

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030511

有殼動物的辛「酸」

--酸化海水與有殼動物外殼交互影響之研究

學校名稱：臺中縣立新光國民中學

作者： 國二 林宜靚 國二 邱俊凱 國二 黃于瑄 國二 劉柏均	指導老師： 李志堅
---	------------------

關鍵詞：海洋酸化、有殼動物、珊瑚

有殼動物的辛「酸」—酸化海水與有殼動物外殼交互影響之研究

摘要

本研究實地調查探訪台中火力電廠及高美溼地沿岸生態;評估酸化海水對珊瑚及文蛤、牡蠣、紅蟳、公代、福壽螺等有殼動物外殼的影響;了解外殼對酸化海水 pH 值平衡的貢獻;最後探討高低溫下酸化海水對外殼溶解速率的影響。結果顯示電廠及溼地海溫及海水 pH 值測量期間多數仍屬正常(7.3~8.5),但人為的空氣及水污染對生態影響仍相當嚴重。起始 pH 值 4.6 的海水使殼白化、脆裂甚至崩解;殼的溶解則使海水 pH 值回升至 7 以上,但一段時間(23 天)後緩衝能力減弱,海水仍逐漸偏酸。同種殼體積較小者溶解速率較快,其中紅蟳 50 天後幾乎完全溶解。溫度升高殼的溶解速率也加快,公代在 33°C 酸化海水中 7 天後重量減少達 72%,其次為福壽螺 30.7%、紅蟳 28.7%、牡蠣 16.0%、珊瑚 6.7~12.7%、文蛤 10.7%。

壹、研究動機

生態系與人類生活息息相關,老師為了增進我們的知識,要求每組同學對生態議題做一項書面報告。根據國際學者發表的資料:「目前全球大氣中 CO₂ 濃度增加,造成海洋酸化,使得石珊瑚碳酸鈣造礁作用減緩或停止,同時遏阻硬殼生物鈣質骨骼的生成」(文獻八,2007),處於熱帶氣候的我們實際情況到底如何?一連串的研究就此展開。

貳、研究目的

全球二氧化碳濃度增加,對海洋酸化的影響甚鉅,但工業帶來的污染也是不可忽視。「酸雨不僅只是陸地的問題,它同時也對海洋產生影響。酸雨對於海洋的影響於海岸附近尤為顯著,特別是此區已因環境污染、過度捕撈及氣候變遷,而成為海洋被嚴重影響與最為脆弱的區域了。」(文獻八,2007)。「海洋酸化,使得微小的海洋甲殼類生物的外殼重量下降,加劇全球溫室效應。」(文獻十一,2009)。「當酸化效應也蔓延到熱帶地區時,將會是珊瑚礁的世界末日」(文獻五,2007)。位在亞熱帶地區的台灣沿海,有為數眾多的珊瑚遍布,較高溫的海水對其影響又是如何?除珊瑚外,我們亦想進一步了解其他幾種常見有殼動物的外殼〔文蛤、福壽螺、紅蟳、牡蠣、公代〕又會如何?綜合上述,

我們擬定了下列幾項研究目的:

- 一、中部火力發電廠沿岸及高美溼地現況初步調查
- 二、觀察酸化海水中有殼動物外殼型態、重量之變化
- 三、探討不同外殼對酸化海水 pH 值之影響
- 四、探討不同溫度下酸化海水對有殼類動物外殼之影響



採水器

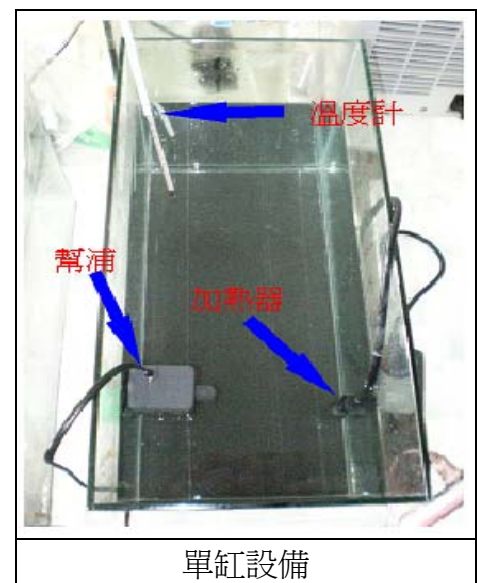
參、研究設備及器材

一、pH 計、溫度計、電源供應器、電解槽、毫安培計、海鹽、電子秤、稀鹽酸、濾紙、磅秤、瓦斯爐

二、六種殼(珊瑚、牡蠣、紅蟳、文蛤、福壽螺、公代)



三、準備五個水缸，小缸分別為 33°C 及 23°C，大缸則裝置冷水循環機，接上幫浦，作為 13°C 水缸。此外，每缸分別裝設幫浦、加熱器及溫度計。



肆、研究方法、結果及討論

一、中部火力發電廠沿岸及高美溼地現況初步調查

(一) 約每隔 1 個月前往火力電廠、高美溼地進行 pH 值和溫度調查，調查地區包括火力電廠出水口(圖二)、出海口(圖四)、大肚溪口外海(圖三)、高美溼地(圖六)以及高美清水大排處(圖五)，共計 6 個月。



圖二 火力電廠出水口



圖三 大肚溪口外海



圖四 火力電廠出海口



圖五 高美清水大排處



圖六 高美溼地

(二)將由火力電廠及高美溼地取得的水分別倒入電解槽中，接鱷魚夾電線到電源供應器(圖七)。以 15V 電壓給予通電，外接毫安培計，檢測其電流強度。



圖七 電流強度實驗設備

(二)結果

1.

表一 台中火力電廠及溼地海水 pH 值及溫度測量						
日期	2008/10/18 (東北風)			2008/11/23 (東北風)		
	水溫 $^{\circ}\text{C}$	pH 值	氣溫 $^{\circ}\text{C}$	水溫 $^{\circ}\text{C}$	pH 值	氣溫 $^{\circ}\text{C}$
火力電廠出水口	32.1	8.3	31.1	28.4	7.9	26.0
火力電廠出海口	34.3	7.9		28.2	8.0	
大肚溪口外海	30.2	8.4		29.0	8.0	
高美(清水大排處)	29.5	8.5	31.9(滿潮)	25.4	8.2	22.9(乾潮)

高美溼地	31.1	8.1		23.5	7.3	
日期	2008/12/21 (東北風)			2009/1/21 (東北風)		
	水溫°C	pH 值	氣溫°C	水溫°C	pH 值	氣溫°C
火力電廠出水口	26.2	7.8	24.1	20.4	7.7	20.3
火力電廠出海口	29.0	7.9		23.9	7.8	
大肚溪口外海	28.1	7.8		22.5	7.7	
高美(清水大排處)	23.5	7.8	20.0(乾潮)	23.1	7.6	20.1(乾潮)
高美溼地	23.0	7.5		22.0	5.8	
日期	2009/2/21 (東北風)			2009/3/28 (東北風)		
	水溫°C	pH 值	氣溫°C	水溫°C	pH 值	氣溫°C
火力電廠出水口	30.1	7.7	19.1	29.0	7.9	20.0
火力電廠出海口	29.5	7.8		28.5	7.8	
大肚溪口外海	28.9	7.7		28.7	7.9	
高美(清水大排處)	22.0	7.4	21.5(乾潮)	22.1	7.8	21.0(中潮)
高美溼地	21.0	8.4		22.1	7.5	上(出水口)
				24.5	7.5	中
				21.8	7.6	下(靠海)

2.

	10月18日	11月23日	12月21日	1月21日	2月21日	3月28日	
火力出水口	247.0	229.0	190.0	187.0	190.5	190.0	
火力出海口	218.0	222.0	228.0	191.0	191.0	189.0	
大肚溪口外海	212.0	222.0	224.0	191.0	187.0	189.0	
高美(清水大排處)	205.0	15.2	12.0	8.1	6.0	113.0	
高美溼地	194.0	2.7	2.3	1.7	13.5	上(出水口)	2.0
						中	7.0
						下(靠海)	85.0
人工海水	161.0						

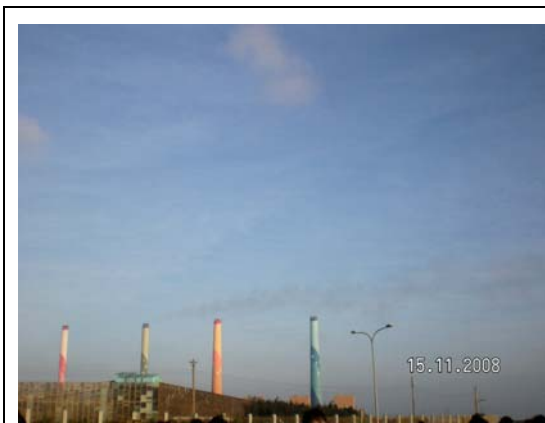
(三)討論：

1. 依據調查測量時水污染防治法規定，廢水排放標準為 pH 值 6~9，大多在調查測量時符合標準。只在 1/21 的高美溼地一排水口 pH 值低至 5.8，而我們發現在高美堤防內有許多農田、房舍及廟宇，推測應是人為汙染導致的結果。



