

翡翠水庫上游集水區 水質趨勢分析

Trend Analysis of Water Quality in the Upper Watershed of the Feitsui Reservoir

郭鎮維*

Cheng-Wei Kuo

李建堂**

Cheing-Tung Lee

Abstract

The Feitsui Reservoir is the main source of domestic water for the Taipei region; therefore, its water quality is of great concern for the public and government authorities. Several water sample stations have been established in the Feitsui Reservoir watershed to monitor the long-term changes of water quality. The seasonal Kendall test, an extension method of the Mann-Kendall trend test, is used in this study to assess the water quality trends during the years 1993-2002 by analyzing seasonal data from five water sample stations located in the upper watershed of the Feitsui Reservoir. Water quality indices used in this research are suspended solids (SS) and ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$). In addition, the time-series diagram and box-and-whisker plot are also conducted to assess the spatial differences of the water quality trend among the five stations and the possible causes for the changes of their water qualities.

The results of the time-series diagrams indicate that, in recent years, the water contents of SS and $\text{NH}_3\text{-N}$ in most stations have been increasing, and extreme values have been appearing more frequently. The box-and-whisker plot indicates that the

* 國立臺灣大學地理環境資源研究所研究生

Graduate Student, Institute of Geography, National Taiwan University.

** 國立臺灣大學地理環境資源學系助理教授

Assistant Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

water quality is getting worse in the Huang-Ju-Pi-Liao Station and the Ping-Lin Station, which is closely related to human activities in the watershed. Also, the high peak values of the $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration coincided with the seasons of fertilizer application. The results of the seasonal Kendall test show that, except for the SS at the Huang-Ju-Pi-Liao Station, the concentration of SS and $\text{NH}_3\text{-N}$ have increased significantly at all five stations ($\alpha=0.05$). Compared with the period before the construction of Taipei-Ilan Freeway, the annual average values of SS and $\text{NH}_3\text{-N}$ at the five stations have increased by 2-3 times after the construction. This supports the fact that road construction has significant influence on water quality. Although the concentration of SS and $\text{NH}_3\text{-N}$ in the upper watershed of the Feitsui Reservoir is still within safety level, it is worth noting that trend analysis points to increasing decline of water quality in the past decade.

Keywords: the Feitsui Reservoir, water quality, trend analysis, Mann-Kendall trend test.

摘 要

翡翠水庫為大臺北地區主要的用水來源，其水質的優劣備受各界重視，有關單位設有水質採樣站以監測水質變化。趨勢檢定方法可用來檢測水質的長期變化趨勢，本研究利用無母數檢定法 Mann-Kendall trend test 中針對季節性資料的延伸法—The seasonal Kendall test，分析翡翠水庫上游集水區五個水質測站近十年（1993 至 2002 年）的水質變化趨勢，包含懸浮固體及氨氮兩個項目。另外也使用時間序列變化圖及盒型圖分析，以評估水質變化趨勢及空間差異，並探討可能影響水質變化的原因。

水質時間序列圖分析顯示，多數測站在近幾年的懸浮固體及氨氮含量有升高的趨勢，且出現較多的極端值。不同測站盒型圖分析的結果指出，黃樺皮寮站及坪林站的水質較差，這和人為干擾的程度有關；季節變化部分，氨氮含量呈現與施肥季節相同的高峰值。The seasonal Kendall test 的趨勢分析檢定顯示，在這十年中除了黃樺皮寮的懸浮固體外，其餘水質測站的懸浮固體及氨氮含量均有顯著增加的趨勢 ($\alpha=0.05$)。比較北宜高速公路興建前後兩段期間的差異顯示，各測站水質的年平均值均成長 2 至 3 倍，顯示道路興建對河川水質有一定的影響。雖然懸浮固體及氨氮的含量仍在水質安全標準範圍內，但趨勢分析顯示在過去十年來的含量已有顯著增加的趨勢，這值得有關單位注意。

關鍵字：翡翠水庫、水質、趨勢分析、Mann-Kendall 趨勢檢定

緒 論

由於工商業社會的快速發展，生活品質及醫療環境的提升，使得人口快速成長，對於環境資源的競爭也相對的提高。其中水資源的重要性在資源競爭漸趨激烈的現代社會中越來越受到重視，如何保

持優良的水質與足夠的水量以供使用，一直是水資源管理單位的第一要務。

臺灣地區河川坡陡流急，水資源不易蓄存利用，且降雨量隨季節有很大的變化，故水資源的運用多須經由蓄水設施調節供應。歷年來在河川中上游已興建了許多水庫，但由於中、上游集水區地形陡峭且地質脆弱，加上若干地區土地利用不當，濫墾、濫伐、不注重水土保持，因此泥砂沖蝕嚴重，常有災害發生，也讓水質惡化（張尊國等，1994），進而危害居民的安全及健康。

翡翠水庫為大臺北地區主要的用水來源，其水量的豐缺和水質的優劣備受各界重視。翡翠水庫集水區的管理單位主要是由臺北市翡翠水庫管理局以及經濟部水利署臺北水源特定區管理局所負責，此二單位並設有水質採樣站以監測水質變化。然而從原始資料當中並不易直接觀察出真正的變化，為了客觀的探討水質的變化趨勢，必須藉由趨勢分析的統計方法來處理長期累積的資料，以評估水質改善計畫的執行成效，並可進一步蒐集相關的資訊，找出影響水質的可能原因，針對問題來作改善計畫以及尋求更好的管理方式。

Hirsch 等 (1982) 分析河川水質資料，顯示大部分水質項目成偏態分佈。Hirsch 與 Slack (1984) 指出，當河川水質資料 1. 呈非常態分佈；2. 有漏失資料情況；及 3. 具有無法偵測之資料等狀況時，特別適應用無母數檢定法，並說明水質項目中除 pH、溫度與溶氧為常態或近似常態分佈外，大多是非常態性質，因此適合以無母數方法進行檢定。對於大量及偏離常態資料，無母數法比有母數法更具有顯著之效率來表示水質變化情形，無母數方法所呈現之結果也較不受離群值影響。

Mann-Kendall trend test 為一無母數檢定法，國內利用此方法分析河川水質趨勢的研究相當有限，且分析的對象主要是河川中下游的水質資料，缺少上游集水區或是水庫集水區的研究（鍾旭和與顏江河，1985）。這是因為河川中下游的污染情形通常較顯著，對於居民健康也造成直接危害，因此水質採樣站佈點多數在中下游地區，可供分析的資料也比較多。而目前國內各主要水庫也都有進行水質監測的工作，雖然採樣期距較長，但長期累積的資料也應可供作有效的趨勢分析。因此本研究利用 Mann-Kendall trend test 中針對季節性資料的延伸法—The seasonal Kendall test，分析翡翠水庫上游集水區共五個水質測站近十年（1993 至 2002 年）的水質變化趨勢，包含氨氮及懸浮固體兩個項目，並加入時間序列變化圖及盒型圖分析，以瞭解水質變化趨勢及空間差異，並探討可能影響水質變化的原因。

