊昆蟲針

結果：

反應	朝振源移動或攻擊振源	未受吸引至振源
個體數(機率)	12(80%)	3(20%)

討論：從結果得知，長翅水螳螂會靠著獵物產生的振動進行搜尋，綜合視覺、嗅覺與振動的測試，我們認為水螳螂會以獵物在水中產生的振動進行搜尋，然後在接近獵物時以坐等攻擊姿勢等待機會再配合視覺進行捕食。而呼吸管與中後足上的細毛可能為其感覺毛。

(四) 不同棲息深度對長翅水螳螂搜尋振源的影響：

研究方法：

1.塑膠盒(25.5×20.5×13 cm)內分別注入 1 cm、2 cm、3 cm水深的水量，將振動測試的振源組合置於塑膠盒一側的中心位置，並以振源為圓心標示上 2cm 與 4 cm的半圓弧。

2.將 5 隻飢餓三天的成蟲置於距離振源 12 cm處，測試其對振動反應。實驗重複三次。

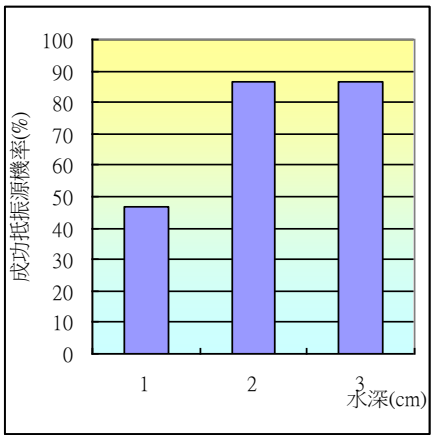
3.測試時間為 30 分鐘，若成蟲隨著振動移至移振源 2 cm內視為對振動具反應並測量到達時間。振動頻率為每秒 2 次，進行機率與時間統計。實驗圖式如下：

將水螳螂置於離振源 12 cm處	至 2 cm圓弧內視為具反應	大部份個體會攻擊振源

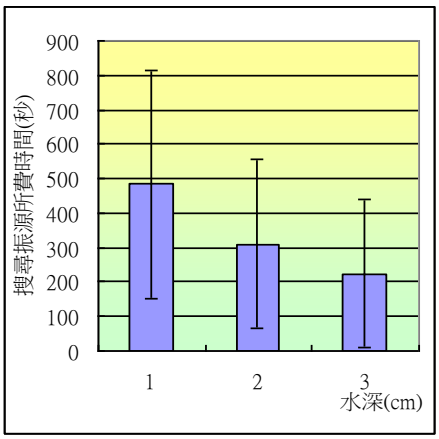
結果：

反應 / 水深	抵振源個體數(機率%)	未抵振源個體數(機率%)	抵振源所需時間(秒)
1 cm	7(46.67%)	8(53.33%)	483.29±330.63
2 cm	13(86.67%)	2(13.33%)	310.46±245.73
3 cm	13(86.67%)	2(13.33%)	222.85±215.24