圖八 高美溼地堤岸福壽螺與公代

2. 火力電廠出水口排放的廢水，依電廠說法主要為鍋爐的冷卻水。在六次的調查中，最後兩次出水口的水溫異常偏高。2009/2/21 出水口水溫 30.1°C，氣溫 19.1°C，高出 11°C；3/28 水溫 29.0°C，當時氣溫 20.0°C，高出 9°C。當時正值氣溫偏低的冬季，這些偏高的溫排水在電廠設立十幾年後一直為當地漁民、釣客所詬病，但我們找不到任何相關的學術性論文或數據來進一步了解其對當地海洋生態的影響。
3. 根據我們調查的結果，火力電廠的水質符合標準。但當地釣客反應，曾多次碰見出水口排出紅色、冒煙的廢水，且多在星期五、六清晨八點左右。近日(2009/6/14)，更有民眾目睹梧棲安良港大排疑似遭人偷排廢水，橘紅色的污水和正常的水色差距甚大(附錄 5)。
4. 監測與調查相差如此之大，何者才能反應真正的事實？我們的法律規章、執行，顯然無法確實地保護我們的環境。



圖九 火力電廠黑煙



圖十 火力附近釣客漁獲








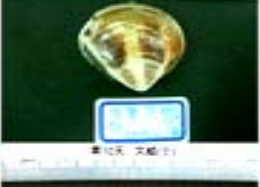








二、觀察酸化海水中有殼動物外殼型態、重量之變化




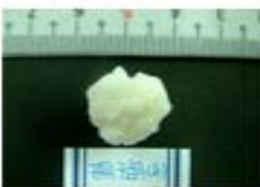




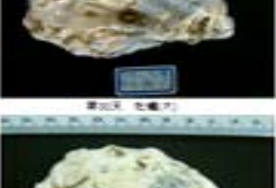
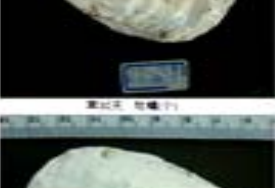
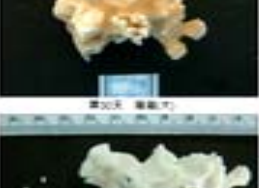




(一)步驟:

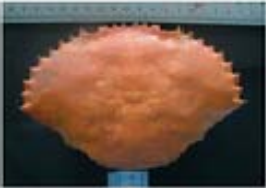


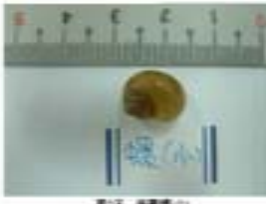
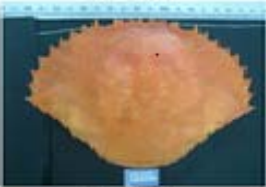











1. 取調製好的人工海水 26 公升，2 等份放於室溫下 2 水缸中。其中一缸以稀鹽酸 滴定至 pH4.6 作為實驗組，另一缸則為對照組。取每種殼各 3 個，記錄其重量後放入茶包中，大、小置入實驗組，中殼置入對照組海水中。
2. 每天中午將實驗組所有殼取出後，測量其 pH 值並記錄，以鹽酸調回 pH4.6，再將殼置回。對照組則不需取出，直接測量 pH 值。
3. 第 0 天、第 10 天、第 30 天、第 50 天將殼取出拍照秤重,算出減少重量之百分比。

(二)結果:

1.

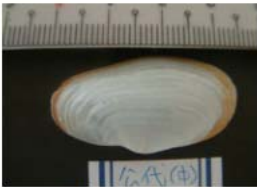

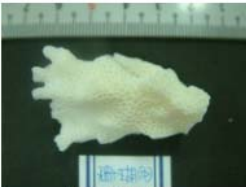
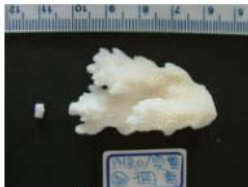








	公代(大)	公代(小)	文蛤(大)	文蛤(小)
第零天				
第十天				
第三十天				
第五十天				

	牡蠣(大)	牡蠣(小)	珊瑚(大)	珊瑚(小)
第零天				
第十天				
第三十天				
第五十天				

	紅罈(大)	紅罈(小)	福壽螺(大)	福壽螺(小)
第零天				
第十天				
第三十天				
第五十天				

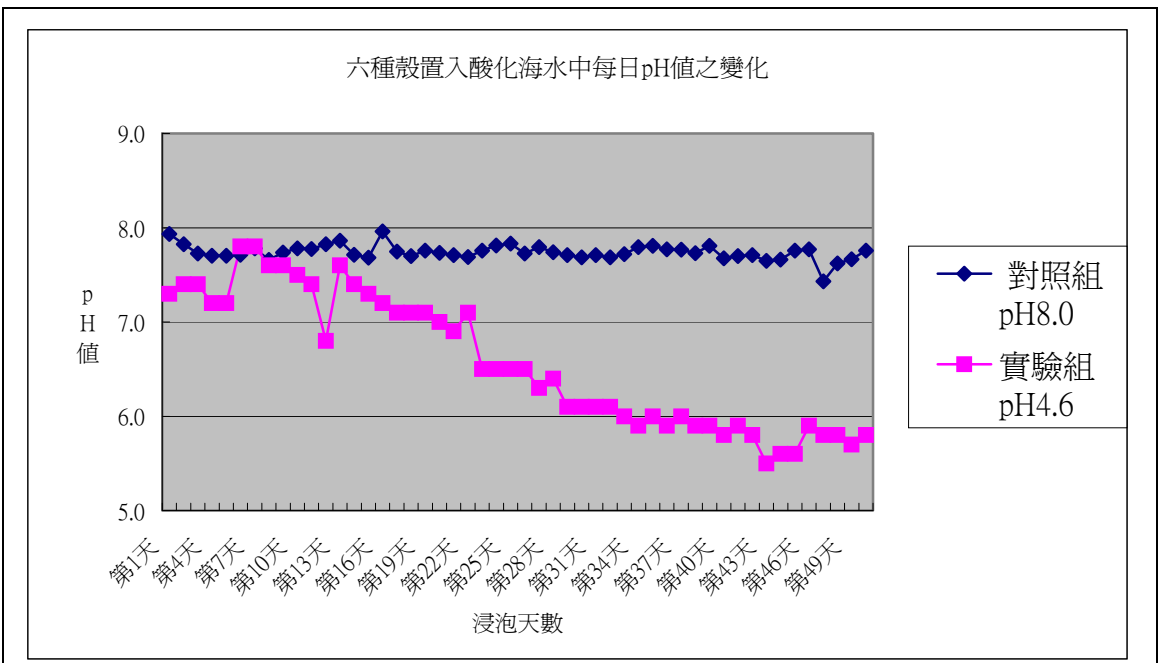
圖十一 六種殼在酸化海水中之形態變化

2.

