

98 年度國家重要濕地生態環境調查及復育計畫—台北市國家級濕地之三育計畫—子計畫「關渡自然公園濕地生態調查及復育計畫」

98 年關渡自然公園濕地底棲生態調查

中央研究院 生物多樣性研究中心 范嵐楓博士

一、前言

底棲無脊椎動物在食物網中，連接下層底泥有機碎屑顆粒與上層的高階消費者如水鳥及魚類等，是河口碎屑生態系中不可或缺的一環（陳恩理、陳章波，1994；蔡嘉揚、陳炳煌，1994；邵廣昭等，1999）。河口沼澤濕地是高生產量的水域生態系之一，河口的高生產量來自於匯聚了濕地鄰近區域、河川甚至海洋所帶來之無機營養鹽及豐富的有機碎屑顆粒。河口無脊椎動物包括多毛類、貧毛類、螺類、貝類及蝦蟹類等以水層或底泥中的有機顆粒作為食物來源。底棲無脊椎動物，本身亦具改造微棲地的能力。其攝食、呼吸、排遺、移動等等的生物性活動，對底土的粒徑、含氧量、有機物質之消耗、代謝（謝蕙蓮，1990），甚至有毒物質之分解、代謝等，都扮演重要的角色（Horng，1998）。底棲無脊椎動物為潮間帶覓食鳥類的主要食物來源（陳恩理、陳章波，1994；蔡嘉揚、陳炳煌，1994），對於長途飛行的過境或渡冬候鳥而言，在棲息環境中能否攝取足夠食物補充能量，是其維繫生命的重要因素（Alerstam et al.， 1992）。

關渡地區是台北市近郊的河口溼地，該地區的生態環境變化，對於台北市的永續發展，具有相當重要的指標性意義。關渡地區兼具林澤與草澤之重要濕地生態環境，生物資源豐富，是候鳥過境的重要棲地。1986 年行政院農業委員會將關渡堤防以南 55 公頃的沼澤劃為「關渡自然保留區」，關渡堤防以北 57 公頃的區域屬於「關渡自然公園」。台北市政府於 2001 年正式成立關渡自然公園，是大台北都會區最具自然生態特色的一個公園。此一公園的設置顯示台北市是一個與世界文明進步同化、重視自然環境的城市。保護與永續經營此一地區以供大台北居民觀賞自然、提供解說教育設施，也是促成關渡自然公園劃設的主

要原因（邵廣昭等，1999）。關渡自然公園的存在，同樣也提供多樣化的生物生存空間

。關渡自然公園於 2002 年 12 月 1 日起交由台北鳥會經營管理。有鑑於先前濕地淤積嚴重，加之違法的廢土垃圾，及開發壓力等隱憂，造成鳥類數量明顯銳減。為維持保育核心區的濕地面積，針對逐漸陸化的濕地進行復育工作，其中包括主要渠道清淤、水池灘地清淤、高莖草移除，控水設施設置等。歷經 2002~2006 年的棲地環境改善工程，共完成約 11 公頃的濕地（圖一）。在執行過程中與初完工後，園區內的鳥群數量確實有出現回升的趨勢。然而，自 2007 年起，鳥群數量卻又明顯下降（圖二），顯示仍有其它潛在因素影響鳥群的分布，例如扮演鳥群食物來源的底棲動物群聚的變動。

自然保護區的管理需配合長期生態環境監測，才能掌握實際復育的成效。然而目前園區內相關底質生態監測資料仍明顯不足，根據先前唯一一次生態監測結果反映，在棲地環境改善工程後關渡自然公園底棲生態品質沒有改善，棲地劣化的情形仍見於關渡自然公園。此一情況是歸因於受工程擾動後的底棲生態尚未完全回復，抑或是目前的改善工程的施作仍有調整的空間，我們不得而知。此外，鄰近農田肥料殘餘隨逕流水流入的可能性，逆止閘调控對園區水體與鄰近淡水河及基隆河河水交換的情況，以及高莖草持續生長，持續移除，過度頻繁的底質擾動對底棲生態的影響，皆有需要進行追蹤。因此，本研究將調查關渡自然公園 1. 棲地物理（底泥粒徑、鹽度、pH 值、水中溶氧）、2. 化學（底泥有機碳、氮含量）特性，以及 3. 底棲無脊椎動物相現況，實際追蹤監測棲地改善的成效，並將結果提供做為後續棲地改善施作調整的考量依據。

二、材料與方法

1. 採樣站設置

關渡自然公園內共設置八個底棲採樣點，詳細位置參照圖一所示。對照先前鳥類觀察的樣區分類，這些底棲採樣點位於四個觀察分區中（鹹水區、淡水一區、淡水二區、淡水三區），其中一號池（GD1）屬鹹水區的範圍、五號池位在

淡水一區，十號池、三叉池與三叉西池包含在淡水二區中，七號池、八號池、三叉北池則分布在淡水三區之中。

2. 分析項目

(1) 水質

以水質水文監測紀錄系統 (YSI 600XLM-O) 現場測量水溫、鹽度、溶氧值及 pH 值。

(2) 粒徑

以內徑 2.6 公分的塑膠管採集表層 2-3 公分的底泥樣品一個，低溫保存攜回實驗室。利用用溼篩法，經過 Wentworth 系列的篩網(網目由 2.0 mm 或 1.0 mm 至 62 μm)分級過篩。底質粒徑小於 62 μm 的粉泥-黏土含量(silt/clay content)採用 (Hsieh & Chang, 1991)改良之定量吸管法分析。底質粒徑大小則以粒徑中值 (median grain size)表示，詳細方法參照 (Buchanan and Kain, 1971;Hsieh and Chang, 1991) 所述。粒徑、篩選係數計算方法如下

$$\begin{aligned}\text{粒徑中值} &= \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \\ \text{篩選係數} &= \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \\ \Phi \text{ 值} &= -\log_2 (\text{篩網孔徑})\end{aligned}$$

(3) 底泥間隙水鹽度

以內徑 2.6 公分的塑膠管採集表層 2-3 公分的底泥樣品一個，低溫保存攜回實驗室。以濾紙過濾或離心的方式，取沈積物的間隙水以鹽度計 (ATAGO Handle-held Refractometer S/Mill-E)測量鹽度值。

(4) 底泥間隙水 pH 值

以內徑 2.6 公分的塑膠管採集表層 2-3 公分的底泥樣品一個，低溫保存攜回實驗室。每一樣品先取 5 克底土秤重、烘乾，求出含水量。再取 10 克的底土，加入二倍底土重量的去離子水。因取樣之底土並非完全乾燥，故加入的去離子水的重量必須扣除原本底土內所含水的重量，其計算方法如下：

應加入之去離子水的重量=20 克-(10 克×樣品含水量%)

10 克底土樣品加入所需之去離子水後，徹底攪拌 30 秒鐘，靜置 30 分鐘後，再徹底攪拌，以桌上型 pH 計(Mettler Toledo MP225)測量去離子水之 pH 值。

