



墾丁國家公園管理處委託研究計畫報告

墾丁國家公園內湖沼、溪流及沿岸水質調查研究(Ⅱ)
龍鑾潭之水質、底泥特性及沿岸水質監測

Water Quality of Lakes, Streams, and
Coastal Regions in the Kenting National Park

(研究期間：79.7.1—80.6.30)

主持人：陳鎮東

許德惇

助理研究員：王冰潔

研究生：林志明

國立中山大學海洋地質研究所

中華民國八十年六月

誌 謝

本研究承蒙墾丁國家公園管理處提供經費及協助，謹致謝忱。保育課徐慧清小姐協助借用、搬運巡邏艇及提供相關資料，南北潛水行兩位先生盡心盡力採取柱狀岩心，中山大學海地所研究助理王樹倫、潘瓊威，博士班學生郭景聖、萬政康協助採取樣本，宋碧蓮、陳淑玲協助圖表製作，在此一併致謝。

本報告分成兩大部份：

第一部份：龍鑾潭之水質及底泥特性

第二部份：墾丁國家公園內沿岸水質之現況

第一部份

龍鑾潭之水質及底泥特性

摘 要

本研究於七十九年七月、九月及十一月三次密集採取龍鑾潭水樣及柱狀岩心，以了解龍鑾潭之水質及底泥特性。結果顯示，高溫期長達半年之久，然而即使在高溫期，水層也不缺氧。七月浮游植物之光合作用較九月、十一月來得旺盛，使得七月份之溶氧飽和度較高，而營養鹽較低。限制浮游植物生長因子為磷，而磷可能來自核三廠民生廢水及水鳥排泄物。水中亞硝酸鹽含量，顯示龍鑾潭有污染來源，但目前引起之問題並不算太嚴重。若將龍鑾潭的水質劃入優養態，起因乃透光度之先天限制，而非因葉綠素 a 及總磷含量過高。柱狀岩心含水量高達 50~60%，顯示組織鬆垮，而且整個潭底沈積物的特性大致類似，歧異度不高；岩心有機質含量不高，而且沒有引起潭水缺氧。

目 錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	V
一. 前言	1
二. 龍鑾潭簡介	3
三. 材料與方法	4
3.1 水樣採集	4
3.2 柱狀岩心 (core) 採集	4
3.3 實驗方法	6
3.3.1 現場測量項目	6
3.3.2 營養鹽之測定	8
3.3.3 葉綠素 a 之測定	8
3.3.4 沈積物之分析	8
3.3.5 湖泊之等深線	9
3.4 精確度與準確度	9
四. 結果與討論	13
4.1 龍鑾潭基本水文	13
4.2 潭水之營養鹽	17
4.3 潭水之營養狀態指標	19
4.4 流入水及流出水之營養鹽	20
4.5 柱狀岩心之含水量	28
4.6 柱狀岩心之有機質	28
五. 結論	35

參考文獻37

附錄42

圖 目 錄

圖 3.1	龍鑾潭採樣位置圖。.....	5
圖 4.1	龍鑾潭水溫隨著月份之變化圖。.....	14
圖 4.2	龍鑾潭之 N:P 圖。.....	19
圖 4.3	七月、九月、十一月龍鑾潭各水樣之營養狀態指標圖。22	
圖 4.4	柱狀岩心之含水量隨著深度之變化圖。.....	29
圖 4.5	柱狀岩心之有機質隨著深度之變化圖。.....	32

表 目 錄

表 3.1	柱狀岩心所在之水深及其長度。.....	7
表 3.2	以高溫烘燒法及元素分析儀法求得之沈積物有機質含之 比較表。.....	10
表 3.3	分析營養鹽 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 之精確度與準確度。...	12
表 4.1	龍鑾潭七月、九月、十一月基本水文及營養鹽含量表。.	15
表 4.2	以穿透度、葉綠素 a 及總磷計算潭水營養指標(TSI) 數值之比較。.....	23
表 4.3	恆春氣象站 1989 年各月份之降水量及蒸發量。.....	25
表 4.4	墾丁地區七十八年四月~六月雨水之 pH、導電度及主 要離子含量。.....	26
表 4.5	雨水及核三廠民生廢水之營養鹽對於龍鑾潭貢獻量之估 計。.....	27
表 4.6	柱狀岩心之有機質含量表。.....	34

附錄 A -1: 七十八年十一月龍鑾潭之基本水文及營養鹽含量。	42
附錄 A -2: 七十八年十二月龍鑾潭之基本水文及營養鹽含量。	43
附錄 A -3: 七十九年一月龍鑾潭之基本水文及營養鹽含量。	44
附錄 A -4: 七十九年五月龍鑾潭之基本水文及營養鹽含量。	45

一．前　　言

台灣河川短促且地形陡峭，無法有效截取雨水，蓄積水源；相形之下，具有蓄水、防洪、灌溉、給水、發電、養殖、甚至休閒娛樂等多項功能的湖泊、水庫就顯得相當重要。尤其在地狹人稠的台灣島上，面對人口壓力及水源枯竭的窘境，保護現有的水資源儲存庫，愈發刻不容緩。

以地質學的角度來看，湖泊在其形成之後，雖然會因湖水的養份愈來愈多，深度愈來愈淺，而逐漸變成沼澤、甚至最後回復為陸地的，但此自然的優養化(eutrophication)，總得花上千、萬年，才會完成此一湖沼之生命史。湖泊生命史長或短，端視原先湖的深淺、養份是否不斷流入湖泊，以及水源是否充足而定；陽明山上的竹子湖，現今已是長滿芒草的山坡地，難以想像它原先是一處為火山噴發物堰塞小溪而成的堰塞湖。是以自然的湖泊優養化，原非在人們短短生命歲月裡可見之景象，但從人類臨水而居的初時，也將污染物帶入了湖水。此加速湖泊優養化的腳步，稱為人為優養化(cultural eutrophication)。很快地，湖泊的生命在人為的污染下，加速走完一生。

人為優養化對湖泊、水庫造成的影響可細分下列幾點(王，1990)：

- (1) 水面形成大量綠色或紅色藻類浮渣，妨礙水庫景觀，造成缺氧，此外水生植物死後之分解產生異味。
- (2) 水庫淤積變淺因而減少水庫壽命。
- (3) 魚類因缺氧死亡。
- (4) 由於藻類繁殖旺盛而使飲用水具有異味。

因此湖水之優養化問題絕不可等閒視之。

龍鑾潭位居南台灣之恆春半島上，為墾丁國家公園之水鳥保護區，其水質優或劣，是否有養份不斷進入潭中，實關係到此保護區是否能夠長存。為了保護現有之水資源免於優養化，本研究計畫希望藉由目前水質現況以及沈積物有機質的含量，了解龍鑾潭是否受到人為優養化的威脅？其優養化程度有多嚴重？若有優養化現象，是否有可行之解決方法？以及潭水未來之管理方向。

二．龍 鑾 潭 簡 介

龍鑾潭位於恆春半島，中心點在北緯 21 度 58 分，東經 120 度 44 分附近，即屏東縣恆春鎮南方約三公里、距貓鼻頭約六公里處，剛好介於恆春半島各山丘的最低點，四周被關山、里海山、馬鞍山、大山母山、赤牛嶺和三台山所圍繞(陳，1987)。滿水時之標高約為 18.5公尺(墾管處，1984)，潭面廣闊，滿水面積約 175公頃，但旱季則在 120公頃左右。是全台灣平地地區現有之最大天然湖泊，平均水深約 3.5公尺，為墾丁國家公園之水鳥保護區。

恆春半島主要由未變質的中新世地層所組成，其上則局部覆蓋著上新 -更新世和近代沉積物(何，1986)，而龍鑾潭附近土壤屬於湖積土之龍潭系，屬微鹼性至中鹼性(墾管處，1984)。

龍鑾潭四周為水稻田，水中生長著濕生植物，像李氏禾、野苧薺、紫蘇草、克菲亞草、鋪地黍，且四周長滿了半人高的五節芒。這些五節芒成了水鳥棲息之天然屏障，加上入秋後水域面積縮小，湖四周出現淺水區，泥沼地，和附近水稻收割後的旱田區，提供了水鳥棲息環境，再加上潭中魚類是水鳥豐富食物來源之一，使得龍鑾潭擁有 152 種之鳥類之紀錄(劉，1987)，並規劃為墾丁國家公園管理處之水鳥保護區。

三．材料與方法

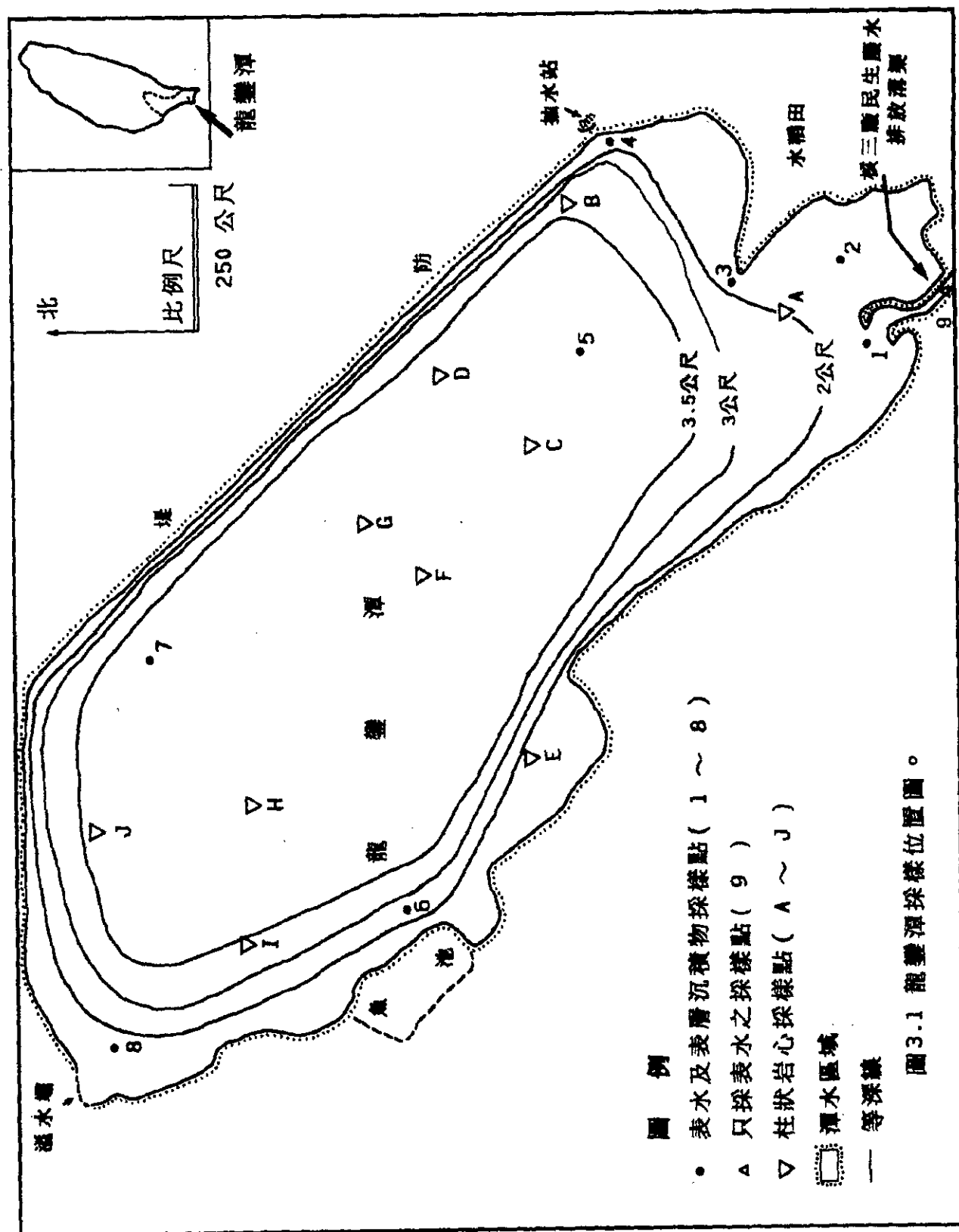
3.1 水樣的採集

水樣的採集分別於七月、九月、十一月密集爲之。七月份的水樣採集乃偏重整個湖泊的調查，採樣點共九處(1~9)(圖3.1)；九月及十一月則偏重在整個湖泊收支情形的調查：由現場觀察得知龍鑾潭水的來源，也就是所謂的「收」，可細分爲下列幾種來源：(1) 雨水 (2) 田地水 (3) 核三廠民生廢水 (4) 魚塢水；而由龍鑾潭流出的水，也就是所謂的「支」，分別有兩處：(1) 位於西北角的溢水壩，水位一旦高於閘門，潭水便流出成爲附近農地之灌溉用水；(2) 位於東南方的抽水站，以抽水馬達不定時抽取潭水，供給灌溉用。九月份的採樣點共八處(田地，核三廠民生廢水，魚塢I，魚塢II，F點表水、1公尺、3.5公尺，及溢水壩外灌溉溝渠)。十一月的採水乃配合壅管處的要求，採樣點分別爲編號 2、E、6、I (潭西邊，順序由南往北而上)，以便了解潭西邊(水鳥常棲處)之水質特性，復於湖心採F、H兩點，做爲對照組之用。

採樣時，以壅管處之巡邏小艇爲交通工具，到達定點後，採取水樣 500ml兩瓶，裝入棕色塑膠瓶中，測量溫度、pH值、溶氧量及溶氧飽和程度並固定葉綠素 a。

3.2 柱狀岩心(core)的採集

柱狀岩心之套管乃取用直徑約 5公分的灰色塑膠管，在管子



下方裝有一不銹鋼的阻逆片 (catch)，以防管子拔出時底泥滑出；在小艇上，將配備好的塑膠管放至湖底，以鐵錘敲打管子，使管子沈入泥中，直至無法再深入爲止。拔起塑膠管，以塞子將底部塞緊，切除上方空心部份，再以塞子塞緊頂部，此即沈積物柱狀岩心之標本。柱狀岩心則於七月採得八支，其中最長一支約 66 公分 (編號 A)，復於九月請潛水人員潛至水面下作業，亦得到類似長度的岩心 (F、H，最長 69 公分) (表 3.1)。

3.3 實驗方法 (各分析方法之詳細步驟請參閱陳、郭、王，1991)

3.3.1 現場測量項目

現場直接測得的項目有溫度、溶氧量、pH值。實驗方法分述如下

- (a) 溫度及溶氧量：以 YSI model 58 DO meter測量。儀器電源打開後，先將 salinity 調至零，再將 zero adjust鈕歸零，轉至 % 鈕，電極置入飽合水蒸氣之水瓶中，依當時高度調整飽和度。儀器校正完畢後，將電極垂至水體欲測之深度，輕晃電極，待讀值穩定即可記錄溶氧之飽和度；轉至mg/l 鈕，記錄溶氧量；再轉鈕至Temp，記錄溫度值。所測得之溫度並與水銀溫度計做比較，若有系統誤差存在，則以水銀溫度計測得的爲準，並將儀器之溫度測值做校正。若儀器溫度有誤，則記錄飽合度，回實驗室後，再以正確溫度換算回溶氧量。
- (b) pH值：將 Basic pH meter 之溫度調爲當時之氣溫，並以該溫度下緩衝溶液應有讀值 (例如 25℃時標準值各爲 pH4.01 及 7.00)校正。水樣取上來，倒取足以掩蓋電極前頭感應薄

表 3.1 各柱狀岩心所在位置之水深及其長度。

編號	所在位置之水深 (m)	岩心長度 (cm)
A	2.0	66
B	3.3	40
C	3.5	25
D	3.5	20
E	1.8	15
F	3.5	63
G	3.5	10
H	3.5	69
I	3.4	20
J	3.5	15

膜之水樣於燒杯中，搖晃電極約 30 秒至 1分鐘，直至讀值穩定後，記錄該 pH 值。

3.3.2 營養鹽的測定

營養鹽的測定，乃以流動注入分析法 (Flow Injection Analysis)，分析水體中各種營養鹽。其基本原理是將傳統的人手操作方法，以導管逐步轉換成連續流動的方式 (Ruzrcka and Hansen, 1981)。分析的項目包括硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽等。詳細的原理及操作步驟，請參照羅立之碩士論文(羅立, 1990)。

3.3.3 葉綠素 a 的測定

取 100 ml 的各層水，利用 $0.45\mu\text{m}$ 玻璃纖維濾紙過濾水中的浮游生物，過濾後的濾紙放入離心管內，並以錫鉑紙包裹防止光線照射，同時進行冷藏。回到實驗室後加 10ml 90% 的丙酮於離心管內，然後利用震盪器震盪二十分鐘後，放入冷藏櫃內冷藏一小時。再取出離心管放在試管混合攪拌器上，攪拌二分鐘後，放入冷藏櫃內冷藏二十四小時，次日取出離心管放置離心機內，以 3000 rpm 速度離心十五分鐘後，取出離心管，將離心管上層澄清液放入螢光儀內 (Turner Model 100-05R) 測量，再根據螢光值與葉綠素 a 含量的關係式，換算成葉綠素含量。

取美國 Sigma 藥廠生產的葉綠素 a，以丙酮稀釋至 $1 \sim 20\mu\text{g/l}$ 不同濃度之溶液，測量標準濃度之螢光值，成為標準曲線。

3.3.4 沈積物之分析

(a) 含水量 (重量百分比)

將柱狀岩心以切割機對剖，並刮去剖面表層以避免鋸片的污染。以 3公分或 5公分為單位取出沈積物，並置於預先稱重的燒杯中。稱重後，將含沈積物的燒杯移至烘箱，於恆溫 110℃ 加熱 48 小時。待溫度降至 60 ℃ 左右，再移至乾燥箱。待回復至室溫後稱重。將加熱前後之重量差除以加熱前重量即為含水量。

(b) 有機質含量 (Page, Miller and Keeney, 1982)

取約 1克上述烘乾、磨細之土樣於坩鍋中，精稱至小數第四位 (B 克)，而坩鍋必須先稱重 (A 克)，蓋上蓋子後，送入高溫爐，以 550℃ 烘燒 3小時，降溫至 60 ℃，再拿至乾燥皿冷卻至室溫後，稱重 (C 克)。有機質的含量 (%) 為：

$$(B - C) / (B - A) \times 100$$

此方法得到的有機質含量，尚包括矽鋁礦物中的水、結構水及碳酸礦物的分解，因此得到的有機質含量，會比真正值來得高。

另以元素分析儀 (Element Analysis, LECO CHN-932) 可求得有機碳 (以EA求得總碳，再將樣本以 550℃ 烘燒掉有機質，復以EA求得無機碳，則總碳減掉無機碳即為有機碳)，再將有機碳乘上 1.9~2.5 可換算出有機質含量 (Broadbent, 1953)。表 3.2 為高溫烘燒法及以元素分析儀求得有機碳換算出為有機質之比較。結果顯示二者相差近 3~4 %，因此將高溫烘燒法求得之有機質含量做修正 (表 4.6)。

表3.2 以高溫烘燒法及元素分析儀法求得之沈積物有機質含量比較表。

深度 (cm)	以 550℃烘燒法分析出 之有機質含量(%)		以元素分析儀分析出 之有機質含量(%)
編號 A			
9	2.22	2.07	0.57
21	1.78	1.82	0.13
33	0.68	1.41	0.11
45	0.97	0.99	0.31
57	1.75	1.24	0.01
63	3.93	3.97	2.12
編號 B			
2.5	6.90	6.66	2.82
7.5	6.46	7.38	3.97
12.5	5.97	5.57	2.56
17.5	6.17	5.63	1.63
22.5	5.32	6.30	1.86
27.5	4.48	6.83	2.30
32.5	5.77	6.24	1.88
37.5	5.13		1.64
編號 C			
2.5	6.92	7.46	2.18
7.5	7.48	7.08	2.44
12.5	7.26	7.72	3.06
17.5	6.81	7.32	2.29
22.5	6.42	6.92	1.86
編號 D			
2.5	7.16		2.40
12.5	6.84		2.02
17.5	7.01		2.51
編號 E			
2.5	6.89		2.11
7.5	6.66		2.20
12.5	7.21		0.37
編號 G			
2.5	7.56		0.97
7.5	6.28		1.65
編號 I			
2.5	7.48	7.11	2.69
7.5	6.42	6.62	1.72
12.5	6.67	7.06	2.05
17.5	6.89	6.81	3.04
編號 J			
2.5	7.78		2.60
7.5	7.94		3.31
12.5			3.63

3.3.5 湖泊之等深線

使用巡邏艇，沿著湖泊各對角線，以 SUZUKI ES-288 魚探機，測定湖水深度，並記錄其相關位置。將測得的深度，依其位置標在圖上，並畫出 1 公尺、2 公尺、3 公尺、3.5 公尺之等深線（圖 3.1）。

3.4 營養鹽之準確度與精確度

營養鹽分析方法準確度之求得，是以高純度之試劑自行配製成標準溶液後，重複實驗六次之平均值及偏差值即為準確度。其中 NO_3^- 是以 KNO_3 （純度 99.994%，ALFA. Chemicals / U.S.A）配製； NO_2^- 是以 KNO_2 （純度 >99%，Merck / Germany）配製； PO_4^{3-} 是以 KH_2PO_4 （純度 99.994%，ALFA. Chemicals/U.S.A）配製； SiO_2 則以 $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ （純度 99.995%，Inorganic Ventures, Inc.）配製而成。精確度則以實際樣本（淡水：翡翠水庫及曾文水庫之水樣）重複實驗六次之平均值及偏差值即為所求。

