

## 北部各核能發電廠附近海域之生態調查

### 壹. 緣起

由於核能電廠發電機運轉時需要抽取大量的海水作為冷卻水，而有溫排水的排放，所以對電廠周遭海域的生態可能會有不同程度的衝擊。行政院原子能委員會(與台電公司贊助)自 63 年起即對北部核能電廠附近海域展開長期的生態調查作業(85 年 7 月起由台電公司承辦)，北部的核一廠及核二廠雖然從運轉前開始調查迄今已 40 餘年，但由於影響海域生態變遷的自然與人為因素甚多，且錯綜複雜，故需要長期的監測與資料分析才能做出客觀正確的結論，並研擬預防及改善之道，供未來興建新機組之參考。

### 貳. 辦理內容及方式

本計畫 63 年起由開始委託中央研究院國際環境科學委員會中國委員會(環科會)進行長期調查與研究工作，87 年 9 月改由國立臺灣海洋大學承辦，其項目包括：

1. 本計畫 63 年起的調查項目涵括了海潮流、水文化學、植物性浮游生物、動物性浮游生物、底棲動物、魚類、放射性物質、漁場經濟。
2. 68 年起至 87 年內容有些許之變化如下：
  - (1)68 年起即增加核四廠預定廠址之調查。
  - (2)70 年起漁場經濟暫告一段落，72 年再作漁場經濟統計與評估，73 年改為利用熱排水養殖魚蝦。
  - (3)74 年再增加珊瑚、生物體及沉積物重金屬分析 2 項。
  - (4)75 年再增加進水口對仔稚魚之汲取及魚類撞擊影響之調查。
  - (5)76 年再增加漁場經濟效益。
  - (6)80 年進水口對仔稚魚之汲取及魚類撞擊影響之調查、利用熱排水養殖魚蝦 2 項結束研究。
  - (7)82 年珊瑚及漁場經濟效益 2 項結束研究。
  - (8)85 年台電公司承辦後即維持海潮流、水文化學、植物性浮游生物、動物性浮游生物、底棲動物、魚類、放射性物質、沉積物重金屬分析等 8 項調查。

- (9)87 年增加核二廠畸形魚試驗研究、群聚變遷與生態系模式建構及總整合 3 項且沉積物重金屬分析併入底棲動物研究。
- (10) 89 年核二廠畸形魚試驗研究及群聚變遷與生態系模式建構另案由研究發展經費編列 4 年研究。
3. 89 年起迄今維持海潮流、水文水質、植物性浮游生物、動物性浮游生物、底棲動物、魚類（98 年起將畸形魚調查併入）、放射核種監測及計畫彙整與網站建置等 8 項子計畫研究。
  4. 102 年起龍門廠監測及放射核種監測則改由台電公司提供。

### 參. 成效

1. 此調查的結果及背景可以作為核一、二廠附近海域生態環境影響之評估。
2. 由於核能發電可能產生的環境風險問題，向來受到社會極大的關切，包括溫排水、廢料處理、畸形魚與放射性核種外洩等問題。為了消除民眾疑慮，台電公司得隨時掌握核能電廠周遭的生態環境，藉由學者專家的研究整理分析，將結果定期的在台電公司網站向大眾公佈(<https://taipower.ntou.edu.tw>)，有助於減低大眾的疑慮。
3. 已完成相當多的研究報告。迄今已累計 40 餘年的資料，此一資料庫陸陸續續的記錄了過去 40 餘年來的浮游生物、底棲動物、魚類、水文水質與漁業環境變遷，過去 40 餘年，北部海域除了曾於 68 年發生過布拉格油輪、97 年晨曦輪、100 年瑞興貨輪、105 年德祥台北貨輪的漏油事件之外，並無其他的重大生態事件，或其他重要的污染源出現。因此，北部海域的整個生態系統，應該是處在一般性的人為干擾情形下(例如：漁業行為、遊憩行為)。
4. 研究成果在每年期末報告說明會時邀請行政院原子能委員會、行政院環境保護署等有關單位參與討論、釋疑，以達到雙向溝通及降低與漁民對北部核能電廠運轉後之疑慮。
5. 協助台電公司不定期的將研究成果答覆立法委員對北部核能電廠及漁業調查的相關諮詢。
6. 溫排水所造成的畸形魚或偶發性死魚、管制廢水不慎外洩等事件，

造成民眾對核電廠有所疑懼，所以核能電廠附近海域生態環境的長期監測是有其必要性的。

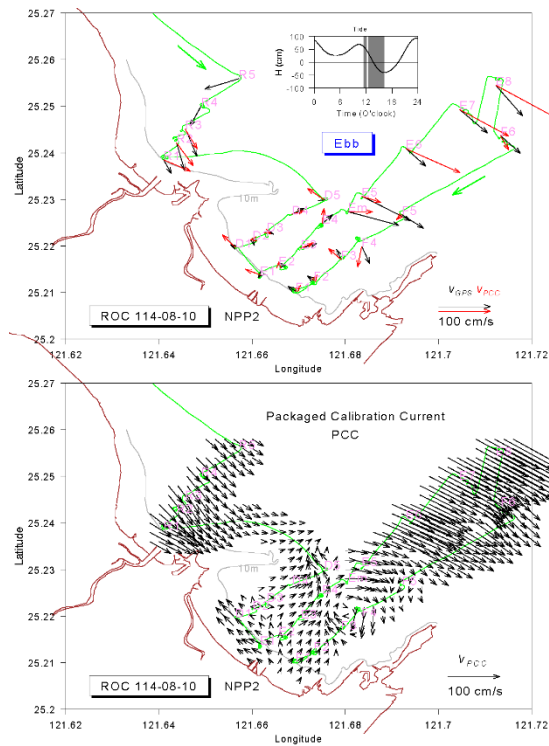
7. 電廠之監測，目前最重要的是監測與分析結果的整合，研究水準的提升，以及研究結果公信力的建立。為了達成上述目標，我們已逐步的將所監測之結果，發表於具公信力之學術期刊(如台電工程月刊、海洋學刊)，以達成監測與分析之結果公開化，此監測與分析的結果除了增加對海域生態之瞭解外，對學術界亦有貢獻。

#### 肆. 各子計畫精簡之研究結果

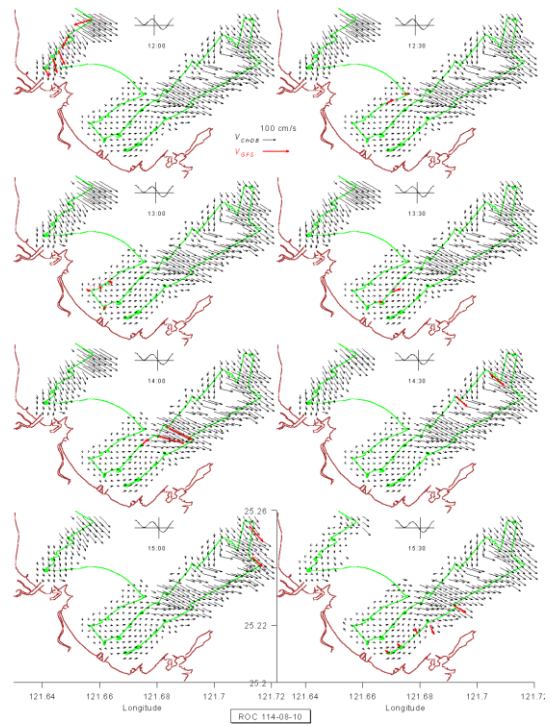
##### 一、海潮流

核一廠及核二廠皆位於台灣北部海域，那裡的海流以潮流為主要成分，在離岸一些距離以外，順著北部海岸走向而有漲潮流自東南向西北、退潮流反之的簡單往復運動概念。另外還有季節性淨流（net flow）的存在，春、夏西南季風時，北南海的水從台灣海峽北上，同時台灣東岸的黑潮向東偏移，將海峽水吸引繞過富貴角後沿西北-東南走向的北部海岸往三貂角流去。反之，秋、冬的東北季風時，黑潮主軸迫近台灣東岸，在東北海域形成繞過彭佳嶼入侵東海的套流（loop current），此一動作導致台灣北岸的淨流循反向從三貂角往富貴角流去。

以漁船追蹤 GPS 定位浮標來觀測各測站海流狀況（如圖摘-1 上子圖之黑矢向量），檢視過去長期以研究船 ADCP 掃測的海流資料庫相對潮汐坡度所推算的潮流，兩者差異即視為潮汐分量以外多項影響機制的包裹修正淨流（如圖 1 之紅矢向量及客觀分析的下子圖網格向量，看見夏季黑潮東移的動作）。進而全面修正 ADCP 資料庫計算的流場時序，獲致對應當日潮汐的網格化流場向量時序圖（如圖摘-2 之網格向量）。今年夏季則因納入基隆嶼氣象資料看見地區風場如何影響北部海域的流場及水文狀況，並從 26 年長期資料庫的經驗正交函數 EOFs 分析出典型結構（約貢獻 70%）及混合層-斜溫鹽層（約貢獻 15%）的兩個主分量的機制，在強度係數的時間序列上，未見全球如聖嬰事件的關聯性。



