

台灣地區飲用水水源及水質中優養化現況之調查

鄭幸雄¹、陳佩足²、簡杏純³、邱瓊芳³、王永福²

摘要

近年來台灣地區許多飲用水水源因受工業廢水、生活污水、畜牧廢水及施肥灌溉的污染、有機物與氮磷等污染成份造成給水源優養化。尤其台灣南部地區枯水期長，雨水期不均勻水量，給水廠傳統淨水程序對枯水期之優養化成份及暴雨期之濁度，皆有處理能力之限制，以致飲用水水質無法獲得民眾信任與滿意。

從淨水場處理現況調查及背景資料蒐集可看到，淨水場原水氨氮，僅南部港西水場因東港溪污染，濃度大於1.70 mg-N/L以上。88-89年度所調查七個水場中清水氨氮有六個檢出量大於0.1 mg-N/L的問題。另一方面在硝酸鹽氮方面，近兩年全省之淨水場中僅有兩個水場原水平均值大於10 mg-N/L，皆位於台灣中部山坡地區之地下水，且有增加之趨勢。而在亞硝酸鹽氮方面，淨水場清水皆低於飲用水水質標準0.1 mg-N/L。

特別在有機氮方面，所調查七個淨水場原水之有機氮約為0.25-1.11 mg-N/L，且大多大於氨氮，可見有機氮普遍存在於自來水水源中，卻一直被水質檢驗項目所忽略。而在適當環境條件下，有機氮可能因異營菌的水解而將有機碳氮斷鍵，進行氨化作用（Ammonification），裂解出氨氮，造成整個淨水系統中氨氮濃度增加，故有機氮的存在應有必要加以監控。

總磷為優養化水質指標，以美國環保署（USEPA）優養化指標（1974）為準，台灣各水庫除了日月潭及霧社兩水庫以外，其餘13個水庫皆已達到優養化水體（TP： $>20 \mu\text{g/L}$ ），且有逐年提高的現象。且各淨水場之水源，除A場外總磷皆大於 $20 \mu\text{g/L}$ ，已為優養化之水源。

一、前言

台灣地區許多飲用水水源因受工業廢水、生活污水、畜牧廢水及施肥灌溉排水的污染、有機物與氮磷等污染成份造成給水源優養化。尤其台灣南部地區枯水期長，雨水期不均勻水量，給水廠傳統淨水程序對枯水期之優養化成份及暴雨期之濁度，皆有處理能力之限制，以致飲用水水質無法獲得民眾信任與滿意。

在自然界中氮、磷是很重要的營養限制因子，於自來水淨水流程中，包括原水是否有優養化的現象，造成藻類阻塞濾床，或因氨氮太高而使加氯量過高進而造成臭味的問題，以及清水中硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮等物質的濃度是否會對人體有致癌性或不良的健康影響等，都顯示出氮、磷於自來水處理的重要性。

關鍵字：優養化、有機氮、氨氮、總磷

1：國立成功大學環境工程系教授 2：國立成功大學環境工程系碩士

3：國立成功大學環境工程系研究助理

而由於部份地區水源污染較嚴重，污染水質項目較特殊，如多種成份之氮磷水質，尚未進行完整之長期調查，因此為探討現行飲用水水源及水質中優養化現況，針對台灣地區飲用水水源及水質背景資料統計，並長期採樣檢驗以補充過去所欠缺含氮水質資料，建立各給水廠水源及飲用水之完整水質資料。

二、實驗設備與方法

2.1 採樣淨水場

以氮、磷為主要污染水源的淨水場進行採樣分析及調查，淨水場分別有北部的六堵淨水場；南部的蘭潭淨水場、拷潭淨水場、澄清湖淨水場及港西淨水場；離島的榮湖淨水場及太湖淨水場等一共七場。

2.2 實驗分析方法

本研究所需分析的實驗項目中，溫度、pH 值、溶氧、比電導度、濁度等皆於現場直接偵測，其餘項目之水樣則在適當處理後，帶回實驗室分析，分析方法如表 2-1 所示。

2.3 溶解性有機氮

將水樣以 $0.45\ \mu\text{m}$ 之醋酸纖維濾紙過濾，再依總凱氏氮 (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) 之分析方法分析，所得之結果減去氨氮值，即為溶解性有機氮 (Org-N(D))。

三、實驗結果與討論

3.1 各水庫之氮、磷水質資料收集

為收集台灣地區氮、磷水源之基本資料，以 82-88 年之台灣地區主要水庫水質監測計畫之期末報告整理有關氮、磷的水庫水源資料。調查報告中台灣本島、澎湖、金門及馬祖地區水庫共有 34 座，本研究選取其中蓄水量大於 1,000 萬立方公尺之水庫做為評估對象。分別為北區：翡翠、石門，中區：永和、明德、德基、霧社、日月潭，南區：曾文、烏山頭、南化，及南區水源水質較為嚴重者：蘭潭、仁義潭、澄清湖、鳳山及阿公店等共 15 座，除了明德、霧社及日月潭三水庫外其餘皆為公共給水水源。

根據圖 3-1 至圖 3-6，北區翡翠及石門兩水庫，氮氮的平均濃度為 0.13 及 0.14 mg/L，有機氮則為 0.29 及 0.30 mg/L，硝酸鹽氮 0.41 及 0.52 mg/L，亞硝酸鹽氮為 0.014 及 0.004 mg/L，總磷濃度則為 45 及 35 $\mu\text{g/L}$ 在美國環保署 (USEPA) 優養化指標 (1974) 中已達優養化水體 ($>20\ \mu\text{g/L}$)。

根據圖 3-7 至圖 3-12，中區：永和、明德、德基、霧社、日月潭等水庫，氮氮及有機氮之平均濃度為 0.10-0.31 mg/L、0.26-0.35 mg/L，硝酸鹽氮 0.34-0.85 mg/L，亞硝酸鹽氮濃度 0.005-0.028 mg/L，總磷濃度為 16-30 $\mu\text{g/L}$ 。雖然氮氮濃

度並不是很高，但若加上有機氮濃度即為總凱氏氮（TKN），已經將近水源水質標準之氨氮濃度（1mg/L），且由圖 3-8 看到近期有機氮有愈來愈高的趨勢。而在總磷部份也有逐年提高的現象，可以看出水庫優養化的問題愈來愈顯著。

根據圖 3-13 至圖 3-18 來看，南區：蘭潭、仁義潭、曾文、烏山頭、南化、澄清湖、鳳山等水庫，除鳳山水庫的氨氮平均濃度遠大於 1 mg/L、有機氮濃度約為 1.87 mg/L；阿公店水庫有機氮為 1.21 mg/L 其餘水庫氨氮及有機氮濃度皆 <1mg/L，硝酸鹽氮 0.24-1.63mg/L，亞硝酸鹽氮濃度以澄清湖和鳳山水庫值偏高約為 0.176-0.349mg/L，總磷濃度則為澄清湖、鳳山和阿公店有 224-1,326 $\mu\text{g/L}$ ，遠高於美國環保署（USEPA）優養化指標（1974）優養化水體（>20 $\mu\text{g/L}$ ）之水質。

綜合以上北、中、南三區水庫來看，不論在氨氮、有機氮、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮或正磷、總磷，南區幾個水庫如：澄清湖、鳳山和阿公店等在這些水質項目中濃度都比其他水庫來的高很多；而由水庫水質資料來看，有機氮的濃度普遍地已經相當於或甚至大於氨氮的濃度值，若只單純的注意氨氮的污染，可能會低估了在后續淨水程序中氮系污染物的來源；另一方面由總磷來看，在 14 個水庫中除了中區的霧社及日月潭，其餘水庫總磷平均濃度皆已到達優養化水體，需要長期的監測水庫優養化問題。

3.2 各淨水場之氮、磷水質資料收集

統合彙整台灣省自來水公司 82-83、84-85 及 86-87 年之水質檢驗統計年報由彙整資料如圖 3-19 至 3-24，82-87 年台灣省自來水水場之原水中氨氮平均值不符合現行水源水質標準（1 mg-N/L）場數從 82-83、84-85 年的 10、11 場降為 86-87 年的 4 場（此四場為港西、六堵、鳳山及昭明，其中港西淨水場有生物前處理單元，昭明為拷潭廠之取水站），原水平均值有降低的趨勢。但在清水方面平均值小於 0.1 mg-N/L 者分別為 95.2%、91.4%、98.2%。可見若以現階段飲用水水質標準來看，目前台灣省自來水淨水場仍有 2% 需要考慮清水氨氮濃度的問題。由硝酸鹽氮來看，從 82-87 年清水硝酸鹽氮除了 86-87 年中有一場（新社：地下水）超過現行標準 10 mg-N/L 外，其餘皆符合現行標準。對照原水硝酸鹽氮也有相同的情形，從 82-87 年中只有 86-87 年有兩場原水硝酸鹽氮平均值大於 10 mg-N/L（第四區的新街與新社）。除了歷年水質年報調查資料外，南投名間地區與嘉義大林地區山坡下游地區之地下水源，皆有硝酸鹽氮大於 10 mg-N/L 的事實，應詳加調查統計。根據圖 3-22，亞硝酸鹽氮從 82-87 年之清水平均值皆符合現行標準 <0.1 mg-N/L，故全省之清水水質在亞硝酸鹽氮這個項目是沒有問題的。

3.3 各淨水場水質之結果探討

3.3.1 六堵淨水場

由圖 3-25 及圖 3-26 清水硝酸鹽氮平均濃度為 1.37 mg/L、氨氮濃度為 0.06

mg/L、有機氮為 0.28mg/L 及亞硝酸鹽氮濃度檢測結果為 N.D.，本場之有機氮在第三次採樣有突升的現象，其餘 N 系皆符合飲用水水質標準。在磷酸鹽方面，原水總磷、正磷分別為 0.14 mg/L 及 0.04 mg/L，經淨水流程後已去除至 0.01 mg/L 及 N.D.。目前台灣地區並沒有針對磷管制，但歐洲經濟共同市場規定之公共供水表面水源之標準為 0.31 mg/L，因此由結果顯示，本場之原水水質已稍微受磷污染。

由圖中五次採樣數據來看原水中氮氮值的標準差為 0.44 mg/L 變動性非常的大，有機氮也有這樣的現象，由於本場的水源為來自基隆河及瑪陵坑溪的兩股匯流，故可預期水質的穩定性不佳；而在清水方面，也可看到有機氮的濃度變動性很大。原水中的氮氮尤其以第三次採樣值高達 1.07 mg/L 已超出飲用水水源水質標準 (1 mg/L)，雖然清水水質可達標準但仍需要注意水源污染物質的濃度。

