

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

第三名

最佳團隊合作獎

080316

甜蜜的負荷—負子蟲全記錄

學校名稱：臺南市柳營區柳營國民小學

作者： 小五 劉汶宜 小五 羅羽晴 小五 連志憲 小五 葉盛暘 小五 楊佺澂 小五 劉袁志	指導老師： 鄭東益 張喬茵
---	-----------------------------

關鍵詞：負子蟲生物學、習性、動物行為

摘要

本研究主要記錄**負子蟲**(*Diplonychus rusticus*)**生活史**中各蟲期的形態特徵，也探討其**生態棲位與動物行爲**。野外採集性別比約 1:1，從卵經五齡時期到成蟲約需 51.8 天。成蟲為**肉食性動物**，且面對不同獵物有不同的**取食策略**，實驗中發現負子蟲有**獨食行爲及合作群食行爲**，其刺吸式口器內的唾液具有**麻醉**功能。

在有雌性環境下，雄性求偶時才有伏動的行為，交配一次產卵一粒，產卵順序：從雄蟲背部翅鞘末端開始，直至小盾板位置。實驗中也發現非親生雄蟲不會有「親養投資」。

負子蟲是一種**適應力很強**(水陸兩棲)的水生昆蟲，若發現有負子蟲死亡的水體，該水體可能屬於重度汙染或表面水體有不透水物質覆蓋。另外，實驗中還觀察到負子蟲大多以**成蟲**形態越冬，並有假死、挖掘等有趣行為。

壹、 研究動機

去年暑假，老師與朋友到家鄉酪農區做**燈光誘集法**，原想採集糞金龜，然而飛來外觀像龍蝨的昆蟲，老師將牠們養在教室內讓我們觀察，其中一位同學說在他家附近的溝渠也有這種昆蟲，但是我們仍猜不出是哪種昆蟲，於是用昆蟲圖鑑比對，才曉得是「**負子蟲**」。有了基本的了解並與老師討論後，我們決定以南一版四上第二單元(水中生物)、南一版四下第二單元(昆蟲世界)為理論基礎，並結合南一版五下第三單元(動物的生活)為討論指標，進一步設計相關實驗來探索負子蟲的世界。

貳、 研究目的與架構

研究目的

- (一)負子蟲的採集(魚塭、菱角田、水稻田)。
- (二)記錄生活史及觀察各蟲期形態、特徵。
- (三)探討負子蟲的生態棲位。
- (四)探討負子蟲的動物行為。

研究進度

研究步驟	99 年					100 年				
	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
文獻蒐集										
田野調查										
實驗設計與進行										
資料整理與統計										
撰寫作品說明書										

甜蜜的負荷—負子蟲全記錄

【研究一】負子蟲的採集

一、文獻探討與專家鑑定

二、野外實察

【研究二】記錄生活史及觀察各蟲期形態、特徵

一、飼養觀察

【研究三】負子蟲的生態棲位

一、喜歡吃什麼食物

二、耐飢力是多久

三、喜歡棲息的位置

在水體中的上、中、下哪一層呢

四、喜歡哪一種底棲環境呢

五、對水質的要求高嗎?

(耐酸鹼度、耐溫度、耐鹽度、濁度、受污染的水)

【研究四】負子蟲的動物行爲

一、一般行爲有哪些

(一)清潔身體

(二)游泳行爲

(三)潛水多久

(四)噴出分泌物

三、覓食行爲策略選擇

(一)取食策略

(二)當生物防治物種的可行性

(三)競爭行爲

二、傳宗接代四部曲

(一)求偶行爲

(二)交配行爲

(三)生殖行爲

(四)撫育行爲

四、其它行爲

(一)越冬

(二)裝死

(三)挖掘

參、 研究設備與器材

鑷子 5 枝、鬥魚杯(直徑 4 cm 高 8 cm)200 個、玻璃魚缸(60cm×25cm×35cm)2 個、一公升(10cm×10cm×10cm)的盒子 30 個、硬塑膠昆蟲箱(28cm×18.6cm×16.9cm)30 個、軟塑膠飼養箱(25cm×15.2cm×14.8cm)30 個、放大鏡、高桶箱(70cm×45cm×40cm)一個、低桶箱(70cm×45cm×13cm)一個、保麗龍箱(57cm×35cm×13cm)一個、不同大小顆粒及顏色不同的底石、寶特瓶、竹筷子、數位相機、可控溫加溫棒 3 組、解剖顯微鏡 20&40 倍率、碼表 3 個、保麗龍、培養皿、棉花、方格紙、圖畫紙、鐵盤子、保麗龍杯、溫度計 3 枝、水棲昆蟲捕捉網 3 枝、冰塊、焊接器、保麗龍膠、冰醋酸、氫氧化鈉、電子秤、鹽、沙拉脫、肥皂、pH 儀、蘋果、柳丁、橘子、雞胸肉、蔥、青江菜、哈密瓜、液態絆(人體受傷黏著劑)、孑孓(家蚊 2 齡)(委託中興大學昆蟲系支援)、蘋果螺、石田螺、椎實螺、福壽螺、囊螺、網蝥、大肚魚、孔雀魚、黑(金)姑娘、水蠶、赤紅蟲、蝌蚪(赤蛙科及蟾蜍科)、麵包蟲、螻蛄、松藻蟲、姬牙蟲、姬龍蝨、蝦子、水蘊草、金魚藻、沙子和土壤、電子游標尺、矽橡膠、自製蝦籠、夾鏈袋、橡膠手套、尼龍繩。

肆、 研究過程、方法、結果及討論

【研究一】負子蟲的採集

一、 文獻探討與專家鑑定：

- (一) 方法：翻閱圖書館及書店的書籍並利用網路尋找負子蟲的文獻資料進行閱讀與整理。
(二) 結果：雄蟲揹負著卵直到孵化才將卵殼脫落，因此叫「負子蟲」，英文稱為 Water bug。

搜尋臺灣物種名錄網站後，發現負子蟲有一屬三種，其中二種的中文名稱爲：褐負蝽及負蝽，另一種無中文名稱。查詢相關文獻及網站後，發現屬名有二，分別是 *Sphaerodema* 和 *Diplonychus*，向臺北市立動物園助理研究員求證及部分文獻都指出，*Sphaerodema* 其實就是 *Diplonychus*。我們比對型態特徵並核對昆蟲圖鑑，更進一步請助理研究員確認，證實我們所捕捉的正是臺灣較常見的負子蟲(即褐負蝽)，亦俗稱大負子蟲，其體型呈扁橢圓形、生活在靜水水田、池塘或緩流水面上，捕食微小水棲動物維生的水棲椿象，其前腳爲捕捉腳呈鐮刀狀，後腳爲游泳腳具有毛列。

分類地位如右圖下：

Kingdom Animalia 動物界

Phylum Arthropoda 節肢動物門

Class Insecta 昆蟲綱

Order Hemiptera 半翅目

Family Belostomatidae 負蝽科

Genus *Diplonychus* 負蝽屬

Diplonychus rusticus (Fabricius, 1781) 褐負蝽

(三) 討論：

蒐集文獻後，爲深入了解負子蟲的生物特性，我們實際飼養以研究其生命史並設計相關應用實驗，從飼養過程中我們發現負子蟲是一種極爲有趣的昆蟲。

二、 野外實察：

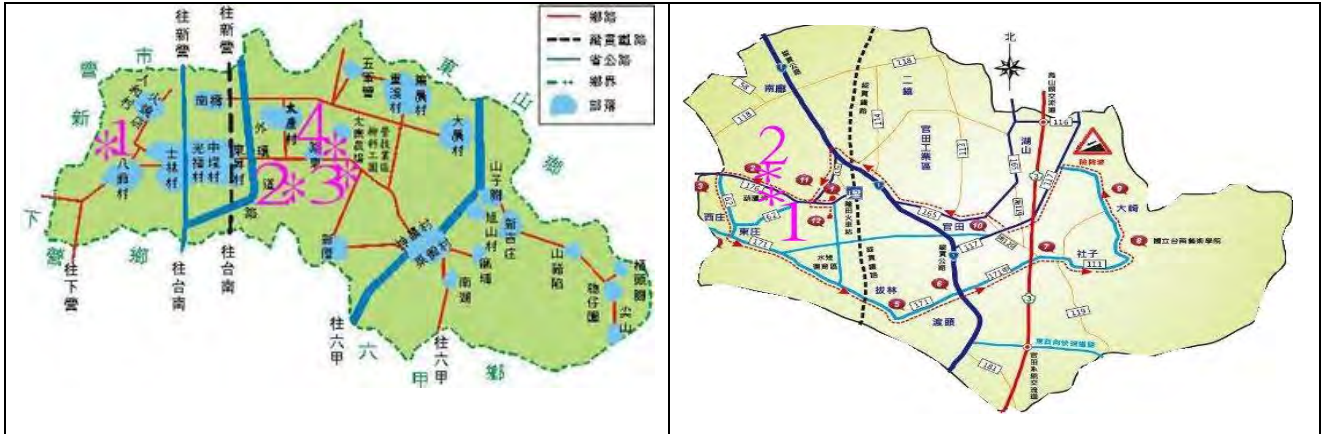
(一)方法：捕捉前皆會量測當時的水溫及 pH 值



3



1、捕捉地點：(1)柳營菱角田 4 處樣區 (2)官田菱角田 2 處樣區



1.經度(E)120°18'14"	2.經度(E)120°19'47"	1. 經度(E)120°17'55"
緯度(N)23°16'45"	緯度(N)23°16'23"	緯度(N)23°11'46"
3.經度(E)120°20'52"	4.經度(E)120°20'41"	2. 經度(E)120°17'53"
緯度(N)23°16'38"	緯度(N)23°16'45"	緯度(N)23°11'53"

※利用車上 GPS 定位系統得知野外調查點附近的經緯度。

2、捕捉方式：(1)自製蝦籠式陷阱法：將廢棄保特瓶罐裁切成兩半並挖洞，瓶口黏上以塑膠杯剪裁成的防逃裝置，最後倒插組合，以廢棄竹筷子及尼龍繩連結成固定裝置，完成捕蟲陷阱，如下圖 1、圖 2。籠內放入大肚魚屍體當誘餌，延著樣區每十公尺設一陷阱點，共設 6 個陷阱，三天後收籠。









(2)直接掃網法：兩人一組，一人將菱角植株拿起離開水面，另一人迅速將網子置入菱角植株底下，抖動菱角植株，讓菱角植株上的生物掉入網內。野外田調共計 6 次，每次約 3 小時。



官田樣區之一

柳營樣區之一

		
兩人一組通力合作(直接掃網法)	捕捉到的負子蟲	捕捉到背卵的負子蟲
		
計算數量並分辨雄雌	野外捕捉的負子蟲之一	野外捕捉的負子蟲之二

(3)夜間燈光誘集法：於無光害水稻田旁架設燈光誘集設備，誘捕負子蟲。(E120°17'42" N23°16'26")

			
去年暑假(99.8.15)時燈光誘集	燈光誘集 時間：100.3.18	掃網後觀察	仔細觀察比對圖鑑

(二)結果： 1、 利用自製蝦籠捕捉到的生物如下表： 時間:99.9.28

個體數	蝦籠 1	蝦籠 2	蝦籠 3	蝦籠 4	蝦籠 5	蝦籠 6
負子蟲	5	6	4	6	8	3
姬牙蟲	2	1	3	2	4	5
姬龍蝨	2	0	2	1	3	2
水蠶	3	2	1	0	2	3
福壽螺	3	3	2	2	4	2
囊螺	3	1	0	4	2	3
扁蝨	4	5	4	7	5	6

註：籠中的負子蟲、姬牙蟲、姬龍蝨大部分皆已死亡。

2、直接掃網法:有捕捉到其他水生生物(仰泳蟻、姬龍蝨、姬牙蟲、水蠶)，但只記錄負子蟲，如下表

第一次捕捉		第二次捕捉		第三次捕捉		第四次捕捉		第五次捕捉		第六次捕捉		總數	
99.10.6		99.10.13		99.10.16		99.10.23		99.11.3		99.11.24			
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
66(7)	74	72(8)	76	67(11)	63	90(15)	96	82(13)	78	39(3)	40	416	427

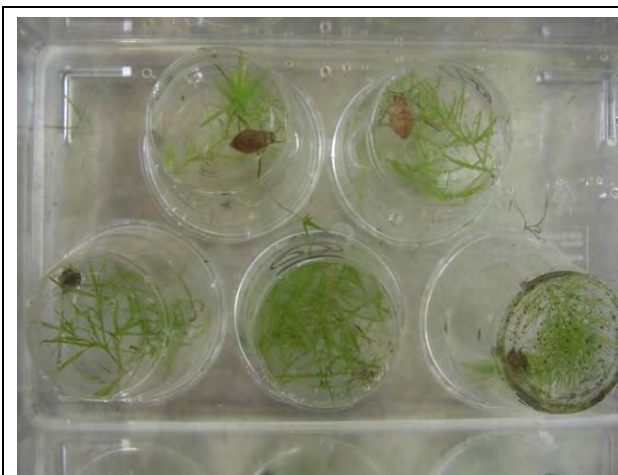
註:1、上表負子蟲只記錄成蟲，不記錄若蟲。2、括號()表示背卵的雄負子蟲。3、第七次捕