	第0天	第50天		第0天	第50天
公代			珊瑚		
文蛤			紅罈		
牡蠣			福壽螺		

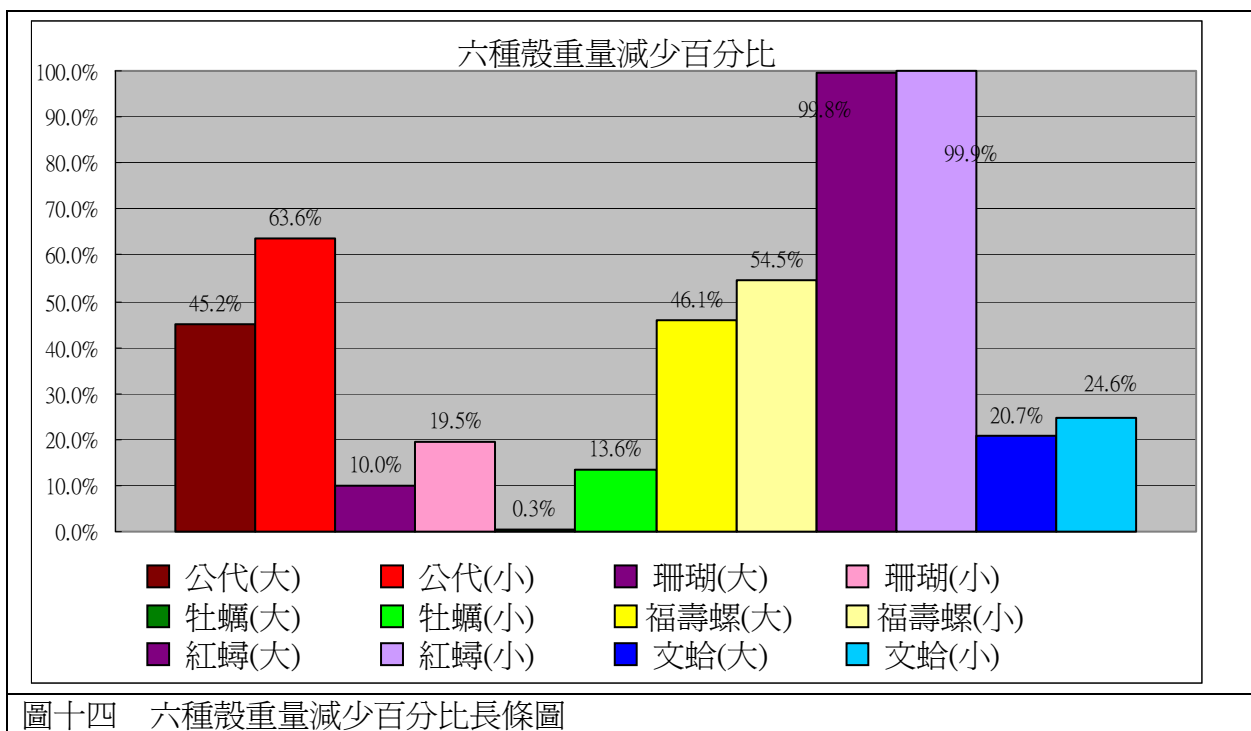
圖十二 六種殼在一般海水中之形態變化

	對照組	實驗組		對照組	實驗組		對照組	實驗組
	pH8.0	pH4.6		pH8.0	pH4.6		pH8.0	pH4.6
第 1 天	7.9	7.3	第 18 天	7.7	7.1	第 35 天	7.8	6
第 2 天	7.8	7.4	第 19 天	7.8	7.1	第 36 天	7.8	5.9
第 3 天	7.7	7.4	第 20 天	7.7	7	第 37 天	7.8	6
第 4 天	7.7	7.2	第 21 天	7.7	6.9	第 38 天	7.7	5.9
第 5 天	7.7	7.2	第 22 天	7.7	7.1	第 39 天	7.8	5.9
第 6 天	7.7	7.8	第 23 天	7.8	6.5	第 40 天	7.7	5.8
第 7 天	7.8	7.8	第 24 天	7.8	6.5	第 41 天	7.7	5.9
第 8 天	7.7	7.6	第 25 天	7.8	6.5	第 42 天	7.7	5.8
第 9 天	7.7	7.6	第 26 天	7.7	6.5	第 43 天	7.6	5.5
第 10 天	7.8	7.5	第 27 天	7.8	6.3	第 44 天	7.7	5.6
第 11 天	7.8	7.4	第 28 天	7.7	6.4	第 45 天	7.8	5.6
第 12 天	7.8	6.8	第 29 天	7.7	6.1	第 46 天	7.8	5.9
第 13 天	7.9	7.6	第 30 天	7.7	6.1	第 47 天	7.4	5.8
第 14 天	7.7	7.4	第 31 天	7.7	6.1	第 48 天	7.6	5.8
第 15 天	7.7	7.3	第 32 天	7.7	6.1	第 49 天	7.7	5.7
第 16 天	8.0	7.2	第 33 天	7.7	6	第 50 天	7.8	5.8
第 17 天	7.7	7.1	第 34 天	7.8	5.9			



圖十三 六種殼置入酸化海水中 pH 值變化折線圖

	原始重	50 天後重量	減少重量	減少%
公代(大)	0.31	0.17	0.14	45.2%
公代(小)	0.11	0.04	0.07	63.6%
公代(中)	0.19	0.19	0.00	0.0%
珊瑚(大)	40.23	36.21	4.02	10.0%
珊瑚(小)	1.54	1.24	0.30	19.5%
珊瑚(中)	8.34	8.26	0.08	1.0%
牡蠣(大)	19.55	19.49	0.06	0.3%
牡蠣(小)	7.73	6.68	1.05	13.6%
牡蠣(中)	14.84	14.84	0.00	0.0%
福壽螺(大)	1.65	0.89	0.76	46.1%
福壽螺(小)	0.11	0.05	0.06	54.5%
福壽螺(中)	0.92	0.92	0.00	0.0%
紅蟳(大)	18.11	0.04	18.07	99.8%
紅蟳(小)	7.55	0.01	7.54	99.9%
紅蟳(中)	8.89	3.11	5.78	65.0%
文蛤(大)	3.04	2.41	0.63	20.7%
文蛤(小)	2.43	1.83	0.60	24.6%
文蛤(中)	2.63	2.63	0.00	0.0%

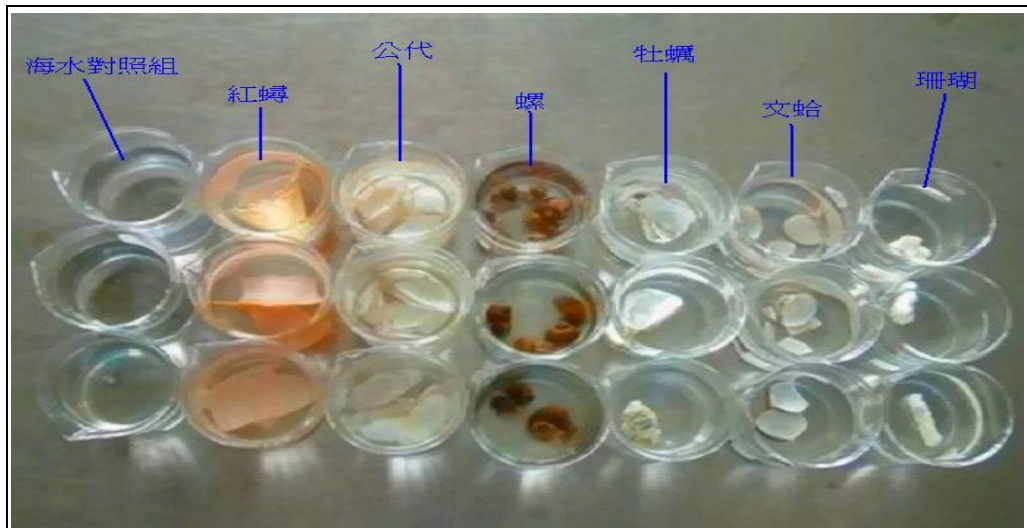


(三) 討論:

- 1.除殼的成分、結構會影響溶解速率外，表面積亦為重要原因之一。就單一個體而言，體積愈小者，其表面積所佔相對比例就愈高，溶解速率(重量減少%)也就愈快。實驗結果除紅蟳外，其他殼接反應此一趨勢。
- 2.上述結果若推演至真實的海洋中，首當其衝的將是數量眾多，體積為小的浮游性甲殼類生物。他們為食物鏈較基層的生物，如此連鎖反應下，將是一場海洋生態的浩劫。

三、探討不同外殼對酸化海水 pH 值之影響

(一)研究步驟：



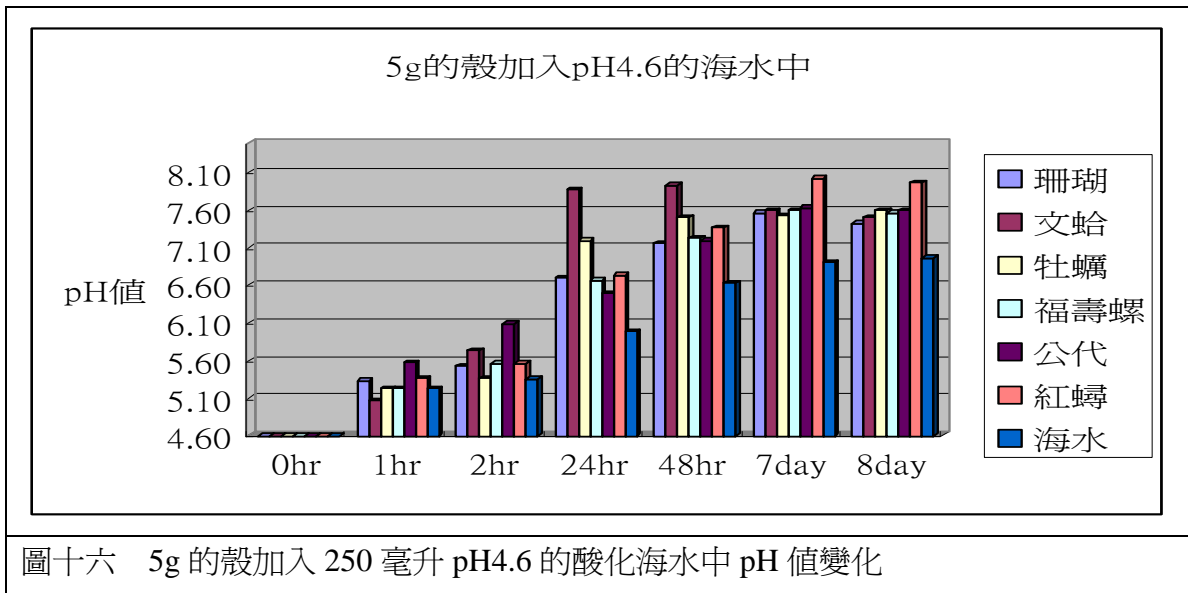
圖十五 不同外殼置入酸化海水與海水對照組

- 1.準備 21 個 500ml 燒杯洗乾淨後分成三組。調配 pH4.6 酸化人工海水(約 6L)各取 250ml 將其加入上述燒杯中。六種殼各取 3 個，修剪使其重量皆為 5.0g，置入燒杯中，其中三個空杯(只有海水)作為對照組。
- 2.置入後，開始計時，在 1hr、2hr、1 天、2 天、7 天、8 天時測量 pH 值。第八天後再將稀鹽酸(1M)加入海水中，使殼徹底溶解,再將剩餘成分過濾、烘乾及秤重。
- 3.取一完整的紅蟳外殼加入稀鹽酸於燒杯中(pH 值 4.0)，溶解其碳酸鹽，共計三天。洗清後，加入氫氧化鈉(0.1 g/ml)將蛋白質溶出，放置一天。分離上述溶出的膠狀液體，並取約 4 平方公分的殼裁成碎片，將其分別置入試管中。
- 4.各試管分別加入 2 毫升氫氧化鈉(0.1 g/ml)靜置約五分鐘後再加入 2 毫升硫酸銅(0.01g/ml)，搖動試管後，靜置觀察其顏色之變化。
- 5.將剩餘的紅蟳殼以蒸餾水浸泡清洗 2 次後裁成兩半並秤重，放入 50 倍體積的酸化海水(pH4.6)及 pH8.0 的正常海水中，觀察 pH 值上升之情形，共計 3 天。另配置等體積無殼酸化海水(pH4.6)及正常海水(pH8.0)作為對照組。