營養鹽實驗方法之偏差均在 5% 以下（表 3.3），顯示分析方法之可靠。

表 3.3 分析營養鹽 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_2 之精確度與準確度。

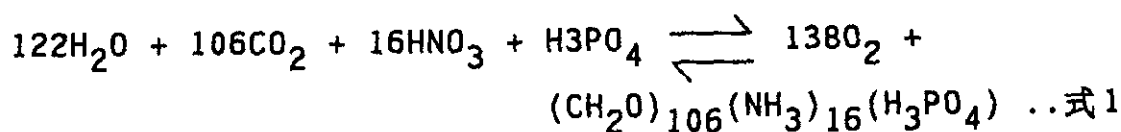
元 素	準 確 度		精 確 度	
	設定值	平 均 值 ± 偏差 (%)	翡翠水庫10公尺 平均值±偏差 (%)	曾文水庫表水 平均值±偏差 (%)
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.454	0.434 ± 0.1	1.187 ± 1.7	
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l)	0.304	0.300 ± 0.1		0.064 ± 0.1
$\text{PO}_4^{3-}\text{-p}$ (mg/l)	0.203	0.202 ± 0.6		0.014 ± 0.1
$\text{SiO}_2\text{-Si}$ (mg/l)	2.333	2.296 ± 4.2		1.392 ± 2.0

四．結 果 與 討 論

4.1 龍變潭基本水文

龍變潭之年溫度變化如圖4.1。最高溫約 31℃，發生在六月，最低溫約 17℃，發生在十二月。當夏天水溫較高時，會有幾項效應對水質產生不利之影響：(1) 就生物作用來說，高溫及充足之陽光將促進光合作用，促使藻類過度繁衍，將有「藻華」現象產生；(2) 就物理作用來說，溫度太高時水層會有層化作用產生，表層氧氣無法補充下層水，易形成缺氧現象。因此單就溫度及陽光來看，每年的四～九月，也就是將近有半年的時間，將不利於水質。但此溫度及陽光效應，尚須配合水體深度、溶氧量、營養鹽等多項資料，才能下定論。

七月水體的溶氧飽和程度介在 102.4~120.3%之間，平均值為109.5%(表 4.1)，較高值出現在編號5、7、8，約比飽和值(100%)高出 10~20%，顯示高溶氧飽程度應與藻類光合作用有關：



上式顯示反應向右(光合作用旺盛時)，用掉溶在水中的 CO_2 (H_2CO_3)、釋出 O_2 ，使得水體溶氧量升高；反應向左(呼吸作用旺盛時)，耗掉氧氣、產生 CO_2 ，使得水體溶氧量降低。再比較七、九、十一月的葉綠素 a 數據，也發現七月葉綠素 a 含量較

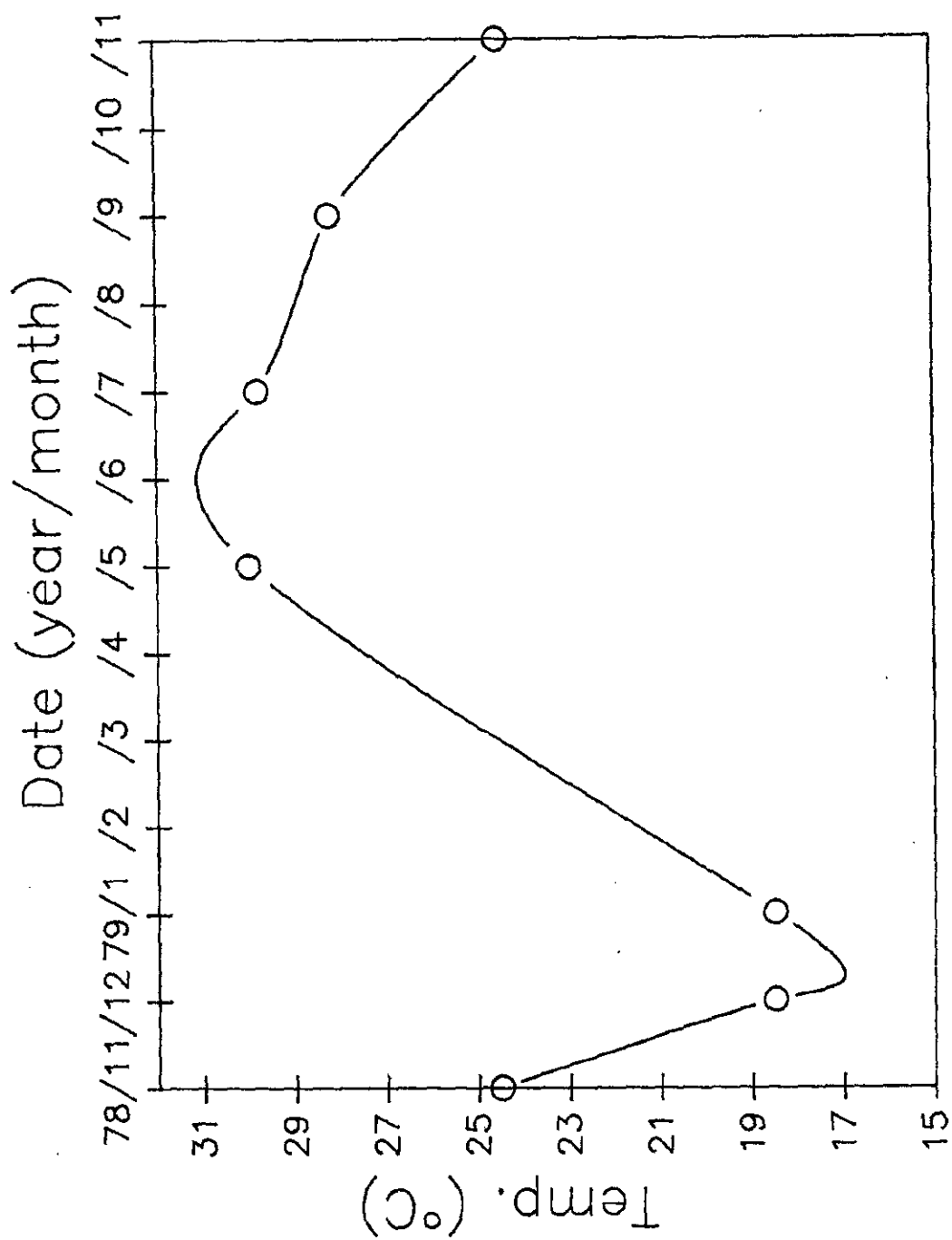


圖 4.1 龍鑾潭水溫隨著月份之變化圖。

註：79/7 以前的數據取自墾管處保育課研究員徐慧倩小姐之研究結果。

表 4.1 龍鑾潭七月、九月、十一月基本水文及營養鹽含量表。

	性質	採樣地點	溫度 ℃	pH	溶氧量 mg/l	溶 氧 飽和度 %	葉綠素 μg/l	phe* μg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	SiO ₂ mg/l
七 月 份	流入水	核三廠民生廢水 排放溝渠	35.5	-	5.43	79.87	-	-	1.231	0.258	0.087	14.057
	潭 水	1	29.1	-	7.89	104.9	16.93	6.29	0.847	0.125	0.026	7.960
		2	29.4	-	8.14	107.5	47.40	0.00	0.694	0.023	0.015	7.760
		3	29.6	-	7.72	102.4	23.14	1.66	0.813	0.036	0.015	7.614
		4	29.9	-	7.76	103.7	14.67	4.32	0.749	0.031	0.015	7.431
		5	29.6	-	8.72	115.5	24.27	2.65	0.645	0.026	0.015	7.614
		6	30.4	-	8.58	104.0	13.55	0.00	0.616	0.020	0.015	7.577
		7	30.0	-	8.83	117.4	13.55	1.23	0.650	0.018	0.015	8.017
		8	30.5	-	8.67	120.3	22.01	8.60	0.621	0.020	0.015	7.833
	I - 表水 I - 1公尺		27.9	-	6.66	86.2	-	-	-	-	-	-
			27.7	-	6.70	86.2	-	-	-	-	-	-
九 月 份	流 入 水	田 地 核三廠民生廢水 排放溝渠 魚塭 I 魚塭 II	28.3	7.87	6.07	77.3	3.00	2.50	0.653	0.022	0.023	10.157
			27.5	7.72	6.63	82.7	7.10	0.33	15.487	1.034	0.042	19.663
			29.2	7.93	7.09	93.5	2.03	0.71	0.171	0.027	0.023	6.367
			29.0	8.02	7.14	93.0	0.30	1.83	0.268	0.024	0.001	5.585
	潭 水	F - 表層 F - 1公尺 F - 3.5公尺	28.1	8.44	7.26	92.5	2.71	0.67	1.031	0.032	0.023	8.473
			28.7	8.29	7.27	94.6	3.39	0.31	1.210	0.029	0.023	9.706
			27.9	8.20	7.18	92.1	5.40	2.55	1.244	0.029	0.001	11.571
	流出水	溢水壩外灌溉溝渠	28.8	8.34	7.98	101.4	-	-	1.103	0.056	0.062	10.609
十 月 份	流 入 水	田 地 核三廠民生廢水 排放溝渠	27.1	8.09	7.20	92.0	12.45	-	0.299	0.021	0.046	6.382
			25.8	7.94	7.08	86.8	5.36	7.54	1.043	0.407	0.137	6.932
	潭 水	2 E 6 I F H	25.0	8.49	8.17	101.1	1.81	1.12	0.840	0.012	0.038	7.190
			25.4	8.47	8.73	109.4	2.71	0.77	0.733	0.013	0.033	6.957
			24.8	8.49	8.26	100.3	0.19	0.12	0.884	0.012	0.090	7.251
			25.0	8.47	8.43	102.5	0.93	2.02	0.828	0.014	0.104	7.058
			24.4	8.47	8.49	100.0	3.47	0.05	0.928	0.007	0.055	7.201
			24.3	8.49	8.24	97.4	2.76	0.66	0.922	0.012	0.044	7.158
	流出水	溢水壩外灌溉溝渠	26.1	8.36	8.49	107.3	3.78	16.74	1.400	0.359	0.358	7.421

*: phe, pheopigments 為葉綠素 a 之衍生物。

其他二個月高出一個數量級左右。由溶氧飽和程度及葉綠素 a 二種數據來看，均可發現七月水體藻類的光合作用相當旺盛，而使得溶氧飽和程度較高。

九月水體的 pH 值介於 7.72~8.44 之間(平均約 8.29)，溶氧飽和度介於 92.1%~94.6% 之間(平均約 93.1%)；十一月水體的 pH 值介於 8.47 ~8.49 之間(平均約 8.48)，溶氧飽和度介於 97.4% ~109.1% 之間(平均約 101.8%) (表 4.1)。九月及十一月 pH 值、溶氧飽和度之數值，均屬正常淡水水體。

水體的溶氧量在七月、九月、十一月三次的採樣中均無缺氧、或無氧的現象。即使在高溫期的五、六、七月，最深水層處(3.5 公尺)的溶氧量亦有 86.2%，而與表層溶氧量接近(表 4.1、附錄 A-3)，顯示出龍鑾潭在夏季高溫期，而且又是藻類光合作用旺盛階段，亦不致使水層缺氧。水層不缺氧，最主要可能應拜龍鑾潭水淺、湖水流動快，氧氣得以不斷補充下水層之賜。

依據 Berger(1971)定義溫帶地區水體「成層之可能性」(possibility of meromixis)： P_m ，若 $P_m > 1$ ，則湖水有可能循環不良，而有成層問題產生； P_m 由湖水最深深度(Z_{max} ，公尺)及表面積 (A ，平方公尺) 來計算：

$$P_m = Z_{max} / A^{1/4}$$

龍鑾潭之 $P_m = 3.5/1750000^{1/4} \approx 0.1$ ，因此由 P_m 來判斷，龍鑾潭不太可能成層。但 Berger 之推論乃根據溫帶地區之水體，無法肯定對亞熱帶地區之龍鑾潭是否適用。而經由溫度、溶氧量實際數據之調查，方提供了直接證明。此水層沒有缺氧的結果，對龍鑾潭的水質給予了正面的肯定，同時也不必擔憂水層在缺氧狀況下，陸續發生的還原作用、造成惡臭、有毒(王，1989)

、磷釋放(Stumm, 1985)....等等傷害水質的問題。

4.2 潭水的營養鹽

營養鹽分析的項目包括硝酸鹽(NO_3^-)、亞硝酸鹽(NO_2^-)、磷酸鹽(PO_4^{-3})以及矽酸鹽(SiO_2)四類(表 3.1)。 NO_3^- 含量在七月份分佈範圍為 0.616~0.847 mg/l(平均約 0.704mg/l)。九月份分佈在 1.031~1.244 mg/l(平均約 1.162mg/l)。十一月份分佈在 0.733~0.928 mg/l(平均約 0.856mg/l)。 NO_2^- 含量在七月份分佈範圍為 0.018~0.125mg/l(平均約 0.037 mg/l)。九月份分佈在 0.029~0.032 mg/l(平均約 0.030 mg/l)。十一月份分佈在 0.007~0.014 mg/l(平均約 0.012 mg/l)。 PO_4^{-3} 含量在七月份分佈範圍為 0.005~0.026 mg/l(平均約 0.016mg/l)。九月份分佈在 0.001~0.023 mg/l(平均約 0.016 mg/l)。十一月份分佈在 0.033~0.104 mg/l(平均約 0.061 mg/l)。 SiO_2 含量在七月份分佈範圍為 7.431~8.017mg/l(平均約 7.728 mg/l)。九月份分佈在 8.473~ 11.571 mg/l(平均約 9.917mg/l)。十一月分佈在 6.957~ 7.251mg/l(平均約 7.136 mg/l)。

由上述資料可知，龍鑾潭的營養鹽含量隨著季節之變化並不大，大致上 NO_3^- 約落在 0.6~1.2 mg/l之間， NO_2^- 落在 0.02~0.1mg/l之間， PO_4^{-3} 落在 0.001~0.1 mg/l之間， SiO_2 落在 7.0~11.6 mg/l 之間。其中又以七月份的營養鹽含量較其他二個月來得稍低，由七月份葉綠素 a 含量較高於其他二月來看，此低營養鹽值可能與七月份較有旺盛光合作用，用掉營養鹽有關。

浮游植物死亡後之有機體經由氧氣氧化，可釋出營養鹽 N及 P 於水中，在海水中兩者並以 16:1(式1)的關係存在(Redfield,

1963)。反過來說，水中之營養鹽若有 16 份的 N 及 1 份的 P，便可提供浮游植物生長。N:P 值高於 16 時，顯示水體 N 太多而 P 太少，因此 P 為浮游植物之生長限制因子，反之則 N 為生長限制因子。也有研究指出，此比值 16 在淡水中應擴大為一範圍 10~17，N:P 大於 17，P 為藻類生長限制因子，小於 10，N 為藻類生長限制因子。由各點 N/P 比值來看，大多數的樣本都落在 17 以上(圖 4.2)，顯示 P 為龍鑾潭浮游植物之主要生長限制因子，一旦水中 P 含量增加，水中浮游植物就容易有藻華(bloom)現象。一般來說，P 較 N 不易由農耕地流出(Thomas, 1969)，唯現今人們大量使用清潔劑，家庭廢水中含有相當高量的 P，P 雖不由農地來，卻可由家庭廢水進入水體而污染水體。既然龍鑾潭對 P 敏感，因此對於 P 的污染途徑，須密切注意。

水中的 NO_2^- 來源大多是含氮有機質生物分解的中間產物，也可能在無氧狀態下， NO_3^- 還原成 NO_2^- 而成。一般來說，表水大多與空氣飽和平衡而呈氧化態，此有機質分解的中間產物 NO_2^- 會完全氧化成 NO_3^- ，因此表水通常是見不到 NO_2^- 。若 NO_2^- 出現，顯示水樣受到有機質污染，而有機質正一步步的分解產生 NO_2^- 。七月、九月、十一月的水樣分析中，皆有 NO_2^- 存在，顯示水體受有機質的污染。此污染物可能是死亡有機體，水鳥排泄物、尿素..等等。 NO_2^- 含量除了七月份編號 1 的高值外，其餘大多落在 0.007~0.036 mg/l 的範圍內。若以一般自來水很少超過 0.1 mg/l(Portable instrumentation, 1977)的標準來看，則有機質的污染並不算太嚴重，還在忍受範圍之內。而編號 1 之 NO_2^- 含量高達 0.125 mg/l，他類營養鹽 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 也比其他測點來得高，顯示有機質的污染較其他各點來得嚴重，可能與其靠近核三廠民生廢水排放溝渠之地理位置有相當大的關係。

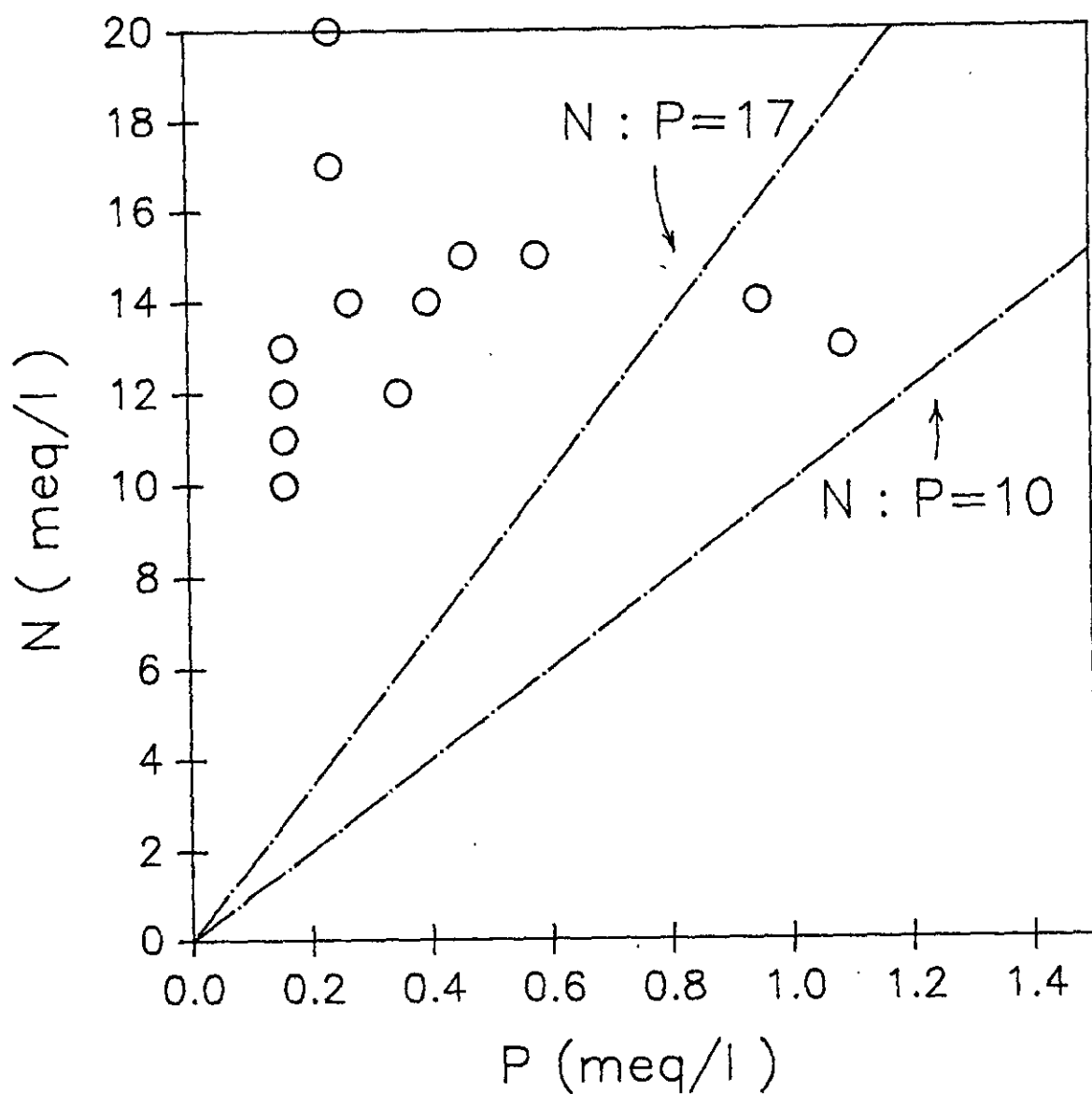


圖 4.2 龍鑾潭之 N:P 圖。

4.3 潭水之營養狀態指標

目前國內有些學者致力於湖水優養等級判定方法之研究，水資會王漢泉(1990)利用北卡多變數指標法(Weiss, 1985)、卡爾森多變數指標法(Carlson, 1977)與藻類群落變異指標法(Brillouin, 1960)三者發展出「王氏綜合評估法」。台大土木研究所郭振泰(1990)在其研究中也比較了Shannon指數法(1949)、Margalef指標法(1958)、Pielou指標法(1966)、McIntosh指標法(1967)、QI及TSI(Carlson, 1977)等六種方法，並應用在翡翠水庫、暖暖水庫、新山水庫及寶山水庫優養程度之判定。王(1990)指出「目前台灣在無更理想之評估方法前，王氏綜合評估法不失為一種較佳之水質優養等級評估方法」。由於王氏綜合評估法與卡爾森指標法相關性很好，因此本研究仍利用卡爾森指標法來判斷龍變潭優養程度。

卡爾森指標法是使用透明度(secchi disk transparency)、葉綠素a(chlorophyll a)及總磷(total phosphorous)三種參數分別求出一個數值，再求此三數之平均值，即為優養狀態指標(trophic state index; TSI)，運算方法及指標大小所代表優養等級如下式：

$$TSI(1) = 60 - 14.41 \times \ln SD \quad (\text{Unit: m})$$

$$TSI(2) = 9.81 \times \ln chl.a + 30.6 \quad (\text{Unit: ppb})$$

$$TSI(3) = 14.42 \times \ln TP + 4.15 \quad (\text{Unit: ppb})$$

$$TSI = \frac{TSI(1) + TSI(2) + TSI(3)}{3}$$

其中 $TSI < 40$ 爲貧養 (oligotrophic) 湖泊

$40 < TSI < 50$ 爲中養 (mesotrophic) 湖泊

$TSI > 50$ 爲優養 (eutrophic) 湖泊

由圖 4.3發現七月、九月及十一月潭水的 TSI 介於 40~60 之間，依 Carlson分類標準均屬於中、優養狀況的水質，但落入優養範圍 ($TSI > 50$) 的點，大都介於中、優養邊緣。

