

德基水庫水質優養化之時間數列研究

陳鴻烈¹ 鄭慧玲²

本研究將以德基水庫中總磷資料計算 TSI (Trophic Status Index) 優養指數，並利用相乘性分解方法 (multiplicative decomposition method) 進行德基水庫水質優養化時間數列分析研究，用以瞭解德基水庫水質之優養化變化情形。研究顯示，德基水庫季節變化 (S) 之水質優養化變動情形每年有一高峰期，從四月到十月，總長度達七個月之久。此外，德基水庫優養指數長期趨勢 (T) 乃顯示隨時間 (t) 呈緩慢成長狀態，其間的關係可表示為 $T = 51.4231 + 0.0605 t$ ，其中 $t = 1, 2, 3, \dots, 161$ 。至於在循環變動 (C) 的研究中則發現，循環變動週期自早期的 2 ~ 3 年，逐漸縮減至 1 年左右。由此可知，德基水庫水質優養化的情形有日益嚴重的趨勢。

一、前言

臺灣主要水庫之一的德基水庫，於七十年代因受水庫周邊土地過分開發，山林濫墾、土壤流失，及農藥、肥料的影響，水質已明顯惡化；其中，水中總磷含量已明顯超過美國環保署水庫湖泊優養化限值 (0.020 mg/L)。因此，自民國七十二年開始做德

¹ 國立中興大學水土保持學研究所副教授

² 國立中興大學水土保持學系資源環境實驗室特別助理

德基水庫之水質調查，然而經過十多年之努力，德基水庫水質優養化情形究竟是已經改善了呢，還是愈來愈嚴重，或是與從前相若？所以本研究即在利用過去十多年之水質資料——「大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃工作報告 (72年1月至85年5月)⁽¹⁻¹⁰⁾」中的水質資料來進行時間數列分析研究。

二、研究方法

在水質優養化的量化指標模式之研究方面，1977年 Carlson 發展了 TSI (Trophic Status Index) 優養指數，分別以總磷、葉綠素 a 與透明度三種指數之 TSI 值評判水體之營養狀態。因「大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃工作報告 (72年1月至85年5月)⁽¹⁻¹⁰⁾」中的總磷資料較為完整，故我們將以德基水庫總磷之 TSI 值，並利用相乘性分解方法 (multiplicative decomposition method) 進行德基水庫水質優養化時間數列分析研究。其中，總磷之 TSI 值計算公式如下⁽¹¹⁾

$$\text{TSI (TP)} = 10 \left[6 - \frac{3.70 - 0.98 \ln [\text{TP}]}{\ln 2} \right] \quad (1)$$

[TP]：總磷濃度 (mg/m³)

一般而言，時間數列係指以時間先後順序出現之一連串觀測值的數列，典型的時間數列是由下列四種變動成分所構成：

1. 長期趨勢：來敘述長期間之成長或衰退。此乃一段較長時期變動之基本傾向，包括變動的方向與強度。
2. 季節變動：來說明在特定期間內發生有規則的變動，通常指一

年以內週期性之變動。

3. 循環變動：是指一年以上之週期變動，週期長短不一致，每呈不規則狀態。
4. 不規則變動：是指一種屬於隨機或不可預測之變動，亦為一種偶然性之意外變動。

理論上的時間數列模式假設祇含上述四種組合因素，且假定這四種因素對觀察事物的影響作用之淨效果為它們的乘積。因此，若以 T、S、C 及 I 四個字母分別代表長期趨勢、季節變動值、循環變動值及不規則變動值，則時間數列 Y 可用下面的模式表示為

$$Y = T \times S \times C \times I \quad (2)$$

通常稱為乘法模式，是分解時間數列最常用的模式。上式中的 T 及 Y 之單位與觀測值的單位相同，其餘 S、C、I 之單位通常為無單位的小數⁽¹²⁾。

三、結果與討論

1. 十二個月移動平均之計算

德基水庫的總磷優養指數 (TSD) 值形成之時間數列，其季節變動之週期為 12 個月，為消除此季節變動，宜求 12 個月移動平均數。然為使移動平均數與 TSI 值比較時所代表的時間能一致，故應用中心化技術求每相鄰兩個移動平均數的二個月移動平均數，如此，所形成之時間數列已不含季節變動因素與不規則變動因素，因此，這種被中心化的移動平均數就代表一種長期趨勢與循環變動因素之組合(T × C)。此外，因 $Y = T \times C \times S \times I$ ，故