3.3.2 蘭潭淨水場

蘭潭淨水場取水源為一水庫，水質狀況從檢驗結果圖 3-27 及圖 3-28 中可看出都較其它場為佳。由圖原水有機氮為 0.25 mg/L、氮氮濃度為 0.07 mg/L 而亞硝酸鹽氮為 N.D.。其中雖然氮氮濃度只有 0.07 mg/L 但有機氮仍然有 0.24 mg/L，如果只以氮氮來評估水質，有失客觀。清水平均值分別為氮氮濃度 0.07mg/L、有機氮為 0.14mg/L，亞硝酸鹽氮為 N.D.，由採樣分析結果顯示，本場之氮系部份皆符合飲用水水質標準。在磷酸鹽方面，原水總磷及正磷平均皆為 0.01 mg/L 而清水總磷、正磷平均則為 0.01 mg/L、N.D.。

由五次採樣數據來看原水及清水的水質變化並不大，可推測由水庫中所引進之原水水質變化並不至於受到季節性的影響。

3.3.3 拷潭淨水場

由圖 3-29 及圖 3-30 原水硝酸鹽氮平均濃度為 1.65 mg/L、氮氮濃度為 0.10 mg/L、有機氮濃度為 0.32 mg/L。清水硝酸鹽氮平均濃度 1.96mg/L，與原水無很大之差別，氮氮濃度為 0.05mg/L、有機氮濃度為 0.07mg/L，由採樣分析結果顯示，本場之氮系部份皆符合飲用水水質標準。在磷酸鹽方面，總磷、正磷去除至 0.02 mg/L。

由五次採樣的數據來看，氮氮及有機氮在 89/04 及 89/07 兩次採樣中有偏高的趨勢，而在原水總氮方面 (89/01-89/10) 約在 2.0-2.5 mg-N/L 之間，當氮氮及有機氮偏高時硝酸鹽氮會較低，顯示輕度的初期污染，當氮氮及有機氮較低時硝酸鹽氮會偏高，顯示氮系水質已趨氧化穩定。故由圖中可得知，如果原水在進入淨水場時已將部份的氮氮及有機氮轉換成硝酸鹽氮，在清水就可以去除到 <0.1 mg/L。

3.3.4 澄清湖淨水場

從圖 3-13 至圖 3-18 南區水庫水質調查比較裡可看到，本場之水源背景水質

比其他水庫 N、P 的污染嚴重許多。水質狀況從檢驗結果中可看出(由圖 3-31 及圖 3-32)，原水中的氨氮平均濃度為 0.11 mg/L 但有機氮卻有 0.70 mg/L，但至清水去除至 0.08、0.11 mg/L，氨氮已達水質標準且有機氮也可去除至 0.11mg/L，硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮亦皆符合水質標準。原水總磷的平均濃度為 0.16 mg/L，清水 0.02 mg/L，去除效率可達 87.5%，正磷可去除至 N.D.。從五次採樣來比較，第三次採樣(89/04/12)的水質比其餘四次較不好，其中原水氨氮與有機氮之和已達 1.23mg/L，經處理流程後清水中有機氮還殘餘 0.20mg/L 若再加上清水中氨氮 0.08mg/L，已經超過氨氮水質標準 0.1mg/L 標準，值得注意。

3.3.5 港西淨水場

該場長期受河川污染之影響，而成為南部水質較差之淨水場，由採樣分析結果來看(圖 3-33 及圖 3-34)，在原水中硝酸鹽氮平均濃度為 1.43mg/L，亞硝酸鹽氮為 0.22mg/L，氨氮則有 4.08mg/L 顯示近遠期氮系污染現象皆有；而清水中硝酸鹽氮平均濃度增加至 4.91mg/L，氨氮為 0.08mg/L、亞硝酸鹽氮則為 N.D.。原水氨氮值遠超過飲用水水源管制標準，故該水廠在傳統淨水程序前加入一生物膜前處理單元 (RBC)，若以 RBC 出流水水質來比較，氨氮濃度為 1.22mg/L，仍是不合乎飲用水水源水質標準。

硝酸鹽氮在清水中濃度增加的原因，為該場現行運轉一套好氧旋轉生物圓盤(Rotating Biological Contactors, RBCs)，氨氮在經過旋轉生物圓盤時，則會因生物硝化作用形成亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮，造成清水中硝酸鹽氮的增加。因此從整個效益來評估，利用旋轉生物圓盤來減少氨氮濃度及加氣量，雖然硝酸鹽氮在清水中增加，但仍不超過水質管制標準 (10 mg/L)，卻可減少加氣量以降低三鹵甲烷的生成量，所以此方法對水質的改善仍然有相當程度上的助益。由圖中得知，經過 RBC 後，有機氮及氨氮分別去除了 46%及 70%可驗證 RBC 確實有減少氨氮濃度的功能。

在磷酸鹽方面，原水總磷、正磷分別為 1.08mg/L 及 0.59 mg/L，經淨水流程後已去除至 0.10 及 0.04 mg/L。因此由結果顯示，本場之原水已嚴重受磷污染且清水水質也在優養化水體的優養範圍。

由五次採樣來看，本場的原水水質不論在 N 系或 P 系變化都很大，不易掌握原水水質的變動性，由表亦可以看到在第二、第三及第四次採樣得到的氨氮濃度偏高，以至於生物濾床後的氨氮濃度仍高於 1.0 mg/L，也使得清水的氨氮及有機氮濃度之和仍有 0.2-0.5 mg/L 之間，已經超過飲用水水質標準，故不論以原水或清水來看此水場都需要做長時間的監測。

3.3.6 榮湖、太湖淨水場

採樣分析結果顯示(由圖 3-35 至圖 3-38)原水硝酸鹽氮平均濃度為 0.32、0.64 mg/L；亞硝酸鹽氮為 0.01、0.10 mg/L；氨氮為 0.34、0.36mg/L；有機氮為 0.86、

1.11 mg/L。兩淨水場原水氨氮濃度雖然沒有超出標準，但有機氮仍然有 0.86、1.11 mg/L，值得注意。清水硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮皆符合水質標準，但氨氮卻有 0.09、0.12 mg/L(近於飲用水水質標準 0.1 mg/L)。在磷酸鹽方面，兩場總磷皆有良好的去除效率約為 80%，且正磷也可去除至 0.01 mg/L。

由於金門無大河川，一般為溪渠，平時乾涸無水，水質受到污染，且此兩場的水源污染來自於相同性質污染，即家庭污水、軍區污水及禽畜廢水為主，故水源水質一直不是很好且不穩定，現場採樣時，肉眼即可看出原水池藻類滋生之優養化現況，也可由五次聯合採樣水質結果看到。如太湖場的原水有機氮標準差為 0.82mg/L、清水為 0.14mg/L 有相當大的變異，故仍須詳加注意。而在五次的採樣水質中也可以看到在太湖水場，89 年的三次採樣中有機氮的濃度皆遠大於 1mg/L，甚至已經接近 2mg/L，以至於經傳統的淨水程序後仍有 0.3mg/L 的濃度。D 場的氨氮及有機氮濃度在後三次採樣也都趨進於 0.5 及 1.0mg/L，至清水後氨氮及有機氮濃度的和(即 TKN)約為 0.3 mg/L，故需長時間的監測。

3.3.7 淨水場之分析結果

由七次採樣的平均數據可以很明顯的看到，雖然七場清水水質分析的結果，在前加氯情形下，除離島兩水場之清水氨氮值在 0.09、0.12 mg/L，其餘各場之氨氮都能有效的去除降至 0.10 mg/L 以下，但有機氮的濃度卻都大於氨氮的濃度。在台灣地區這樣屬於開放日照式之淨水程序系統，又加上優養化水源使得砂濾床有生物活性化的現象；這樣的情形可能造成過濾系統中截留的微生物將有機氮裂解為氨氮使得氨氮濃度再次升高，而再次引起藻類滋生及臭味的問題，甚至在配水管網中有微生物後生長的可能性。這樣的可能性讓我們不得不去注意有機氮存在於原水或清水中的事實。

綜合七場硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮的水質資料來看，亞硝酸鹽氮在清水中的濃度均為 N.D.，而清水中硝酸鹽氮與原水中的硝酸鹽氮濃度相近並無減少，可知傳統淨水程序對硝酸鹽氮並無法有效去除。比較特別的是港西場之 RBC 後硝酸鹽氮有明顯增加，應是 RBC 中硝化菌氧化氨氮形成硝酸鹽氮所造成，生物作用在此也可看到。

在台灣目前並無管制水源及水質之磷酸鹽的濃度，但優養相關指標中指出水庫之總磷濃度如大於 0.02mg/L 即為優養湖。由七場分析結果平均值來看，除港西場清水中總磷的濃度為 0.10 mg/L 外，其餘水場的正磷及總磷濃度均能大幅度去除降至 0.02 mg/L 以下，推測是為傳統之混凝、沉澱程序所去除之結果。由此水質資料亦可以看，當某些以水庫做為淨水場之原水，其總磷之濃度皆已達優養的階級，本年度採樣中雖有降低之情況，但仍值得做一長期性的監測。

3.4 淨水場中原水之 TKN 綜合評估

總凱氏氮 (TKN) 為氨氮加有機氮之總合。因此在本研究中，有機氮含量之求得是利用 TKN 值減去氨氮值而間接求得。在原水中氨氮含量的多寡，除了反應到污染情形外，更直接影響到前加氣量，因此各水場長期以來對於原水及清水皆有檢測。

有機氮的存在可能在適當環境條件下，因異營菌的水解有機碳氮斷鏈作用而進行脫氨化作用(deamination)，裂解出 NH_4^+ ，造成整個淨水系統中 NH_4^+ 值的增加。因此希望對有機氮存在的形式作更詳細描述，以深入了解水源污染特性及在淨水程序各單元中的消長情形。根據圖 3-39 所示，以下是針對各淨水場在採樣期間(88/10~89/10)原水 TKN 組成之互相比較及探討：

1、六堵：

該場原水之 TKN 總量約在 0.35~1.60 mg-N/L 區間變動，各季節變化情形頗大，最高時尚有 1 mg-N/L 的差異。全年中儘管氨氮變化情形頗大，有機氮皆佔有一定份量。從 TKN 年平均量來看，有機氮及氨氮約各佔一半。

2、蘭潭：

原水 TKN 總量約在 0.16~0.45 mg-N/L 間變動，從圖中可知該場有機氮污染情形較氨氮嚴重，反之，原水中氨氮濃度普遍極低。豐水期 TKN 污染量較枯水期為高，一般來說，從 TKN 年平均量來看，有機氮雖僅有 0.2 mg-N/L，而有機氮之含量約高於氨氮含量 8 倍。

3、拷潭：

該場在豐水期有數倍於枯水期之 TKN 污染量，此期間中氨氮變化不大，但有機氮變化頗多，尤其在 89/4/12 及 89/07/03 中有機氮含量為 0.5 mg-N/L 以上，年平均值顯示，該場 TKN 污染物以有機氮居多，其含量約為氨氮之 3 倍。