(5) 底泥有機碳、有機氮含量

以內徑 2.6 公分的塑膠管採集表層 2-3 公分的底泥樣品一個，低溫保存攜回實驗室。在各測站所採得之底泥，取一部份約 50 g 冷凍乾燥。若沉積物中有大型的底棲動物，如貧毛類、端腳類、螺類或碎屑，如樹枝、樹葉等，在樣品乾燥後，經過 0.5 mm 篩網去除。測量有機碳含量時，先將乾燥後的樣品加入與待測樣品等體積之 1N 濃 HCl，混合均勻靜置，以吸管吸除上層液，重複數次使濃 HCl 與無機碳完全反應，以去除無機碳，再次冷凍乾燥。樣品經充分研磨、混合均勻後，以碳、氮元素分析儀(Perkin Elmer EA 2400 Series II)分析底泥中全有機碳(TOC)及全氮(TN)含量。

(6) 底棲無脊椎動物組成與密度

以 PVC 採樣管（內徑 10cm）採得的底泥中，將採集到的底泥以網目 0.5 mm 的篩網篩選。留在篩網上的樣品以當地海水/池水沖倒至塑膠罐中，先以薄荷腦麻醉，再以 10% 的福馬林固定。樣品經過至少 48 小時的福馬林固定後，再次倒在 0.5 mm 的篩網上，以清水沖洗，去除福馬林，然後進行挑蟲的工作。將挑出來的動物鑑定種類，至最低分類層級（因底棲無脊椎種類眾多，有些只能以門，綱，科等層級計數）並計量各種類的個體數。每個測站各種類之數量以密度。

三、結果

1. 水質狀況

關渡自然公園各水池水質環境參數之空間分布詳見表一、圖三。採樣當日各池水溫皆高於 30 °C 以上(31.6-35.5)，其中以位於鹹水區一號池水溫最高(35.5 °C)，位於淡水一區五南池的水溫最低(31.6 °C)。鹽度介於 0.9 至 5.4 psu 之間，在空間分布上由左向右呈現遞減的趨勢，其中以靠近水閘門的一號池鹽度最高

(5.4 psu)、其次為五南池(3.4 psu)，鹽度最低值則出現在淡水三區三叉北池(0.9 psu)。導電度介於 1.8 至 9.4 mS/cm 之間，空間分布特徵與鹽度分布相近。各水池間溶氧含量普遍呈現過飽和狀態(介於 6.8-16.2 mg/L 之間)，其中以一號池溶氧含量最高(16.2 mg/L)、淡水二區三叉小池的含量最低(6.8 mg/L)。在酸鹼值部分(介於 7.6 至 9.8)，鹹水區一號池及淡水二區的十號池與三叉西池皆高達 9.8，在淡水一區五南池與淡水二區三叉小池則相對偏低(7.6)。

2. 底泥環境參數

底泥環境參數之空間分布詳見表二及圖四、五。底泥沈積物的物理性質方面，關渡自然公園各水池的底質組成以細泥為主，平均粒徑大小介於 0.015 至 0.029 mm 之間，以鹹水區一號池、淡水一區五南池及淡水三區八號池的粒徑值相對較高(0.028-0.29 mm)，淡水二區十號池與三叉小池的粒徑值則相對較低(0.15 與 0.16 mm)。各水池間粉泥黏土含量介於 69.3 至 95.6 % 之間，以淡水二區十號池及淡水三區八號池的含量最高(95.6 與 94.7%)，在鹹水區的一號池的粉泥黏土含量則相對偏低(69.3 %)。各水池底泥篩選度皆不佳(>1.0)，其中鹹水一號池數值各高達 3.2，代表園區各水池內的水流作用弱，底泥淘選能力差，整體關渡自然公園的底質為沉積的環境。

底泥沈積物化學性質方面，關渡自然公園各水池內底泥有機碳含量偏高、介於 10.8 至 2.57 % 之間，以淡水一區五南池及淡水二區三叉小池的有機碳含量最高(2.57 與 2.52 %)、最低值則出現在鹹水區一號池。底泥全氮含量變化與有機碳含量呈現相同的趨勢(介於 0.15 至 0.29 %)，以淡水一區五南池的含量最高(0.29 %) 鹹水區一號池最低(0.15 %)。底泥葉綠素 *a* 含量的空間分布差異頗大(介於 0.2 至 16.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 之間)，其中以鹹水區一號池與淡水三區三叉北池的含量最高(16.6 與 13.1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)、其次為淡水二區三叉小池與淡水三區七號池(5.0 與 5.1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)，最低值則出現在淡水三區八號池(0.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)。

3. 底棲生物因子

本次於關渡自然公園各水池內共採得 5 大類底棲無脊椎動物(表三、圖六)，各水池內底棲動物總密度介於 42±42 至 806±42 隻/ m^2 ，以淡水三區七號池與三叉北池的密度最高(806±42 與 764±575 隻/ m^2)、淡水二區十號池與三叉西池的

密度最低(皆為 42 ± 42 隻/ m^2)。底棲動物組成方面，以節肢動物昆蟲綱密度最高(包含水椿科、搖蚊科及未知昆蟲)，佔總密度的 45%，且在各分區間皆有分布，其中鹹水區一號池的密度高達 510 ± 510 隻/ m^2 ；其次為環節動物貧毛綱(佔總密度的 26%)，以淡三區三叉北池密度最高(764 ± 575 隻/ m^2)；軟體動物螺類(約佔總密度的 22%)，主要集中在淡三區七號池(764 ± 0 隻/ m^2)。

四、討論

1. 環境因子

將本次除草前的採樣結果與歷年調查資料(2006 年除草後、2000 年之前各水池開挖前)合併分析，結果詳見圖七。整體而言，關渡自然公園屬沉積環境，各水池底質環境多以顆粒小的粉泥或黏土成分居多。然由歷年資料比對結果顯示，底質環境特徵仍有隨時間變動的趨勢。

以淡水觀察區為例，相較於 2006 年除草後的底質環境，平均粒徑有偏高、變動幅度增大、粉泥黏土含量偏高，以及篩選係數偏低的情況。平均粒徑與粉泥黏土含量皆有偏高的趨勢，代表粉泥黏土中大顆粒的粉泥成份較多，呈現特定顆粒大小聚集的現象，此一效應同時反映在相對偏低的篩選係數上。根據園區內近年的觀察，排除棲地改善工程的效應，附近地區工地施工導致流入園區內的上游水體中時而挾帶高含量的懸浮顆粒，這些高含量懸浮顆粒的流入或許與園區內特殊的底泥環境特徵有關。又相較於 2000 年之前各水池開挖前的底質環境，平均粒徑及粉泥黏土含量的變動幅度縮小，推測各水池環境特徵有趨向單一化的情況。

在底泥質有機質含量部分(圖八)，有機碳含量相較於 2006 年除草後的結果有相對偏低的情況，但在全氮含量部分的變化不明顯。在除草前底泥有機碳含量相對偏低，顯示此時大部分有機碳多儲存在生物體(植被體)內。而底泥全氮含量變動不明顯，反映底質中氮源含量充足，底泥高含氮營養鹽與水層優養化的沉澱累積有密切的關聯性，顯示水層中營養鹽過剩的問題依舊存在，此一現象與鄰近農田施肥後，殘餘肥料隨逕流水流入園區的影響有關。

