

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生物(生命科學)科

第三名

最佳團隊合作獎

040713

龜山島海域怪方蟹幼生存活因子之探討

學校名稱：國立蘭陽女子高級中學

作者： 高二 邱宜平 高二 陳怡妘 高二 蔡綠怡	指導老師： 陳美蓮 方琮民
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：烏龜怪方蟹(*Xenograpsus testudinatus*)、  
耐受度、趨光性

# 龜山島海域怪方蟹幼生存活因子之探討

## 摘 要

本研究針對烏龜怪方蟹雌雄分化、生理適應和行為等進行試驗分析。結果顯示：雌蟹有較善於躲藏的行為分化和護幼需求，以致補獲的雌雄配比差異很大。由硫化氫的耐受測試結果得知，怪方蟹不論成蟹與幼蟲都有很強的耐受能力。溫度方面的結果顯示在高溫 32℃ 時成蟹和幼蟲都有調適能力。怪方蟹幼蟲在打氣控溫的情境下心跳穩定，但身長與心跳隨著發育天數而減小，眼球面則逐漸增加而趨和緩。在趨光反應方面：當刺激光強度超過 100lux 時有顯著的感應表現，對黃燈光源的反應略優於白色 LED 燈，對不同色光之反應比較則藍光>綠光>紅光，但隨著天數增加，趨光反應則呈線性下降情形。



# 壹、研究動機

學期初上專題課時，老師以烏龜怪方蟹為例，提到怪方蟹是本地龜山島淺海火山噴口附近的特有物種，不僅能生長於高溫、強酸和毒性強的特殊生態環境，而且獨樹一格地成為當地的優勢種，然而許多專家學者於實驗室飼養時，卻發現有「二代無法存活」的窘況。在我們蒐集資料的時候，發現曾經有不少關於怪方蟹的繆思充斥於報章媒體的報導之中，如宣稱牠們是「煮不熟的螃蟹」(註 7)(註 9)等...。蒐集資料的過程中，我們很榮幸有機會訪談到曾經多次潛水尋獲怪方蟹的幕後英雄--朱教練，他與我們分享了協助發掘怪方蟹的點滴與採集怪方蟹的種種，同時也提及另一項有關怪方蟹採集樣本時的奇特情形，即採到的樣本雌雄配比差異很大。




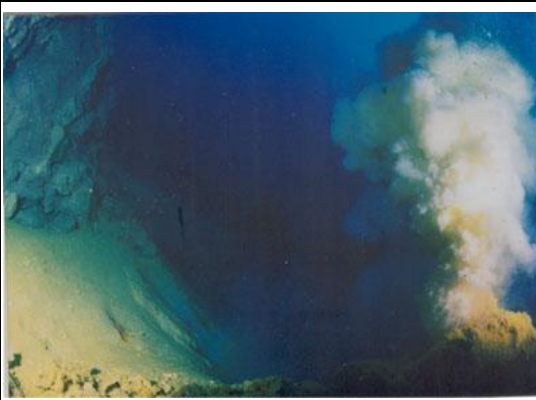
諸多疑點在我們飼養與測試過程中慢慢解開！當我們養到發現母蟹抱卵，並於「產檢」時發現卵內心跳，以及隨後「接生」看到幼體孵化，我們見證了怪方蟹二代的樣貌。我們的研究也隨之進入了另一個待突破的階段，因此本研究希望透過一系列的實驗分析，了解影響怪方蟹幼生存活的一些相關重要因子，試圖評析怪方蟹如何適應淺海熱泉環境的生存之道。

## 貳、研究背景與目的

### 一、烏龜怪方蟹的棲息地、發現與命名

#### (一)淺海熱泉的特殊生態棲地

龜山島是一座火山島嶼，島嶼旁圍繞著白色浪花，帶有懸浮顆粒，來自於海面下火山熱泉噴口持續噴發出的硫磺泉與海水沖積所形成的硫磺顆粒。潛入龜山島的海底，宛如進入一個煙霧瀰漫的危險國度，四處散佈著熱泉噴口，其中至少發現了 9 個大型噴口煙囪，高約 2~6 公尺，隨時都會不斷的噴出熱泉。海水被地底的岩漿高溫加熱後，再從海底的裂縫處噴發出來，噴泉溫度可高達 116°C。而噴出物質包括大量硫磺、礦物及氣體，氣體主要為二氧化碳、氮氣、氧氣、二氧化硫和硫化氫，這些噴發出來的物質形成酸性水質，pH 值介於 1.75~4.60(註 8)。熱泉中的硫磺和礦物，在熱泉噴口附近就慢慢堆積成煙囪狀的岩塊，年齡介於 200~500 年間。因為熱泉噴口的排放物還有純度高達 99.5% 的元素硫，以及有毒的火山氣體，附近海域的海床幾乎布滿黃色的硫磺礦，如此惡劣的生活環境，使得這片棲地的生物物種非常貧乏(註 4)。

	
<p>海底噴泉處硫磺礦清晰可見</p>	<p>116°C 的高溫熱泉,此處仍有生物蹤跡</p>
	
<p>硫化礦物的結晶</p>	<p>壯觀的海底噴泉</p>

## (二)烏龜怪方蟹的發現與分類地位

### 1.發現與命名

「烏龜怪方蟹」是台灣特有的新種螃蟹，屬於方蟹科、弓蟹亞科，怪方蟹屬」(註 4)。一九九九年台灣和新加坡學者在龜山島海域發現類似日本小笠原群島的怪方蟹，並在 2000 年正式發表為世界新種，「烏龜」則是取牠的頭胸甲背面隆起，長相似烏龜外殼而得。巧合的是發現地點又是在龜山島海域，因此命名為「烏龜怪方蟹 (*X. testudinatus*)」，又稱為硫磺怪方蟹(註 2)。

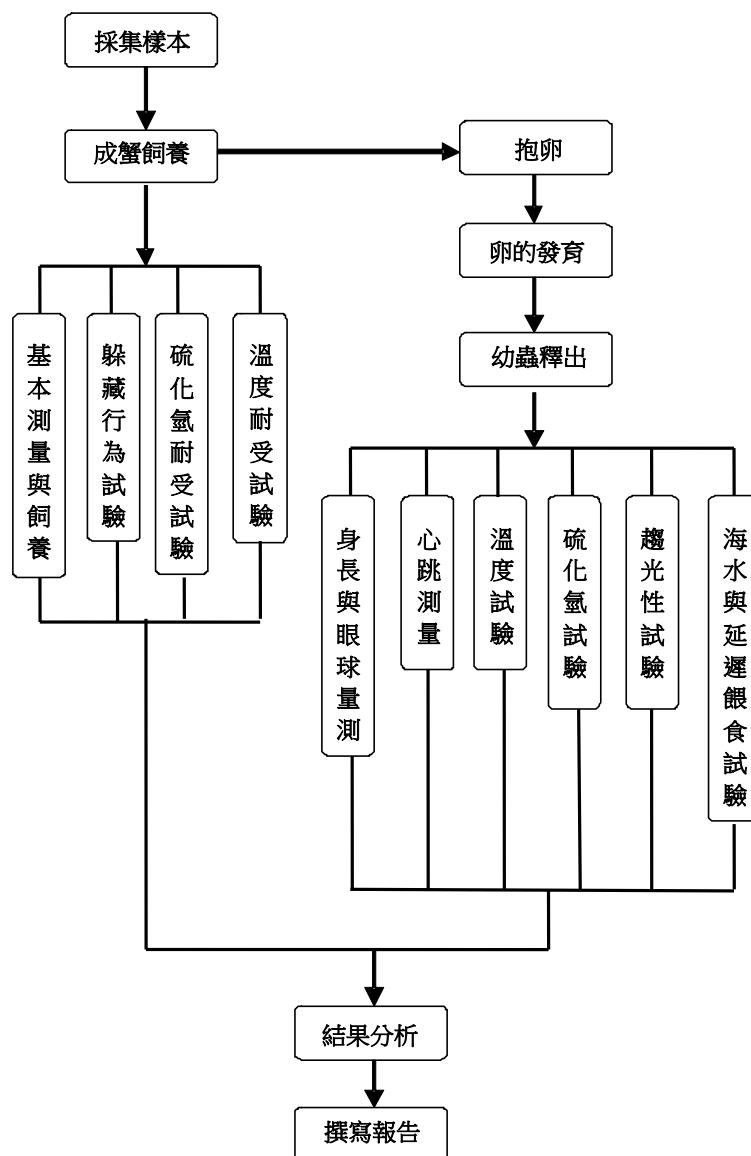
### 2.分類地位的再確認

由於生活在環境惡劣的淺海熱泉中，烏龜怪方蟹為了適應環境，在構造上也出現了些許差異，例如：胸骨、眼窩、觸角、第三對類足、生殖孔……等等的改變，正因為牠在形態上和 DNA 分析與其他蟹有很大的差異存在，分類學家們便建議將怪方蟹的分類層級由怪方蟹屬(*Xenograpsus*)提升到另一個新科--怪方蟹科(*Xenograpsidae*)的層級，這也再一次證明，烏龜怪方蟹身處在海面下火山熱泉噴口，與其他蟹的親緣關係的確變遷了，目前經過時空的交錯已經和其他蟹類漸行漸遠而獨樹一格了(註 1)！