4、澄清湖：

從圖中可以明顯觀察到，該場 TKN 於枯水期末期達到最高峰，雨季時即有下降之趨勢，此種現象為河流型水源之特徵，TKN 總量約在 0.43~1.23 mg-N/L 間變動，氨氮僅在 0.1mg/L 上下變動，而有機氮年平均可達 0.8 mg-N/L，在枯水期末期更高達 1.2 mg-N/L。年平均顯示，該場 TKN 污染物以有機氮居多，其含量約為氨氮之 7 倍。

5、港西：

該場之原水取自東港溪，由於水源污染嚴重，TKN 總量最高時可達 7.29 mg-N/L，顯示氨氮、有機氮污染嚴重。在枯水期末期氨氮量高達 7.28 mg-N/L，與其他淨水場原水質比較，可明顯看出該水源以氨氮問題最為嚴重，其氨氮之年平均值為有機氮之 5 倍，不同於其它水源特性。

6、榮湖：

TKN 總量約在 0.90~1.41 mg-N/L 間變動。其中值得注意的是，有機氮大約

維持在 1.0 mg-N/L 左右，並不會因雨季來臨而有太大的變化，年平均顯示，該場 TKN 污染物以有機氮居多，其含量約為氨氮之 3 倍。

7、太湖：

同樣位於金門，本場 TKN 組成亦以有機氮居多，其年平均含量約為氨氮之 4 倍，TKN 總量約在 0.30~2.33 mg-N/L 間，變動頗大。

綜合以上結果，從各場的 TKN 分析中，可以看到除了港西場以氨氮為主以外，其餘各場均有有機氮的潛在威脅，其存在的含量往往數倍於氨氮量。由於有機氮在過濾濾床中如截留有異營菌存在下可能裂解出氨氮，使得在淨水程序及配水系統中，增加加氯量且加速餘氯之消耗，有鑑於此，顯示各淨水場除了平日氨氮之監控外，亦應注意有機氮的變化。而且 TKN 更呈現一特殊現象，如果水源為河川流動水，則氮系污染物以氨氮居多；如果水源為水庫或湖水則以有機氮為主，從圖上可看出，除了港西、六堵二個淨水場，其 TKN 以氨氮為主外，其餘各廠都有相當大比例有機氮存在。顯示台灣各水庫中，有機氮的污染物極為普遍其與水庫水質優養化，藻類普遍存在的事實有關。

然而，有機氮可區分為溶解性有機氮及懸浮性有機氮，這兩種有機氮之物化性質不同，其在淨水程序中之去除機制亦不同。懸浮性有機氮可藉由混凝沉澱及砂濾床去除；而溶解性有機氮在傳統前加氯之淨水場中，僅能利用混凝沉澱程序作部份去除，未處理完之溶解性有機氮極可能進入配水管網中加速餘氯消耗。所以為更清楚了解有機氮之特性，本研究中特別將(89/1/18)及(89/4/12)兩次原水檢驗中，將有機氮做進一步區分，從圖 3-40、圖 3-41 中可以看到，隨著季節的改變，溶解性及懸浮性有機氮的相對比例也不同，其中六堵、拷潭、澄清湖、港西、太湖中，以懸浮性有機氮居多；而溶解性有機氮之含量則在枯水期末期於各場中，除六堵、港西場外有明顯增加之趨勢，因此在這些水廠中相較於少量之氨氮，高濃度之有機氮更應值得注意。若進一步將地域性及氮系污染物關聯，由於氮系污染物在天然水域中，藉由普遍存在的水生植物(如藻類、水萍、布袋蓮...等)以及微生物(如好氧性硝化菌、缺氧性脫硝菌以及各種有機物異營菌)之長期生物分解反應，而演變成各種氮化物，造成各水場原水水質差異，如水庫儲水時間長短，與流動性河水有不同消長程度。況且，台灣各地水體水溫高，日晒普遍較強，各類淨水程序設施皆為開放式，空氣和日晒等環境條件，皆有利於水體中微生物之滋生，因此原水水質的差異不僅流域中之污染源影響，更可能因氣候條件而造成各淨水場有機氮特性之差異。因此為確切掌握氮系污染物之種類及含量分佈，各淨水場宜長期監測追蹤，以了解該水場之特性。

四、結論

(一)探討台灣地區各水庫及各淨水場含氮、磷化合物之背景分析

- a、水庫中之氨氮：普通低於 1 mg/L
- b、水庫中有機氮：南部地區之水庫普遍有優養化現象，其有機氮的濃度也普遍相當於或大於氨氮的濃度，可能低估水庫水質供飲用水源品質，在後續淨水場程序中氮系污染物所造成的水質欠佳問題。
- c、總磷為優養化水質指標，以美國環保署（USEPA）優養化指標（1974）為準，台灣各水庫除了日月潭及霧社兩水庫以外，其餘 13 個水庫皆已達到優養化水體（TP： $>20\mu\text{g/L}$ ），且有逐年提高的現象。

(二) 七淨水場採樣檢驗氮、磷化合物之統計分析

氨氮（五季共七場）：

- (1) 原水中氨氮：僅港西場因東港溪明顯污染致五季氨氮濃度皆大於 1.70 mg/L 以上，六堵場枯水季大於 1.0 mg/L，其他五淨水場原水氨氮濃度皆小於 0.75 mg/L。港西場雖先經旋轉生物盤程序前處理，仍有半數次無法符合水源水質標準(1 mg/L)。
- (2) 清水中氨氮：清水氨氮濃度除太湖為 0.12 mg/L 其餘淨水場皆在 0.1 mg/L 以下，符合現行飲用水水質標準。

硝酸鹽氮（五季共七場）：

- (1) 原水中硝酸鹽氮：以港西場的 2.97 mg/L 為最大值，其餘約在 0.2~2.2 mg/L 之間。
- (2) 清水中硝酸鹽氮：以港西場最高，其年平均 4.91 mg/L，仍在 10 mg/L 飲用水水質標準以下，其他六場清水硝酸鹽氮皆在 2 mg/L 以下，尚屬安全水質範圍。

亞硝酸鹽氮（五季共七場）：

- (1) 原水中亞硝酸鹽氮：以六堵場的 0.45 mg/L 為最大值，港西場的 0.43 mg/L 次之，其餘約在 N.D.~0.3 mg/L 之間。
- (2) 清水中亞硝酸鹽氮：清水中亞硝酸氮之檢測值均為 N.D.（本實驗室之 MDL：0.002 mg/L），均符合飲用水水質標準（0.1 mg/L）。

有機氮（五季共七場）：

- (1) 原水中有機氮：以太湖場的 1.91 mg/L 為最大值，其餘約在 0.3~1.6 mg/L，濃度大於 1.0 mg/L 共有 6 次佔 17%，且普遍大於原水氨氮濃度，可見有機氮之普遍存在於自來水水源。
- (2) 清水中有機氮：清水中僅有 2 次含有機氮濃度大於 0.5 mg/L，其餘皆低於 0.3 mg/L 或為 N.D.。

總磷（五季共七場）：

- (1) 原水中總磷：仍以港西場因東港溪污染而高出 1.0 mg-P/L，其他六水場皆

在 0.4 mg/L 甚至 0.2 mg/L 以下。港西場雖先行 RBC 前生物處理，總磷仍未顯著去除。

(2) 清水中總磷：各水場淨水程序後，清水中含總磷之濃度皆明顯下降至 0.1 mg/L 以下。

參考文獻

1. 鄭幸雄，「飲用水水源與水質標準之綜合檢討及澄清湖給水廠水質改善評估(期末報告)」，行政院環保署研究報告，成功大學環境工程研究所，87年5月。
2. 王文華，「生物濾床處理澄清湖優養化給水源之研究」，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，88年6月。
3. 王永福，「淨水程序中微生物分佈及營養源之生物分解研究」，國立成功大學環境工程研究所碩士論文，89年。
4. 台灣省自來水公司，「臺灣省自來水公司 82-83 年水質檢驗統計」，84年。
5. 台灣省自來水公司，「臺灣省自來水公司 84-85 年水質檢驗統計」，86年。
6. 台灣省自來水公司，「臺灣省自來水公司 86-87 年水質檢驗統計」，88年。
7. 台灣地區八十三年度主要水庫水質監測計畫，行政院環境保護署，83年。
8. 台灣地區八十四年度主要水庫水質監測計畫，行政院環境保護署，84年。
9. 台灣地區八十五年度主要水庫水質監測計畫，行政院環保署，85年。
10. 台灣地區八十六年度主要水庫水質監測計畫，行政院環保署，86年。
11. 台灣地區八十七年度主要水庫水質監測計畫，行政院環保署，87年。
12. 台灣地區八十八年度主要水庫水質監測計畫，行政院環保署，88年。
13. Carlson R. E. (1977) "A trophic state index for lakes" *Limnol. and Oceanogr.*, Vol.22, pp361-369.
14. USEPA, "Drinking Water Standards and Health Advisories", Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C., 2000.

表 2.1 實驗設備與方法

項 目	單 位	分 析 方 法	MDL*	儀 器
TKN	mg/L as N	硫酸銨催化消化、蒸餾、納氏比色法 [NIEA W420.50B]	0.10	Digestion System 6, 1007 Digester 蒸餾加熱器、Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NH ₄ ⁺ -N	mg/L as N	納氏比色法 [NIEA W416.50A]	0.05	蒸餾加熱器、Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
NO ₂ ⁻ -N	mg/L as N	分光光度計法 [NIEA W418.50T]	0.002	Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)

NO ₃ ⁻ -N	mg/L as N	分光光度計法 [NIEA W419.50A]	0.007	Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
TP	mg/L as P	維生素丙比色法 [NIEA W427.50A]	0.003	高壓滅菌器、Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)
PO ₃ ³⁻ -P	mg/L as P	維生素丙比色法 [NIEA W427.50A]	0.003	高壓滅菌器、Spectrophotometer Model 100-10 (HITACHI)

*MDL 為本實驗室之方法偵測極限值

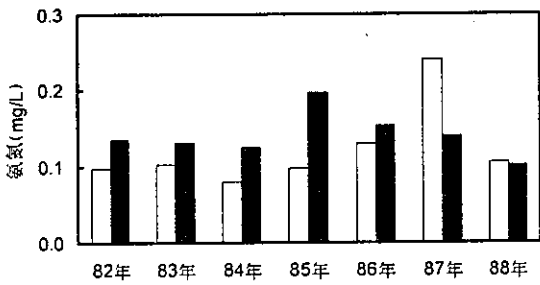


圖 3-1 北區各水庫氨氮濃度之比較(82-88 年)