龍鑾潭的水位相當淺，最深不到 4公尺，相對地，穿透度的深度也不大，七月、九月、十一月三次的採樣當中，幾乎都只在 0.5~0.8公尺而已。將此值帶入優養程度來計算，即得到 70 的高值，但葉綠素 a 及總磷值的 TSI 平均約則大多在 50 以下 (表 4.2，第五欄)，顯然高 TSI 的計算結果，應是由穿透度拉高造成。若單以葉綠素 a 及總磷值求得之 TSI ，則顯示龍鑾潭水質屬於中度營養。

貿然採用國外營養程度之判斷方法，難免有亂套公式之嫌，而且結果並不一定正確。然目前國內並無依循的方法，即使有，也只是將國外發表之公式拿來比對或評估而已，對於本地湖泊優養指標之建立，顯然下的功夫還不夠。綜合來看，(1) 若將龍鑾潭之水質歸類在優養階段，則起因於透光度淺，而透光度淺則受限制於先天潭水水位原本就較淺，較易混濁；(2) 若不考慮透光度，單就葉綠素 a 及總磷來看，則龍鑾潭之水質屬於中度營養，甚至在九月有貧營養情形出現。進一步說，龍鑾潭的水質若劃入優養階段，乃源於先天之事實，而非葉綠素 a 及總磷之過。

4.4 流入水及流出水的營養鹽

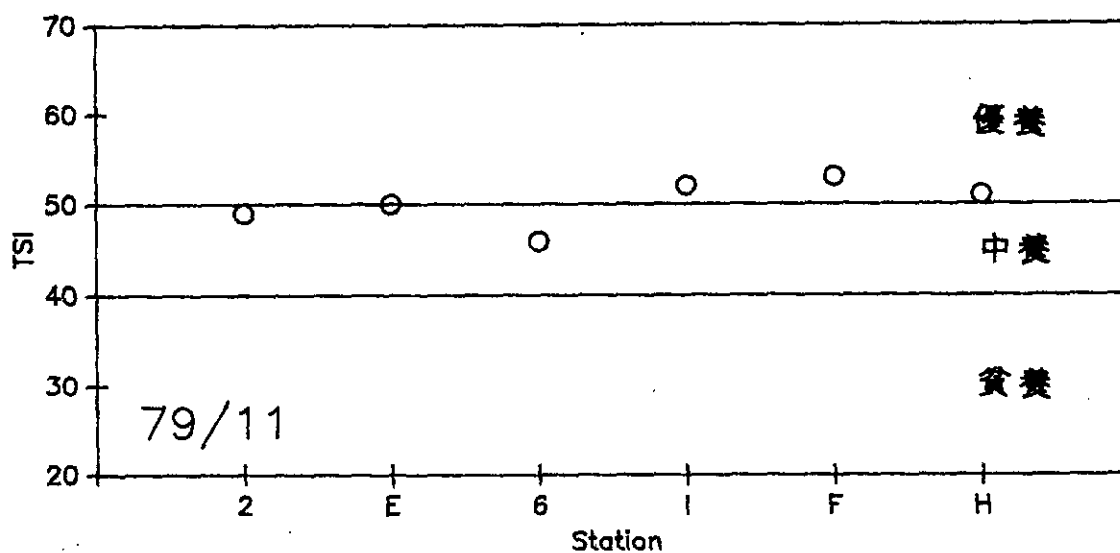
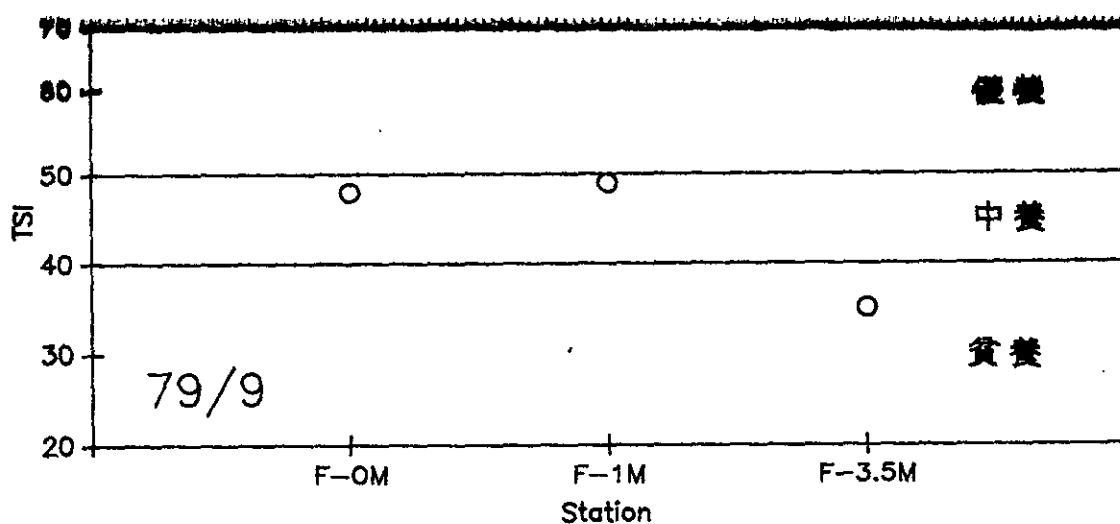
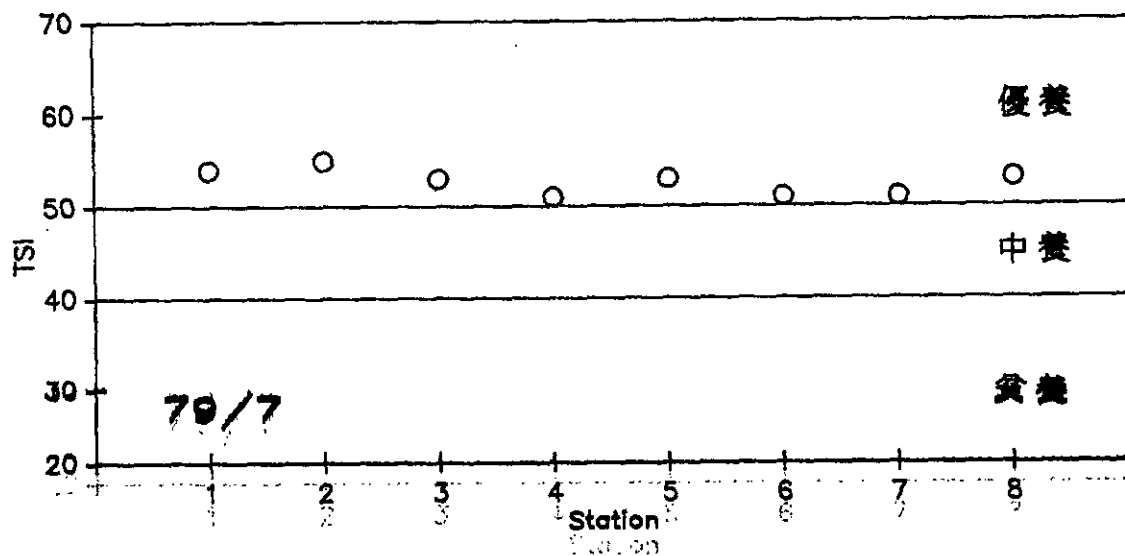


圖 4.3 七月、九月、十一月龍鑾潭各水樣之營養狀態指標圖。

表 4.2 以穿透度、葉綠素 a 及總磷計算渾水營養指標(TSI)數值之比較。

	採樣點	TSI(SD) (1)	TSI(Chl a) (2)	TSI(TP) (3)	(1)+(2)+(3)	(1)+(2)
					3	2
七 月 份	1	70	58	35	54	47
	2		68	27	55	48
	3		61	27	53	44
	4		57	27	51	42
	5		62	27	53	44
	6		56	27	51	42
	7		56	27	51	42
	8		61	27	53	44
九 月 份	F-表 層	70	40	33	48	37
	F- 1公尺		43	33	49	38
	F-3.5公尺		47	0	39	24
十 一 月 份	2	70	36	40	49	38
	E		40	38	50	39
	6		14	53	46	34
	I		30	55	52	42
	F		43	46	53	44
	H		41	43	51	42

流入龍鑾潭的水可分為雨水、田地水、核三廠民生廢水及魚塢水。以 1989 年恆春氣象站之降水量(表 4.3)來看，龍鑾潭一年裡的雨水來源約有 $241.8 \times 10^3 \text{ m}^3$ ($124 \times 10^4 \times 1.95 \text{ m}^3$)，而核三廠民生廢水來源的水量一年約 54750 m^3 ($150 \text{ m}^3/\text{每天}$)，至於由田地來源之水量及魚塢來源之水量則無法判斷，不過魚塢已於十一月時圍掉，魚塢水對龍鑾潭未來水質已無意義。因此雨水是龍鑾潭水之最大供給源，次之為核三廠民生廢水，兩者比例約 44:1，再次之為田地水。

以質來看，表 4.4 為墾丁地區 79 年 4 月～ 6 月雨水 pH 值、導電度及主要離子平均值及範圍。其中， NO_3^- 平均含量為 1.09 mg/l，分佈在 0.93～1.29 mg/l 之間。此值與潭水 NO_3^- 濃度接近，而 NO_2^- 及 PO_4^{3-} 含量在雨水中通常都低於偵測下限。因此就營養鹽來說，雨水只提供 NO_3^- 給龍鑾潭，而 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 則微乎其微。核三廠民生廢水含有之營養鹽濃度，七月份 NO_3^- 含量為 1.231 mg/l， NO_2^- 為 0.258 mg/l， PO_4^{3-} 為 0.08 mg/l。九月份 NO_3^- 含量為 15.487 mg/l， NO_2^- 含量為 1.034 mg/l， PO_4^{3-} 為 0.042 mg/l。十一月份 NO_3^- 含量為 1.043 mg/l， NO_2^- 含量為 0.407 mg/l， PO_4^{3-} 為 0.137 mg/l。此三種營養鹽均較潭水含量來得高。田地之營養鹽濃度，九月份 NO_3^- 含量為 0.653 mg/l， NO_2^- 為 0.022 mg/l， PO_4^{3-} 為 0.023 mg/l。十一月份 NO_3^- 含量為 0.299 mg/l， NO_2^- 為 0.021 mg/l， PO_4^{3-} 為 0.046 mg/l。而魚塢已於十一月時圍掉，因此不作進一步討論。

由於雨水及核三廠民生廢水為龍鑾潭兩大來源，因此此二類的水質也是控制龍鑾潭水質的主要因素。表 4.5 是以雨水、核三廠民生廢水之水量與測得之單位濃度，求得兩大水源每年提供龍鑾潭營養鹽總量之估計值。資料顯示由雨水提供的 NO_3^- 每年約有 2.636 噸， NO_2^- 有 0.002 噸， PO_4^{3-} 有 0.002 噸。而由核三廠

表 4.3 恆春氣象站 1989 年各月份之降雨量及蒸發量。

月 份	降雨 (mm)	蒸發散 (mm)
1	24.1	122.3
2	29.3	104.3
3	62.2	116.2
4	48.8	137.8
5	277.4	161.1
6	41.7	155.1
7	395.7	158.7
8	408.5	137.8
9	622.2	117.0
10	30.8	129.6
11	1.7	125.7
12	8.1	98.0
總 量	1950.5	1563.2

表 4.4 墾丁地區79年 4月~6月雨水之pH、導電度及主要離子含量*。

	平均值	範圍
pH	4.99	4.79~5.13
導電度	75.00	30.9~156.9
Cl ⁻	7.55	4.00~12.88
NO ₃ ⁻	1.09	0.93~1.29
SO ₄ ⁻²	3.40	0.72~6.84
NH ₄ ⁺	0.43	0.24~0.71
K ⁺	1.47	0.34~2.13
Na ⁺	8.46	0.75~21.70

* 資料取自鄭興杜 (1990) 。

表 4.5 雨水及核三廠民生廢水之營養鹽對於龍鑾潭貢獻量之估計。

	水量 (m^3 /year)	營養鹽 (mg/l)	總 量 (tons/year)
雨 水	2418000	$NO_3^{-\#}$ 1.09	2.636
		$NO_2^{-\#}$ n.d. (以 0.001 計算)	0.002
		$PO_4^{-3\#}$ n.d. (以 0.001 計算)	0.002
核 三 廠 民 生 廢 水	54750	NO_3^{-*} 4.40 ± 5.61	0.241 ± 0.307
		NO_2^{-*} 1.18 ± 1.26	0.065 ± 0.069
		PO_4^{-3*} 0.21 ± 0.18	0.011 ± 0.010

#：資料取自鄭興杜（1990）。

*： NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{-3} 含量採用墾管處保育課研究員徐慧倩小姐於 78 年 11 月、12 月及 79 年 1 月（附錄 A）及本研究之七、九、十一月六次調查平均值。

民生廢水提供的 NO_3^- 每年有 0.241 ± 0.307 噸， NO_2^- 有 0.065 ± 0.069 噸， PO_4^{3-} 有 0.011 ± 0.010 噸。顯然龍鑾潭的 NO_3^- 濃度較受控於雨水水質，而 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 濃度則較受控於核三廠民生廢水水質。此結果配合龍鑾潭浮游植物之生長限制因子為 P 來看，顯然核三廠民生廢水提供的營養鹽 P，對龍鑾潭未來水質之變化有決定性的影響。

除了核三廠民生廢水會提供龍鑾潭磷的來源外，水鳥的排泄物中也含有相當量的磷，對水質或多或少有些影響，然而此量目前卻無法估計。本區為水鳥保護區，水鳥會提供給潭水一些磷乃為既定事實，因此只能將水鳥排泄物的影響視為自然效應。

4.5 柱狀岩心之含水量

柱狀岩心之含水量（間隙水）隨著深度之變化如圖 4.4，其中又以編號 A 之含水量最低，表層約 20%，往下遞減。其餘岩心（B~J）含水量大多接近，表層約 50~60%，往下因壓實作用遞減至 20~30%。含水量大小通常與沈積物的顆粒大小、排列情形、淘選度（sorting）、生物擾動及沈積速率有關。通常顆粒愈小、排列愈整齊、淘選度良好、有生物擾動及沈積速率快者，含水率也較高。整體來看，除了 A 點，潭底沈積物的含水量大致一樣。

4.6 柱狀岩心之有機質

當沈積物中有機質分解時，勢必以水體中的氧氣作為氧化劑，因此有機質含量過高時，將耗盡水中氧氣，而使水體缺氧。水體缺氧、水質惡化，則影響生態甚鉅（王，1989）。因此一般水

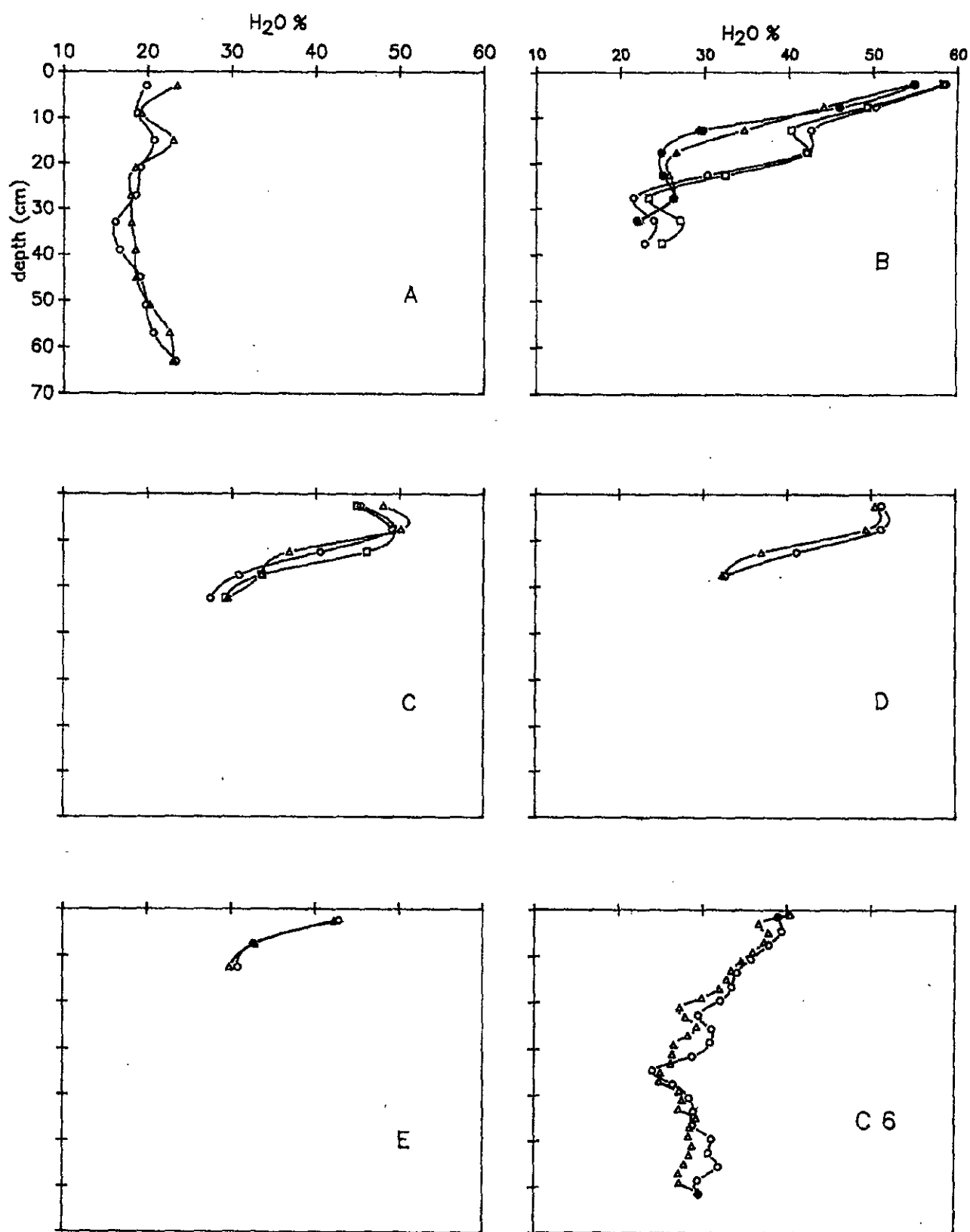
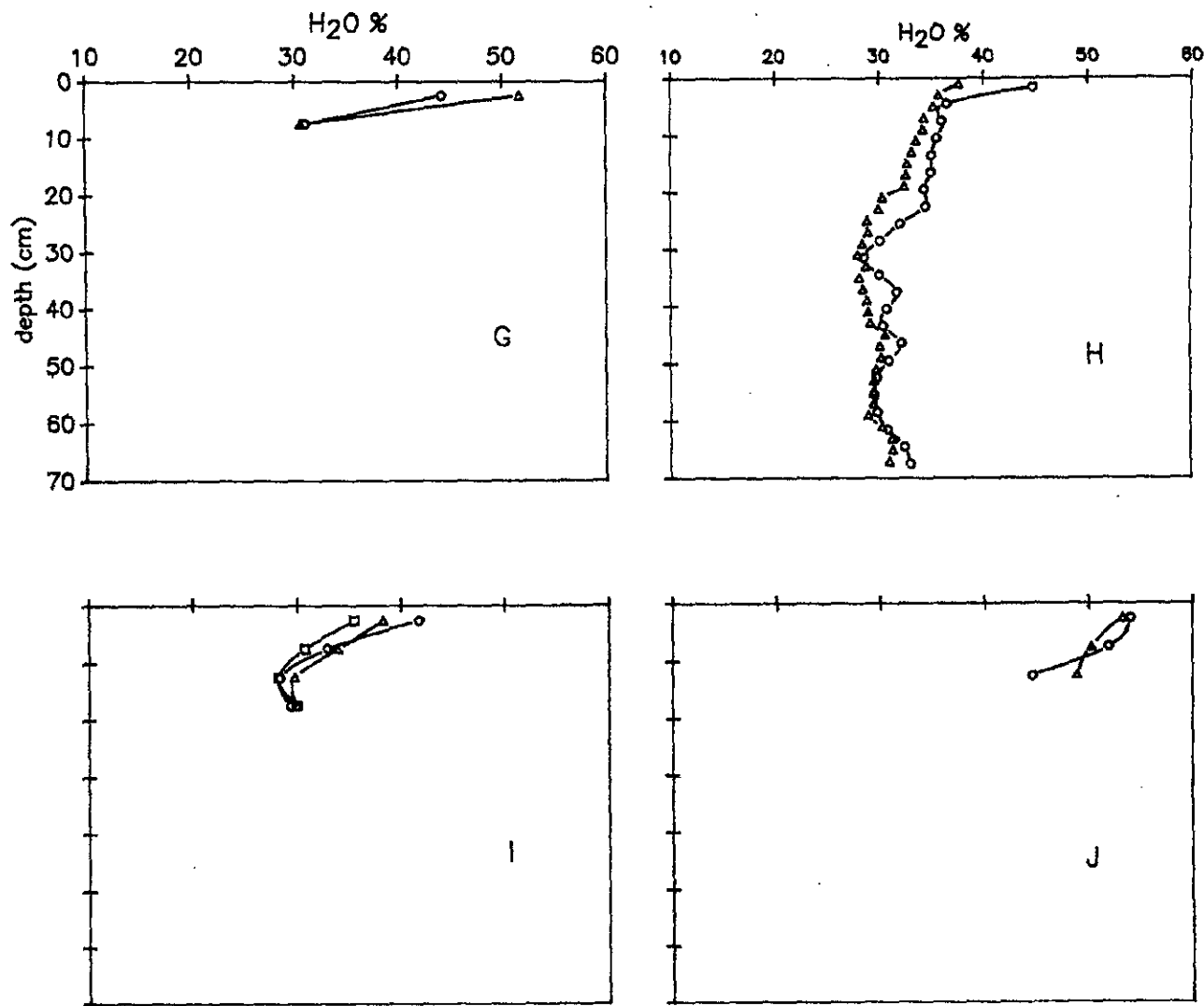


圖 4.4 柱狀岩心之含水率隨著深度之變化圖。

(續下頁)

(承上頁)



體優養化研究中，需考慮有機質含量的高低，以了解有機質分解是否會耗盡水中氧氣。

柱狀岩心之有機質含量隨著深度之變化如圖 4.5、表 4.6。相同地，編號 A 的有機質含量最低，表層約 0.77%，往下因深埋過程中漸將有機質分解而有遞減現象 (Tasi and Chung, 1990; Jahnke et al., 1986)。其餘岩心 (B~J) 有機質含量約由表層的 0.67 ~ 4.28%，往下亦呈遞減，但趨勢並不明顯。