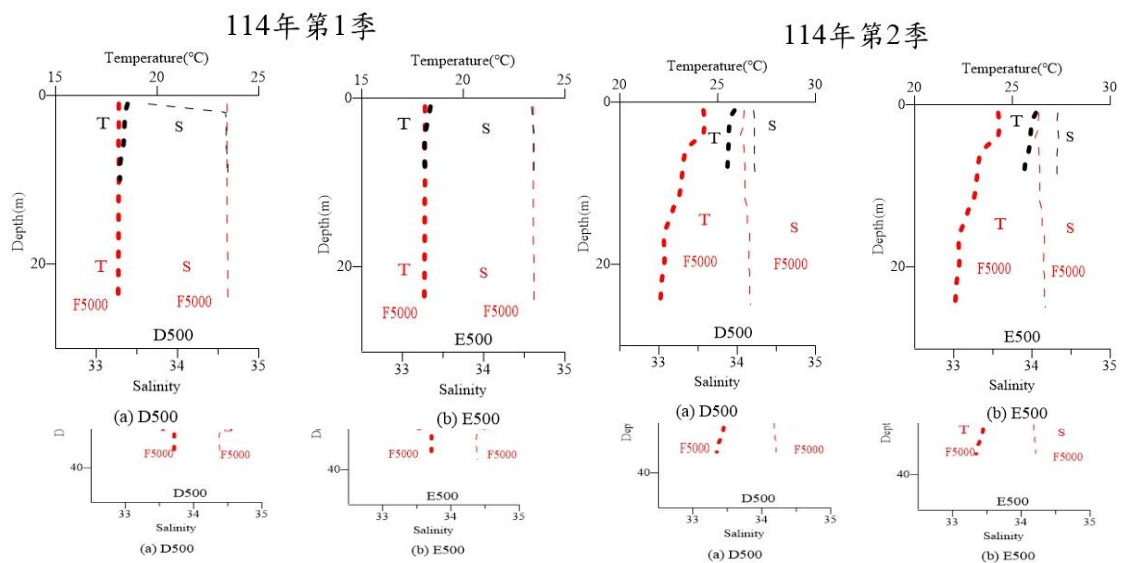
圖摘-1. 各測站海流狀況

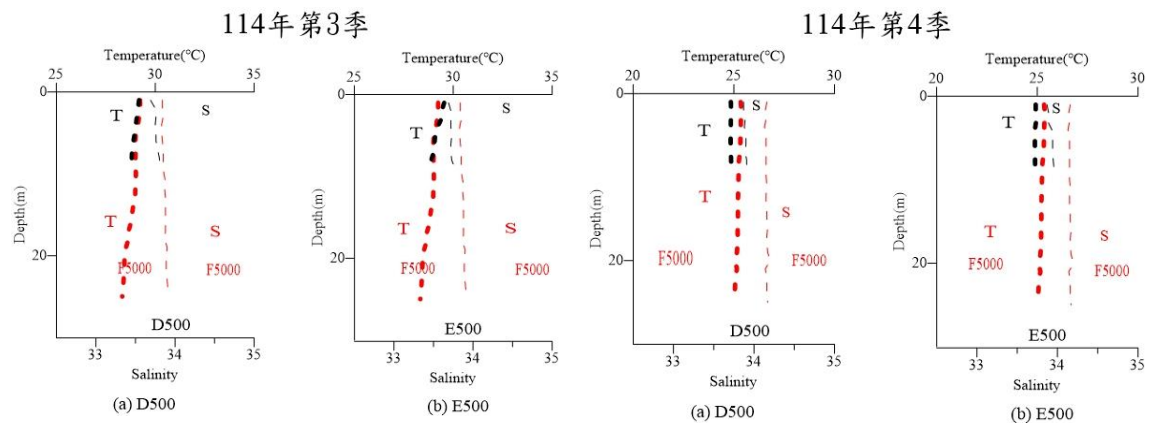


圖摘-2. 潮汐的網格化流場向量時序圖

## 二、 水文水質

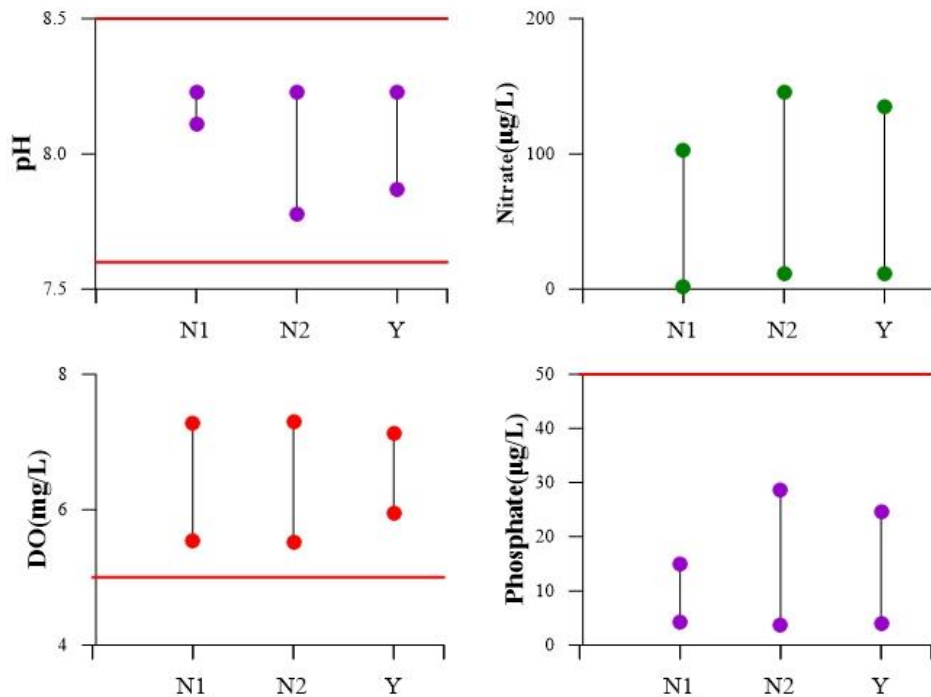
(一) 114年近岸測站受溫排水影響，以下為 D500 與 E500 溫鹽圖(圖摘-3)。





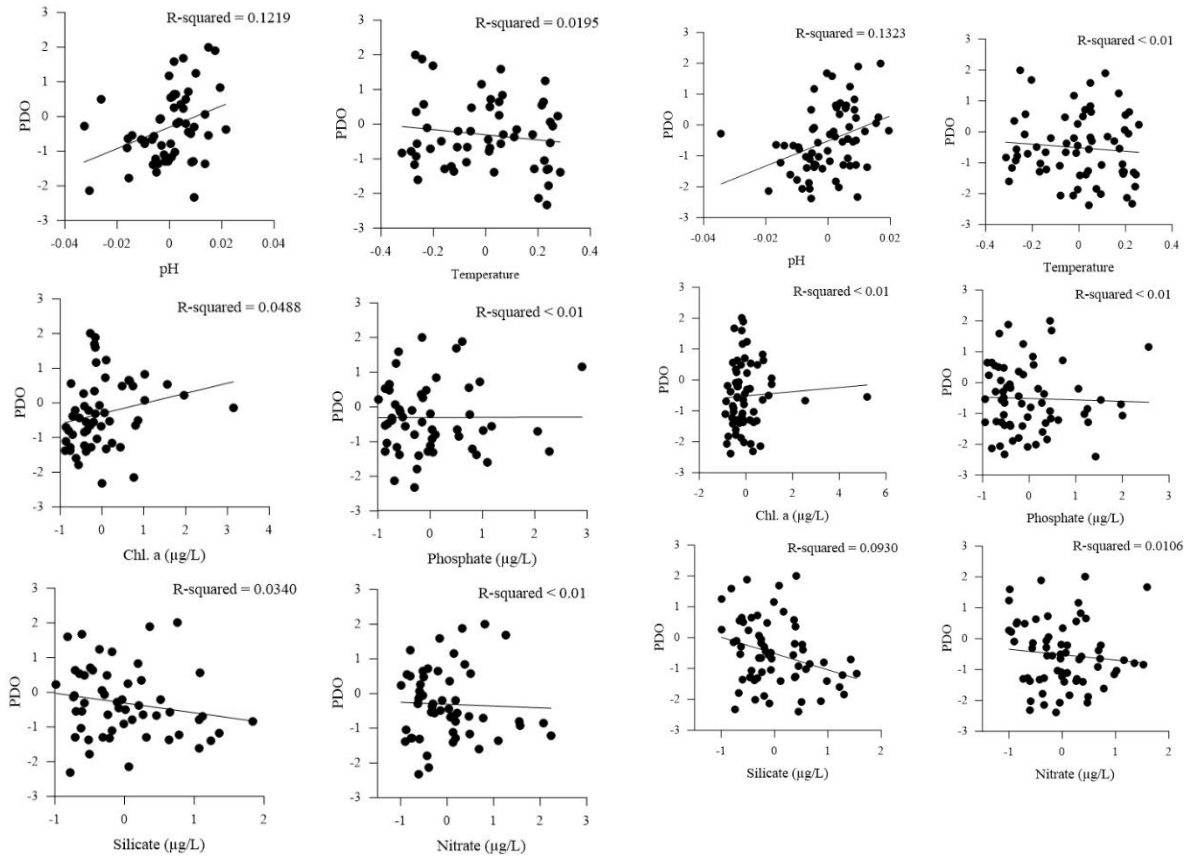
圖摘-3. D500 與 E500 溫鹽資料

(二) 114 年水質調查資料顯示核一廠與核二廠附近海域之水質如酸鹼度(pH)、溶氧量、硝酸鹽與磷酸鹽濃度皆符合行政院環境部所規範之甲類海域海洋環境品質標準(圖摘-4)。