討論：發現在水深較淺的情況下，在成功搜尋振源機率變得較低且搜尋時間會變得較長，因此我們認為成蟲於較淺的棲息深度時，會增加搜尋獵物的困難度。



成功抵振源機率圖



搜尋振源所費時間圖

(五)不同棲息深度對長翅水螳螂在取食上的影響：

研究方法：

1.三個塑膠盒(10×10×10 cm)內分別注入 1 cm、2 cm、4 cm深的水，放入約 7 cm金魚草。

2.放入羽化日期接近的雌成蟲一隻，適應與飢餓三天後實驗。

3.1 cm、2 cm、4 cm水深塑膠盒內分別放 10、20、40 隻孑孓(長約 0.5-0.8 公分)，孑孓密度為 10 隻/100ml。

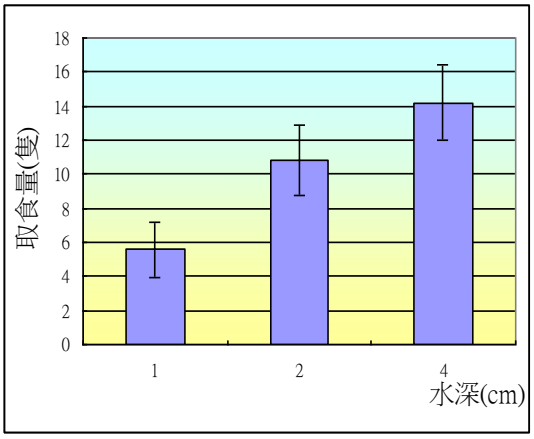
4.取食兩個小時(2 小時內達最大捕食量)紀錄取食量，重複五次。

不同水深取食影響實驗圖示

結果：

水深	1 cm	2 cm	4 cm
取食量(隻)	5.6±1.62	10.8±2.04	14.2±2.23

討論：發現成蟲在較深環境取食量較大，可見水深較淺時會造成成蟲取食量的減少，而這可能是因水深較淺時增加了成蟲在搜尋上的困難度所致。因此我們認為棲息深度對長翅水螳螂的捕食會造成影響。



不同棲息深度長翅水螳螂取食量統計圖

(六)長翅水螳螂在不同振動頻率下的趨勢反應：

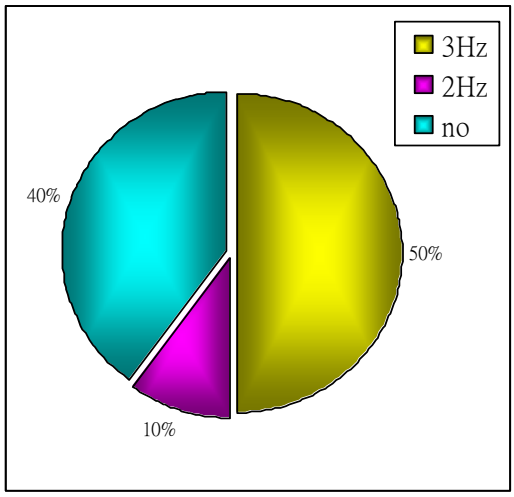
研究方法：

1.塑膠盒(35.5×30.5×9.5 cm)中鋪細砂，注入約 3 cm水深。
2.塑膠盒兩側分別設置不同頻率(3Hz：2Hz；2Hz：1Hz)的振源。
3.兩振源中點標示中線，水螳螂起初放於此位置待穩定後，再啟動振源。
4.選取 10 隻飢餓三天的水螳螂實驗，測試 30 分鐘。未受任何頻率吸引個體則重複實驗，重複次數最多三次。
5.中線兩側離振源的中點處設抵達線，若明顯趨向振源且至抵達線即紀錄為受該頻率吸引。

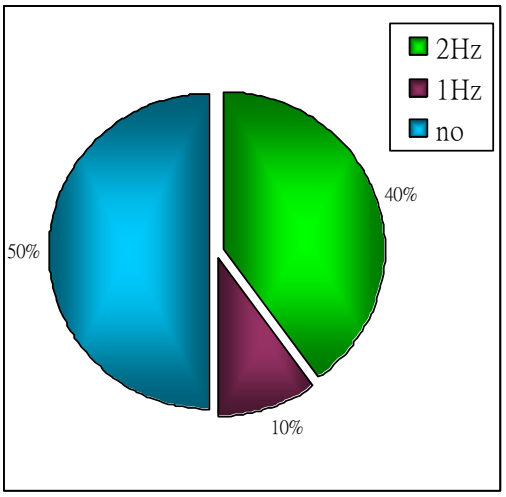
實驗器材組合圖示	中線與兩條抵達線	置於中線待穩定後進行實驗
衝過頭的個體	準確抵達振源且攻擊的個體	到達抵達線但未至振源處

結果： (%)為趨向該振動頻率機率；no 表示未受吸引個體

組別	趨向 3Hz 個體數	趨向 2Hz 個體數	未受吸引個體數：no
3Hz VS 2Hz	5(50%)	1(10%)	4(40%)
組別	趨向 2Hz 個體數	趨向 1Hz 個體數	未受吸引個體數(no)
2Hz VS 1Hz	4(40%)	1(10%)	5(50%)



3Hz VS 2Hz



2Hz VS 1Hz

討論：發現水螳螂會傾向搜尋頻率較高振源，推論是因振動較快產生較頻繁水波，水螳螂較容易感覺到振動。但我們也發現有不少個體並不受吸引而趨向任何振源，因此我們認為當振源較多而雜時會影響其搜尋獵物振源，使其無法正確判斷獵物的位置。