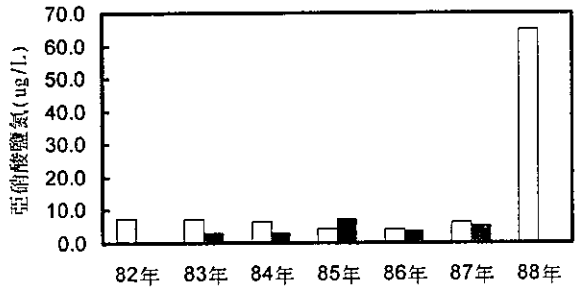


圖 3-4 北區各水庫亞硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

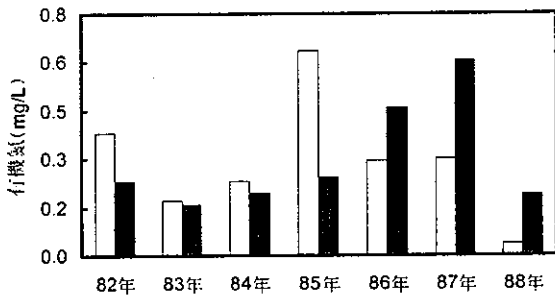


圖 3-2 北區各水庫有機氮濃度之比較(82-88 年)

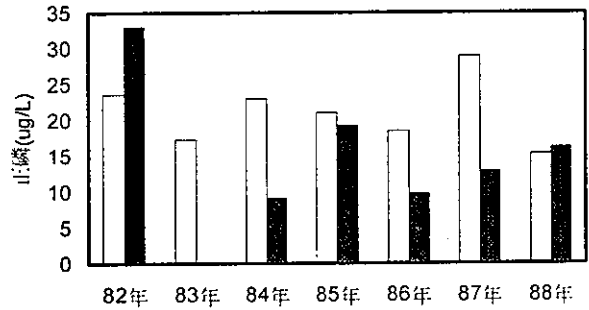


圖 3-5 北區各水庫正磷濃度之比較(82-88 年)

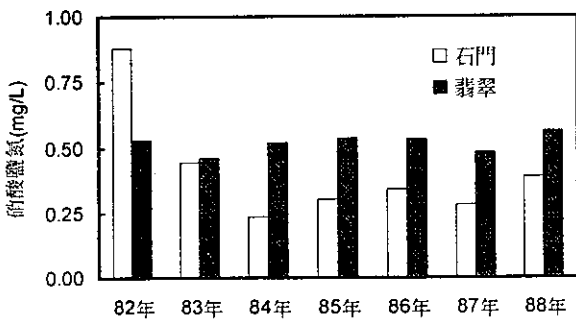


圖 3-3 北區各水庫硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

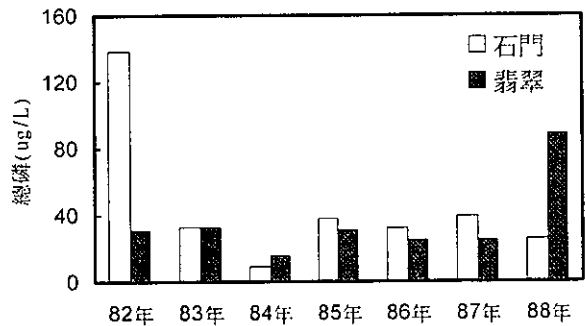


圖 3-6 北區各水庫總磷濃度之比較(82-88 年)

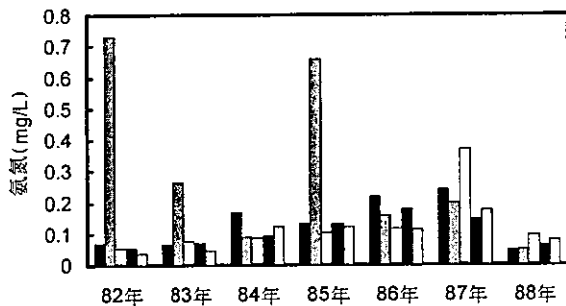


圖 3-7 中區各水庫氨氮濃度之比較(82-88 年)

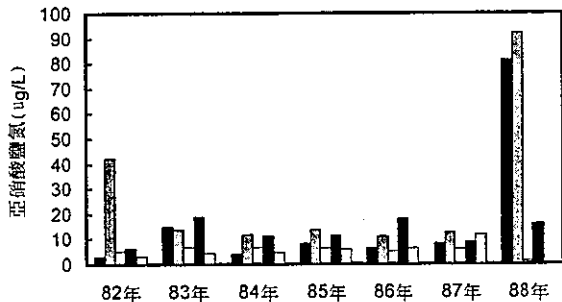


圖 3-10 中區各水庫亞硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

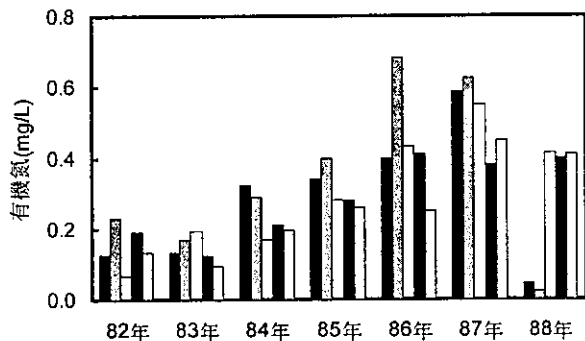


圖 3-8 中區各水庫有機氮濃度之比較(82-88 年)

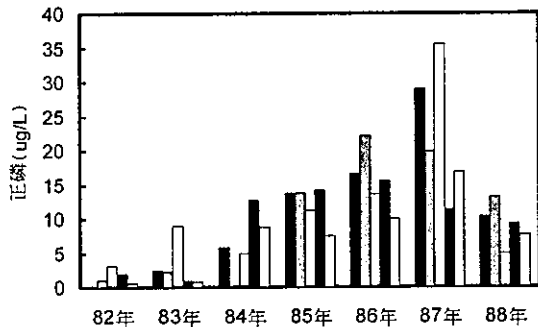


圖 3-11 中區各水庫正磷濃度之比較(82-88 年)

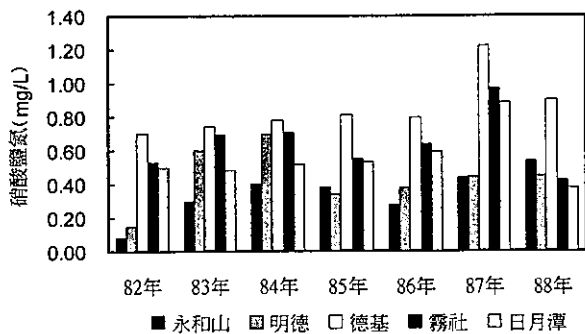


圖 3-9 中區各水庫硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

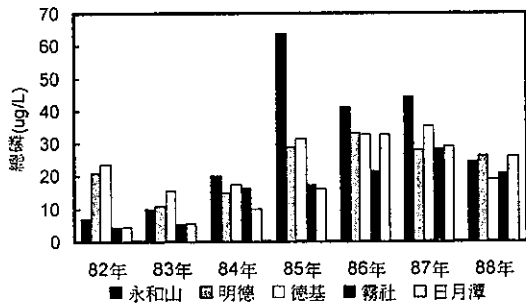


圖 3-12 中區各水庫總磷濃度之比較(82-88 年)

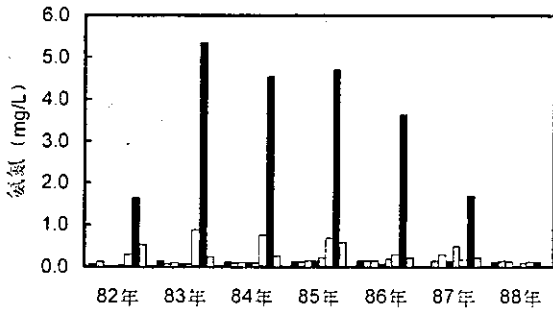


圖 3-13 南區各水庫氨氮濃度之比較(82-88 年)

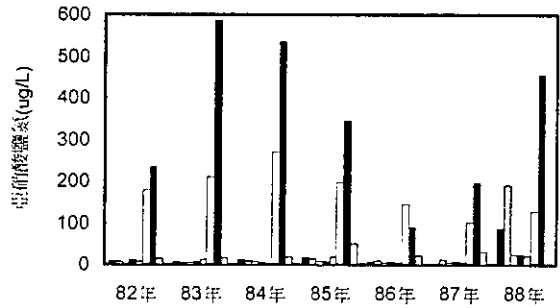


圖 3-16 南區各水庫亞硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

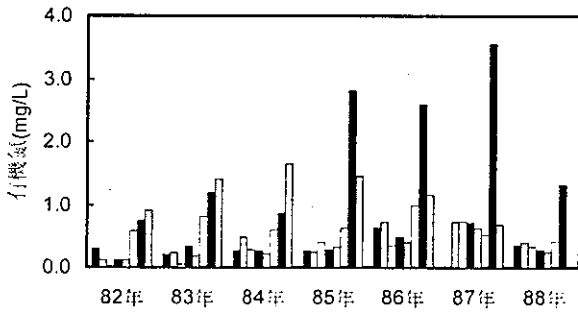


圖 3-14 南區各水庫有機氮濃度之比較(82-88 年)

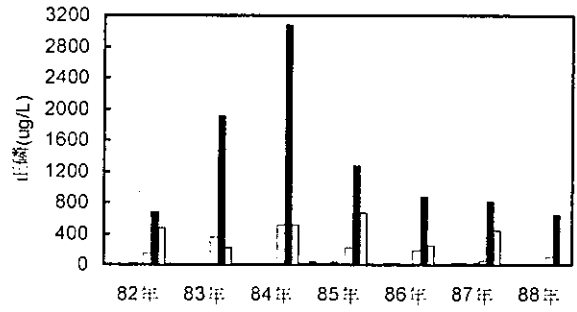


圖 3-17 南區各水庫正磷濃度之比較(82-88 年)

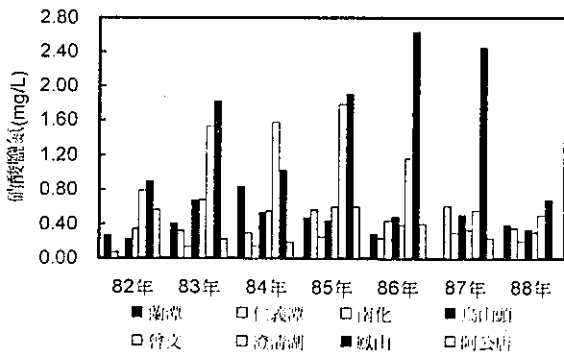


圖 3-15 南區各水庫硝酸鹽氮濃度之比較(82-88 年)

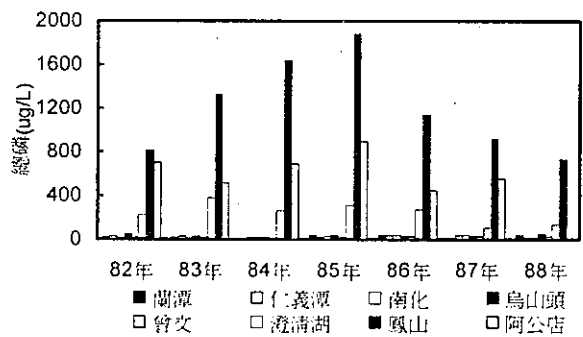


圖 3-18 南區各水庫總磷濃度之比較(82-88 年)