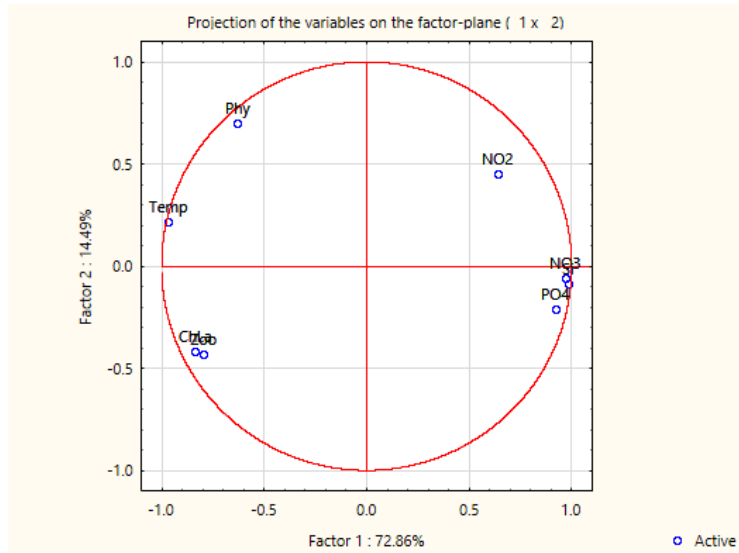
圖摘-4. 核一廠與核二廠附近海域之水質如酸鹼度(pH)、溶氧量、硝酸鹽與磷酸鹽濃度。(N1: 核一廠; N2 核二廠; Y: 磺溪口海域; 紅色橫線: 法規標準)

(三) 99-114 年北部核一廠及核二廠外海海域水質與太平洋十年震盪周期(PDO)相關性不佳，即水文水質不受氣候變遷因素影響(圖摘-5)。

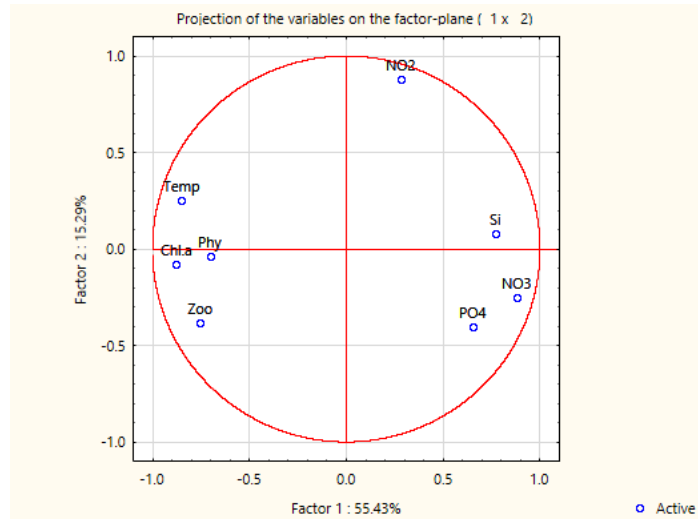


圖摘-5. 核一廠及核二廠外海海域水質與太平洋十年震盪周期(PDO)相關性

(四) 114 年核一廠與核二廠附近海域生態主成分分析圖(圖摘-6)。



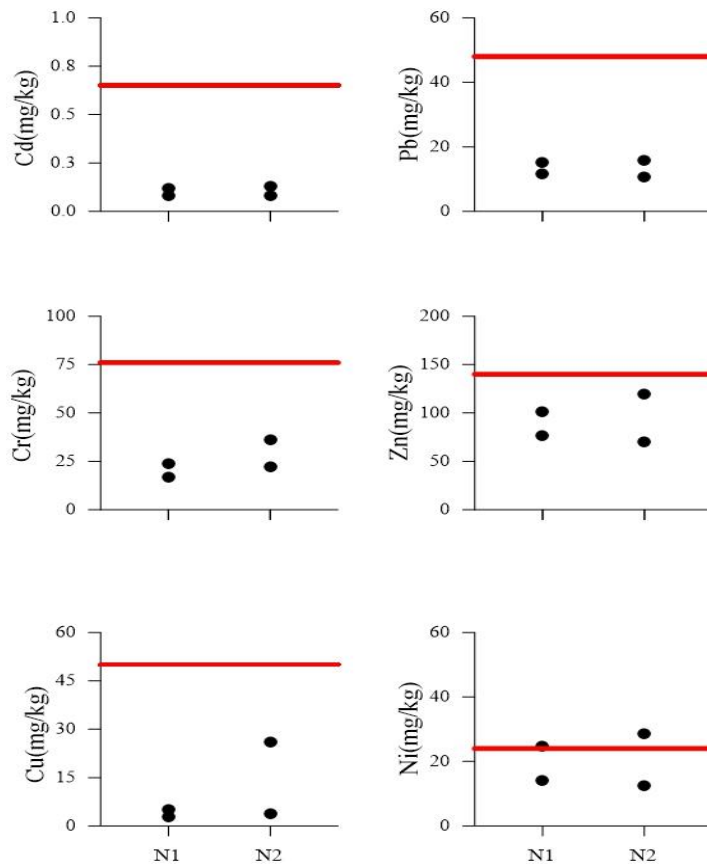
114 年核一廠



### 114 年核二廠

圖摘-6. 114 年(a)核一廠及(b)核二廠進、出水口海域水質參數之主成份(component 1& 2) 分佈圖。

(五) 114 年度沈積物重金屬元素總濃度大多小於環境部底泥品質指標下限值 (圖摘-7)。

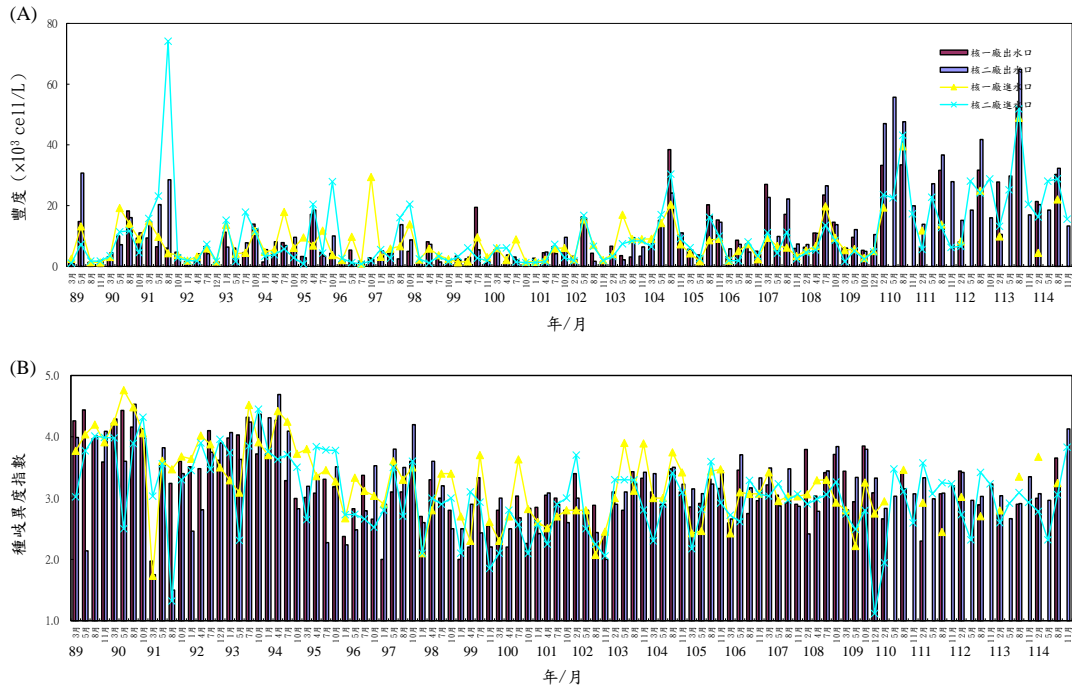


### 114 年

圖摘-7. 114 年度沈積物重金屬元素總濃度。

### 三、浮游植物

(一) 自開始接辦至 114 年期末報告之精簡研究結果：  
(自 89 年 1 月 1 日至 114 年 12 月 31 日)



圖摘-8. 89 年 1 月至 114 年 12 月期間於北部核能電廠核一廠及核二廠出進水口浮游植物之  
(A) 豐度及 (B) 種歧異度指數季節分布

- 由北部核能電廠海域 89 年~114 年共 25 年的豐度以及種歧異度指數長期變化來看，本研究近幾年（89~114 年）的調查結果相較以往低了一些，這主要是因為在往年經常在某個季節有某種藻類於近岸海域大量繁生的現象，例如在 87 年 11 月時在核二廠出水口附近海域出現大量的菱形海線藻 (*T. nitzschoides*) 以及 88 年 7 月在磺溪河口附近海域出現高量的旋鏈角毛藻 (*C. curvisetus*) 所致。
- 近幾年來，許多優勢的藻種在數量雖然偶爾會有稍多的情形，不過已不像以往佔有絕對的優勢量，因此近幾年各個季節的平均豐度普遍較低，不過核一、二廠附近海域浮游植物豐度仍有明顯的季節循環，經常於 5 月~10 月之間出現較高數量。
- 此海域所發現的浮游植物種類頗為多樣，每年所發現的種類多介於 140~200 種之間。此外，我們也發現當浮游植物大量繁生時，核二廠出水口附近海域的數量一般均較核一廠出水口為高。在離岸遠近的變化上則有近岸海域浮游植物豐度較遠岸高的情形。
- 長期來看浮游植物豐度與環境因子的相關性並不大，在較高溫鹽度或在較低營養鹽及撓足類豐度時，浮游植物豐度通常較高，但變化幅度亦較大。