(二)結果：

	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
--	-----	-----	-----	------	------	------	------

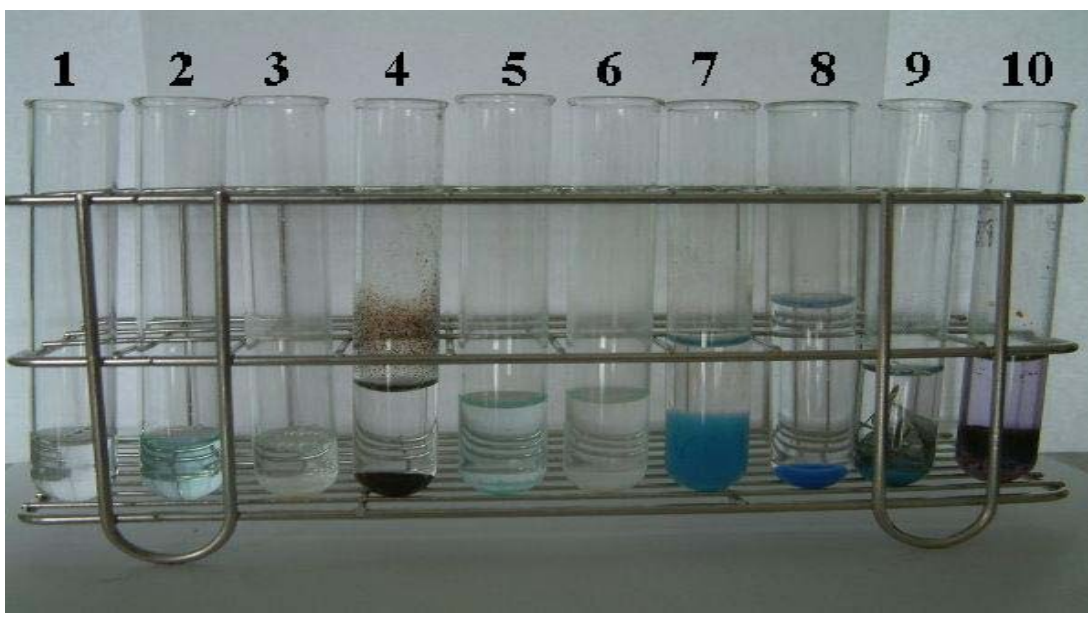
珊瑚 1	4.6	5.3	5.5	6.7	7.1	7.5	7.3
珊瑚 2	4.6	5.3	5.5	6.6	7.2	7.6	7.5
珊瑚 3	4.6	5.4	5.6	6.8	7.2	7.6	7.5
珊瑚平均	4.60	5.33	5.53	6.69	7.16	7.56	7.42
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
文蛤 1	4.6	5.1	5.7	7.9	8.0	7.6	7.5
文蛤 2	4.6	5.0	5.8	8.1	7.9	7.6	7.5
文蛤 3	4.6	5.1	5.7	7.7	7.9	7.6	7.5
文蛤平均	4.60	5.06	5.73	7.87	7.93	7.60	7.50
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
牡蠣 1	4.6	5.3	5.4	7.2	7.5	7.6	7.6
牡蠣 2	4.6	5.2	5.3	7.1	7.5	7.5	7.6
牡蠣 3	4.6	5.2	5.4	7.3	7.5	7.5	7.6
牡蠣平均	4.60	5.23	5.36	7.19	7.50	7.53	7.60
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
福壽螺 1	4.6	5.2	5.5	6.6	7.2	7.6	7.6
福壽螺 2	4.6	5.3	5.6	6.7	7.3	7.6	7.5
福壽螺 3	4.6	5.2	5.6	6.7	7.2	7.6	7.6
螺平均	4.60	5.23	5.56	6.66	7.23	7.60	7.56
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
公代 1	4.6	5.8	6.2	6.5	7.3	7.6	7.6
公代 2	4.6	5.6	6.1	6.5	7.2	7.6	7.6
公代 3	4.6	5.4	6.0	6.5	7.1	7.7	7.6
公代平均	4.60	5.57	6.09	6.50	7.19	7.63	7.60
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
紅蟳 1	4.6	5.3	5.6	6.7	7.3	8.1	7.9
紅蟳 2	4.6	5.4	5.5	6.8	7.4	8.1	8
紅蟳 3	4.6	5.4	5.6	6.7	7.4	7.9	8
紅蟳平均	4.60	5.36	5.56	6.73	7.36	8.02	7.96
	0hr	1hr	2hr	24hr	48hr	7day	8day
海水 1	4.6	5.2	5.5	6.3	6.7	6.9	7
海水 2	4.6	5.3	5.3	6.0	6.6	6.9	7
海水 3	4.6	5.2	5.3	5.8	6.6	6.9	6.9
海水平均	4.60	5.23	5.36	5.99	6.63	6.90	6.96



表六 溶解過後加熱乾的重量

	前重	後重	非碳酸鹽含量	碳酸鹽含量		前重	後重	非碳酸鹽含量	碳酸鹽含量
珊瑚 1 重量	5	0	0.00%	100.00%	福壽螺 1 重量	5	0.078	1.56%	98.44%
珊瑚 2 重量	5	0	0.00%	100.00%	福壽螺 2 重量	5	0.164	3.28%	96.72%
珊瑚 3 重量	5	0	0.00%	100.00%	福壽螺 3 重量	5	0.076	1.52%	98.48%
平均	15	0	0.00%	100.00%	平均	15	0.318	2.12%	97.88%
	前重	後重	非碳酸鹽含量	碳酸鹽含量		前重	後重	非碳酸鹽含量	碳酸鹽含量
文蛤 1 重量	5	0.018	0.36%	99.64%	公代 1 重量	5	0.06	1.20%	98.80%
文蛤 2 重量	5	0.012	0.24%	99.76%	公代 2 重量	5	0.088	1.76%	98.24%
文蛤 3 重量	5	0.008	0.16%	99.84%	公代 3 重量	5	0.092	1.84%	98.16%

平均	15	0.038	0.25%	99.75%	平均	15	0.24	1.60%	98.40%
	前重	後重	非碳酸鹽 含量	碳酸鹽含量		前重	後重	非碳酸鹽 含量	碳酸鹽含量
牡蠣1重量	5	0.024	0.48%	99.52%	紅蟳1重量	5	1.944	38.88%	61.12%
牡蠣2重量	5	0.036	0.72%	99.28%	紅蟳2重量	5	2.522	50.44%	49.56%
牡蠣3重量	5	0.022	0.44%	99.56%	紅蟳3重量	5	0.964	19.28%	80.72%
平均	15	0.082	0.55%	99.45%	平均	15	5.43	36.20%	63.80%



編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
內含物	NaOH 2ml	CuSO4 2ml	膠液	NaOH + CuSO4	膠液 + CuSO4	膠液 2ml + NaOH	膠液 2ml + CuSO4 + NaOH	膠液 4ml + CuSO4 + NaOH	殼(已溶) + CuSO4 + NaOH	殼(未溶) + CuSO4 + NaOH

圖十八 蛋白質以雙縮脲反應檢測

(三)討論

1. 「珊瑚礁、等有殼動物在製造碳酸鈣外殼時，會間接吸收大氣中得 CO₂，在平衡溫室效應上，和熱帶雨林一樣，扮演著『冷房機』的角色」(何立德、民 91)。如今、溫室效應引起的海洋酸化，有殼動物的外殼對 pH 值平衡的貢獻，更是不容忽視。實驗結果亦顯示六種外殼在 7 天後皆可使約 50 被重量酸化海水 pH 值回升至 7.5 以上。
2. 由雙脲試劑實驗檢測的結果(圖十八)，證實紅蟳殼中含有蛋白質。據此我們推測紅蟳外殼的蛋白質及甲殼素對海水 pH 值得提升較碳酸鹽類為高。實驗結果亦證實其對 50 倍重量酸化海水的 pH 值提升可由 4.6 升至 8.5，較碳酸鹽類外殼的 pH 值 7.5 約高出 10 倍。