關渡自然公園內等站，水體流動的營力弱，加重了底泥中顆粒及與有機物質在公園內的累積速度，相較於一般過高的現象，本研究則呈現出單純粉泥黏土含量明顯偏高的情況，顯示上游水體中無機性懸浮顆粒的沉降，有可能出現陸化危機的關鍵。此外關渡自然公園內，因水淺，水體中藻類在陽光充足及營養鹽過多的有利條件下，光合作極為旺盛，導致大多數測站水中溶氧達到超飽和的狀態(>9.0mg/L)，但到了夜晚，過多的藻類進行呼吸作用，產生許多廢物及二氧化碳，反而導致水中缺氧，發生所謂的優養化現象。藻體大量死亡沉澱至底泥環境中，復又造成底泥全氮含量的堆積。

2. 生物因子

將本次除草前的採樣結果與歷年調查資料(2006 年除草後、2000 年之前各水池開挖前)合併分析，結果詳見圖。整體而言，關渡自然各水池底棲動物種類及數量依舊偏低。

本次底棲無脊椎動物採樣共紀錄到 3 門 5 綱，8 個物種底棲動物，與 2006 年除草後的分布情況相當，顯示物種的多樣性依舊偏低。而在底棲動物豐度方面，除昆蟲以外的整體無脊椎動物密度，較 2006 除草後的密度為高，顯示群聚有略為回升的跡象。根據陳等(1999)於淡水河與基隆河所進行底棲生態研究調查顯示，有機物質為底棲生物族群的食物來源，隨著有機物質的增加(有機碳含量介於 1~2%)，生物密度亦隨之升高，但若有機質含量過高時(有機碳含量達到 3~4%)，族群密度則出現下降的情形，同樣在 Hyland 等(2005)於美國、日本及英國等地所進行底棲生物族群的研究報告也提出，當底泥中 TOC 濃度高於 35mg/g 時，則會提高底棲生物種類豐富度降低的風險。本次研究在關渡自然保留區內的底質環境，有機碳含量低於 3.0%、部份樣站則介於 0.5~2.0% 間，對於生活在底泥的無脊椎動物來說，是一個頗舒適的生存環境，食物量充足，因此底棲動物的密度有提升的趨勢。但相較於先前關渡保育區的底棲動物分布，群聚密度的提升的程度有限。

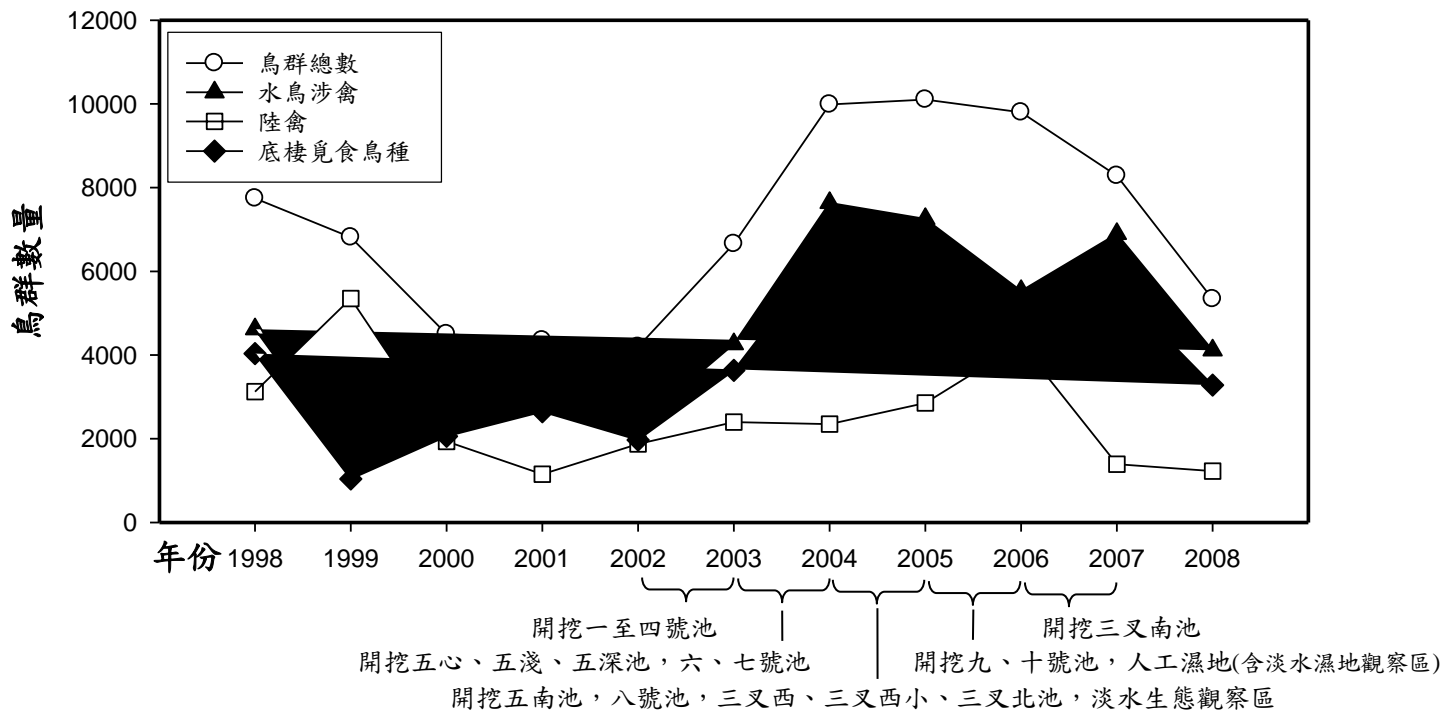
在食物來源的條件下群聚密度未能有效提升，推測與底棲動物的生長週期(回復週期)有關。在棲地改善工程後，自然公園單位為維持園區灘地面積大小以提供過境鳥類棲息，每年持續進行高莖草移除的施作，過程中的漫淹、翻土及掩

埋等過程，任何一項步驟都會直接破壞底棲動物賴以維生的表土，造成整體底棲動物群聚結構的崩潰。在兩次高莖草移除施作空檔間隔不超過一年期，底棲動物群聚的成長時間受限，群聚密度自然無法有效的擴張。