(二) 自 113 年 1 月~114 年 12 月之精簡研究結果：

表摘-1

浮游植物	平均豐度( $\times 10^3$ cells/l)	種類數目	種歧異度
113 年 第 1 季	M:13.7 $\pm$ 0.7 P1:27.8, P2:10.5	T:95, M:15 $\pm$ 1 P1:24, P2:16	M:2.9 $\pm$ 0.1 P1:2.7, P2:3.0
113 年 第 2 季	M:14.8 $\pm$ 0.8 P1:-, P2:29.8	T:72, M:19 $\pm$ 1 P1:-, P2:22	M:3.2 $\pm$ 0.1 P1:-, P2:2.7
113 年 第 3 季	M:39.9 $\pm$ 1.3 P1:52.4, P2:64.9	T:80, M:23 $\pm$ 1 P1:27, P2:32	M:3.2 $\pm$ 0.1 P1:2.9, P2:2.9
113 年 第 4 季	M:11.0 $\pm$ 0.5 P1:-, P2:17.0	T:44, M:15 $\pm$ 1 P1:-, P2:15	M:3.2 $\pm$ 0.1 P1:-, P2:3.3
114 年 第 1 季	M:7.2 $\pm$ 0.5 P1:21.4, P2:20.4	T:33, M:12 $\pm$ 1 P1:19, P2:18	M:2.7 $\pm$ 0.1 P1:3.0, P2:3.1
114 年 第 2 季	M:18.9 $\pm$ 0.9 P1:-, P2:14.1	T:56, M:17 $\pm$ 1 P1:-, P2:21	M:2.9 $\pm$ 0.1 P1:-, P2:3.3
114 年 第 3 季	M:20.0 $\pm$ 0.9 P1:30.2, P2:32.3	T:67, M:18 $\pm$ 1 P1:31, P2:21	M:3.1 $\pm$ 0.1 P1:3.7, P2:3.2
114 年 第 4 季	M:12.0 $\pm$ 0.6 P1:-, P2:13.3	T:65, M:21 $\pm$ 1 P1:-, P2:25	M:3.6 $\pm$ 0.1 P1:-, P2:4.1
平均(M)或總 和(T)	M:17.0 $\pm$ 0.7 M1:32.9, M2:25.8	T:176, M:17 $\pm$ 1 M1:25 M2:21	M:3.1 $\pm$ 0.1 M1:3.1 M2:3.2

註：M:平均值 T:總合 P1:核一廠出水口 P2:核二廠出水口 紅字代表高於季或年平均值

- 我們長期的調查結果顯示核電廠出水口測站(不論是核一廠或是核二廠)所發現的種類數目及數量通常高於或相當於季或年平均值，近兩年的調查結果看來，這現象仍然沒有改變，不過優勢種則有些許不同。
- 此外，浮游植物的豐度以及種類數多呈現由近岸向遠岸減少的現象，顯見核電廠之溫排水對附近海域浮游植物種類之多樣性並無明顯的負面影響。
  - 一如由與生物多樣性關係最高的種歧異度指數值來看，兩年來的數值都在 2.7 以上，最高可達 4.1 此海域的生物多樣性頗高，屬於良好的環境。

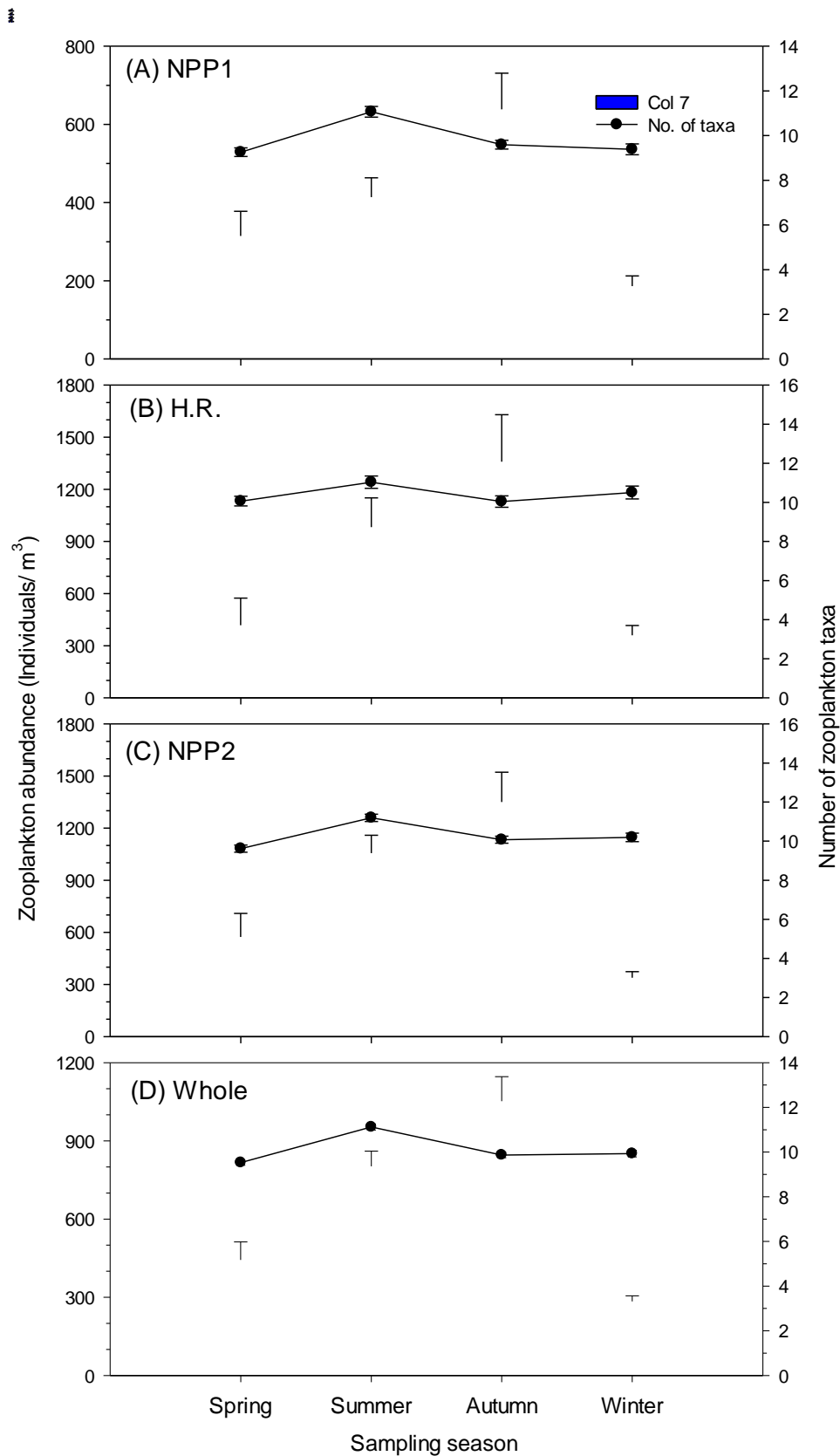
#### 四、浮游動物

##### (一) 計畫承接迄今

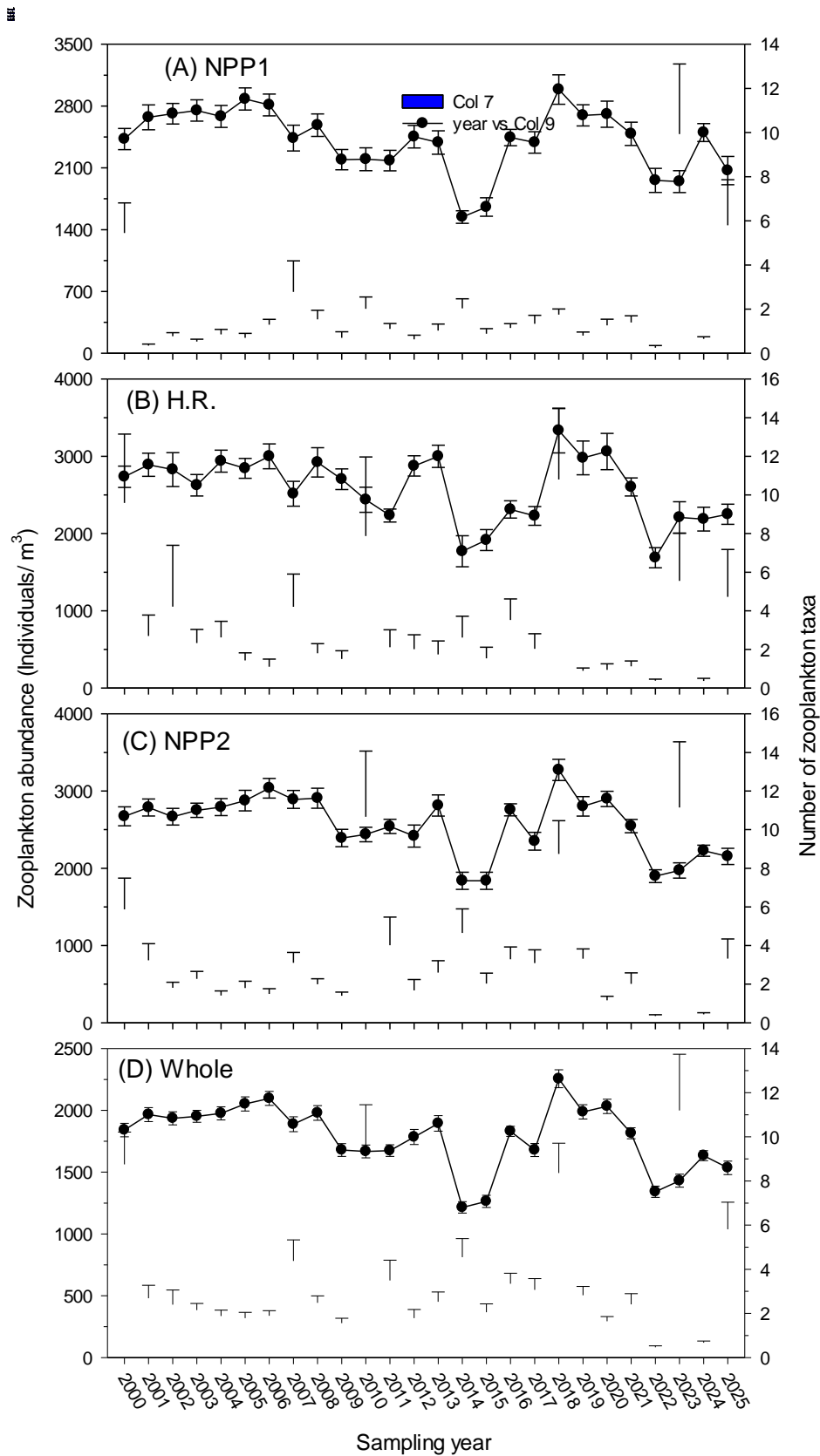
在累計多年對於北部核能電廠外海域的採樣結果後，本報告中將過去數年的累積的豐富調查結果進行了廣泛的回顧與分析，從結果中確實找到許多