## 二、研究目的

- (一)藉由飼養和觀察以了解怪方蟹的形態變化，並進行生理測試和行為觀察。
- (二)量測烏龜怪方蟹卵和幼蟲的發育與心跳變化。
- (三)了解溫度對怪方蟹幼蟲存活率與心跳的影響。
- (四)了解硫化氫對怪方蟹幼蟲存活率與心跳的影響。
- (五)分析怪方蟹幼蟲在不同的光源、光強度、色光和天數的趨光反應差異。
- (六)了解不同海水與延遲餵食對怪方蟹幼蟲存活率的關係。
- (七)目標：找尋影響烏龜怪方蟹生存的相關重要因子，了解其生態地位，解析其適應淺海熱泉的生存之道。

## 三、研究流程



## 參、研究設備及器材

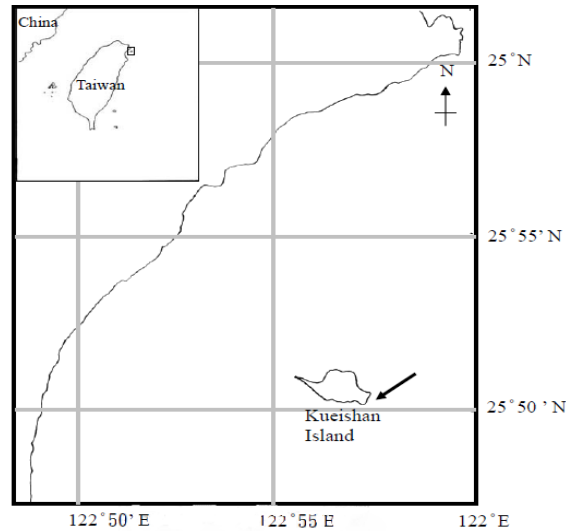
- 一、 水缸(大缸：90×45×60 cm<sup>3</sup>、小缸：37.5×23.5×20.5 cm<sup>3</sup>)
- 二、 鹽度計
- 三、 飼養箱、燒杯
- 四、 硫化氫(H<sub>2</sub>S)
- 五、 溫度加熱棒和打氣過濾器
- 六、 生物培養箱(溫控 25°C，日夜各 12hr)
- 七、 手電筒、檯燈加自製改裝燈罩
- 八、 玻璃紙(紅色、藍色、綠色)
- 九、 光學顯微鏡和聯結之 PMIAS 2000 顯微鏡照相錄影軟體
- 十、 解剖顯微鏡和聯結之照相軟體(Multi-Cam USB Advance)
- 十一、 吸管、懸滴玻片與蓋玻片
- 十二、 直尺、游標尺
- 十三、 可多組連續紀錄之碼錶
- 十四、 光度計
- 十五、 水波槽，(23.3×23.3×5 cm<sup>3</sup>)
- 十六、 底棲魚飼料、豐年蝦卵飼料
- 十七、 油漆筆
- 十八、 75%酒精+樣本瓶
- 十九、 天然海水和海水素(CORAL MARINE)

## 肆、研究方法

### 一、烏龜怪方蟹的形態變化、生理測試和行為觀察

#### (一)怪方蟹的採集地與樣本採集：

實驗飼養之怪方蟹樣本乃透過潛水教練朱先生夥同中研院研究人員前往宜蘭外海龜山島水域取得，地點如圖一所示。



圖一、龜山島地理位置

#### (二)基本量測與飼養

- 1.用游標尺測量怪方蟹之甲長、甲寬、螯寬、腹甲寬，並比較雌、雄之差異。
- 2.以鹽度維持在  $30‰ \pm 2$ ，加熱溫控  $20^{\circ}\text{C}$  及過濾打氣的天然海水飼養之，若有蛻殼則收集之。

#### (三)雌、雄怪方蟹分開飼養與躲藏行為試驗

紀錄餵食前在外活動(無躲藏行為)之怪方蟹，餵食飼料後開始計時，紀錄餵食後 20、40、60、80、100、120 分鐘無躲藏行為之怪方蟹編號和數量，雌、雄怪方蟹依上述步驟各做一次，隔兩天再重複進行測試，此實驗進行三次求取平均。

#### (四)硫化氫耐受測試

分別配製  $2000\mu\text{M}$  和  $4000\mu\text{M}$  的硫化氫海水溶液於小水缸中，各放入 10 隻已編號的硫磺怪方蟹，連續觀察 7 天，每天紀錄存活情形。

#### (五)溫度耐受測試

溫控  $32^{\circ}\text{C}$  的小缸，放入 10 隻編號的烏龜怪方蟹，連續觀察 7 天，每天紀錄生理狀況和存活情形。

#### (六)卵與幼蟲發育的觀察

將已抱卵之母蟹單獨培育，每隔幾天取少許卵樣；幼蟲孵化後，每日取樣，以顯微鏡觀察其發育狀況，拍照紀錄之，採得樣本並以 75% 酒精保存，以便日後測量比較。



### (七)卵與幼蟲的心跳觀察與測量

逐日取卵與幼蟲，放入懸滴玻片內，以顯微鏡觀察並錄影存查，計算每分鐘心跳數。

## 二、不同溫度對硫磺怪方蟹幼蟲的影響

- 1.取 3 個 250ml 燒杯，每個燒杯各放入 30 隻烏龜怪方蟹幼蟲，將燒杯分別放置在室溫、25°C 和 32°C 的環境中。
- 2.飼養過程中水量維持在 200ml，每 2 天更換一次水，每天餵食一滴豐年蝦卵，記錄其存活隻數。
- 3.另於 2 小時和 20 小時後，各取 5 隻做樣本，測量其心跳，以錄影方式存查並計算出其每分鐘心跳數。

## 三、不同硫化氫濃度對硫磺怪方蟹幼蟲的影響

- 1.取 4 個 250ml 燒杯，每個燒杯各放入 30 隻烏龜怪方蟹幼蟲，並分別加入 2000 $\mu$ M、4000 $\mu$ M、8000 $\mu$ M 的硫化氫水溶液及一海水對照組。
- 2.飼養過程中水量維持在 200ml，每 2 天更換一次水，每天餵食一滴豐年蝦卵。
- 3.另於 2 小時和 20 小時後，各取 5 隻做樣本，測量其心跳，以錄影方式存查並計算出其每分鐘心跳數。

## 四、不同光源、光強度、色光與天數對幼蟲趨光性的影響

- 1.將教室窗簾拉下，關掉燈源，以便排除其他光源干擾。在水波槽中加入海水，放入 30 隻幼蟲，先利用手電筒將所有幼蟲引到水波槽的一邊，以黃色燈泡和白色 LED 燈分別在 100lux 下測試其趨光反應，記錄每一隻從水波槽的一邊游到另一邊的時間。
2. 利用可變光源檯燈和自製燈罩組，以光度計量測光度大小，變換光度，記錄每一隻從水波槽的一邊游到另一邊的時間。
- 3.換用不同顏色玻璃紙(藍、綠、紅)分別包住黃色燈泡手電筒，固定在 100lux 下，將幼蟲引到另外一邊，記錄每一隻從一邊游到另一邊的時間。
- 4.以 400lux 量測不同天數下，其趨光時間的變化。