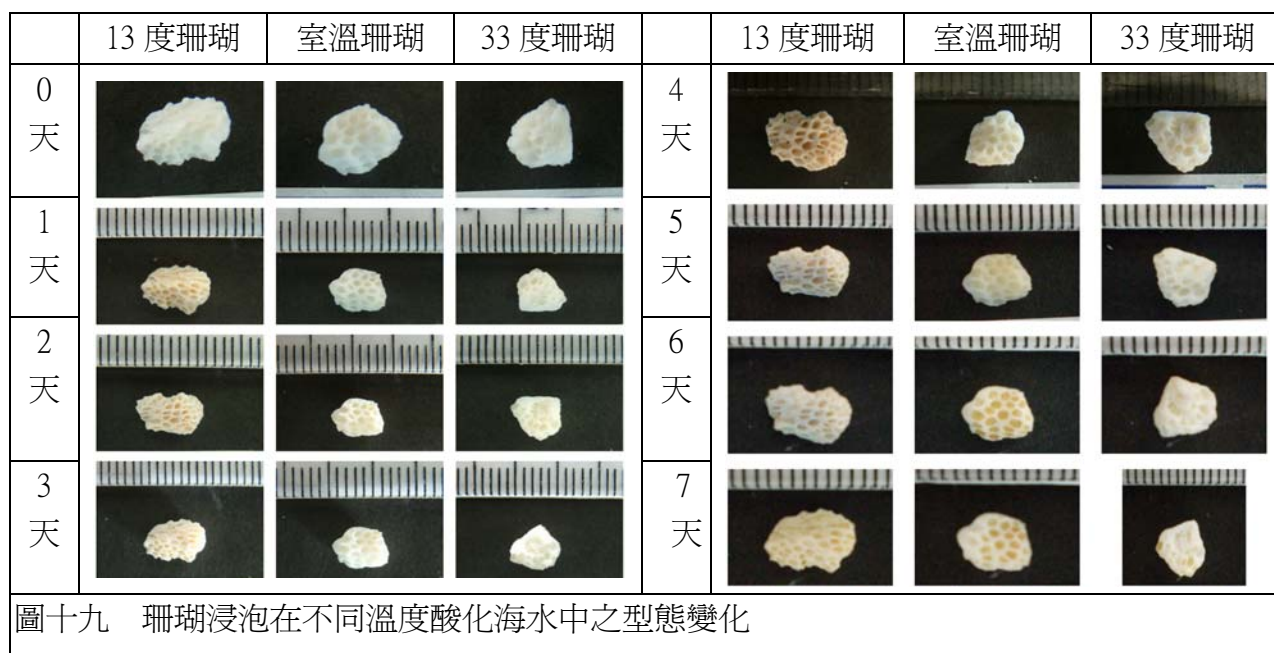
	紅蟳實驗組	紅蟳對照組	無殼實驗組	無殼對照組
0 天	4.6	8.0	4.6	8.0
1 天	8.6	8.6	7.6	8.3
2 天	8.5	8.5	7.4	8.2
3 天	8.5	8.5	7.8	8.2

四、探討不同溫度下酸化海水對有殼類動物外殼之影響

(一)研究方法:

- 1.調 13L 人工海水四缸至 pH4.6 和控制溫度在 13 度、室溫 23-30 度和 33 度。各放入 3 個 0.1 克的殼(包於茶包中)，每天測量 pH 值並調至 pH4.6,對照組的人工海水則調至 pH8.0。
- 2.每天測量 pH 值並紀錄之每天照相及測重量，珊瑚觀察 50 天，其餘五種殼觀察 7 天。

(二)研究結果：



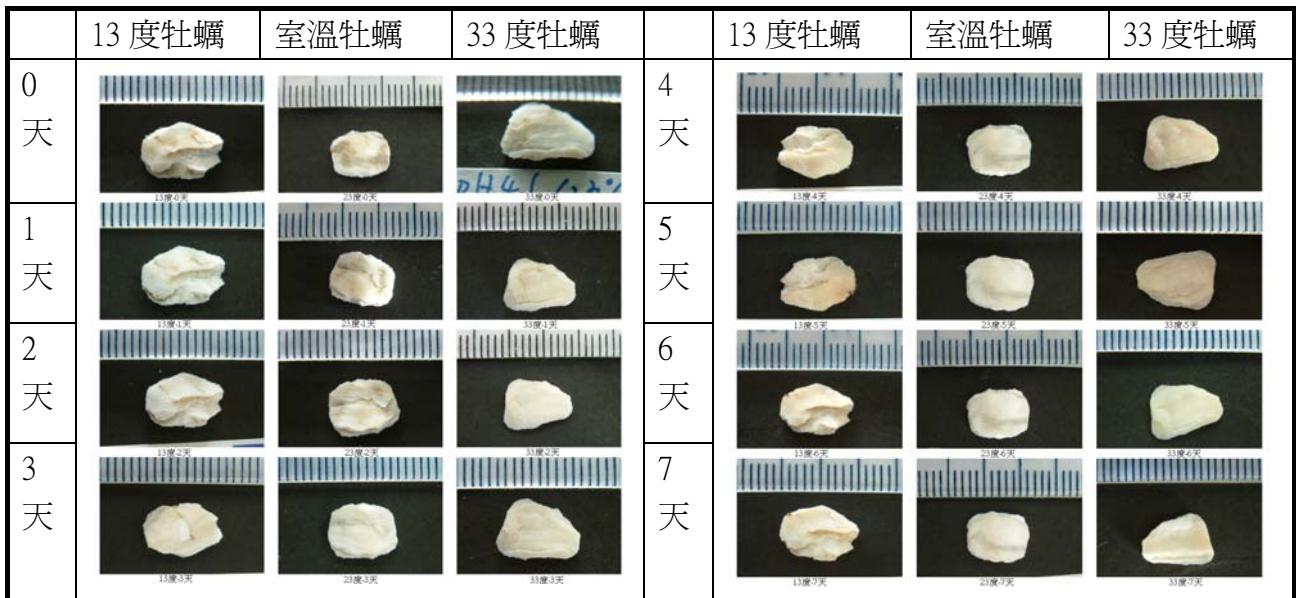
	13 度珊瑚	室溫珊瑚	33 度珊瑚		13 度珊瑚	室溫珊瑚	33 度珊瑚
0 天				40 天			
5 天				45 天			
10 天				50 天			
15 天							
20 天				對照組			
25 天				13 度			
30 天				33 度			
35 天							

圖 珊瑚 50 天顯微照

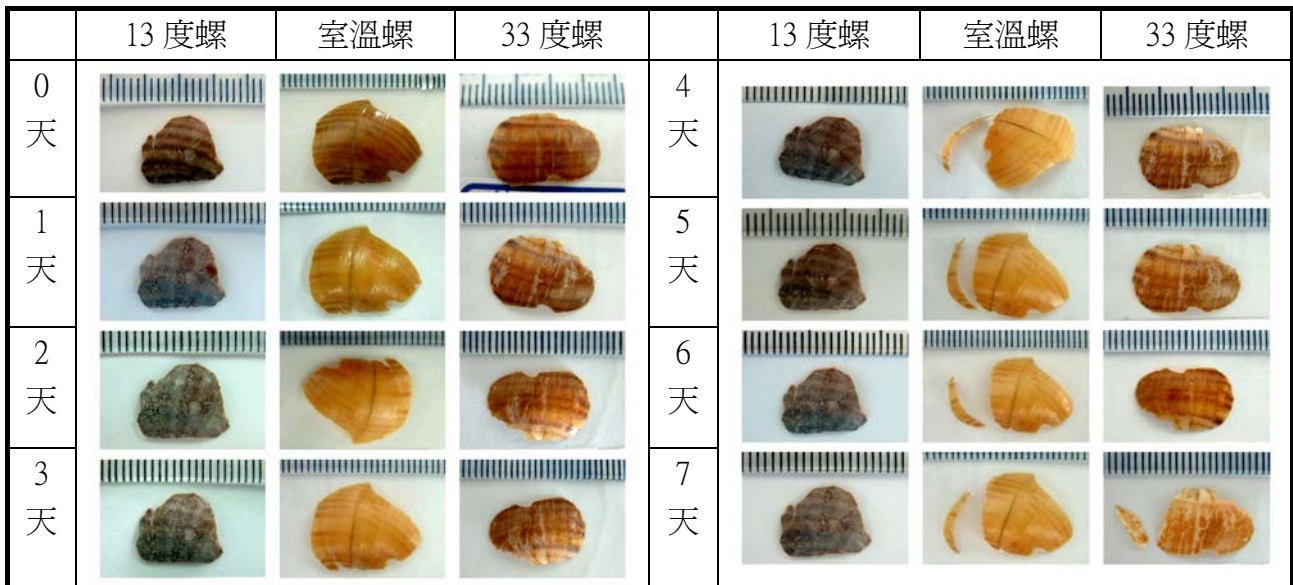
圖二十 珊瑚浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化