核一廠與核二廠外海域特殊的生態特性。從最近的時間刻度 114 年四季的調查分析資料切入可以發現季節因素對核電廠外海域浮游動物的數量有顯著的影響，組成結構與數量改變明顯可見，浮游動物之組成、數量以及優勢種類的變化也反映出了浮游動物對生態環境改變的敏感性，可以充分表現核電廠外海域環境在季節間清楚的演變的程度(圖摘-9)。

過去二十餘年的觀察裡發現，橈足類(含哲水蚤、劍水蚤、猛水蚤與歧口水蚤)為最優勢的大類動物，其次為夜光蟲，其餘二十幾個大類浮游動物的優勢度在各季並不固定，隨季節的改變，組成與結構上在每季都會有變化發生。本實驗室發現執行監測台電海域浮游動物二十餘年之紀錄，浮游動物的數量通常在第四季(Oct-Dec)或第一季(Jan-Mar)東北季風盛行時呈現出下降的趨勢，除了中國沿岸水與東海水團南移靠近台灣北方海域的影響外，溫度下降也讓溫帶種類的橈足類數量減少。過去水文、水質子計畫曾經提供統計分析結果證明水溫的變化是影響浮游植物與浮游動物數量的重要因素，在水溫較低時浮游植物與浮游動物的數量會下降。經由歷史紀錄的回顧可以知道季節因素對核電廠外海域浮游動物的數量有顯著的影響。除了平均數量的顯著差異外，大類出現數也顯示相同的變化，監測海域浮游動物的組成結構改變明顯可見，顯現出清楚的季節性消長現象。這樣的變化也反映出了浮游動物對生態環境改變的敏感性，可以充分表現核電廠外海域環境在一年四季間戲劇性演變的程度。台灣季節變化最明顯的影響因子就是因不同季風更替造成的氣候改變，夏、秋兩季西南季風盛行，台灣東部的黑潮水以及台灣海峽南端的黑洋洋流支流沿台灣西岸帶向北台灣，屬於溫暖的水團。到了冬、春兩季，東北季風盛行，帶來中國沿岸流與北方的東海低溫水團，造成環境中浮游動物組成結構的顯著改變。西南季風改變下北部海域的浮游動物數量顯著上升，東北季風的效應恰巧相反呈現。



圖摘-9. 從 89 年第 1 季至 114 年第 4 季監測調查期間，核一廠 (A)、磺溪 (B)、核二廠 (C) 與整體監測 (D) 海域各季節浮游動物平均密度與大類出現數之變化比較圖，圖中的 error bar 為標準誤差 (standard error)。



圖摘-10. 從 89 年第 1 季至 114 年第 4 季，核一廠與核二廠外海域浮游動物監測計畫執行期間各測站平均數量與大類出現平均數之變化情形，圖中的 error bar 為標準誤差 (standard error)。

## (二) 近兩年調查結果

經由兩座核電廠外海域與對照海域之分析數據相比較，加上回顧過去二十餘年所累積的調查數據與分析結果(圖摘-10)，推論調查水域在 114 年第三季 (八月/2025, 3143.83 inds./m<sup>3</sup>) 記錄到浮游動物數量聚集 (>2000 inds./m<sup>3</sup>) 的現象，可能的原因為下：

1. 過去的調查中浮游動物在第 3 季記錄到許多大量聚集的現象，如 99 年 (July/2010, 5164.43 inds./m<sup>3</sup>) 與 89 年 (Aug/2000, 2430.71 inds./m<sup>3</sup>) 皆記錄到調查海域有浮游動物聚集的現象。顯示浮游動物的聚集現象在調查海域為自然的演替現象，侷限於一年僅有四季的採樣頻度，所以遭遇到大量聚集的紀錄不多。
2. 兩座核能電廠接續除役，過去運轉期間對調查水域的溫排水輸出量減少。原來運轉期間的浮游動物生物相 (Biota) 組成的改變是因為環境的改變而波動，目前的變化可能需要幾年的時間來達到穩定，所以觀察到年度間浮游動物有顯著降低與大量群聚的現象。

由於 2025 年整體調查水域的優勢大類組成為橈足類、夜光蟲、其他十足類、其他幼生與歧口水蚤，這些浮游動物大類過去在調查水域皆為常見與數量豐富的類群，顯示相對的優勢的大類浮游動物組成結構並沒有改變。以空間分布來看，三個調查的水域 (核一廠、磺溪、核二廠) 之浮游動物豐度均呈現同步增加的現象，可以知道浮游動物大量聚集的現象並非在特定的水域空間發生，乃共同的變化。由於聚集的現象在本年度僅於第三季出現，這個單季出現的紀錄，將在後續的監測調查中持續關注。浮游動物年度間的豐度波動現象是否更常出現，還需要更多年的數據來推論。目前觀察到的浮游動物聚集現象，尚無法以統計的方法與兩座核電廠停機的改變作確切的分析與推論。

## 五、底棲動物

### 一、自民國 114 年第 1 季到 114 年第 4 季間之精簡結果：

核一廠分析顯示，在生物方面數據分析顯示各生物因子均會受到環境因子之影響，其中物種豐度，主要受到細泥含量所影響，再來受到篩選度影響，也就是，

主要在沉積環境中之細泥含量較高，但是篩選度差所以大小沉積顆粒都有組成的沙層，較多的物種會因棲地的複雜度增加棲地多樣性，且細泥含量高可能有食物，而在此居住生長。同時，在分析中發現，核一廠的總有機值及細泥含量從 91 年起，有下降的趨勢，但是調查期間核電廠本身沒有發生重大事件，而且電廠出入口區域也沒有發生重大改變，所以推測可能是附近補充泥沙的來源減少（包含上游水土保持工程或河川再造工程等都可能產生影響）所導致。

核二廠在生物方面，分析發現所有的生物因子均會受到各環境因子所影響，主要的影響因子為篩選度及細泥含量，進一步分析後得知，主要的影響因子為平均粒徑。這代表當沉積物中之顆粒愈粗或可能顆粒分布愈不平均時，可能因棲地多樣性增加了，所以物種豐度及單位面積中的個體數量就增加了，且可能因居住的空間變大了，生物可以長得更大，物種總量就增加。在沉積環境方面，有可能核二廠外是一個較封閉的海灣，因此出、入水口間的水流差異對沉積物結構之影響，就會大於季節的變化。對核二廠而言，沉積環境的特性，像是平均粒徑、細泥含量、篩選度等，是決定底棲群聚的豐度及密度之主要因子。在比較近海原測站及增加測站的底棲群聚及沉積環境後發現，除細泥含量外，近海測站(原來測站)之值會大於外海測站(新採樣站)，可能和新採樣站較深且細泥含量較高有關，因為生物生長需要空間，當沙層細泥含量高的時候反而可能沒有空間提共生物生長。

#### 核一廠與核二廠比較

物種豐度、密度及總量均在 95 年第 1 季達到最低值，可能與該季採不到任何動物有關。核一廠在物種豐度及沉積物中之總有機質比核二廠來的高，而核二廠沉積物中的平均粒徑、篩選度及細泥含量比核一來的高。多數因子在電廠、出、入水口及季節的交互作用上主要受到電廠和出、入水口之交互作用所影響，這代表在北台灣沿海，地區性的影響會大於季節的變化。