趨勢分析方法

水文時列之趨勢（增減或循環）分析，一般可分為傳統式（有母數）與自由式（無母數）分配（經濟部水資源統一規劃委員會，1987）：傳統式分配法以迴歸分析（Regression Analysis）為其代表，此方法為事前假設時列之趨勢，再以實測資料，檢定其參數。因其事前假設變化之趨勢，往往無法真實表現出時列變遷之真正特性，而改良之自由式分配則可克服此缺點，利用統計檢定法檢定其是否有特定趨勢，待趨勢檢定後，再賦予時列之趨勢式，因此較能反應出樣本之時列趨勢特性。

河川或湖泊水體的各項水質指標會受到季節變化、流量、降雨量等影響，在有農業開發的集水區中，更會受到施肥季節的影響（張尊國等，1994；盧英秀，1995），因此在分析水質長期趨勢時，必須要考慮到上述影響因素。Helsel 與 Hirsch (1992) 依照有母數 / 無母數，以及是否有其他相關變數影響水質變動這兩項因子，將水質趨勢檢定方法分為五種（表 1）。

表 1 趨勢檢定的五種方法之分類表

	無校正	用 X 做校正
無母數	Mann-Kendall trend test on Y	Mann-Kendall trend test on residuals R from LOWESS of Y on X
混合		Mann-Kendall trend test on residuals R from regression of Y on X
有母數	Regression of Y on T	Regression of Y on X and T

資料來源：Helsel and Hirsch (1992)。

表 1 中的變數說明於下：

Y = 隨機應變數 (趨勢檢定所要檢測的變數)

X = 預期影響 Y 值的外生變數 (如：流量、雨量)

R = 迴歸的殘差

T = 時間 (通常以年表示)

(例如：要檢定水質趨勢，Y 為濃度，X 為流量，R 則為流量校正濃度。)

Mann-Kendall trend tests 為一無母數方法，為 Mann (1945) 以及後來的 Kendall (1975) 所提出，能針對時間序列資料做趨勢的檢測。此法簡單強健，且能處理缺漏值和低於偵測極限值，Hirsch 與 Slack (1984) 應用此方法分析季節性資料的變遷趨勢，之後為國外研究學者廣為採用於水質趨勢分析之無母數方法 (Raika *et al.*, 2003; Walker, 1991; Zipper *et al.*, 2002)。Mann Kendall trend test 除了應用在水質趨勢分析上，也被廣泛的應用在相關的環境科學研究中，例如降雨量 (Yue and Hashino, 2003；吳志剛，2000)、溫度 (吳志剛，2000)、海水面升降以及臭氧變化 (Audiffren，2000) 等長期趨勢分析。

國內的水質監測工作約從 1976 年開始，於臺灣地區 56 條主、次要河川設立水質監測站，逐年定期調查，並儲存於水資源資料庫。經濟部水資源統一規劃委員會於 1987 年的研究報告中，以 Mann-Kendall trend test 分析十年來的監測結果顯示，臺灣地區大部分河川水質監測站之水質狀況並無顯著變化趨勢，水質仍屬穩定。此結果與十年來經濟發展之幅度相較，認為應是政府推動水污染防治工作已略見成效之故。其中有少數河段之水質更漸趨好轉，然尚有少數河段之水質則漸趨惡化，其中污染趨勢顯著者以朴子溪之牛稠溪橋、朴子橋河段及鹽水溪之豐化橋河段為甚 (經濟部水資源統一規劃委員會，1987)。

另外李漢鏗與王金詮 (1994) 選取臺灣地區七條主要河川，利用線性迴歸分析法 (Linear Regression Methods) 及 Mann-Kendall trend test 分析臺灣河川水質趨勢變化。結果顯示，西部河川的污染有嚴重化趨勢，而東部河川則相對減輕。另外也發現溶氧量呈常態或近似常態分佈，因此線性迴歸及 Mann-Kendal 法皆適合分析水質趨勢；懸浮固體 (SS)、氨 (NH₃)、及生化需氧量 (BOD) 則屬非常態分佈，適合以 Mann-Kendall 法分析水質趨勢。

鍾旭和與顏江河 (1985) 研究翡翠水庫集水區內不同土地利用形式對集水區匯流水之物理、化學及生物性水質性狀之影響。結果顯示，在所檢測之各項水質項目的觀測值中，在取樣季節 (春、夏、冬) 與土地利用形式之間呈現出顯著差異。本研究集水區在夏季期間常有雷陣雨之發生，未經人為干擾的逮魚堀溪上游，因溪流兩岸天然闊葉林林相完整，覆蓋良好，因此兩岸之土壤並未因降雨對土壤之沖蝕而明顯的引起溪水之懸浮質與濁度之增加。相反地逮魚堀溪下游及北勢溪，因其沿岸已遭人為集約利用，因此降雨開始後不久，其溪水即因兩岸土壤被嚴重的沖蝕而造成溪水懸浮質與濁度升高，隨後懸浮質與濁度則迅速下降。

臺北水源特定區管理委員會 (管理局前身) 1986 年的研究報告指出，坪林地區茶園土地超限利用結果，使得表土裸露、降雨大部分成為地表逕流流入河川，其挾帶之泥沙因含有高度之氮及磷，易累積於水庫中，導致藻類繁殖 (臺北水源特定區管理委員會，1986)。另外在 1991 年的研究中指出，茶園耕種地區需防範雨水沖蝕土壤，或注意施肥及噴灑農藥之時機和方式，以提高肥料使用率及減少逕流水之污染負荷 (中央研究院植物研究所，1991)。雖然研究結果均顯示水質標準仍在控制中，但可以了解翡翠水庫上游集水區的土地利用概況對水質的潛在危機。

除了農業土地利用及社區污水的問題之外，另一個問題也在近幾年浮現。1996 年北宜高速公路動工，其施工位置通過翡翠水庫集水區，工程施工及排出的工程廢水對集水區帶來若干程度的污染。近年來坪林大幅增加的觀光人潮，加上茶園等農業污染，造成北勢溪有機負荷增加，對水庫水質影響甚大。陳孝行等 (2000) 針對北宜工地所造成的水質污染做研究，顯示自 1996 年起，集水區污染物含量已有逐漸增加之趨勢。從翡翠水庫集水區之現場勘查發現，坪林附近之工程施工過程和工地環保，實有檢討的必要。研究結果也發現，北勢溪上游之北宜快速道路施工工地，遇颱風豪雨易挾帶工區內大量泥沙或污染物流入水庫，造成水庫內懸浮物大增，濁度增加。該研究同時也整理了翡翠水庫水域中的氨氮和總磷含量，於 1996 年 1 月之前及之後的比較 (表 2)，以此時間為分界之原因為北宜高速公路於 1996 年 1 月開始施工。由表 2 中可見，集水區之污染物含量於 1996 年之後有增加的趨勢。當然，污染物含量增加之原因，除了工程施工外，可能還有其他原因所造成，如觀光污染及農業污染等。