## 五、不同海水與延遲餵食對幼蟲存活率的影響

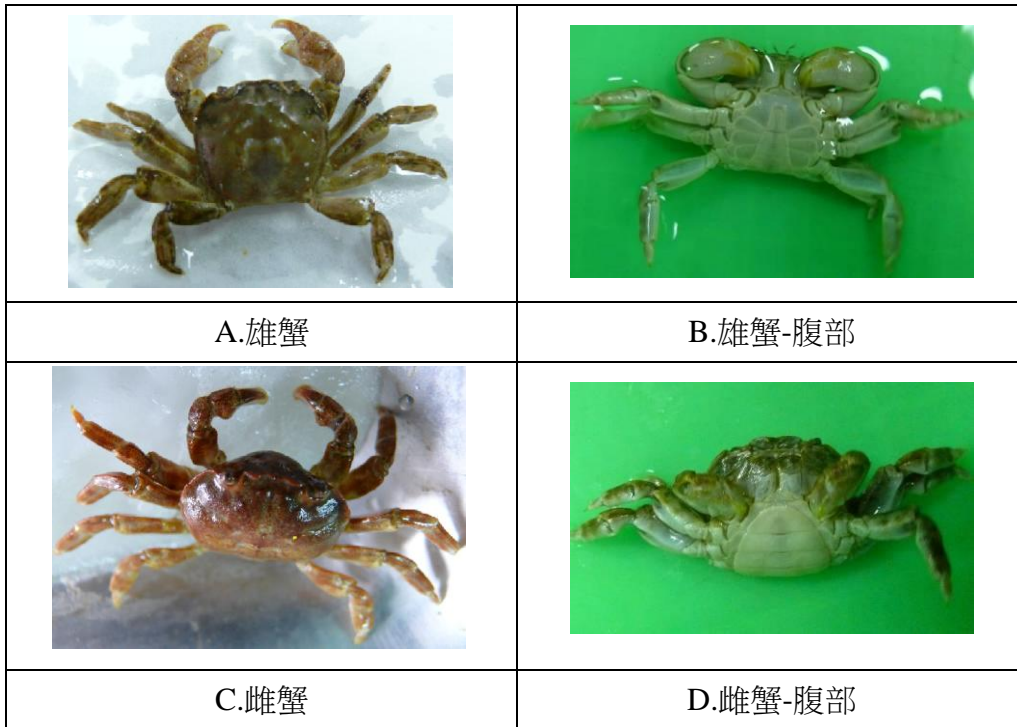
- 1.取 2000 cc 燒杯四個，分別置入以泡綿和絲襪包裹好的過濾器備用。
- 2.配置人工海水與取天然海水，分別取 2000 cc 的水量於兩個燒杯中，啟動打氣裝置。
- 3.各放入 60 隻幼蟲，一組每天餵食一滴豐年蝦卵，另一組則至第三天才予以餵食，至第六天計算各組存活情形。



## 伍、研究結果

### 一、烏龜怪方蟹的形態變化、生理測試和行為觀察

#### (一)雌雄差異的觀察



圖二、烏龜怪方蟹雌雄外觀構造的比較

由量測資料顯示：

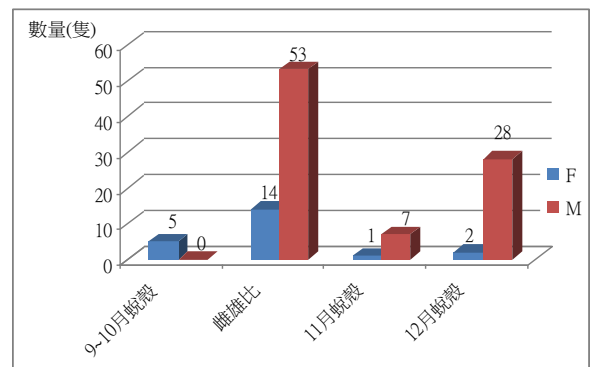
- 外觀：由圖二和表一得知，雄怪方蟹體型較雌蟹大，螯也較發達。雌蟹的腹甲寬較圓而大，雄蟹則呈長三角狀。

表一:雌雄構造量測

	甲寬(mm)	甲長(mm)	螯寬(mm)	腹甲寬(mm)
雄怪方蟹	21.3±2.2	20.4±2.2	6.6±1.1	4.3±0.7
雌怪方蟹	18.2±2	17.1±2	3.8±0.5	12.2±2.4

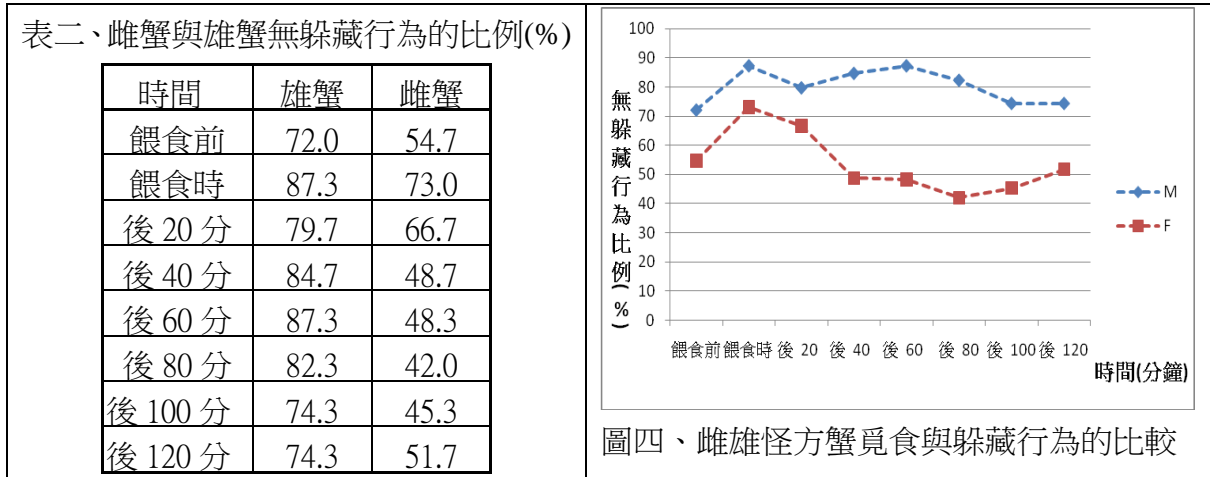
- 蛻殼之季節性差異

由圖三可見 9~10 月蛻殼的大部份是雌蟹，而雄蟹在 11 月~12 月則較多，雌的數量並不多，所以可以推測 9~10 月可能是雌怪方蟹主要的蛻殼季節，12 月份有過半的雄蟹蛻殼，則是雄蟹的主要蛻殼季節。



圖三、雌雄怪方蟹 9~12 月份蛻殼情形

(二) 雌、雄怪方蟹躲藏行為的差異



由表二、圖四可知雄蟹與雌蟹在餵食時無躲藏行為的比例皆達最高峰，待餵食後一段時間又漸漸趨於穩定狀態。但雄蟹無躲藏行為的比例較雌蟹為高，結果顯示雌蟹有較顯著的躲藏行為。

(三) 分組飼養和生理測試之觀察結果

表三：成蟹之硫化氫與溫度測試

組別	硫化氫 2000 $\mu$ M	硫化氫 4000 $\mu$ M	高溫 --32 $^{\circ}$ C
存活百分比	90%	70%	80%

由表三發現，成蟹對硫化氫的耐受情形相當高，於 2000 $\mu$  和 4000 $\mu$ M 組飼養 7 天(168 小時)存活率皆超過半數以上，而死亡原因大都與蛻殼被攻擊有關。溫度方面的結果顯示在高溫 32 $^{\circ}$ C 時成蟹有調適能力。

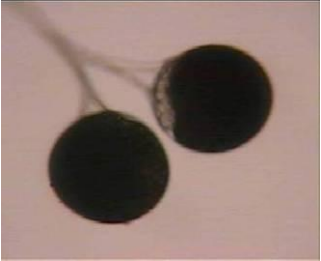


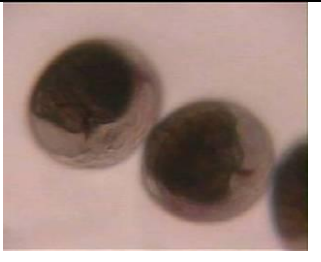


(四) 抱卵、卵的發育與釋幼



圖五、母蟹抱卵情形

1. 抱卵之雌蟹編號有 4 號、3 號、5 號和 12 號，甲寬分別為 20.5mm、21.5mm、19.6mm、13.6mm。

## 2. 卵的發育(以 3 號母蟹為例)

		
3/6-100x	3/8-100x	3/10-100x
卵徑:293μm×325μm	卵徑: 337μm×343μm	卵徑: 338μm×356μm
		
3/14-100 x ,	3/18-100x	3/22-100x
卵徑 : 362μm×443μm	卵徑 : 375μm×387μm	卵徑 : 368μm×412μm

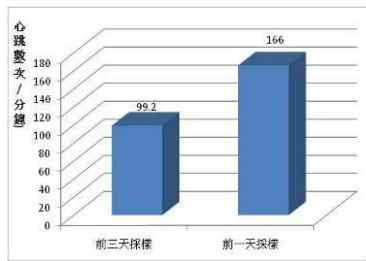
圖六、卵的發育

- 雌蟹與雄蟹在分隔 40 天之後發現抱卵，其中最後一隻母蟹將幼蟲釋出是在分隔後的 83 天，所以雄蟹與母蟹從交配到卵孵化至少可間隔 83 天之久。
- 釋幼：母蟹釋放幼體僅歷經一夜，即全數將幼蟲釋放完畢。

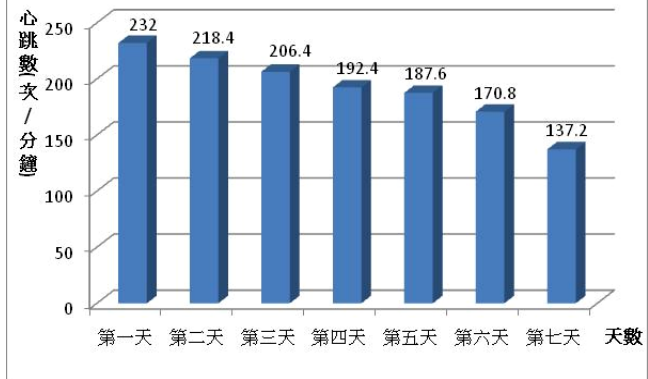
## (五) 心跳與幼蟲發育變化

表四、卵與幼蟲心跳次數變化(次/分鐘)