#### 二、自 87 年第 3 季至 114 年期中報告之精簡研究結果：

自 87 年第 3 季開始調查至 114 年第 4 季，研究發現核一廠主要受到季節變化影響。而核二廠主要受到出、入水口之差異影響。

核一及核二外海的底棲群聚之主要因子(即豐度及總量)，均會受到不同地方

沉積環境不同所影響看見差異，或因為季節改變沉積物特性時；若粒徑變粗、顆粒大小分布較不平均時，棲地的複雜性增加會讓更多的底棲動物在此聚集。

自 91 年起細泥減少致影響物種豐度，由於核一廠及核二廠在調查期間並沒有發生重大的工安事件，且其他的環境參數，並沒有出現顯著變化的趨勢，因此這個變化應該和核電廠環境改變無關，我們合理的推估，可能和當年他處人為的改變環境，減少細泥的補充有關。至於為何無法從調查初期的資料獲得變化的理由是 87 年至 89 年間為達到正確的分析，實驗採樣方法有所修正，因此選擇穩定收集數據的採樣時間之後的數據做大數據分析；而在 89 年以前因無採樣數據故無法得知其沉積物之細泥含量及總有機質含量高的原因

### 三、 103 年停機後的影響

由於底棲群聚結構是反應出長期生態的變化，而且從本計畫的調查可知，核電廠外圍的底棲群聚主要是受到電廠出、入水口的水流所影響，溫排水之影響不大。而兩核電廠在停機期間，並未停止海水的抽送，因此停機並未影響兩電廠的底棲群聚之結構，所以在底棲生物上沒有關查到顯著變化。

### 四、 核一廠除役後的影響

核一廠 106 年停機後除了平均粒徑變粗及顆粒大小變的較不均外，底棲物種的豐度、密度及總量，並未出現明顯的變化，這其中的原因是我們採集物種是生活在沙泥中，多數的動物分布在 1 公分以下的沉積物中。溫排水所造成的溫度變化，因會被表層的沙泥快速的稀釋掉(因為砂是很好的熱傳導物質)，底棲動物基本上是感受不到多少溫度的變化。反倒是出、入水口的水流，因不斷的沖刷沉積物，會改變沉積物的結構(將細沙泥帶出環境)；動物生活的環境改變了，進而改變底棲動物的組成。所以只要不停止出、入水口的水流，底棲動物的結構是不會受到明顯影響的。一個可能性是，調查的時間不夠長，所以看不出明顯的變化；除了調查時間還不夠長外，另一個可能性是，停機後水流量減少的時間不夠長或水流量減少的不夠多，所以看不出明顯的變化，為了確認這件事情，透過台電公司所提共的「重大點源放流水自動連續監測資訊公開查詢系統」取得排水量資料進行分析，發現從 104 到 114 年核一廠排水量有明顯減少的趨勢( $p < 0.001$ )。但底棲群聚及各環境因子在調查期間均無明顯變異。所以，104 到 114 年間核一廠排水量的減少，尚未對底棲群聚及環境產生影響。這可能是因為還有基礎的除役

運行排水量在，而此排水量仍未降到沙泥開始沉積的臨界值，所以底棲生態在這樣的水流下環境還沒觀測到有變化，底棲低移動性生物族群也還沒出現變化。

#### 五、 若核一、二廠完全停止運轉，最終的變化

首先，當電廠不再排出水流時，近海沉積中的細泥將不被排水沖刷走，會逐漸堆積下來，這便是改變沉積環境使細泥含量增加，但同時，該海域的沿岸流會因電廠排出水流消失，而成為該海域主要的水流，因此增加的細泥也有會被沿岸流帶走的部分，此區的沉積環境會漸漸地變得和附近沒有受核電廠排水影響的海域類似。

底棲群聚結構的消長變化則會從現在的適應細泥含量少的環節動物及節肢動物轉變或增加能在細泥中生活的多毛及寡毛蟲。但原電廠排水影響區域外的底棲動物也會因環境變成接近其生活環境，而擴張其領域到原本受電廠水流影響的區域內；最終在沒有其他影響以及夠長期的時間，此區的底棲生物群聚，理論上會漸漸和其他北海岸類似空間的群聚結構相似。

## 六、 魚類

### ※礁岩魚類群聚：

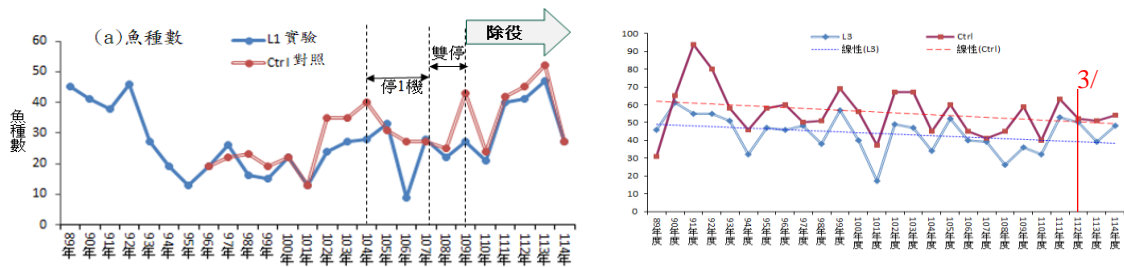
核一廠自 110 年開始依序合約由 1 年 4 季作業改為 1 年 2 季，本計畫自 114 年底完成 2(季)次潛水礁岩魚類調查作業，核一廠海域 114 年實驗測站 L1 調查到 27 種 342 尾，對照站調查到 27 種 157 尾，兩測站的最優勢種略不相同，實驗站的最優勢種是稻氏天竺鯛(*Apogon doederleini*)，對照站為霓虹雀鯛，但稻氏天竺鯛仍常排名在前三名內，兩測站的優勢種都以幼魚為主，兩年度魚種相似度(Sorensen coefficient = 0.31~0.54)。長期來看，核一廠的種數與尾數呈現緩慢減少的趨勢，尤其今年(114 年)減少較多，但實驗與對照站同步減少(圖摘-11)。核一廠海域 23 年來魚種有逐年緩慢減少的趨勢(減少魚種：雀鯛科、魚尉科、蝴蝶魚科)，對照站與實驗站的魚類種數、尾數的同步增減，較可能之因為受到海洋大環境的影響所致。以 one-way ANOSIM 的方法比較核一海域出水口實驗測站停機期間的群聚差異(以 106 年 7 月為運轉與停機之分界，核一廠亦已於 108 年 7 月正式除役)，其結果顯示在停機前後礁岩性魚類群聚並無顯著的差異( $R: 0.10$ ,  $p=0.03$ )，以 ANOVA 比較魚種數、魚尾數的差異，其結果亦不顯著(圖摘-12)，也

就是說，目前以 6 年多的停機資料，尚看不出停機影響礁岩性魚類的群聚組成，但長期是否有影響，目前尚未可知。

核二廠海域自 108 年開始應環保承諾要求新增 2 個潛水測站，因此目前本海域共有 4 個礁岩調查測站。114 年度核二廠位於出水口左側的實驗測站(L3)調查到 48 種 1475 尾，對照站(Ctrl)則調查到 54 種 659 尾，新增的白米甕 L2 測站則共調查到 56 種 2249 尾，新增的出水口右堤 L4 測站則共調查到 31 種 328 尾。114 年 4 測站的優勢種都不同，實驗站最優勢是四帶雞魚、金梭魚，對照站是伍氏下銀漢魚、稻氏天竺鯛。每年各測站優勢種常不相同，本海域每年優勢魚種變化大，受到各不同魚種是否來游、交配、幼魚沉降的影響。以有長期資料的實驗測站(L3)與對照站(Ctrl)來做比較與分析，多年來兩測站的優勢種差別不大，114 年度的魚種數與魚尾數與往年比較大致居中，對照站與實驗站略呈一致性的趨勢，長期來看核二廠兩測站魚類種數皆呈現逐年緩慢減少的趨勢(圖摘-11)。其中以隆頭魚科、天竺鯛科、蝴蝶魚科減少最多。核二廠已於 112 年 3 月 14 日進入除役，以目前的實驗站資料分析溫排水目前並不影響礁岩魚類群聚(Global R：0.25, p=0.19)，以 ANOVA 分析魚種數、魚尾數都無除役前後的顯著差異(圖摘-12)。此外，過去有幾種魚可能受到溫水效應的影響(如：三線雞魚與四帶雞魚在溫排水口顯著多於明光碼頭，斷線紫胸魚則是明光碼頭顯著多於溫排水口)，但現今除役近 3 年，以上 3 種魚類都未顯現出受到溫排水影響，兩測站比較都無顯著差異。至於放生魚類今年調查到的數量極少，且也未見核二廠海域有放生活動。

#### ※洄游與底棲性魚類：

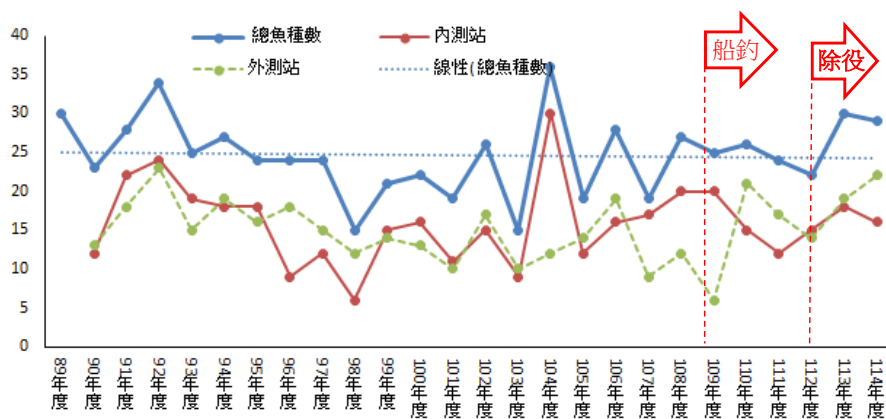
核二廠因原測站位置為新北市政府公告之底刺網禁漁區，因此於 109 年因應新北市之建議改採船釣方式調查，測站則仍維持原來相同的底刺網測站，114 年度核二廠海域調查，靠近出水口的內測站捕獲 16 種 80 尾 9236 克，離岸較遠的外測站則捕獲 22 種 136 尾 12785 克，內測站 114 年度的優勢種排名依序為三線雞魚、橫紋九刺鮨、斑柄鸚天竺鯛，外測站的優勢排名依序為橫紋九刺鮨、白頸赤尾冬、三線雞魚。內外測站優勢魚種排名略有些微不相同。