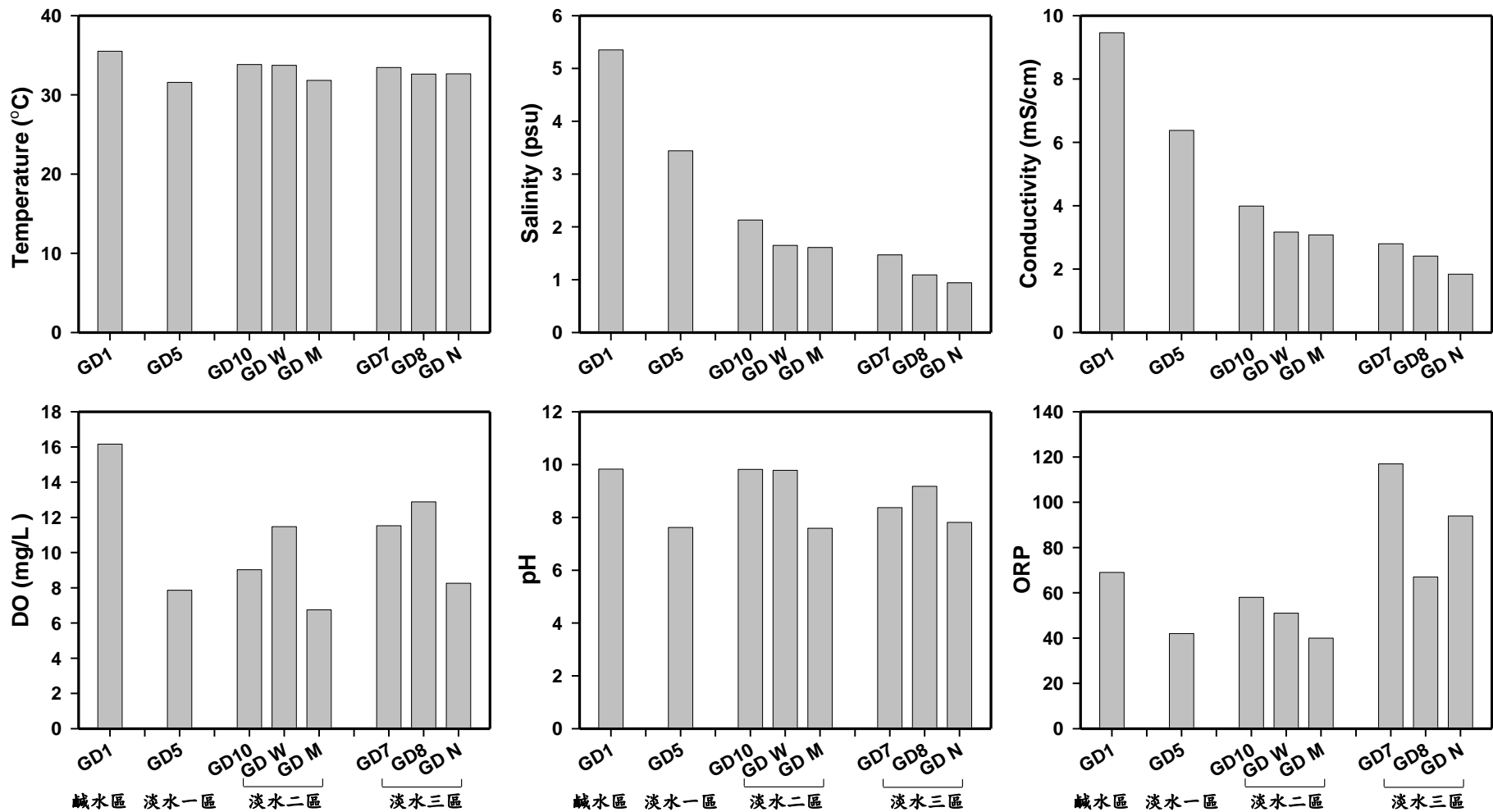
另外，在多毛類部分的群聚密度，相較於 2006 年除草後的密度仍屬偏低的情況，顯示除了食物供應與棲地擾動的效應之外，尚有其它效應影響多毛類群聚的回復。關渡自然公園與淡水河及基隆河間由關渡防潮堤阻隔，園區範圍內的水系主要經由中港河 13 道閘門及八仙六號閘 2 道閘門匯入淡水河、基隆河，水閘門的管理屬台北市政府養工處的權責範圍。淡水河基隆河因受海水潮汐影響，漲潮時海水經過閘門湧入，為形成公園內半淡鹹水濕地的主因。自 2005 年兩個水門整修完成後，逆止閘發揮效應，入流的海水量相對減少，感潮上漲的水流以河流積水的淡水為多。逆止閘的設置有效阻隔海水入侵、避免園區及附近農田土壤的鹽化。但在阻隔海水入侵同時也阻隔了海洋性無脊椎動物補充群的入添。多毛類屬海洋性物種，當海水入侵受限時，自然也限制其群聚的分布。然而，關渡地區具有高生物多樣性的特徵，主要是因河口水域環境有同時來自上游淡水與下游海水的生物，當海洋性物種的入添受到阻礙時 可預期多樣性回升會有相當程度的受限。



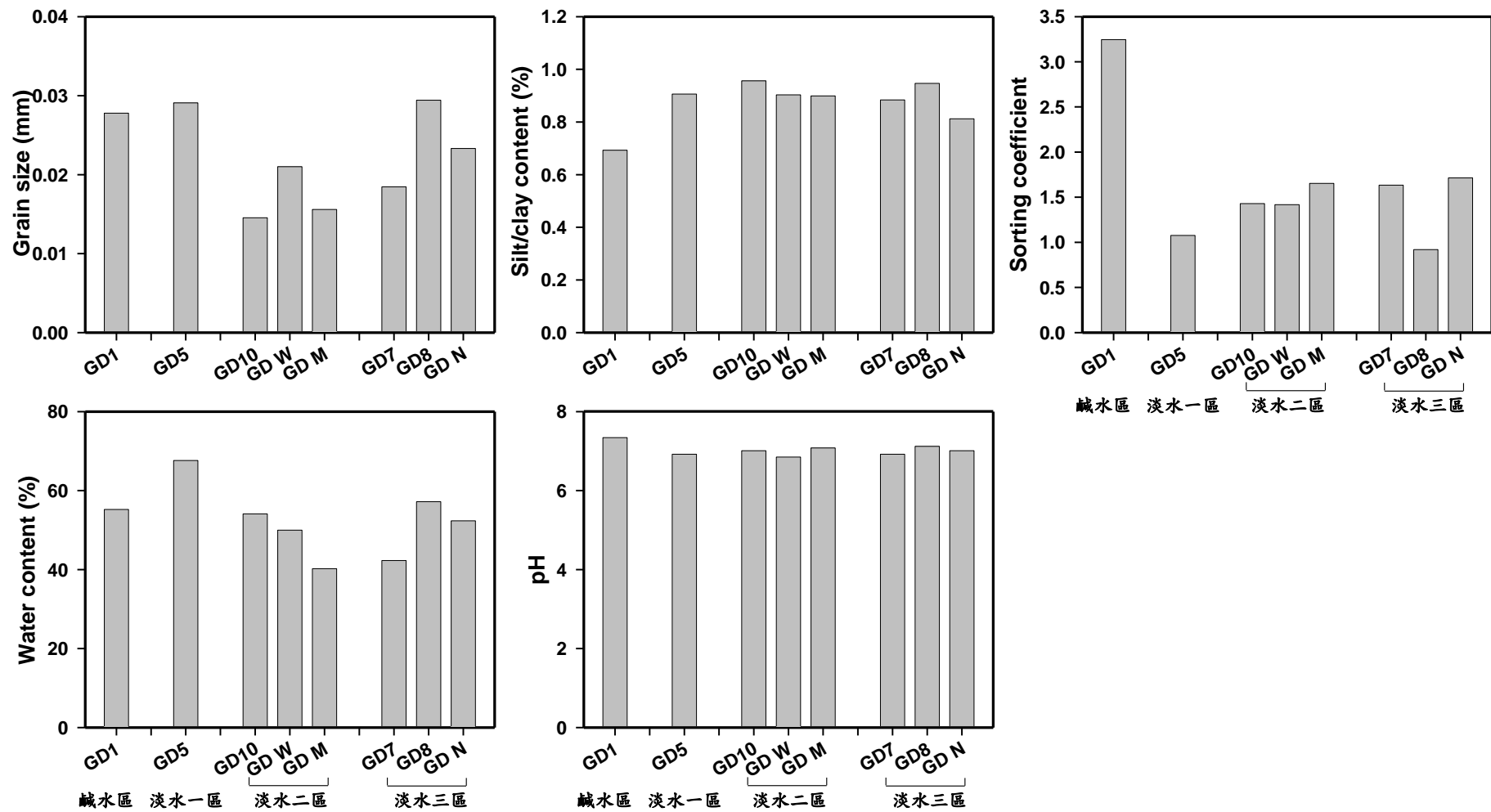
圖一、關渡自然公園園區各水池相對位置圖。藍色標記為各水池內底棲動物樣品的採樣位置，深綠色框線區隔為鳥群觀察記數的分區規劃。