捉(99.12.4)時全無所獲，未列於上表。※野外採集性別比 ♂：♀=416：427=1：1.026，約 1:1。

3、(1)去年暑假(99.8.15)燈光誘集時，採集到的負子蟲有九隻。(2)今年(100.3.18)燈光誘集時，毫無負子蟲，而且其他的昆蟲也很少。

(三)討論：

1、利用自製蝦籠捕捉負子蟲時，發現所捕獲的負子蟲、姬牙蟲、姬龍蝨大都已死亡，我們推測受限於陷阱的出口極窄，逃不出來的負子蟲、姬牙蟲、姬龍蝨因水中溶氧不夠而使他們缺氧而亡；基於此假設我們設計一個簡單的實驗：將 5 隻(A、B、C、D、E)負子蟲成蟲各別放入鬥魚杯內，倒置於軟塑膠飼養箱，使鬥魚杯完全沒入水面下，如下圖，觀察其狀態。



負子蟲成蟲缺氧耐受力實驗

結果：從活動狀態落入至杯底呈奄奄一息的狀態(動作遲緩，翅鞘打開)所經歷的時間分別如下：

A	B	C	D	E
2'21'01	2'49'08	2'32'05	2'25'15	2'30'07

※時間取到秒數單位，平均約 2 小時 31 分 30 秒，因此若要運用蝦籠捕捉法，設陷阱時間在 2.5 小時內就要收籠，否則負子蟲會窒息而亡。意謂著負子蟲缺氧耐受力達 2.5 小時之久。

2、由於蝦籠陷阱法所捉到的個體數較少，為被動式採集，因而我們改採主動式採集，利用掃網法，也捕獲數量較多的個體；但在 12 月最後一次捕撈過程皆無所獲，我們推測負子蟲可能越冬去了。在此之前(99 年 9 月)，學校的老師也有在居家附近的魚塢捕撈負子蟲給我們做實驗，但當時我們尚未有辨識雄雌的能力，也因全部群養在一窄小容器中而互相殘殺，因此從魚塢捕撈的負子蟲未記錄數量。

3、去年暑假時，天氣悶熱，晚上誘集到相當多樣的昆蟲，負子蟲就有 9 隻飛來，然而今年 100.3.18 誘集時，當天晚上風力強盛，況且前天寒流才結束，因此誘集到的昆蟲相當稀少，只有夜蛾科 3 種及稻蝨科 2 種，我們推測天候因素加上季節因素，負子蟲可能還在蟄伏，所以沒有誘集到負子蟲；我們計畫今年暑假(100.7)還要進行一次燈光誘集。







【研究二】記錄生活史及觀察各蟲期形態、特徵

一、飼養觀察：

(一)方法：在學校以水族箱、水箱、塑膠杯長時間飼養、觀察、測量並拍照。







1、量測各蟲期的長度及紀錄各若蟲期的發育時間

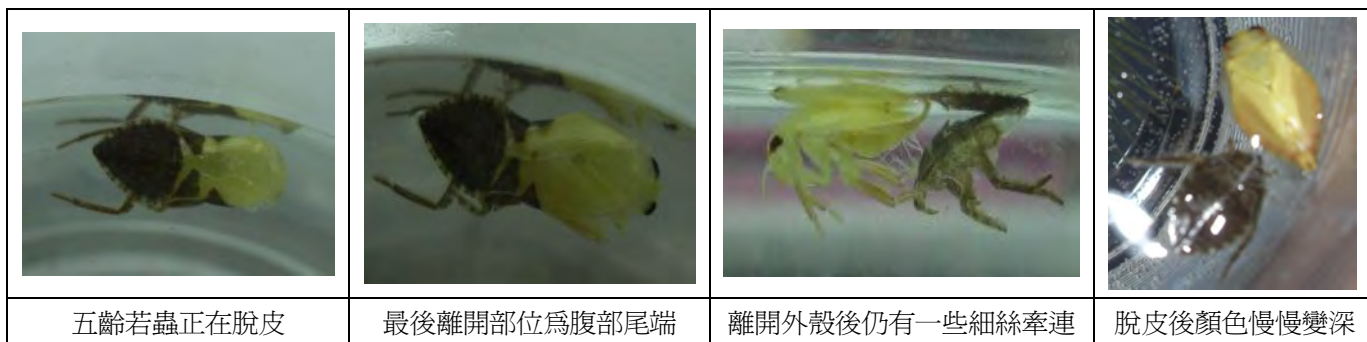
(1)、將捕捉到有背卵的負子蟲(♂)各放入一公升之方形硬塑膠透明容器，其內放入水蘊草使其依附抓取。(2)、每日餵食一隻麵包蟲(*Tenebrio molitor*) (約 2 公分)。(3)、白天放置室外，下午放學後移至室內。(4)、等待其孵化，隨機從同一天孵化的卵塊中各移出 20 隻一齡若蟲做為實驗對象，取三批共 60 隻。(5)、將各一齡若蟲飼養於鬥魚杯(直徑 4 cm 高 8 cm)中，每天餵食赤紅蟲(搖蚊科 Chironomidae 的一種)兩隻。(6)、等到其四、五齡若蟲時，每天餵食一隻麵包蟲。(7)、紀錄觀察與測量各齡期的體長。(8)、測量野外捕撈的成蟲體長與體寬並比較雄蟲與雌蟲是否有差異。

		
成蟲配對(不同個體數)觀察區之一	同期若蟲觀察區之一	同期若蟲觀察區之二
		
室外觀察區之一	將野外採集の成蟲區辨雄雌後分開來	分別測量雄與雌の體長並記錄下來

2、觀察成蟲各部位構造及功能：描繪的部位包括全身背部、全身腹部、觸角、刺吸式口器、前足、中足、後足、生殖板及呼吸管、氣孔等主要分類特徵。

(二)結果：1、各齡期の體長及發育時間。

		
量卵長	量一齡若蟲	量二齡若蟲
		
量三齡若蟲	量四齡若蟲	量五齡若蟲



五齡若蟲正在脫皮

最後離開部位為腹部尾端

離開外殼後仍有一些細絲牽連

脫皮後顏色慢慢變深

(1)各齡期體長:皆為該期脫皮隔天所量取的長度 (n=10) 室內溫度約 25°C

單位:mm	卵長	第六天卵	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡
長度	1.13	2.33	3.90	5.44	6.38	9.26	13.60

註：1、從每一齡期階段隨機抽取十隻量測後取平均。2、卵來源為室內飼養成蟲所產下的卵。
3、卵長測量為卵產下隔天及第六天。4、平均長度為四捨五入取至小數第二位。

(2)雄成蟲與雌成蟲體長比較表:(n=20)

單位(mm)	雄蟲(♂)	雌蟲(♀)
體長平均	13.70	13.87
體寬平均	8.44	8.57

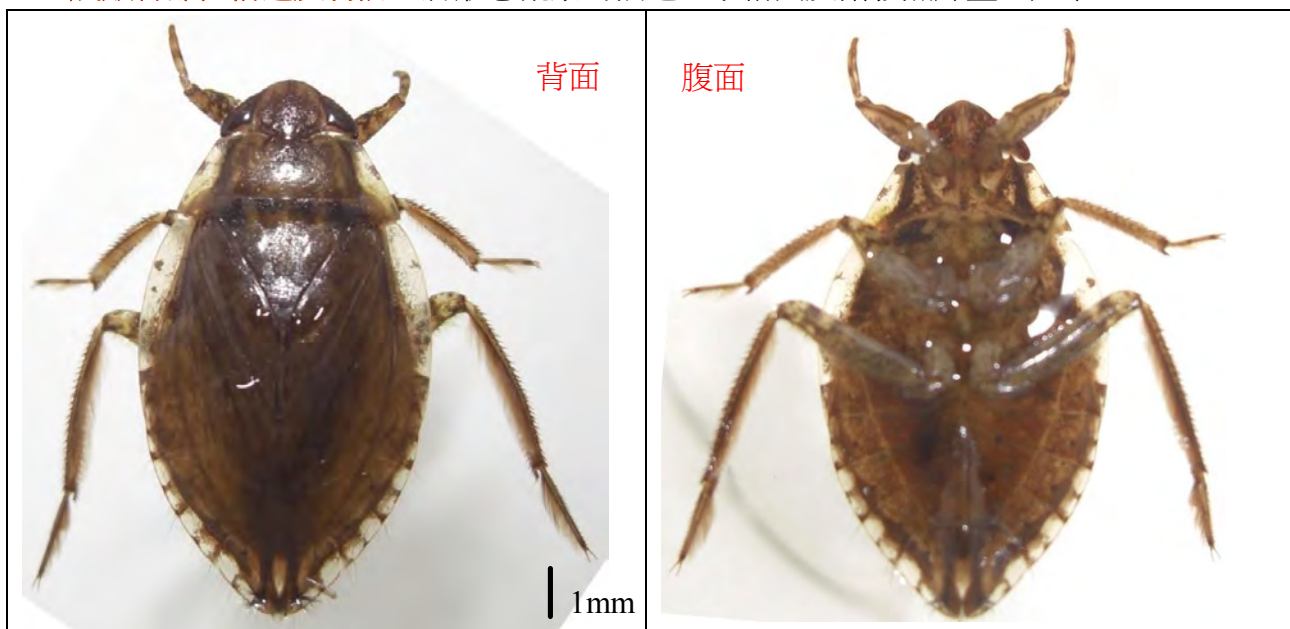
註：1、體長為頭部尖端至腹部尾端。2、體寬為身體最寬處(腹部第三節)。3、從野外捕捉的成蟲隨機抽樣雄 20 隻、雌 20 隻。4、平均長度為四捨五入取至小數第二位。

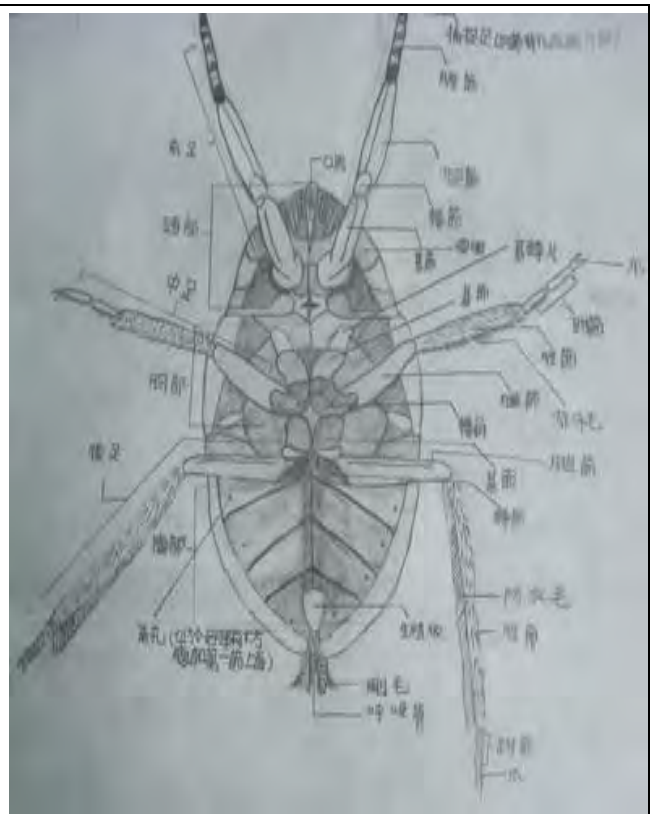
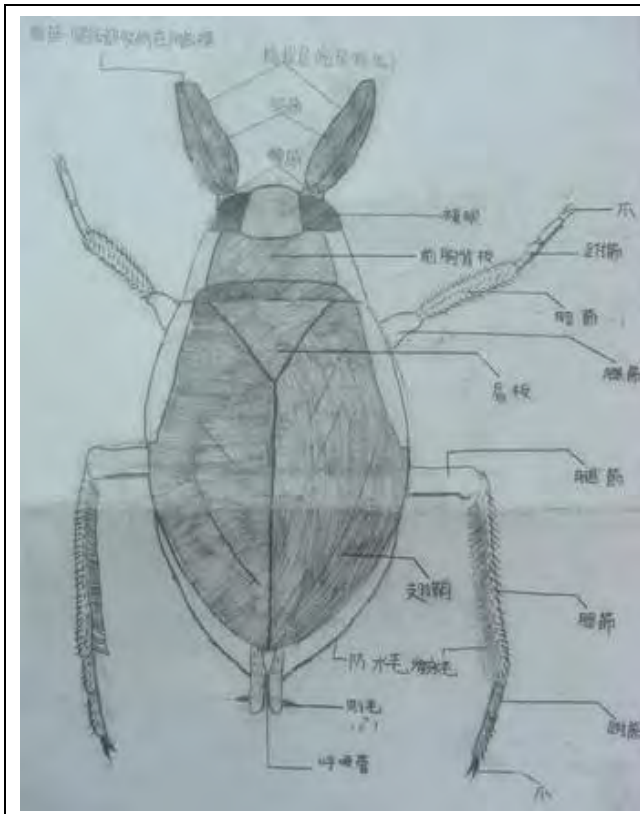
(3)各齡期發育時間:(卵塊 n=5 ;一~五齡 n=10) 室內溫度約 25°C