通常一個未受污染水體的沈積物其有機質含量很少超過 3%，若有機質含量超過 5%，其水體大多有特定污染來源 (林, 1988)。龍鑾潭沈積物有機質含量不高，大多在 3% 以下，顯示並無特定污染來源。而編號 B、H、J 有幾個深度的有機質含量雖然高於 3%，但值都不算高。沈積物有機質含量低，則不會耗掉水體中太多的氧氣；水體不缺氧，則水質可免於未來易於優養的隱憂。

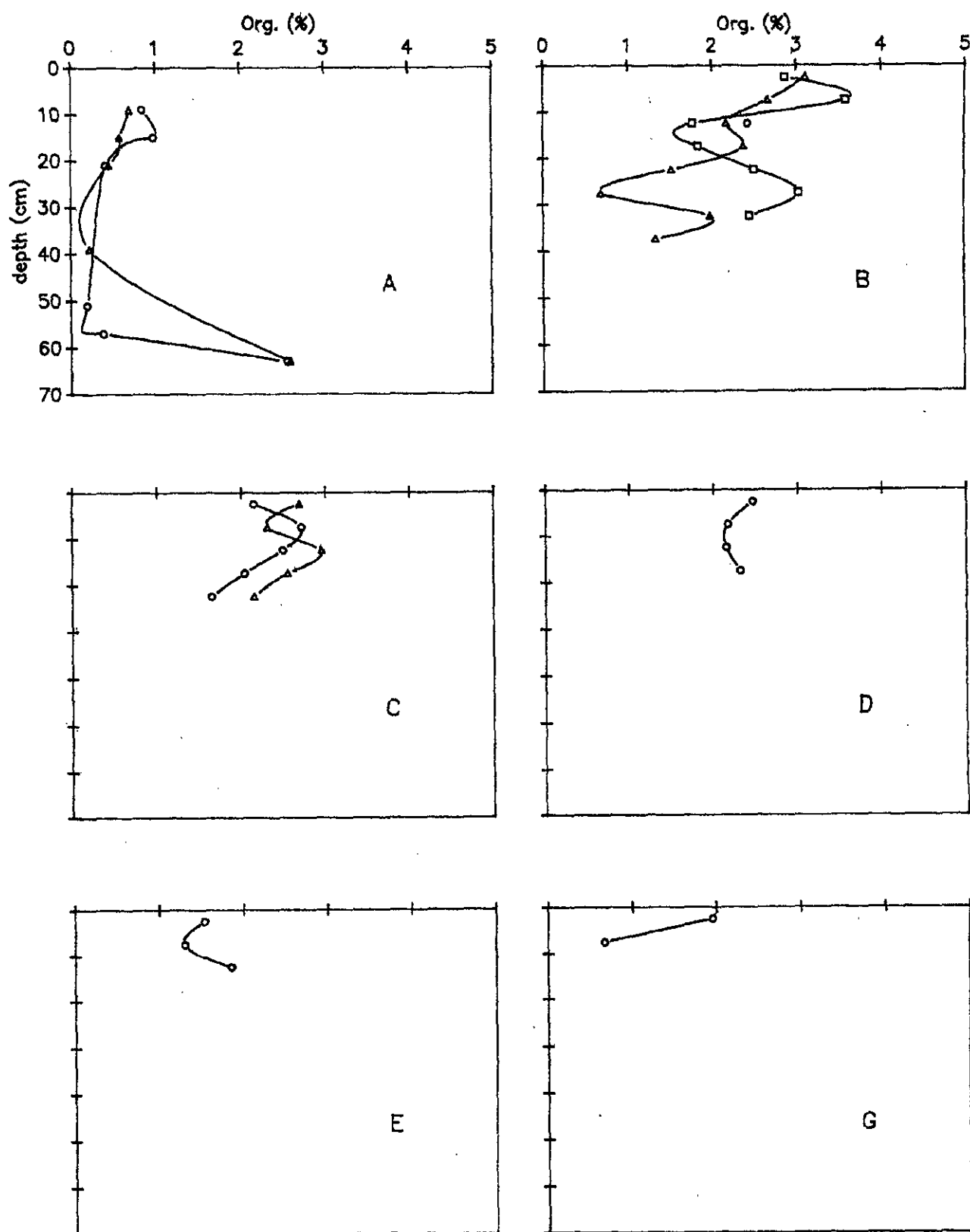


圖 4.5 柱狀岩心之有機質隨著深度之變化圖。

(承上頁)

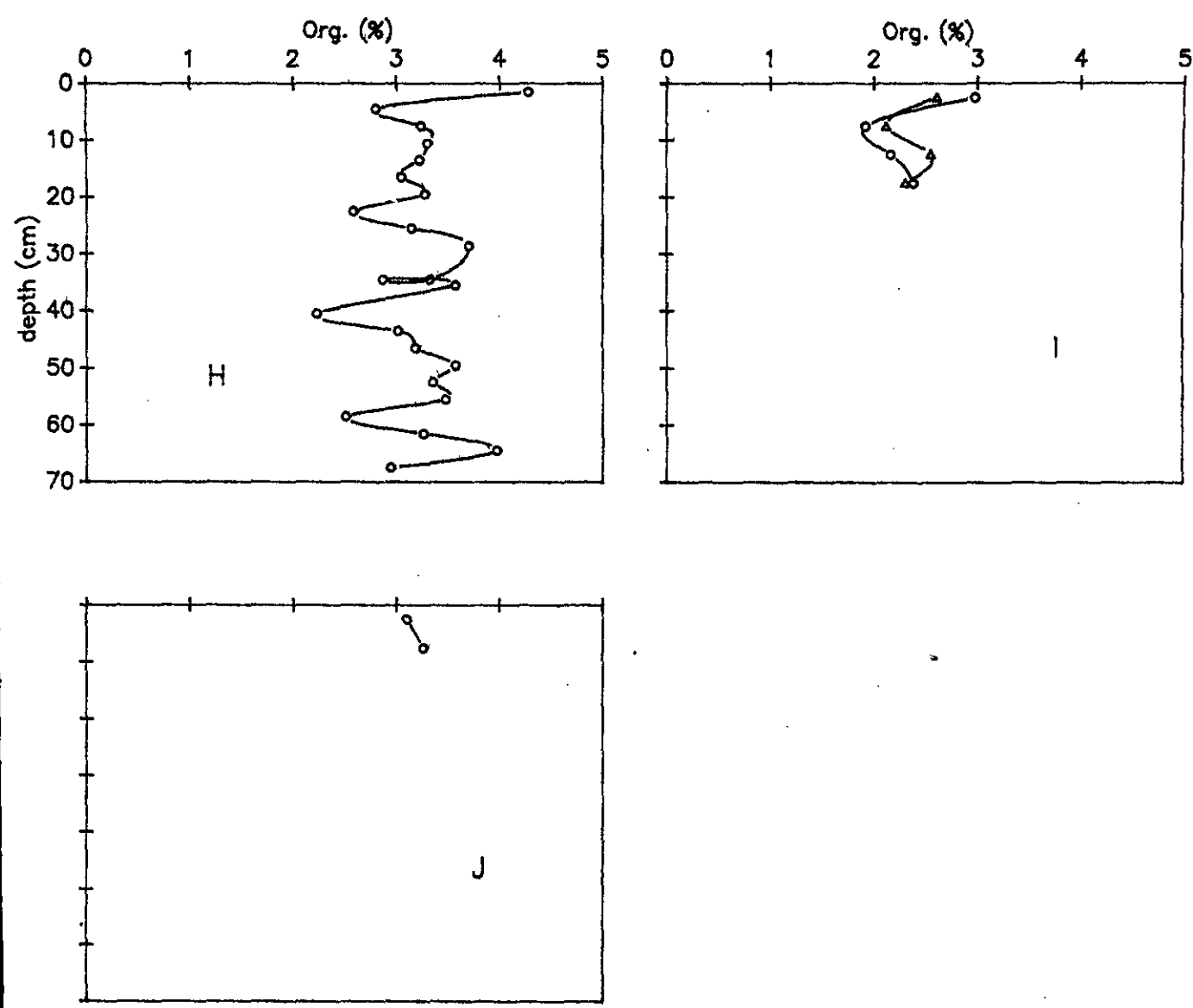


表 4.6 柱狀岩心之有機質含量。

深度 (cm)	有機質百分比 (%)		深度 (cm)	有機質百分比 (%)	
編號 A			編號 B		
3	-	-	2.5	3.11	2.87
9	0.85	0.70	7.5	2.67	3.59
15	0.98	0.58	12.5	2.18	1.78
21	0.41	0.45	17.5	2.38	1.84
27	-	-	22.5	1.53	2.51
33	-	0.04	27.5	0.69	3.04
39	-	0.22	32.5	1.98	2.45
45	-	-	37.5	1.34	-
51	0.19	-			
57	0.38	-			
63	2.56	2.60			
編號 C			編號 D		
2.5	2.15	2.69	2.5	2.47	
7.5	2.71	2.31	7.5	2.17	
12.5	2.49	2.95	12.5	2.15	
17.5	2.04	2.55	17.5	2.32	
22.5	1.65	2.15			
編號 E			編號 G		
2.5	1.53		2.5	1.95	
7.5	1.30		7.5	0.67	
12.5	1.85				
編號 H			編號 I		
1.5	4.28		2.5	2.98	2.61
4.5	2.80		7.5	1.92	2.12
7.5	3.24		12.5	2.17	2.56
10.5	3.30		17.5	2.39	2.31
13.5	3.22				
16.5	3.04		編號 J		
19.5	3.27		2.5	3.10	
22.5	2.58		7.5	3.26	
25.5	3.14		12.5		
28.5	3.70				
34.5	3.32				
34.5	2.86				
35.5	3.57				
40.5	2.22				
43.5	3.01				
46.5	3.18				
49.5	3.57				
52.5	3.35				
55.5	3.47				
58.5	2.50				
61.5	3.26				
64.5	2.97				
67.5	2.94				

五．結　　論

1. 龍鑾潭的水溫每年從四月到九月屬於高溫期，較不利於水質之時間達半年之久。
2. 七月份之溶氧飽和度及葉綠 *a* 均高於九月及十一月，而營養鹽 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 則稍低。顯示七月浮游生物光合作用較為旺盛，用掉水體中較多的 CO_2 及營養鹽，釋出較多的氧氣，使得營養鹽含量降低而溶氧飽和度提高。
3. 由九月及十一月 pH 值及溶氧飽和度之基本水文資料，均顯示為正常的淡水水體。
4. 水層即使在高溫時期，也沒有缺氧現象發生，因此不必擔心因還原作用而產生水質惡化的問題。此沒有缺氧現象，可能源於水淺，下層水氧氣易於補充；也可能是適量浮游植物行光合作用，釋出氧氣，而使水層氧氣充足。
5. 龍鑾潭浮游植物之生長限制是磷，因此對於磷進入潭的污染途徑，須密切注意。而磷可能來自核三廠民生廢水，也可能源於水鳥排泄物，至於雨水則含磷成份較少。
6. 水體中有 NO_2^- ，顯示有機質的污染存在；此有機質可能是死亡有機體、水鳥排泄物、尿素..等。但含量皆在一般自來水 NO_2^- 濃度 0.1mg/l 以下，因此有機質的污染並不算太嚴重。編號1的 NO_2^-

含量比其他點高出許多，他類營養鹽 NO_3^- 、 PO_4^{-3} 也較高，顯然與靠近核三廠民生廢水排放溝渠之地理位置有很大關係。由此點數據也可支持龍鑾潭確實有外來有機質之污染。

7. 營養狀態指標 (trophic state index ; TSI) 顯示龍鑾潭之水質屬中、優養；但若不考慮穿透度之先天條件限制，則龍鑾潭之水質屬於中養、甚至有貧養指標出現。換個角度看，龍鑾潭的水質若劃入優養程度，可能乃源於先天之事實，而非葉綠素 a 及總磷之過。
8. 雨水是龍鑾潭潭水最大的來源，亦是 NO_3^- 最大提供源。而核三廠民生廢水是第二大來源，並提供 NO_2^- 及 PO_4^{-3} 給龍鑾潭。水鳥排泄物也可提供 PO_4^{-3} 給潭水，但此量並無法估計，況且龍鑾潭為水鳥保護區為既定事實，因此將此量之供應視為自然效應。
9. 柱狀岩心之含水量大多一致 (A 點除外)，在表層大約含有 50 ~ 60% ，往下因壓實作而遞減至 20 ~ 30% ，顯示整個潭底沈積物之含水量大致一樣，歧異度不高。
10. 柱狀岩心之有機質含量大多在 3% 以下，顯示特定污染來源之污染並不嚴重，而且此量也不致於使水體缺氧，可免於水質未來易於優養之隱憂。

參 考 文 獻

中文部份：

王冰潔，1989，大鬼湖無氧層的成因及其生物地球化學作用，國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 81 頁。

王漢泉，1990，德基水庫水質優養等級之研究，中國水產第 454 期，19～32頁。

何春蓀，1986，臺灣地質概論－臺灣地質圖說明書，經濟部出版，台北，共 164頁。

林存德，1988，高雄港海域污染調查之研究，狀元出版社，共 244頁。

陳佳奇，1990，南仁湖之地球化學作用，國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 98 頁。

陳榮盛，1990，西菲律賓海之沈積速率，國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 80 頁。

陳擎霞，1987，台灣十大濕地介紹，大自然雜誌第十六期台灣濕地專輯，共 117頁。

陳鎮東、郭景聖與王冰潔，1991，水質、土壤樣品採集及實驗室品保／品管試用標準手冊，漁業推廣專刊第四集（付梓中）。

郭振泰，1990，白濁地區給水水源優養化評估法之建立及其優養程度調查（一），行政院環保署（EPA-79-003-01-008），共116頁。

郭振泰、吳先琪、李鴻源、邱瓊瑤、吳建鎡、王美雪、陳世裕、黃俊明，1990，澄清湖湖底淤泥清除研究，國立台灣大學土木工程研究所水利工程組研究報告，共 137頁。

劉 川，1986，南國、水鳥、潭—龍鑾潭的水鳥世界，大自然雜誌第十三期台灣野生鳥類專號（下）水鳥專輯，共 120頁。

鄭福田與杜悅元，1990，台灣地區酸性沈降物之調查研究，酸雨對環境之影響研討會，環保署，225～245頁。

墾丁國家公園管理處，民七十三年，墾丁國家公園龍鑾潭遊憩區及特別景觀區細部計畫草案，共 25 頁。

羅立，1990，台灣東北角海域之描述性海洋化學初探，國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，共 87 頁。

英文部份：

- Berger, F., 1971, Zur Morphometrie der Seebecken, Carinthia II, Spec. Issue, 31: 29-39. Cited in Nurnberg, G. K., 1988, A simple model for predicting the date of fall turnover in thermally stratified lakes, Limnol. Oceanogr., 33: 1190 -1195.
- Broad, F. E., 1953, The soil organic fraction, Adv. Agron., 5, 153-183.
- Carlson, R.E., 1977, A trophic state index for lakes , Limnol. Oceanogr., 22:361-369.
- Jahnke, R. A., Emerson, S. R., Choran, J.K. and Hirschberg, D. J., 1986, Fine scale distributions of porosity and particulate excess Pb-210, organic carbon and CaCO₃ in surface sediments of the deep equatorial Pacific, Earth Planet. Sci. Lett., 77, 59-69.
- Margalef, R. 1958, Information Theory in Ecology, Gen Syst, 3: 36-71.
- McIntosh, R. P., 1967, An index of diversity of the relation of certain concepts to diversity, Ecology, 48:392-404.

Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R.(ed), 1982, Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties Second Edition, Madison, Wisconsin U.S.A., P.574~579.

Pielou, E.C., 1966, The measurement of diversity in different types of biological collections, J. Theort. Biol., 13:131-144.

Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A., 1963, The influence of organisms on the composition of seawater, in the Sea, V.2, M. H. Hill (ed), Interscience, New York, 26-77pp.

Ruzrcka, J. and Hansen, E. H., 1981, Flow Injection Analysis , John Wiley and Sons, New York.

Shannon, C.E., Weaver, W., 1949, The Mathematical Theory of Communication, Univ. Illinois Press, Urbana , Chicago, London.

Stumm, W., 1985, Chemical Processes in Lake, John Wiley & Sons Inc., 435pp.

Tasi, S.W. and Y. Chung, 1990, Pb-210 in the sediments of Taiwan Strait, Acta Oceanographica Taiwanica, 2, 1-13.

Thomas, E. A., 1969, The Process of Eutrophication in
Central European Lakes, Nat. Acad. of Science,
Washington, D.C., 33.

Zimmerman, A. P. and Harvey, H. H., 1978, Final report on
sensitivity to acidification of waters of Ontario and
neighboring states, Univ. of Ontario, 136pp.

附錄 A-1：七十八年十一月龍鑾潭之基本水文及營養鹽資料。

	Temp. ℃	pH	D0 mg/l	D0 %	chl a. μg/l	S.S. mg/l	BOD mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	SiO ₂ mg/l
抽水站	24.6	8.01	8.07	96.3	2.3	-	-	0.580	0.041	0.047	6.97
L-1	24.4	8.02	8.09	96.6	-	-	-	0.817	0.022	0.043	6.94
1.5M	24.3	8.07	8.05	95.5	-	-	-	0.771	0.031	0.034	7.09
L-2	24.5	8.07	8.06	97.1	-	-	-	0.753	0.049	0.047	7.07
1.5M	24.4	8.18	8.23	95.5	-	-	-	0.759	0.043	0.034	6.96
L-3	24.4	8.14	8.15	98.3	-	-	-	0.761	0.041	0.038	6.83
1.5M	24.4	8.12	8.19	98.3	-	-	-	0.725	0.041	0.034	6.93
L-4	24.7	8.05	8.63	103.8	-	-	-	0.702	0.027	0.038	6.87
1.5M	24.7	8.07	8.35	102.3	-	-	-	0.702	0.027	0.043	6.69
L-5	24.6	7.99	8.14	98.1	-	-	-	0.704	0.025	0.043	6.76
1.5M	24.6	8.04	8.23	98.7	-	-	-	0.664	0.029	0.038	6.56
L-6	24.3	8.01	8.26	99.0	-	-	-	0.729	0.037	0.034	6.69
1.5M	24.3	8.03	8.25	99.0	-	-	-	0.739	0.027	0.034	6.57
3.5M	24.3	8.04	8.24	98.6	-	-	-	0.725	0.041	0.043	6.63
L-7	24.4	8.06	8.09	95.9	-	-	-	0.549	0.035	0.034	6.01
L-8	24.5	8.06	8.08	95.9	-	-	-	0.741	0.025	0.038	6.61
L-9	24.6	8.00	8.39	100.7	-	-	-	0.693	0.037	0.043	6.38
核三廠民生廢水 排放溝渠	26.2	6.98	7.55	93.3	10.83	-	-	2.255	1.473	0.128	10.67

附錄 A-2：七十八年十二月龍鑾潭之基本水文及營養鹽資料。

	Temp. °C	pH	DO. mg/l	DO. %	chl a. µg/l	S.S. mg/l	BOD mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	SiO ₂ mg/l
抽水站	18.5	8.04	8.86	94.7	-	-	1.1	0.45	-	0.037	4.958
L-2	18.7	-	8.73	94.0	-	-	0.7	0.56	-	0.031	5.273
1.5M	-	-	-	-	-	-	1.3	0.41	-	0.030	5.227
L-4	18.4	8.32	8.86	92.8	-	0.08	1.2	0.46	-	0.030	5.312
L-5	18.3	8.37	8.86	93.6	-	-	1.2	0.48	-	0.030	5.338
L-6	18.5	-	8.51	91.6	-	3.98	0.7	0.49	-	0.028	5.235
1.5M	18.5	8.20	8.49	91.4	-	-	0.7	0.51	-	0.030	5.227
3.5M	-	-	-	-	-	-	0.6	0.46	-	0.029	6.892
L-7	18.3	8.49	8.59	95.2	-	-	0.5	0.44	-	0.027	6.315
L-8	18.5	8.46	8.89	96.7	-	-	0.8	0.32	0.06	0.024	5.635
L-9	18.4	7.14	8.48	89.9	-	-	1.2	0.36	-	0.026	5.950
核三廠民生廢水 排放溝渠	19.5	-	6.34	68.6	-	8.02	5.1	1.30	3.56	0.342	15.058

附錄 A-3：七十九年一月龍鑾潭之基本水文及營養鹽資料。

	Temp. °C	pH	DO. mg/l	DO. %	chl a. µg/l	S.S. mg/l	BOD mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	SiO ₂ mg/l
抽水站	19	8.45	8.46	94	-	2.65	1.2	0.19	0.02	-	3.49
L-2	18.5	8.53	8.42	94.3	-	1.40	1.3	0.19	0.02	-	3.55
L-3	18.5	8.53	8.87	96.3	-	2.38	1.6	0.19	0.02	-	3.50
L-4	18.5	8.53	8.86	94.5	-	4.07	1.3	0.18	0.02	-	3.46
L-5	-	8.54	-	-	-	5.85	2.6	0.19	0.03	-	3.37
L-6	18.4	8.53	8.70	93.8	-	1.37	1.3	0.19	0.02	-	3.53
核三廠民生廢水 排放溝渠	19.1	7.77	5.12	54.7	-	7.63	6.3	1.55	0.32	0.51	15.38