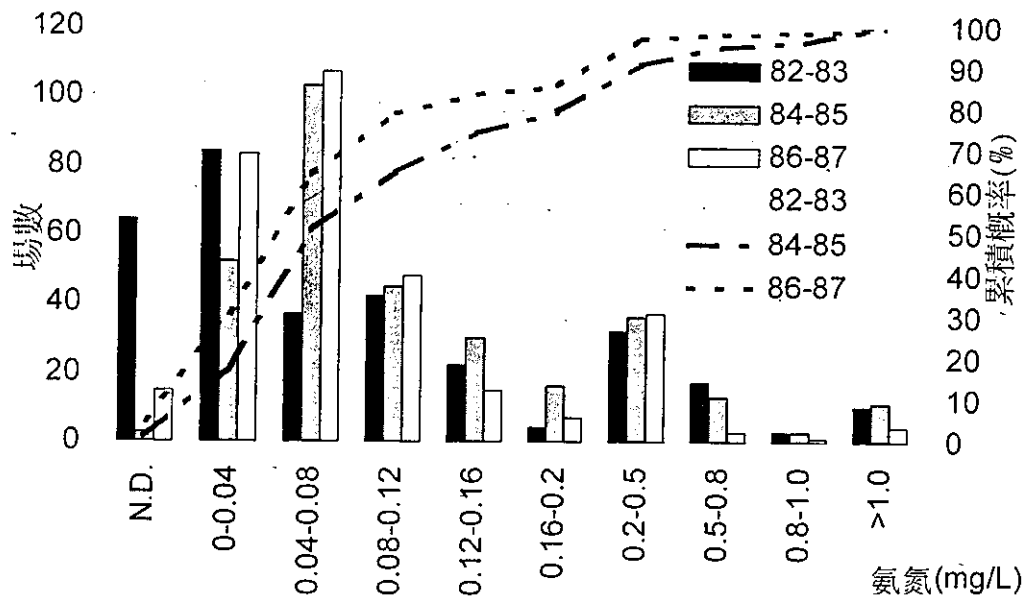


圖 3-19 82-87 年原水氨氮年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=315;84-85 年:n=312;86-87 年:n=320)

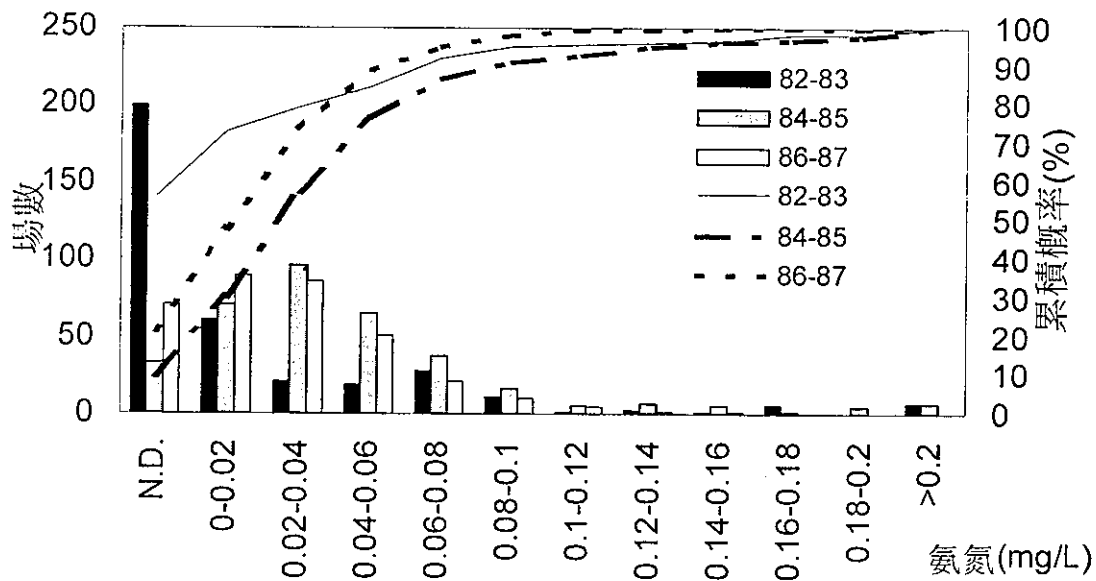


圖 3-20 82-87 年清水氨氮年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=355;84-85 年:n=348;86-87 年:n=333)

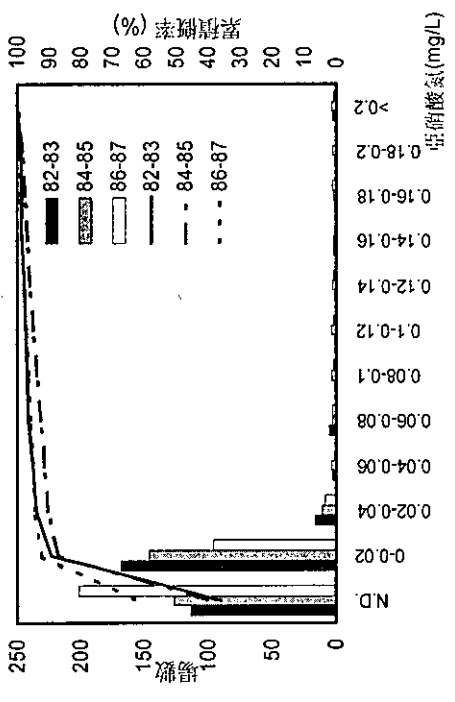


圖 3-21 62-87 年東京小平川流域各年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=315;84-85 年:n=312;86-87 年:n=320)

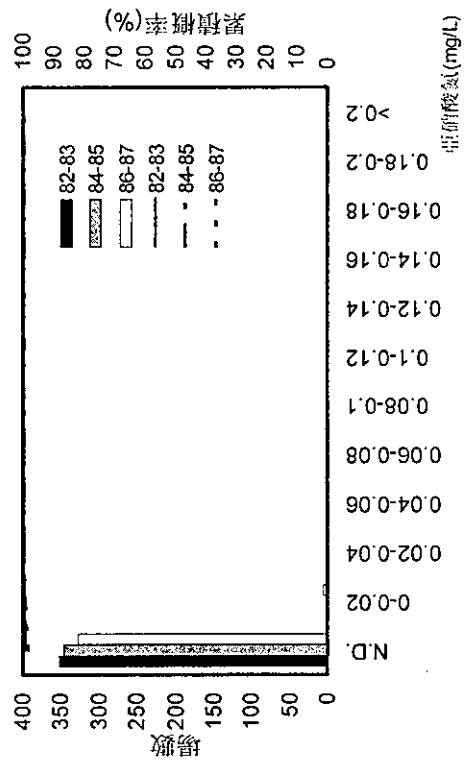


圖 3-22 62-87 年東京小平川流域各年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=355;84-85 年:n=348;86-87 年:n=333)

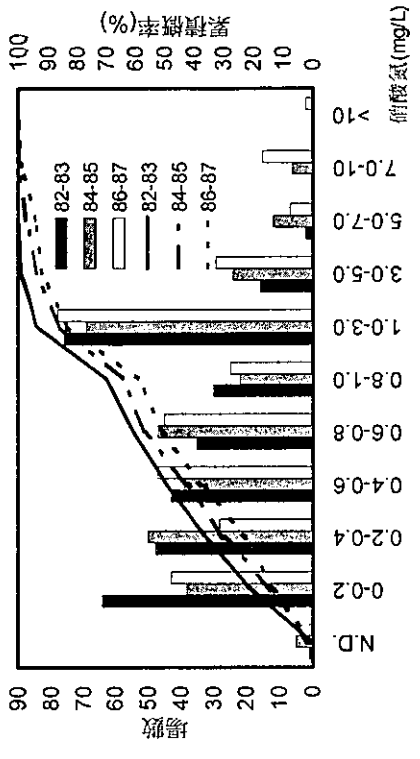


圖 3-23 82-87 年東京水硝酸氮年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=315;84-85 年:n=312;86-87 年:n=320)

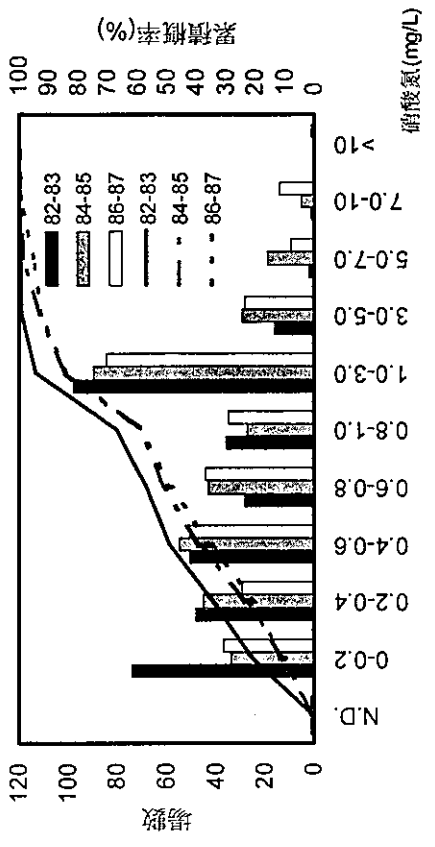


圖 3-24 82-87 年清水硝酸氮年平均値範圍之場數分布
(82-83 年:n=355;84-85 年:n=348;86-87 年:n=333)

