

教育部 100 學年度中小學科學教育專案期末報告大綱

計畫名稱：龜山島海域硫磺怪方蟹探究與教學成效研究

主持人：方琮民

E-mail：fsjh0099@gmail.com

共同主持人：黃立宇、阮子恆、陳美蓮

執行單位：宜蘭縣立復興國中

壹、計畫執行摘要

1. 是否為延續性計畫？ 是 否

2. 執行重點項目：

- 環境科學教育推廣活動
- 科學課程教材、教法及評量之研究發展
- 科學資賦優異學生教育研究及輔導
- 鄉土性科學教材之研發及推廣
- 學生科學創意活動之辦理及題材研發

3. 辦理活動或研習會等名稱：螃蟹博物館參觀；螃蟹生態考察

4. 辦理活動或研習會對象：蘭陽女中數理實驗班

5. 參加活動或研習會人數：30 人

6. 參加執行計畫人數：教師 5 人學生 30 人

7. 辦理/執行成效：

本計劃針對學生觀察硫磺怪方蟹的生態、生理適應和行為等進行試驗分析，並了解學生經由「螃蟹」模組教學，對「海洋生物課程的學習態度」改變之情形。結果顯示：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°C 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線性漸進減小。對刺激光強度反應隨光度增加有相對增強變化至趨於和緩的情形，隨著天數趨光反應呈線性下降。而學生經由「螃蟹」模組教學，對「海洋生物課程的學習態度」以及實施「海洋教育」教學回饋皆呈正向改變。

貳、計畫目的

- 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、量測怪方蟹卵和幼蟲的發育與心跳變化。
- 三、了解硫化氫對怪方蟹幼蟲存活率的影響。
- 四、分析怪方蟹幼蟲在不同的光源、光強度等趨光性差異。
- 五、以「螃蟹」模組教學，了解學生對「海洋生物課程」的學習態度是否改變。
- 六、以「螃蟹」模組教學，實施「海洋教育」教學回饋的情形。

參、研究方法

一、取樣

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永盛先生前往宜蘭外海龜山島海底噴泉水域取得。

二、實驗觀察量測

請學生分組(10組)觀察紀錄硫磺怪方蟹食物、脫殼、成長、行為等。以游標尺測量怪方蟹甲長、甲寬、螯寬、腹甲寬，並比較雌、雄差異。(以鹽度維持在30‰，加熱溫控20℃及過濾打氣的天然海水飼養之，若有蛻殼則收集之。)並實驗觀察怪方蟹受光照、硫化氫濃度、溫度等因素的影響。

三、行動研究：

研究者透過資料搜尋、資料分析、教學設計、課程教學，設計「對海洋生物的學習態度」問卷、以及「螃蟹教學模組」實施海洋教育的學習回饋、教師教學反思等資料，作為鄉土教育實施成效之參考。

肆、研究成果

一、烏龜怪方蟹的形態變化、生理測試和行為觀察



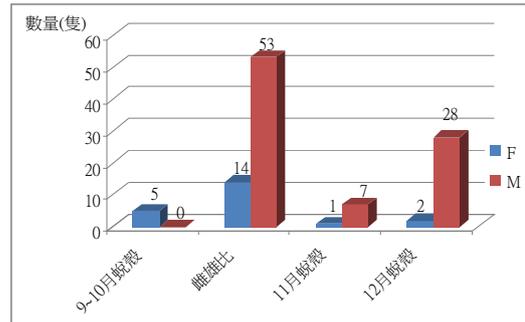
(圖一：烏龜怪方蟹雌雄外觀構造)

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

1. 外觀：由圖一得知，雄怪方蟹體型較雌蟹大，螯也較發達。雌蟹的腹甲較圓而大，雄蟹則呈長三角狀。

2. 蛻殼之季節性差異：由圖二可見 9~10 月蛻殼的大部份是雌蟹，而雄蟹在 11 月~12 月則較多，雌蟹的數量不多，故可推測 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。