附錄 A-4：七十九年五月龍鑾潭之基本水文及營養鹽資料。

	Temp. °C	pH	D.O. mg/l	D.O. %	chl a. µg/l	S.S. mg/l	BOD mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻³ mg/l	SiO ₂ mg/l
抽水站	29.3	8.23	6.86	90.3	-	-	0.4	-	-	-	-
L-2	30.3	8.35	7.44	98.8	-	-	0.3	-	-	-	-
1.5M	30.3	8.37	7.35	99.2	-	-	0.3	-	-	-	-
L-3	30.4	8.33	7.57	101.4	-	-	0.4	-	-	-	-
L-4	31.4	8.32	7.69	104.5	-	-	0.3	-	-	-	-
L-5	29.8	8.35	7.17	95.2	-	-	0.4	-	-	-	-
1.5M	29.9	8.36	7.24	96.0	-	-	0.5	-	-	-	-
L-6	29.9	8.42	7.07	94.2	-	-	0.2	-	-	-	-
1.5M	29.6	8.40	6.89	90.9	-	-	0.9	-	-	-	-
3.5M	29.7	8.35	7.36	96.9	-	-	0.3	-	-	-	-
L-7	29.8	8.35	7.28	95.2	-	-	0.2	-	-	-	-
L-8	29.7	8.38	6.95	91.6	-	-	0.3	-	-	-	-
L-9	29.6	8.35	6.97	90.8	-	-	0.5	-	-	-	-
核三廠民生廢水 排放溝渠	31.4	7.82	6.92	93.9	-	-	4.3	-	-	-	-

第二部份

墾丁國家公園內沿岸水質之現況

摘 要

墾丁國家公園位於本省最南端的恆春半島，是目前國內四座國家公園中唯一擁有海域之國家公園。近年來由於旅客日益增多，一些人為污染也隨之增加，例如隨處可見垃圾堆積於河床或岸邊，每逢下雨即沖刷入河，順流帶入海中。為求得知人文污染對河川及海水水質所造成之影響，因此在國家公園內建立多個測站，以求了解各站之水質變化，並追蹤可能之污染源，作為爾後污染管制之參考。

本研究針對國家公園內各村落之排水道、漁港、海水浴場及開闢大海進行調查，分析的項目包括溫度、溶氧量、溶氧飽和程度、pH值、葉綠素 a、餘氯、營養鹽 (NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_2)、油脂、大腸桿菌數等。

分析結果顯示本年度各樣本之 pH 值均符合甲類海域及甲類河川、湖潭之水質標準；409號橋、413號橋及 414號之河道，其溶氧量常年處於低值狀態，為墾丁地區聚落排水道水質最差的三個地方；鵝鑾鼻測站曾經出現兩次高值的溶氧量，可能有特定污染源隨著季節排至該處，須密切注意。多處聚落排水道的葉綠素 a 含量已超過優養化水質標準許多，顯示河道營養鹽的含量相當的高；海域樣本之葉綠素 a 含量大多屬於貧營養級，因此聚落污水直接排入海域，勢必對墾丁水質造成威脅。小灣 415號橋及雅客之家旁 414號橋河道分別為硝酸鹽及磷酸鹽之最大來源，各樣本之亞硝酸鹽含量均偏高，顯示各河道受有機質污染相當嚴重。而海水樣本之營養鹽含量大致偏低，僅鵝鑾鼻有一次高值紀錄，該次正是溶氧出現異常值之時。各樣本之油脂含量均在標準值之內。餘氯含量也都在標準值之內，但小灣 415號橋河道的值常較別處來得高些，應防範其增加。各污水樣本的大腸桿菌量均比標準值高，不符合甲類海域標準。

目 錄

	頁次
摘要-----	46
目 錄-----	47
圖目錄-----	48
表目錄-----	49
一．前言-----	50
二．材料與方法-----	51
三．結果與討論-----	54
3.1 基本水文-----	54
3.1.1 水溫-----	54
3.1.2 pH值-----	54
3.1.3 溶氧量-----	61
3.2 葉綠素 a -----	65
3.3 營養鹽-----	67
3.4 油脂-----	71
3.5 餘氯-----	73
3.6 大腸桿菌數-----	74
四．結論-----	75
五．參考文獻-----	76

圖 目 錄

圖2.1 採樣位置圖-----	51
圖3.1 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之溫度圖-----	58
圖3.2 恆春地區各月氣溫分佈圖-----	59
圖3.3 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之pH值-----	61
圖3.4 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之溶氧量-----	63
圖3.5 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之葉綠素 a -----	65
圖3.6 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之硝酸鹽-----	67
圖3.7 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之亞硝酸鹽-----	69
圖3.8 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之磷酸鹽-----	71

表 目 錄

表3.1 79年 7月 6日墾丁國家公園沿海水質表-----	54
表3.2 79年11月 7日墾丁國家公園沿海水質表-----	55
表3.3 80年 3月 4日墾丁國家公園沿海水質表-----	56
表3.4 80年 5月23日墾丁國家公園沿海水質表-----	57

一、前言

墾丁國家公園是我國第一座國家公園，也是目前唯一同時擁有陸地及海域之國家公園。正因如此，墾丁地區終年遊客絡繹不絕。隨著遊客增加，人類活動的頻繁，對國家公園環境的衝擊也更為顯著。例如人為活動所帶來的污染（包括餐飲、旅館業之污水、垃圾…等），如不經心處理，而任意的堆積、排放，隨著雨水的沖刷，河水的攜帶，最終流入湖沼、海洋之中，因而污染了河、湖、海水。如此一來，海水浴場及特殊生態的生存首當其衝，遭到威脅，這對國家公園之獨有生態資源無異是莫大損失。因此必需監督國家公園內各淡水、湖水及海水之水質變化情形，並追蹤污染的可能來源，以作為國家公園管制污染、保護生態的參考。

二、實驗方法

2.1 採樣範圍及採樣時間：

本年度沿岸採樣點的設置，與第一年相同，亦分四大部份（圖 2.1）：

1. 聚落排水道：包括後灣橋、萬里桐、核三廠民生廢水排放溝渠、南灣（409 號橋）、墾丁賓館（413號橋河道）、雅客之家（414 號橋河道）、情人灘（旁為青年活動中心）、小灣（415 號橋河道，旁為凱撒飯店）、港口溪。
2. 漁港：包括山海漁港、後壁湖漁港及啞狗路漁港。
3. 海水浴場：包括白砂灣、南灣及小灣海水浴場。
4. 開放大海：包括鵝鑾鼻、佳樂水，以提供墾丁海域之背景值用。

其中第一項之聚落排水道通稱污水樣本，而第二、三、四項通稱海水樣本。採樣時間分別是79年 7月、11月、80年 3月、5月。樣品採集、處理及分析方法及品保／品管方式詳列於陳鎮東、郭景聖、王冰潔所著：水質化學樣品採集及實驗室品保／品管標準操作手冊(1991)中，在此僅略述如下：

2.2 取樣及樣本處理：

取樣用之棕色塑膠瓶(500 ml)，均事先以10 % HCl浸泡24小時以上，而後徹底沖洗並以去離子蒸餾水潤濕後，陰乾備用。

分別於各岸邊採水。採得之水樣，當場測量溫度、pH值、溶氧量、溶氧飽和度及餘氯。水樣在固定葉綠素a後，分裝至2瓶 500ml 塑膠瓶。細菌樣本之採樣瓶事先均以高壓蒸氣滅菌，以避免雜菌污染樣本，取得樣本後立刻置入 4℃冰箱中保存，運回實驗室後菌種培養。

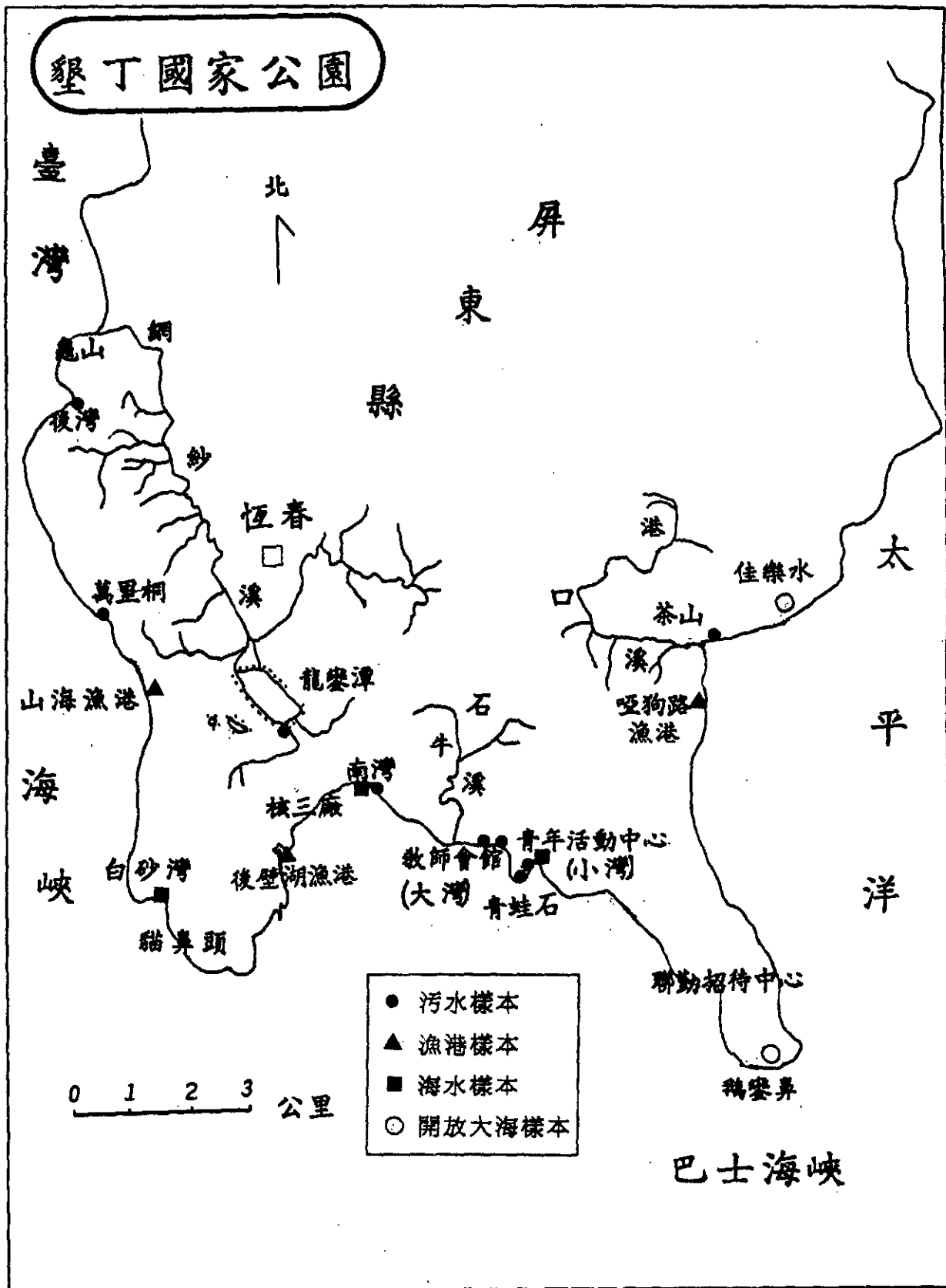


圖2.1 採樣位置圖

2.3 實驗方法

溫度、pH值、溶氧、固定葉綠素 a、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_2 之實驗方法請參見第一部份 3.3節。除了上述八項測量因子與第一部份相同外，第二部份之研究項目還包括：

1. 油脂：以 HACH 比色儀測之。
2. 餘氯：以 HACH 比色儀測之。
3. 大腸桿菌群(coliform)數分析：大腸桿菌群數為水質分析項目之一，是水污染重要指標之一。樣品經稀釋後，加入酚紅乳糖培養液(phenol red lactose broth)酸酵試管中，培養於 37°C ，48小時後觀察結果。大腸桿菌能利用乳糖產生酸及氣體。酸的產生可從酚紅顏色變化(紅→黃)得知。氣體的生成會累積於酸酵管(Durham tube)中。大腸桿菌群的計數則採 MPN(most probable number)法。

由第一年之研究結果顯示，本區之重金屬含量均在安全值之內，並無工業污染，因此第二年之實驗項目也就不再包涵重金屬。

三、結果與討論

3.1 基本水文

各月份之水質分析結果列於表 3.1~3.4。

3.1.1 水溫：

在本年度的調查中：

7 月污水樣本溫度介於 $27.9\sim 33.9^{\circ}\text{C}$ ，平均 30.1°C ；

海水樣本溫度介於 $27.3\sim 31.8^{\circ}\text{C}$ ，平均 29.6°C ；

11月污水樣本溫度介於 $24.4\sim 28.5^{\circ}\text{C}$ ，平均 26.3°C ；

海水樣本溫度介於 $25.0\sim 27.2^{\circ}\text{C}$ ，平均 25.9°C ；

3 月污水樣本溫度介於 $25.1\sim 28.8^{\circ}\text{C}$ ，平均 26.5°C ；

海水樣本溫度介於 $24.6\sim 26.1^{\circ}\text{C}$ ，平均 25.1°C ；

5 月污水樣本溫度介於 $30.3\sim 33.6^{\circ}\text{C}$ ，平均 30.9°C ；

海水樣本溫度介於 $26.4\sim 29.9^{\circ}\text{C}$ ，平均 28.6°C (圖3.1)；

由恆春氣象站的資料顯示恆春地區，7 月為年平均氣溫 (28.3°C) 最高的月份，而1 月為年平均氣溫 (20.3°C) 最低的月份 (圖 3.2)，因此水體表面溫度的變化主要與季節性之氣溫變化有關。

3.1.2 pH值：

在本年度的調查中：

7 月污水樣本pH值介於 $7.47\sim 8.59$ ，平均 7.85 ；

海水樣本pH值介於 $8.17\sim 8.54$ ，平均 8.25 ；

表3.1 79年 7月 6日墾丁國家公園沿海水質表。

	地點	temp	pH	D0	D0	chl.a	pheo	Chlorine	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³	SiO ₂
		°C		mg/l	%	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
污水樣本	後灣	27.9	7.47	4.58	61.4	1.24	0.76	0.03	11.321	n.d.	0.163	15.440
	萬里桐	29.2	8.18	7.13	97.7	1.07	0.93	0.03	0.034	0.017	0.056	0.142
	南灣	28.9	7.69	3.29	43.7	23.70	1.63	0.06	0.677	n.d.	0.030	20.675
	[409橋]	28.3	7.66	2.71	35.3	4.68	0.86	0.03	0.866	n.d.	0.050	22.963
	墾丁賓館	28.4	7.86	6.58	89.0	2.26	1.17	0.08	1.084	n.d.	0.009	11.426
	[413橋]	30.1	8.26	7.54	104.9	2.03	0.45	0.03	0.251	0.085	n.d.	0.506
	雅客	33.7	8.20	7.16	107.0	11.46	0	0.13	0.658	n.d.	0.052	15.621
海水樣本	情人灘	33.9	8.59	8.34	124.6	6.32	1.49	0.04	0.735	0.009	0.279	12.344
	小灣											
	港口溪											
	道											
	漁港	28.2	8.17	6.04	93.4	6.10	0.24	0.04	0.436	0.113	n.d.	0.962
	山海	30.1	8.18	5.42	86.5	8.58	0	0.04	0.292	0.157	n.d.	0.142
	後壁湖	29.7	8.24	6.52	103.3	3.39	0	0.01	0.780	0.141	n.d.	0.734
海水樣本	啞狗路											
	白砂灣	29.0	8.29	6.88	107.9	1.19	0.56	0.03	0.495	0.041	n.d.	0.233
	南灣海水	29.7	8.18	5.83	92.4	1.58	0	0.05	0.030	0.005	n.d.	0.142
	小灣海水	30.8	8.20	5.97	96.3	1.52	0	0.04	0.188	0.013	n.d.	0.370
	大灣海水	29.8	8.18	5.97	94.8	3.39	0	0.02	1.233	0.009	n.d.	0.825
	浴場											
	場											
開放大海	鵝鑾鼻	31.8	8.54	9.24	151.5	2.82	2.98	0.09	1.097	0.571	nd	0.188
	佳樂水	27.3	8.34	7.23	110.2	1.07	1.36	0.04	0.025	0.005	0.037	nd

NO₃⁻ : n.d. < 0.007 mg/l NO₂⁻ : n.d. < 0.007 mg/l

PO₄⁻³ : n.d. < 0.005 mg/l

表3.2 79年 11 月 7日墾丁國家公園沿海水質表。

	地點	temp	pH	DO	DO	chl.a	pheo	Chlorine	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³	SiO ₂	oil
		°C		mg/l	%	μg/l	μg/l		mg/l				
汚 穢 樣 本	聚 後 灣	25.7	7.931	6.09	74.5	2.44	3.03	0.20	4.991	0.084	0.049	12.258	0.60
	落 萬里桐	28.5	8.546	7.55	116.7	0.54	0.40	0.08	0.193	0.007	0.044	0.387	0.60
	排 核三廢水	25.8	7.939	7.08	86.8	5.36	7.54	0.02	1.043	0.407	0.137	6.932	0.48
	樣 [409橋]	26.4	7.664	3.89	48.2	0.99	2.17	0.01	1.529	0.106	0.590	11.590	1.02
	本 墾丁賓館	26.5	7.704	2.19	27.2	8.83	2.70	0.02	2.864	0.299	0.688	11.765	0.12
	雅客 [413橋]	25.6	7.585	4.95	60.4	1.58	2.33	0.02	0.020	0.015	1.459	10.600	2.40
	水 情人灘	24.8	8.110	5.84	84.9	1.17	1.59	0.03	0.126	0.009	0.022	0.365	0.48
海 水 樣 本	小 灣 [415橋]	28.1	8.165	8.10	103.5	5.39	4.34	0.10	4.012	1.098	0.983	11.523	0.60
	道 港口溪	24.4	8.223	7.41	88.5	0.84	0.83	0.04	0.051	0.003	0.044	9.980	0.54
	漁 山 海	27.2	8.043	7.21	107.5	0.43	0.45	0.02	1.076	0.013	0.044	3.826	0.96
	後 壁 湖	25.5	8.189	5.80	85.8	1.18	1.36	0.04	0.221	0.015	0.016	0.452	1.20
	啞 狗 路	25.5	8.210	6.10	90.1	0.39	0.54	0.04	0.113	0.013	0.011	0.314	0.54
	海 白砂灣	27.0	8.270	6.73	102.0	0.79	0.19	0.04	0.423	0.009	0.011	0.407	0.36
	水 南灣海水	25.1	8.225	6.34	93.1	0.93	2.24	0.03	0.233	0.010	0.011	0.697	0.48
樣 本	浴 小灣海水	25.9	8.260	6.55	97.5	1.23	0.37	0.05	0.241	0.008	0.011	0.354	0.36
	場												
	開 鵝鑾鼻	25.0	8.300	8.55	125.6	0.68	0.98	0.06	0.066	0.008	0.049	0.015	0.54
本	放 佳樂水	25.6	8.302	6.43	95.4	0.47	0.70	0.01	0.025	0.005	0.027	0.003	0.42
	大 海												

NO₃⁻ : n.d. < 0.007 mg/l NO₂⁻ : n.d. < 0.007 mg/l
PO₄⁻³ : n.d. < 0.005 mg/l

表3.3 80年 3月 4日墾丁國家公園沿海水質表。

	地點	temp	pH	DO	DO	chl.a	pheo.	Chlorine	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³	SiO ₂	oil	E.coli
		°C		mg/l	%	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	mg/l				MPN/100ml
污水樣本	聚後灣	25.2	7.43	6.36	77.1	10.14	11.01	0.04	1.416	0.085	0.053	66.420	0.09	9600
	萬里桐	25.1	8.23	7.50	110.2	0.34	0.48	0.03	0.125	0.010	n.d.	0.393	0.12	9600
	落核三出水口	27.4	7.49	5.41	68.2	4.1	6.25	0.04	6.432	0.258	1.336	38.930	0.07	18400
	南灣	28.8	7.73	9.29	120.2	40.96	39.50	0.04	0.764	0.069	0.895	75.830	0.09	48000
	排墾丁賓館	25.6	7.77	1.93	23.6	7.49	4.60	0.02	1.025	0.071	2.573	102.730	0.11	9600
	雅客	27.2	7.53	3.71	46.6	1.39	4.51	0.01	0.229	0.024	2.590	69.460	0.07	
	情人灘	28.2	8.29	8.74	111.8	1.15	n.d.	0.01	0.033	0.007	n.d.	0.127	0.05	0
	小灣	26.6	8.03	9.62	119.6	14.2	18.90	0.02	20.332	0.638	4.009	91.150	0.04	3720
	港口溪	25.6	8.24	7.89	96.4	1.11	1.04	0.03	0.086	0.006	0.006		0.04	92000
	漁海	24.7	8.06	6.06	88.2	1.58	2.08	0.01	0.360	0.033	0.041	0.934	0.04	3720
海水樣本	後壁湖	24.9	8.02	6.28	92.1	2.5	1.73	0.01	0.033	0.007	n.d.	0.415	0.1	0
	啞狗路	24.7	8.18	7.05	103	0.28	0.62	0.01	0.047	0.026	n.d.	0.174	0.04	27
	白砂灣	25.4	8.15	6.78	100.4	0.42	0.54	0.01	0.047	0.023	n.d.	0.176	0.08	0
	南灣海水	26.1	8.20	7.11	106.5	0.67	0.84	0.04	0.620	0.014	n.d.	0.281	0.04	
	小灣海水	25.2	8.14	6.82	100.6	0.78	n.d.	0.00	0.033	0.007	n.d.	0.318	0.06	960
	浴場													
	鵝鑾鼻	25.2	8.17	6.59	97.2	0.27	0.76	0.01	0.033	0.024	n.d.	0.109	0.08	18400
	開放大													
	佳樂水	24.6	8.19	6.70	97.8	0.19	0.82	0.01	0.033	0.024	n.d.	0.132	0.08	960
	海													