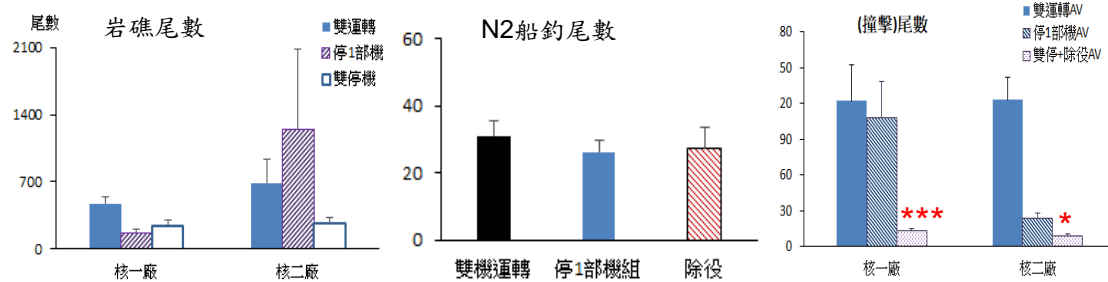
圖摘-11.核一廠(左圖)與核二廠(右圖)海域 礁岩魚類群聚調查實驗測站(出水口)與對照站(Ctrl)以潛水方式調查各年度的魚種數量變化圖

兩年度內外站的魚種相似度(Sorensen coefficient=0.13~0.22)。綜合 114 年度調查內外測站都捕獲相同的魚種有斑柄鸚天竺鯛、三線雞魚、寒鯛、新月錦魚、胸斑錦魚、正笛鯛、縱帶笛鯛、雙帶鱗鰭烏尾鮨、橫紋九刺鮨共 9 種，兩測站本年度每季兩測站都捕獲的魚種為橫紋九刺鮨，也是此海域被捕獲最多站次的魚類。

船釣方式調查目前已累積 6 年的資料，比較出水口內外測站，在魚尾數似乎以內測站都略多，但魚種數則互有增減(圖摘-12)，不過差別都不大。以 pair t-test 方式檢定船釣內外測站資料，不論在魚種數、尾數與漁獲重方面都無內外測站的顯著差異( $p>0.01$ ) (圖摘-13)，此結果與過去底刺網的調查相同。以 one-way ANOSIM 的方法比較核二廠 5 年船釣方式調查的內外測站群聚差異 Global test  $R: 0.14$  ( $p=0.001$ )，顯示略有群聚區別，但不達顯著水準，內測站捕獲較外測站更多的三線雞魚，外測站有略多的斑海鯨。目前顯示核二廠出水口對以船釣方式採樣的魚類內外測站並無顯著差異。



圖摘-12.核二廠海域各年度以底刺網與船釣(109~114 年)調查之魚類種數年度變化圖



圖摘-13. 以潛水觀測岩礁魚類(左圖)、船釣魚類(中圖)與撞擊魚類(右圖)方式，比較核一、核二廠雙運轉、停一部機組、雙停機間魚類尾數之差異圖(撞擊魚類分析則去除大量撞擊之離群值)

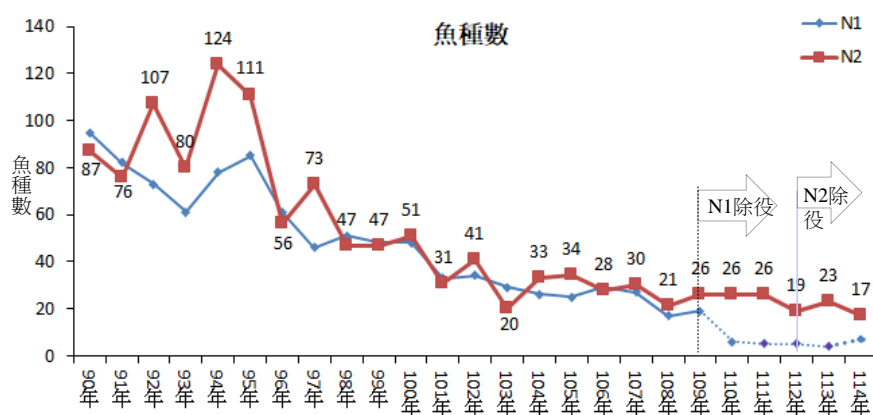
※撞擊魚類：

核一廠依照合約於 110 年開始改為每半年採樣 1 次，114 年 2 次採集共 5 科 7 種 16 尾，0.772 公斤重，優勢種依序為六斑二齒魷(5 尾)、褐籃子魚(4 尾)，114 年完全無沙丁魚撞擊核一廠，也未發生大量撞擊事件。核二廠仍延續以往每月 1 次採樣頻度，114 年度共 12 次的採集共 17 科 17 種 80 尾 4.463 公斤，優勢種依序為六斑二齒魷(共 20 尾)、伍氏下銀漢魚(共 16 尾)，採獲魚類種類與過去幾年所做的調查相似，114 年也完全無沙丁魚撞擊核二廠，未發生大量撞擊事件。兩電廠採獲魚類種類與過去幾年所做的調查相似，仍以體型較小、非經濟性之中表層及底棲魚類為主要類群。

因核一廠的採樣變更為每半年 1 次，而核二廠仍延續以往之採樣頻度，因此以下的比較以核二廠為主要敘述重點。多年來已發現核一、核二廠所記錄的魚種類數約從 96 年開始就開始明顯逐年遞減(圖摘-14)，且種類數變化不大，每年魚種數都不超過 35 種，與 95 年以前每年撞擊魚種數都在 70 種以上實難相比擬，114 年更降至 17 種，是最少的一年。在尾數變化上，兩核電廠也皆略呈一致性的變化趨勢，除了少數月份撞擊數量偶爾略多外(5~6 月或 9~10 月)，105 年開始每年總魚尾數核二廠都在 300 尾以下(核一廠在 500 尾以下)，與 97 年以前動輒上千、萬尾/年，差別甚大，不管在魚種數或魚尾數兩電廠都呈現相似的下降趨勢，若將電廠過去 20 年內的前五年(2001~2005)與近五年(2016~2020)相比較，核一廠在 20 年間魚類共減少了 113 種，核二廠則減少了 117 種，兩廠消失的共同魚科有鱗魷、魷、土魷、白魷、鬚魷、金線魚、鰻及角魷魚科。

藉由聚類分析結果顯示 96、97 年前後於群聚具有明顯的差別。但如單純檢視核二廠歷年資料由聚類分析樹狀圖可顯示魚類群聚也具明顯的分群，即可分為 90-96 年間與 97-106 年間兩個不同類群(時期)，而 107~114 年又在整個大類群之外，經 ANOSIM 分析顯示兩時期具有顯著差別(Global R:0.86,  $p=0.001$ )，107~114 年跳脫在整個大類群外的最可能原因為這些年都無沙丁魚的撞擊(在過去都是排名前三名優勢種)，且整年的魚種數與尾數又都很少之故，種類數逐年下降趨勢，可能與近岸之海洋資源枯竭或環境變遷有關。至於停機的影響，以 ANOVA 分析，核一廠、核二廠都具顯著差異，兩電廠的顯著差異是受大環境所影響，抑或是除役停機影響，尚待更多資料以釐清。

在漁業經濟損失估算方面，以當年度的數據估算漁業經濟損失，114 年核一廠是 0.23 萬元/年；核二廠是 0.22 萬元/年(109~114 年下雜魚平均價)。與過去的損失金額相比較可發現近 6 年來的損失金額都極少(兩廠各不到 3 萬元/年)，除去 96 年、102 年 104 年有略多量的撞擊(沙丁魚、褐籃子魚與六斑二齒鮪)，近 10 年度的漁業經濟損失約  $1.4\pm 0.6$  萬元/年與過去其他年度的比較其損失大幅減少。