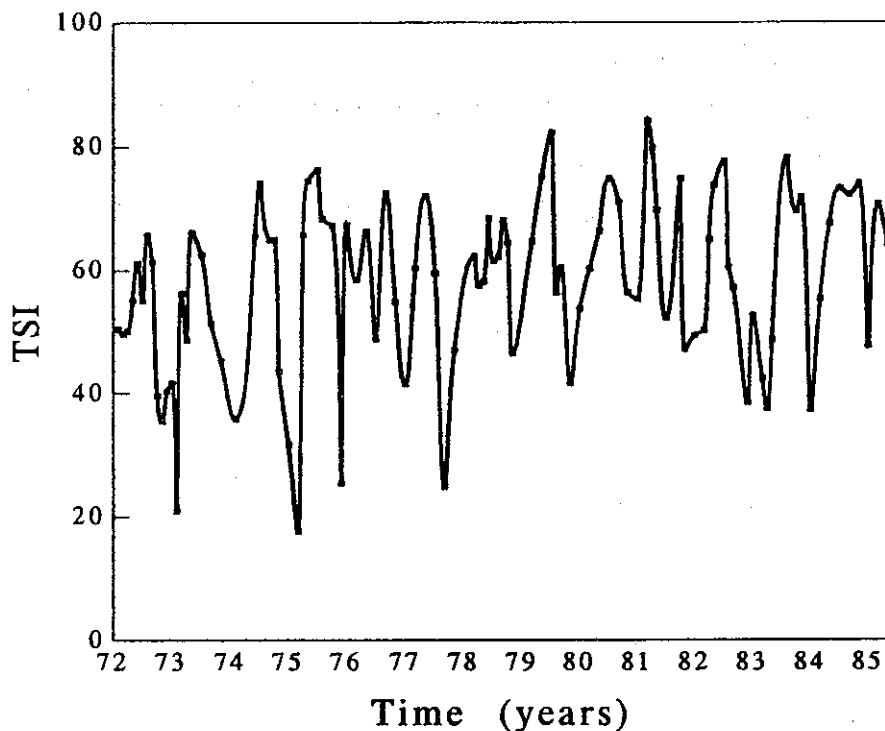


圖 1 德基水庫優養指數 TSI 歷年變化情形

季節變動與不規則變動因素之組合 ($S \times I$) 亦可藉由 $Y/(T \times C)$ 來求得⁽¹¹⁾，而在本研究中， Y 即等於德基水庫優養指數 TSI 值。而德基水庫歷年來的優養指數 TSI 值變化情形則如圖 1 所示。

2. 季節指標之推求

季節變動與不規則變動因素之組合 ($S \times I$) 值可供分析時間數列之季節變動。將 $S \times I$ 值按月份別同排於一列，列於表 1，可發現它們的變動趨勢較具規則性。計算同一列（同一月份）的 $S \times I$ 平均值，在平均過程中，那些不規則變動將大部分相互抵消，因而能把這 12 個算術平均數作為測度每一年 12 個月的季節變動影響之指標 (S_m)。此一指標通常尚需經過調整修正，使其和

表 1 德基水庫優養指數 (TSI) 資料：季節指數 (S)

