

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

河口浮游矽藻之生態指標研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2611-M-041-001-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學生物科技系(所)

計畫主持人：賴雪端

計畫參與人員：講師張玉明 研究生葉展廷 大專學生簡邑竹

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 9 月 27 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※ ※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

河口浮游矽藻之生態指標研究

Study on the planktonic diatom communities as ecological indicator of
estuaries

※ ※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 94-2611-M-041 -001 -

執行期間：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 30 日

計畫主持人：賴 雪 端

兼任助理：張玉明(講師)、葉展廷(碩二)、簡邑竹(大三)

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：嘉南藥理科技大學生物科技系

中 華 民 國 2006 年 10 月 20 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

河口浮游矽藻之生態指標研究

Study on the planktonic diatom communities as ecological indicator of estuaries

計畫編號：NSC 94-2611-M-041 -001 -

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 30 日

計劃主持人：賴雪端

執行機構及單位名稱：嘉南藥理科技大學生物科技系

兼任助理：張玉明(講師)、葉展廷(碩二)、簡邑竹(大三)

一、中文摘要

本研究利用多變數分析法探討不同污染程度之將軍溪、曾文溪及二仁溪等三河口之環境因子及浮游性矽藻之生態指標性。為評估影響水質變化之主要因子，應用主成份分析及集群分析探討 13 個環境變數，包括水溫，DO，EC，pH，Salinity，Chl. *a*，NO₃-N+NO₂，NH₄-N，TKN，TN，SiO₃，PO₄-P 及 TP 等季節變化之最大變異數，並以 non-metric multi-dimensional scaling (NMDS) 及 BioEnv analysis 探討環境因子與浮游矽藻間的關係。此外亦偵測重金屬銅、鎘、鉻、鋅、鉛、鎳，及鐵等之污染物之濃度。結果共發現 26 種浮游矽藻，分屬於 19 屬。其它尚有甲藻、綠藻及藍綠藻等非矽藻類浮游藻類。主成份分析 13 個環境變數顯示：共可萃取出三個特徵值大於 1 之主成份，佔總變異數之 87.8%，其中第一成份之特徵值為 7.0，變異數為 54.3%，主要與 TKN，PO₄-P，TP，TN，及 Chl. *a* 之相關性最高，顯示浮游藻類之季節性變化與氮與磷等營養源之關係最顯著。

關鍵詞：河口、浮游矽藻、優勢種、生態指標。

Abstract

This study focused on the ecological indicators of environmental variables and phytoplankton from three various polluted estuaries (JJR, TWR, ERE) in four seasons by using multivariate analysis. Principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA) were applied to data matrix (mean values of water column) of 13 referred variables, including water temperature, DO, EC, pH, Salinity, Chl. *a*, NO₃-N+NO₂, NH₄-N, TKN, TN, SiO₃, PO₄-P and TP, in order to assess the seasonality of the respective patterns and to highlight areas of similar variables influence. BioEnv analysis was also done by the non-metric multi-dimensional scaling (NMDS) and Spearman rank correlation to realize the relationship

between environmental factors and phytoplankton. In addition, some heavy metals of Cu, Cd, Cr, Zn, Pb, Ni and Fe were also detected. A total of 26 diatom taxa from 19 genera were identified. The other species including dinoflagellates, green algae and blue green algae also identified. The results of PCA analysis revealed that 3 principal components were reduced from 13 environmental variables. These 3 principal components could explain 87.8 % of the total variance. Principal component 1 appeared as eigenvalue of 7.0 and explained 54.3% of total variance, which had large positive loadings with the nutrients of TKN, PO₄-P, TP, TN, 及 Chl. *a*. The results showed that the seasonal variation of planktonic algae had high significant with the nutrients of nitrogen and phosphorus.

Keywords: Estuary, planktonic diatom, ecological indicator

二、緣由與目的

(1) 矽藻在水域生態之重要角色及國內外相關文獻

在水域生態環境中，當水中營養源或污染質增加，水域生態必發生變化，而此生態轉變過程即反應了水質狀態。為評估水質，大部份的研究者調查理化因子如 pH 值，懸浮固體量、溶氧量、生化需氧量、化學需氧量、總磷及氨氮濃度等。但有一部份生物研究者則認為單獨以瞬間採樣之理化觀點應是不足以評估長期之水質狀況 (Asai 1995; Watanabe 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1995)，而提出以藻類評估水質之生物評估法應較恰當之觀點 (Watanabe 1990)，認為以藻類種之分類群或藻類族群當水質指標，不僅可顯示採樣當時該水域的水質狀況，亦顯示水質潛在之所有影響因子(包括無法以分析方法偵測到的因子)之變動性。因此許多研究者，曾列舉可做清澈或污染水質生態指標的藻類族群 (Yu et al. 1995; Wu 1986; Shubert 1984;

Lange-Bertalot 1979; Schoemen 1979), 以評估長期之低劑量之污染物質, 所累積之長期效應。

在國內外文獻中, 有關淡水藻類之生態、分類及與其水質之相關性研究中, 部分為探討淡水水庫與湖泊之浮游藻類(Foged 1993; Wu 1993;)。另一部分則從事附著生藻類與水質之相關性研究(Cooper 1996; Yu et al. 1995; Hamilton et al. 1990; Rosowski & Roemer 1986; Wu 1986; Watanabe 1968, 1986, 1988, 1990, 1992, 1994, 1995)。臺灣在淡水藻類分類與生態上之研究, 早期主要從事藻類分類之研究(Shen 1956; Chang 1966; Tschen & Li 1974; Li 1978; Li & Chiang 1977; Li & Chiang 1979; Tseng & Wang 1982; Chen & Lai 1984; Huang 1982)。之後有 Wu (1986) 研究臺灣北部之新店溪水質與矽藻族群之相關性、郭等(1990)探討北港溪藻類與水質污染之相關性、賴等(1994)研究南部二仁溪最嚴重之支流三爺宮溪生物相與生態環境之相關性、Yu, et al. (1995)探討二仁溪底棲生物族群包括矽藻及藍綠藻可作生物指標以評估河川長期之水質狀態。