單位:日	卵期	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡	卵到成蟲
時間	8.8	6.6	7.1	7.9	8.5	12.9	51.8

註：1、卵期計算為室內飼養成蟲剛產完卵後隨機抽取五隻雄蟲，觀察其背部所負的卵孵化為止(日數計算以該卵塊中第一隻若蟲孵化為主，因為同一卵塊第一隻若蟲孵化與最後一隻孵化有時會差上一天)。2、每一齡期日數為隨機取樣同齡若蟲十隻，從脫皮開始計數至下一次脫皮時的日數。


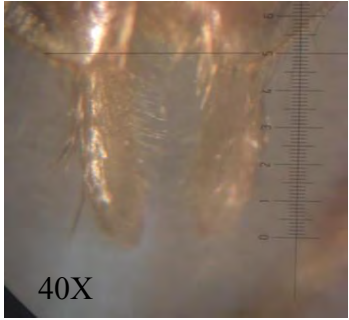
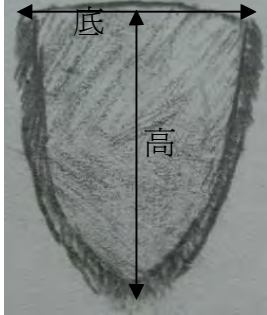
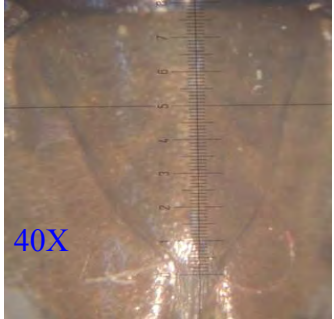
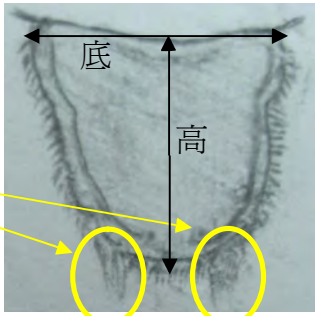
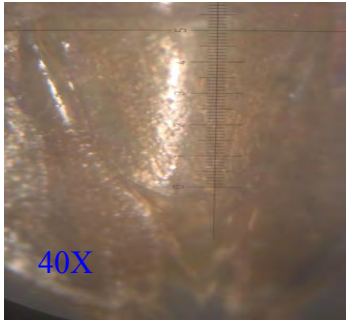

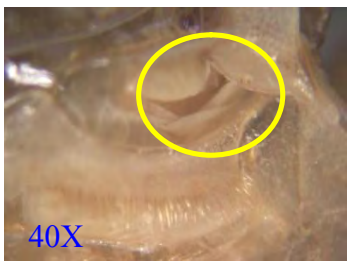
2、成蟲各部位構造及功能：將形態觀察的描述、手繪圖及攝影照片整理如下：





部位	描述	手繪圖	照片
頭部	<p>頭部為鈍角三角形：</p> <p>(1)兩顆複眼為咖啡紅的顏色，右圖為 20X 照片，若以 40X 倍率來觀察發現複眼上有無數的六角形小眼。</p> <p>(2)無單眼。</p>		
觸角	<p>(1)有四節。</p> <p>(2)隱生於複眼靠近中端眼尖下方。</p> <p>(3)觸角微小，約 1mm。</p> <p>(4)第四節末端邊緣有較多細毛。</p>		
口器	<p>為刺吸式口器，全長約 2mm，有三節，第二節最長約 1 mm，第一節朝外著生，二、三節朝內著生，與鳥喙相似往內微彎曲。</p>		

前足 捕捉足	<p>(1)前足跗節只有一節，特化呈鐮刀狀。</p> <p>(2)腿節膨大，其內側與脛節、跗節一側著生鉅齒狀突起，以利於鉗著獵物。</p> <p>(3)腿節內側有一長條凹槽溝，用於收納脛節與跗節。</p> <p>(4)腿節有多處帶狀黑灰色斑紋，脛節只有一處。</p>		<p>20X</p>
中足 游泳足	<p>(1)跗節為二節。</p> <p>(2)最前端前跗節為兩爪。</p> <p>(3)腿節、跗節與脛節內側著生細毛，其中跗節與脛節內側濃多且明顯。</p> <p>(4)腿節有較明顯的帶狀黑灰色斑紋。</p>		<p>20X</p>
後足 游泳足	<p>(1)跗節為二節。</p> <p>(2)最前端前跗節為兩爪。</p> <p>(3)跗節與脛節內側濃多且明顯。</p> <p>(4)腿節有較明顯的帶狀黑灰色斑紋。</p>		<p>20X</p>
腹部	<p>(1)腹部共六節</p> <p>(2)氣孔位於腹部背面第一節。</p> <p>(3)腹部背側邊緣著生濃密的細毛。負子蟲到水面上利用呼吸管吸入空氣儲存在翅鞘與腹部之間，藉由細毛有防水功能，因此形成類式氧氣瓶功能，能使其長時間潛沈在水中。</p>		<p>20X</p>
呼吸管 (雄)	<p>(1)長約 1.25mm。(2)著生濃密細毛。(3)呼吸管外側長有二叢剛毛，約長 0.375mm</p> <p>40X</p>	<p>40X</p>	<p>40X</p>

呼吸管 (雌)	(1)呼吸管長約 1.25mm。 (2)管上著生濃密細毛。 (3)型態較雄性呼吸管扁平、寬大。		
生殖板 (雄)	(1)雄性生殖板略呈銳角三角形。 (2)生殖板中央縱線比雌蟲生殖板略微壟起。 (3)底約 1.55 mm。 (4)高約 1.73 mm。(n=10)		
生殖板 (雌)	(1)雌性生殖板稍大略呈半橢圓形。 (2)生殖板末端有兩叢較長明顯的剛毛。 (3)底約 1.70mm。 (4)高約 1.51mm。(n= 10)		
氣孔	(1)剪去剛死去成蟲的上翅，在腹部(背面)第一節的左右兩側有明顯的氣孔。 (2)最右側照片為氣孔 40 倍率的放大圖，氣孔上部有兩片瓣膜，下方有纖毛圍繞。		

註：目鏡測微尺上的每一個最小刻度在放大倍率是 20X 時是 0.05mm，在 40X 時是 0.025mm。

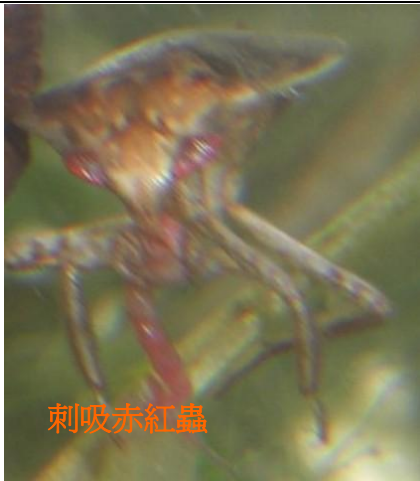
(三)討論：1、四、五齡若蟲由於食量較大，因此我們改以餵食麵包蟲。在餵食前皆會剔除前日食餌的屍體外皮，以防水質惡化(長霉菌)，造成負子蟲死亡。2、剛產下的卵其卵長較短，顏色為淡黃色，到了孵出(約 7 天)前，顏色變成黃棕色，呈圓柱狀，其卵長約為剛產下時的 2 倍，這是因為卵胚胎發育的結果。3、若蟲孵化後次日需將其分開獨立飼養，否則會互相刺吸，即使分開飼養，一齡若蟲死亡率極高，將近有一半會死亡，二齡至五齡較穩定成長，屬於幼年高死亡型。4、蛻皮前，靜止不動也不進食，身體略微發脹，之後若蟲從前胸背板爬離而出；依序出殼為胸部→頭部→前足→中足→後足→腹部；整個脫離過程約需花費 30 分鐘，脫完皮後，若蟲依舊靜止不動，身體呈現黃色偏綠，約需三小時體色才完全變為淡咖啡色系。5、野外捕捉的成蟲，雌蟲體長與體寬皆比雄蟲大(n=20)，但無顯著差異。6、負子蟲在水面上藉由呼吸管吸氣後，會將氣體儲存翅鞘與腹部背面之間，並藉由腹部周圍有防水毛所環繞，因此形成一個儲氣裝置，以提供氣體能從腹部背面的氣孔進入，而能在水中生存。

【研究三】探討負子蟲的生態棲位

一、負子蟲喜歡吃什麼食物？

(一) 方法：餵食不同的食材:子孓(家蚊)、蘋果螺、石田螺、椎實螺、福壽螺(卵)、囊螺、網蝥、扁蝨、大肚魚、孔雀魚、黑(金)姑娘魚、水蠶(豆娘、蜻蜓)、水黽、赤紅蟲、蝌蚪(赤蛙科及黑眶蟾蜍)、麵包蟲、螻蛄、松藻蟲、姬牙蟲、姬龍蝨、蝦子、小雨蛙、蘋果、柳丁、橘子、雞胸肉、蔥、青江菜、哈密瓜。





刺吸赤紅蟲



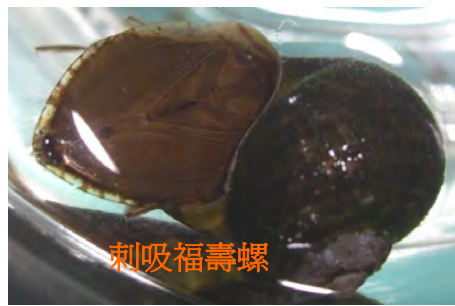
刺吸水蠶(豆娘)



刺吸扁蝽



刺吸蒼蠅



刺吸福壽螺



刺吸黑殼蝦



刺吸福壽螺卵



蘋果、柳丁、橘子、雞胸肉、蔥、青江菜、哈密瓜實驗組



刺吸水黽



刺吸黑姑娘魚



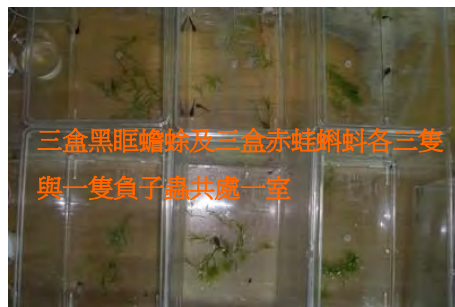
刺吸囊螺



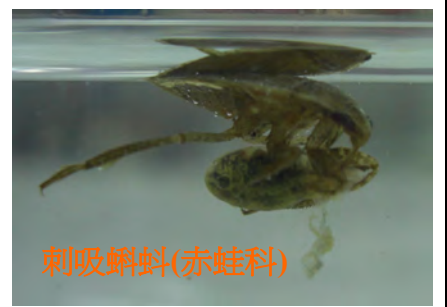
刺吸蘋果螺



背卵雄蟲仍會進食





三盒黑眶蟾蜍及三盒赤蛙蝌蚪各三隻與一隻負子蟲共處一室



刺吸蝌蚪(赤蛙科)

(二) 結果：對於不同食材的進食結果

會刺吸的食材	不會刺吸的食材	
孑孓(家蚊)、蘋果螺、石田螺、椎實螺、小型的福壽螺及螺(卵)、囊螺、扁蝨、網蝨、大肚魚、孔雀魚、黑(金)姑娘魚、水蠶(豆娘、蜻蜓)、水黽、赤紅蟲、蝌蚪(赤蛙科及黑眶蟾蜍)、仰泳椿、麵包蟲、螻蛄、姬牙蟲、姬龍蟲、蝦子、雞胸肉、蒼蠅、水蛭、小雨蛙	蘋果、柳丁、橘子、蔥、青江菜、哈密瓜	
		

(三)討論：**1**、當負子蟲掛住小魚之後，馬上將刺吸式口器插入魚體內(有些在魚腹部、有些在魚背部)，起先魚擺盪很大，漸漸地呈現昏迷狀態，好像被麻醉了，最後鰓蓋停止開合，即死去;此與我們的切身經驗一樣:我們曾經在抓負子蟲時有被叮刺到，當下的感覺非常的痛(比蚊子叮到還痛)，而且麻麻的，我們推測負子蟲的口器內含有某一種成分具有麻醉效果，才能使獵物被叮刺後呈現昏迷狀態。**2**、刺吸姬牙蟲及姬龍蟲時(鞘翅目)，刺吸部位都選在獵物的頭部與前胸背板接縫處及腹部尾端，我們推測這些部位是獵物最柔軟、脆弱的地方，因此負子蟲在掛住獵物、注入麻醉液使其昏迷後，會利用各足旋轉獵物尋找最柔軟、脆弱的部位，再吸食體液，最後只剩下動物的(外)骨骼或皮。**3**、實驗結果與文獻相符，屬於肉食性動物，即使是非水中的動物也會吸食，例如不慎掉入水中的螻蛄、蚊子、蒼蠅…等。**4**、在吸食黑眶蟾蜍蝌蚪時，未完全吸食完畢而且捕獲率也較低，推測可能與黑眶蟾蜍的蝌蚪本身具有毒性有關;而在吸食赤蛙科的蝌蚪時便會吸食完畢而且捕獲率也較高。**5**、我們試過不同體型的福壽螺給負子蟲當獵物，只有比負子蟲小的或體型相當的才會被吃食剩空殼，我們推測大型的福壽螺其螺肉質地較堅硬，負子蟲的口器較難刺入，因此比較少把大型的福壽螺當目標獵物。

二、 負子蟲的耐飢力是多久?