	樣 1	樣 2	樣 3	樣 4	樣 5	平均	標準差
卵—培養	100	136	92	48	120	99.2	29.9
卵—現採	168	226	162	156	118	166.0	34.7
第一天	224	228	244	236	228	232.0	7.2
第二天	204	240	220	220	208	218.4	12.5
第三天	180	212	228	172	240	206.4	26.5
第四天	200	198	196	196	172	192.4	10.3
第五天	176	200	172	192	198	187.6	11.5
第六天	160	180	160	198	156	170.8	16.0
第七天	128	150	148	128	132	137.2	9.8

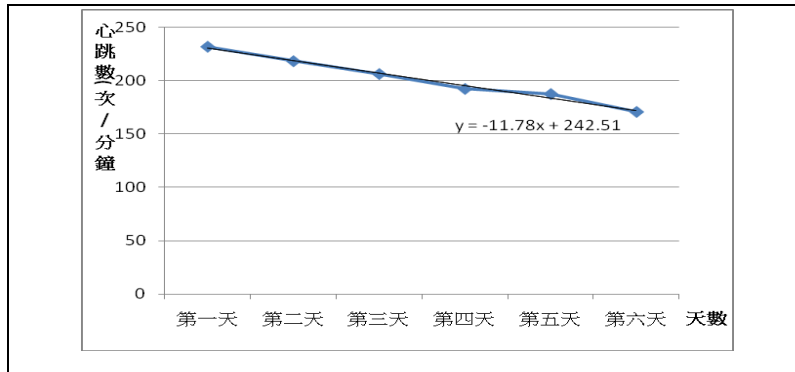


圖七、孵化前三天採樣培養至前一天之卵與孵化前一天之卵心跳數比較



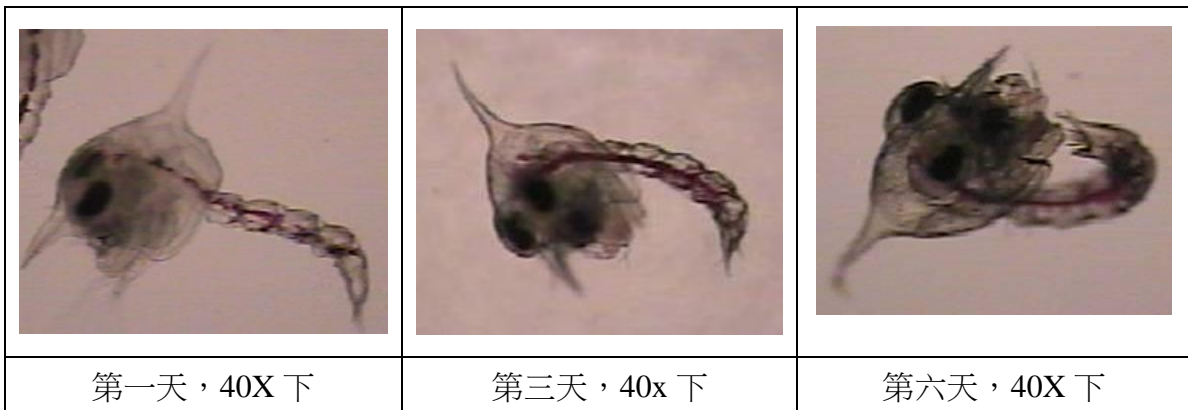
圖八、孵化後心跳變化

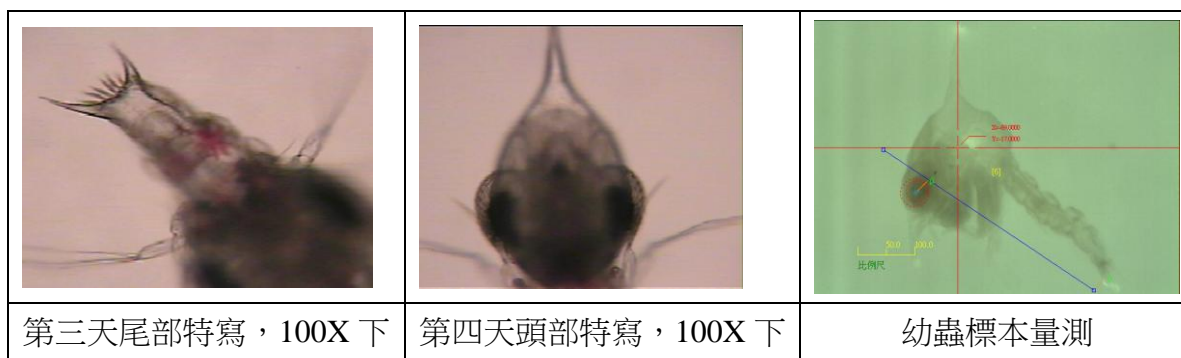
1. 釋幼前三天採集的卵仍可在培養皿中孵化，但其心跳相較於現採者為低，且從顯微鏡下觀察到有許多微生物滋長。可知：抱卵後期可離開母體培養，但水質會影響心跳的頻率。



圖九、幼蟲發育初期心跳的線性變化

2. 由表四、圖八和圖九得知，幼蟲心跳從第一天至第六天幾乎以等差數值下降，但第七天則降至低於趨勢線，顯然第七天降幅變大許多。
3. 幼蟲發育：蚤狀幼蟲漸進為大眼幼蟲