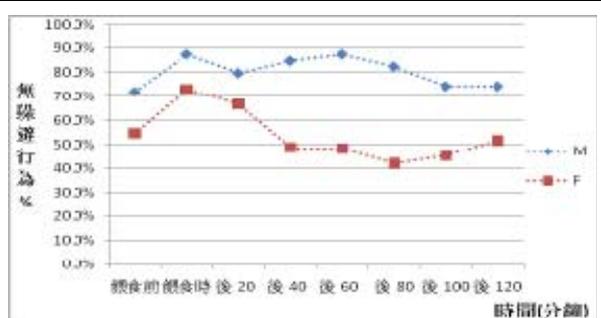


圖二 雌雄怪方蟹 9~12 月份蛻殼情形

(二) 雌、雄怪方蟹躲避行為的差異

表二、雌蟹與雄蟹無躲藏行為比例

時間	雄蟹	雌蟹
餵食前	72.0%	54.7%
餵食時	87.3%	73.0%
後 20 分	79.7%	66.7%
後 40 分	84.7%	48.7%
後 60 分	87.3%	48.3%
後 80 分	82.3%	42.0%
後 100 分	74.3%	45.3%
後 120 分	74.3%	51.7%



圖三、雌雄怪方蟹覓食與躲藏行為比較

由圖三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避行為。

(三) 表三：分組飼養和生理測試之觀察結果 (雄蟹 n=20；雌蟹 n=20)

組別	1 雄蟹 (20°C)	2. 雌蟹 (20°C)	3. 硫化氫 2000 μM	4. 硫化氫 4000 μM	5. 硫化氫 6000 μM	6. 高溫 -32°C
----	-------------	--------------	----------------	----------------	----------------	-------------

甲寬	21.5±1.4	17.5±3.4	20.7±2.3	20.7±2.3	20.7±2.3	19.7±2.7
實驗時間	40 天	40 天	7 天	7 天	7 天	7 天
存活率%	85.0%	90.0%	90.0%	82.5%	72.5%	85.0%

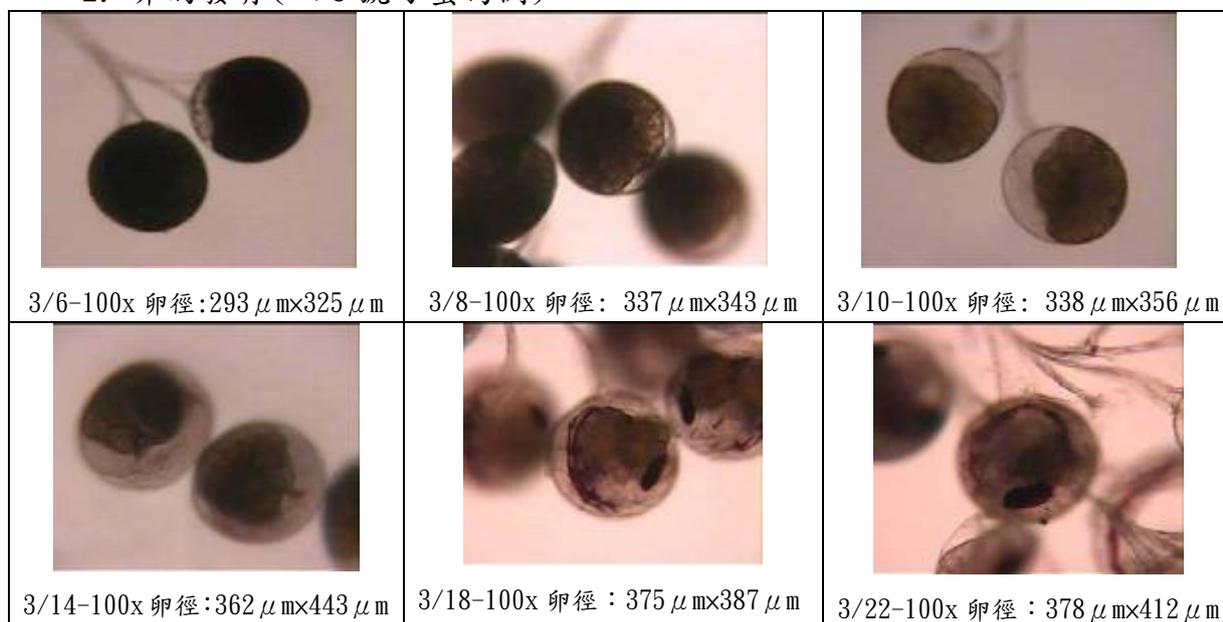
由表三發現，成蟹對硫化氫的耐受情形相當高，於 2000 μ M、4000 μ M 和 6000 μ M 組飼養 7 天(168 小時)存活率皆超過半數以上，而死亡原因大都與蛻殼被攻擊有關。溫度方面的結果顯示在高溫 32°C 時成蟹有調適能力。

(四) 抱卵、卵的發育與釋幼



圖四、母蟹抱卵情形

1. 抱卵之雌蟹編號有 3 號、4 號、5 號和 12 號，甲寬分別為 21.5mm、20.5mm、19.6mm、13.6mm。
2. 卵的發育(以 3 號母蟹為例)