臺灣在海洋與河口針對矽藻分類群之調查與研究並不多(Huang, 1990; Li, 1978, Wu, 1993, Lai 2001), 基礎資料之建立仍嫌不足。河口(estuary)分布在河海交界處, 為河與海之過渡處, 此區懸浮著許多微細顆粒之有機物或無機物, 河口內之海潮與河水造成複雜的水流, 水流會傳送生物與更替營養與氧氣, 同時帶走廢物, 是初級生產力極高的生態環境。由於河口溼地為具生物多樣性的特殊生態體系, 小型微藻類族群為多數鳥類及無脊椎動物之重要食物來源, 故微藻類族群在食物鏈中扮演一重要角色, 而海洋微藻中, 矽藻與甲藻同為極優勢的一群微生物(John, 1987)。因此, 在世界各地皆有許多研究河口矽藻之矽藻學家(Jasprica & Caric, 2004), 矽藻因個體極小, 多半需透過一般光學顯微鏡與掃描式電子顯微鏡之觀察, 才能清晰的顯示其特有的形態特徵, 且較新之分類依據, 是以掃描式電子顯微鏡下之特徵為基礎(Round et al. 1990, 1992, 1996), 但亦必需配合過光學顯微鏡下之特徵做為比對, 故基礎分類鑑定之建立相當耗時與耗力。

本研究所選擇之三個河口樣區之生態特性

臺南西海岸沿海有溫暖的黑潮及大陸沿岸的冷水團交流匯合, 帶來了許多不同種類的魚群及浮游生物。本研究選擇的河口測站包括二仁溪河口的“二仁溪橋”測站、曾文溪河口的“國姓”測站, 及將軍溪出海口的“將軍溪橋”測站。三個河口測站, 皆位於臺灣西南部。

其中, 曾文溪河口北岸已劃分為黑面琵鷺保護區, 是污染較少的河口, 過去的研究曾記錄此河口與鄰近之魚塭區附著生矽藻共 36 種 (Lai, 2001), 但沒有明確的記錄浮游性矽藻的物種。二仁溪是過去污染最嚴重之河川, 有文獻探討藻類之耐污染性研究(Lai et al. 1994, Yu, et al. 1995), 而將軍溪因存在南部較少見之水筆仔紅樹林區, 且下游及出海口皆受嚴重污染中, 並未有矽藻分類之基礎資料, 故希望比較三河口之浮游矽藻之生物相並分析採樣時之水質。分述如下:

第一條溪流之河口-將軍溪河口之監測站為將

軍溪橋, 位於臺南縣將軍鄉苓和村 19 號公路, 東經 120.17、北緯 23.76。其污染源最主要是上游的畜牧廢水。

第二溪流之河口-曾文溪河口位於七股。已劃分為黑面琵鷺等鳥類資源與河口生態體系之保護區, 故沒有明顯的工業污染或畜牧廢水的污染。

第三個監測站二仁溪為位於高雄縣、台南縣市等三縣的界河, 其主流及流域範圍主要在高雄縣。二仁溪發源於高雄縣內門鄉, 在茄萣鄉的白砂崙附近流入台灣海峽, 二仁溪在民國六、七十年代, 臺南縣灣裡地區因為大量引進廢棄五金, 以燃燒廢五金提煉黃金等貴重金屬, 燃燒後的廢棄物就往二仁溪傾倒及在二仁溪中酸洗提煉的貴重金屬, 因此燃燒廢五金、戴奧辛空氣污染、二仁溪下游惡臭、綠牡蠣事件等, 使二仁溪長期處於高度污染的狀態中。隨著環保意識抬頭, 政府已禁止廢五金的引進廢五金。目前經多方的努力使往日漆黑惡臭的溪畔, 以稍有好轉的趨勢。

矽藻與環境之相關性研究

德國的 Lange-Bertalot's system (1979), 依據生化需氧量(BOD₅) 及飽和溶氧量(O₂-saturation)將水質分為中等污染的β-中腐水性(β-mesosaprobic)、臨界污染的β/α-中腐水性(β/α-mesosaprobic)、嚴重污染的α-中腐水性(α-mesosaprobic)、非常嚴重污染的α-中/強腐水性(α-meso/polysaprobic)及超過度污染的強腐水性(polysaprobic), 再依所調查之矽藻所出現測站之水質階層, 界定矽藻族群之指標範圍, 以後的分類調查則根據已界定的矽藻指標群來直接評估水質, 此方法曾廣泛的應用於水質之評估(Watanabe 1985)。

此外, 電導度(EC)與矽藻分類群之相關性亦頗受重視(Krammer & Lange-Bertalot 1986; Vyverman & Lange-Bertalot 1991), 如 Vyverman & Lange-Bertalot (1991)依電導度的範圍(0-50 μ hmol/cm 為“低導電度”; 50-100 μ hmol/cm 為“低至中導電度”; 100-200 μ hmol/cm 為“中導電度”; 200-500 μ hmol/cm 為“高導電度”; > 500 μ hmol/cm 為“極高導電度”)將矽藻依棲息環境分群, 做為水質指標。