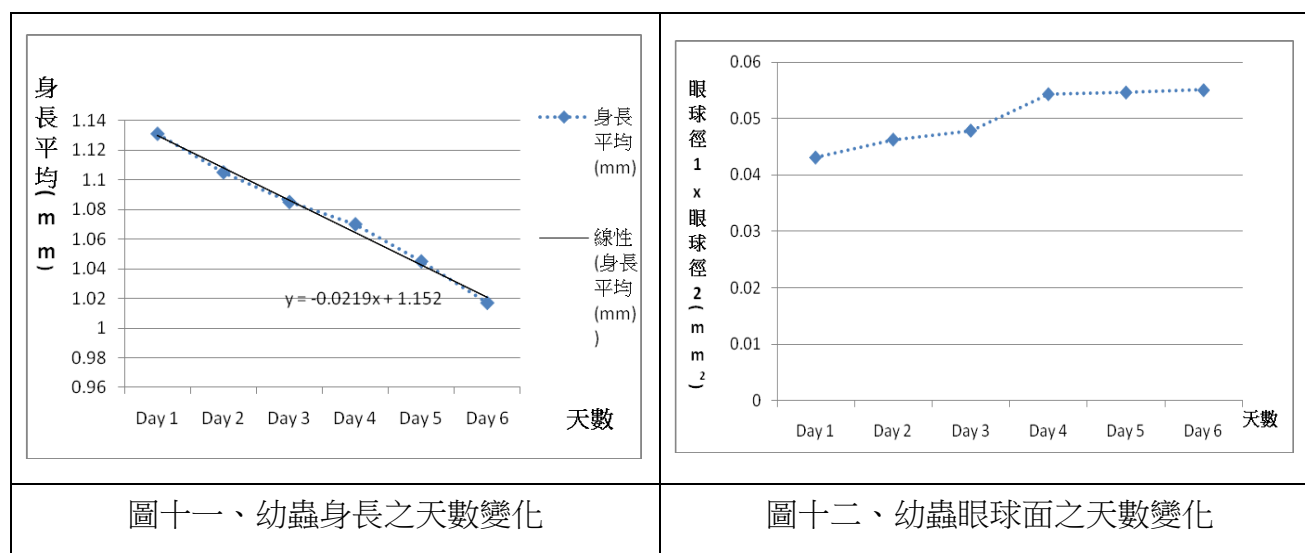




圖十、幼蟲發育

表五、幼蟲身長變化與眼球面變化

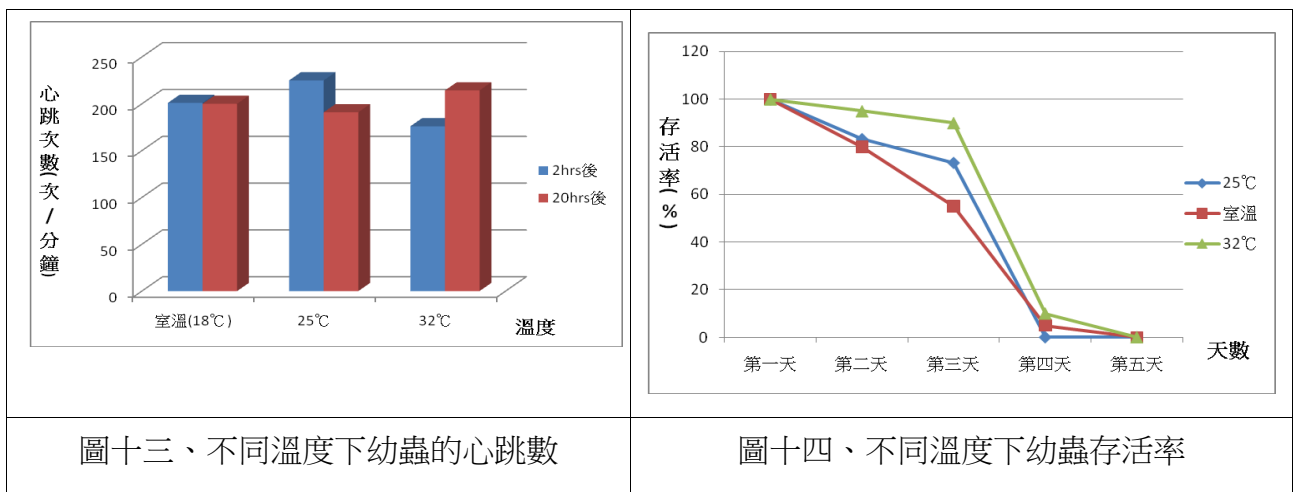
	身長平均(mm)	標準差	眼球徑 1x 眼球徑 2(mm <sup>2</sup> )	標準差
Day 1	1.131	0.046	0.0431	0.0013
Day 2	1.105	0.019	0.0463	0.0042
Day 3	1.085	0.034	0.0479	0.0028
Day 4	1.070	0.031	0.0544	0.0047
Day 5	1.045	0.036	0.0547	0.0041
Day 6	1.017	0.015	0.0551	0.0006



由表五、圖十、圖十一、圖十二，可見幼蟲之身長隨天數呈線性漸進縮小的情形，而眼球面則漸進增加而至趨於固定大小的變化關係。

## 二、不同溫度對烏龜怪方蟹幼蟲的影響

表六、不同溫度測試與心跳變化(次/分鐘)					表七、不同溫度測試與其存活率(%)					
溫度試驗	2 小時後		20 小時後		存活率	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
	平均	標準差	平均	標準差						
25°C	225.0	7.1	191.0	30.5	25°C	100.0	83.3	73.3	0.0	0.0
室溫	201.0	7.1	200.0	12.3	室溫	100.0	80.0	55.0	5.0	0.0
32°C	176.0	25.8	214.3	8.3	32°C	100.0	95.0	90.0	10.0	0.0

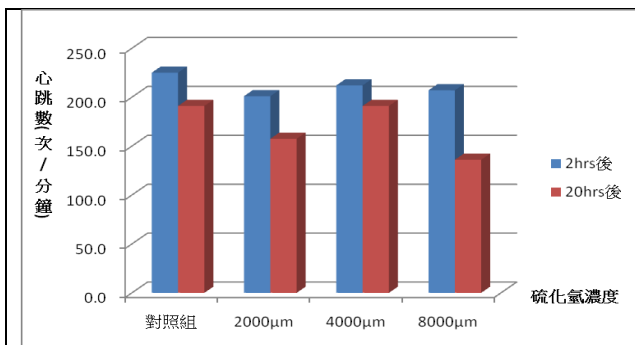


由表六、圖十三看出 2hr 後的心跳數 25°C 組>室溫組>32°C 組。20 小時後 32°C 組> 25°C 組，室溫組；由表七、圖十四看出存活情形 32°C 組> 25°C 組>室溫組。

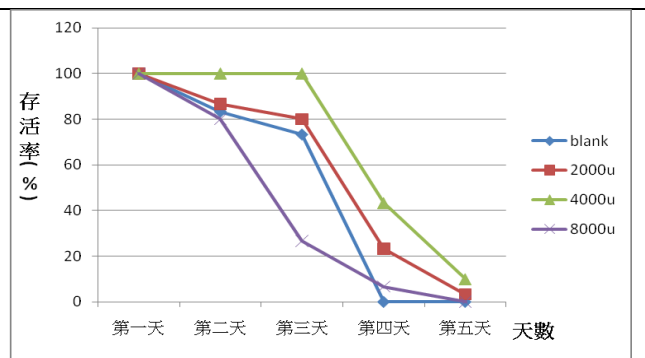
## 三、不同硫化氫濃度對烏龜怪方蟹幼蟲的影響

表八、硫化氫測試與心跳變化(次/分鐘)					表九、硫化氫測試與其存活率(%)					
H <sub>2</sub> S 試驗	2 小時後		20 小時後		存活率	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
	平均	標準差	平均	標準差						
對照組	225.0	7.1	191.0	30.5	對照組	100.0	83.3	73.3	0.0	0.0
2000μm	201.0	3.3	157.5	42.7	2000μm	100.0	86.7	80.0	23.3	3.3
4000μm	212.0	11.7	191.0	35.4	4000μm	100.0	100.0	100.0	43.3	10.0
8000μm	207.0	8.2	136.0	81.0	8000μm	100.0	80.0	26.7	6.7	0.0





圖十五、硫化氫測試與幼蟲心跳數



圖十六、不同硫化氫濃度與幼蟲存活率

由表八、圖十五可看 20hr 後 8000µM 組的心跳數為各組中較差，4000µM 組與對照組心跳數相當。

由表九、圖十六可看出存活率 4000µM 組>2000µM 組>對照組>8000µM 組。

#### 四、不同的光源、光強度、色光和天數對幼蟲趨光性的影響

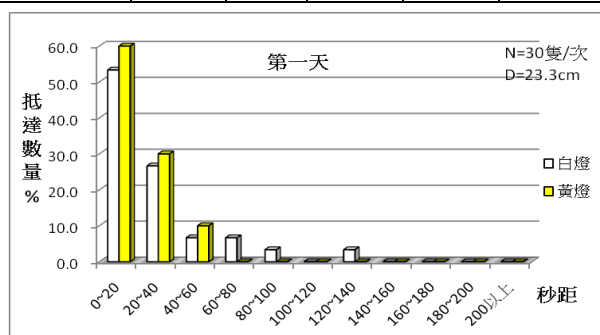
##### (一)黃色燈泡與白色LED燈源

表十、第一天不同光源對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

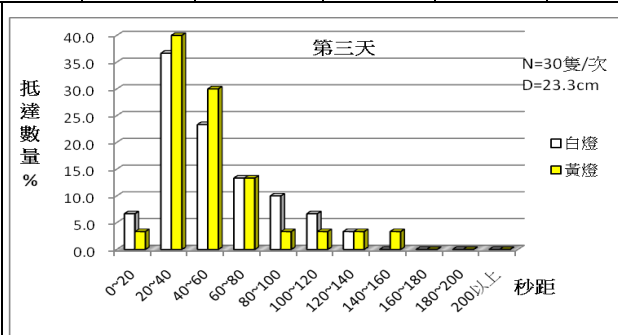
光源/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
白燈	53.3	26.7	6.7	6.7	3.3	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
黃燈	60.0	30.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表十一、第三天不同光源對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

光源/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
白燈	6.7	36.7	23.3	13.3	10.0	6.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
黃燈	3.3	40.0	30.0	13.3	3.3	3.3	3.3	3.3	0.0	0.0	0.0



圖十七、第一天白色LED燈與黃色燈泡其單位秒距之趨光幼蟲數量的分布情況



圖十八、第三天白色LED燈與黃色燈泡其單位秒距之趨光幼蟲數量的分布情況



1. 由圖十七可知，幼蟲在第一天便有高度的趨光反應，集中在 0~20 秒之間，呈右偏斜分布，其中又以黃色燈泡較白色 L E D 燈集中。
2. 第三天趨光反應之數量與秒距關係雖也呈右偏斜分布，但已較第一天分散許多。黃色燈泡與白色 L E D 燈光的差異也逐漸縮小，可見第三天與第一天相比，其趨光反應有下降的趨勢。

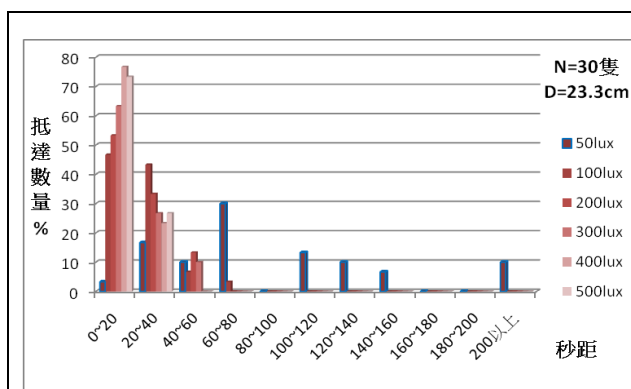
## (二) 不同光強度對幼蟲趨光性的影響

表十二、不同光強度對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

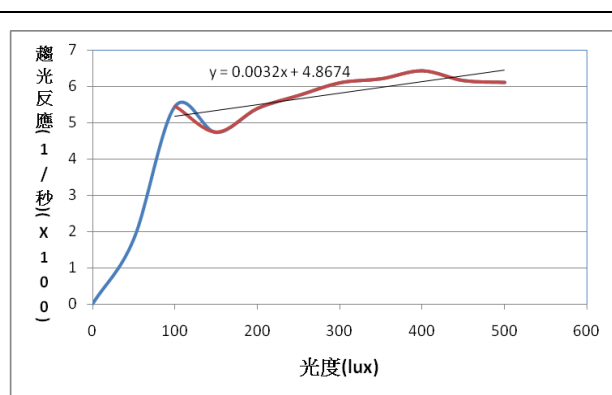
光強度/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
50lux	3.3	16.7	10.0	30.0	0.0	13.3	10.0	6.7	0.0	0.0	10.0
100lux	46.7	43.3	6.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200lux	53.3	33.3	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
300lux	63.3	26.7	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
400lux	76.7	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500lux	73.3	26.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表十三、不同光強度之平均趨光反應(1/秒)