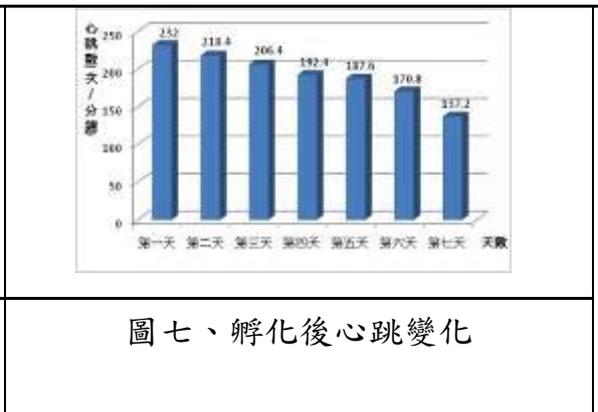
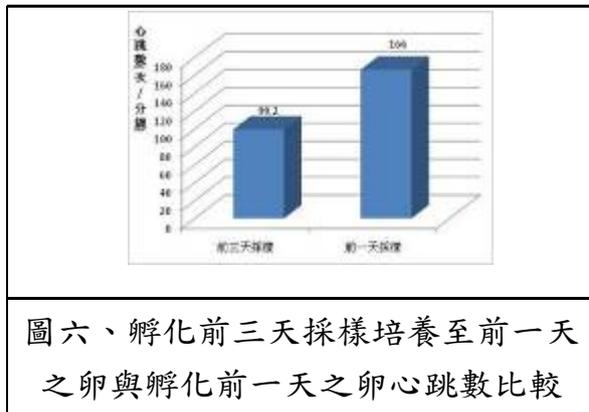
圖五、卵的發育

3. 雌蟹與雄蟹在分隔 40 天後發現抱卵，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。
4. 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)

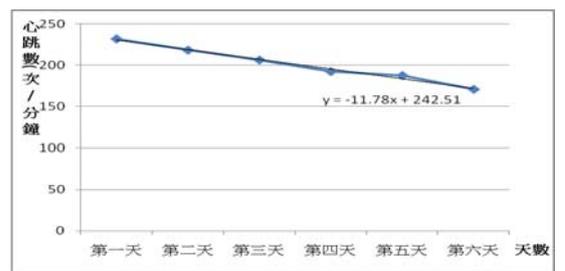
	樣 1	樣 2	樣 3	樣 4	樣 5	平均	標準差
卵—培養	100	136	92	48	120	99.2	29.9
卵—現採	168	226	162	156	118	166	34.7
第一天	224	228	244	236	228	232	7.2
第二天	204	240	220	220	208	218.4	12.5
第三天	180	212	228	172	240	206.4	26.5
第四天	200	198	196	196	172	192.4	10.3
第五天	176	200	172	192	198	187.6	11.5
第六天	160	180	160	198	156	170.8	16
第七天	128	150	148	128	132	137.2	9.8



圖六、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

圖七、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。

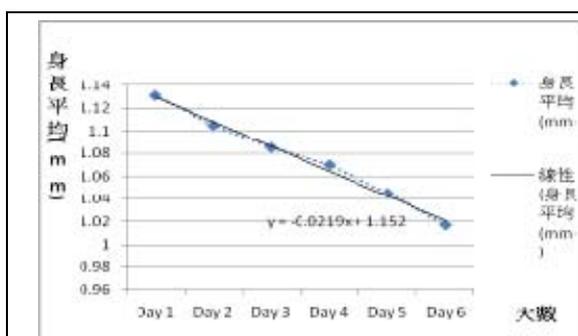


圖八、幼蟲發育初期心跳的線性變化

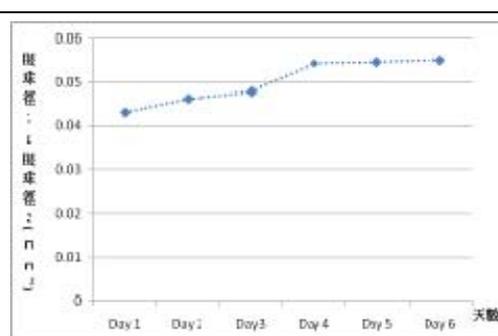
2. 由圖八得知，幼蟲心跳從第一天至第六天幾乎以等差數值下降，但第七天則降至低於趨勢線，顯然第七天降幅變大許多。
3. 幼蟲發育：蚤狀幼蟲漸進為大眼幼蟲