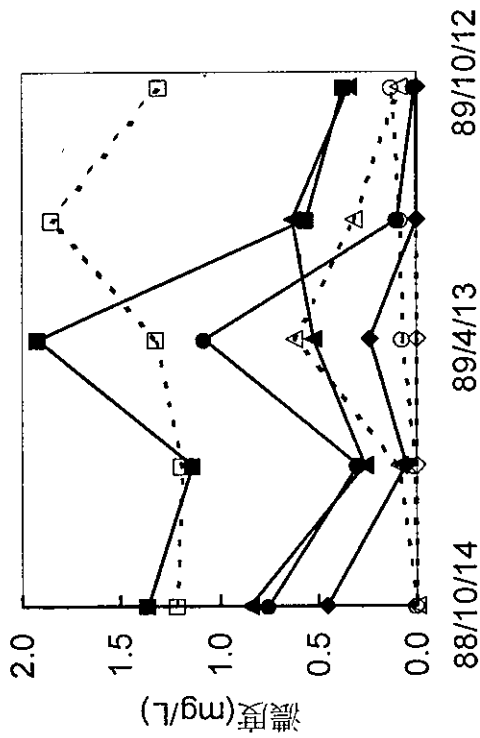


圖 3-27 蘭潭五次採樣 N 系原水及清水之比較

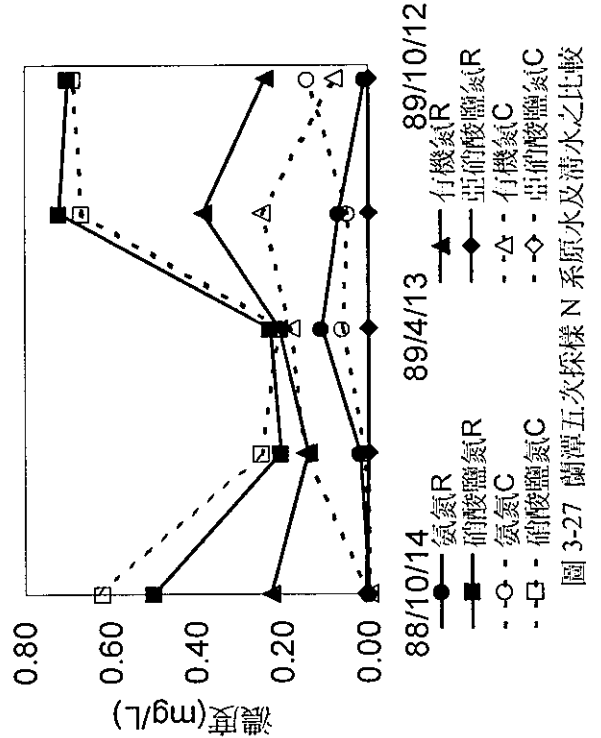


圖 3-27 蘭潭五次採樣 N 系原水及清水之比較

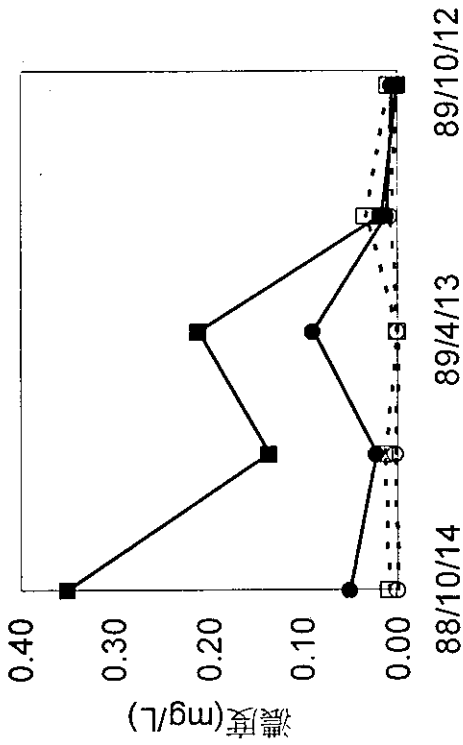


圖 3-26 六堵五次採樣 P 系原水及清水之比較

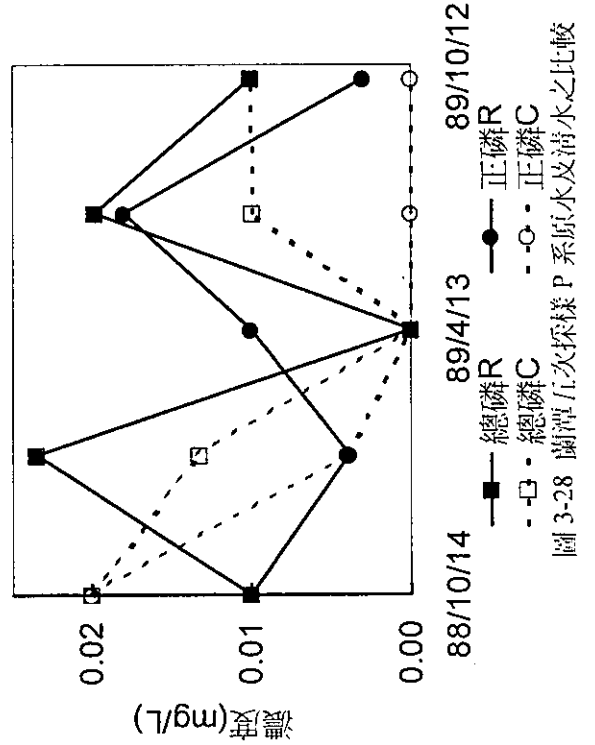


圖 3-28 蘭潭五次採樣 P 系原水及清水之比較

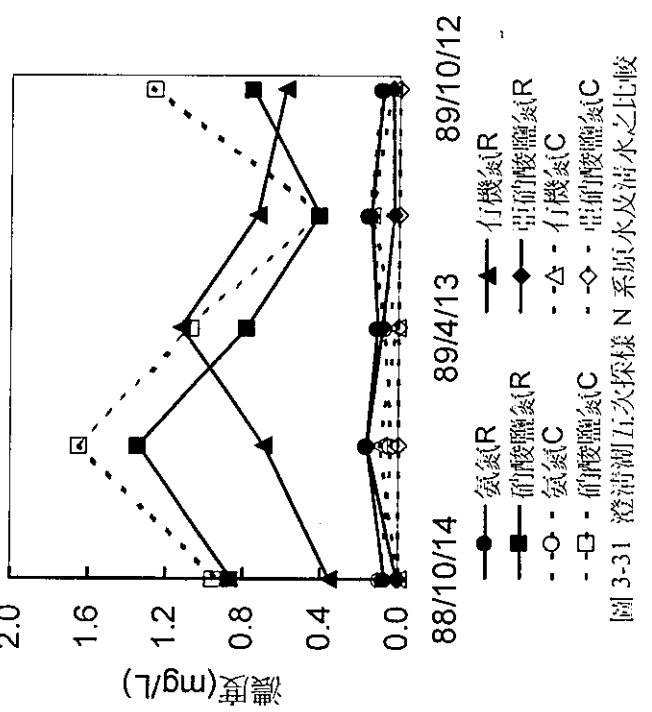
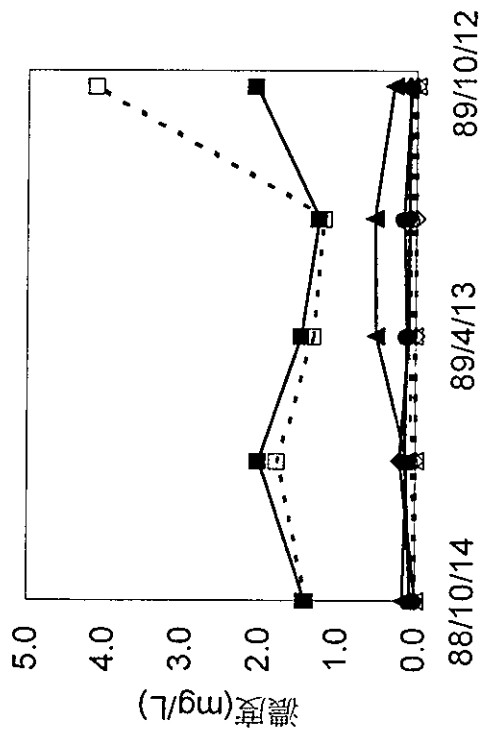