本研究所分析的五個測站中，黃櫨皮寮站位於本研究的集水區出口，其上游北勢溪的測站依序為坪林橋站及闊瀨站，其中坪林橋站位於人口聚集的坪林市區，且位於北宜高施工路段的下游 1 公里處，而闊瀨站位於上游較不受人為干擾的地區。另一條支流逮魚堀溪的測站依序為大林橋站及碧湖站，大林橋站位於逮魚堀溪靠近北勢溪匯流口處，附近有聚落及農業開發，碧湖站則位於逮魚堀溪上游，北宜高路段通過其上游約 2 公里處。此五個測站及北宜高預定路線的相對位置如圖 2 所示。

表 2 翡翠水庫水質前後比較

項目	1995 年 12 月 以前平均值	1996 年 1 月至 1999 年 2 月平均值	增加百分比
水域氨氮 (mg/L)	0.02	0.05	150%
水域總磷 (μ g/L)	10.04	16.4	63.4%

資料來源：陳孝行等 (2000)。

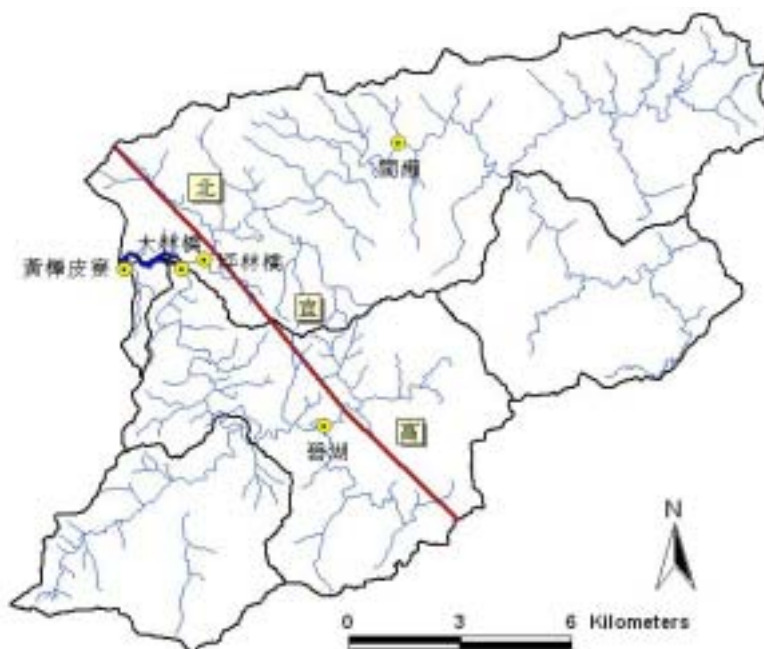


圖 2 研究區水質測站位置和北宜高路線圖

研究材料與方法

(一) 分析材料

本研究分析的水質資料為臺北水源特定區管理局每月 1 日於五個測站（黃樟皮寮、坪林橋、闊瀨、大林橋、碧湖）定期採樣，年份從 1993 年到 2002 年，共計十年。水質分析項目的選擇方面，綜合張添晉 (1991)、李漢鏗與王金詮 (1994)、陳孝行等 (2000)、吳俊宗等 (2002) 的研究結果，本研究認為若道路施工品質不佳對於水體中懸浮固體及氨氮含量會有相當的影響。而茶園、果園施肥帶來的非點源污染則可能提高水中氨氮含量，坡地水土保持不佳經暴雨沖刷，亦會增加懸浮固體含量。這兩項指標對應研究集水區的水質主要問題，較具代表性，且資料較為齊全，因此本研究選擇懸浮固體 (Suspended Solid, SS) 及氨氮 (Nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$) 兩個項目作水質趨勢分析。

(二) 分析方法

1. 水質變化時間序列分析

分析水質趨勢時，可先繪出水質變化的時間序列圖以觀察大致的變化，初步瞭解該資料隨時間變化的特性（如變化程度、季節性等）。水質變化時間序列圖是以水質數據為縱軸，時間序列為橫軸。本研究首先比較五個測站的起伏變化，觀察在這十年中有無明顯改變的趨勢。

2. 盒型圖分析 (box-plot)

將原始資料分組後，繪出各組的盒型圖，不同組的盒型圖可用以比較資料集中和離散程度的差異。本研究利用盒形圖比較不同測站十年來的水質差異，以及各測站在不同月份的季節性差異，進一步討論水質優劣的空間分佈情形及可能影響的原因。

3. 趨勢分析

Mann-Kendall Test 為一無母數方法，可用來檢測水質的長期趨勢。此方法假設隨機變數屬獨立之分佈，其原理是將長期距之水文變量，依季節或月份分組，比較諸變量間之大小。時序較後之變量，若大於前者時，設為正值，反之則為負值，最後統計正值與負值之次數，較多者即代表該變量之趨勢（經濟部水資源統一規劃委員會，1987）。

以計算式表示如下：

以 y_{1j} 、 y_{2j} 、...、 y_{nj} 代表月份 j 從第 1 年到第 n 年測得的水質數據，則其中

$$S_j = \sum_{i < k} \text{sgn}(y_{kj} - y_{ij})$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

當數值 y_{ij} 隨著年度 i 增加， S_j 為正；

當數值 y_{ij} 隨著年度 i 減少， S_j 為負。

虛無假設為 y_{1j} 、 y_{2j} 、...、 y_{nj} 是 n 個獨立的且為相等分佈的 (identically distributed) 隨機變數。

對立假設為 y_{1j} 、 y_{2j} 、...、 y_{nj} 是不獨立的變數。此統計檢定為雙尾檢定。

對於季節性資料的延伸方法為 The seasonal Kendall test，

$$S = \sum S_j$$

虛無假設為 y_{1j} 、 y_{2j} 、...、 y_{nj} 是獨立的且為相等分佈的變數，而 y_{ij} 對於年度 i 和月份 j 來說，是一個獨立樣本。利用檢定統計量在設定的信心水準之下，就可以檢定出水質趨勢是否有顯著的變化 (Esterby, 1996)。

本研究以 The seasonal Kendall test，在 95% 的信心水準下，檢定歷年水質資料是否有明顯改變的趨勢。此外，以 1996 年 1 月為界（北宜高速公路動工），將資料分為前三年（1993 至 1995 年）及後七年（1996 至 2002 年）兩個期距，分析施工前後兩個期距中水質的趨勢變化。採用的分析工具為 Kendall.exe，專門應用於檢定季節變化資料的趨勢，為一個在 DOS 作業系統下執行的程式。