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 ²)	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



圖九、幼蟲身長之天數變化



圖十、幼蟲眼球面之天數變化

由圖九、圖十，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穩定的變化關係。

二、不同溫度對烏龜怪方蟹幼蟲的影響

表六、不同溫度與心跳變化(次/分)			表七、不同溫度測試與與存活率(%)					
溫度試驗	2 小時後 平均	20 小時後 平均	存活率	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
18°C	201.0	200	18°C	100.0%	80.0%	55.00%	5.00%	0.00%
25°C	225.0	191.0	25°C	100.0%	83.0%	73.33%	0.00%	0.00%
32°C	176.0	214.3	32°C	100.0%	95.0%	90.00%	10.00%	0.00%

由表六看出心跳數室溫組 (18°C)、25°C 組、32°C 組都差不多；但由表七看出在第四天後存活情形全部迅速下降。

三、不同硫化氫濃度對烏龜怪方蟹幼蟲的影響

表八、硫化氫與心跳變化(次/分)

H ₂ S 試驗	2 小時後 平均	20 小時 後平均
一般海水	205.0	191.0
2000 μm	201.0	157.5
4000 μm	212.0	191.0
6000 μm	207.0	136.0
8000 μm	207.5	46.0

表九、硫化氫測試與與存活率(%)

存活率	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天
一般海水	100.00%	83.33%	73.33%	0.00%	0.00%
2000 μm	100.00%	86.67%	80.00%	23.33%	3.33%
4000 μm	100.00%	100.00%	100.00%	43.33%	10.00%
8000 μm	100.00%	80.00%	26.67%	6.67%	0.00%

由表八可看出硫化氫的濃度太高心跳數變得較差。

由表九可看出硫化氫的濃度 2000 μM ~4000 μM 存活率較高。

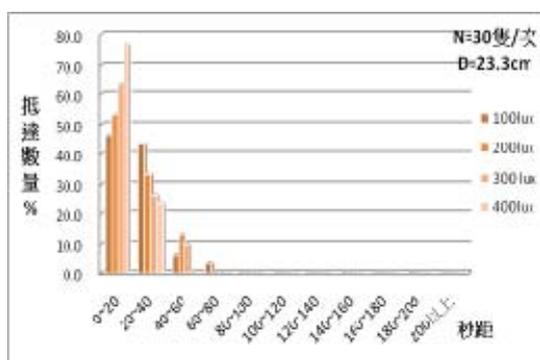
四、趨光反應

(一) 表十、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(n=100)

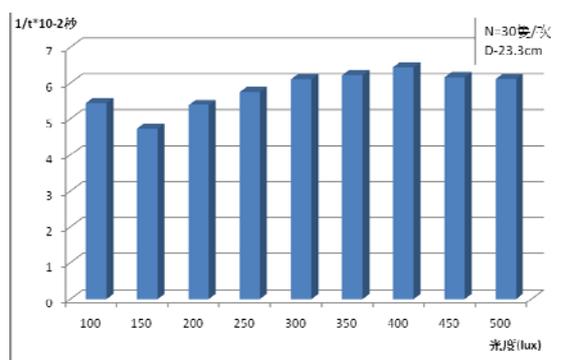
光強度	0~20cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm	100~120 cm
100lux	46.7	43.3	6.7	3.3	0.0	0.0
200lux	53.3	33.3	13.3	0.0	0.0	0.0
300lux	63.3	26.7	10.0	0.0	0.0	0.0
400lux	76.7	23.3	0.0	0.0	0.0	0.0

(二) 表十一、不同光強度之平均趨光反應(1/秒)

光度	100	150	200	250	300	350	400	450	500
趨光反應	0.054	0.047	0.053	0.057	0.061	0.062	0.064	0.061	0.061