(一) 方法：**1**.將十隻負子蟲分別放入鬥魚杯中(水源為自來水曝氣二天)，杯中放水蘊草使其攀附。**2**.早上將其放在室外，下午移入室內。**3**.記錄觀察負子蟲能不進食而能存活多久。

時間:99年12月8日到100年4月14日



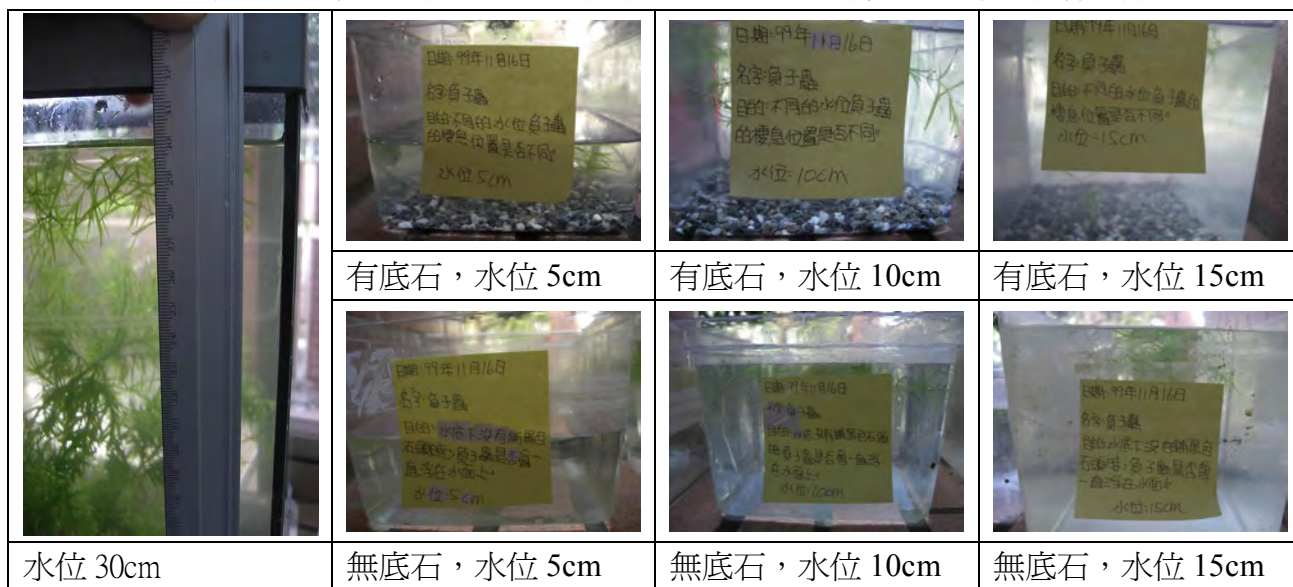
(二)結果：我們發現實驗中的負子蟲，除非人為干擾，否則幾乎不動。直到100年4月才有負子蟲死亡。

(三)討論：負子蟲飢餓狀態時，為節省其能量消耗，幾乎攀附在水草上不動，因此可維持約5個月的生命力。

三、 負子蟲喜歡棲息在水體中的上、中、下哪一層呢?

(一)方法：**1**.在水位30cm的魚缸(有沉水性植物、底質沙石<10mm)，放入30隻負子蟲成蟲。

2.在水位 5cm、10cm、15cm 的塑膠飼養箱(有沉水性植物、底質沙石< 10mm)分別放入 5 隻負子蟲成蟲。 3. 在水位 15cm、10cm、5cm 的塑膠飼養箱(有沉水性植物、無底質沙石) 分別放入 5 隻負子蟲成蟲 4.每日觀察兩次，觀察時確定靜止再記錄棲息在哪一水層，持續一週。



(二)結果：1.無底石組：不管水位多高，負子蟲皆在上層或攀附住水草。 2.有底石組：不管水位多高，負子蟲除了到水面上吸氣外或爲了到水面上吸氣而攀附住水草，大部分時間隨即皆躲置底石石縫間。

(三)討論：水位的高低不會影響負子蟲棲息位置的選擇，主要因素在於是否有隱蔽處，如果沒有隱蔽處，負子蟲皆在水面上下漂浮著；在水體裡放置底石，無論水面高低，負子蟲便會躲匿於石縫間，避免被天敵發現，少部分攀附在水草上。

四、負子蟲喜歡哪一種底棲環境呢？

(一) 方法 1：負子蟲比較喜歡在哪一種顏色的底棲環境呢？

(1)將顆粒大小相似(5~9mm)、顏色不同(黑與白)的底石布置在水箱兩側，放入 40 隻負子蟲成蟲。(2)每日 8 時及 13 時觀察，記錄隻數時利用紗網從中間擋住，避免清點時游至另一邊，造成清點錯誤，記錄持續五天。(3)計數方式：躲藏在底石及在水面上換氣的都計數在內。(4)每日餵食麵包蟲十隻，平均分散位置投擲，以排除餵食地點而影響實驗結果爲原則。

(二)結果 1:

時間	顏色	白色底石一邊	黑色底石一邊
99.11.15 早上 8:00		16	24
99.11.15 下午 13:00		11	29
99.11.16 早上 8:00		18	22
99.11.16 下午 13:00		14	26
99.11.17 早上 8:00		17	23
99.11.17 下午 13:00		9	31
99.11.18 早上 8:00		15	25
99.11.18 下午 13:00		13	27
99.11.19 早上 8:00		17	23
99.11.19 下午 13:00		14	26
平均出現隻次		14.4	25.6

(二)結果 1:大部分的時間負子蟲待在黑色底石那一側，尤其在底部，頭部及胸部及大部分的腹部儘可能都埋藏在底石裡，微微地露出腹部尾端。



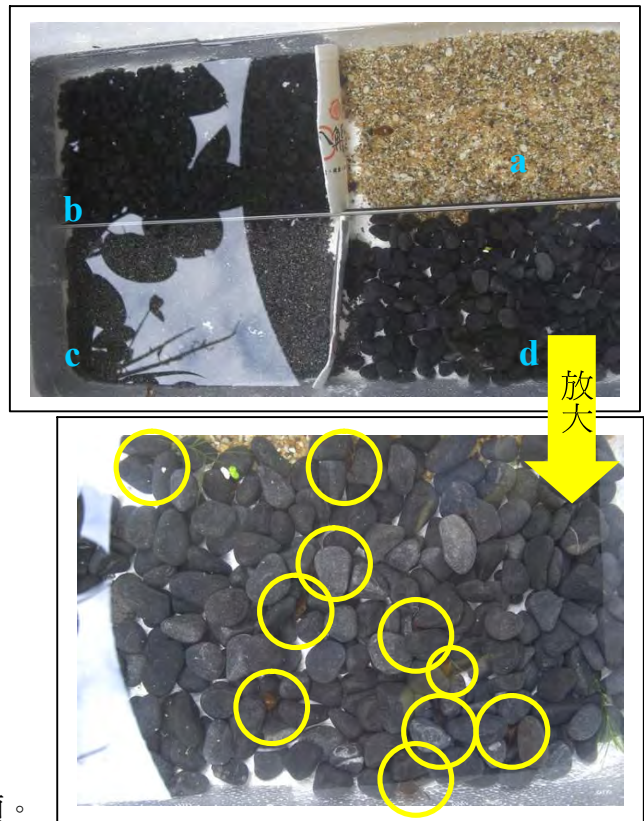
註:實驗過程中有六隻負子蟲死亡，可能因互相爭鬥

而亡，死亡數以屍體位置處列入計數，隨即補足數量，使其原始實驗數目維持在 40 隻。

(一)方法 2：負子蟲比較喜歡在哪一種顆粒大小的底棲環境呢？

(1)在保麗龍箱(57cm×35cm×13cm)劃分均勻的四等分。(2)砂石清洗乾淨曬乾後，利用篩網將砂石分成四種等級，分別是 a:2.5mm、b:14mm、c:3.5mm、d:26mm,平鋪於四等分中。(3)取十五隻負子蟲放入保麗龍箱。(4)每日上午 8 時及下午 1 時觀察，記錄持續五天。

時間 \ 顆粒大小	a	b	c	d
99.11.22 早上 8:00	2	1	1	11
99.11.22 下午 13:00	1	1	1	12
99.11.23 早上 8:00	2	2	1	10
99.11.23 下午 13:00	3	1	0	11
99.11.24 早上 8:00	0	3	0	12
99.11.24 下午 13:00	1	4	1	9
99.11.25 早上 8:00	1	1	1	12
99.11.25 下午 13:00	1	1	0	13
99.11.26 早上 8:00	0	4	1	10
99.11.26 下午 13:00	3	0	0	12
平均出現隻次	1.33	1.67	0.33	11.67



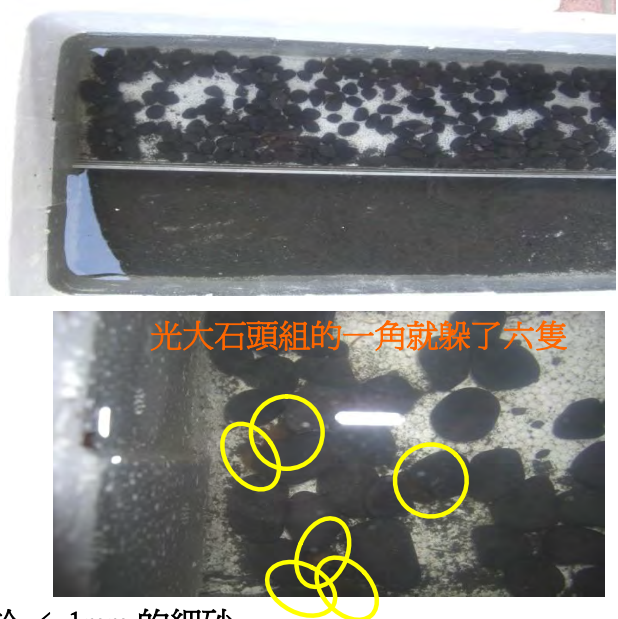
註：1.四捨五入取至小數第二位。2.實驗過程中有 2 隻負子蟲死亡，死亡數以屍體位置處列入計數，隨即補足數量，使其原始實驗數目維持在 15 隻。

(二)結果 2:負子蟲比較喜歡躲藏 26mm 的大石頭。

(一)方法 3：負子蟲比較喜歡躲藏在極細顆粒或方法 2 中 26mm 的大顆粒下呢？

(1)在保麗龍箱(57cm×35cm×13cm)劃分均勻的二等分。(2)將細砂(< 1mm)與礫石(26mm)平鋪於兩側。(3)取十隻負子蟲放入保麗龍箱。(4)每日上午 8 時及下午 1 時觀察，記錄持續五天。

時間 \ 顆粒大小	細砂(< 1mm)	礫石(26mm)
99.11.29 早上 8:00	0	10
99.11.29 下午 13:00	1	9
99.11.30 早上 8:00	0	10
99.11.30 下午 13:00	2	8
99.12.01 早上 8:00	0	10
99.12.01 下午 13:00	1	9
99.12.02 早上 8:00	2	8
99.12.02 下午 13:00	1	9
99.12.03 早上 8:00	0	10
99.12.03 下午 13:00	0	10
平均出現隻次	0.7	9.3