此外, 藻類群落歧異度指數(diversity index of community) 亦為許多研究指標藻類的學者, 在生態調查時所常用的一生態指數。其中, Lobo & Kobayasi (1990; 1997)利用河川附著生矽藻族群的 Shannon's 歧異度指數(Shannon's diversity index) 探討以河川矽藻的歧異度指數做為水質指標的可行性, 並應用 Kobayasi & Mayama (1982) 的河川矽藻群及腐水指數, 探討 Shannon 歧異指數與腐水指數之間的相關性, 結果發現生長於清澈水域中的河川矽藻的 Shannon 歧異指數, 低於中等污染及臨界污染的水質, 發現歧異度無法精確的與水質相符合。然而, Watanabe & Asai 等研究者(1986, 1988, 1990)在最近的研究報告皆提到任何理化因子的測量, 永遠只能代表採樣的瞬間值, 無法代表該測站長久的水質狀況。乃提出採用生物觀點的模式法以評估水質, 改採用統計分析法中的主成分分析法

(principal component analysis), 計算矽藻分類群對有機污染之耐污染指數($D_{(j)}$), 及該測站之水污染指數($SI_{(i)}$), 最後將矽藻依 $D_{(j)}$ 值之範圍分為ABC三群生態群, 即耐污性種(saprophylic species), 廣適性種(euryaprobic species), 清水性種(saproxenous species)。

有些藻類確實可累積重金屬, EL-Bestayw 等(1996)在埃及的一亞熱帶的污染湖泊(Lake Maryut)以湖泊的混合浮游生物樣品, 進行X射線微量元素分析, 探討兩種浮游植物(藍綠藻門的螺旋藻 *Spirulina platensis* 及矽藻門的梅尼小環藻 *Cyclotella meneghiniana*)之元素組成。發現梅尼小環藻除了比螺旋藻多了Al元素外, 又常可偵測到Fe與Cu的波峰。該湖泊重金屬之污染雖高, 但螺旋藻並無顯著的吸收重金屬的現象。在台灣南部二仁溪之支流三爺宮溪亦發現某些微藻包括矽藻, 可累積Cu, Zn及Cr(Lai, et al. 1993; 2003)等重金屬。

以多變數觀點探討矽藻與水質之相關性研究

現階段已有較多的研究者應用多變數之觀點, 探討矽藻族群與水域環境間的相關性, 例如統計分析法中之主成分分析法, 目前廣泛的被應用於藻類生態上之相關性研究(Stevenson 1981; Watanabe et al. 1990; Robinson et al. 1994; Babanzarova et al. 1996)。此外, 生態指數、積差相關係數、複迴歸分析、歸群分析、變方分析及無母數的統計分析等皆廣泛被應用於藻類生態上之研究(Underwood 1994; Davis 1990; Snoeijs, 1989)。

河口浮游矽藻基礎研究之重要性

事實上, 如前述, 世界各地之矽藻學家仍不斷地在探討最適當的矽藻指標指數, 但首要條件是必需做矽藻生物多樣性的基礎調查, 才可能將矽藻歸類以探討指標意義。正如 Van-Den-Hoek (1995) 在 "Algae, an introduction to phycology" 一書中, 記載現存矽藻超過250屬, 約有十萬種, 比早期估計的一萬餘種(二百多屬)還多, 遍及於淡水、海水、岩石及土壤上。然而矽藻分類群的真正數目, Droops & Mann (1996) 統計可能多於二十萬種, 比早期估計的一萬餘種(二百多屬), 多了十至二十倍左右, 其間有顯著的數目是地方性的特有種, 且有些已被發現鑑定錯誤。故矽藻之基礎研究應該受到重視。

三、材料與方法

1. 浮游矽藻之採樣

本研究選擇的河口測站包括二仁溪河口的"二層行橋"測站、曾文溪河口的"南寧橋"測站, 及將軍溪出海口的"將軍溪橋"測站。三個河口測站, 將於漲潮時段, 以採水器自表水分層採集水深約0.5米, 1.5-2米, 3.5-4米, 4.5-5米, 10.5-11米, 的深度, 每一季採集一次。因為退潮時段只能採集著生性矽藻。

矽藻因個體極小, 多半需透過一般光學顯微鏡與掃描式電子顯微鏡之觀察, 才能清晰的顯示其特有的形態特徵, 且較新之分類依據, 是以掃描式電

子顯微鏡下之特徵為基礎(Round et. al.1990, 1992, 1996), 但亦必需配合過光學顯微鏡下之特徵做為比對, 故基礎分類鑑定之建立相當耗時與耗力, 為了落實第一年之基礎調查, 故計劃中以一季採樣一次為主, 若能沿續此計劃再繼續研究, 將可在第二年之後改為每月一次。而選擇採集自表層約0-0.5m、3-3.5m、5-5.5m乃至將接近底泥之不同水深之水樣(依採樣站而異)。; 作為採樣深度, 是因為根據 Jasprica & Caric(2004)在歐洲克羅埃西亞的兩個河口的研究, 採集0.5米, 2米, 4米, 6米, 10米, 15米等深度之水樣調查結果發現0-2-4米之表水中之矽藻有一些為淡水與半鹽水之矽藻物種, 此外, 雖然大部份的矽藻是光合自營性(photoautrophic)之生物, 但有一些矽藻可以藉由主動運輸的方式吸收環境中的小分子的有機物如酸、氨基酸與單醣等(Kröger 2001), 故可能在較深層出現。故在第一年計劃中希望以基礎資料的建立為主, 所以選擇不同水深採樣, 並只採集四季。

2. 水質分析

環境因子之分析依據標準水質檢驗法(APHA 1989; Lai 2001)。檢測項目包括現場測定不同水深之水溫、溶氧、pH值、電導度及鹽度之變化, 實驗室分析項目包括葉綠素、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氨氮、凱氏氮(mg/l)、總氮、矽酸鹽、正磷酸鹽、總磷、溶解性鐵, 及重金屬銅、鎘、鉻、鋅、鉛、鎳等之濃度。採樣日期及採樣時間選擇秋、冬、春、夏, 不同季節之各河口測站之水位大潮期之滿潮時間。