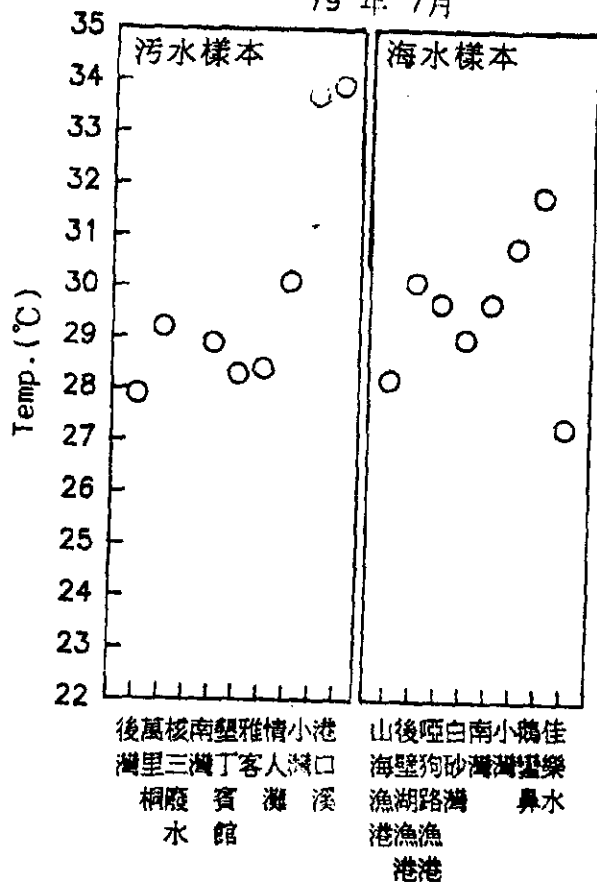
pheo. : n.d. < 0.2 μg/l NO₃⁻ : n.d. < 0.007 mg/l NO₂⁻ : n.d. < 0.007 mg/l
 Chlorine : n.d. < 0.01 mg/l PO₄⁻³ : n.d. < 0.005 mg/l

表3.4 80年 5月 23 日墾丁國家公園沿海水質表。

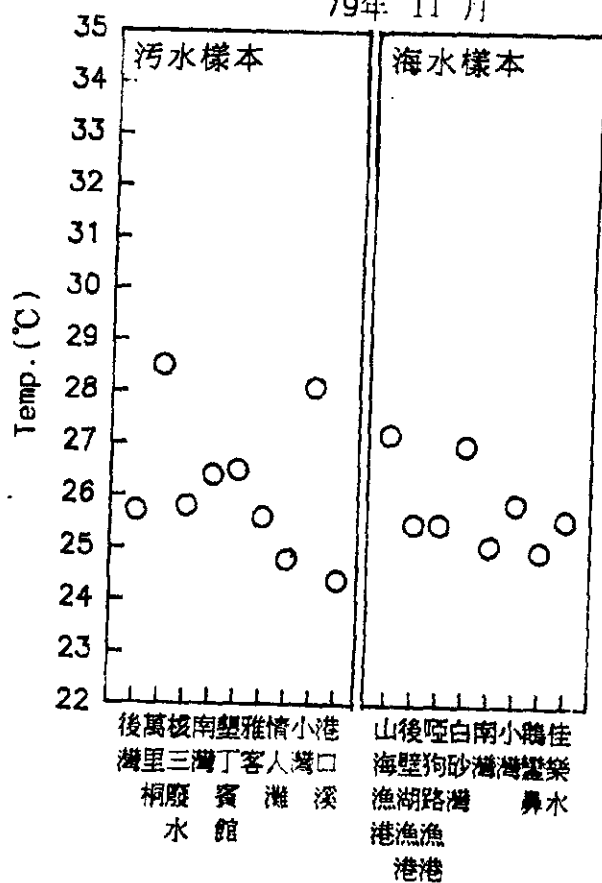
	地點	temp	pH	DO	DO	chl.a	pheo.	Chlorine	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³	SiO ₂
		°C		mg/l	%	μg/l	μg/l	μg/l		mg/l		
污 水 樣 本	聚落	30.3	8.09	6.60	87.7	12.45	11	0.05	2.074	0.113	0.060	16.269
	後灣	30.5	8.26	6.07	97.5	1.51	1.3	0.03	0.083	n.d.	0.095	0.455
	萬里桐	29.3	7.71	3.91	51.0	60.2	49.23	0.09	6.498	1.100	0.602	22.413
	核三廠廢水	30.6	8.04	2.85	38.0	72.49	162.01	0.04	9.65	2.086	1.228	27.874
	南灣	31.2	8.02	1.01	13.6	3.47	7.28	0.02	0.747	0.097	0.994	24.461
	墾丁賓館	31.6	7.83	0.25	3.4	1.58	2.53	0.03	0.083	0.016	2.832	23.323
	雅客	28.8	8.18	3.96	62.0	0.76	1.1	0.02	0.111	0.003	0.083	0.455
	情人灘	33.6	8.23	4.89	68.7	33.1	15.76	0.15	15.042	1.838	2.304	33.563
海 水 樣 本	小灣	31.2	8.20	4.62	62.4	1.42	1.53	0.03	0.194	0.006	0.072	7.736
	港口溪											
	漁港	29.8	7.89	4.01	63.6	0.58	0.88	0.02	1.576	0.019	0.083	3.527
	山海	28.1	8.11	4.65	72.0	3.47	3.96	0.02	0.111	0.026	0.083	0.455
	後壁湖	26.9	8.13	3.95	59.9	0.38	0.54	0.02	0.277	0.006	0.083	0.455
	啞狗路											
	海水	29.1	8.19	4.88	76.9	0.25	0.37	0.07	0.277	0.010	0.089	0.228
	白砂灣	29.2	8.17	3.90	61.4	1.51	0.91	0.02	0.111	0.003	0.089	0.455
開 放 大 海	南灣海水	29.8	8.16	3.98	63.3			0.04	0.138	0.006	0.089	0.569
	小灣海水											
	浴場											
	鵝鑾鼻	29.9	8.36	4.19	66.8	0.35	0.96	0.02	0.111	n.d.	0.083	0.228
	佳樂水	26.4	8.28	4.24	63.8	2.36	1.94	0.02	0.055	n.d.	0.095	0.341

NO₂⁻ : n.d. < 0.007 ppm - : 無數據

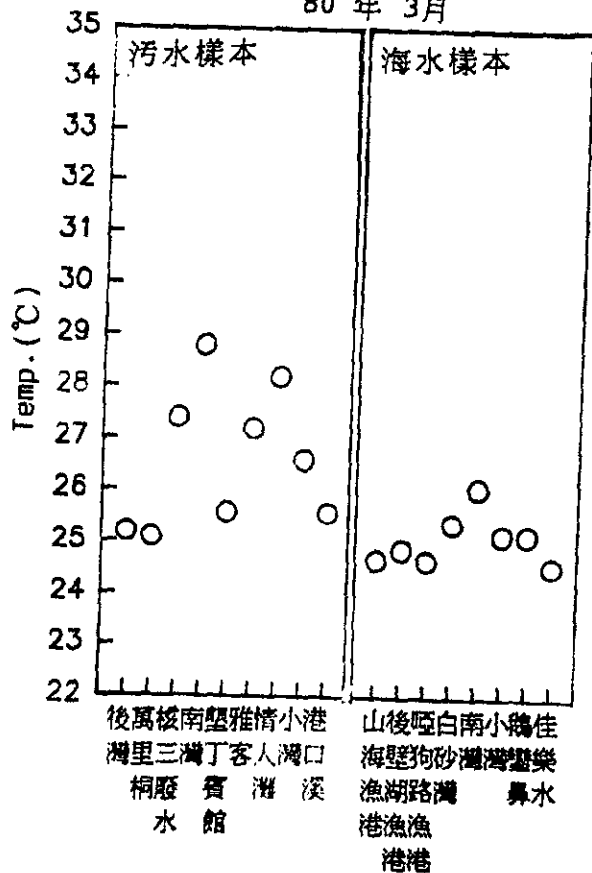
79 年 7 月



79 年 11 月



80 年 3 月



80 年 5 月

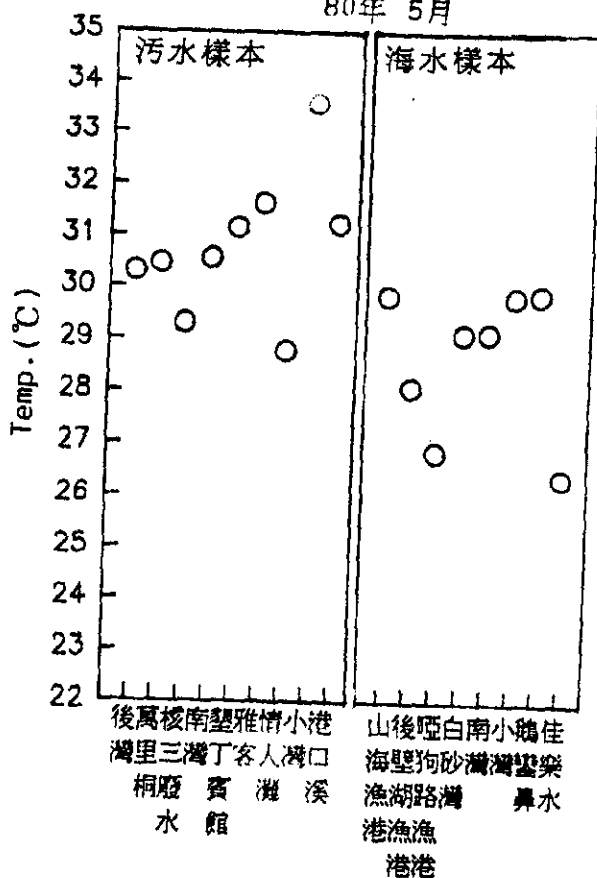


圖 3.1 79 年 7 月、11 月、80 年 3 月、5 月各站之溫度圖

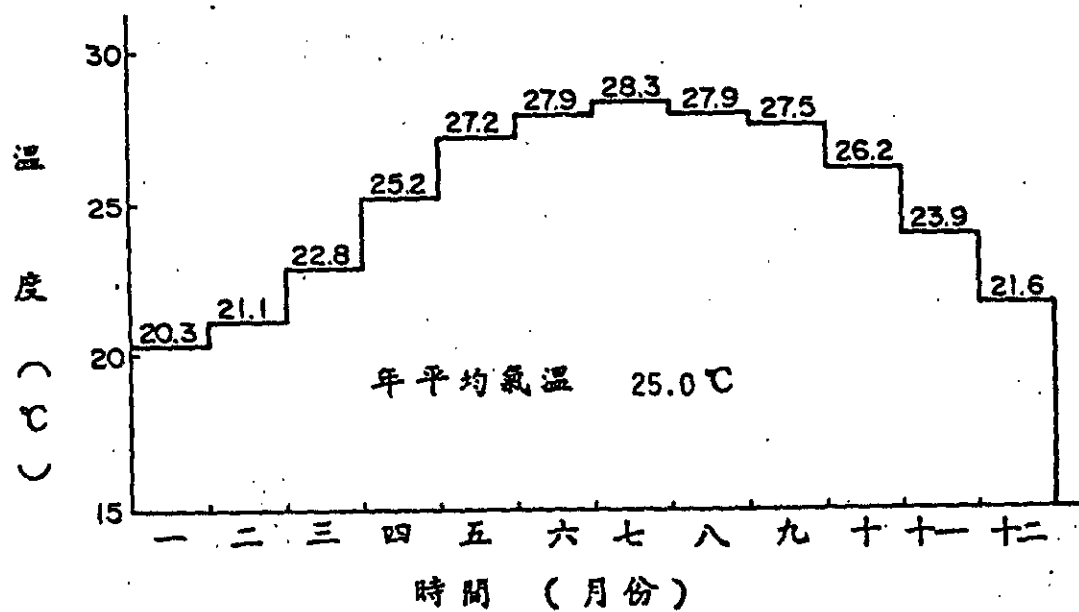


圖3.2 恆春地區各月氣溫分佈圖。

11月污水樣本pH值介於 7.58~8.54, 平均 7.89;

海水樣本pH值介於 8.04~8.30, 平均 8.21;

3 月污水樣本pH值介於 7.43~8.29, 平均 7.79;

海水樣本pH值介於 8.02~8.20, 平均 8.13;

5 月污水樣本pH值介於 8.02~8.26, 平均 8.08;

海水樣本pH值介於 7.89~8.36, 平均 8.14(圖3.3);

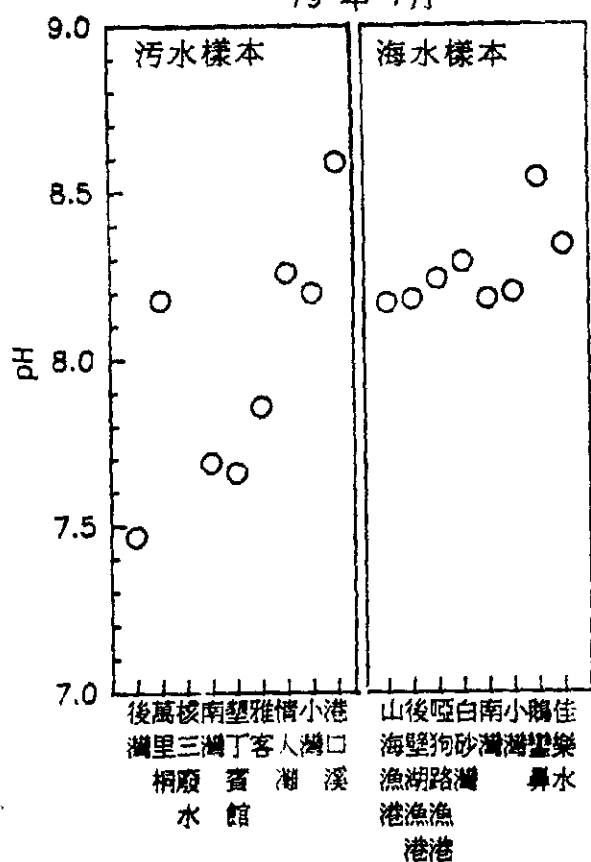
本年度水樣 pH 最低值為 7.43 , 最高值為8.54, 均符合甲類海域標準(pH: 7.5~8.5)及甲類河川、湖、潭之水質標準(pH: 7.5~8.5)。79年 5月於小灣(415 號橋河道)測得較高 pH 值(8.76) , 在今年四次的調查中均沒有再出現異常值。

3.1.3 溶氧量

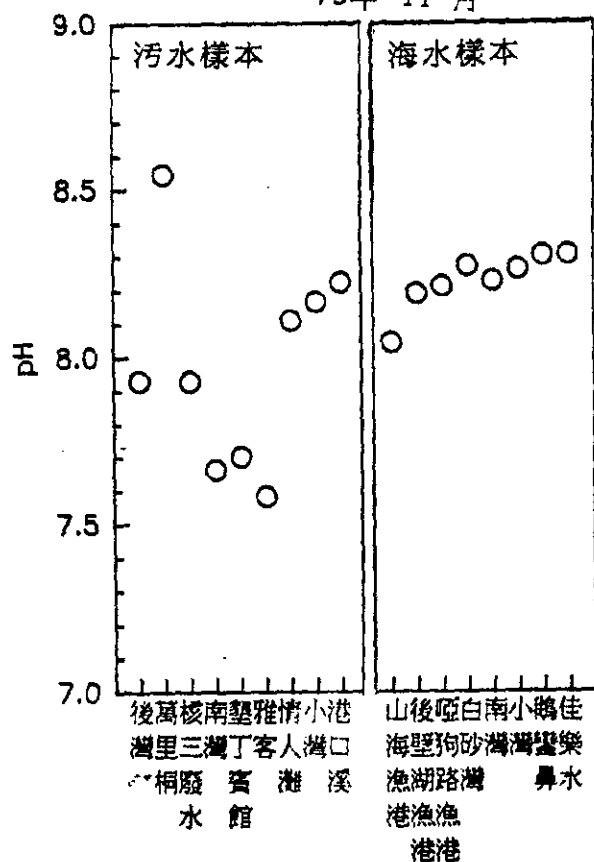
水體中的溶氧量大多是由水中浮游植物行光合作用而來, 因此在一個營養鹽高而溫度又適合浮游植物生長的季節, 水中藻類的光合作用勢必相當旺盛, 而釋出大量的氧氣, 水體溶氧量甚至有過飽合現象。氧氣是維持生命的要素, 原是愈多愈好, 但氧氣太多時, 水體生物長得過於茂盛, 反而遮蔽了陽光的穿透, 影響下層水中藻類的光合作用效率, 此種效應, 將使得光合作用效率降低, 再加上呼吸作用的消耗, 水體含氧量反而有愈來愈少的趨勢, 最後甚至完全無氧。此乃水體邁向優養化最典型的步驟:

- 1.浮游植物大量繁衍
- 2.水中氧量大增
- 3.植體競爭生存空間, 大量死亡
- 4.耗盡水中氧量
- 5.水體缺氧, 水質惡化

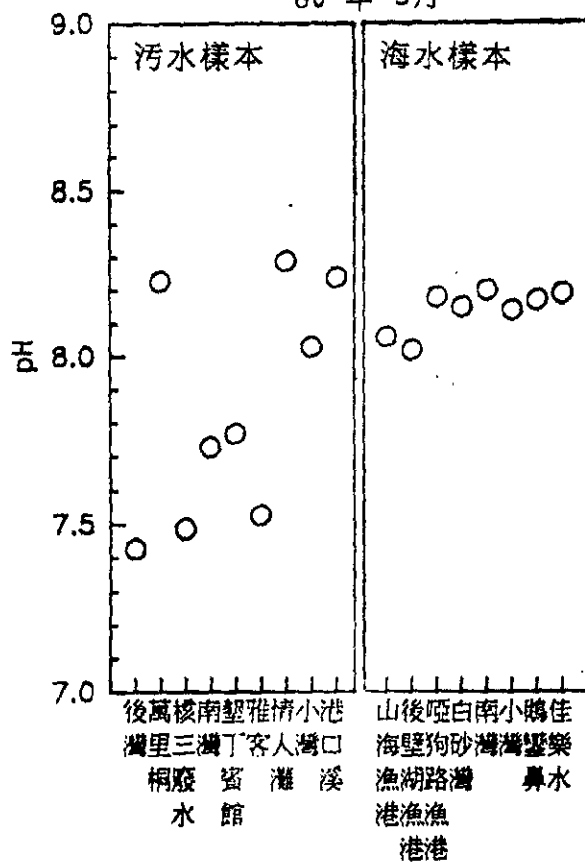
79 年 7 月



79 年 11 月



80 年 3 月



80 年 5 月

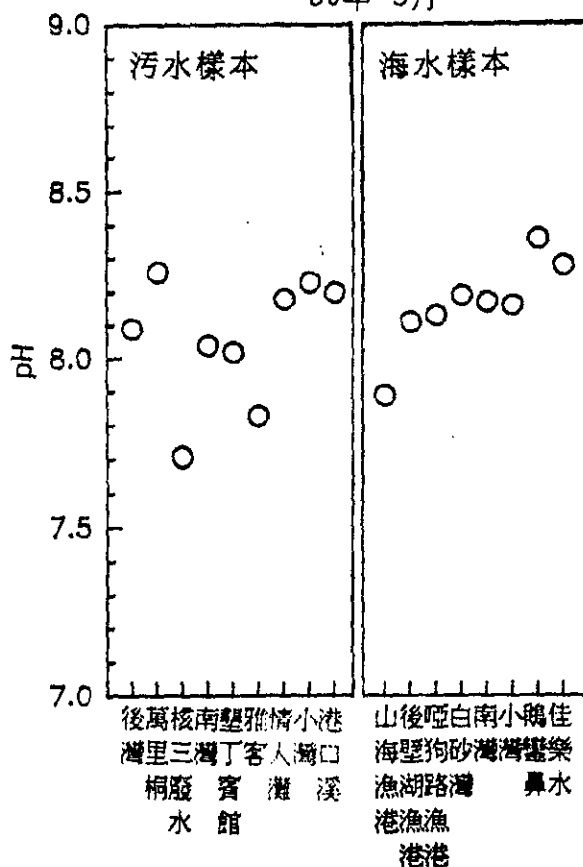


圖3.3 79年 7月、11月、80年 3月、5月各站之pH值

性的硫化氫，將因缺氧而產生，其對魚苗、蝦苗及成魚的安全濃度只有1~2ppb(Boyd, 1979)，另外水體也會產生難聞的味道，而使人不悅。因此水體的溶氧偏高或是偏低皆非一個良好的水質。

在本年度的調查中：

7 月污水樣本溶氧介於 2.71~8.34mg/l，平均 5.91mg/l；

海水樣本溶氧介於 5.42~9.24mg/l，平均 6.64mg/l；

11月污水樣本溶氧介於 2.19~8.10mg/l，平均 5.75mg/l；

海水樣本溶氧介於 5.42~9.24mg/l，平均 6.71mg/l；

3 月污水樣本溶氧介於 1.93~9.29mg/l，平均 6.88mg/l；

海水樣本溶氧介於 7.05~6.06mg/l，平均 6.67mg/l；

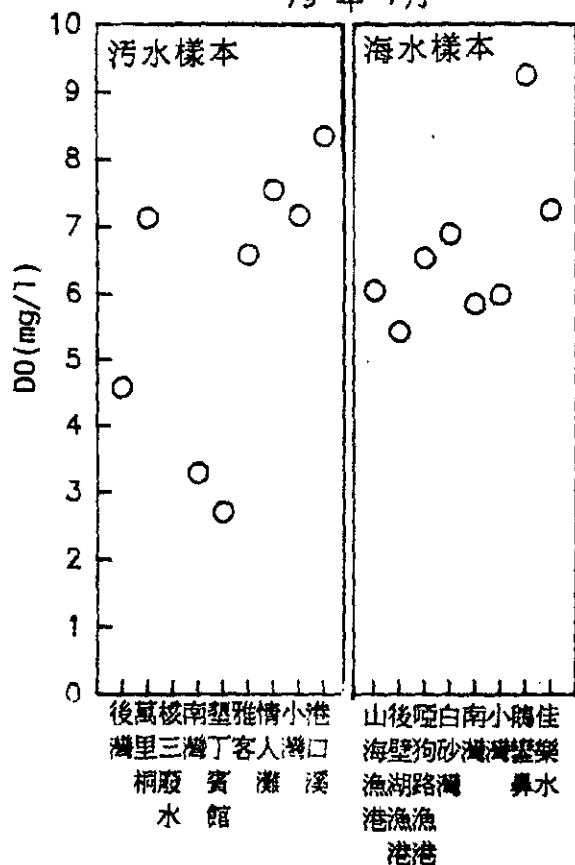
5 月污水樣本溶氧介於 0.25~6.60mg/l，平均 3.78mg/l；

海水樣本溶氧介於 3.95~4.88mg/l，平均 4.22mg/l；(圖3.4)