	13 度公代	室溫公代	33 度公代		13 度公代	室溫公代	33 度公代
0 天				4 天			
1 天				5 天			
2 天				6 天			
3 天				7 天			

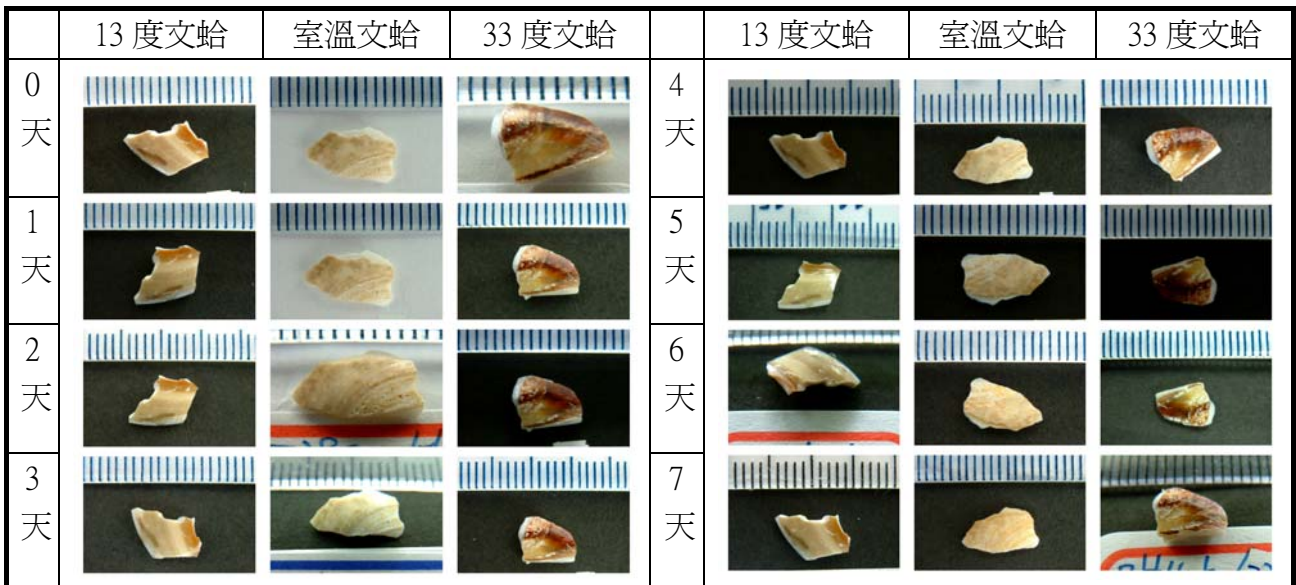
圖二十一 公代浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化



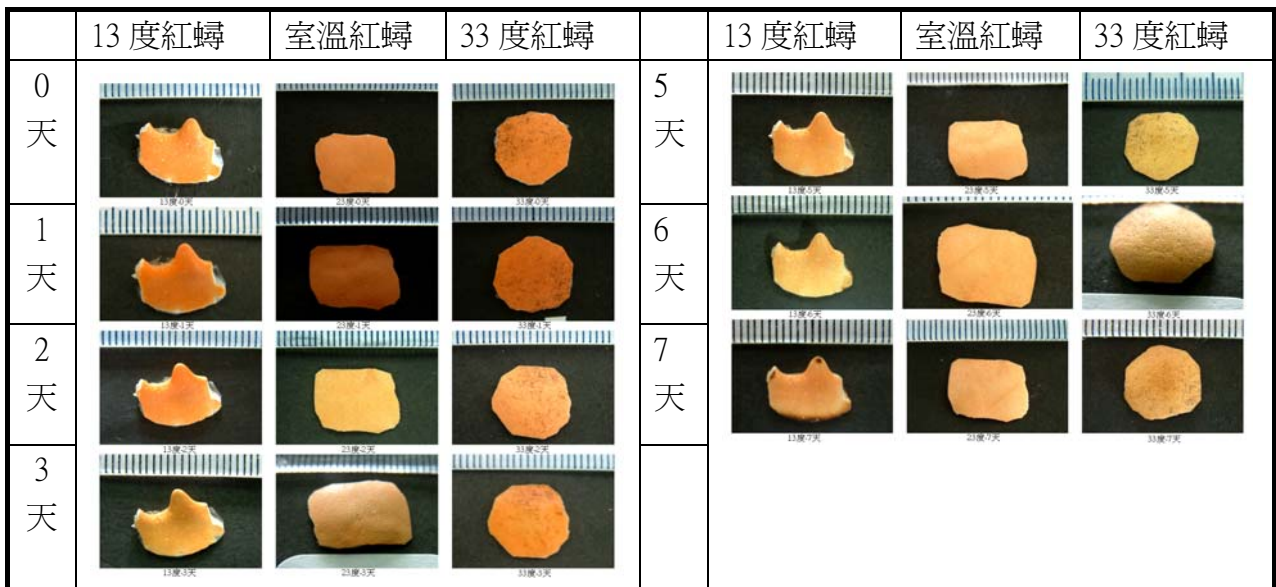
圖二十二 牡蠣浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化



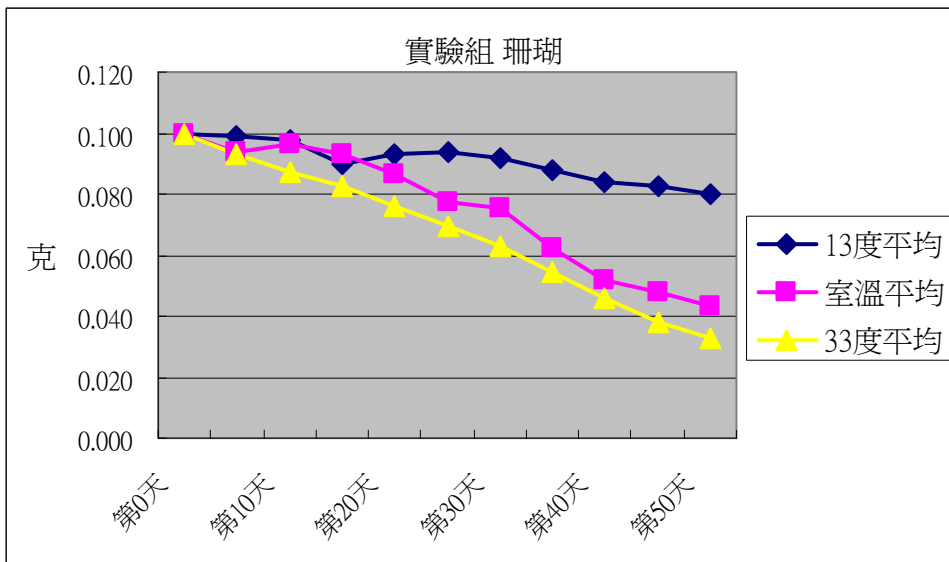
圖二十三 福壽螺浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化



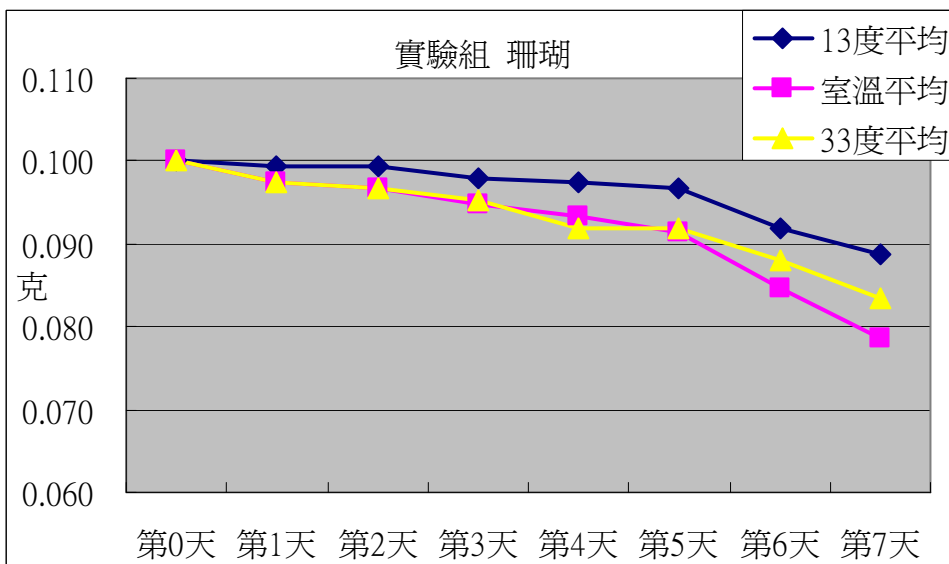
圖二十四 文蛤浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化