年 月	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	平均 S_m	修正 S_c
1		0.855	-	0.577	1.134	0.699	-	-	0.902	0.807	0.813	1.052	0.583	0.825	0.854
2		0.433	0.657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.545	0.564
3		1.203	-	0.316	1.029	1.075	1.073	0.998	0.998	1.262	0.810	0.845	0.875	0.953	0.986
4		1.045	-	1.186	-	-	0.946	-	-	1.194	1.066	0.734	-	1.029	1.065
5		1.389	-	1.319	1.176	1.397	0.954	1.177	1.061	1.044	1.208	0.845	1.072	1.149	1.189
6		-	1.128	-	-	-	1.121	-	-	-	-	-	-	1.125	1.164
7	1.083	1.260	1.316	1.372	0.825	1.150	1.009	1.311	1.171	0.794	1.310	-	1.142	1.145	1.185
8	1.333	-	-	1.183	-	-	1.019	0.910	-	-	1.019	1.419	-	1.147	1.187
9	1.271	0.989	1.190	-	1.267	0.469	1.113	0.980	1.076	-	0.971	-	1.090	1.042	1.079
10	0.816	-	1.235	1.073	-	-	1.048	-	-	1.258	-	1.190	-	1.103	1.142
11	0.725	0.898	0.795	-	0.949	0.891	0.740	0.683	0.806	0.804	-	1.165	1.099	0.869	0.900
12	0.826	-	-	0.414	-	-	-	-	-	-	0.742	-	-	0.661	0.684

為 12，因此，調整修正後的季節指標 (S_c) 為⁽¹¹⁾

$$S_c = S_m \left[12 / \sum_{t=1}^{12} S_m \right], \quad t = 1, 2, \dots, 12 \quad (3)$$

將調整修正後的季節指標 (S_c) 對時間繪圖 (圖 2)，可看出德基水庫季節變化之水質優養化變動情形每年有一高峰期，從四月一直延續至十月，總長度達七個月之久。

3. 調整季節指數與長期趨勢之求算

將德基水庫優養指數 TSI 值 (Y) 分別除以對應月份的季節指標 (S_c)，則可求得調整季節變動之優養指數資料 (d)，即

$$d = Y / S_c \quad (4)$$

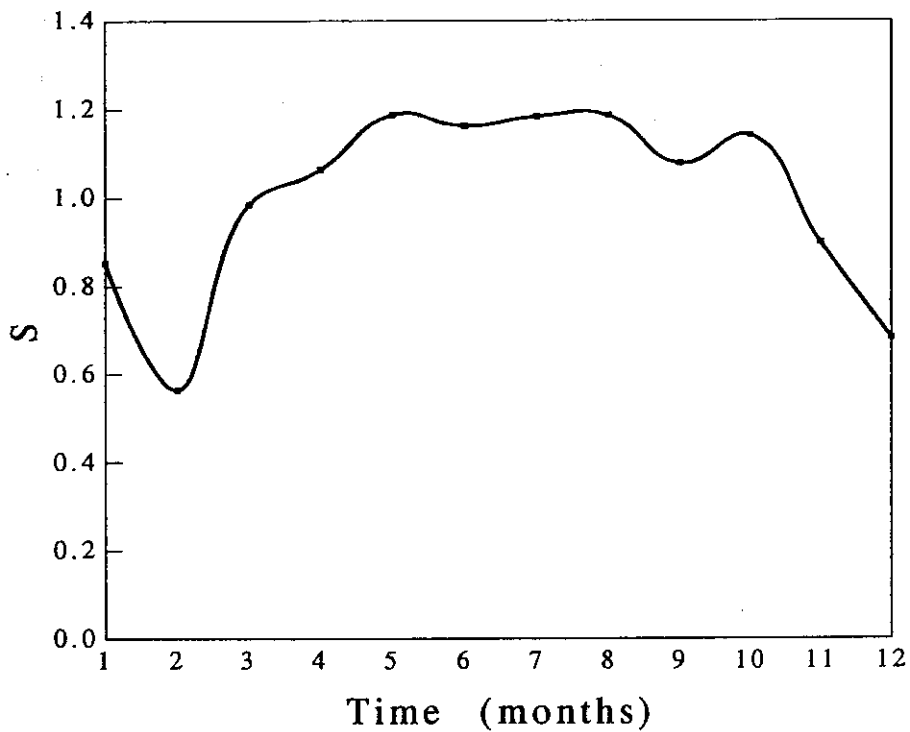


圖 2 德基水庫水質優養化之季節變動 (S)