圖 3-31 澄清湖五次採樣 N 系原水及清水之比較

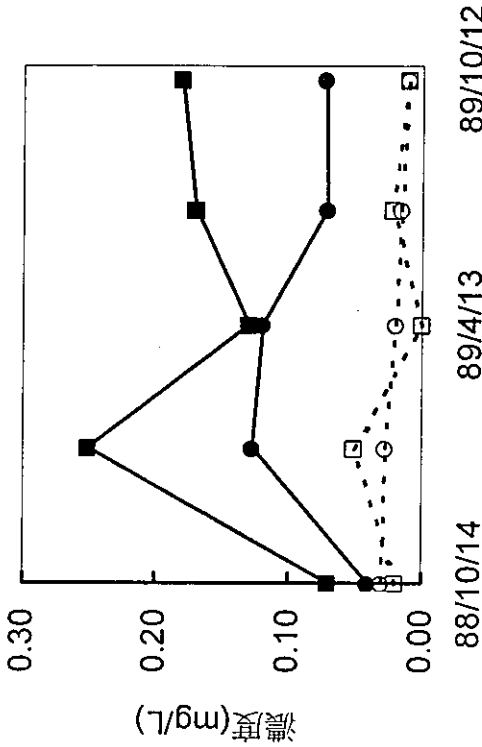


圖 3-30 澄清湖五次採樣 P 系原水及清水之比較

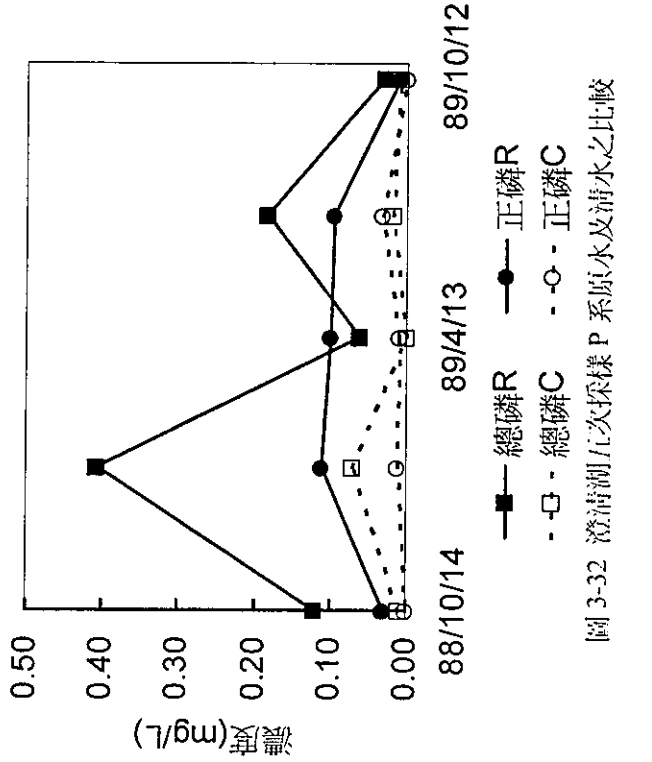


圖 3-32 澄清湖五次採樣 P 系原水及清水之比較

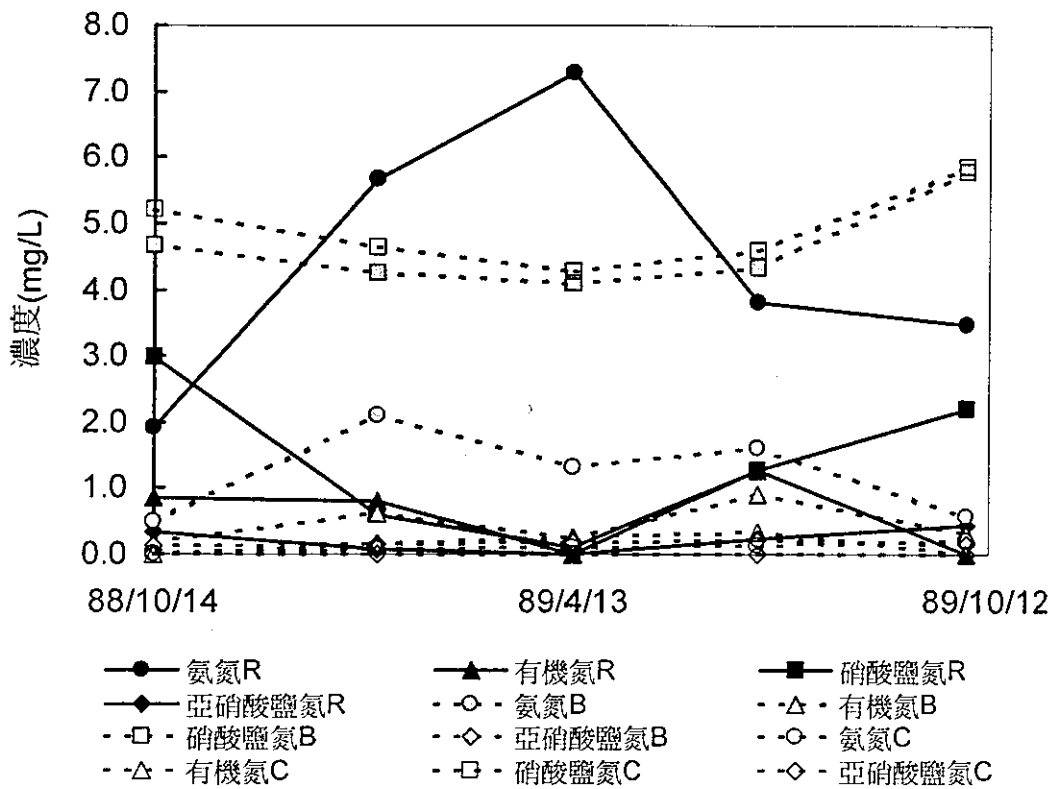


圖 3-33 港西五次採樣 N 系原水、RBC 出流水及清水之比較

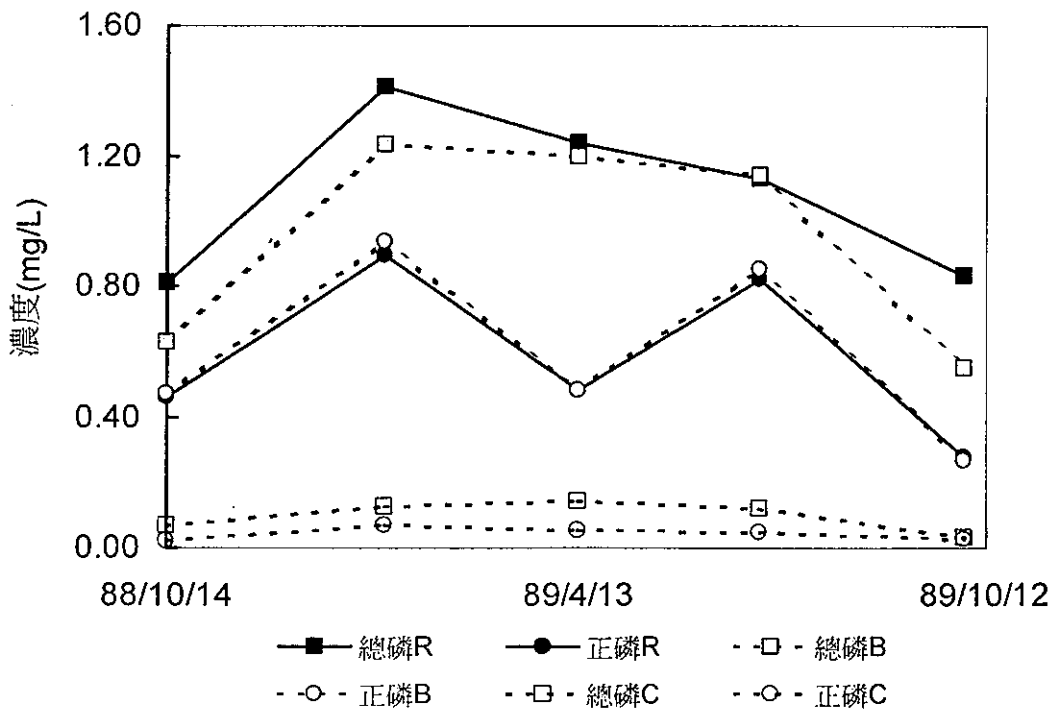


圖 3-34 港西五次採樣 P 系原水、RBC 出流水及清水之比較

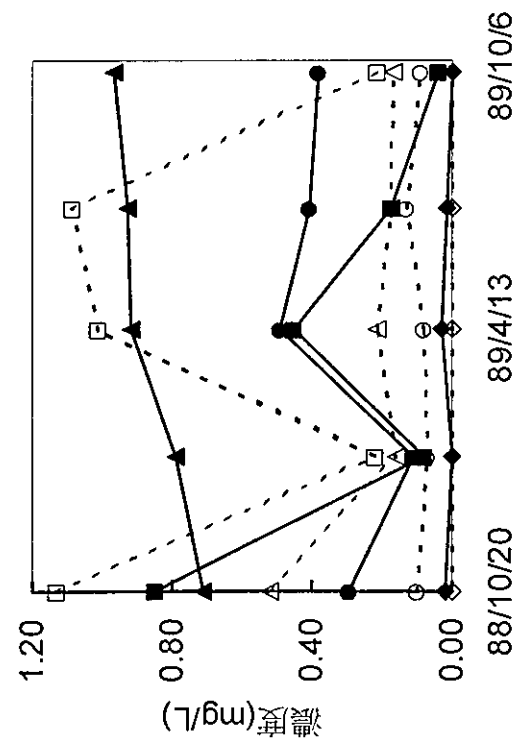


圖 3-35 榮湖五次探樣 N 系原水及清水之比較

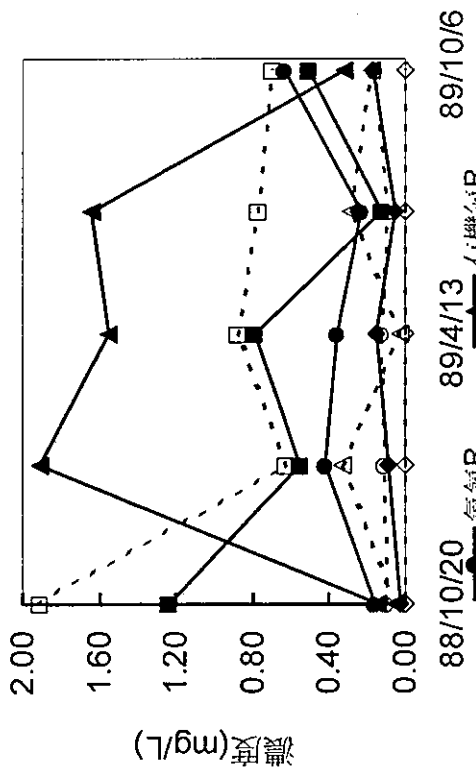


圖 3-37 太湖五次探樣 N 系原水及清水之比較

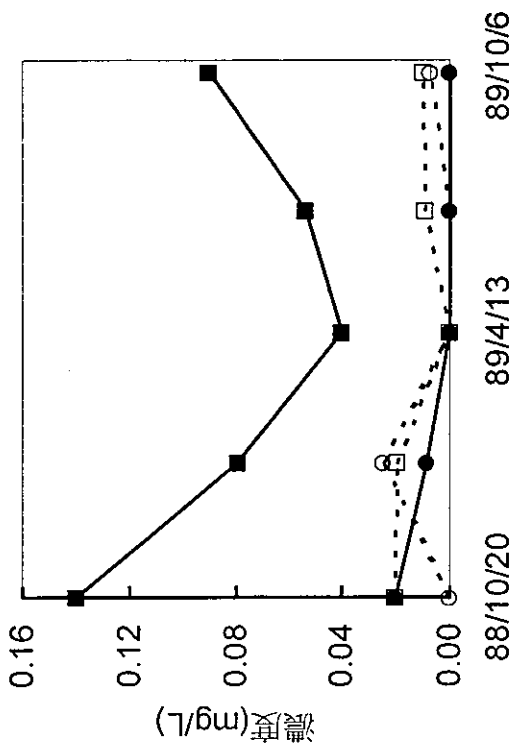