結果與討論

(一) 水質時間序列分析

五個測站懸浮固體和氨氮十年 (1993 至 2002 年) 的時間序列變化分別如圖 3、4 所示。

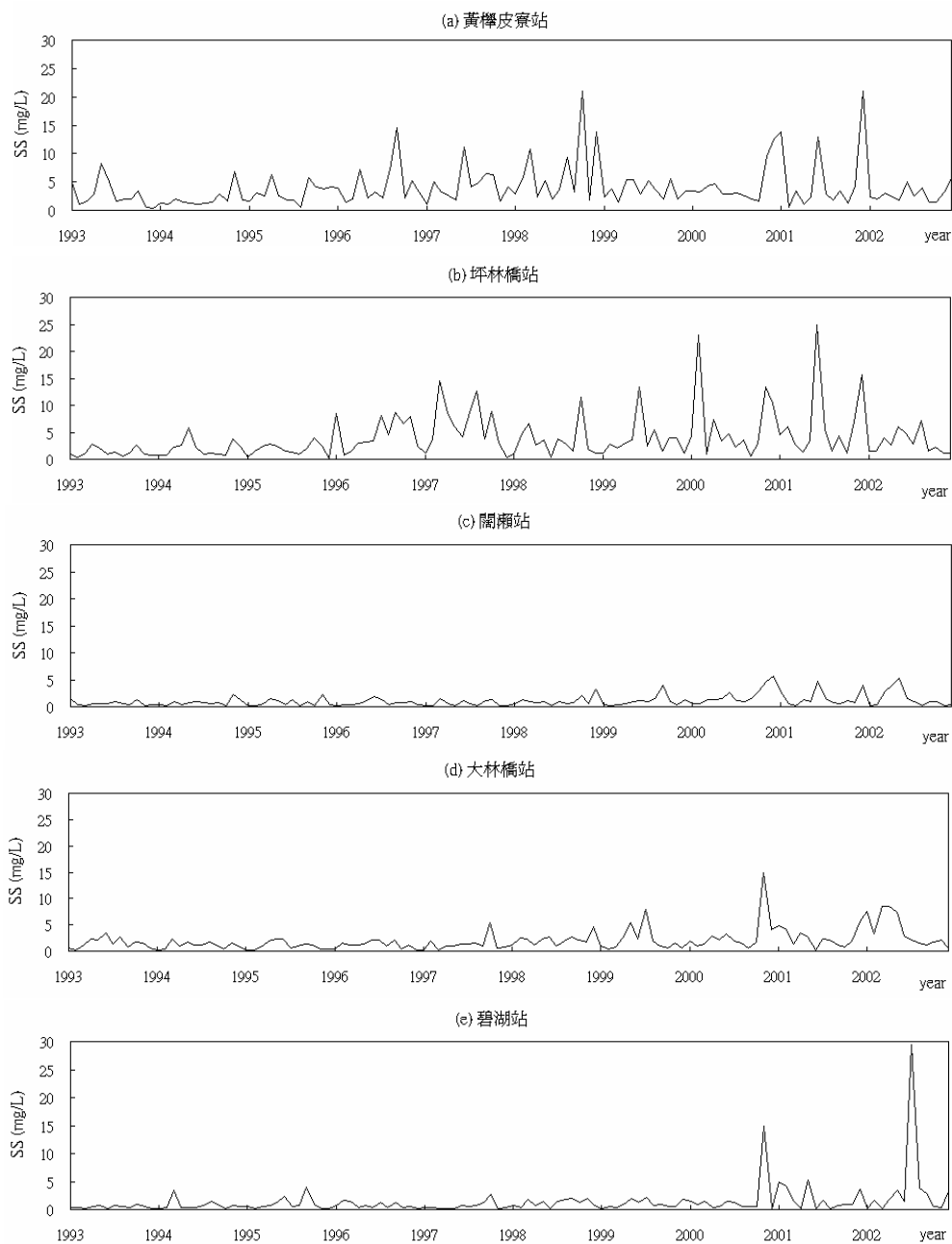


圖 3 五測站懸浮固體的時間序列圖

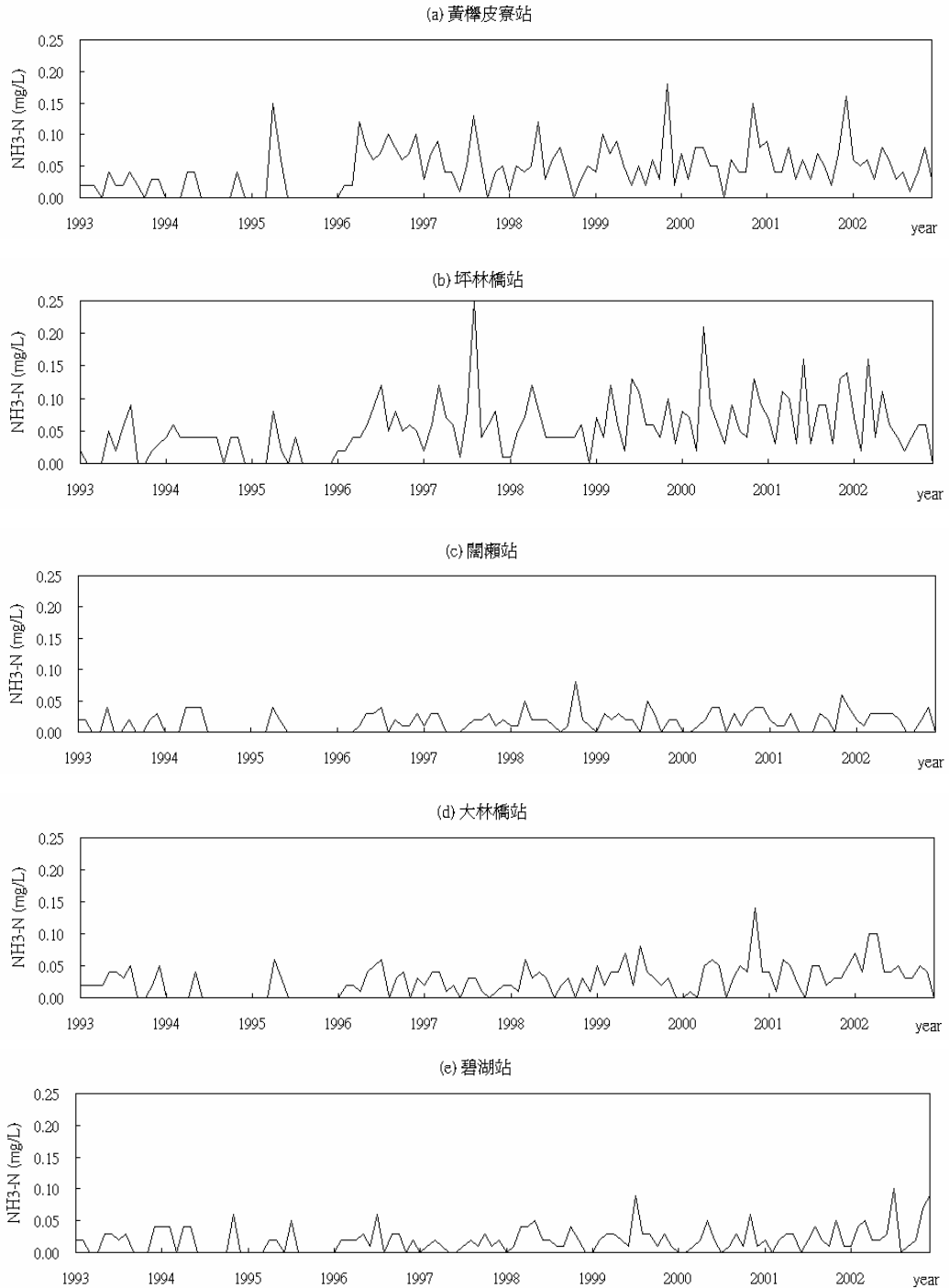


圖 4 五測站氨氮的時間序列圖

觀察各個測站的懸浮固體時間序列圖 (圖 3), 黃樺皮寮站並沒有明顯的升高趨勢, 坪林橋站在 1996 年之後開始有較大的起伏出現, 兩測站因最靠近坪林地區, 所以平均觀測值都較高。位在上游的闊瀨站, 其兩岸主要仍為林地, 懸浮固體含量保持在 5mg/L 以下。位於逮魚堀溪出口的大林橋站, 其懸浮固體含量較開發密度較高的黃樺皮寮及坪林站為低, 但近四年來也出現了一些較高的觀測值。碧湖站位於逮魚堀溪上游的林地, 含量也保持在 5mg/L 以下, 不過近兩年多來有兩筆很大的觀測值出現, 分別為 15mg/L (2000 年 11 月) 及 29.5mg/L (2002 年 7 月), 查閱碧湖雨量站的歷年雨量資料發現, 2000 年 11 月 1 日象神颱風侵襲, 造成單日雨量達 370mm, 此應為當日懸浮固體含量較大的原因, 同樣的高峰也出現在集水區中其他的測站, 顯示暴雨的沖刷的確會使水中懸浮固體含量增加; 而 2002 年 7 月的懸浮固體含量雖高達 29.5mg/L, 但當日並無降雨, 顯示可能有其他的因素使得大量的土砂被移入水體中, 或許和上游北宜高隧道工程施工有關, 尚待進一步調查。