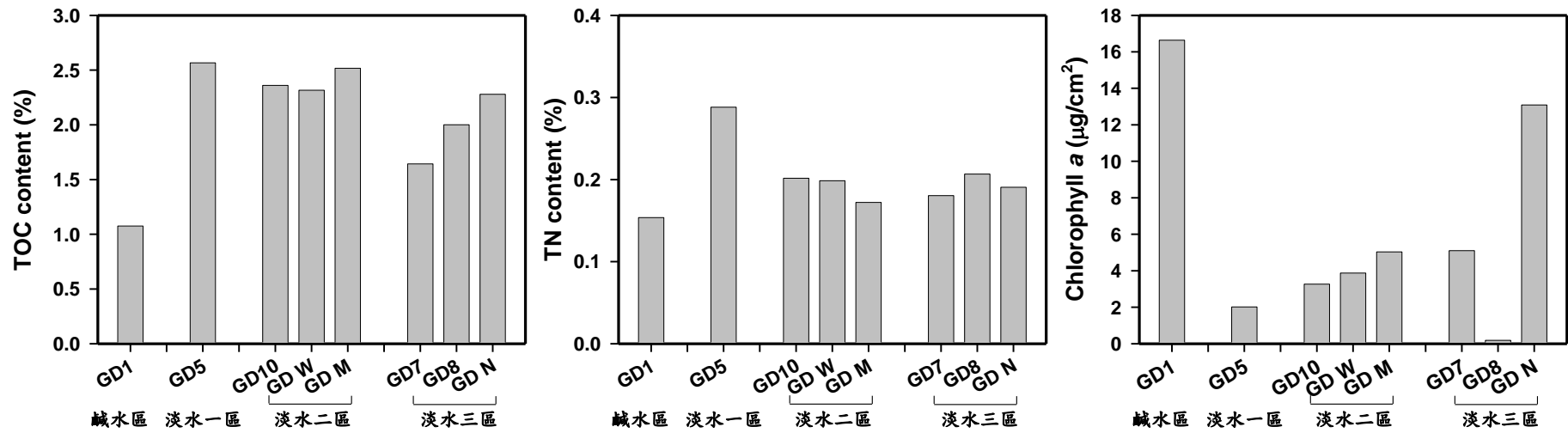
圖二、關渡自然公園各類鳥群數量年變化圖。橫軸下方為棲地改善工程施作時程對應整理。



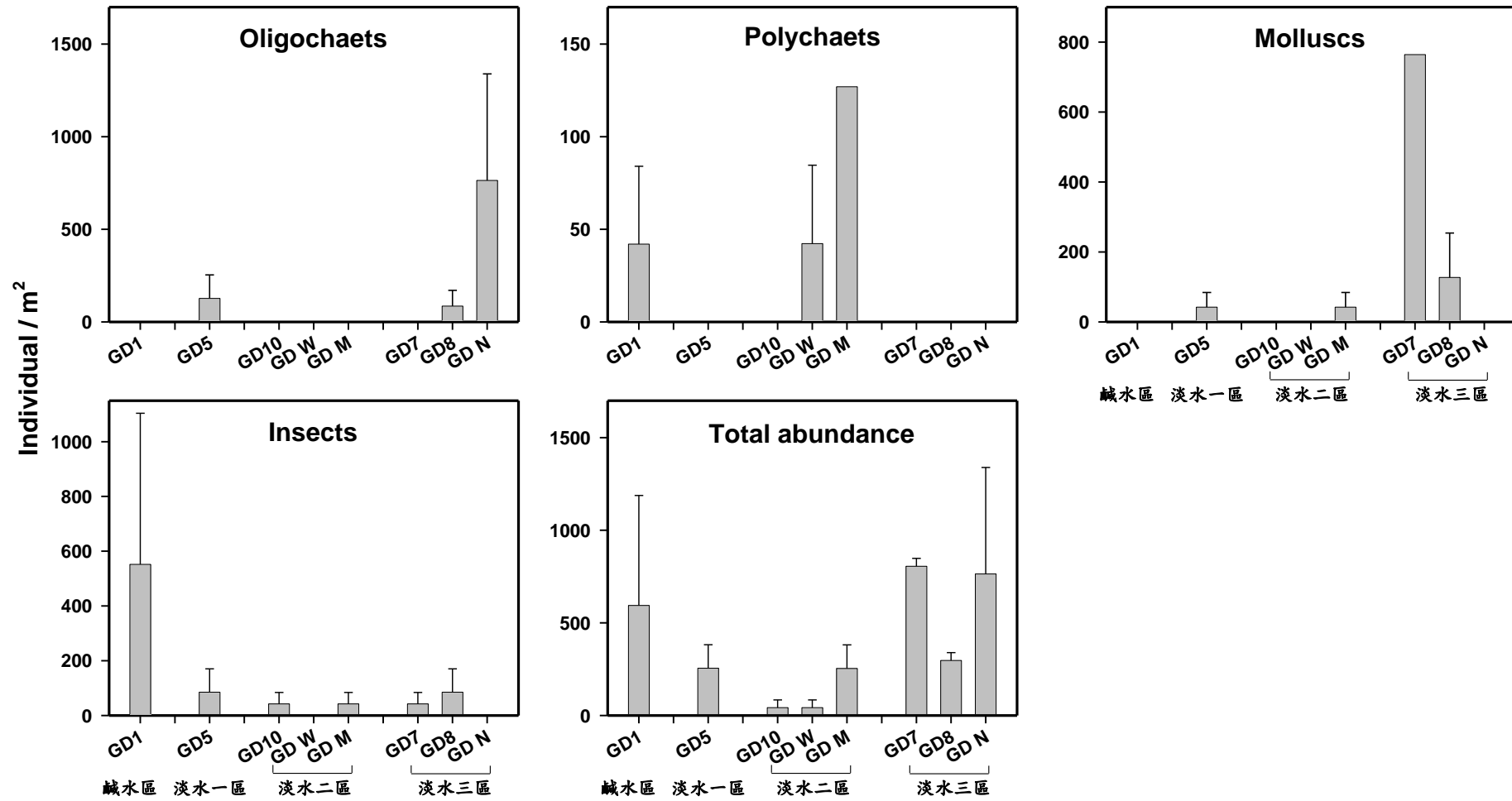
圖三、關渡自然公園各分區水池之水層溫度(temperature)、鹽度(salinity)、導電度(conductivity)、溶氧(dissolved oxygen, DO)、酸鹼值(pH)及氧化還原電位(oxidation-reduction potential, ORP)特徵。