3. 以光學顯微鏡(LM)觀察計數與鑑定

1. 取一公升水樣離心濃縮為10毫升水樣。以一般光學顯微鏡直接觀察矽藻之分類群, 並計算其細胞含量 cells/ml。

2. 觀察矽藻細胞壁構造做為鑑定依據之前, 以下列方法處理: (a)以H₂SO₄與KNO₃處理細胞之有機物(Sabater et al. 1990)(b)製作矽藻膠pleurax(3)以自製之pleurax封片, 製做矽藻細胞壁之永久玻片(Li & Chiang 1979), 做為鑑定依據, 並計算各種矽藻出現之相對豐富度(%)。

4. 以掃描式電子顯微鏡之觀察(SEM)與鑑定

細胞壁之處理, 同光學顯微鏡的觀察。以H₂SO₄與KNO₃處理細胞之有機物(Hustedt 1930), 觀察前直接將保存細胞壁樣品, 滴一滴於黏在鋁製標本座上之顯微鏡之蓋玻片上自然乾燥(Yang 1994), 或直接滴一滴樣品於鋁製或碳製之標本座上自然乾燥(Snoeijs 1991), 接著於真空噴射鍍金儀(JBS-E5150 Sputter Coater)鍍金, 鍍金厚度設定為20 nm(Lai 2001), 然後移至掃描式電子顯微鏡(TOPCON, ABT-150S)上觀察, 加速電壓選擇較普遍被使用之15 kv(Cox 1987; Medlin & Round 1986; Li & Chiang 1979)。

5. 統計分析: 為評估影響水質變化最重要的因子, 應用主成份分析及集群分析探討13個環境變數, 包括水溫, DO, EC, pH, Salinity, Chl.a,

NO₃-N+NO₂, NH₄-N, TKN, TN, SiO₃, PO₄-P 及 TP 等季節變化之最大變異數，並以 non-metric multi-dimensional scaling (NMDS)及 BioEnv analysis 探討環境因子與浮游生物間的關係。

四、結果與討論

河口(estuary)分佈在河海交界處，河口內的海潮與河水造成複雜的水流，使河口處可以存在之廣鹽性矽藻較少，故本研究調查之三個南部之主要河口，其浮游矽藻之種類極少，在調查期間並未出現有由甲藻或矽藻所引起之大面積紅潮之現象。為探討浮游矽藻與水質之相關性，本研究在調查期間亦同時分析水樣中之 13 個環境變數包括水溫，DO，EC，pH，Salinity，Chl.a，NO₃-N+NO₂，NH₄-N，TKN，TN，SiO₃，PO₄-P 及 TP 等，及重金屬銅、鎘、鉻、鋅、鉛、鎳等之污染物之濃度。

水樣以採水器在橋上採集自表層約 0-0.5m、3-3.5m、5-5.5m 乃至將接近底泥之不同水深之水樣(依採樣站而異)。採樣選擇每一季農曆十五日前後，大潮期間之滿潮時段為採樣之時間點。水質分析結果如表一與表二所示，其中，以主成份分析法探討 13 個環境變數之總變異數顯示：13 個環境變數之變化共可萃取出三個特徵值大於 1 之主成份，佔總變異數之 87.8%，其中第一成份之特徵值為 7.0，變異數為 54.3%，主要與 TKN，PO₄-P，TP，TN，及 Chl. a 之相關性最高，顯示浮游藻類之季節性變化與氮與磷等營養源之關係最顯著。

浮游矽藻之數量及變化相當大，共發現 26 種浮游矽藻，分屬於 19 屬。其它尚有甲藻、綠藻及藍綠藻等非矽藻類浮游藻類。

浮游矽藻之分析結果如表四顯示(1)在秋季:a.將軍溪河口不同水深之浮游矽藻細胞平均約為 42cells/ml。b.曾文溪河口不同水深之浮游矽藻細胞平均約為 172 cells/ml，以 *Melosira* sp.為主，平均約為 121 cells/ml。c.二仁溪河口之矽藻種類少且濃度稀、每毫升水樣約含 7 個矽藻細胞而已。

(2)冬季: a.將軍溪河口不同水深之浮游矽藻主要只有 *Cyclotella*，平均濃度約為 366 cells/ml，其它皆為非矽藻類。b.曾文溪河口不同水深之浮游矽藻只有 *Cyclotella*，平均濃度約為 12 cells/ml，其它非矽藻類也相當少。c.二仁溪河口砂多水淺，主要優勢種浮游矽藻為 *Eucampia* sp.(42cells/ml)，非矽藻類很少。

(3)春季: a.將軍溪河口不同水深之浮游矽藻亦只有 *Cyclotella*，平均濃度約為 11 cells/ml，其它皆為非矽藻類。b.曾文溪河口不同水深之浮游矽藻只有 *Cyclotella*，平均濃度約為 12 cells/ml，其它非矽藻類以甲藻較多約 19 cells/ml。c.二仁溪河口砂多水淺，主要優勢種浮游生物為一些鞭毛藻，浮游矽藻在本季種類稍多幾種，且其它皆為非矽藻類的藻類亦增多

(4)夏季:a.將軍溪河口不同水深之浮游矽藻除有 *Cyclotella*，平均濃度約為 210 cells/ml，其它亦皆為非矽藻類。b.曾文溪河口不同水深之浮游矽藻以 *Nitzschia* 為優勢，平均濃度約為 14 cells/ml，其它非矽藻類也相當少。c.二仁溪河口不同水深之浮