(二)結果 3:負子蟲仍然較喜歡 26mm 大石頭勝於 < 1mm 的細砂。

※右上圖為實驗裝置圖，下方細砂區連一隻負子蟲都沒有。


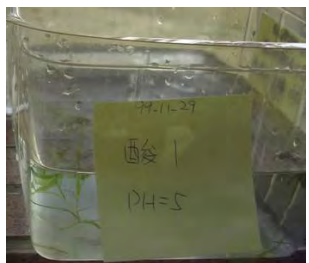
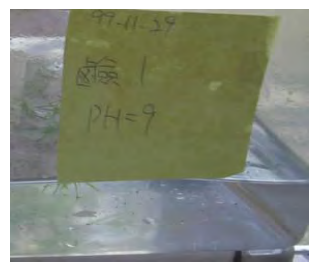

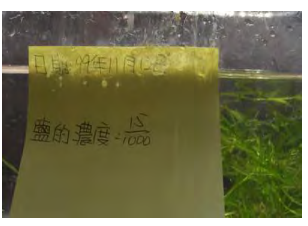


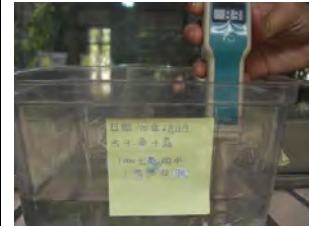
右下圖為大石頭之一隅便躲藏了六隻負子蟲。





(三)討論：**1.**上述三項實驗每日皆有餵食以避免負子蟲因飢餓而互相攻擊，然而實驗過程中仍有負子蟲因**種內競爭**(可能爲了交配權)而死亡，記錄其死亡位置處後便與之撈起再補足至原實驗隻數。**2.**方法2中，設計a與c底棲石粒顏色不同但顆粒大小相似的環境，其中a(褐黃色)與負子蟲顏色最相近，假設可能因有保護色的原故會躲藏棲息較多，然而結果是較大顆底棲環境的d躲藏較多負子蟲。最後我們設計方法3。**3.**從實驗結果3我們得知**負子蟲較喜歡躲棲於大石頭優於微細砂石**。綜合上述，我們推測由於大石頭間隙較大，負子蟲能較輕易躲藏於石縫間，比起躲藏在較細小的、間隙較密的砂石其遮蔽自身面積相對較大，即使是與自身顏色相近的環境(有保護色)，仍然躲在石頭間隙大的。因爲負子蟲需利用前足挖掘才能躲藏於內，以能量的消耗需求是後者大於前者，因此負子蟲選擇花費較少能量的方式躲藏於大縫隙間。

五、負子蟲對水質的要求高嗎?(耐酸鹼度、耐溫度、耐鹽度、濁度、受汙染的水)

發想：由於我們也有在溝渠中發現負子蟲，該溝渠的水源有田間放流水、家庭汙水，其最終可能流入潮間帶至大海，因此我們模擬家庭汙水、河口的鹽度…等水質是否對負子蟲造成威脅，**進而評估負子蟲適不適合當作水質監測的生物指標。**

(一)方法:**1.耐酸鹼度實驗**調配酸鹼度分別爲 pH5、pH6、pH8、pH9 等水溶液各三盒，每盒各放一隻負子蟲。**2.耐溫度實驗**設置三盒實驗組，每盒 1 隻，利用控溫棒加溫，使其控溫在 25℃、28℃、30℃，另外利用冰桶加冰塊控溫在 10℃，冰桶內放入保麗龍，使其攀抓，觀察負子蟲的行爲，重復上述實驗 5 次。**3.耐鹽度實驗**調配鹽度分別爲 5 ppt、10 ppt、15 ppt 等濃度的實驗組，每盒各放一隻，觀察並紀錄，重復上述實驗 5 次。**4.濁度實驗**利用沙奇盤標籤組，在水體中加泥土至看不到水底沙奇盤標籤，即調到濁度爲超過 100NTU，放入負子蟲，重復上述實驗 5 次。**5. 受汙染的水**:分別調配溶質爲肥皂 1mg、0.5mg、0.1mg、0.01mg 及溶劑 1000ml 的肥皂水溶液 4 盒及溶質爲洗碗精 1 滴(約 1c.c.)、5 滴(約 5c.c.) 及溶劑 1000ml 的洗碗精水溶液 2 盒，每盒各放一隻負子蟲，重復上述實驗 3 次;3 盒鬥魚杯，各放入一隻負子蟲，在杯內加入沙拉油，使其水面上浮著一層油。**6.校園水溝的水**:撈取校園水溝(來源爲生活汙水，如洗手肥皂用水、洗碗沙拉脫用水、牙膏泡沫…等)的水 6 組來飼養負子蟲，並測其**水溫、溶氧、pH 值**觀察其存活情形。以上各項實驗每天定期餵食。

			
在溝渠中發現負子蟲	酸鹼度實驗	酸鹼度實驗	耐低溫實驗
			
耐鹽度實驗	濁度實驗	肥皂水溶液	1 滴洗碗精水溶液

			
沙拉油水溶液	校園水溝的水	校園水溝的水	DO 測量

(二)結果：1.在酸鹼度實驗持續一週後，pH5 及 pH9 的負子蟲呈現奄奄一息狀態，我們便終止實驗。2.在 30°C 組中，每次實驗負子蟲皆會爬至加溫棒線上，離開水面。3.在 10°C 組中，負子蟲會爬上保麗龍離開水面。4.在 15 ppt 鹽度濃度的實驗組，經過一天後，負子蟲呈現奄奄一息狀態，其中有兩次(隻)撈出後不久便死亡。5.在濁度實驗中，所有的負子蟲皆活動自如。6.除了肥皂 1mg 水溶液及洗碗精 5 滴水溶液及沙拉油實驗中的負子蟲呈現虛弱狀態及死亡外，其餘皆活動自如。7.校園水溝的水實驗中(pH 為 7.9)，每組皆活動自如。

(三)討論:1.從結果 1：我們推測負子蟲的酸鹼耐受度為 pH5~pH9，而一般埤塘、溪流其酸鹼度正常情況下平均為 pH6.8~8.2 之間，而且在我們所測得的自製汙染水體的 pH 值最高為 8.7 (包含校園水溝的水 pH 為 7.9)，因此我們推論負子蟲可以在野外水體 pH5~pH9 的環境生存的很好。

2.從結果 2：我們推測負子蟲的溫度耐受值為 10°C~30°C，但野外水體夏季中午的水溫常超過 34°C，我們推測此時負子蟲大都爬離水體，到浮水性植物上面，此與我們到野外採集(中午 1:30)時偶而發現負子蟲在菱角葉上的現象一樣。3.從結果 3：我們推測負子蟲如果隨著溝渠到河口附近(鹽度約 6~10ppt)仍然可以存活。4.雖然洗碗精 5 滴水溶液其 pH 值為 8.5 仍在負子蟲適應範圍，但為什麼會導致死亡呢?我們觀察到該水溶液水面上皆是泡泡，而負子蟲一直想將呼吸管伸出水面呼吸，但突破不了，此與沙拉油實驗組狀況一樣，是窒息死亡。因此我們推論負子蟲是一種適應力很強(水陸兩棲)的水生昆蟲，除非水面上有突破不了的物質導致其窒息死亡，否則負子蟲的生存力極強，因此若發現有負子蟲死亡的水體，該水體可能屬於重度汙染或表面水體有不透水物質覆蓋。

【研究四】探討負子蟲的動物行爲

一、負子蟲的一般行爲有哪些? ※清潔身體:負子蟲有哪些自潔的動作呢?

(一)方法：觀察負子蟲清潔身體各部位的情形，並紀錄清潔的時間

(二)結果：


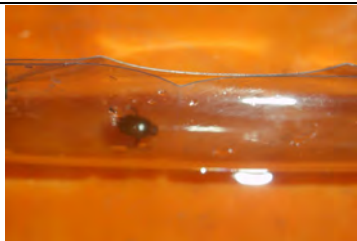

清潔部位	清理方式	圖例	清潔時間	清潔頻率
呼吸管	1.以中足支撐攀附住身體後，利用後足來回交叉清刷呼吸管;雄與雌皆有此行爲。 2.清理中或清理後有時呼吸管會來回伸縮。 3.此行爲後有時會射出分泌物。		間歇性 30~60 秒 皆有。	☆☆☆

後足	1.後足交互摩擦 2.中足摩擦後足		4~7 秒	☆☆
中足	前足刷中足		3~5 秒	☆ (較少出現)
口器	以前足上下交替刷其刺吸式口器		3~5 秒	☆ (較少出現)

(三)討論：1.清潔呼吸管行為有時會伴隨求偶行為出現，即上下震動(求偶行為)完後出現。
2.捕食前會有刷口器的動作，但不容易觀察得到。

※**游泳行為**：負子蟲的游泳姿勢如何，游速多快？

(一)方法：1.觀察負子蟲游泳的方式。2.挑選雄雌各五隻，利用自製的游泳通道(起始點至終點為 20cm)，以碼錶記錄游全程一次的時間。3.每隻測五次，雄雌各測二十五次，取二十次(刪除差異過大的)時間數據來求平均花費時間，再利用 20cm 除以平均花費時間，計算游泳的平均速率並且與姬龍蝨、姬牙蟲的平均速率(以同方法求得，但不分雄雌)做比較。4.水溫以控溫器設定在 25°C

		
測負子蟲的游速	測姬龍蝨的游速(近拍)	測姬牙蟲游速(近拍)

(二)結果 1：負子蟲游泳方式為中足與後足的左右兩肢皆同步向後划(類似蛙式游泳)，前足兩肢則併攏伸直，有點像「鬼」伸手追人一樣。

結果 2：
(n=20)

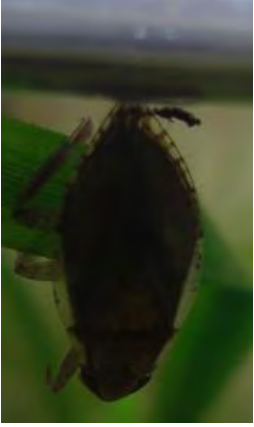

雄負子蟲	雌負子蟲	姬龍蝨	姬牙蟲	註：四捨五入至小數第二位
5.94(cm/s)	7.55(cm/s)	5.68(cm/s)	5.98(cm/s)	

(三)討論：1.測量速率時，若施測同一隻太多次，怕會有因疲累而游速變慢的因素，因此每一隻只測定五次；測量時若遇有往回游者，便重測一次。2.雖然負子蟲、姬龍蝨(前足、中足前後交叉擺動，後足左右同步划動)、姬牙蟲(各足前後擺動，類似狗爬式)游泳方式不同，不過游速差異不大，惟雌負子蟲游速較快些。我們推測可能與同種間交配權有關；由於雄負

蟲發情時，會在水面上做上下起伏的動作，使水面產生波紋吸引雌負子蟲，雌負子蟲感受到後便會朝波源處游去(在「從身邊找昆蟲很有趣」一書中記錄雌負子蟲會到水面上做上下起伏的動作來吸引雄負子蟲，此說法我們已經證明其誤謬)，因此天擇壓力下，使得雌負子蟲演化出游速較快的能力與其他同性雌蟲競爭，以較快的游速到達雄蟲那交配。

※**潛水多久**：負子蟲在水面上呼吸一次後可待在水裡多久？

- (一)方法：1.觀察負子蟲伸出呼吸管的行為，並記錄至水面上呼吸的間隔時間(即潛水時間)。
2.隨機從大魚缸中選取五隻，每隻記錄五次，共計二十五次。 水溫:25°C 水深:30cm

呼吸管伸至水面上吸氣		記錄吸氣後潛入水中，再次上來吸氣的時間間隔
	 此負子蟲正刺吸姬牙蟲並游至上方吸氣	

(二)結果:

單位(分'秒'毫秒)	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻
第一次潛水	13'58'50	10'25'32	21'30'52	22'41'12	21'47'23
第二次潛水	15'20'72	13'21'45	12'15'26	21'36'18	18'52'42
第三次潛水	10'25'32	14'26'42	15'24'36	16'14'36	16'54'42
第四次潛水	22'12'53	21'41'36	17'24'54	24'15'42	20'47'23
第五次潛水	23'02'49	19'45'67	22'05'42	21'24'15	17'54'23
潛水時間平均	17'4'11	16'12'4	18'0'2	21'6'5	19'11'11

※五隻潛水時間平均為 18'7'7

(三)討論：1.若負子蟲處於無環境危機的狀況(無干擾)，會到水面下一直將呼吸管伸出水面上，最長紀錄為一整個白天(約 8 小時)。2.一般情況，負子蟲至水面上吸氣所停留的時間約 20 秒左右，「儲氣裝置」飽