趨光反應/光度 (lux)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1/t 平均 (1/秒)	0.0179	0.0545	0.0473	0.0539	0.0575	0.0610	0.0621	0.0643	0.0616	0.0611
標準差	0.0146	0.0197	0.0184	0.0217	0.0169	0.0201	0.0134	0.0116	0.0125	0.0146



圖十九、不同光度之趨光幼蟲數量分布情形



圖二十、不同光度之幼蟲趨光反應與趨勢

由表十二、十三，圖十九、二十顯示幼蟲於孵化後的第一天，在光強度大於 100lux 時，其趨光抵達數量與秒距關係呈右偏斜集中分布，具有明顯的趨光反應。

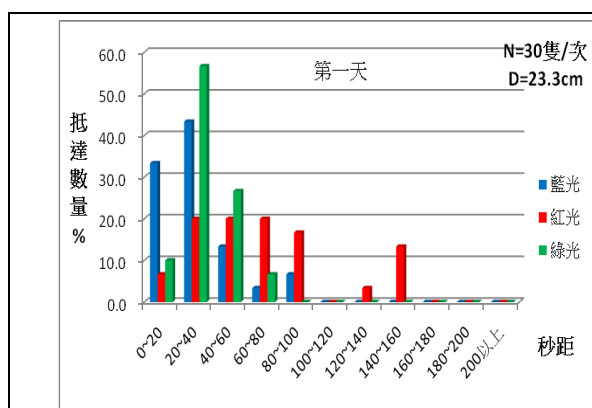
## (二)藍光、紅光與綠光

表十四、第一天不同色光對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

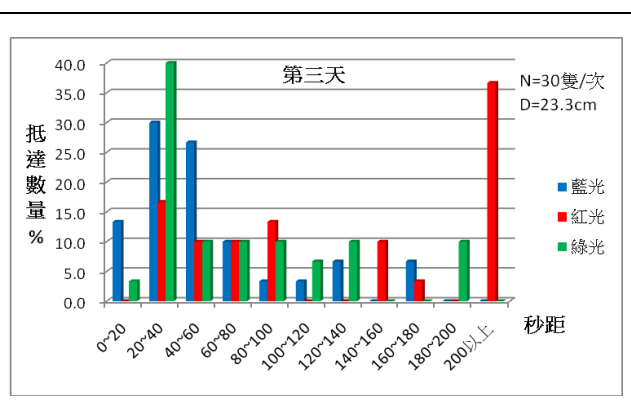
色光/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
藍光	33.3	43.3	13.3	3.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
紅光	6.7	20.0	20.0	20.0	16.7	0.0	3.3	13.3	0.0	0.0	0.0
綠光	10.0	56.7	26.7	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表十五、第三天不同色光對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

色光/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
藍光	13.3	30.0	26.7	10.0	3.3	3.3	6.7	0.0	6.7	0.0	0.0
紅光	0.0	16.7	10.0	10.0	13.3	0.0	0.0	10.0	3.3	0.0	36.7
綠光	3.3	40.0	10.0	10.0	10.0	6.7	10.0	0.0	0.0	10.0	0.0



圖二十一、第一天色光與趨光幼蟲數量的分布

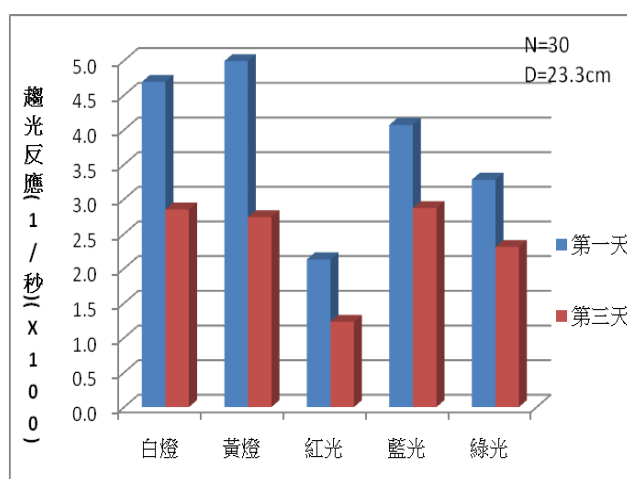


圖二十二、第三天色光與趨光幼蟲數量的分布

1. 第一天的測試，幼蟲之趨光反應成右偏斜集中，其中以藍光最快，綠光次之，而紅光則最慢。
2. 第三天試驗，發現其對於色光的反應變弱，散布於秒距間的數量也較分散，紅光在 200 秒以上的數量顯然偏多，呈左偏斜分布。

表十六、不同光源與色光之趨光反應

趨光反應 (1/秒)	第一天		第三天	
	1/t 平均	標準差	1/t 平均	標準差
白燈	0.0469	0.0221	0.0285	0.0163
黃燈	0.0499	0.0144	0.0274	0.0121
紅光	0.0213	0.0152	0.0123	0.0099
藍光	0.0407	0.0182	0.0287	0.0181
綠光	0.0328	0.0146	0.0231	0.0149



圖二十三、光源和色光其趨光反應的比較

綜合以上光源與色光的趨光反應，在第一天是黃色燈泡>白色LED燈>藍光>綠光>紅光。而在第三天的實驗，其反應順序和第一天情形大致相同，但第三天全部的趨光反應都變慢了！

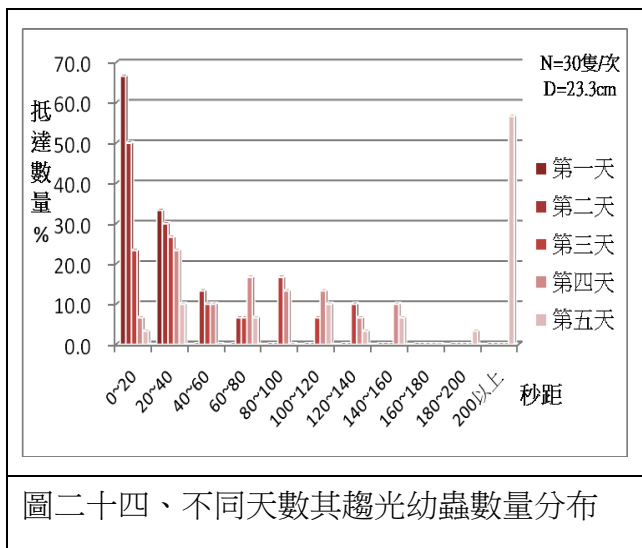
#### (四)不同天數其幼蟲之趨光反應

表十七、不同天數對幼蟲趨光反應之單位時間內抵達數量(%)的變化

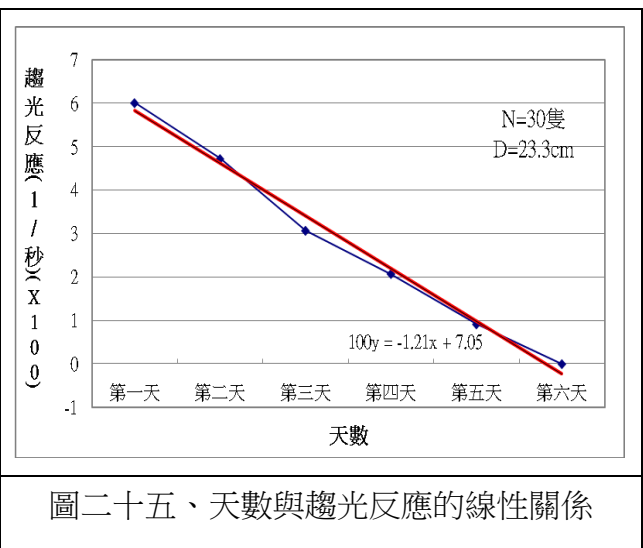
天數/秒距	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200	200 以上
第一天	66.7	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第二天	50.0	30.0	13.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第三天	23.3	26.7	10.0	6.7	16.7	6.7	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第四天	6.7	23.3	10.0	16.7	13.3	13.3	6.7	10.0	0.0	0.0	0.0
第五天	3.3	10.0	0.0	6.7	0.0	10.0	3.3	6.7	0.0	3.3	56.7