(七)長翅水螳螂的攻擊熱區：

1.攻擊距離

研究方法：

(1)塑膠盒(10×10×10 cm)內裝入 3 cm水深的水。取 15 隻水螳螂放入。以冷凍紅蟲誘引捕食。

(2)攝影機錄取補捉獵物瞬間，將影片擷取成圖片後以 image J 影像軟體測量其距離。

靠近容器內壁誘引，避免景深所造成的誤差	擷取圖片以 image J 測量捕捉距離	最長捕捉距離	最短捕捉距離

結果： ( )為佔捕捉足的百分比

編號	捕捉足 (mm)	攻擊距離 (mm)	編號	捕捉足 (mm)	攻擊距離 (mm)	編號	捕捉足 (mm)	攻擊距離 (mm)
1	17.6	8.7(49.43%)	6	18.3	13.6(74.32%)	11	16.3	8.8(53.99%)
2	19.4	9.5(48.97%)	7	17.3	13.1(75.72%)	12	17.1	10.1(59.06%)
3	18.3	8.9(48.63%)	8	19.0	8.7(45.79%)	13	18.4	11.3(61.41%)
4	18.9	12.4(65.61%)	9	17.3	9.1(52.60%)	14	18.3	11.1 (60.66%)
5	17.1	10.2(59.65%)	10	17.7	11.2(63.28%)	15	18.6	10.3(55.38%)
捕捉足平均值=18.0±0.8mm　攻擊距離平均值=10.5±1.6mm(58.33%)								

討論：

長翅水螳螂攻擊距離最長佔捕捉足長度 75.72%，平均約佔 58.33%，距離複眼約 10.5±1.6mm，我們認為長翅水螳螂因較常攻擊複眼斜上方的獵物，此姿勢捕捉足呈彎折(如上圖：最短捕捉距離圖示)，致使攻擊距離較少呈現完全伸展的距離。

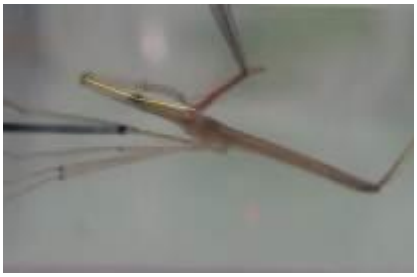
2.複眼上方垂直攻擊角度範圍：

研究方法：

(1)透明塑膠盒(10×10×10 cm)內裝 3 cm深的水。取 10 隻水螳螂放入。以冷凍紅蟲在其複眼後方約 1 至 2 cm處誘食，待其稍向後移動捕食時，以攝影機捕捉瞬間畫面。