滿後便往底棲環境游去;待其「儲氣裝置」沒氣了，有時快速地往上游;有時頭朝下尾端朝上慢慢地往上游至水面上吸氣。

※ **噴出分泌物**:遇到危險時，牠會有怎樣的反應?(雄、雌皆會)

- (一)方法：1.壓迫負子蟲腹部尾端。2.近距離擾動時。3.在夾鏈袋裡輕壓負子蟲腹部尾端收集負子蟲的噴出分泌物，再利用 pH 儀量測其酸鹼度。



(二)結果：**1.噴射距離最長記錄有 22cm 之遠。** **2.分泌物有一股異味**
3.分泌物的酸鹼度為 7.7。 **4.雄雌皆會噴出分泌物。**

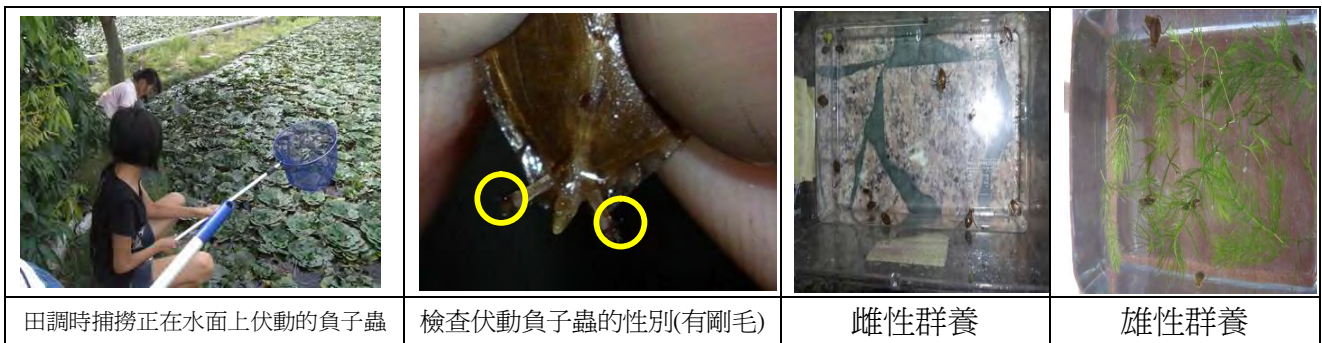
(三)討論:我們在分辨雄雌時須壓迫負子蟲腹部尾端，使其呼吸管伸出，此時意外發現負子蟲會噴出分泌物，因此之後我們特別在平時觀察時留意是否還會有此行為發生;結果有時我們抓起負子蟲尚未壓迫負子蟲時，牠就噴出分泌物了，我們推測負子蟲利用此行為來自我保護或反擊，而且在我們群養負子蟲的水族箱上所蓋的紗網也有分泌物的痕跡，可能遇到同種間的威脅時所噴出的結果。



二、傳宗接代四部曲:求偶行為、交配行為、生殖行為、輔育行為

※ **求偶行為**:求偶行為的模式?只有雄性會嗎?雄性群養會發生求偶行為嗎?

(一)方法：**1.田調時捕撈正在水面上伏動的負子蟲，並辨識其雄或雌。** **2.長期觀察群養的雄性**
及群養的雌性。 **3.長期觀察配對的成蟲及群養的成蟲。**



(二)結果:**1.田野調查時，屢屢捕獲在水面上伏動的負子蟲皆是雄性(n=8);**曾經在某一菱角田樣區之一隅約四平方公尺大小發現有高達五處正在上下伏動，振盪的力量可使水面上的菱角葉也跟著起伏。**2.在單一雄性(n=10)及單一雌性(n=10)各自獨立飼養箱中，沒有發現有任何的上下起伏行為。****3.在配對及雄雌群養環境中有發現雄蟲上下起伏的行為。****4.只要雄蟲有東西(水草、石礫、沉木)攀附，上下起伏行為不一定都在水面上，觀察時也有發現在水中、底棲環境下…等。****5.伏動的行為是前足、中足、後足皆攀附在物體上，同步上下振動，以後足振盪的幅度較大，**記錄中伏動最長為 20 多分鐘，但並非一直伏動，中間會有短暫幾秒停滯，平均伏動秒速為 2.32 次/秒(n=5)。

(三)討論:**1.從實驗結果可知在沒有雌性環境下的雄性負子蟲是不會有求偶行為;**觀察過程中，在雌雄群養環境中有發現距離不到 10cm 的兩隻雄性負子蟲皆在做求偶行為，約 5 分鐘之久，有雌性負子蟲游至體型較大的雄性身旁，我們推測雌性負子蟲會依據振盪較大的水波來選擇雄蟲，**屬性擇理論的雌性選擇。** **2.求偶行為的平均計數方法是以持續伏動中所花的時間裡共上下振動幾次來計算的，若中間有停止，便不計數時間;來回上下振動代表一次。**

※ **交配行為、生殖行為**:交配、生殖是如何進行的?一隻雄蟲最多能背負多少顆卵呢?

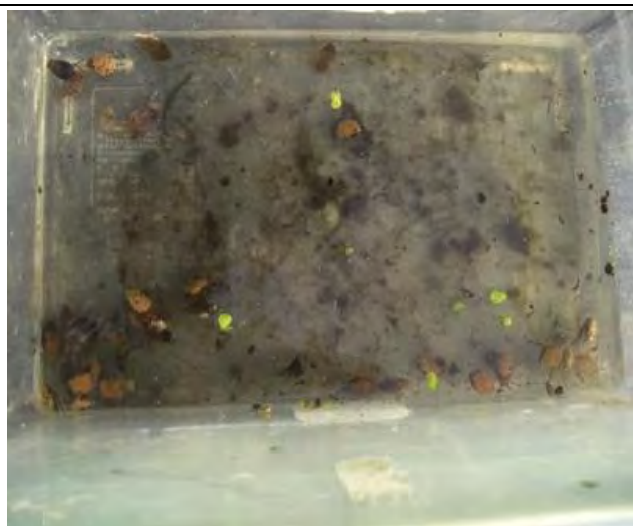
(一)方法：**1.長期觀察群養中的負子蟲成蟲及配對的成蟲。** **2.計算室內飼養雄蟲的背卵數**
與野外捕撈雄蟲的背卵數。 **3.先將野外所捕捉到的背卵雄蟲背部外型輪廓描繪在便條**
紙上，再將描好的外型輪廓描到方格紙上(除了頭部之外)，以便求取背部面積。



配對模式有一雄一雌、一雄二雌、一雌二雄



配對模式有一雄三雌、一雌三雄



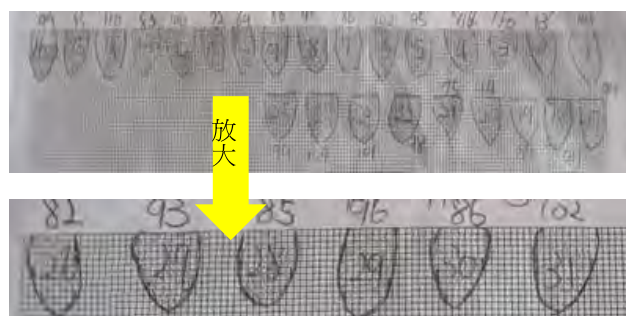
野外所捕捉到的背卵雄蟲之一



計數卵數時以電腦小畫家程式做計號來計算



將背卵雄蟲背部外型輪廓描繪在便條紙上,剪下便條紙再將便條紙放在方格紙上描繪出來。




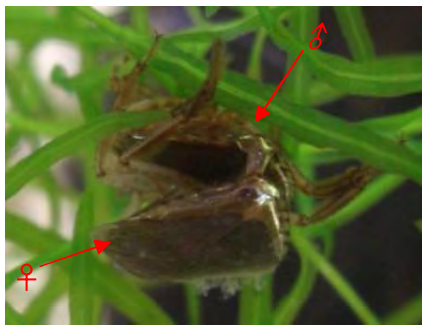
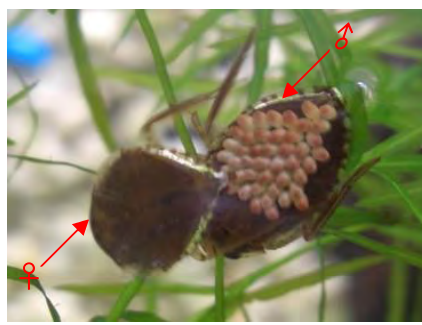
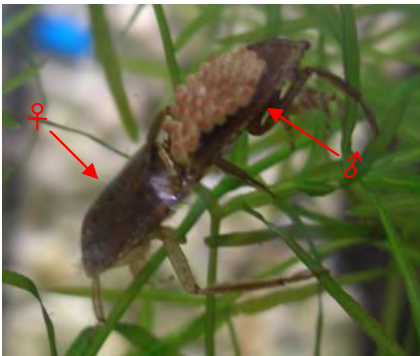
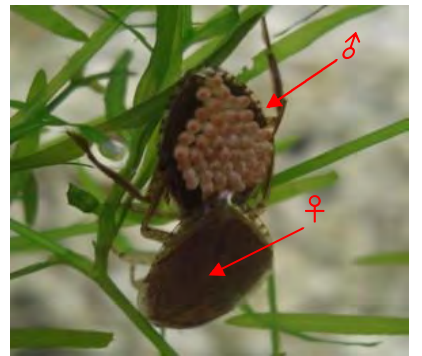

方格紙上的每一小格為1平方毫米,圖形內數字代表序號,共有31隻背卵負子蟲,圖形外數字代表共有多少格,即除了頭部以外,負子蟲背部的面積。例如26號面積為82mm²

(二)結果:1.雌蟲感受到雄蟲的求偶行為所產生的水波訊息後,會游至雄蟲周圍攀附物體,此時雄蟲持續做求偶行為,直到雌蟲攀附住雄蟲上方才停止,當雌蟲攀附住雄蟲後,有時即開始交配,有時雄蟲會背著雌蟲游至他處;交配時雄蟲會伸出其呼吸管往雌蟲呼吸管附近伸進伸出,好像在摩擦雌蟲的腹部末端;之後開始交配,每交配一次約13.6秒(n=32)。交配後便開始

產卵，雄蟲會主動移到雌蟲適合產卵的位置，大部分為交配一次產卵一粒，有時會交配二、三次才產卵一粒。產一粒卵的時間約 1 分 53 秒(n=27)。2. 室內飼養所產的卵最多只有 45 粒，而野外捕捉的最多有 81 粒。3. 並非背部面積愈大，背卵數愈多，野外捕捉紀錄呈現如下表：

號次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
面積 mm ²	108	83	72	96	95	102	86	95	86	69	
卵數	69	72	67	77	57	74	57	75	77	77	
號次	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
面積 mm ²	72	100	83	110	85	99	99	97	87	94	
卵數	70	73	49	74	72	49	77	81	81	52	
號次	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
面積 mm ²	75	98	101	104	99	82	93	85	96	86	102
卵數	72	51	62	30	28	70	50	54	60	51	52

◇以 14 號、18 號、19 號來作比較的話：可看出背部面積最大不一定背卵數是最多的。





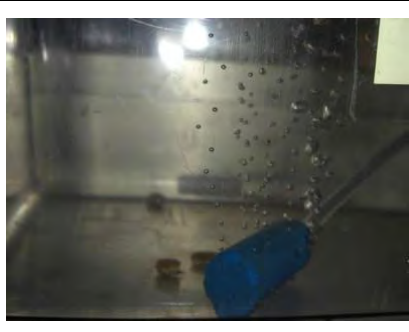

		
有時雄蟲會背著雌蟲游至他處	雄蟲會伸出呼吸管往雌蟲呼吸管附近伸進伸出	產卵時，雄蟲會「橋」合適的位置給雌蟲產卵
		
每產完一粒卵又再交配一次	交配完又再次產卵	另一隻雌蟲也要來交配

※註：產卵順序為雄蟲背部翅鞘末端開始，直至小盾板位置。

(三)討論：1. 有文獻記載，負子蟲的卵有雙層疊在一起，但我們長期觀察結果不管是室內飼養或野外捕獲完全沒有重疊的卵，這是與文獻有出入的地方。2. 野外捕獲的背卵負子蟲往往比我們自己室內飼養所背的卵還要多，我們推測野外的雄蟲所背的卵可能與兩隻以上的雌蟲交配所產的卵，因此比較多，如同在室內群養箱中，我們觀察到有另一隻雌蟲試圖到正值交配的負子蟲附近，但最後被產卵中的雌蟲所驅離，因此如果原雌蟲已產完卵離開後，後來另一隻雌蟲又再與雄蟲交配，那卵數一定會較多。3. 野外所捕獲的背卵雄蟲 11 號，其背部面積(72 mm²)與卵數(70 粒)比例接近 1:1，可見雄蟲與雌蟲交配所產的卵數，除了頭部以外可將雄蟲背部(翅鞘及小盾板)幾乎完全覆蓋。

※**輔育行爲**：輔育行爲是如何進行的?非親生雄性也會有輔育行爲嗎?沒有雄蟲輔育的卵塊會孵化嗎?