表十八、不同天數之幼蟲平均趨光反應(1/秒)

400lux 下	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
1/t 平均	0.0601	0.0472	0.0307	0.0208	0.0092
標準差	0.0145	0.0190	0.0229	0.0169	0.0132



圖二十四、不同天數其趨光幼蟲數量分布

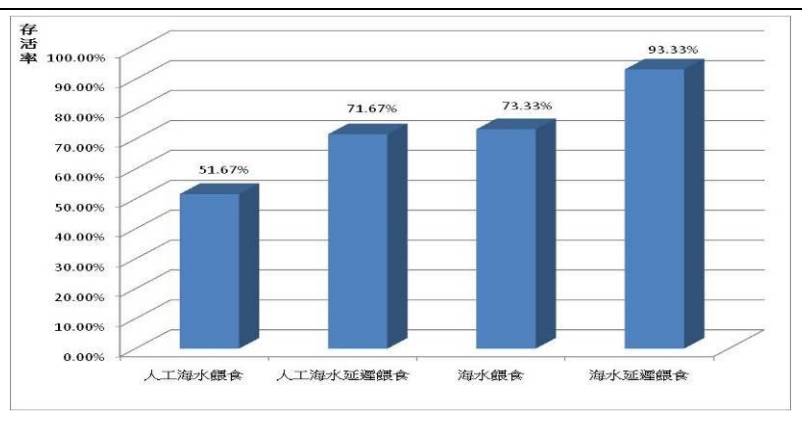


圖二十五、天數與趨光反應的線性關係

圖二十四顯示幼蟲孵化後趨光反應有明顯的變化，第一天呈現明顯的右偏斜分布，到第五天呈現明顯的左偏斜分布。

圖二十五也顯示出其趨光反應呈漸減的線性關係，趨光反應隨天數不斷地變小而至呈現沒有反應。

### 五、不同海水與延遲餵食對幼蟲存活率的影響



圖二十六、不同海水與延遲餵食其存活率的比較

由圖二十六可知，提供打氣與適當餵食，存活率到第六天皆可達 50% 以上。而各組結果顯示天然海水存活率高於人工海水，延緩餵食組其存活率較高，趨光活動尚明顯，而不像餵食組幼蟲大多已呈底棲行走的姿態。

## 陸、討 論

### 一、烏龜怪方蟹雌雄配比差異大原因的推論

- (一) 捕獲的怪方蟹中，經計數結果發現其雌雄比例差距約 1 比 6。我們從躲藏行為、水流對其影響.....等方面探討雌雄配比差異的原因。從覓食與躲藏行為的實驗中可看出雌蟹的躲藏行為較雄蟹明顯。再由編號與體型追蹤分析發現，雄蟹個體較大，而雌蟹則個體較小，較小個體通常有較明顯的躲避行為。且後續飼養追蹤也發現，雌蟹在抱卵後，躲藏行為較之前更為明顯。而由實驗結果也發現母蟹從交配到卵孵化可間隔至少 83 天之久。因此我們推測雌雄因體型與護幼上的需求而有明顯躲藏行為上之分化，所以在採樣的時候，大都是採到在外活動的雄怪方蟹，而母蟹和幼蟹則大多躲藏在石縫中。
- (二) 另外，我們嘗試利用沉水馬達產生不同強度的水流來刺激怪方蟹，在水流噴發 5 分鐘後，將馬達關掉，並觀察其行為。實驗後的結果發現雌、雄怪方蟹對水流皆無特殊的反應，但在水流強大的地方牠們大多會停留在原地或蟄伏，只有少數怪方蟹會找避難所躲起來，可見水流強弱不會是構成躲避的一個必要條件。

### 二、怪方蟹對硫化氫的耐受度為何？

- (一) 硫化氫對水生生物來說是一種劇毒，它能滲入水族體內，造成細胞死亡(註3)。在「硫磺怪方蟹對硫化氫的耐受度與解毒機制」(張誠茂，2006)碩士論文中提到，將硫磺怪方蟹暴露在1000  $\mu\text{M}$  及2000  $\mu\text{M}$  的硫化氫中，半致死時間(LT50)分別為136 及102 小時，而在我們的實驗中，成蟹在2000 $\mu\text{M}$ 、4000 $\mu\text{M}$ 的環境下死亡率皆不高，7天(168小時)後依然有超過半數以上存活，且死亡的螃蟹大多發現有因脫殼後身體較脆弱而被攻擊致死情形。在幼蟲試驗中，我們發現其對硫化氫也有一定的耐受度，這再次印證了硫磺怪方蟹有很強的硫化氫耐受度，而且是與生俱來的。
- (二) 而張生的實驗方式與本試驗最大不同點在於測試的情境，他以錐形瓶集中安置怪方蟹，相較於我們以利用微棲地飼養情境的方式測試，顯然他的測試環境較不穩定，較易有群體死亡的憂慮，這也是我們能測出怪方蟹的硫化氫耐受度相對較高的主要原因。

### 三、抗高溫的繆思！

- (一) 在飼養烏龜怪方蟹的過程中，我們一般將生存環境的溫度控制在 20°C 以上。在 32°C 實驗組的試驗中，硫磺怪方蟹的死亡率並沒有顯著增加，且其活動力也不差。
- (二) 當幼蟲由室溫置入 32°C 組的燒杯時，發現其活動力變差，但第 2 天卻發現存活率是最高的，由圖十三看出 2hr 後 32°C 組的心跳數明顯的比室溫組及 25°C 組慢，所以我們推

測是因幼蟲突然進入一個高溫的環境，短暫休克所致，但在 20hr 後 32°C 組的心跳數測出比室溫組及 25°C 組快，顯然幼蟲對於 32°C 的溫度是有調適能力的。

- (三) 烏龜怪方蟹生活在高溫的火山出口旁，並非直接處於火山口，其生活環境之水溫大約為 20~30°C，僅比正常的溫度高了一些，因此遇到沸水時仍然會被燙死。只是面對溫度如此變化多端的環境，其行為必然也須跟著調整和改變，經長期演化的結果其感應溫度變化，必然地也已找出了牠獨特的驅吉避凶的適應生存之道(註 8) (註 10)。並非如媒體所報導的具有超強的耐高溫性特質，甚至是有「煮不熟的螃蟹」的繆思。

#### 四、幼蟲趨光性的探討：

- (一) 在光源與色光的試驗中，不管是第一天或者第三天都以黃色燈泡的反應最快，而幼蟲對紅光的反應則是最慢。可見幼蟲階段中，對光源與色光種類有不同的反應。
- (二) 在光度大小的試驗，其刺激光強度大於 100lux 時，趨光反應相對當明顯。在 100 lux 以下的測試反應表現較差，抵達終點的數量分散的秒距也變大，甚至很難進行測試，可見幼蟲時期對光度的強弱有明顯的感應差異。
- (三) 隨著天數怪方蟹幼蟲趨光反應顯著成等差級數下降，似乎也意味著怪方蟹幼蟲的浮游屬性漸進的在蛻變中，即將由蚤狀幼蟲轉變為大眼幼蟲。
- (四) 有關海洋浮游動物趨光原理，根據近年的研究發現指出：趨光性是動物眼睛進化一個重要的里程碑(註 11)，因此蟹類的浮游階段雖然存在著風險，卻是一個必須發育和進展的過程。

#### 五、怪方蟹在人工飼養環境「二代無法存活」之說的迷思

- (一) 蟹類的卵孵化後，會由浮游性的蚤狀幼蟲轉為大眼幼蟲再進一步蛻變為底棲型的大眼幼蟹。蟹類在浮游幼體階段容易受到掠食者捕食，且常因環境的突然改變而集體死亡，縮短型發育能使幼體快速過此一時期，有利於後代的存活(註 6)，因此蟹類幼蟲的轉變對生存是有幫助的。
- (二) 另有研究顯示：飼養情境細菌孳長是使幼蟲存活率下降的主要原因之一(註 5)，因此水質的維護，對幼蟹生存是很重要的一環。
- (三) 由本結果顯示，怪方蟹幼蟲在 2000 $\mu$ M 和 4000 $\mu$ M 硫化氫組和 32°C 組都比對照組存活率要高，顯然怪方蟹耐高溫和耐硫化氫的本能為牠取得了更多的生存機會。但因本實驗將幼蟲置於 250cc 的燒杯中飼養且兩天換一次水和每天餵食，顯然對幼蟲的存活帶來衝擊，因此到了第三天各組都有大量幼蟲死亡的情形發生。相較於之後飼養在人工海水或天然海水有打氣的情境中，到第六天都能維持 50% 以上的存活率顯然是不同的。