圖 3-38 太湖五次探樣 P 系原水及清水之比較

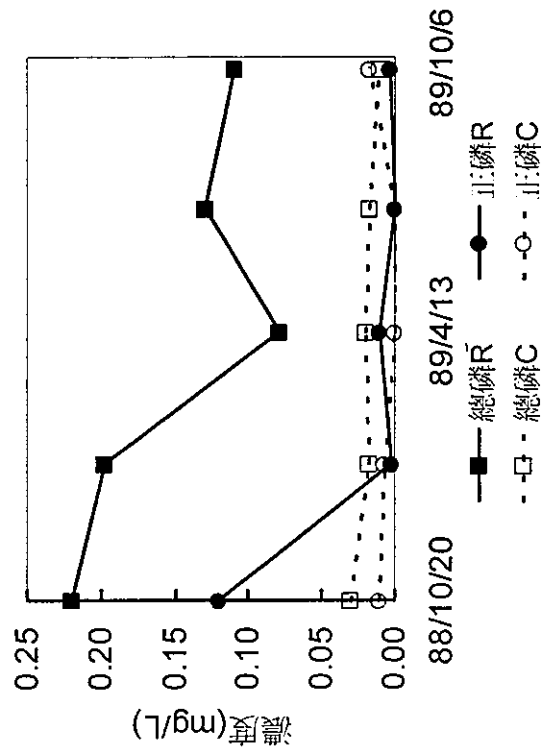


圖 3-38 太湖五次探樣 P 系原水及清水之比較

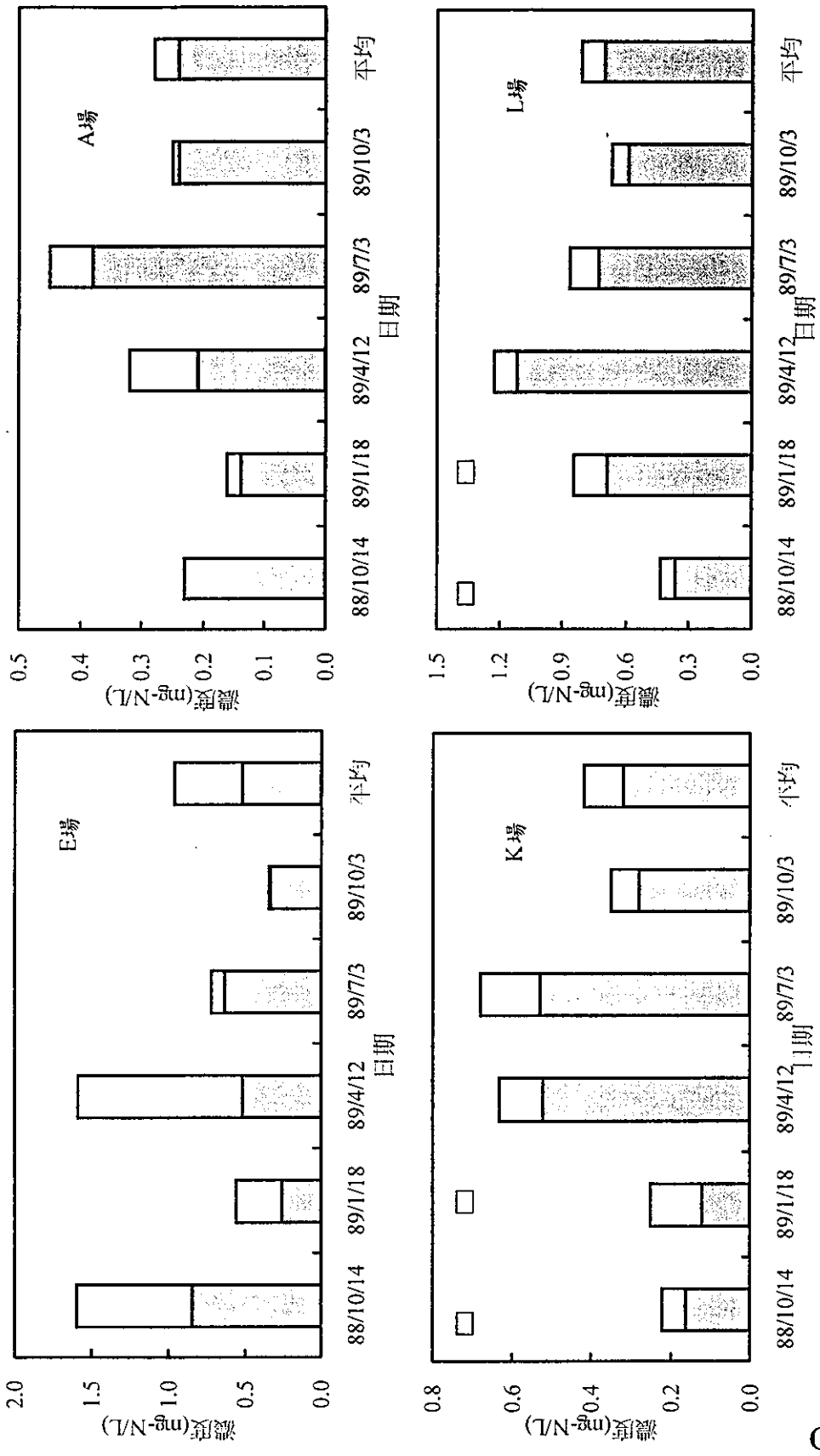


圖 3-39 七處淨水場原水中TKN組成分析

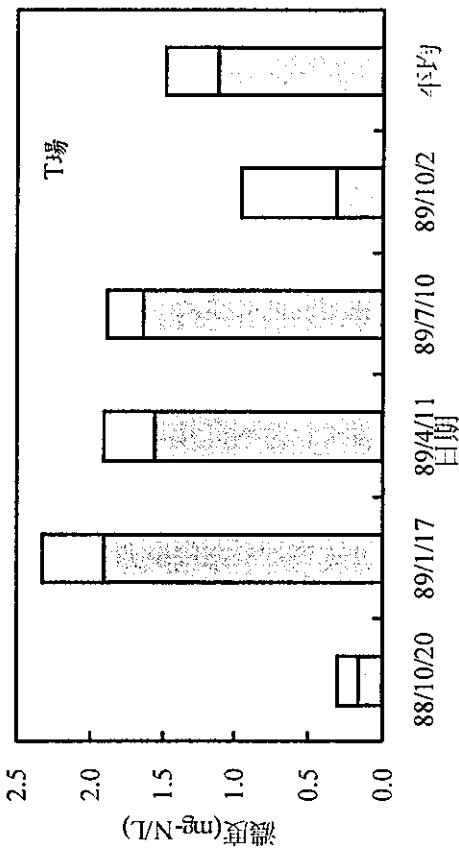
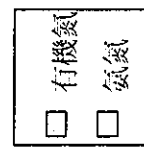
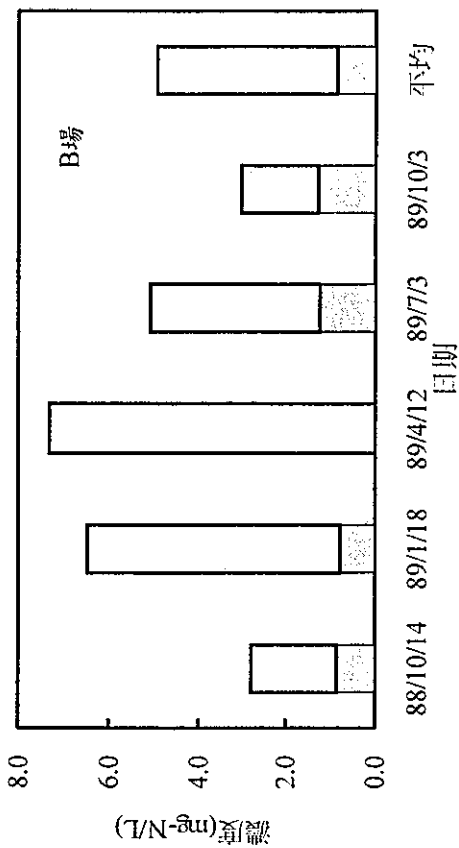
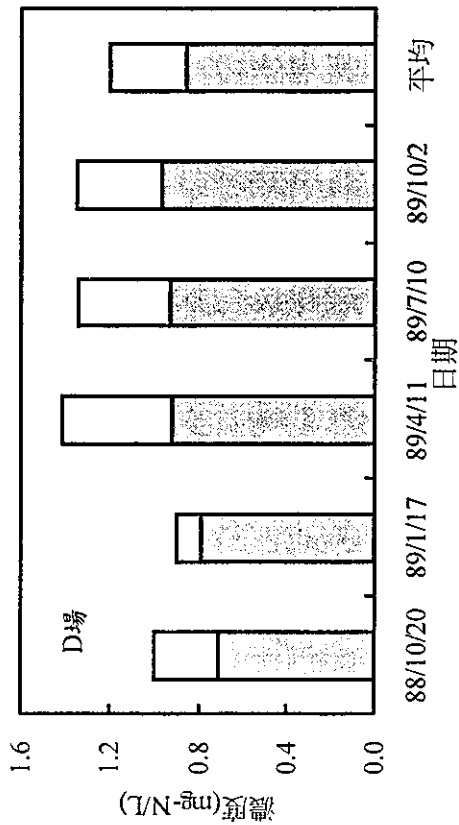


圖 3-39(續) 七處淨水場原水中TKN組成分析

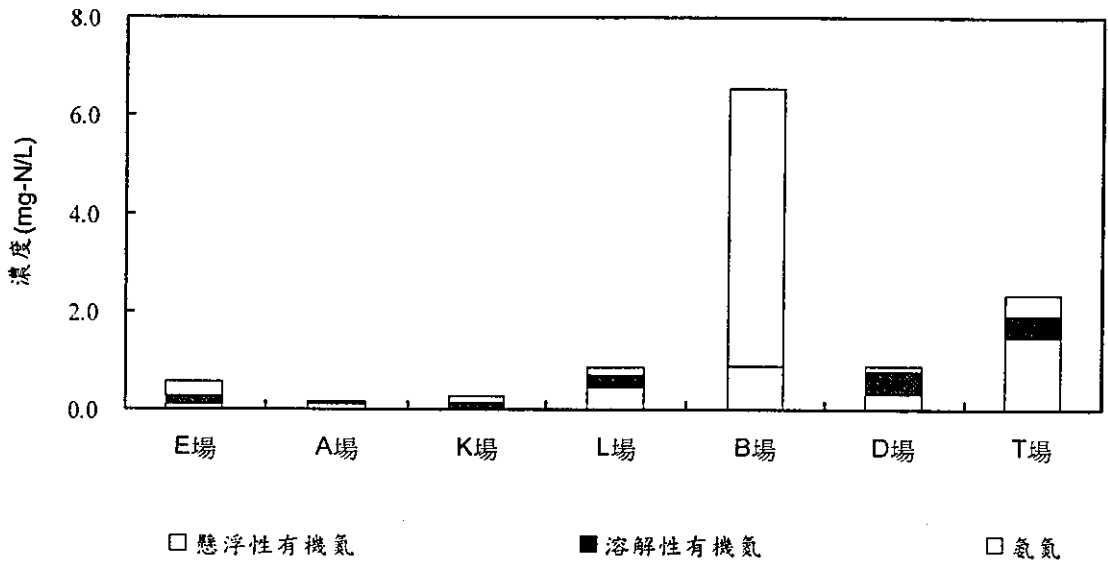


圖 3-40 七處淨水場原水水質(TKN,89/01)

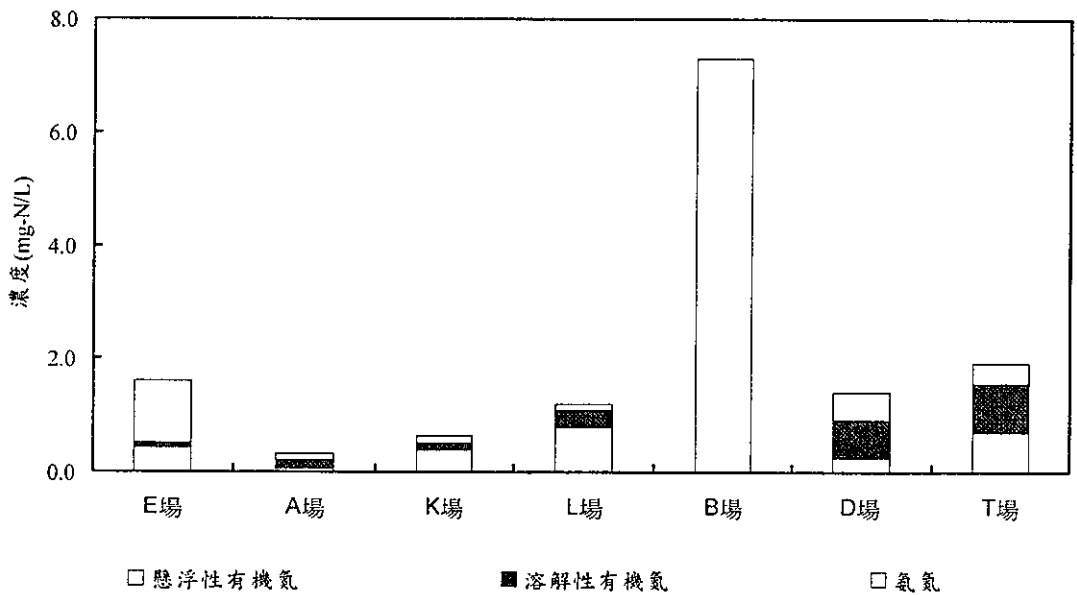


圖 3-41 七處淨水場原水水質(TKN,89/04)