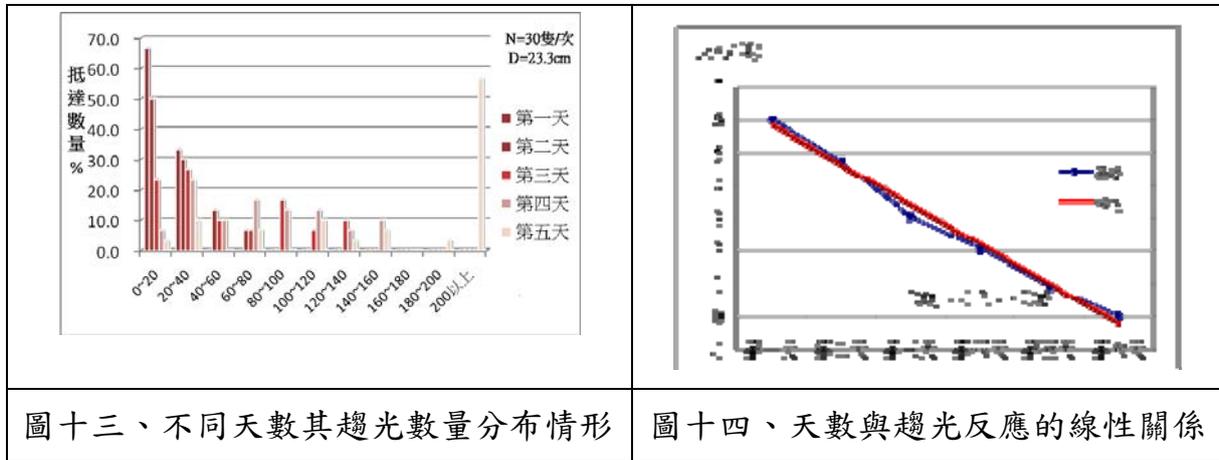
圖十一、不同光度之趨光數量分布情形



圖十二、不同光度之平均趨光反應

由圖十一顯示幼蟲於孵化後的第一天，具有高度的趨光反應。由圖十二則顯示，其趨光反應從 100lux 到 500lux 間由不斷增強而至趨於和緩的變化情形。

(三) 不同天數其幼蟲之趨光反應



圖十三、不同天數其趨光數量分布情形 圖十四、天數與趨光反應的線性關係

圖十三、圖十四顯示幼蟲孵化後趨光反應有明顯的變化，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、學生對海洋生物課程的學習態度量化結果

$n=30$

項目	前測		後測		t 值	顯著性
	平均數	標準差	平均數	標準差		
對海洋生物課程的學習興趣	31.53	3.68	34.67	4.13	2.785*	.015
對海洋生物課程的學習意願	25.07	2.31	28.33	3.75	3.408**	.004
對海洋生物課程的學習信心	29.73	2.31	31.13	3.34	2.941*	.011
對海洋生物課程的學習精神	26.40	2.64	28.47	4.00	2.277*	.039
態度總分	112.73	8.33	122.60	13.04	3.468**	.004

* $p<.05$ ** $p<.01$

從上表的資料得知，學生在「對海洋生物課程的學習態度」量表，經以相依樣本 t 考驗進行分析兩者達到顯著差異 ($t=3.468$, $p<.01$)，前測平均得分為 112.73；後測平均得分為 122.60。顯示學生在接受「螃蟹」模組課程教學後，「對海洋生物課程的學習態度」有正向改變，此研究結果與陳銘賢 (2009) 以珊瑚教學模組實施教學，學生「對海洋的態度」有正向提升的研究有相同結果。

在各分量表得分方面，皆達顯著差異：學生對海洋生物課程的「學習興趣」前、後測平均，達到顯著差異 ($t=2.785, p<.05$)，前測平均得分為 31.53；後測平均得分為 34.67。「學習意願」的前、後測平均，達到顯著差異 ($t=3.408, p<.01$)，前測平均得分為 25.07；後測平均得分為 28.33。而「學習信心」前、後測平均，達到顯著差異 ($t=2.941, p<.05$)，前測平均得分為 29.73；後測平均得分為 31.13。「學習精神」的前、後測平均，達到顯著差異 ($t=3.468, p<.05$)，前測平均得分為 26.40；後測平均得分為 28.47。

六、螃蟹模組教學回饋敘述性統計

$n=30$

題號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	整體
平均數	4.3	4.4	4.0	4.4	4.4	4.1	4.4	4.2	4.2	4.3	42.8
標準差	.61	.62	.77	.68	.73	.88	.68	.79	.77	.80	5.79

「螃蟹」教學模組是由螃蟹的家、螃蟹冒泡、煮不熟的螃蟹、螃蟹博物館、螃蟹標本、螃蟹大力士、螃蟹構造、螃蟹產卵、螃蟹走路等九個子題單元所組成，「螃蟹」模組教學回饋問卷的內容，針對以上學習單元所設計。學生在各子題教學回饋的情形與意義為：「螃蟹模組教學回饋」問卷 ($n=30$) 整體平均得分為 42.8，標準差為 5.79。上述結果顯示，學生在接受「螃蟹」模組課程教學後，對「海洋生物課程的學習」都感覺到很有趣、喜歡、有意願學習，而且對於海洋教育生態平衡與資源永續的概念有進一步提升。