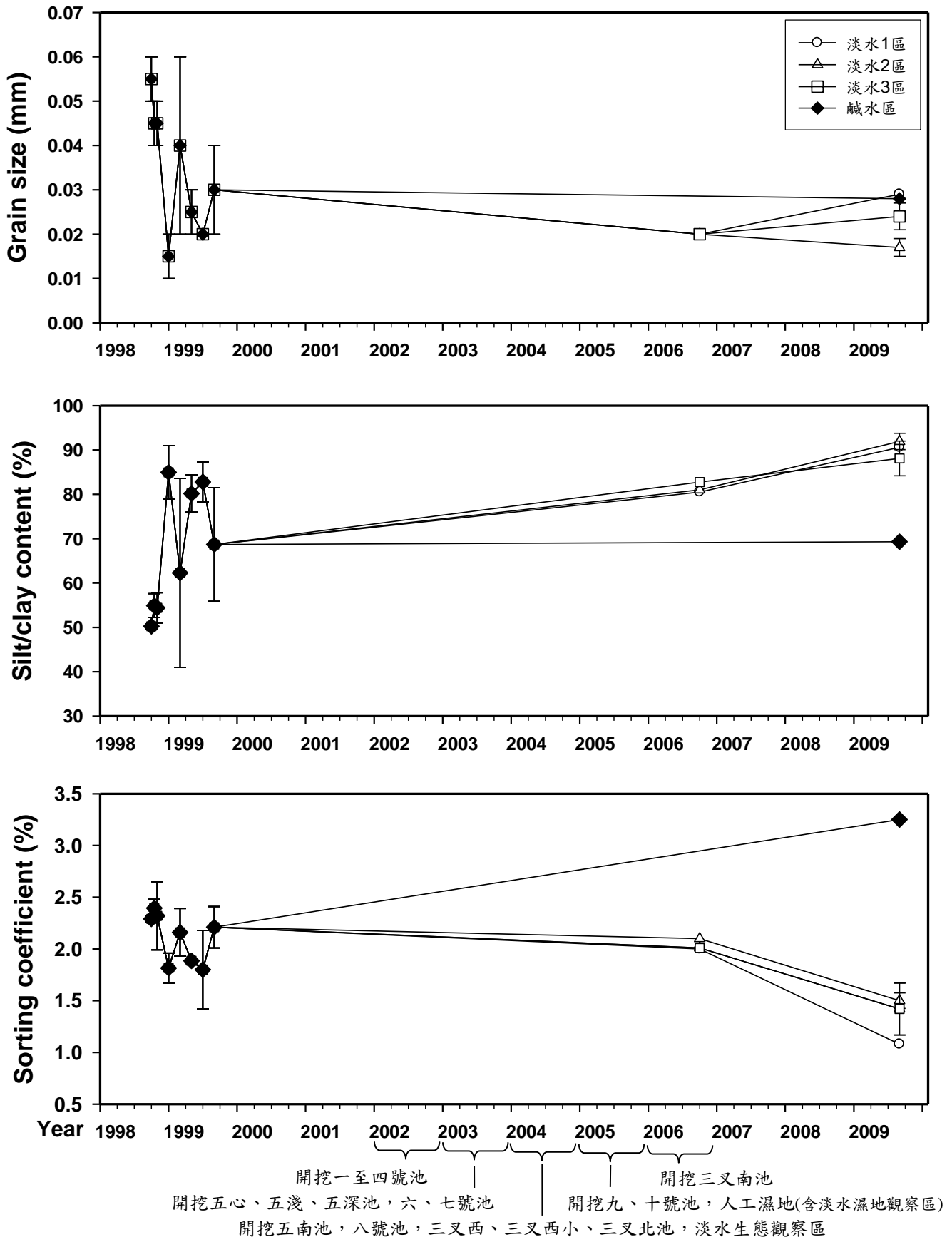
圖四、關渡自然公園各分區水池之底泥平均粒徑(grain size)、粉泥黏土含量(silt/clay content)、篩選係數(sorting coefficient)、含水量(water content)，以及酸鹼值(pH)特徵。



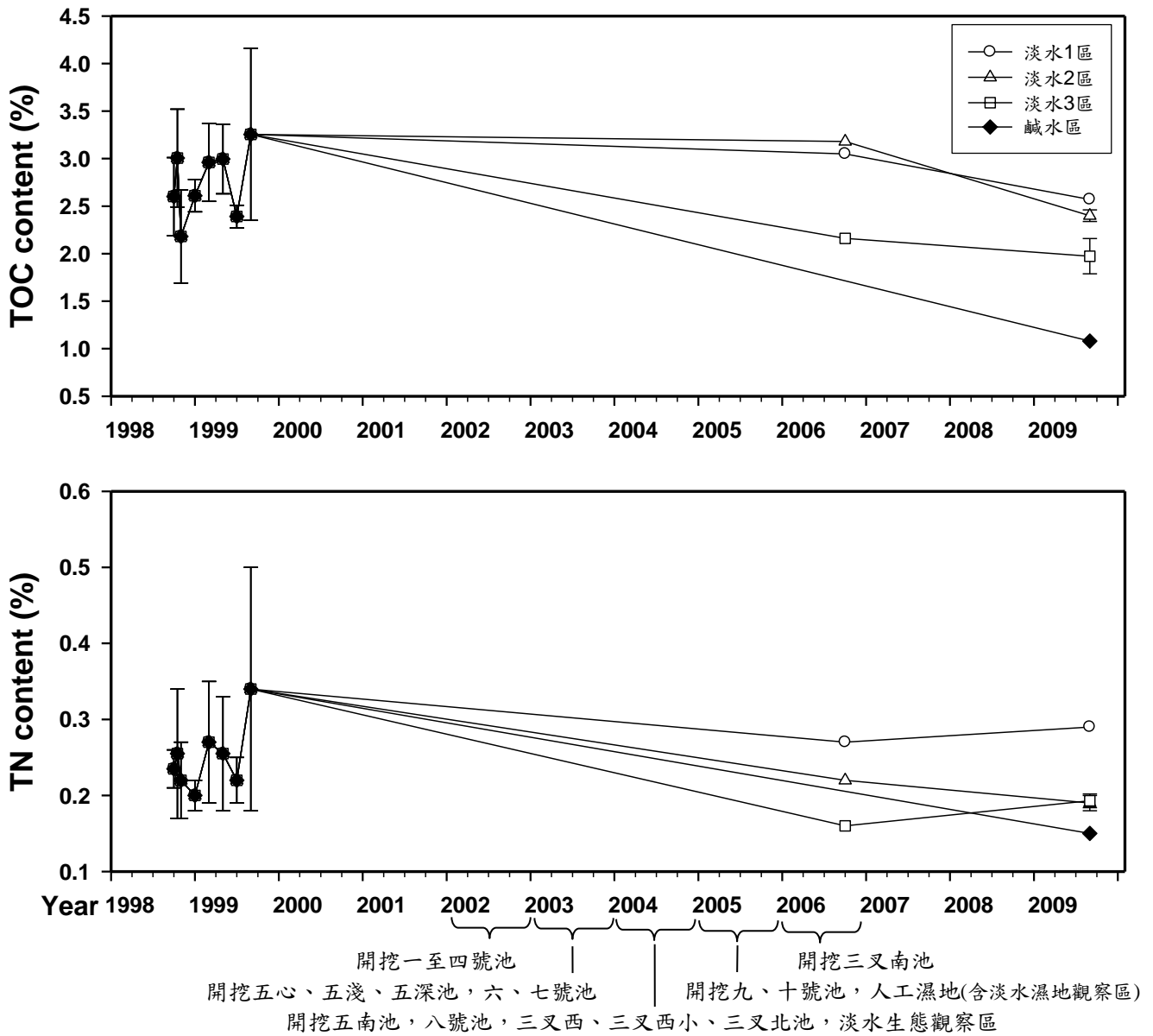
圖五、關渡自然公園各分區水池之底泥全有機碳(total organic carbon content, TOC content)、全氮含量(total nitrogen content, TN content)、以及葉綠素 *a* 含量 (Chlorophyll *a*) 特徵