游矽藻，在本季同春季一般種類增多，仍以 *Cyclotella* 為優勢，平均濃度約為 2695 cells/ml，且其它為非矽藻類的藻類亦增多。

以浮游藻類相而言，將軍溪河口承載較高之家庭污水，可能因有機物含量較高，出現許多非矽藻類之綠藻及藍綠藻，而曾文溪之水樣在四季調查的樣品中，皆是較清澈的，二仁溪的污染源主要來自工廠廢水，矽藻類出現之變化最明顯

五、計畫成果自評

本研究選擇的三個主要的河口，在調查期間所出現之浮游矽藻之種類不多，因此在評估以浮游矽藻為指標生物之研究上，資料尚嫌不足。但大多數在光學顯微鏡下觀察到的矽藻種類，參與研究之同學皆逐次應用貴儀中心的 SEM，拍攝其在掃描式電子顯微鏡下之特徵，足以提供進一步研究之參考。而本研究調查期間，亦已分離出幾種矽藻，將可進一步於實驗室探討其指標特性。

五、參考文獻

- American Public Health Association (1989). Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 17th ed. APHA. AWWA and WPCF, Washington, D. C., pp.10-1,48,51,53.
- Asai, K.(1995). Statistic classification of epilithic diatom species into three ecological groups relating to organic water pollution. (1) Method with coexistence index. *Diatom*, 10, 13-34. in Japan.
- Babanazarova, O. V. Likhoshway, Y. V. & Sherbakov, D. Y. (1996). On the morphological variability of *Aulacoseria baicalensis* and *Aulacoseria islandica* (Bacillariophyceae) of Lake Baikal, Russia. *J. Phycology*, 35(2), 113-123.
- Bates, S.S., C. Leger, B. A. Keafer & D.M. Anderson (1993). Discrimination between domoic-acid-producing and nontoxic forms of the diatoms *Pseudonitzschia pungens* using immunofluorescence, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 100:185-195.
- Chang, T.P. A preliminary report on the diatoms of the hot springs of Taiwan. *Taiwania* 1966, 12, 47-64.
- Chen P. C. and S. D. Lai. (1984). Freshwater diatoms of Wu-si River. *J. Sci. Engineer. (Nat. Chung Hsing Univ.)* 21, 31-55. (in Chinese).
- Cooper, V. C. (1996) *Microalgae, Microscopic Marvels*. Publish by Riverside Books, P.O.Box 7054, Hamilton. New Zealand.
- Cox, E. J. (1995). Studies on the diatom genus *Navicula* Bory. VII. The identity and typification of *Navicula gregaria* Donkin, *N. cryptocephala* Kutz. and related taxa. *Diatom Research*, 10:91-111.
- Cox, E. J. (1987). *Placoneis* Mereschkowsky : The re-evaluation of a diatom genus originally characterized by its chloroplast type. *Diatom Research*, 2(2): 145-157.
- Davis, L. S., Hoffmann, J. P. & Cook, P. W. (1990). Production and nutrient accumulation by periphyton from a wastewater treatment facility. *J. Phycol.* 26 :