在氨氮含量方面 (圖 4), 黃樺皮寮站和坪林橋站的數值較高, 此因測站位於人口較聚集的坪林地區及其下游, 排放的家庭廢水以及兩岸高密集度的茶園種植易危害水質。另外值得注意的是, 此兩站從 1996 年之後其觀測值就呈現偏高的狀態, 陳孝行等 (2000) 在 1999 年至 2000 年間曾在坪林附近的北宜高四標導坑進行放流水採樣檢測, 分析結果顯示 (表 3), 氨氮含量明顯高於背景水源 (鄰近之上游水), 雖小於營建工地放流水標準 (10mg/L), 但仍高於甲類水體標準 (0.1mg/L)。此外, 吳俊宗等 (2002) 於坪林一帶的水質採樣分析, 其研究結果也指出施工地點的氨氮含量明顯偏高, 顯示北宜高施工的確對氨氮含量造成一定的影響。雖然坪林污水處理場於 1999 年完工啟用, 對於社區污水處理有一定成效, 但工程污染的潛在影響仍需密切注意。至於大林橋站的氨氮含量雖沒有明顯增加的趨勢, 但近幾年來卻很少出現偏低值。上游地區之碧湖及闊瀨的氨氮含量則更低, 且無明顯的變化趨勢, 可能因上游地區其農地開發相對較少之故。

表 3 北宜高工地與背景水源之氨氮含量比較表

採樣日期	氨氮含量(mg/L)	
	四標放流水	背景水源
1999 年 12 月 23 日	0.39	0.04
2000 年 01 月 05 日	0.28	0.04

資料來源：陳孝行等 (2000)。

(二) 盒型圖分析

1. 空間變異

除了觀察水質資料的時間趨勢之外, 本研究並討論水質資料在不同測站的空間差異, 五測站水質項目的變異數分析 (ANOVA) 結果顯示, 懸浮固體以及氨氮均呈現顯著差異 ($\alpha = 0.05$)。進一步將五個測站的十年平均狀態繪成盒形圖, 以觀察這十年內的資料變異情形, 各測站的懸浮固體及氨氮含量如圖 5 所示, 圖中兩者均顯示出黃樺皮寮及坪林橋站的含量較高, 且資料變異較大, 並有較多的極端值, 顯示出此地人為干擾的情形較為嚴重, 但平均說來, 懸浮固體及氨氮含量均符合環保署甲種水類標準 (懸浮固體小於 25mg/L, 氨氮小於 0.1mg/L), 可見水質維護仍算良好。