此外，可利用季節調整之優養指數資料推求長期趨勢 (T)，因該資料係隨時間改變而呈直線型態，故可假設

$$T = b_0 + b_1 t \quad (5)$$

其中，利用最小平方法得

$$b_0 = \left[\sum_{t=1}^{161} d / 161 \right] - b_1 \left[\sum_{t=1}^{161} t / 161 \right] \quad (6)$$

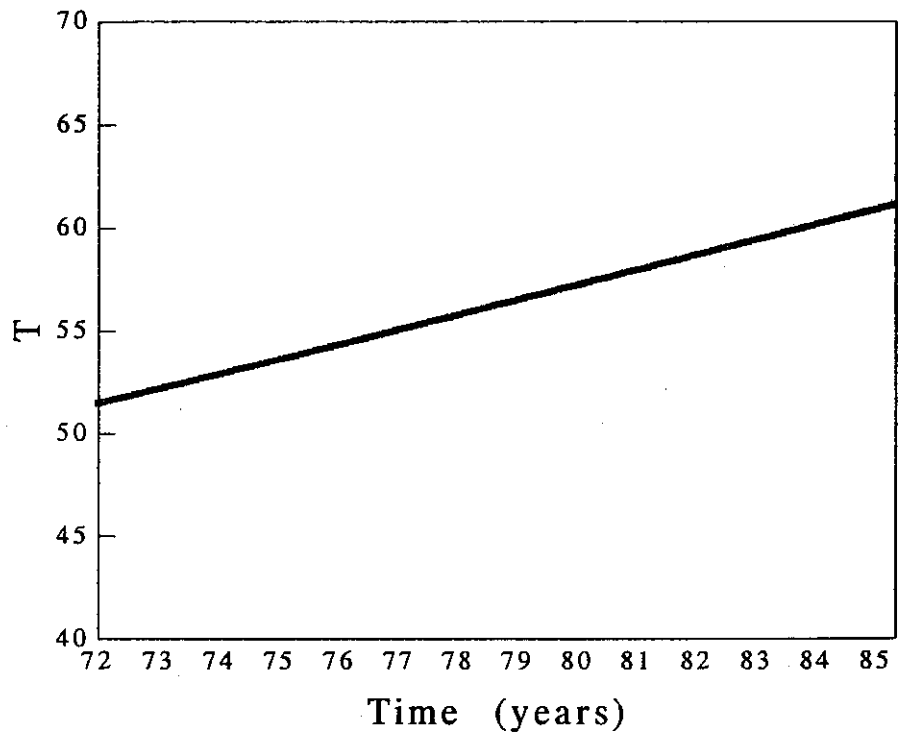


圖 3 德基水庫水質優養化之長期趨勢 (T)

$$b_1 = \left[\frac{161}{161} \sum_{t=1}^{161} t d - \frac{(\sum_{t=1}^{161} t)(\sum_{t=1}^{161} d)}{161} \right] / \left[\frac{161}{161} \sum_{t=1}^{161} t^2 - \frac{(\sum_{t=1}^{161} t)^2}{161} \right] \quad (7)$$