以下簡述學生學習完課程後，以半開放性問卷訪談：對海洋生物課程的學習態度，以及對海洋教育的學習感受，所得到的資料：

(一) 對海洋生物課程的學習興趣

T 問題 1：你認為海洋課程的設計，能讓你覺得學習有趣嗎？為什麼？

答：還滿有趣的，因為認識了不同種類及特性的螃蟹，很令人驚艷 (s1)，藉由這次活動，增加了不少興趣 (s4)，終於可以跳脫課本的限制，實際的觀察螃蟹 (s8)。

T 問題 2：你最喜歡哪一部份的海洋課程?為什麼?

答：觀察水中螃蟹的活動 (s10)、去螃蟹博物館參觀，因為可以實體觀察 (s12)。

於螃蟹的飼養中，可以仔細觀察到螃蟹的生與死，及生活型態和習性 (s26)。

(二) 對海洋生物課程的學習意願

T 問題 3：上完課程後，你覺得比以前更有意願學習海洋生物嗎?為什麼?

答：有，想知道更多海底生物的習性與好壞 (s2)，因為我一直期待有機會可以

更了解海洋生物 (s15)。

T 問題 4：你願意認真學習海洋生物課程嗎?為什麼?

答：蔚藍的大海裡，生物如此多樣，我想更了解這些不常接觸的生物 (s23)！

因為此課程與生活有關，也不會枯燥乏味，十分有趣，又具有教育意義 (s6)，

因為更喜歡海洋，所以願意去花時間學習 (s9)。

(三) 對海洋生物課程的學習信心

T 問題 5：上完課程後，你覺得比以前更有信心學習海洋生物嗎? 為什麼?

答：有，因為海洋生物沒有想像中的那麼難 (s5)。透過老師的講解感覺似乎沒

那麼難 (s25)。

T 問題 6：你覺得海洋生物是困難還是容易?困難(或容易)在哪裡?

答：海洋的生態太豐富，且每種生物的習性各有不同 (s26)，所以有些困難，內

容包羅萬象 (s24)，而且每種生物都有很多種類 (s17)。當然也有認為容易，

學習時如果發揮想像力，將他的生活習性聯想在一起是容易學習的 (s29)。

(四) 對海洋生物課程的學習精神

T 問題 7：在海洋生物學習過程中，有沒有遭遇困難?你如何解決的?

答：有，辨別螃蟹的種類 從螃蟹博物館裡尋求答案 (s22)，當我遇到不了解的，

我會去問老師、和同學討論 (s6)。

T 問題 8：海洋課程，你學到了什麼收穫?

答：沒想到了原來螃蟹的祖先竟然是龍蝦，他們差太多了吧！我看到了牠們吃食

物的樣子，超可愛的！我還發現原來並不是所有的螃蟹都是橫著走路的，也

有直著走路的！（s11）原來螃蟹的型體能夠這麼多變（s18）。

（五）對海洋教育的學習感受

T 問題 9：海洋課程對你最大的改變是什麼？

答：我對海底生物更好奇了（s7），讓我對學習海洋生物或動產生更多的興趣。

（s21）。海洋課程會讓我比以前多留意一些海洋資訊，並注重海洋生態的保育（s28），也讓我認識了神祕的海洋世界，進而關心海洋生態（s30）。

T 問題 10：如果以後你看到海洋，你會有什麼想法？

答：波光蕩漾的海面下，藏著許多我不熟悉的生物，我想更親近大海，或許會透過坐船或浮潛來更加了解吧（s23）！海跟陸地一樣有很多種生物（s20），有機會想潛水看看海底世界（s5）。在海洋裏有許多尚未被發現的新奇物種以及可利用的資源，我們應該好好發掘，同時也不要忘記環境的維護（s16）。

伍、討論及建議（含遭遇之困難與解決方法）

一、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。

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 μM 及2000 μM 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 μM 、4000 μM 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。

二、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).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。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。

三、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變形為底棲型的大眼幼蟹。蟹類的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度過此一時期，有利於後代的存活，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，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 μ M 和 4000 μ 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 and 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。

四、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。
- (三)海洋深邃神秘、潛藏無數的謎團，海洋生物種類繁多卻不易觀察研究，利用螃蟹的實驗觀察，是較方便且趣味較多，以此培養學生對海洋的探索興趣，與生態保育的態度，不失為一個良好教材。