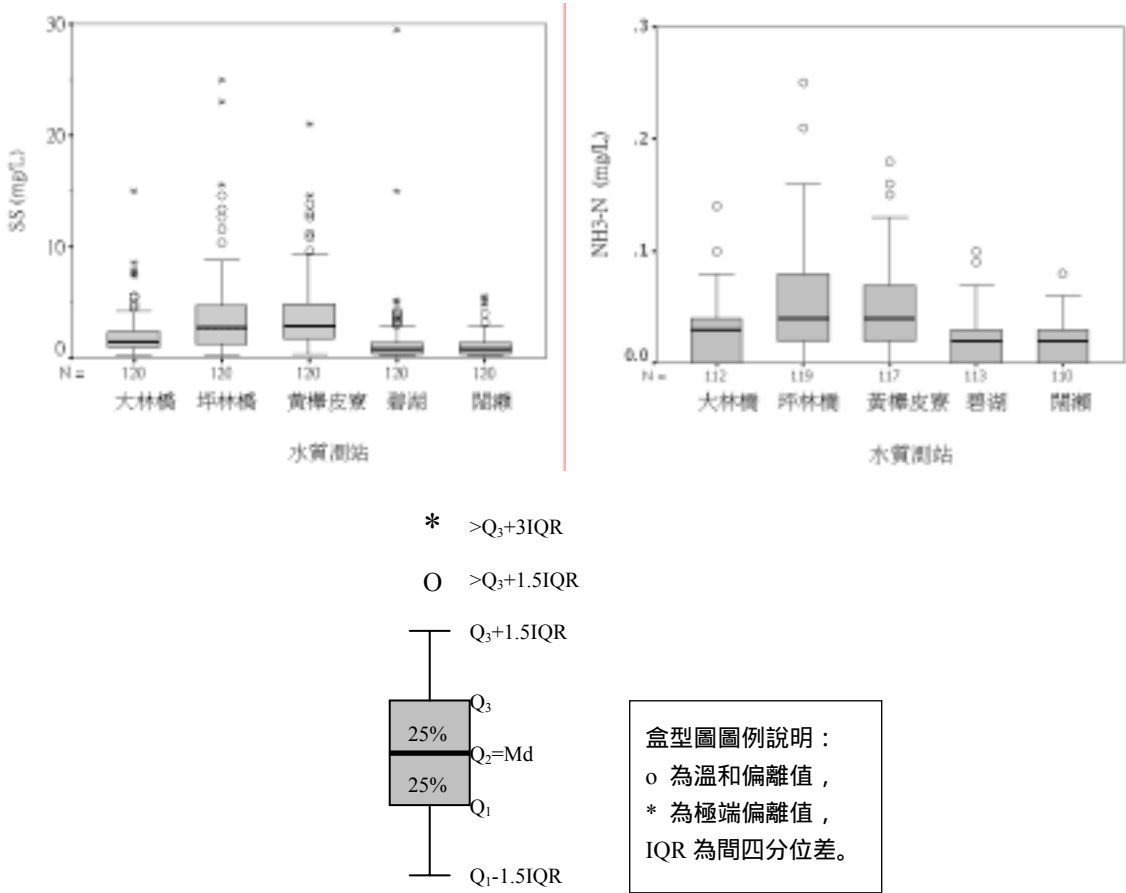


圖 5 五測站懸浮固體及氨氮盒型圖

中研院植物所 (1991) 曾對臺北水源特定區內的 13 個採樣點作過水質理化分析及矽藻類分析，其分析項目雖不包含懸浮固體以及氨氮兩項，但其研究結果有助於吾人了解本研究中五個測站的其他項目水質概況，並間接反映出該測站的環境背景概況，以供作比較討論。其研究結果指出，黃櫨皮寮站的水質分析項目中，總磷、大腸菌類數等，比坪林橋站略低，而比大林橋站略高，顯示逮魚堀溪流之水質較自坪林流下之北勢溪主流略佳，另外可能由於稀釋作用，使黃櫨皮寮站之水質比坪林橋站略佳。而以本研究分析的懸浮固體以及氨氮來說，黃櫨皮寮站似乎和坪林橋站含量相當，並無明顯的稀釋作用存在，可能因坪林橋至黃櫨皮寮的北勢溪沿岸，均有高密度的茶園種植所致。而和社區污水較相關的水質項目，如總磷、大腸菌類數，則因與坪林聚落的遠近而造成數值上的差異。

在北勢溪主流部分，闊瀨站之水質，不論從理化分析或矽藻類分析均顯示其污染較少，此與上游主要為林區，山坡地開發利用較少有關 (中研院植物所，1991)，本研究所分析的懸浮固體及氨氮亦顯示其污染較少。而在坪林橋站之水質理化分析中，總磷、硝酸氮、化學需氧量、大腸菌數等均比闊瀨站有極明顯之增加。從水質之理化及矽藻指標均顯示，從闊瀨至坪林間，污染量增加極為明顯。該研究指出此區域居民略有增多外，山坡地開發極為明顯，是為非點源污染。本研究至現地勘查的結果，

的確發現在河岸兩旁的山坡地有密集的農業使用情形，主要為茶園，此外也有大面積的檳榔種植。此外，近年來道路施工以及觀光遊憩所帶來的污染，亦嚴重危害下游翡翠水庫的水質，坪林北勢溪主流實為翡翠水庫最主要的污染來源（吳俊宗等，2002）。

中研院植物所（1991）在另一條支流逮魚堀溪部分的分析顯示，上游的碧湖站，其水質理化分析數值，如總磷、生化需氧量、化學需氧量、大腸菌類數等項目，常比其下游之大林橋略高，而認為碧湖之水質比大林橋為差，可能因為此河段之上游有污染源，而從碧湖以下至大林橋間則因河川自淨作用，使得較下游之大林橋站反而有較佳的水質。然而本研究在懸浮固體及氮氮的分析結果卻不同，此兩項指標於大林橋站均略高於碧湖站，在碧湖站的上游有少許露營地，目前則有北宜高隧道工程通過，這均為潛在污染源。但以資料來看，大林橋附近的農地開發似乎對於懸浮固體及氮氮含量較具影響力。

2. 季節變異

研究進一步討論各個測站在不同月份所呈現的季節變化，各月份盒型圖變化如圖 6 所示。在水質資料的平均值以及變異程度方面，不論是懸浮固體和氮氮含量，黃檨皮寮站及坪林橋站均較高，大林橋站次之，上游的闊瀨站及碧湖站則較低，此結果和人為干擾程度相同。接著比較懸浮固體及氮氮的季節變化，懸浮固體方面，黃檨皮寮站除了 12 月有一明顯高峰之外，其他各月並無明顯變化，此一高峰的形成原因不明，需進一步研究。至於闊瀨站及碧湖站的含量均低，較無明顯的季節變化趨勢。而坪林橋站及大林橋站在 4 至 6 月的懸浮固體含量較高，從歷年坪林橋站於採樣日的水文資料顯示，4 至 6 月為日平均流量較低的季節（圖 7），至於較高含量出現在較低流量季節的原因，尚無法斷定。而吳俊宗等（2002）曾指出，2002 年翡翠水庫逢甘旱，水量的降低連帶影響水質，其中濁度偏高的原因推測可能是 2001 年納莉颱風將大量砂土帶入水體中所致。受到外在環境改變的影響，低流量相對來說亦可能含有較高的懸浮物質。

在氮氮的季節變化方面，黃檨皮寮站和坪林橋站在 4 月、8 月及 11 月都各有一高峰出現，該地區氮氮的主要來源為茶園肥料的施用，施用季節約在 1 月、8 月及 11 月（張添晉，1991），其中 8 月及 11 月的施肥和氮氮含量的高峰一致，顯示河川的氮氮含量的確受到肥料施用的高度影響，盧英秀（1995）分析此區在 1990 年到 1993 年的氮氮含量變化，亦得到相同的結果。不過本研究發現的另一個高峰並非出現在 1 月，而是在 4 月，是否因為施肥季節在近幾年內有改變或是另有其他原因，則需要進一步的調查。

（三）趨勢分析

本研究的趨勢檢定為信心水準 95% 的雙尾檢定，故 p -value 小於 0.05 則具顯著差異，表示具有某種趨勢。The seasonal Kendall test 對於懸浮固體及氮氮的趨勢分析結果如表 3、表 4。