(2)以細棉線綁冷凍紅蟲，在其下綁螺帽讓紅蟲垂至水螳螂複眼下方，由下往上以振動誘食，待其向前向下捕食時擷取捕食瞬間畫面。

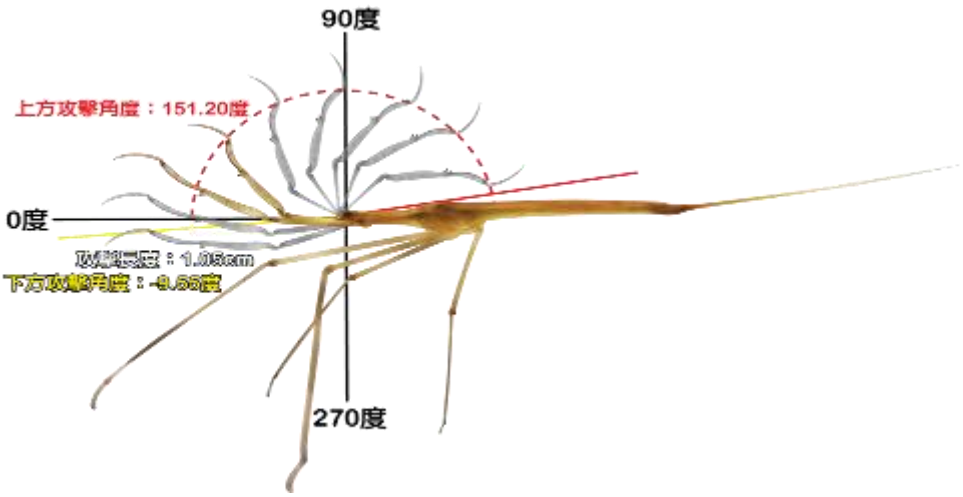
(3)以 image J 影像軟體測量角度。

		
複眼上方垂直角度實驗圖示	複眼上方垂直範圍最小角度	複眼上方垂直範圍最大角度
複眼下方垂直角度實驗圖示	複眼下方垂直範圍最小角度	複眼下方垂直範圍最大角度

結果：

編號	複眼上角度(度)	複眼下角度(度)	編號	複眼上角度(度)	複眼下角度(度)
1	151.84	29.39	6	163.63	29.35
2	137.73	7.22	7	139.82	0.67
3	142.51	1.06	8	142.11	2.67
4	158.99	3.93	9	168.25	0.66
5	137.03	19.54	10	170.05	1.02
複眼上角度平均值=151.20±12.38 度 複眼下角度平均值=9.55±11.28 度					

複眼上方垂直攻擊角度範圍可以下圖表示：



討論：長翅水螳螂複眼上方的攻擊角度最大可接近 180 度，平均約達 151.20 度。複眼下方角度最大僅約 30 度，平均不到 10 度(9.55 度)，發現其仍以攻擊複眼上方的獵物為主。

3.複眼兩側水平攻擊角度：

研究方法：

(1)將一隻長翅水螳螂置入直徑 10.5 cm、高 7 cm的約 7 分滿水量透明塑膠盒。

(2)以翻拍架將攝影機進行拍攝，以冷凍紅蟲從其後方離身體約 1-2 cm寬的位置往複眼方向振動誘食，將其側移瞬間捕食的畫面擷取。取 10 隻成蟲進行實驗。

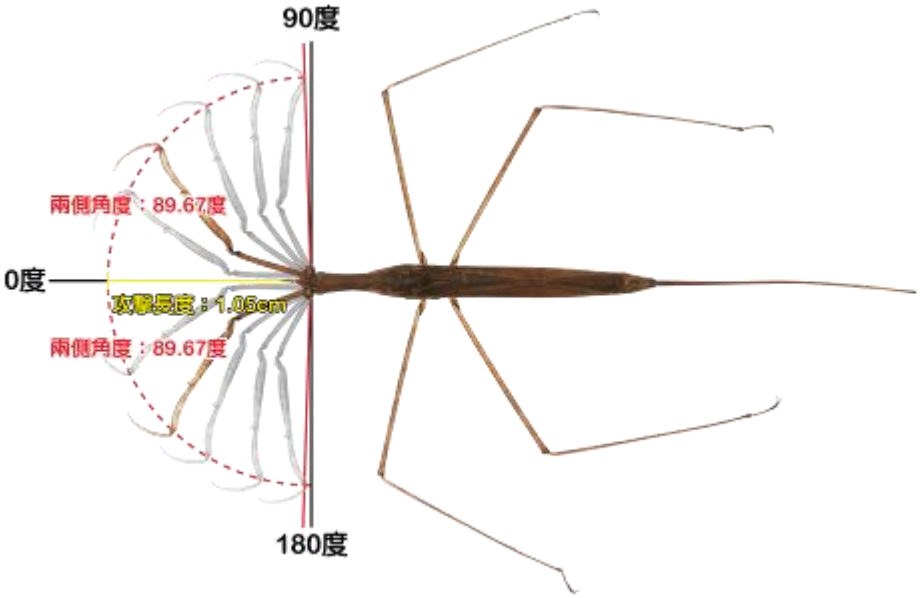
(3)以 image J 測量角度。

兩側水平攻擊角度實驗圖示	兩側水平最小角度	兩側水平最大角度

結果：

編號	攻擊水平角度(度)	編號	攻擊水平角度(度)
1	80.38	6	84.31
2	80.75	7	74.59
3	75.34	8	96.12
4	80.21	9	131.31
5	88.04	10	105.68
攻擊水平角度平均值=89.67±16.59 度			