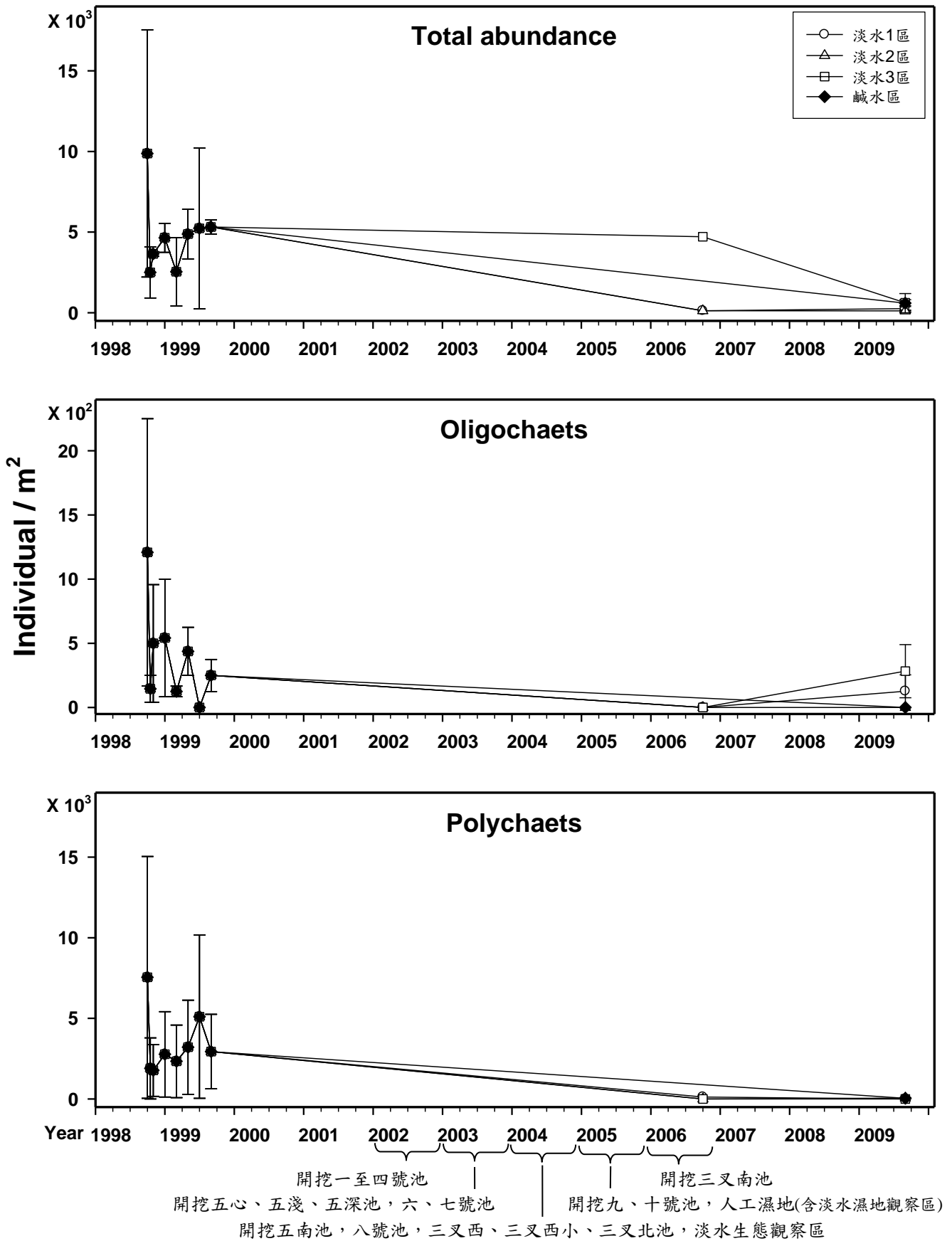
圖六、關渡自然公園各分區水池之底棲無脊椎動物總量(total abundance)以及各大類群動物(貧毛類, oligochaets、多毛類, polychaets、軟體動物, molluscs 及昆蟲, insects)的分布特徵



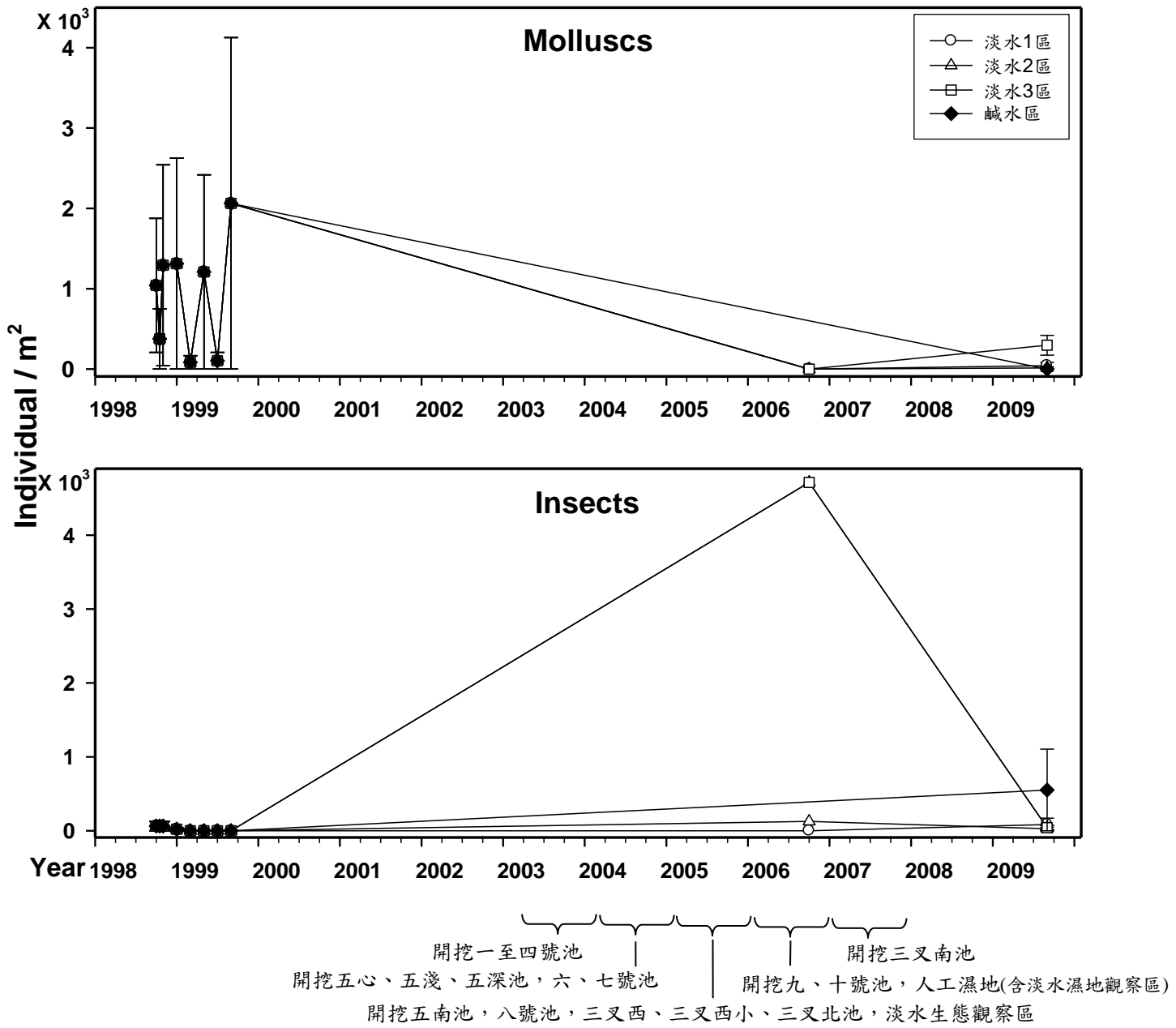
圖七、關渡自然公園底泥平均粒徑大小、粉泥黏土含量及篩選係數的時間變化圖。橫軸下方為棲地改善工程施作時程對應整理。