(一)方法: 1.長期觀察已背卵的雄蟲有何種特殊的行爲。2.將脫落的卵塊利用到藥局所買的液態絆黏附在非親生雄性翅鞘上，觀察是否會繼續背卵。3.將脫落的卵塊分成五組，每組各 3 個卵塊，分別設置在(1)乾燥的培養皿。(2)潮溼的棉花。(3)已曝氣的自來水中(卵塊沉到水底)。(4)已曝氣的自來水中加上打氣 pump(卵塊沉到水底) (5)直接由雄蟲來背負卵塊；觀察孵化結果並計算其孵化率。(持續觀察三週)

		
用液態絆黏附卵在非親生雄性翅鞘上	在潮溼的棉花上的卵塊孵化的若蟲	卵塊沉浸於已曝氣的自來水中
		
從雄蟲背上卵塊孵化的若蟲	卵塊沉浸於有打氣 pump 的水中	利用 USB 電子顯微鏡照攝即將孵化的若蟲

(二)結果: 1.背卵的雄蟲會在水面上或水底下攀附住物體做類似求偶的動作(上下伏動)，期間會間歇停下來數秒再繼續，平均伏動秒速為 2.45 次/秒；沒遇到干擾時，大部分的時間靠近水面上，將卵露出水面。 2.將卵塊黏附在非親生雄蟲翅鞘上時，該雄蟲會利用後足伸展到背上做持續將卵刷落的動作，直到刷落為止。 3.脫落的卵塊孵化結果如下表:

卵塊位置	乾燥的培養皿			潮溼的棉花			已曝氣的自來水中			加上打氣 pump			背負卵塊的雄蟲		
	51	62	72	77	73	49	77	57	69	74	57	75	54	60	81
卵粒數量	51	62	72	77	73	49	77	57	69	74	57	75	54	60	81
孵出若蟲隻數	0	0	0	60	58	32	2	0	3	5	4	6	51	58	77
孵化率	0	0	0	77.92%	79.45%	65.30%	2.59%	0	4.34%	6.7%	7.01%	8%	94.4%	96.6%	95.06%
平均孵化率	0			74.22%			2.31%			7.24%			95.35%		

(三)討論: 1.雄蟲背卵伏動不一定都在水面上，在水面下也會做伏動的行爲;我們推測雖然水體中的溶氧比起裸露在水面上少，但至少可減少被天敵發現的機率，況且在水面下也有做伏動的行爲，會使卵與水體的接觸表面積增加，進而增加卵的溶氧量，如同搖蚊幼蟲在水體中會藉由身體扭動增加與水的接觸表面積，增加溶氧量;但整體而言，負卵的雄蟲仍以將卵裸露在水面的機會較多。 2.若蟲破卵殼尚未脫離卵殼時，背面朝雄蟲頭部那方，腹面朝尾端那方，此時雄蟲會時常有游泳的行爲發生，我們推測此行爲藉由雄蟲往前游的力量能順利幫助若蟲脫離卵殼。

【附帶一提】:若蟲孵出時間約 2 分鐘，若蟲本身會抖動掙脫出卵囊，但沒有雄蟲游泳的衝力不一定掙脫出來;在潮溼棉花上卵塊的組別，部分若蟲雖有孵化，但卡在卵殼間，出不了因而死亡，因此雄蟲的往前游動也是孵化率高的關鍵因子。

3.除了本實驗的負卵雄蟲之外，其他飼養過程中發現**負卵的雄蟲有時會因為受驚擾或被捕捉過程中將卵脫掉**，有時卵塊也會被其它負子蟲攻擊，甚至有時還會刺吸自己所脫落的卵塊，因此若卵塊脫落後便不再是”模範父親”了，**即不會有護卵行爲了**。我們**推測背卵的雄蟲若遭遇對本身比較大的危機時便會將卵塊脫落，以減輕重量使其能順利脫逃**，畢竟留得青山在不怕沒材燒。

4.卵塊之所以會黏著在雄蟲翅鞘上是由雌蟲生殖附腺所分泌的膠質當黏著劑，但是一旦脫落便不再具有黏性，因此我們找出具有防水又不傷害負子蟲的黏著劑，因此我們以對人體無傷害性的黏著劑來思考，試過很多種黏著劑，有樹脂、睫毛膏……等，但效果皆不好，最後我們到藥局詢問購得對試用於人體受外傷時所敷用的「**液態絆**」，**其黏性最好、防水性佳**，但實驗中非親生雄蟲仍一直有後足將卵塊刷下的行爲，直到刷下動作才停止，我們**推論由於不是自己親生的卵塊，因此非親生雄蟲並不會有親養投資**，而將卵塊黏附回親生雄蟲翅鞘上，雄蟲仍有一直背附的行爲，未來會繼續實驗以假卵塊黏在背上觀察是否有輔助行爲。

5.**孵化率**由高至低分別為**背負卵塊的雄蟲組> 潮溼的棉花組> 加上打氣 pump 組> 水中組(沉落水底) > 乾燥的培養皿組**。我們發現在乾燥的培養皿組中的卵塊不到半天，卵塊便乾扁皺掉了，而且無孵化出任何若蟲;至於沉入水底組，推測為卵塊靜置水中且水中溶氧不足以讓卵塊呼吸，因此孵化率極低;加上打氣 pump 組由於全日皆使用，且利用 DO 試劑測出的 DO(11ppm)比無打氣 pump 組的 DO(8ppm)高，**推測水中溶氧提高因此孵化率稍比無打氣 pump 組高，但差異不大**。

6.雖然背負卵塊的雄蟲組孵化率最高，**但孵化後如果沒將雄蟲從此容器移開，那麼雄蟲便開始刺吸自己的若蟲了**，因此孵化率高其若蟲存活率不一定高。

三、覓食行爲策略選擇

※**取食策略**:提供不同獵物，負子蟲的獵食方式會一樣嗎?

(一)方法：1.準備六個昆蟲箱，內有放水草，每二個昆蟲箱放同一種生物，分別放(1)黑殼蝦(約 1.5cm)五隻(2)大肚魚(約 1.5cm)五隻(3)家蚊子孑(約 5mm)五隻。2.仔細觀察負子蟲的獵食方式。3.每種獵物實驗組之負子蟲重複實驗三隻。註:實驗組的負子蟲都先餵過麵包蟲再使其飢餓一天再進行實驗。










(二)結果：1.我們發現負子蟲面對不同獵物有不同的取食策略。

負子蟲 V.S 黑殼蝦	負子蟲 V.S 大肚魚	負子蟲 V.S 孑孓
當黑殼蝦游至負子蟲約 5~6 公分處，負子蟲先會慢慢靠近，趁黑殼蝦仍在專心覓食時，突然向前撲去，時常撲空，捕食率不高; 屬先採坐等策略再主動攻擊策略 。	當大肚魚游至負子蟲約 2~3 公分處以內時，負子蟲才會主動攻擊，也是時常撲空，捕食率不高， 屬採坐等策略 。	負子蟲會主動游至攫取孑孓， 採主動攻擊策略 。 三輪實驗皆把孑孓取食一空，捕食率百分之百。
		

(三)討論：1.面對不同種類的獵物，負子蟲採取的覓食策略不同，我們推論如果獵物游速比負子蟲快速或敏捷，負子蟲便採「坐等策略」，相對的游速比負子蟲慢，便採主動攻擊策略。2.實驗結果中發現，子孓的被捕食率高達 100%，讓我們聯想到如果以負子蟲針對子孓來做生物防治策略是否具有成效？於是我們設計以下的實驗：

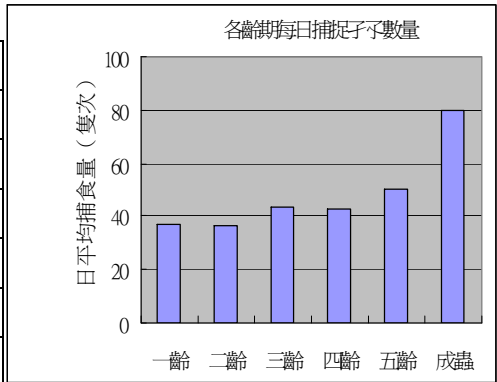
※負子蟲當生物防治物種的可行性：1.負子蟲成蟲之日平均捕食量。2.各齡期若蟲之日平均捕食量。3.不同子孓密度，成蟲捕食量是否有所改變？

(一)方法：1.取一公升容器，水位八分滿，放入成蟲一隻。2.計數家蚊子孑一百隻，放入同一容器。3.實驗時間為早上八點至次日早上八點再來計數剩下的孑孓。4.重覆上述實驗各五次。5.各齡期若蟲實驗同上述步驟。6.依不同孑孓數量來當作食餌，分別有 50、80、100、150 等四組，各放入成蟲一隻，重覆實驗三次。註:實驗組的負子蟲都先行餵過再使其飢餓一天再進行實驗。

		
成蟲與一百隻孑孓共處一室	各齡期若蟲與一百隻孑孓共處一室	一齡若蟲與一百隻孑孓共處一室
		
二齡若蟲與一百隻孑孓共處一室	三齡若蟲與一百隻孑孓共處一室	四齡若蟲與一百隻孑孓共處一室
		
五齡若蟲與一百隻孑孓共處一室	中興大學昆蟲系支援的子孓之一	中興大學昆蟲系支援的子孓之二

(二)結果 1：家蚊子孑一一百隻，各齡期每日捕捉量如下表:

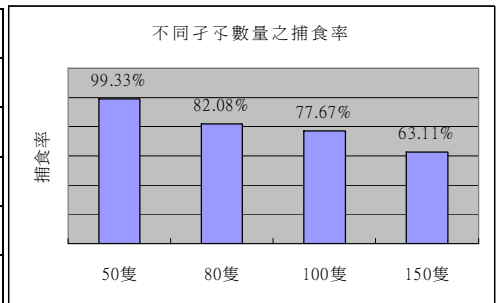
次數 \ 齡期	一齡	二齡	三齡	四齡	五齡	成蟲
第一次捕捉量	38	34	59	49	48	66
第二次捕捉量	45	29	43	52	73	92
第三次捕捉量	28	34	39	45	35	88
第四次捕捉量	33	38	41	37	41	72
第五次捕捉量	40	46	34	32	56	80
日平均捕食量	36.8	36.2	43.2	43	50.6	79.6



註：1.每次實驗的負子蟲皆為不同隻。 2. 孑子的食物以酵母粉加水後來餵食。

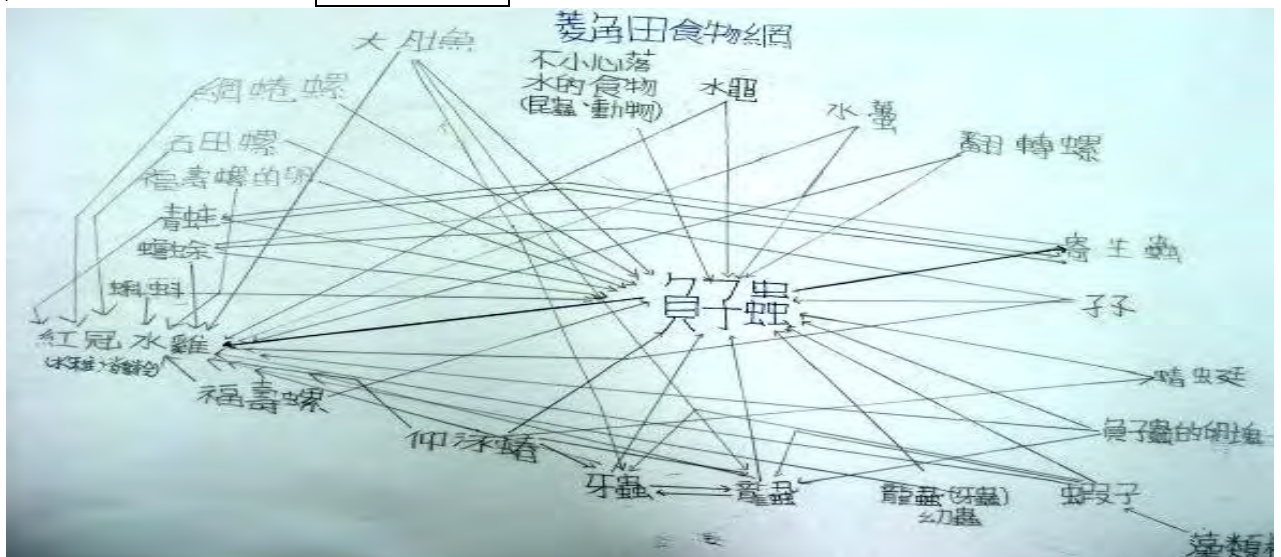
(二)結果 2： 依不同孑子數量來當作成蟲的獵物，結果如下表:

次數 \ 孑子隻數	50 隻	80 隻	100 隻	150 隻
第一次捕捉量	50	65	78	89
第二次捕捉量	49	70	80	93
第三次捕捉量	50	62	89	102
日平均捕食量	49.66	65.66	77.66	94.66
捕食率	99.33%	82.08%	77.66%	63.11%



(二) 討論：1.在與一百隻孑子共處實驗中，隨著齡期的增加所需的食餌量增加，這應與發育所需的能量有關;而且我們觀察發現隨著齡期的增加其掠奪頻率也有增加的現象。2.在我們的觀察中負子蟲能在刺吸孑子的同時又捕捉到另一隻孑子，曾經有同時處理三隻孑子的記錄。3.在不同孑子數量的實驗中，其捕食量會隨著密度增加而增加，但捕食率卻隨之下降。4.我們在菱角田採集時也有發現田內有孑子及赤紅蟲，而且在台南縣官田鄉水雉復育區水生動物之研究(翁義聰等，2002)這篇文獻中指出噴灑農藥後，水雉重要食物的褐帶紋螟與菱角金花蟲等昆蟲幾乎滅絕；此時，水雉的食物就只剩下負子蟲及植物等少數的種類;所以我們可以說負子蟲是菱角田的**關鍵物種(keystone)**，如果負子蟲在此生態系消失了，那麼孑子的生物量就會變多，可能因蚊子引起的疫情會擴大，**相對的水雉的穩定食物來源也減少**，會威脅到水雉的繁衍，所以負子蟲的保護是很重要的課題。5.以負子蟲成蟲對於孑子的高捕食率來說，我們建議一些田邊的灌溉儲水槽，可放入負子蟲以減少孑子數量，達到生物防治的成效。

(一) 底下是我們所整理的菱角田食物網



※**競爭行爲**:負子蟲會與哪些水生昆蟲有競爭或打鬥行爲呢?

(一)方法：**1.**長期觀察紀錄水族箱內水生昆蟲間的關係。**2.**水生昆蟲有負子蟲(肉食性)、姬龍蟲(肉食性)、姬牙蟲(雜食性)、仰泳蝽(肉食性)、水蠶(肉食性)。

(二)結果：**1.**我們發現負子蟲與負子蟲之間會有爭鬥的行爲，將爭鬥的負子蟲撈起檢查其性別，發現會爭鬥的都是同性別的。**2.**姬龍蟲與姬牙蟲皆會與負子蟲爭食，但食物欠缺時，負子蟲仍會捕捉、刺吸姬龍蟲與姬牙蟲;也發現姬龍蟲會吃食姬牙蟲、水蠶。

3.這些肉食性的食物鏈爲：仰泳蝽→水蠶→姬牙蟲→姬龍蟲→負子蟲。

		
負子蟲之間會有爭鬥的行爲	姬龍蟲與負子蟲的種間競爭	姬牙蟲與負子蟲的種間競爭
		
負子蟲攫取姬牙蟲	負子蟲合作群食刺吸麻醉螻蛄	姬龍蟲吃食姬牙蟲

(三)討論：**1.**在種內競爭方面，對於獵物較小(例如麵包蟲、黑殼蝦、大肚魚、赤紅蟲…等)，負子蟲能夠獨自處理的，我們發現負子蟲有獨食行爲，即會與其他負子蟲爭食、強食的行爲發生;若對於較大的獵物，如水面上的大型掉落動物，例如螻蛄，負子蟲便會群食刺吸。據我們觀察獵物起初被攫取時會有所掙扎，但刺吸一段時間後(視獵物體型大小而定，例 22mm 水蠶約 30 秒,n=5)，便不動了，好像被負子蟲給麻醉了，猶如半水生型螢火蟲(如鹿野氏黑脈螢幼蟲)一樣唾液具有麻醉效果，因此像螻蛄相對於負子蟲體型大、力氣大的獵物，負子蟲便會合作群食地將牠麻醉，再吸食牠。**2.**在種間競爭方面，姬龍蟲與姬牙蟲會與負子蟲爭食，雖然負子蟲比起姬龍蟲及姬牙蟲是更高一層的消費者，但在獵物易取得的環境下，負子蟲不會去刺吸姬龍蟲與姬牙蟲，因為攫取姬龍蟲與姬牙蟲需要耗費更多的能量，除非負子蟲已飢餓很久便會採取坐等策略來捕食。

四、 其它行爲：越冬(以成蟲姿態)、假死、挖掘行爲等行爲

(一)方法：**(1)**準備保麗龍箱並放入泥土，做出一邊高一邊低的地形;於低面加水至泥土的一半。

(2)於保麗龍內放入五隻負子蟲，觀察其行爲。**(3)**實驗裝置放置於有遮陰的地方。**(4)**從 99 年 12 月進行至 100 年 3 月 16 日。

(二)結果：**(1)**由於實驗是在冬天進行，在寒流來襲時，水溫約 10℃，負子蟲皆爬至泥土上挖掘將自身掩埋;最多掩埋約身體的三分之二處在土裡。**(2)**發現負子蟲皆群聚在附近。**(3)**等水蒸發後，負子蟲便一直停留在土縫間，一動也不動。**(4)**平時狀況，抓起後放在路面有時會有

全身不動的假死行爲，但此實驗假死行爲更常出現。

- (三)討論：1.從實驗開始一直到結束，實驗地點皆在室外，而且期間皆沒有餵食，我們發現竟然沒有像養在室內水族箱的負子蟲有互相打鬥或刺吸的行爲，反而群聚在附近。我們推論氣溫低會使新陳代謝減緩，降低食慾，因此便不會互相攻擊，那爲什麼反而會群聚，我們推測可能等到春天一到，負子蟲開始要交配時，群聚在一起比較容易找到配偶。
- 2.在保麗龍箱中還有水時，寒流來時，水溫是很低的，約 10°C 左右，我們發現負子蟲會爬至泥土地上，我們推論在低溫的水中可能會使其本身能量散失的比較快，因此離開低溫的水才能減少熱能的散失。
- 3.假死的行爲在低溫時比正常溫度更常出現，原因除了欺敵之外與低溫環境避免能量散失也有相關。



伍、 結論

- 一、野外採集性別比 ♂ : ♀ = 416 : 427 = 1 : 1.026，約 1 : 1
- 二、負子蟲缺氧耐受力達 2.5 小時之久。
- 三、雄性呼吸管外側長有二叢剛毛；雌性生殖板末端有兩叢較長明顯的剛毛。
- 四、從卵經五齡時期到成蟲約需 51.8 天。
- 五、屬於肉食性動物，即使是非水中的動物也會吸食甚至負子蟲會互相刺吸，包含自己的子代；刺吸式口器內的唾液具有麻醉功能。
- 六、負子蟲的耐飢力約 5 個月。
- 七、負子蟲棲息位置選擇 1.有底石組會躲藏於底部石縫間。2.無底石組、無水草組則漂浮於水面下；比較喜歡躲藏於大石粒(石縫較大)、暗色系之環境。
- 八、耐酸鹼度範圍為 pH5~pH9；溫度耐受值為 10°C~30°C；負子蟲是一種適應力很強(水陸兩棲)的水生昆蟲，若發現有負子蟲死亡的水體，該水體可能屬於重度汙染或表面水體有不透水物質覆蓋。
- 九、雄負子蟲游速為 5.94(cm/s)，雌負子蟲游速為 7.55(cm/s)，天擇壓力下，使得雌負子蟲演化出游速較快的能力與其他同性雌蟲競爭，以較快的游速取得交配權。
- 十、能在水底下潛水時間約 18 分 7 秒 7 毫秒。
- 十一、雄雌皆會噴出分泌物其 pH 值為 7.7，分泌物有一股異味。
- 十二、雄性求偶時有伏動的行爲，前足、中足、後足皆攀附在物體上，同步上下振動，以後足振盪的幅度較大，伏動秒速為 2.32 次/秒；在沒有雌性環境下的雄性負子蟲是不會有求偶行爲。
- 十三、交配一次約 13.6 秒，交配一次產卵一粒。產一粒卵的時間約 1 分 53 秒。並非背部面積愈大，背卵數愈多。

- 十四、**產卵順序**為雄蟲背部翅鞘末端開始，直至小盾板位置。
- 十五、背卵時的**輔育行爲**平均伏動秒速為 2.45 次/秒；當若蟲即將孵化時，雄蟲的輔育行爲是往前游泳，其力量能順利幫助若蟲脫離卵殼；若蟲孵出時間約 2 分鐘。
- 十六、**孵化率**由高至低分別為背負卵塊的雄蟲組 > 潮溼的棉花組 > 加上打氣 pump 組 > 水中組 (沉落水底) > 乾燥的培養皿組。
- 十七、**非親生雄蟲不會有親養投資**。
- 十八、負子蟲面對不同獵物有**不同的取食策略**。獵物游速比負子蟲快速或敏捷，負子蟲便採**坐等策略**，相對的游速比負子蟲慢，便採**主動攻擊策略**。
- 十九、在與一百隻孑孓共處實驗中，隨著齡期的增加所捕捉的孑孓數增加；負子蟲最多能同時處理三隻孑孓。
- 二十、在不同孑孓數量的實驗中，其**捕食量**會隨著密度增加而增加，但捕食率卻隨之下降。負子蟲是菱角田的關鍵物種(keystone)，也是菱角田水生昆蟲裡的最高級消費者。
- 廿一、**種內競爭**發現爭鬥的都是同性別，**種間競爭**的物種分別有龍蝨及姬牙蟲。
- 廿二、負子蟲有**獨食行爲**及**合作群食行爲**。
- 廿三、負子蟲以**成蟲姿態越冬**；有**假死、挖掘行爲**等行爲。

陸、 參考文獻

中文部分

- 一、海野和男(2010)。楊苔偵譯。從身邊找昆蟲很有趣。晨星出版社。
- 二、高伊姿(2008)。昆蟲奧祕一本通。幼福出版社。
- 三、王智鴻等(2005)。最具父愛的水中小暴君。中華民國第 45 屆科學展覽會報告 (報告編號：081546)
- 四、木村義志(2000)。李毓昭譯。可以在桌上養的小生物。晨星出版社。
- 五、廖智安(1999)。台灣昆蟲記。臺北市。大樹文化出版社。
- 六、陳維壽(1998)。台灣昆蟲大探險。台北市。青新出版社。
- 七、張永仁(1998)。昆蟲圖鑑。臺北市。遠流出版社。
- 八、楊平世(1994)。臺灣的常見昆蟲。臺北市。渡假出版社。
- 九、楊平世(1992)。水棲昆蟲生態入門。臺灣省政府教育廳。
- 十、郭玉吉(1988)。昆蟲入門。南投縣。水生昆蟲博物館。

網路資料

- 一、爸爸背著小娃娃——負子蟲。民 99 年 12 月 25 日，取自：<http://e-info.org.tw/node/61736>
- 二、自然生態學習網-負子蟲。民 99 年 8 月 25 日，取自 <http://nature.edu.tw/rmedias/show/filetype/3/18757?page=28>
- 三、嘎嘎昆蟲網-半翅目。民 99 年 8 月 26 日，取自<http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm>
- 四、臺灣物種名錄-負蝽科。民 99 年 10 月 11 日，取自 http://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_list.php?PHPSESSID=4fo9on3gir59q5g3c4r9r590q2&T2=%E8%B2%A0%E8%9D%BD&T2_new_value=false&fr=y
- 五、臺灣大學昆蟲標本館數位典藏-負子蟲。民 99 年 10 月 15 日，取自 http://www.imdap.entomol.ntu.edu.tw/CommonInsect.php?CIindex=search&L=C&NS_Key=%E8%B2%A0%E5%AD%90%E8%9F%B2&button=%E9%80%81%E5%87%BA
- 六、臺北市教育入口網-哥哥爸爸真偉大。民 99 年 10 月 17 日，取自 <http://www.tp.edu.tw/topic/200408/in04.html>
- 七、小虎的生態觀察站。民 99 年 10 月 18 日，取自<http://www.wretch.cc/blog/littletiger/20346782>
- 八、臺北動物園動物保育專欄--動物小學堂第廿七堂「昆蟲的親子照料」。民 99 年 10 月 19 日，取自 <http://www.zoo.gov.tw/column/column.asp?c=200>

【評語】 080316

本作品內容豐富紀錄亦詳實，對負子蟲方面研究提供具參考價值的資訊，唯因篇幅過長不易突顯主要的研究成果，建議作者思考本作品的最重要發現，聚焦持續深入研究。