複眼兩側水平攻擊角度範圍可以下圖來表示：



討論：長翅水螳螂複眼兩側水平攻擊角度最大可達約 130 度，但仍傾向於約 90 度捕食，我們推論在複眼水平面其會傾向於取食前方獵物。

(八)長翅水螳螂攻擊獵物的出手時間：

研究方法：

1.以冷凍紅蟲誘引水螳螂捕食。

2.慢速格放拍下的捕食過程，計算從開始動作至確實捕捉住冷凍紅蟲時間，格放速度每格 1/30 秒。

3.取 10 隻成蟲實驗。

結果：

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
出手時間(秒)	0.23	0.30	0.30	0.23	0.30	0.30	0.37	0.30	0.37	0.30
平均值=0.3±0.04										

討論：長翅水螳螂從出手至捕捉到獵物在 0.5 秒以內完成，約需 0.3 秒。

(九)長翅水螳螂捕食獵物最大體長實驗：

研究方法：

1.將 5 隻雌蟲分別放入裝有 350ml 與長約 7 公分金魚草的塑膠盒(直徑 10.5 cm、高 7 cm)內。

2.塑膠盒內放入三種體長不同的赤蛙科蝌蚪(小體長 1.0-1.5 cm、中體長 1.5-2.0 cm與大體長 2.0-2.5 cm)。

3.每天上下午觀察紀錄，清除取食後屍體再依相同體長加入塑膠盒內，保持盒內具有三種體長的蝌蚪。實驗持續 7 天。

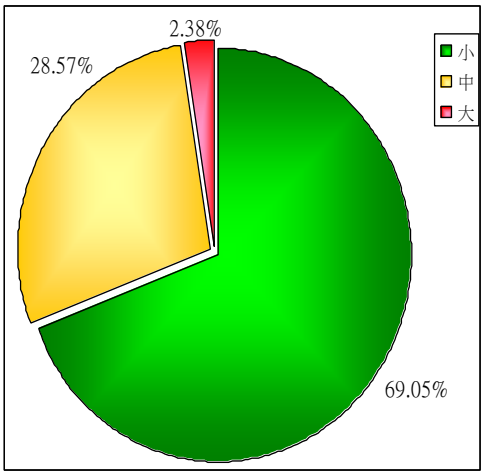
5 隻長翅水螳螂雌蟲進行實驗	三種不同體長蝌蚪供其捕食	更換前先測量蝌蚪體長

結果：

X 表示實驗蝌蚪體長；

(%)表示佔總取食量的百分比。

蝌蚪體長 (cm)	取食隻數(隻)(%)	蝌蚪平均體長 (cm)
小(1<X≤1.5)	29(69.05%)	1.33±0.11
中(1.5<X≤2)	12(28.57%)	1.84±0.1
大(2<X)	1(2.38%)	2.11±0



捕食蝌蚪體長比例圖

討論：

長翅水螳螂偏向取食體型較小的蝌蚪，主要取食 2 cm以下的蝌蚪。這可能是因較小體型的蝌蚪容易捕食，非其選擇的結果，因在取食過程中我們發現水螳螂也會攻擊經過的 2 cm以上體長的蝌蚪，而這樣體型以上的蝌蚪對於其來說較難捕食。

(十)不同溫度對長翅水螳螂取食的影響：

研究方法：

1.塑膠盒(直徑 10.5 cm、高 7 cm)內注入水量 300ml，放入 7 cm金魚草。

2.兩塑膠盒一組，以控溫器將兩組隔水加熱至 25℃與 30℃，一組以冰塊使其溫度降至 9-12 度℃，一組則放於室溫下。

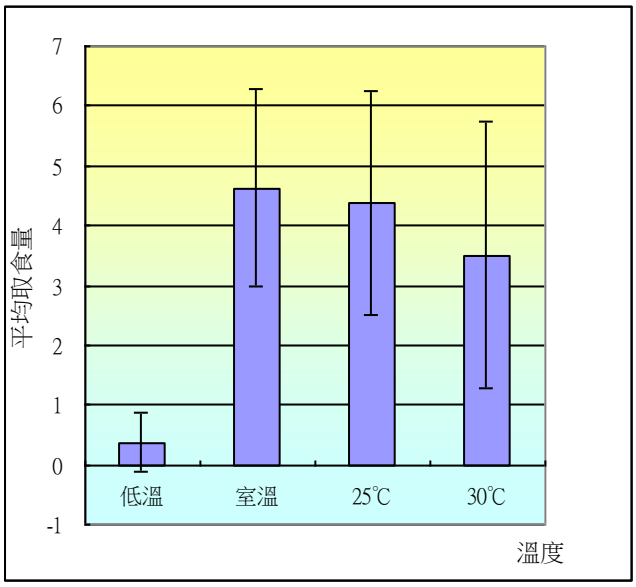
3.塑膠盒內放入飢餓三天的雌蟲，適應2個小時後各放入10隻孑孓(約0.5-0.8公分)進行取食，取食 2 小時。重複四次。