- 617-623.
- Droop, S. J. M. & Mann, D. G. (1996). The species concept in diatoms: morphometric and biological studies in the *Sellaphora pupula* complex from low and eutrophic waters. Abstract, 14th Diatom Symposium.
- EL-Bestawy, E. Bellinger, E. G. & Sigeo, D. C. (1996). Elemental composition of phytoplankton in a subtropical lake: X-ray microanalytical studies on the dominant algae *Spirulina platensis* (Cyanophyta) and *Cyclotella meneghiniana* (Bacillariophyceae). *Eur. J. Phycol.*, 31, 157-166.
- Foged, N. (1993). Some diatoms from siberia especially from Lake Baikal. *Diatom Research*, 8(2), 231-279.
- Hamilton, P. B. Poulin, M. (1990). *Neidium alpinum* var. *quadripunctatum* (Hustedt) comb. nov., an important acidobiontic taxon from northeastern North America. *Diatom Research*, 5(2), 289-299.
- Huang, M. H. (1982). The freshwater diatoms of southern parts of Taiwan. *Biological Bulletin National Tainan Normal College* 15: 263-328.
- Huang, S. F. (1990). The marine algae flora of Hsiao-Liuchiu Island. *Bot. Bull. Academia Sinica* 31, 245-255.9.
- Hustedt, F. (1950). Die Diatomeen flora norddeutscher See V-VII See in Mecklenburg und Nordostdeutschland. *Arch. Hydrob.* 43:329-458.
- Jasprica, N. & Caric, M. (2004). Planktonic diatoms in two eastern adriatic estuaries. 18th International Diatom Symposium in Poland pp256:60.
- Johnson, R. A. & Wichern, D. W. (1992). *Applied multivariate statistical analysis*, third edition, Print by Prentice-Hall, Inc.
- Katoh, k. (1993). Deletion of less-abundant species from ecological data. *Diatom*, 8, 1-5. in Japan.
- Kobayasi, H.; Mayama, S (1982). Most pollution-tolerant diatoms of severely polluted rivers in the vicinity of Tokey. *Jap. J. Phycol.* 30, 188-196.
- Kröger, N. (2001). The sweetness of diatom molecular engineering. *J. Phycology*, 37(5) 657-658.
- Lai, S.D.; Yu, K.C.; Ho, H.; Ho, S.T.(1993); The heavy metal tolerant characteristics of dominant algae in Ell-Ren River. *J. Tech.*, 8(4), 549-557.
- Lai, S. D., Yu K. C & Ho S. T. (1994). Study on the correlation between the biota and ecological factor of San-Yeh-Kong Rive. *J. Tech.*, 9(1), 103-114. (in Chinese).
- Lai, S. D. (2001). An ecological study of brackish water diatom assemblages in wetlands, near the Tseng-Wen estuary, in southwestern Taiwan. *Diatom*, 17, 111-133.
- Lai, S. D. Chen, P. C. and Hsu, H. K. (2003) Benthic algae as monitors of heavy metals in various polluted rivers by energy dispersive x-ray spectrometer. *J. Environmental Science and Health, Part A*, 38 (5) : 855-866.
- Lai, S. D. Wang, J. P. Yeh, J. T. and Tsay, H. W. (2003). Ecology of dominant phytoplankton diatoms *Cyclotella* from Chia-Nan stream (Taiwan). *Diatom*, 19, 23-31.
- Lai, S. D. and Wang, J. P. (2004). Multivariate analysis of dominant attached diatoms and water quality in Szu-Tsao mangrove wetland of Taiwan. *Diatom*, 20, 133-143.
- Lange-Bertalot, H. (1979). Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia*, 64, 285-304.
- Li, C. W. (1978). Notes on marine littoral diatoms of Taiwan I. some diatoms of pescadores. *Nova Hedwigia*, XXIX, 787-812.
- Li, C.W. and Chiang, Y.M (1977). The fine structure of the frustule of a centric diatom *Hydrosera triquetria* Wallich. *Br. phycol. J.* 12, 203-213.
- Li, C.W. and Chiang, Y.M.(1979) A euryhaline and polymorphic new diatom, *Proteocyclus taiwanensis* GEN. ET. sp. NOV.* *Br. phycol. J.*, 14, 377-384.
- Lobo, E. A. & Kobayasi, H. (1990). Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref., Japan) and its use as an indicator of water quality. *Japan Journal of Phycology* 38(3):229-243.
- Lobo, E. A. (1997). Approaches for evaluation of river water pollution using epilithic diatom assemblages. *Diatom* 13:105-111.
- Medlin, L. K. & Round, F. E. (1986). Taxonomic studies of marine Gomphonemoid diatoms. *Water Research*, 1(2), 205-225.
- Nygaard, G (1949). Hydrobiological studies of some danish ponds and lakes II. The quotient hypothesis and new or little known phytoplankton organisms. *Kgl. Danske Videnskeb. Selskab, Biol. Skrifter*, 7, 293.
- Philip W, et al. (2004)The decline and fate of an iron-induced subarctic phytoplankton bloom. *NATURE* | doi:10.1038/nature02437 |www.nature.com/nature 4
- Rencher, A. C. (1995). *Methods of multivariate analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 631pp.
- Robinson, C. T. Rushforth, S. R. & Minshall G. W. (1994). Diatom assemblages of streams influenced by wildfire. *J. Phycology*, 30(2), 209-216.
- Round, F. E. Crawford, R. M. & Mann, D. G (1990; 1992;1996). *The diatoms, biological & morphology of the genera*. Cambridge Univ. Press.
- Rosowski, J. R. & Roemer, S. C. Palmer, J. Hoagland, K. D. (1986). Extracellular association and adaptive significance of the bas-relief mucilage pad of *Achnanthes lanceolata* (Bacillariophyceae). *Diatom Research* 1(1):113-129.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1963). *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. 117p.
- Shen, Y.F.(1956) *Studies on the freshwater algae of Taiwan Scenedesmaceae from Taiwan*, Report of the Institute of Fishery Biology, Ministry of Economic Affairs and National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 1(1) 47-63.
- Shubert, L.E. edited(1984). *Algae as ecological indicators*. Academic Press, Inc. London.