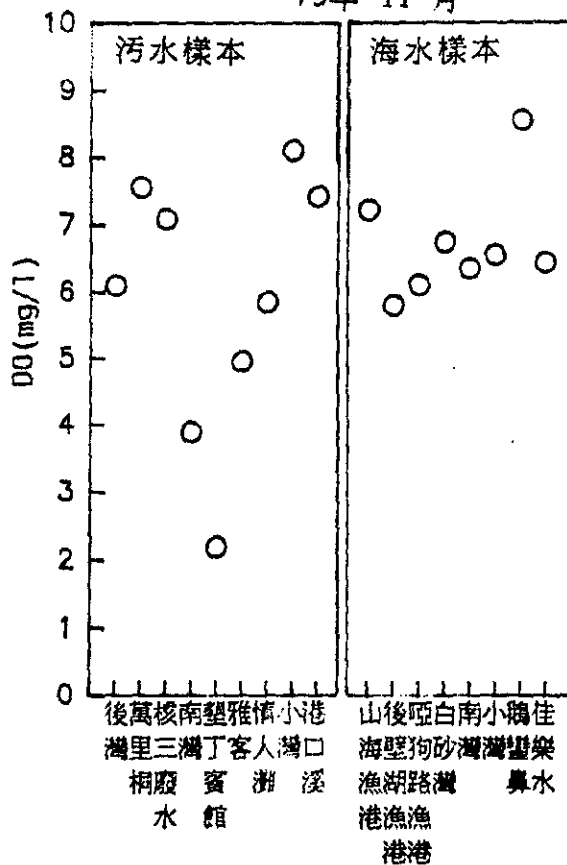
污水樣本中又以墾丁賓館旁之 413號橋排水道溶氧值最低，四次的調查中，最高值也不過 2.71 mg/l而已，顯示該河道常年處於低氧狀態，因此該河道中有機物質(垃圾)行無氧分解時，勢必釋出令人難以忍受之臭味。另外南灣 409號橋及雅客之家旁的 414號橋，溶氧量亦常年處於低氧態。就溶氧值之標準來看，409 號橋、413 號橋、414 號橋之河道為墾丁地區聚落排水道水質最差的三個地方。

海水樣本中，除了鵝鑾鼻之外，其餘樣本均顯示為正常水體的溶氧量。鵝鑾鼻的溶氧量在 79 年 7月及 11 月高達 8~9 mg/l，已超過飽合度 26~52%，其中 7月 NO_2^- 含量 0.571mg/l，為所有樣本之最高值，顯示該處受到了有機質之污染；該有機質分解後提供浮游植物營養鹽，使得光合作用旺盛，相對地也釋出高量的氧氣。80年 3月及 5月則不復出現，顯然該處有機質污染並非經年累月存在，是否有特定污染源隨著季節排放至該處，則需進一步了解。

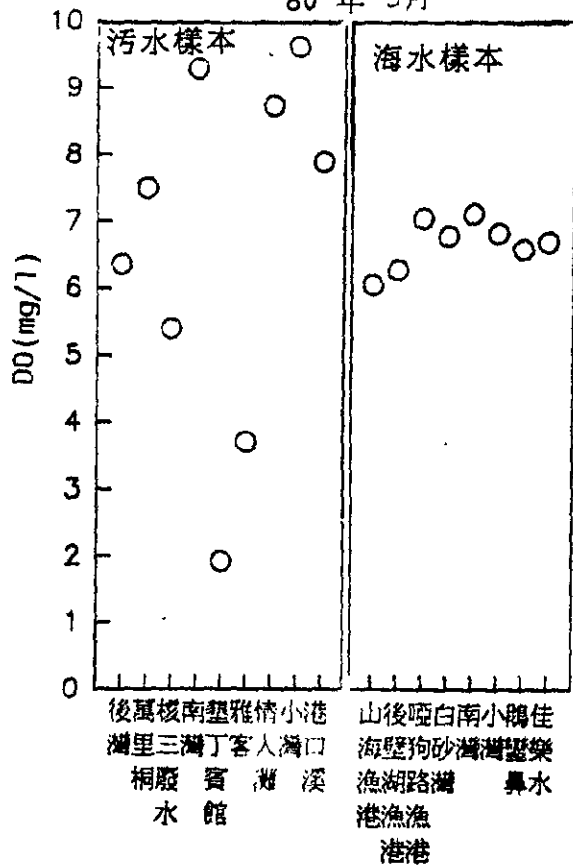
79 年 7 月



79 年 11 月



80 年 3 月



80 年 5 月

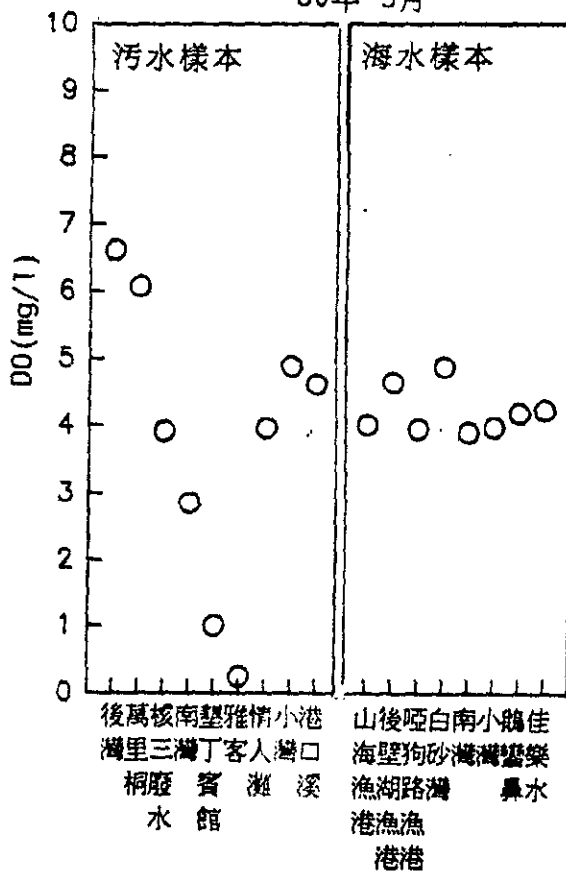


圖 3.4 79 年 7 月、11 月、80 年 3 月、5 月各站之溶氧量

3.2 葉綠素 a

浮游植物皆含有葉綠素 a 等色素，所以量測水中葉綠素 a 之濃度即可推測當地水體之浮游植物量。若水體過於營養，則浮游植物長得多，相對地，葉綠素 a 含量也跟著變高，因此葉綠素 a 含量的高低可做為水體營養程度的指標。

在本年度的調查中：

7 月污水樣本葉綠素 a 介於 $1.07 \sim 23.7 \mu\text{g/l}$ ，平均 $6.59 \mu\text{g/l}$ ；

海水樣本葉綠素 a 介於 $1.07 \sim 8.58 \mu\text{g/l}$ ，平均 $3.28 \mu\text{g/l}$ ；

11月污水樣本葉綠素 a 介於 $0.54 \sim 8.83 \mu\text{g/l}$ ，平均 $2.72 \mu\text{g/l}$ ；

海水樣本葉綠素 a 介於 $0.39 \sim 1.23 \mu\text{g/l}$ ，平均 $0.76 \mu\text{g/l}$ ；

3 月污水樣本葉綠素 a 介於 $0.34 \sim 40.96 \mu\text{g/l}$ ，平均 $9.59 \mu\text{g/l}$ ；

海水樣本葉綠素 a 介於 $0.19 \sim 2.5 \mu\text{g/l}$ ，平均 $0.83 \mu\text{g/l}$ ；

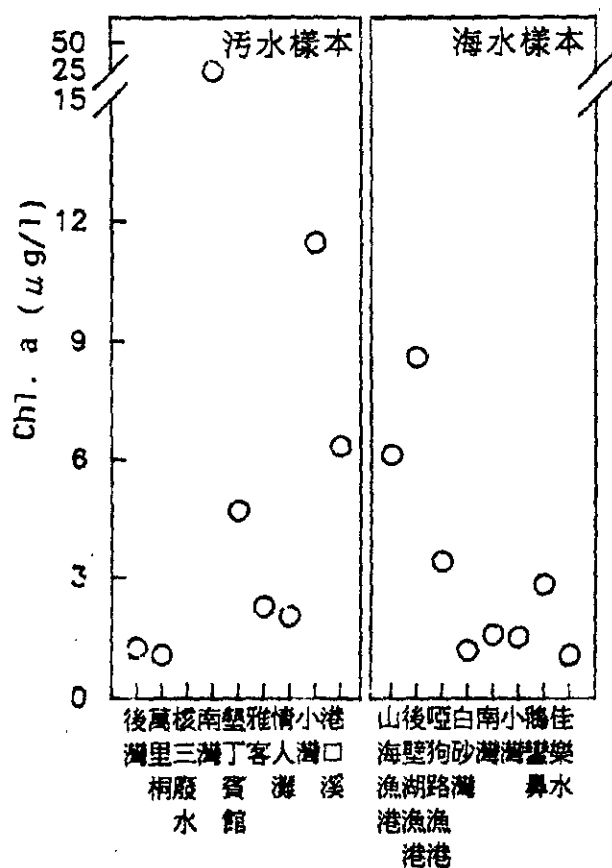
5 月污水樣本葉綠素 a 介於 $0.76 \sim 72.49 \mu\text{g/l}$ ，平均 $15.84 \mu\text{g/l}$ ；

海水樣本葉綠素 a 介於 $0.35 \sim 3.47 \mu\text{g/l}$ ，平均 $1.27 \mu\text{g/l}$ ；

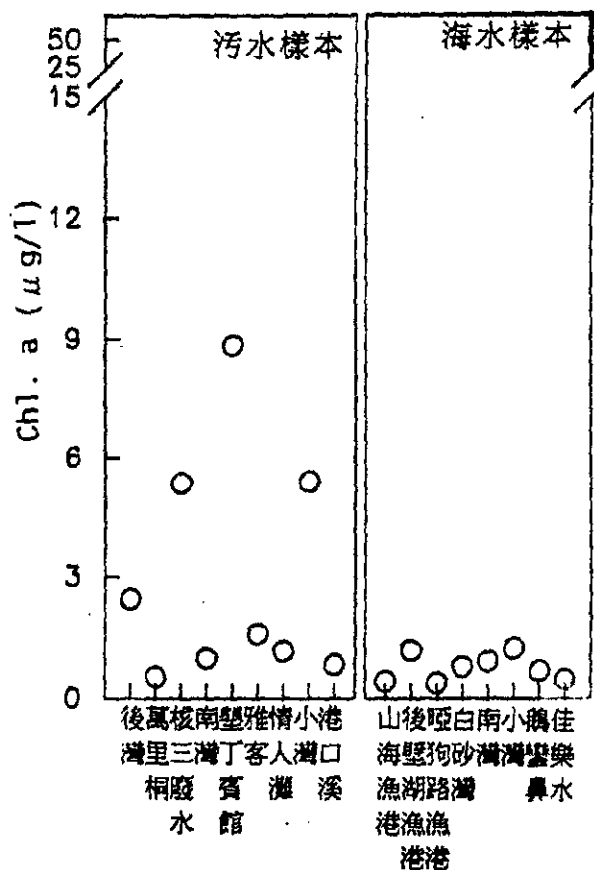
(圖3.5)

水體營養程度不僅要看葉綠素 a 的高低，還要參考賽氏板穿透度及磷含量。以 Johnson et al., (1985) 的標準來看，將水體列為貧營養之葉綠素 a 值是在 $2 \mu\text{g/l}$ 以下、磷含量是在 $9 \mu\text{g/l}$ 以下、賽氏板深度在 7 公尺以上，而中度營養水體之標準則分別為 $6 \mu\text{g/l}$ 、 $24 \mu\text{g/l}$ 、2 公尺。因此若以 $2 \sim 6 \mu\text{g/l}$ 為葉綠素 a 含量高低值之判斷標準來看，污水樣本中：79 年 7 月份南灣 409 號橋河道、小灣 415 號橋河道，79 年 11 月份墾丁賓館旁之 413 號橋河道，80 年 3 月後灣、南灣 409 號橋河道、墾丁賓館旁 413 號橋河道、情人灘等樣本之葉綠素 a 含量皆屬中度營養以上的水體了。而海水樣本中：除了 79 年 7 月份山海漁港、後壁湖漁港有較高值出現外。其餘皆分佈在 $0.19 \sim 3.39$

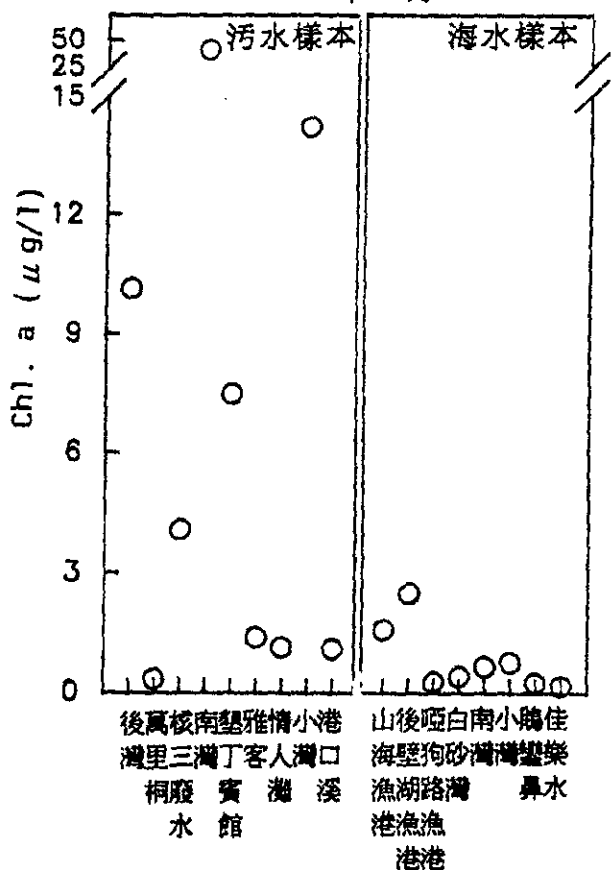
79 年 7 月



79 年 11 月



80 年 3 月



80 年 5 月

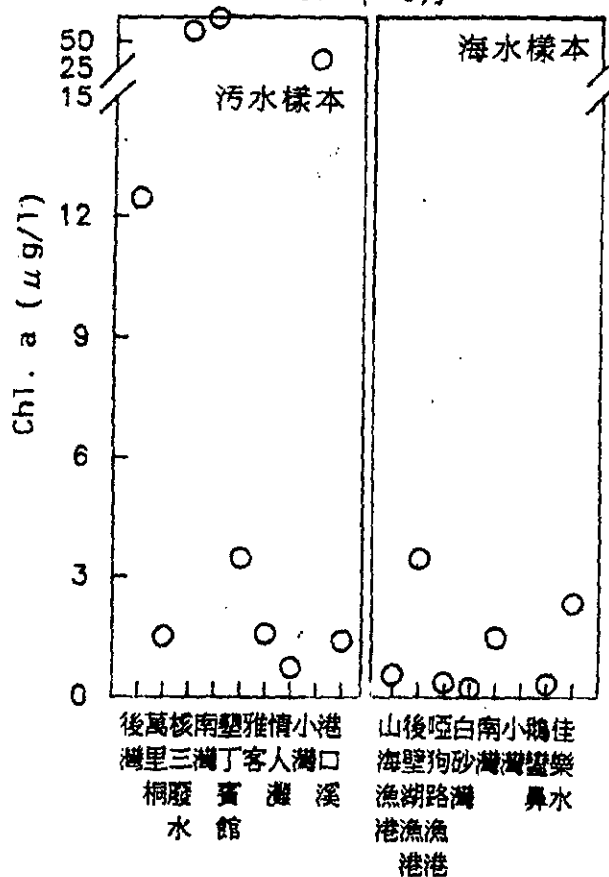


圖3.5 79年 7月、11月、80年 3月、5月各站之葉綠素 a

$\mu\text{g/l}$ ，比起通霄海域之 $0.4 \sim 19.1 \mu\text{g/l}$ 及高雄港海水 $1.0 \sim 74 \mu\text{g/l}$ 低很多。上述過於營養之污水樣本在無污水處理系統下直接排入海域，勢必對清潔的海域造成威脅。

3.3 營養鹽：

分析項目包括硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽及矽酸鹽四項。硝酸鹽含量分佈範圍：

7 月污水樣本介於 $0.034 \sim 11.321 \text{mg/l}$ ，平均 1.953mg/l ；

海水樣本介於 $0.025 \sim 1.233 \text{mg/l}$ ，平均 0.418mg/l ；

11月污水樣本介於 $0.02 \sim 4.991 \text{mg/l}$ ，平均 1.723mg/l ；

海水樣本介於 $0.025 \sim 1.076 \text{mg/l}$ ，平均 0.300mg/l ；

3 月污水樣本介於 $0.033 \sim 20.332 \text{mg/l}$ ，平均 3.001mg/l ；

海水樣本介於 $0.033 \sim 0.62 \text{mg/l}$ ，平均 0.151mg/l ；

5 月污水樣本介於 $0.083 \sim 15.042 \text{mg/l}$ ，平均 3.498mg/l ；

海水樣本介於 $0.055 \sim 1.576 \text{mg/l}$ ，平均 0.332mg/l ；(圖3.6)

小灣旁之 415號橋河道，其 NO_3^- 含量在 80 年 3月及 5月調查中皆為最高值。而在去年的調查中，此點亦是 NO_3^- 含量最高處，可見此河道之高量營養鹽，並非偶一為之；其經年累月排入附近海域，勢必對海域造成莫大的衝擊。

水中的 NO_2^- 來源大多是含氮有機質生物分解的中間產物，也可能在無氧狀態下， NO_3^- 還原成 NO_2^- 而成。一般來說，表水大多與空氣飽和平衡而呈氧化態，此有機質分解的中間產物 NO_2^- 會完全氧化成 NO_3^- ，因此表水通常是見不到 NO_2^- 。若 NO_2^- 出現，顯示水樣受到有機質污染，而有機質正一步步的分解產生 NO_2^- 。亞硝酸鹽分佈的範

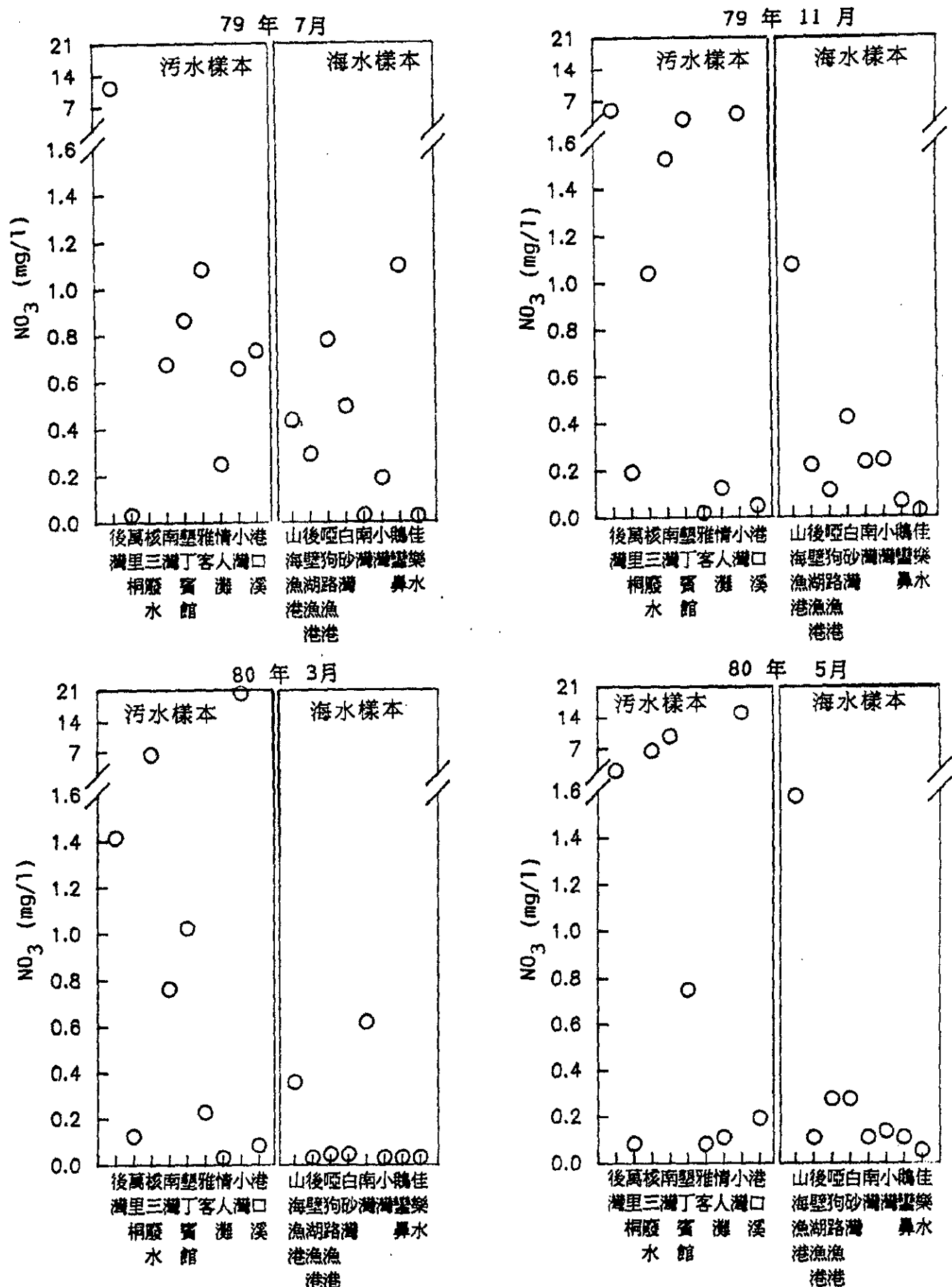


圖3.6 79年 7月、11月、80年 3月、 5月各站之硝酸鹽

圖：

7 月污水樣本介於 n.d. ~0.085mg/l, 平均0.014mg/l;