因此，在本研究中求得的優養指數長期趨勢 (T) 之迴歸直線為

$$T = 51.4231 + 0.0605 t, \quad t = 1, 2, 3, \dots, 161 \quad (8)$$

由圖 3 更可明顯看出，德基水庫優養指數長期趨勢乃隨時間呈緩慢成長狀態。

4. 循環變動與不規則變動之分析

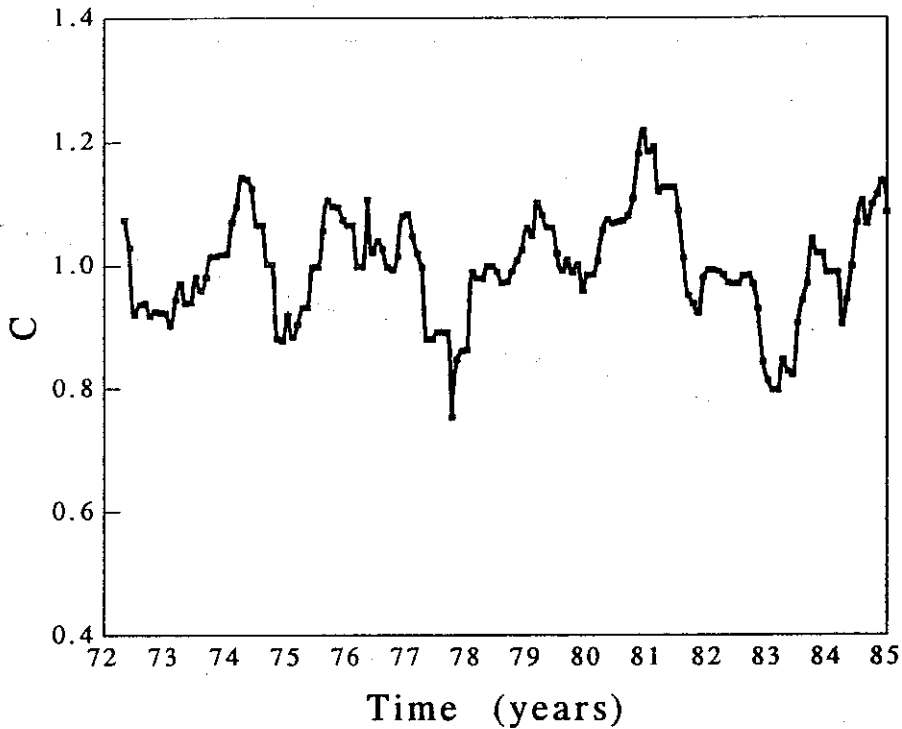


圖 4 德基水庫水質優養化之循環變動 (C)

調整季節變動與長期趨勢後的資料，係指自原給時間數列，移除季節變動與長期趨勢兩個因素所得之資料。在這種資料中，一般尚含循環變動與不規則變動因素。因 $Y (= TSI) = T \times C \times S \times I$ ，由德基水庫優養指數 (TSI) 與 S 、 T 值即可求得循環變動與不規則變動因素組合 ($C \times I$ 值)⁽¹¹⁾。

接著，我們將計算循環變動因素 C 之推估值，一般係採用移動平均來獲得，因不規則變動很少延伸二或三個月，故採取 9 個月移動平均將可除去它們的影響。茲將 $C \times I$ 值取 9 個月移動平均而得循環變動之效果 C 值，再利用 $C \times I/C$ 求算不規則變動 I 值⁽¹¹⁾。循環變動 (C) 與不規則變動 (I) 隨時間變化情形則分別如圖 4 與圖 5 所示。