- Snoeijs, P. J. M. (1989). Ecological effects of cooling water discharge on hydrolittoral epilithic diatom communities in the Northern Baltic Sea. *Diatom Research*, 1(2), 373-398.
- Sabater, S., Tomas, X., Cambra, J. & Lange-Bertalot (1990). Diatom flora of the Cape of Creus peninsula Catalonia, N. E. of Spain. *Nova Hedwigia* 5, 165-195.
- Snoeijs, P. J. M. Hällfors, G. & Leskinen, E. (1991). Taxonomy and ecology of *Catacombas obtusa* comb. nov. *Diatom Research*, 6(1), 155-164.
- Stevenson, R. J.(1981) Quantitative differences between benthic algal communities along a depth gradient in lake Michigan. *J. Phycology*, 17(1), 29-36.
- Tschen, J. & Li, C. W. (1974). Diatom from Nan-Tow and Chia-Yi Counties, Taiwan. *J. Science & Engineering*, 11, 1-24.
- Underwood, G. J. C. (1994). Seasonal and spatial variation in epipellic diatom assemblages in the Severn estuary. *Diatom Research* 9(2):451-472.
- Van den Hoek, C. Mann, D. G. Jahns, H. M.(1995). *Algae, An introduction to phycology*. Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge. New York.
- Vyverman, W. & Lange-Bertalot, H. (1991). *Bibliotheca diatomologica , Diatoms from Papua New Guinea*. Print in Germany by Strauss offsetdruck gmbh, 6954 Hirsschberg 2, ISBN 3-443-57013-5.
- Vyverman, W. & Compere, P. (1991). *Nupela giluwensis* gen. & spec. nov. anew genus of Naviculoid diatoms. *Diatom Research*, 6(1), 175-179.
- Watanabe, T. *et al.* (1968). Saprophilous and erysaprobic diatom taxa to organic water pollution and diatom assemblage index. *Diatom*, 2, 23-73.
- Watanabe, T. *et al.* (1986). Numerical estimation of organic pollution of flowing water by using the epilithic diatom assemblage index (DAIpo). *Sci Total Environ*. 55, 209-218.
- Watanabe, T. *et al.* (1986). Saprophilous and euryaprobic diatom taxa to organic water pollution and diatom assemblage index (DAIpo). *Diatom* 2, 23-73.
- Watanabe, T. *et al.* (1988). Biological information closely related to the numerical index DAIpo (Diatom assemblage index to organic water pollution)*Diatom* 4: 49-58.
- Watanabe, T. (1990). Attached diatoms in Lake Mashuu and its value of the diatom assemblage index of organic water pollution (DAIpo). *Diatom*, 5, 21-33. In Japan.
- Watanabe, T. & Asai, K. (1992). Simulation of organic water pollution using highly prevailing diatom taxa (1). Diatom assemblage in which the leading taxon belongs to *Achnanthes*, *Anomooneis*, *Aulacoseira* or *Melosira* . *Diatom*, 7, 13-19. in Japan.
- Watanabe, T. & Asai, K. (1992). Simulation of organic water pollution using highly prevailing diatom taxa (3). Diatom assemblage in which the leading taxon belongs to *Navicula* *Diatom*, 7, 29-35. in Japan.
- Watanabe, T. & Asai, K. (1992). Simulation of organic water pollution using highly prevailing diatom taxa (4). Diatom assemblage in which the leading taxon belongs to *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Surirella* or *Synedra*. *Diatom*, 7, 37-42. In Japan.
- Watanabe, T. & Asai, K. (1994). Numerical estimation of organic pollution based on the attached diatom assemblage in Lake Biwa and its inflows. 11th Diatom Symposium made in U.S.A.
- Watanabe, T. & Asai, K. (1995). Diatom assemblage occurred as an environmental frontier community in a Spa (pH 10.1) which is the most alkaline hot spring in Japan. *Diatom*, 10, 1-7. in Japan.
- Wang J. P., Lai, S. D., Perng, R. J. Ueng, Y. T. & Torng, S. J. (2001). Establishment of ecosystem dynamic model of Su-Tsao wildlife reserve area in Tainan. Report of Council of Agriculture Executive Yuan, R. O. C. 2001.
- Wu, R. Y. (1993). Studies on the microbial ecology of the Tansui Estuary. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 34, 13-30.
- Wu, J. T. 1986. Relation of change in river diatom assemblages to water pollution. *Bot. Bull. Academia Sinica*, 27, 237-245.
- Yang, J. R. Stoermer, E. F. & Kociolek, J. P. (1994). *Aulacoseira dianchiensis* sp. nov., a new fossil diatom from China. *Diatom Research*, 9(1), 225-231.
- Yu, K.C. Ho, S.T. Chang, J. K. & Lai, S.D. (1995). Multivariate correlation of water quality, sediment and benthic bio-community components in Ell-Ren River system, Taiwan. *Water, Air and Soil Pollution*, 84, 31-49.

Table 1 Mean values of 13 environmental variables from different water depth, in three estuaries (JJE, ZWE, and ERE) from four seasons. (1=Autumn, 2= Winter, 3=Spring and 4=Summer)

	WT1	DO1	EC	pH	Salinity	Chl.a	NO3-N+NO2-N	NH3	TKN	TN	SiO3	PO4	TP
JJE1	26.367	6.590	42.967	8.200	2.800	0.014	0.84	0.161	0.206	1.046	2.491	0.257	1.194
JJE2	16.733	13.207	25.600	7.600	3.867	0.034	0.828	0.225	1.573	2.401	16.152	2.130	3.585
JJE3	24.800	5.227	41.300	7.033	2.633	0.017	0.876	0.389	0.446	1.322	2.364	0.704	1.335
JJE4	30.500	4.520	46.733	8.133	2.733	0.011	0.328	0.134	0.338	0.667	3.669	0.463	0.516
ZWE1	28.020	7.576	46.560	8.320	3.240	0.013	0.729	0.005	0.029	0.758	1.770	0.010	0.231
ZWE2	19.460	13.032	48.760	8.120	3.760	0.005	0.643	0.019	0.032	0.676	1.758	0.036	0.053
ZWE3	23.200	6.828	50.200	7.520	3.240	0.005	0.45	0.011	0.050	0.501	0.740	0.037	0.067
ZWE4	29.95	6.135	33.85	8.35	1.9	0.015	0.633	0.0135	0.0635	0.1925	5.3765	0.0345	0.1065
ERE1	28.000	9.800	47.750	8.175	3.275	0.006	0.498	0.082	0.100	0.598	0.999	0.085	0.167
ERE2	18.300	12.740	52.100	8.100	4.000	0.008	0.727	0.044	0.202	0.930	0.013	0.047	0.049
ERE3	24.800	2.530	27.740	7.650	2.700	0.021	0.694	0.318	0.523	1.217	1.279	0.407	0.619
ERE4	29.95	6.135	33.85	8.35	1.9	0.015	0.633	0.0135	0.0635	0.1925	5.3765	0.0345	0.1065

Table 2 Significant correlation matrix and Pearson correlations coefficients (r) between the mean variables.

	WT	DO	EC	pH	Salinity	Chl.a	NO _x -N*	NH ₄ -N	TKN	TN	SiO ₃	PO ₄ -P	TP
WT	1.00												
DO	-.728**	1.00											
EC	-.008	.247	1.00										
pH	.420	.137	.181	1.00									
Sailnity	-.817**	.784**	.389	-.168	1.00								
Chl.a	-.223	-.042	-.876**	-.330	-.075	1.00							
NO _x -N*	-.412	.193	-.375	-.289	.115	.543	1.00						
NH ₄ -N	-.158	-.343	-.460	-.748**	-.062	.577*	.455	1.00					
TKN	-.517	.244	-.638*	-.480	.312	.874**	.381	.582*	1.00				
TN	-.650*	.306	-.437	-.572	.503	.760**	.575	.671*	.916**	1.00			
SiO ₃	-.268	.291	-.693*	-.115	.046	.825**	.270	.189	.828**	.610*	1.00		
PO ₄ -P	-.476	.252	-.594*	-.499	.285	.852**	.375	.571	.984**	.900**	.858**	1.00	
TP	-.454	.238	-.582*	-.468	.257	.858**	.515	.583*	.946**	.914**	.833**	.971**	1.0

NO_x-N*, [NO₂-N + NO₃-N] concentration

Table 3 Principal Component Analysis of the 13 Ecological variables.