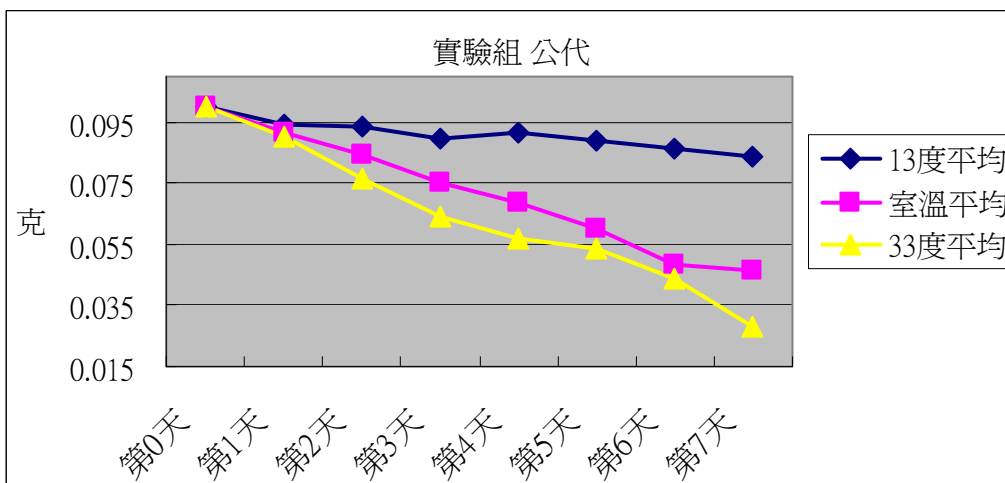
圖二十五 紅蟳浸泡在不同溫度酸化海水中之型態變化



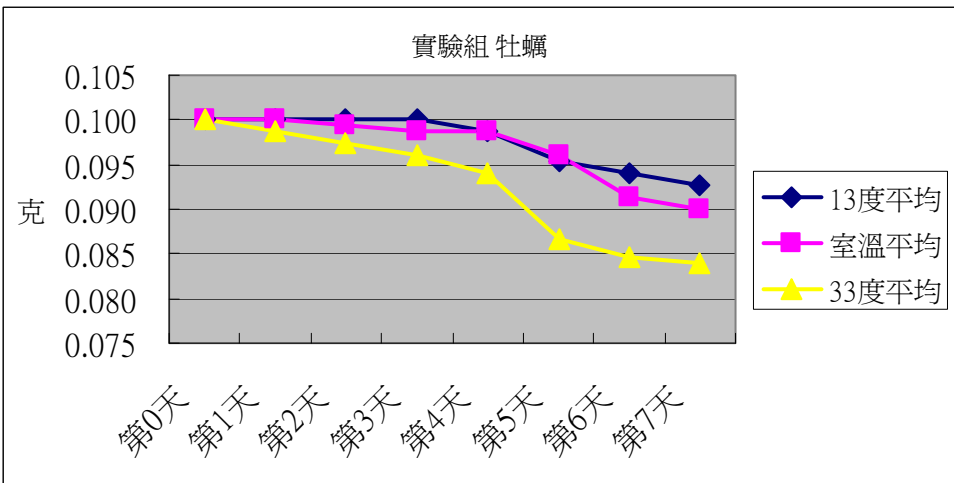
圖二十六 實驗組 珊瑚(50天) 重量變化折線圖



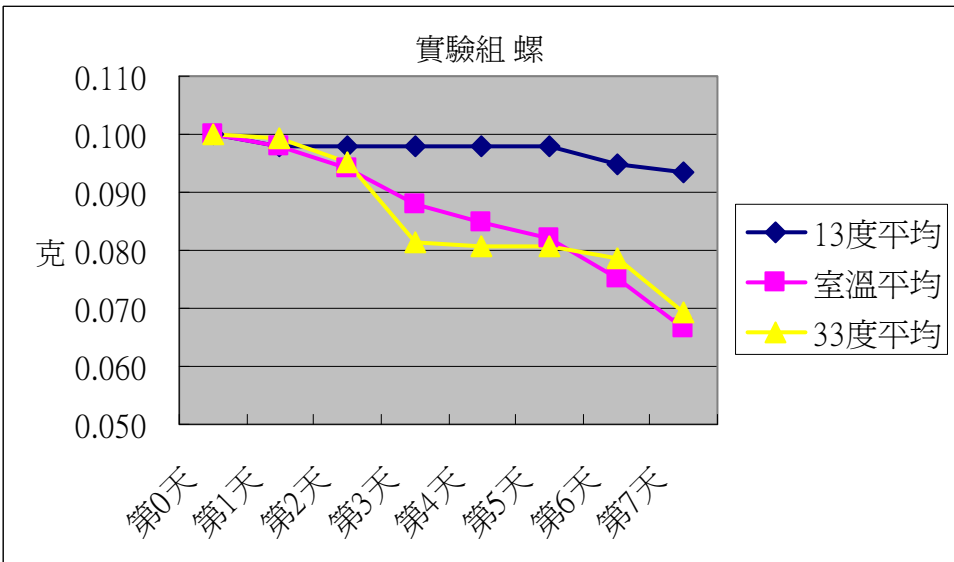
圖二十七 實驗組 珊瑚(7天) 重量變化折線圖



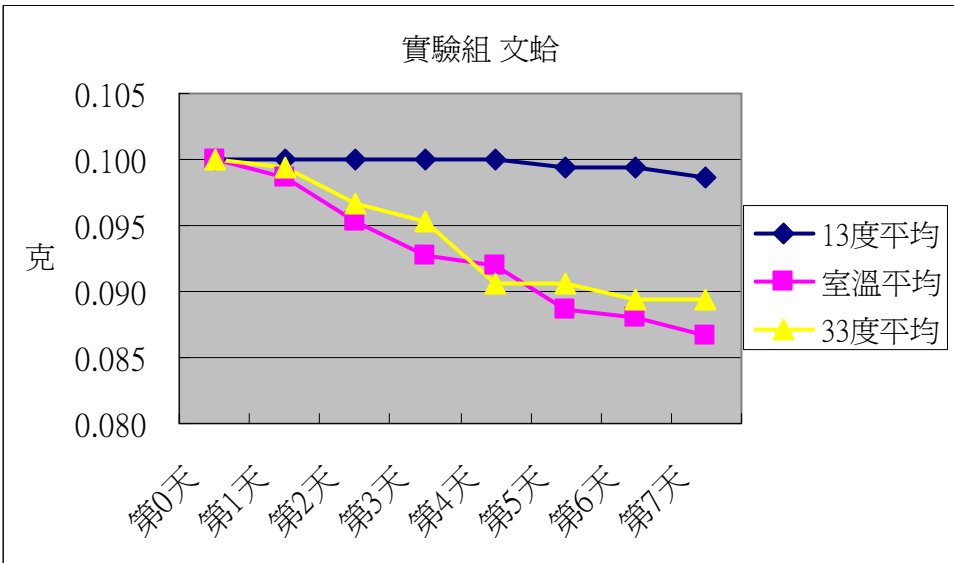
圖二十八 實驗組 公代 重量變化折線圖



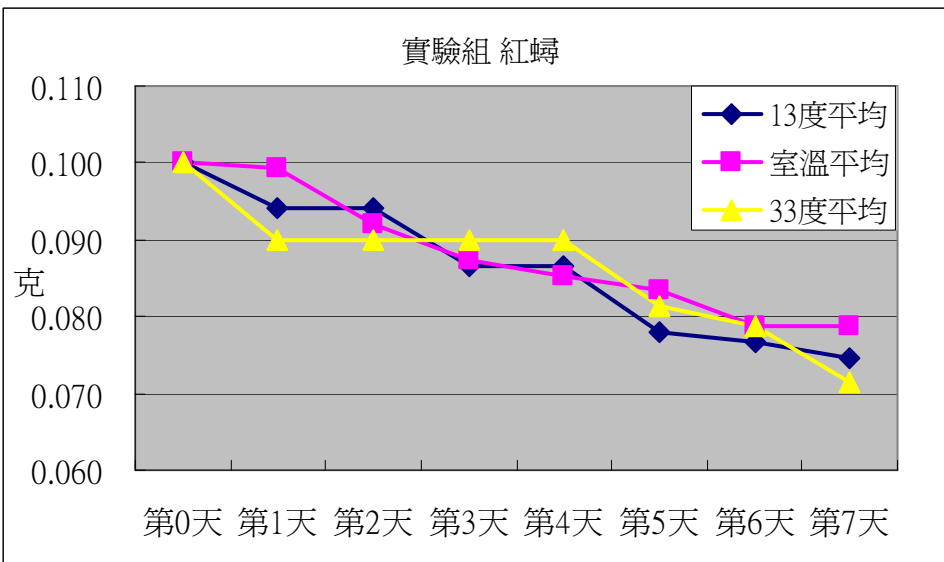
圖二十九 實驗組 牡蠣 重量變化折線圖



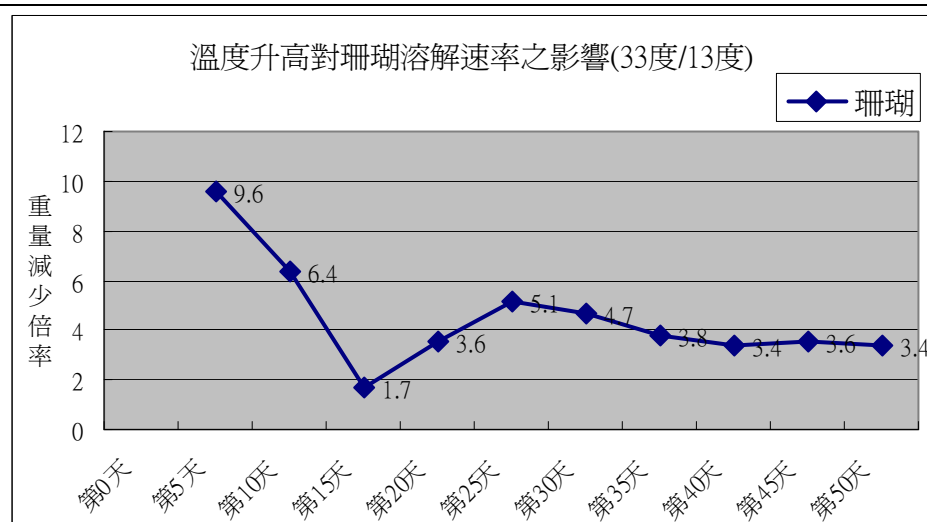
圖三十 實驗組 福壽螺 重量變化折線圖



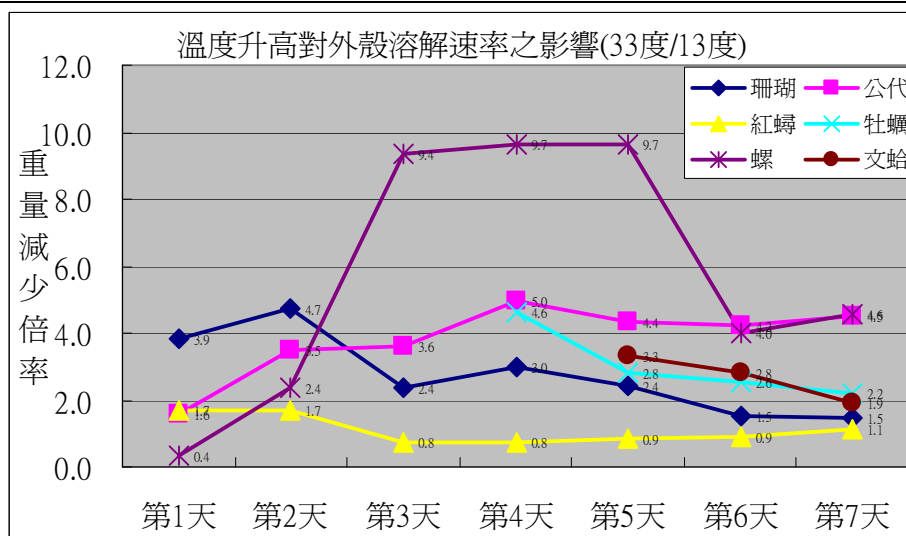
圖三十一 實驗組 文蛤 重量變化折線圖



圖三十二 實驗組 紅蟳 重量變化折線圖



圖三十三 溫度對珊瑚溶解速率影響



圖三十四 溫度對外殼溶解速率影響

(三)研究討論：

1. 由碳酸鈣遇酸溶解的反應式： $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ，得知溫度升高二氧化碳對水的溶解度會降低，促使碳酸鈣的溶解速率加快。而由實驗結果也證實了這六種殼在高溫的酸化海水中皆比低溫的溶解速率更快。
2. 高溫(33°C)酸化海水中，六種殼在 7 天後溶解重量皆在 1 成以上(約 10%-72%)其中公代更高達 72%!當延長浸泡時間至第十天時，公代以完全溶解消失無蹤。我們認為公代之所以為六種殼中溶解速率最快的原因是它的表面積佔體積的比例較其他五種殼大，表面薄而光滑且硬度比較小，導致溶解的速率快出許多。
3. 根據報告顯示(文獻七)：台灣海水溫度最低可達 10°C 左右因受機器限制所以最低溫只能設定在 13°C，而夏季海水最高可達 30 幾°C 因而高溫設定在比 13°C 高 20°C 的 33°C。
4. 原先認為殼溶解速率與密度有關(附錄 4)，但對照數據後，並不符合。進一步測量五種殼的平均厚度(表十五)，厚度最薄的三種殼依序為：公代、福壽螺、紅蟳，此與高溫海水溶解速率最快的前三種殼恰相符合。因此，我們推論在高溫海水下，殼的厚度為影響溶解速率的主要原因之一。

厚度(mm)	前	中	後	左	右	平均厚度
紅蟳	1.37	1.20	0.87	0.57	0.63	0.93
牡蠣	2.77	1.40	12.13	3.47	6.67	5.29
文蛤	1.00	2.00	1.10	1.17	0.93	1.24
公代	0.17	0.23	0.20	0.17	0.10	0.17
福壽螺	0.20	0.33	0.20	0.30	0.17	0.24

伍、結論

- 一、火力發電廠出水口廢水在調查期間測得的 pH 值(7.3~8.5)尚符合標準；可溶性鹽類濃度與鄰近海域差距不大。其冬季近 30°C 的溫排水已影響當地海洋生態。
- 二、火力電廠附近尚有煉鋼石化等眾多工廠仍不時排放大量黑煙、偷排未經處理的廢水，導致嚴重空氣污染及水污染，不僅威脅當地居民健康，也造成漁獲及生態的重創。
- 三、溫度上升將使海水更具腐蝕性，導致有殼動物外殼的溶解加快釋放更多的二氧化碳至大氣中，形成惡性循環。
- 四、六種殼在酸化海水中，表面有逐漸白化、光滑、易碎裂的現象最後紅蟳甚至呈支離破碎、近乎完全溶解的狀態。