圖八、關渡自然公園底泥全有機碳及全氮含量的時間變化圖。橫軸下方為棲地改善工程施作時程對應整理。



圖九、關渡自然公園底棲無脊椎動物總量以及各大類群動物的時間變化圖。橫軸下方為棲地改善工程施作時程對應整理。



圖九(續)、關渡自然公園底棲無脊椎動物總量以及各大類群動物的時間變化圖。橫軸下方為棲地改善工程施作時程對應整理。

表一、關渡自然公園各水池之水質環境參數空間分布。

項目 \ 採樣點	鹹水區	淡水區一	淡水區二			淡水區三		
	一號池	五南池	十號池	三叉西池	三叉小池	七號池	八號池	三叉北池
水溫 (°C)	35.5	31.6	33.8	33.7	31.8	33.5	32.6	32.7
鹽度 (psu)	5.4	3.4	2.1	1.7	1.6	1.5	1.1	0.9
導電度 (mS/cm)	9.5	6.4	4.0	3.2	3.1	2.8	2.4	1.8
溶氧 (mg/L)	16.2	7.9	9.0	11.5	6.8	11.5	12.9	8.3
酸鹼值	9.8	7.6	9.8	9.8	7.6	8.4	9.2	7.8
氧化還原電位	69	42	58	51	40	117	67	94

表二、關渡自然公園各水池之底泥環境參數空間分布。

項目 \ 採樣點	鹹水區	淡水區一	淡水區二			淡水區三		
	一號池	五南池	十號池	三叉西池	三叉小池	七號池	八號池	三叉北池
平均粒徑 (mm)	0.028	0.029	0.015	0.021	0.016	0.018	0.029	0.023
粉泥/粘土含量 (%)	69.3	90.6	95.6	90.3	89.9	88.4	94.7	81.2
篩選係數	3.2	1.1	1.4	1.4	1.7	1.6	0.9	1.7
底泥含水量 (%)	55.2	67.6	54.1	50.0	40.2	42.3	57.2	52.3
間隙水酸鹼值	7.3	6.9	7.0	6.9	7.1	6.9	7.1	7.0
有機碳含量 (%)	1.08	2.57	2.36	2.32	2.52	1.64	2.00	2.28
全氮含量 (%)	0.15	0.29	0.20	0.20	0.17	0.18	0.21	0.19
底泥葉綠素 A 含量 (µg/cm ²)	16.6	2.0	3.3	3.9	5.0	5.1	0.2	13.1

表三：關渡自然公園各水池之底棲無脊椎動物類群密度(individual/l, mean±SE)空間分布

項目 \ 採樣點	鹹水區	淡水區一	淡水區二			淡水區三		
	一號池	五南池	十號池	三叉西池	三叉小池	七號池	八號池	三叉北池
環節動物門								
貧毛綱 (Oligochaeta)	0	127±127	0	0	0	0	85±85	764±575
多毛綱	0	0	0	0	0	0	0	0
纓總蟲科 (Sabellidae)	0	0	0	0	127±0	0	0	0
沙蠶科 (Nereididae)	42±42	0	0	42±42	0	0	0	0
軟體動物門								
腹足綱								
螺類 (Sail)	0	42±42	0	0	42±42	764	127±127	0
節肢動物門								
昆蟲綱								
水椿科 (Corixidae)	510±510	0	42±42	0	0	42±42	0	0
搖蚊科 (Chironomidae)	42±42	0	0	0	42±42	0	42±42	0
未知 (Unknown insect)	0	85±85	0	0	0	0	42±42	0
甲殼綱								
蝦類 (Shrimp)	0	0	0	0	42±42	0	0	0
合計	594±594	255±127	42±42	42±42	254±127	806±42	297±42	764±575

參考文獻

- Alerstam T, Gudmundsson GA, Johannesson K. 1992. Resources for long distance migration: intertidal of *Littorina* and *Mytilus* by knots *Calidris canutus* in Iceland. *Oikos* 65:179-189
- Buchanan, J. B. and J. M. Kain. 1971. Measurement of the physical and chemical environment. In: *Methods for the study of marine benthos*, International Biological Program Handbook no. 16 pp. 30-58, Ed by N. A. Holme and A. D. McIntyre. Oxford and Edinburgh: Blackwell Scientific Publications.
- Hornig CY. 1998. Influence of the marine polychaete, *Capitella* sp. I on the fate of sediment-bound polycyclic aromatic hydrocarbons – the role of feeding activity. Ph. D. dissertation, New Brunswick, New Jersey, U.S.A.
- Hsieh, H.L. and K.H. Chang. 1991. Habitat characteristics and occurrence of the spionid *Pseudopolydora* sp. on the tube-caps of onuphid *Diopatra*(*bilobata*)(Polychaeta:Spionidae,Onuphidae). *Bull. Inst. Zool. Academia Sinica*. 30(4):331-339.
- Hyland J, Balthis L, Karakassis I, Magni P, Petrov A, Shine J, Vestergaard O, and Warwick R. 2005. Organic carbon content of sediments as an indicator of stress in the marine benthos. *Mar Ecol Prog Ser* 295:91-103.
- 邵廣昭、張文亮、邱文良、謝蕙蓮、巫文隆、鄭明修、詹榮桂、馬堪津、劉小如、吳海音、林幸助。1999。關渡自然保留區與自然公園生物資源變遷之研究-期末報告，台北市政府建設局
- 陳恩理、陳章波。1994。底棲無脊椎動物群聚研究與海岸濕地鳥類保護區規畫的角色。海岸濕地生態及保育研討會論文集：114-154。
- 蔡嘉揚、陳炳煌。1994。以覆網實驗研究濱鵲的覓食生態。海岸濕地生態及保育研討會論文集：46-67。
- 謝蕙蓮。1990。台灣多毛類研究之回顧及其在環保應用之展望，*生物科學*，33(1):19-13。