海水樣本介於 0.005~0.571mg/l, 平均0.131mg/l;

11月污水樣本介於 0.003~0.407mg/l, 平均0.203mg/l;

海水樣本介於 0.005~0.015mg/l, 平均0.010mg/l;

3 月污水樣本介於 0.006~0.638mg/l, 平均0.114mg/l;

海水樣本介於 0.007~0.033mg/l, 平均0.020mg/l;

5 月污水樣本介於 n.d.~2.086mg/l, 平均0.520mg/l;

海水樣本介於 n.d.~0.026mg/l, 平均0.009mg/l;(圖3.7)

污水樣本之亞硝酸鹽濃度除了 79 年 7月較低外, 其餘均偏高, 顯示各聚落排水道受到有機質之污染相當嚴重。尤其南灣 409號橋及小灣 415號河道, 其亞硝酸鹽的濃度在 80 年 5月竟然高達2.086、1.838 mg/l, 此時其葉綠素 a 含量也高得驚人。而海水樣本亞硝酸鹽濃度大致都比污水樣本低, 只有 79 年7 月鵝鑾鼻的值較高, 此高營養鹽值, 也造成該點溶氧量高於飽合度 50%以上之異常現象。

磷酸鹽分佈範圍：

7 月污水樣本介於 n.d.~0.279mg/l, 平均0.080mg/l;

海水樣本介於 n.d.~0.037mg/l, 平均0.005mg/l ;

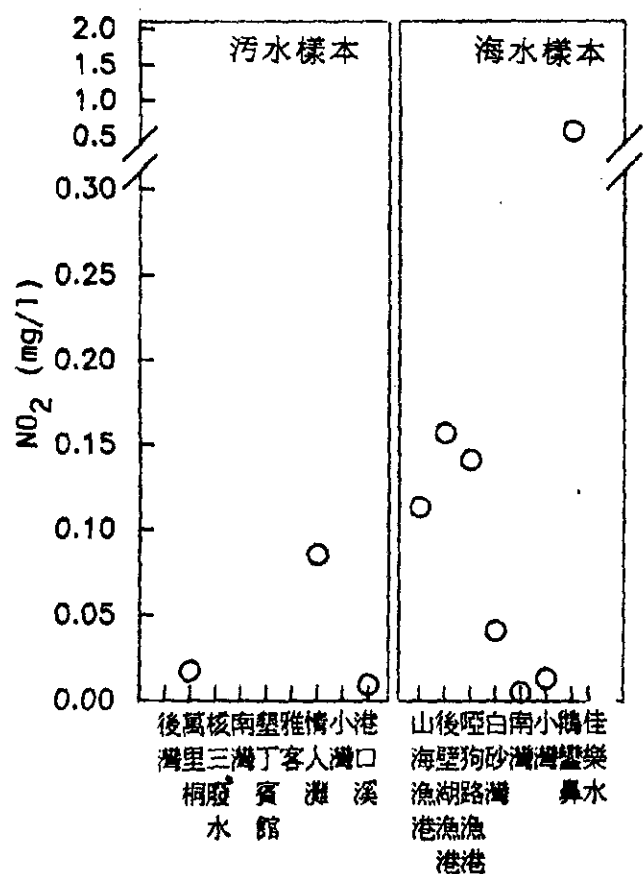
11月污水樣本介於 0.022~1.459mg/l, 平均0.485mg/l;

海水樣本介於 0.011~0.049mg/l, 平均0.023mg/l;

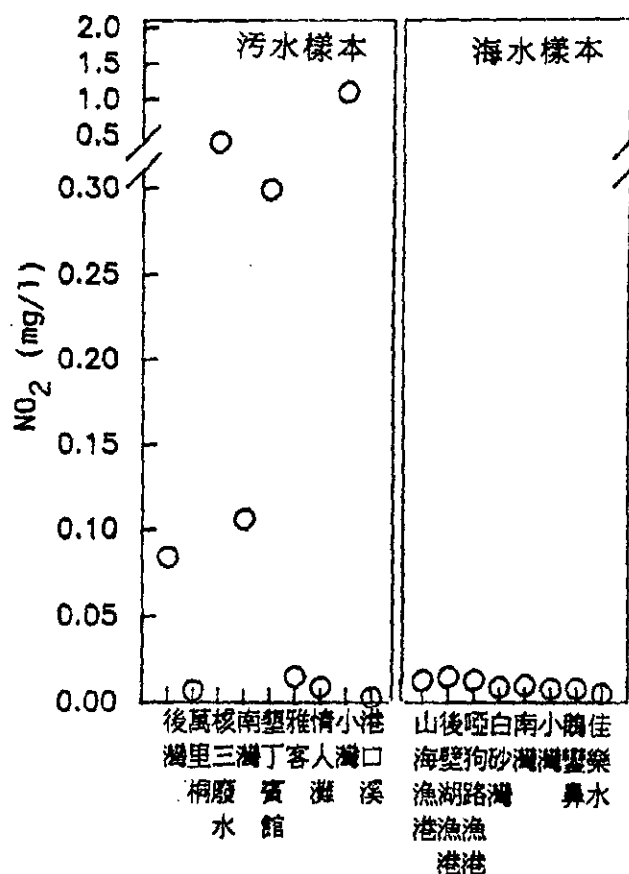
3 月污水樣本介於 n.d.~4.009mg/l, 平均1.266mg/l;

海水樣本介於 n.d.~0.041mg/l, 平均0.005mg/l;

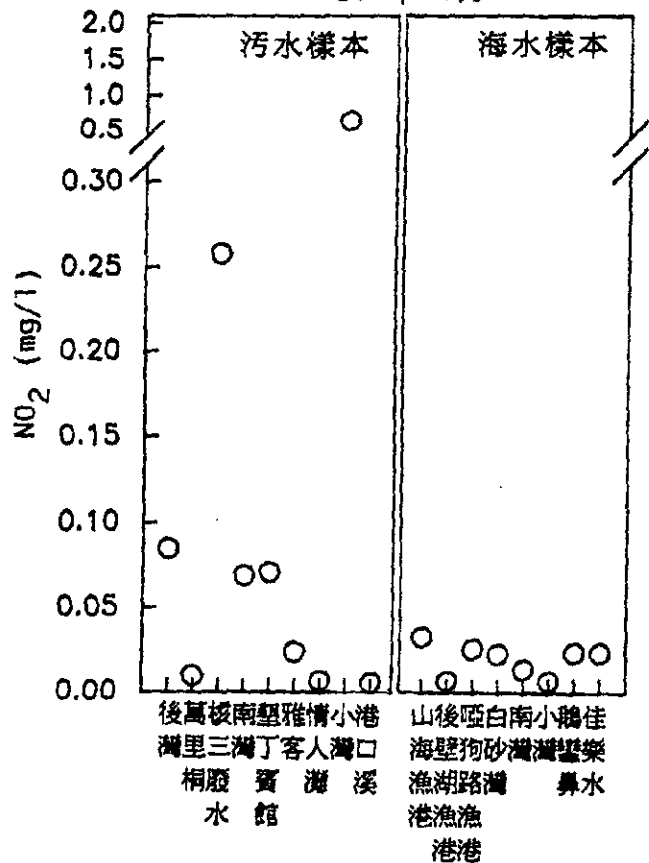
79 年 7 月



79 年 11 月



80 年 3 月



80 年 5 月

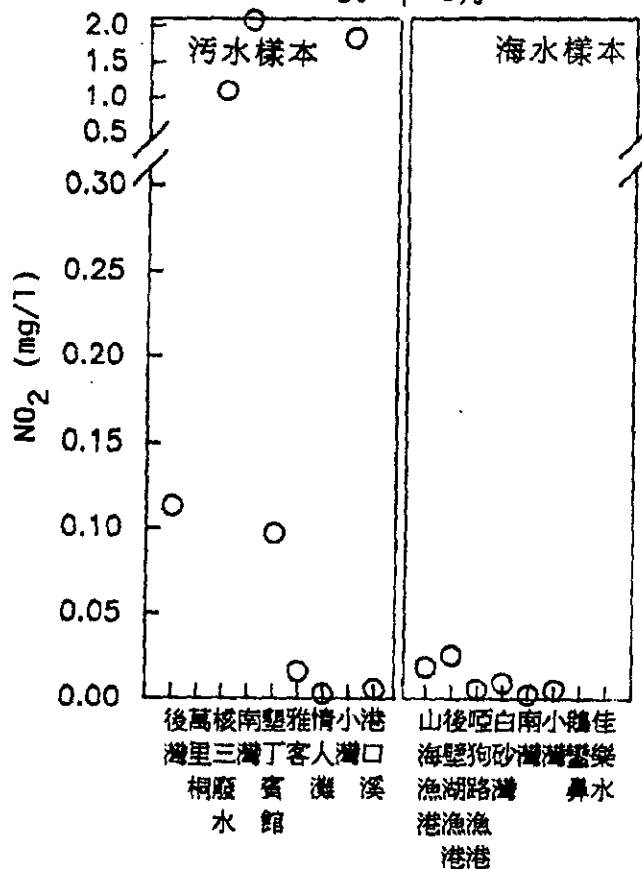


圖3.7 79年 7月、11月、80年 3月、5月各站之亞硝酸鹽

5 月污水樣本介於 0.06~2.832mg/l, 平均0.959mg/l;

海水樣本介於 0.083~0.095mg/l, 平均0.087mg/l;(圖3.8)

污水樣本中, 雅客之家旁 414號橋河道磷酸鹽含量, 在四次調查中有二次為所有樣本之最高值, 因此此處可能是墾丁海域提供磷酸鹽最大來源處。往後若設置污水處理系統, 應針對此項污染做改善。海水樣本方面, 在 79 年 7月及 80 年 3月磷酸鹽含量大多在低於偵測下限, 而即使在別月份偵測得到, 其濃度也都不算太高, 因此目前海域尚未受到磷酸鹽的污染。但以污水樣本濃度之高, 長久下來, 海域勢必負荷不了, 因此設立污水處理系統, 還是根本之道。

矽酸鹽分佈範圍:

7 月污水樣本介於 2.71~8.34mg/l, 平均12.39mg/l;

海水樣本介於 5.42~9.24mg/l, 平均0.346mg/l;

11月污水樣本介於 0.365~12.258mg/l, 平均8.559mg/l;

海水樣本介於 0.003~3.826mg/l, 平均0.759mg/l;

3 月污水樣本介於 0.127~102.72mg/l, 平均58.02mg/l;

海水樣本介於 0.109~0.934mg/l, 平均0.317mg/l;

5 月污水樣本介於 0.455~33.563mg/l, 平均16.77mg/l;

海水樣本介於 0.228~3.527mg/l, 平均0.782mg/l;

3.4 油脂(oil and grease)

油脂在自然水域中, 可經由水中植物分解而來, 但水域中若有目測可見的油脂存在, 通常是受到含有油脂的農工業及家庭廢水污染。油脂不溶於水, 因此水域中若有大量油脂存在, 顯然會阻撓海一氣間的交換, 而其分解時也會耗掉水中溶氧量, 嚴重影響海水水質。

甲類海域礦物性油脂水質標準含量為 2ppm , 由 79 年 11 月及

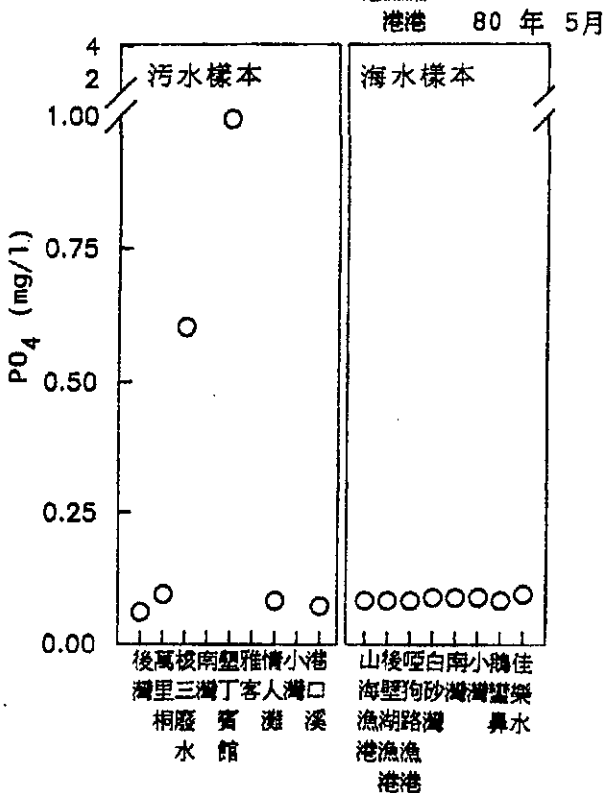
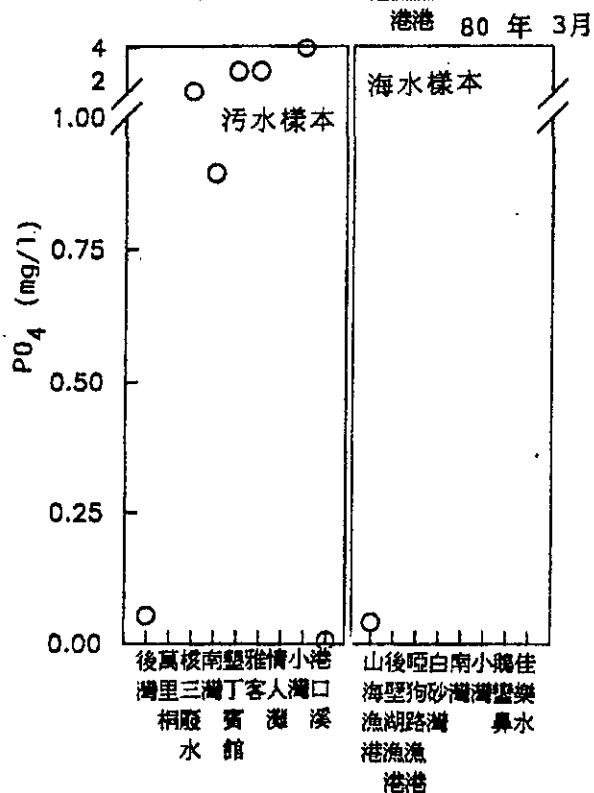
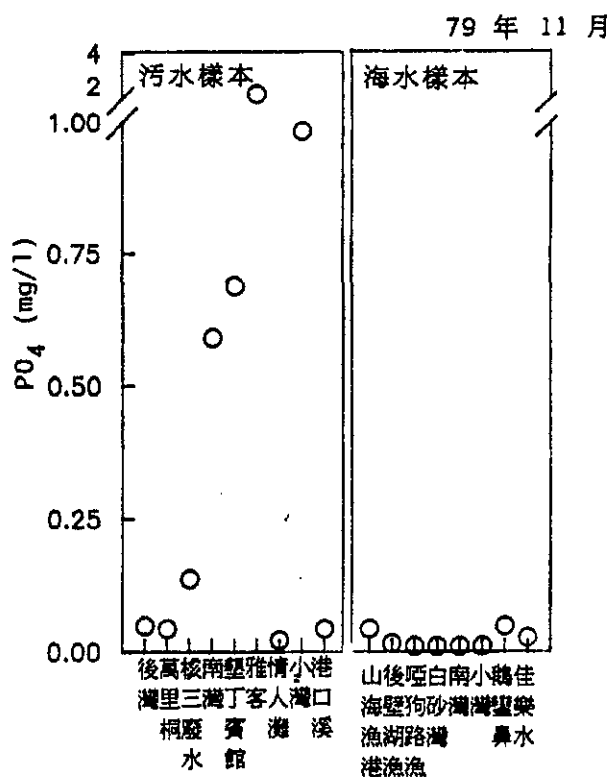
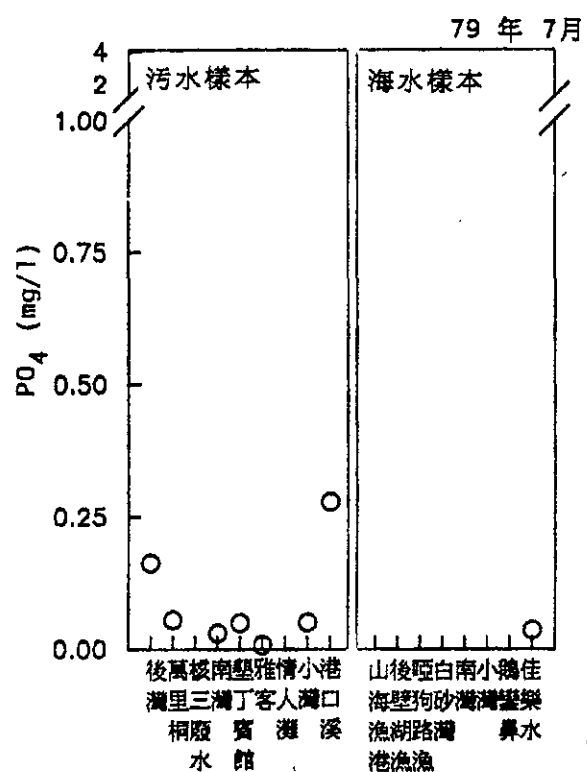
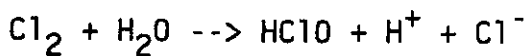


圖3.8 79年 7月、11月、80年 3月、5月各站之磷酸鹽

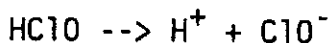
80年 3月之油脂數據來看，大多樣本在標準之內，較去年狀況好，只有 11 月份雅客之家旁 414號橋河道較標準值稍高(2.40 mg/l)。而最怕引起油脂污染海域的三處漁港，本年度之油脂含量亦在標準值之下，顯示漁船的油污釋出量目前還在安全界限之內。

3.5 餘氯

餘氯(residual chlorine)，又稱為殘留氯，是為氯氣在水中殘留及分解的產物。氯氣(Cl_2)通常是加入飲用水、廢水處理廠排水及游泳池，以殺死有害的細菌。當氯氣溶解在水中時，水解形成 HClO ：



HClO 再水解成下列形式：



因此在水中的氯氣可以分成兩種形式：

- (1) 游離有效氯(free available chlorine)
：包括 Cl_2 、 HClO 及 ClO^- 。
- (2) 結合有效氯(combined available chlorine)
： Cl_2 、 ClO^- 與氮化合物形成 mono
及 di-chloramines 。

游離有效氯及結合有效氯，均對水中生物有毒性，但結合有效氯的毒性較 Cl_2 小。測量游離有效氯(餘氯)有助於了解水體中由氯氣引起的毒性含量高低，由於 1 mg/l 的氯氣就足以制止細菌的繁衍，而不會引起有毒的異味，因此將餘氯訂定 1 mg/l 為容忍的安全上限(目前並無餘氯的水質標準)。

綜觀各月份樣本的餘氯均在容忍值之下，顯示墾丁水域目前並無

餘氯問題。然而四次的測量中，小灣 415號橋河道的餘氯值均較一般測值來得高，因此須防患此處餘氯含量的增加。

3.6 大腸桿菌數

由 80 年 3月的採樣資料顯示，各聚落排水道的大腸桿菌數均不符合水質標準值(甲類海域標準大腸桿菌 1000 CFU/100ml)，但這些數量皆較 79 年 2月來得低。這些排放水未經處理直接流入大海，對墾丁的海水品質必定造成相當的影響。

四、結論

1. 海水表面溫度的變化主要與季節性之氣溫變化有關。
2. 各樣本之 pH 值均符合甲類海域標準 (pH : 7.5~8.5) 及甲類河川、湖、潭之水質標準 (pH : 7.5~8.5)，較去年之狀況好些。
3. 409 號橋、413 號橋及 414 號之河道，其溶氧量常年處於低值狀態，為墾丁地區聚落排水道水質最差的三個地方；鵝鑾鼻測站曾經出現兩次高值的溶氧量，可能有特定污染源隨著季節排至該處，須密切注意。
4. 多處聚落排水道的葉綠素 a 含量已超過優養化水質標準許多，顯示河道營養鹽的含量相當的高；海域樣本之葉綠素 a 含量大多屬於貧營養級，因此聚落污水直接排入海域，勢必對墾丁水質造成威脅。
5. 小灣 415 號橋及雅客之家旁 414 號橋河道分別為硝酸鹽及磷酸鹽最大來源處，各樣本之亞硝酸鹽含量均偏高，顯示各河道受有機質污染相當嚴重。而海水樣本之營養鹽含量大致偏低，僅鵝鑾鼻有一次高值紀錄，該次正是溶氧出現異常值之時。
6. 各樣本之油脂含量均在標準值之內。其中原先較擔心造成油脂污染的三處漁港，其樣本油脂含量亦在標準之內，顯示漁船的油污釋出量目前還在安全值之內。
7. 餘氯含量也都在標準值之內，但小灣 415 號橋河道的值常較別處來得高些，應防範其增加。
8. 各污水樣本的大腸桿菌量均比標準值高，不符合甲類海域標準。

五、參考文獻

陳鎮東等人，1989，苗栗通霄鎮附近海域環境生態調查研究，第一年期末報告。

陳鎮東等人，1990，苗栗通霄鎮附近海域環境生態調查研究，第二年期末報告。

陳鎮東、郭景聖、王冰潔，1991，水質化學樣品採集及實驗室品保／品管標準操作手冊，漁業推廣專刊第 5 號，共 127 頁。

墾丁國家公園，1989，內政部營建署，237pp。

行政院環境保護署，1988，環保通訊社。

蘇仲卿等人，1988，台灣南部核能電廠附近海域之生態研究第九年執行報告，中研院國際環境科學委員會專刊，第59號，394頁。

Boyd, C. E., 1979, Water Quality in Warmwater Fish Pond, Department of Fisheries & Allied Aquacultures, 359pp.

Chen, C. T., 1985, Preliminary observation of oxygen and carbon dioxide of the wintertime Bering Sea marginal ice zone, Continental Shelf Research, 4, 465-483.

Johnson, D. M., R. R. Petersen, D. R. Lycan, J.W. Sweet, M. E. Neuhaus, and A. L. Schaedel., 1985, Atlas of Oregon Lakes, Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, 317pp.