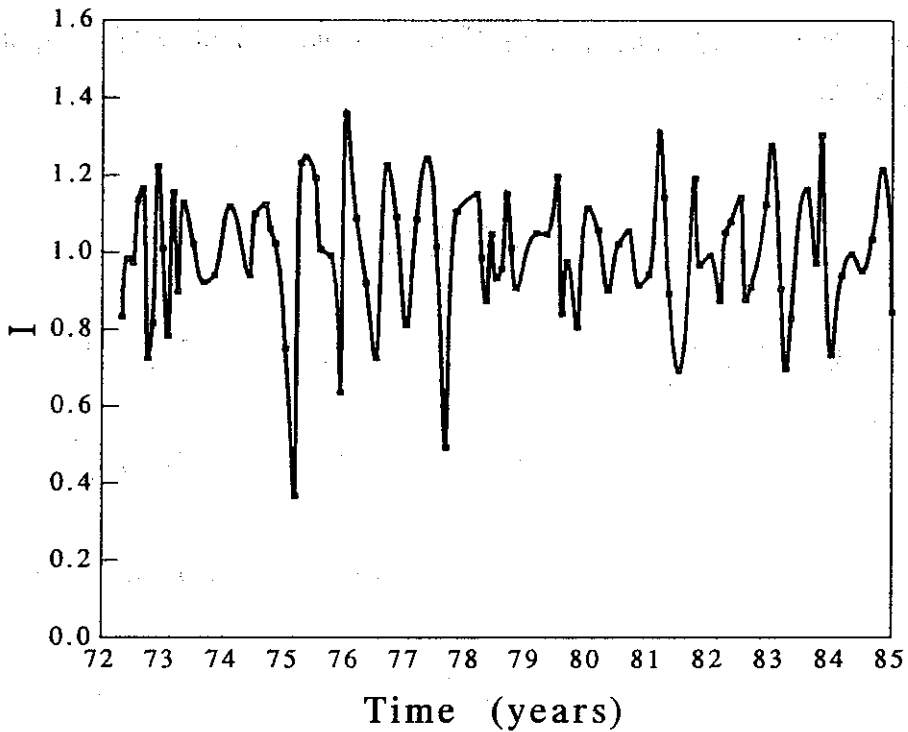


圖 5 德基水庫水質優養化之不規則變動 (I)

四、結 論

由時間數列分析研究顯示，德基水庫水質優養化的情形日益嚴重，建議農業污水應加以收集處理後再排放，應訂定排放標準，而且不得排於水庫集水區之內，並嚴格執行。此外，應在水庫上游河川設置保護帶；尤其重要的是減少集水區內土地開發，做好水土資源保護工作，以延長水庫使用壽命，改善其水質，並確保下游用水民眾之健康與安全。

五、致 謝

本文蒙臺中縣政府環境保護局之贊助，方得以完成研究，作者謹此致謝。

參考文獻

1. 大甲溪河川水質長期監視計劃工作報告。水資會。25-資-05。1993。
2. 大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃第五年工作報告。台電 & 水資會。1988。
3. 大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃第六年工作報告。台電 & 水資會。1989。
4. 大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃第七年工作報告。台電 & 水資會。1990。
5. 大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃第八年工作報告。台電 & 水資會。1991。
6. 大甲溪流域河川水質長期追蹤計劃第九年工作報告。台電 & 水資會。1992。
7. 德基水庫集水區第三期整體治理規劃水質監測及管理模式研究第一年 (82 年度) 工作報告。德基水庫集水區管理委員會 & 水資會。25-資-07。1993。
8. 德基水庫集水區第三期整體治理規劃水質監測及管理模式研究第二年 (83 年度) 工作報告。德基水庫集水區管理委員會 & 水資會。25-資-07-02。1994。
9. 德基水庫集水區第三期整體治理規劃水質監測及管理模式研究第三年 (84 年度) 工作報告。德基水庫集水區管理委員會 & 水資會。25-資-07-03。1995。

10. 德基水庫集水區第三期整體治理規劃水質監測及管理模式研究第四年 (85 年度) 工作報告。德基水庫集水區管理委員會 & 水資會。25-資-07-04。1996。
11. 駱尚廉、蔡淑芬、萬哲勳、張芳貞。水庫優養化資料庫及專家系統研究 (第二年)。環境工程研究報告 No.274。行政院環境保護署 (EPA-80-G103-09-16)。1991。
12. 陳登源、楊錦洲、林茂文、蔡豐清。管理數學。國立空中大學印行。1997。