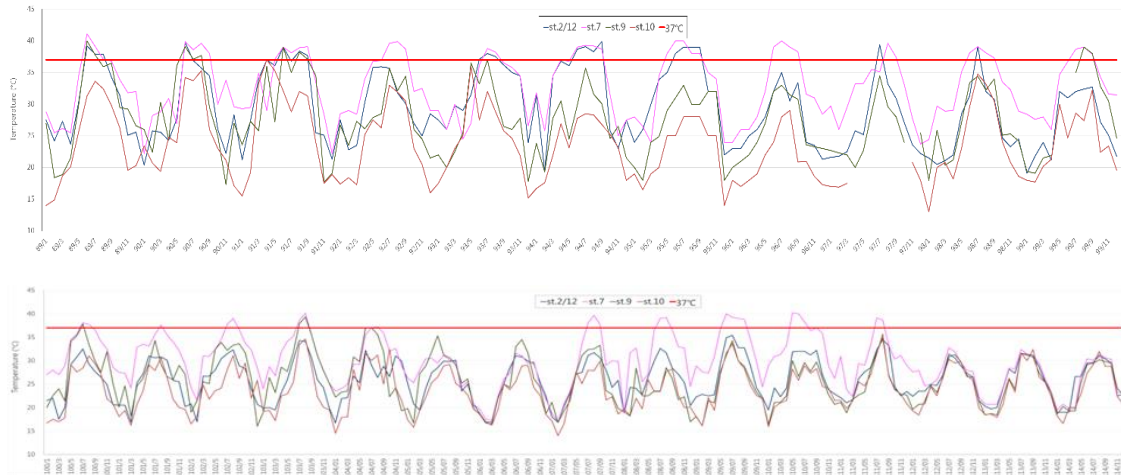


圖摘-14.核一、核二廠撞擊魚類種類數之年間(年度)變化圖

#### ※畸形魚之生態調查：

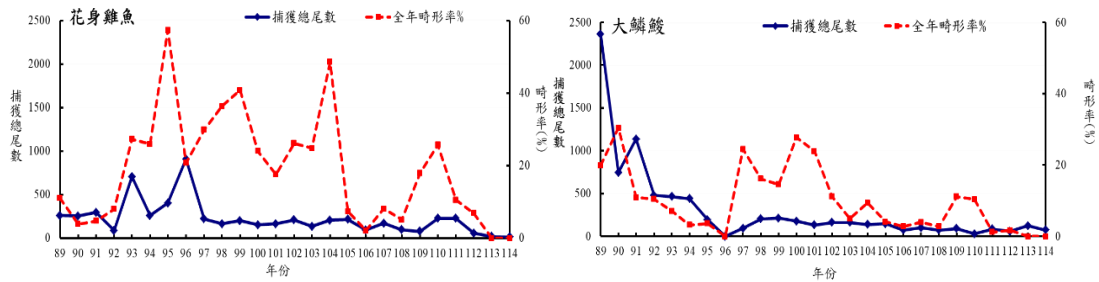
(1) 民國 89 年至 108 年核二廠四個測站水溫呈現明顯的季節性變化，水溫自每年的 4-5 月開始攀升，於 6 月出現超過 37°C 的高溫，並持續高溫至 9-10 月後才開始下降。過去出水口內部 st.7 於夏季之水溫幾乎每年皆超過紅色橫線代表的發生畸形魚之水溫底限 37°C。然而核二廠 2 號發電機組於 105 年 4 月起開始停機後，105~106 年間夏季所記錄的水溫值明顯較往年同期低，且皆無量測到超過 37°C 的高溫。但 107 年 6 月核二廠 2 號發電機組恢復運轉後，107 年夏季出水口再度測到超過 37°C 的高溫。往後 108~109 年核二廠周圍的水溫趨勢與 107 年類似，呈現夏高冬低。109 年度出水口超過 37°C 的維持時間為歷年最長(維持 4 個月)，

此趨勢也使當年度出水口的年均溫高達 33.1°C(過去年均溫 30-31°C)。110 年至 9 月前調查發現 5 月即有高達 40 度的高溫，可能跟該年氣溫較早升高有關，但至 8 月後的水溫隨即下降至 37°C 以下，比起過去年間能持續高溫至 9 月還提早結束。111 年只有 7~8 月出現超過 37°C 的水溫之情形，高溫期較短，也造成 111 年平均水溫比往年平均水溫低約 2-3°C。而 112 年 3 月 14 日核二廠停機除役之後，112~114 年全年在出水口水溫便不再超過臨界溫度(37°C)，114 年平均水溫 25.5°C，為自 107 年以來最低溫紀錄。



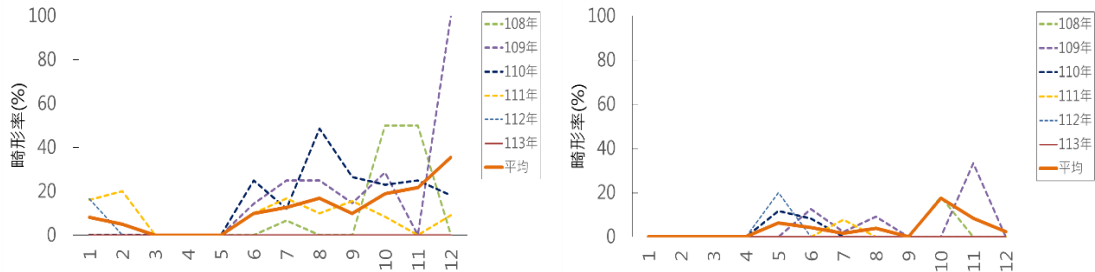
圖摘-15.89 年至 114 年核二廠溫排水口之各測站水溫圖

(2) 本研究自 89 年至今(114 年 12 月)，共採獲魚體總計 15,319 尾，其中畸形尾數 2,538 尾，平均畸形率為 16.82%，共計有 72 個物種被採獲。整體而言在水溫開始升高之 6 月在核二廠附近魚類的數量較為密集，直到 10 月才開始下降。除花身雞魚(*Terapon jarbua*)、大鱗鯪(*Chelon macrolepis*)還有極少量的鰻(*Mugil cephalus*)以外，其他魚種皆未發現畸形(圖摘-16)。105~106 年度間畸形率較往年來得少，主要原因可能和核二廠在 105 年 4 月後停機有關，此期間水溫未超過 37°C。花身雞魚的畸形率為 2.11%；大鱗鯪畸形率為 2.78%，明顯比往年的畸形率低。但 107 年 6 月核二廠重啟發電之後，出水口的水溫在六月再度超過 37°C，因此 107 年後花身雞魚和大鱗鯪的畸形率再度提升。108~111 年度花身雞魚與大鱗鯪都有較高的畸形率(2.74%~17.95%)。112 年後因核二廠除役使水溫降低，僅發現 4 隻花身雞魚(畸形率 6.9%)和 1 隻大鱗鯪的畸形魚(畸形率 1.6%)，但主要受到其採樣個體數減少的緣故，其畸形個體數量並無顯著增加。113~114 年全年均未發現任何魚類有畸形的狀況，即畸形率為 0。



圖摘-16. 89 年至 114 年度花身雞魚及大鱗鯪之捕獲尾數與畸形率。

(3) 雖然年畸形率沒有明顯規律，但兩魚種的月畸形率有一定規律，約在夏季 7-10 月出現高峰，隔年 1-3 月為另一個高峰，且近年隨出水口水溫的變化，也產生畸型率高低的差異。在停機水溫較低的 105-106 年兩魚種畸形率皆明顯下降，而 107 年後核二廠重啟發電之後，花身雞魚和大鱗鯪的畸形率再度升高，約維持在 2-8% 的畸形率(圖摘-17)。109 年時核二廠出水口的年均溫突破新高且高溫維持時間比過去來得更長(4 個月)，所以畸形率提升至 11-26%。112 年 3 月核二廠除役後，該年夏天便不再有超過臨界溫度的紀錄，花身雞魚與大鱗鯪的畸形率偏低。113~114 年在出水口的水溫亦未超過臨界溫度，也均未發現任何魚類有畸形的狀況，114 年的平均水溫 25.5°C，為自 107 年以來最低溫紀錄。



圖摘-17. 近 6 年(108-114 年)花身雞魚(左)及大鱗鯪(右)各月畸形率變化圖

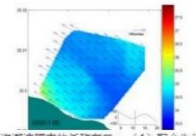
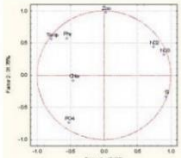
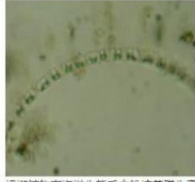



## 七、 綜合討論

綜合討論目的主要為瞭解各子計畫間監測結果的相互關係，讓監測的結果關連性更為完整。統合各子計畫對於現行調查結果需特別持續注意觀察之處，以協助提高台電對於海域生態變動之即時敏感性。綜觀北核各子計畫於 114 年第 1 季至 114 年第 4 季之監測結果之關聯性分析結果可以得知，監測海域無發現重大之改變，水域的生物與生態於近幾年維持一穩定狀態。

北部各核能電廠附近海域之生態調查資料庫網站：<https://taipower.ntou.edu.tw> (圖

摘-18)

各項子計畫!

CTD測站資料繪圖	<h3>海潮流計畫</h3>  <p>海潮流調查的任務有三。(1) 配合生化調查提供現場流況；(2) 持續探察電排水口海域之海流調查；(3) 探討近岸與離岸海域之海潮流的空間流型及其演變互動方式。</p>	<h3>水文與水質</h3>  <p>本計畫為統一廠與二廠溫排水口海域生態調查研究與監測之一子計畫。著重在水文和水質變化對海域生態之影響。</p>	<h3>浮游植物</h3>  <p>浮游植物在海洋生態系中扮演基礎生產者的角色。其藉由光合作用可將水中的無機物質轉變成有機物質，並可作為其他動物之食物來源。</p>			
CTD測線資料繪圖				<h3>浮游動物</h3> 	<h3>底棲動物</h3> 	<h3>魚類</h3> 
CTD時間序列繪圖						
歷年CTD資料顯示						
海流資料						
Codar海流資料查詢						
海流Google Map資料顯示						
衛星雲圖查詢						
氣象局資料查詢						
海水表面溫度查詢						
AVISO海面高度與地轉流						
海洋水色衛星查詢						
SV資料查詢						
EK資料查詢						
生物資料調查統計						
生物資料查詢						
生物資料下載						
瀏覽月報表						
瀏覽年報表						

圖摘-18. 資料庫網頁