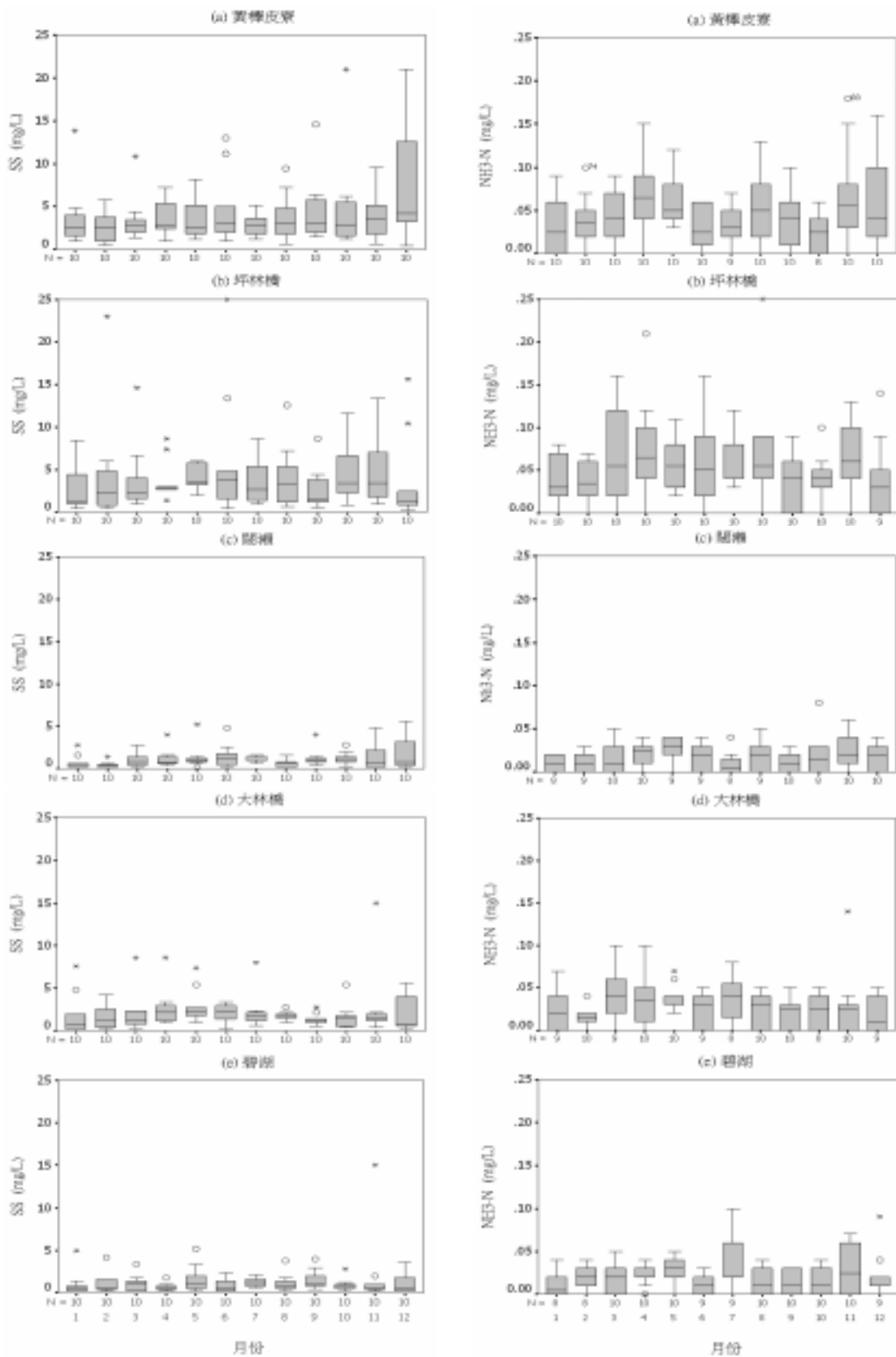


圖 6 各測站各月份懸浮固體和氨氮盒型圖

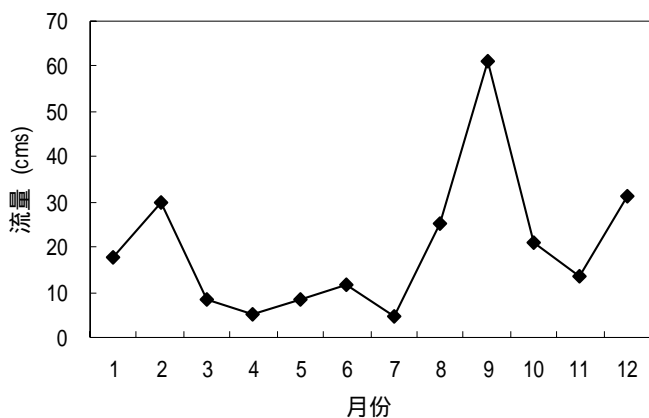


圖 7 坪林站採樣日日平均流量月份變化圖

表 4 懸浮固體的趨勢分析結果

年度	1993 至 1995 (前三年)		1996 至 2002 (後七年)		1993 至 2002 (十年)	
	p-value	趨勢	p-value	趨勢	p-value	趨勢
黃櫨皮寮	0.3768	—	(-)0.0303		0.1505	—
坪林橋	0.0725	—	(-)0.4487	—	0.0004	
闊瀨	1.0000	—	0.0314		0.0008	
大林橋	(-)0.2159	—	0.0002		0.0002	
碧湖	0.5839	—	0.0160		0.0014	

註：—表無顯著變化， 表顯著升高， 表顯著下降，(-)表負向趨勢。

表 5 氨氮的趨勢分析結果

年度	1993 至 1995 (前三年)		1996 至 2002 (後七年)		1993 至 2002 (十年)	
	p-value	趨勢	p-value	趨勢	p-value	趨勢
黃櫨皮寮	(-)0.1096	—	(-)0.1917	—	0.0008	
坪林橋	(-)0.2423	—	0.5752	—	0.0003	
闊瀨	(-)0.2113	—	0.0344		0.0009	
大林橋	(-)0.0111		0.0013		0.0000	
碧湖	(-)0.4109	—	0.0108		0.0001	

註：—表無顯著變化， 表顯著升高， 表顯著下降，(-)表負向趨勢。

以十年的期距來看，除了黃樺皮寮站的懸浮固體沒有明顯增加外，其餘測站的懸浮固體及氮氮含量均有明顯增加之趨勢，雖然這些污染物的含量仍在環保署的甲種水類標準內，但值得有關單位注意。若將資料分為前後兩期比較，前三年所有測站的水質均無明顯變化，其中大林橋站的氮氮含量甚至有減少的趨勢。而自北宜高施工的後七年來看，靠近施工地的坪林橋站，其懸浮固體及氮氮含量並沒有顯著增加，趨勢分析結果顯示前後兩期距均沒有顯著變化，但比較施工前後的年平均值差異（表 6）之後，發現坪林橋站施工後平均值較之前成長了近 3 倍，表示自北宜高施工後，懸浮固體及氮氮含量便顯著提高，之後則維持一個偏高的狀態，因此以整個十年的期距來看，懸浮固體和氮氮仍然有增加的趨勢（表 4、表 5）。至於黃樺皮寮站，其氮氮含量呈現和坪林橋站相同的趨勢，而成長倍數高達 3.56 倍，為各測站增加最嚴重者；懸浮固體含量部分，雖然趨勢分析結果顯示後七年有好轉的趨勢，但其平均值仍成長了 1.75 倍。此地區的污染來源應為溪流兩旁的農地以及上游的坪林聚落，雖然坪林污水處理場自 1999 年啟用後固定清除了不少污染物，但下游黃樺皮寮站的污染物含量仍顯示有增加的趨勢，值得相關單位注意。

至於附近無重大工程施工的闊瀨站、大林橋站，在道路開始施工後七年的懸浮固體及氮氮含量均有增加之趨勢，且後七年平均值亦比前三年高，顯示集水區內溪流之懸浮固體及氮氮含量的增加是一個普遍趨勢，至於是自然增加（如近年來暴雨強度較大加速地表沖蝕、空氣污染增加大氣輸入等），或是人為因素影響（如農地開發、觀光遊憩等），則需更進一步的調查資料來說明。不過從表 6 中的懸浮固體成長情形來看，最靠近施工地點的坪林橋站，含量由 1.74 mg/L 增加至 4.91 mg/L，相較於闊瀨站（0.75 mg/L 成長至 1.26 mg/L）的確有較明顯的增加，因此仍顯示出道路興建對於水質所造成的一定影響。