- 五、有殼動物的外殼體積越小，在酸化海水中溶解速度愈快。如此在實際海洋中，首當其衝的將是數量眾多的小型浮游性甲殼類動物。
- 六、無殼的酸化海水(pH4.6)已無法再回升至中性；殼的加入使 pH 值回升至 7 以上，但一段時間(23 天)後緩衝能力減弱，海水仍逐漸偏酸。
- 七、甲殼類的紅蟳對酸化海水緩衝平衡的貢獻(pH 回升至 8.0)更甚於碳酸鹽成分為主的有殼動物(公代、螺、牡蠣、珊瑚、文蛤 pH 回升至 7.6)。
- 八、結構較薄、硬度較小的殼較易被腐蝕。六種殼在酸化海水中溶解速率依次為：公代 > 福壽螺 > 紅蟳 > 牡蠣 > 珊瑚 > 文蛤。

陸、參考文獻

- 一、劉惠雅、林吟臻(2006)。海洋酸化的危機。取自：
<http://microbiology.scu.edu.tw/technews/viewtopic.asp?id=118>
- 二、台灣 CO2 排放站上世界舞台,台中、麥寮電廠名列十大(2007 年 11 月 16 日)。環境資訊中心。2007 年 11 月 16 日，取自：<http://e-info.org.tw/node/28254>
- 三、海洋酸化, 珊瑚礁可能在 2050 年消失 98%(2007 年 12 月 24)。環境資訊中心。取自：
<http://e-info.org.tw/node/29181>
- 四、中部空氣品質年度監測結果。中部地區空氣品質監測委員會(民 86-97)，取自：
<http://www.tcppa.org.tw/bid/air5.htm>
- 五、酸性威脅---隨著二氧化碳濃度增加，有殼動物可能消失絕跡(2007)。國家地理雜誌(中文版)，83，94-95。
- 六、何立德、王鑫(民 91)。碳酸鈣與蓋婭(P192-P197)台灣的珊瑚礁。台北縣：遠足文化。
- 七、海溫及雨水 pH 值歷年每月統計資料。中央氣象局。取自：<http://www.cwb.gov.tw/>
- 八、海洋酸化(2007 年 9 月 11 日)。環境資訊中心。取自：<http://e-info.org.tw/node/26462>
- 九、賴景陽(2008 年 1 月)。台灣貝類圖鑑。台北市：貓頭鷹。
- 十、科學發展(2003 年 9 月)。蝦蟹殼傳奇。取自：http://www.nsc.gov.tw/files/popsc/2003_286/62-67.pdf
- 十一、甲殼生物(2009 年 3 月)。環境資訊中心。取自：<http://e-info.org.tw/taxonomy/term/29041>
- 十二、疑趁雨倒廢水 安良港大排染紅(2009 年 6 月 14 日)。自由時報，2009 年 6 月 14 日。
取自：<http://www.libertytimes.com.tw/2009/new/jun/14/today-center7.htm>

柒、附錄



圖一 疑趁雨倒廢水，安良港大排染紅(取自：自由時報 2009/6/14)

【評語】 030511

優點：本作品藉由對照實驗方式，討論海水酸化對海洋有殼生物(碳酸鹽類殼體為主)的影響，此外也實地測量中部火力發電廠沿岸及高美溼地的水質環境調查。其實驗方法及設計具有科學意義。

缺點：設定假設性酸化海水的 pH 值為 4.6 則有待商榷(雖然曾有酸雨之 pH 值為 4.6 之記錄)，正如本實驗所顯示，當海水 pH 值下降時，可能藉由碳酸鈣之溶解而維持在 8 附近；因此 pH4.6 之選定未必符合目前真正環境狀態。

建議改進事項：建議以不同 PH 值海水進行深入分析。