以控溫器與加熱棒隔水加熱	低溫時，垂直插入水中棲息	不同溫度下取食實驗圖示

結果：

溫度	低溫組(9-12℃)	室溫組(18-20℃)	25℃組	30℃組
總取食量(隻)	3	37	35	28
每隻平均取食量(隻)	0.38±0.48	4.63±1.65	4.38±1.87	3.5±2.24

每隻長翅水螳螂在不同溫度下平均取食量圖如下圖 ：



不同溫度下平均取食量統計圖

討論：

低溫會影響長翅水螳螂的取食，取食量較其他溫度低，我們認為冬天低溫環境時(12℃以下)，水螳螂捕食行為會減少且可能幾乎不取食，長翅水螳螂在低溫時可能以降低活動力來減少能量的散失，棲息方式採垂直插入水中的方式。室溫(約 20)℃至 30℃則可正常取食。

陸、結論：

一、長翅水螳螂屬漸進變態水棲昆蟲，分為卵期、五齡的若蟲期與成蟲期。卵與若蟲期發育日數約 49.49±4.21 天，死亡率以一齡蟲最高，若蟲齡期越大，發育日數越多。成蟲壽命可超過 9 個月。

二、捕捉足與口器隨齡期越大，佔體長比例越小且成長速率較體長慢。

三、呼吸管隨齡期越大佔體長比例越長且成長速率較體長快，因此齡期越大棲息深度越深。

四、棲息深度的改變在搜尋獵物與捕食上會造成影響，如成蟲在較淺水域搜尋獵物與捕食能力都會降低。因此不同齡期具不同棲息深度分佈可避免世代重疊時同種間互相競爭。

五、陸上假死持續時間大於水中假死持續時間。

六、成蟲不具群聚性以避免相互競爭獵物。

七、食性為肉食性，捕食水中的小動物。

八、食餌密度越高，捕食量愈大。在前 2 小時內達最大的捕食量。

九、搜尋食餌成功機率越高，處理食餌時間越短。

十、長翅水螳螂主要以振動搜尋獵物，在靠近獵物採坐等攻擊姿勢再輔以視覺進行補食，較佳的視覺範圍應在 2 cm以內。

十一、易趨向振動頻率較快的振源，但在多振源的環境下仍有相當大比例的成蟲會受到干擾而無法正確趨向振源。

十二、攻擊熱區為：複眼前方攻擊長度平均約為 10.5±1.6mm；複眼上方垂直攻擊角度平均從 151.20±12.38 度至複眼下方平均角度約為 9.55±11.28 度；兩側水平攻擊平均角度約為左右兩側 89.67±16.59 度。

十三、出手捕捉獵物約需要 0.30 秒就能捕捉住靠近的獵物。

十四、因捕捉容易，偏向取食較小體型的動物，以蝌蚪而言較常取食在 1.5 cm以內的蝌蚪，而 2 cm以上體型的蝌蚪對長翅水螳郎而言已較難捕食。

十五、低溫(12℃以下)下長翅水螳螂幾乎不進行取食。20~30 度之間可正常取食。

柒、參考資料及其他：

一、黃郁真、賴玟秀。2011。紅色獵殺—紅娘華的異速生長與覓食方式集棲息偏好的關係。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、申屠萱。1999。中華大仰泳椿生活史及捕食量之探討。國立中興大學昆蟲學系碩士論文。

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。

五、吳怡欣、林裕智、楊平世。2002。長翅水螳螂(*Ranatra longipes longipes* Stal)形態與生活史研究。動物園學報 14： 9-19。

【評語】030306

能設定科學假設並以按部就班證實的方法來解決問題，並對每步結果的推論再作出新的假設，重複這樣步驟以證明長翅水螳螂棲息的深度、覓食的範圍、出手捕獵的時間、震源的搜尋、獵食的溫度等特性。對長翅水螳螂形態及生活史作的研究結果，則建議應該與已有的參考資料比對並作討論。