表 6 北宜高施工前後水質項目平均值差異

項目	測站	黃樺皮寮			大林橋			坪林橋			碧湖			闊瀨		
		N	mean	Std.	N	mean	Std.	N	mean	Std.	N	mean	Std.	N	mean	Std.
懸浮固體 (mg/L)	1993 至 1995	36	2.64	1.87	36	1.28	0.82	36	1.74	1.14	36	0.80	0.83	36	0.75	0.54
	1996 至 2002	84	4.62	4.05	84	2.40	2.34	84	4.91	4.55	84	1.69	3.57	84	1.26	1.22
	成長倍數	1.75			1.87			2.82			2.12			1.68		
氮氮 (mg/L)	1993 至 1995	36	0.016	0.03	36	0.012	0.02	36	0.024	0.03	36	0.014	0.02	36	0.009	0.01
	1996 至 2002	81	0.058	0.03	76	0.036	0.02	83	0.068	0.04	77	0.024	0.02	74	0.021	0.02
	成長倍數	3.56			2.93			2.87			1.76			2.31		

註：N 為樣本數，mean 為平均值，Std. 為標準差。

結 論

本研究分析翡翠水庫上游集水區五個測站（黃櫨皮寮、坪林橋、闊瀨、大林橋、碧湖）共十年（1993至2002年）的水質變化趨勢，分析項目包含懸浮固體及氨氮兩項。分別從變化趨勢圖、盒型圖以及趨勢檢定方法（The seasonal Kendall test）來分析水質變化的趨勢以及各測站的空間變異。

觀察十年來的水質時間序列圖，多數測站在近幾年的懸浮固體和氨氮含量有升高的趨勢，且出現較多的極端值。而不同測站的盒型圖分析結果顯示，黃櫨皮寮站及坪林橋站的水質較差，和人為干擾的程度有關；季節變化部分，氨氮含量呈現與施肥季節相同的高峰值。The seasonal Kendall test 的趨勢分析檢定結果顯示，五個水質測站的懸浮固體及氨氮含量在這十年中，除了黃櫨皮寮的懸浮固體外，均有顯著增加的趨勢。比較北宜高速公路興建前後的差異，各測站之水質監測平均值均成長1至3倍，懸浮固體部分，以坪林橋站增加最為明顯，顯示道路興建對河川水質確有影響；氨氮部分，黃櫨皮寮站增加最明顯，顯示農地耕作仍對水質造成一定的威脅。

翡翠水庫的水質狀況在臺灣各水庫中是較為優良的，水質狀況也頗受重視，上游集水區的過度開發勢必影響下水庫的水質。坪林地區的茶葉種植已有百年歷史，近幾年來高山茶的行情看漲，坪林鄉也將此視為地方產業而極力推廣，茶園面積因而快速增加，如何有效的管制開發是十分重要的課題。而目前正在興建中的北宜高速公路未來將是貫通北部及東部地區的一大動脈，工程設計上以高架橋及隧道工程為主，盡量減少對地表的直接破壞，但興建過程中所帶來的工程污染仍不可避免，對水質造成直接的危害，工程品質的改善以及未來通車後的污染防治是必須關注的焦點。

本研究所使用的 The seasonal Kendall test，可有效地應用於時序資料的趨勢分析，用以檢測出研究對象的單一趨勢，其無母數分析方法對於水質資料的處理也相當合適。此法在國外已成為一般性的水質趨勢檢測法，未來應該可以廣泛地應用在國內的河川、水庫及湖泊水體之水質檢測資料。

謝 辭

本研究承蒙臺大地理系李美慧副教授給予水質趨勢分析方法上的建議，以及臺北水源特定區管理局葉坤全先生提供水質監測的資料，於此一併致謝。

引用文獻

- 中央研究院植物研究所（1991）臺北水源特定區河川藻類相與水質關係研究，臺北水源特定區管理委員會委託中研院植物所研究報告。
- 李漢鏗、王金詮（1994）臺灣地區河川水質之趨勢分析，逢甲學報，27: 127-144。
- 吳志剛（2000）氣候變遷對高屏河流域水資源衝擊之探討，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 吳俊宗、高麗珠、黃文亞（2002）翡翠水庫藻類與水質關係之長期監測（II），臺北翡翠水庫管理局委託中研院植物所研究報告。

- 陳孝行、黃正義、張添晉 (2000) 翡翠水庫集水區非點源污染特性調查之研究, 臺北科技大學學報, 33 (2) : 25-42。
- 張添晉 (1991) 臺北水源特定區非點源污染控制策略研究, 臺北水源特定區管理委員會。
- 張尊國、鄭克聲、魏敏裕 (1994) 石門水庫集水區人為開發對水質之影響, 第三屆水源水質水量保護區環境管理研討會論文集, 243-260。
- 臺北水源特定區管理委員會 (1986) 臺北水源特定區農業殘留物對水質影響之調查研究報告。
- 經濟部水資源統一規劃委員會 (1987) 經濟部七十六年度研究發展專題—臺灣地區河川水質現況及未來發展趨勢之研究。
- 盧英秀 (1995) 坡地經營組合之水質環境衝擊與經濟分析：翡翠水庫集水區一例, 國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 鍾旭和、顏江河 (1985) 翡翠水庫集水區之土地利用與溪流水質關係, 林試所試驗報告第 436 號。
- Audiffren, N. (2000) Mann-Kendall data tests for Ozone 1995-1999 data series at the PUY de Dome and in the AUVERGNE Region (France), *Tropospheric Ozone Research Annual Report 2000*, 43-93.
- Esterby, R. S. (1996) Review of methods for the detection and estimation of trends with emphasis on water quality applications, *Hydrological Processes*, 10 (2) : 127-149.
- Helsel, D. R. and Hirsch, R.M. (1992) *Statistical Methods in Water Resources*, New York: Elsevier.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R. and Smith, R. A. (1982) Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research*, 18 (1) : 107-121.
- Hirsch, R. M. and Slack, J. R. (1984) A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence, *Water Resources Research*, 20 (6) : 727-732.
- Kendall, M. G. (1975) *Rank Correlation Methods*, London: Charles Griffin.
- Mann, H. B. (1945) Non-parametric tests against trend, *Econometrica*, 13: 245-259.
- Raike, A., Pietilainen, O. P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A. and Vuorenmaa, J. (2003) Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finish rivers and lakes in 1975-2000, *The Science of the Total Environment*, 310: 47-59.
- Walker, W. W. (1991) Water quality trends at inflows to Everglades National Park, *Water Resources Bulletin*, 27 (1) : 59-72.
- Yue, S. and Hashino, M. (2003) Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan, *Journal of the American Water Resources Association*, 39 (3) : 587-596.
- Zipper, C. E., Holtzman, G. I., Darken, P. F., Gildea, J. J. and Stewart, R. E. (2002) Virginia USA water quality, 1978 to 1995: regional interpretation, *Journal of the American Water Resources Association*, 38 (3) : 789-802.

93 年 7 月 30 日 收稿

93 年 10 月 21 日 修正

93 年 11 月 1 日 接受