(四) 幼蟲延遲餵食組不論在人工海水或天然海水中飼養皆有較高的存活率，顯然餵食會導致水中含有較多不確定因子(如：致病細菌、微生物等)，且不餵食組到第六天仍有較高的趨光活動力，顯示此幼體可依賴本身的卵黃營養進行變態，而延遲自外界攝取營養，幼體發育會較遲緩。

## 六、實驗檢討與展望：

- (一) 怪方蟹幼蟲在有打氣、溫度控制的環境中，心跳數較穩定。在硫化氫及溫度對幼蟲影響的實驗中，由於將其飼養於燒杯中，雖有溫度控制，由於沒有打氣，因此心跳數相對於有打氣控制的環境來說比較不穩定，而且也觀察到容易有其他微生物滋長的情形，影響了怪方蟹幼蟲的生存。因此未來實驗設計必須特別注意水質問題，以排除各項可能變因產生的疑慮。
- (二) 怪方蟹因生長環境特殊，產生奇特的適應分化，許多實驗室飼養有其瓶頸，加上目前研究資料有限，導致眾說紛紜，有許多繆思之處。希望未來能進行更多相關試驗，以印證種種假說和了解怪方蟹的生存適應之道，做為我們探索如何適應未來詭譎多變環境的一個參考。

## 柒、結 論

烏龜怪方蟹性情溫吞，雖然沒有強勢的武力配備(PS.沒有飼養者被咬過的紀錄，卻有量測者被牠自割棄肢的行為嚇到之狀況!)，卻能以牠獨樹一格的適應策略獨霸於淺海熱泉。針對本實驗結果節錄其重要的生存因子如下：

### 一、生物因子

#### (一) 本身蛻變與生理需求

- 1.雌蟹較雄蟹善於躲藏，此行為與體型大小和生殖護幼需求有關。
- 2.卵孵化為浮游性幼蟲，經蛻殼再由浮游性幼蟲轉變為底棲性的幼蟹，其形態、心跳與眼球隨著發育調整，但蛻殼期間容易被其他生物攻擊或掠食。

#### (二) 天敵

蟹類的浮游幼體階段容易受到掠食者捕食，飼養情境細菌與微生物等的孳長是使幼蟲存活率下降的主要原因之一。

### 二、非生物(理化)因子

#### (一) 硫化氫

我們發現有關硫化氫解毒的機制應該是在幼蟲的時期就已產生，存活率相對於對照組



也較高。在合適的棲地條件下，成蟹之硫化氫耐受度遠比一般實驗室生理試驗結果高出許多。

## (二) 溫度

在高溫 32°C 時成蟹和幼蟲都有調適能力，善於利用環境棲所才是牠們調適之道。

## (三) 光線

怪方蟹幼蟲的趨光反應在光強度大於 100lux 時有明顯反應。對不同色光的比較：藍光 > 綠光 > 紅光。幼蟲蛻變過程，其趨光反應有明顯線性下降的趨勢，與眼球的漸進發育兩相呼應。

## (四) 水質

蟹類常因環境的突然改變而集體死亡，打氣有無與餵食延遲與否對幼蟹存活率皆有顯著的影響。

# 致 謝

感謝發現烏龜怪方蟹的幕後英雄--朱教練，與我們影片分享，以及詳細的解說；雖然我們沒有親自下海觀察怪方蟹，卻也能身入其境，對怪方蟹有更多的認識和了解。在飼養怪方蟹的過程中，也特別感謝經驗豐富的 █████ 鄭研究員及其助理，提供了我們問題諮詢的管道，讓我們受益匪淺。另外，對於 █████ 大學動物科技學系陳教授的實驗室提供天然海水、解剖顯微鏡與分析軟體等的協助，一併獻上我們誠摯的謝意。

# 捌、參考資料

## 一、期刊、論文

1. N. K. Ng, Peter J. F. Davie, Christoph D. Schubart, & Peter K. L. Ng. (2007). Xenograpsidae, a new family of grapsoid crabs (crustacea : Brachyura) associate with shallow water hydrothermal vents, *The Raffles Bulletin of Zoology*. 16. 233-256.
2. M.-S. Jeng, N.K Ng, & P.K.L.Ng. (2004) . Hydrothermal vent crabs feast on sea 'snow'. *Nature*. 969.
3. 張誠茂(2006)。硫磺怪方蟹對硫化氫的耐受度與解毒機制。台灣大學海洋研究所碩士論文。
4. 李紹興(2009)。孕育中的龜山海底火山。科學發展。437 期。
5. 涂志宏(2002)。字紋弓蟹幼苗培育之研究。中山大學海洋研究所碩士論文。
6. 郭若環(2008)。相手蟹縮短型發育的研究。靜宜大學生態學系研究所碩士論文。

## 二、網路文章

7. 硫磺怪方蟹可以生活在 140 度且強酸高溫的熱水中

取自：<http://www.allnice.com/modules.php?name=News&file=print&sid=483>

8. 龜山島熱泉噴口硫磺怪方蟹的生存之道

取自：[http://www.zlsh.tp.edu.tw/onweb.jsp?webno=3333333135&webitem\\_no=285](http://www.zlsh.tp.edu.tw/onweb.jsp?webno=3333333135&webitem_no=285)

9. 煮不熟的螃蟹？

取自：<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2006/10/2006103117094544.pdf>

10. 怪哉!怪哉!唯汝獨尊!—硫磺怪方蟹之生存適應策略的探討—991115 梯次全國中學生網路小論文比賽特優作品。




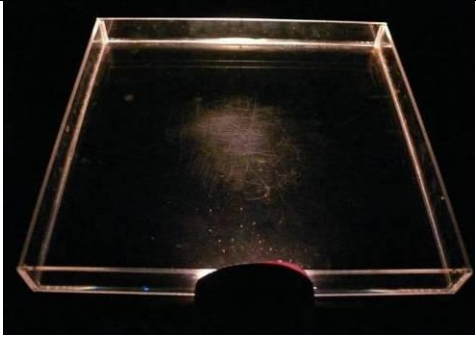
取自：<http://www.shs.edu.tw/>

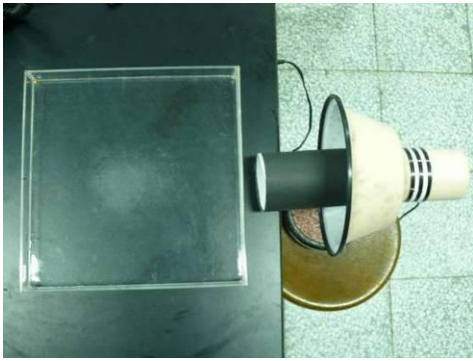
11. Simple Eyes Of Only Two Cells Guide Marine Zooplankton To The Light..

取自：<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/11/081119140705>

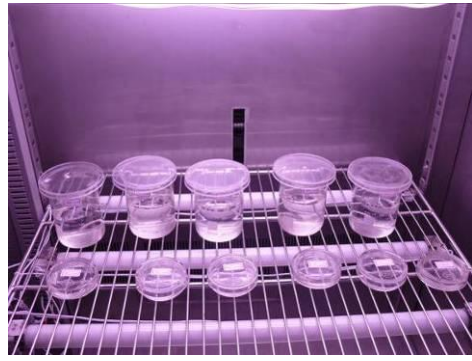
## 玖、附件

### ◎實錄影像

	
大批烏龜怪方蟹群居及其生活環境	抱卵母蟹之飼養
	
光學顯微鏡與電腦軟體攝影	怪方蟹幼蟲趨光性實驗



幼蟲趨光性測試之改裝燈源



不同硫化氫濃度對怪方蟹幼蟲影響之實驗對照置於生物培養箱中



孵化後第一天之幼蟲



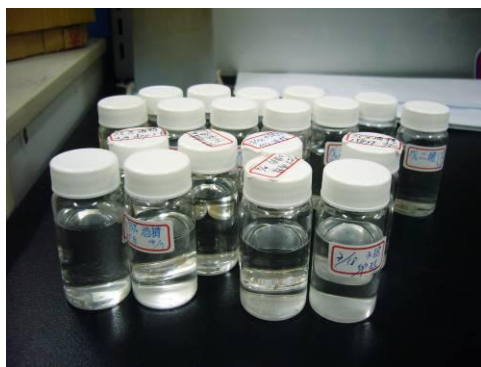
幼蟲分組培養裝置



怪方蟹蛻殼後的殼



清點、測量怪方蟹



樣本收集



樣本量測

## 【評語】 040713

龜山島海底火山口有怪方蟹存活，具有臺灣唯一極端環境演化存活之生物，三位同學團隊合作探討，可以將幼生期人工培養至 6 天做環境因子之存活分析，已突破前人之 2 天存活培養，對  $H_2S$ ，低 pH(2~4)及  $32^{\circ}C$  等物理化學條件仍然存活，並以心跳做為適應力之分析，具有環境生物學之新發現，進一步作基因及生化作用來解釋耐  $H_2S$  或低 pH、低氧、高溫等條件，能突出重要之演化及生理作用。三人合作並且有潛水教練協助採樣及大學協助並有團隊及分工，為良好典範。