Variables	PC 1	PC 2	PC 3
TKN	.971	0.003	.101
PO ₄ -P	.964	-0.004	.109
TP (Total Phosphate)	.964	-.020	.089
TN (Total Nitrogen)	.949	.179	-.162
Chl. <i>a</i> (Chlorophyll <i>a</i>)	.891	-.363	.200
SiO ₃	.788	-.110	.561
NH ₄ -N(.650	-.366	-.610
EC(Conductivity)	-.648	.597	-.277
NO ₂ -N + NO ₃ -N	.575	.020	-.180
Salinity	.295	.912	-.108
DO	.245	.871	.335
WT(Water Temperature)	-.563	-.732	.154
pH	-.552	.042	.722
<i>Eigenvalue</i>	7.059	2.796	1.559
<i>% Variance</i>	54.301	21.505	11.996
<i>% Accum. variances</i>	54.301	75.806	87.802

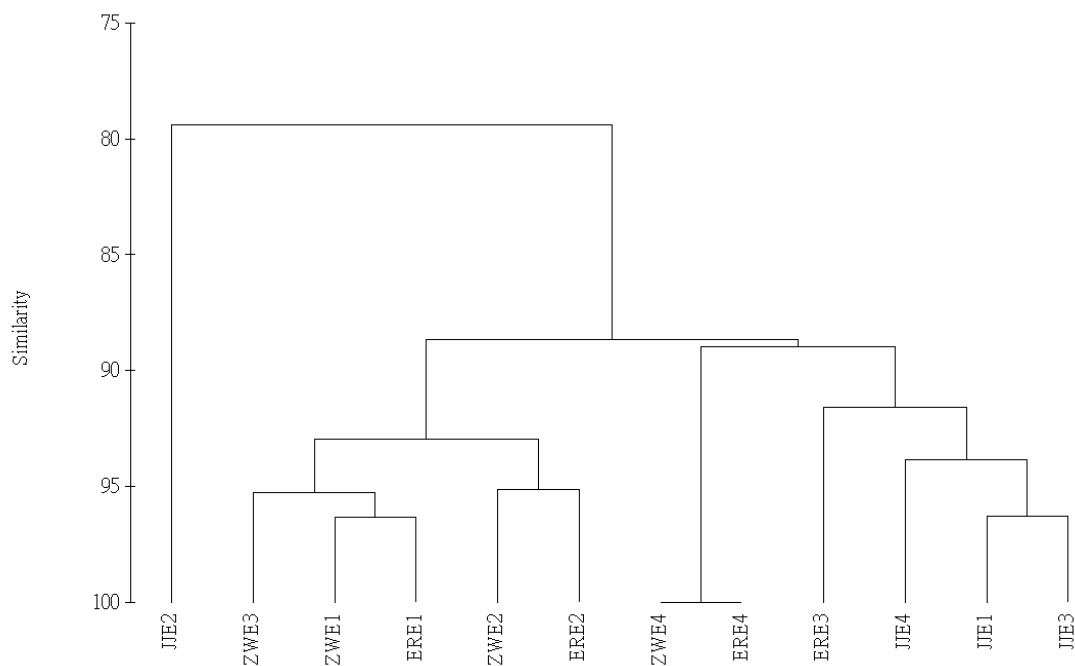


Fig.1 Cluster analysis by 13 environmental variables in three estuaries in four seasons during 2005-2006.

Table 4. Planktonic diatom assemblages from three sampling sites of estuaries of JJE, ZWE, ERE, during autumn 2005 to summer 2006.

Sampling seasons	Autumn			Winter			Spring			Summer		
Dates	16 th Oct.2005			14 th Jan.2006			12 th Mar.2006			12 th May 2006		
Taxa	JJE	ZWE	ERE	JJE	ZWE	ERE	JJE	ZWE	ERE	JJE	ZWE	ERE
Taxa	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
<i>Amphiprora</i> sp3	1							1		1		
<i>Amphora</i> sp1.	1			1			1			1		
<i>Amphora</i> sp2		14					0	1				
<i>Amphora</i> sp3							0	0				14
<i>Asterionella</i> sp.	1		1									2
<i>Biddulphia</i> sp.	1											
<i>Chaetoceros</i> sp.		18										
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	17	9	2	365	12	12	11	12	12	210	14	2695
<i>Eucampia zodiacus</i>						42			2			
<i>Fragilaria</i> sp..	1										3	
<i>Gomphonema</i> sp.		1						0				
<i>Guinardia striata</i>						13			0			
<i>Leptocylindrus minimus</i>						14			0			20
<i>Melosira</i> sp.	1	121							7			16
<i>Navicula</i> sp.小	3									2		7
<i>Navicula punctata</i>	1	1									2	
<i>Nitzschia longissima</i>	5	2										140
<i>Nitzschia coatrtata</i>	1											
<i>Nitzschia sigma</i>	1	2										
<i>Nitzschia pleae</i>	3	1										2
<i>Nitzschia acuminata</i>	2	1										
<i>Odontella mobiliensis</i>			1			1			0			
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>			2			2			2			245
<i>Pleurosigma elongatum</i>	3	1										
<i>Pleurosigma</i> sp.			1			2						
<i>Skeletonema</i> sp.		1				1					14	
小計 cells/ml	42	172	7	366	12	87	12	14	16	214	175	2999