

不同優養水質共線性分析及模式選擇之研究

陳鴻烈⁽¹⁾ 蔡大偉⁽²⁾

摘要

本研究是以德基水庫優養化趨勢相關重要參數為研究對象，運用不同迴歸分析選擇法篩選出與優養化相關之最重要因子，以提升迴歸模式的解釋能力，協助水庫優養化管理策略之制定。研究中共使用三種迴歸分析選擇法，包括順向、逆向選擇迴歸分析與逐步迴歸分析，分別針對先經過單迴歸分析篩選的優養化重要因子進行分析，以挑選出最適宜的因子。研究結果顯示，三種分析法的標準化 R^2 值均較原始複迴歸表現好，其中又以順向選擇分析最佳，表示使用迴歸分析選擇法可有效選出與優養化最相關的因子，進而提升模式的解釋能力。

(**關鍵詞**：優養化、複迴歸分析、參數選擇、水質因子、德基水庫)

Colinearity Analysis and Model Selection of Water Quality Factors Related to Eutrophication

Paris Honglay Chen

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

David D-W. Tsai

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

This study was conducted to find out the important water quality factors related to eutrophication in the Te-Chi reservoir by different regression methods so that the explanation of the models could be improved, and the management plan of eutrophication can be established successfully. Three regression methods including forward, backward, and stepwise were used to analyze the important water quality factors that had been initially screened by simple regression analysis. The results showed that all standardized R^2 values of three methods were better than that of the original multiple regression model and the best method was forward regression analysis. Consequently, regression methods could screen efficiently the important water quality factors of eutrophication in order to improve the explanation capability of the models.

(**Key words**: Eutrophication, Multiple Regression Analysis, Parameter Selection, Water Quality Factor, Te-Chi Reservoir)

(1) 國立中興大學水土保持學系教授

(2) 國立中興大學水土保持學系研究生

前言

近年來，在台灣經濟快速發展下，人民的生活逐漸富裕滿足，人口快速增加，然而在地狹的先天條件下，山坡地開始被大量的開發，而開發過程中森林的砍伐更導致嚴重的生態破壞 (Schneider, 2001)。台灣山坡地以農業的開發最為旺盛，使得作為飲用水水源的水庫之水質受到嚴重的威脅。而農業污染往往是造成水庫優養化的主要來源之一 (Smith, 2005; Antikainen, 2005)，其影響範圍廣大且深遠。

本研究對象 — 德基水庫之水質亦受到優養化的威脅 (經, 2002)。一般在進行優養化相關動力因子研究時，會先找出最有可能的因子，然後再進行複迴歸分析，以檢視所採用的因子對優養化趨勢的解釋程度。而在進行複迴歸分析後，又可利用順向、逆向與逐步迴歸分析等方法來對所選用的因子做更進一步的檢驗，找出最適宜的因子，使模式更加精簡並達到最佳化 (吳, 2001)。

理論分析

在完成優養化全模式之複迴歸分析後，可再進行一次共線性檢定，來觀察其共線性程度；接下來可藉由一些其他迴歸分析來檢驗所選用因子的適宜性，而常用的方法包括順向、逆向與逐步迴歸分析，其分析方法與結果評判標準將分述如後。

一、共線性檢定

當迴歸模型之自變數間有高度相關時，將導致共線性的現象發生，使模型的解釋能力降低。因此，必須經過檢驗校正，以克服迴歸係數標準誤及預測值變異數膨脹的缺點。共線性之檢驗可分為兩個方向來思考，一是模式決定係數值 (R^2)，另一則是模式之特徵值與特徵向量。

(一) 模式決定係數值 (R^2)

當決定係數值高時，可能為參數膨脹的結果，可藉此討論模式之共線程度。

1. 容忍度

容忍度 (tolerance) 等於 1 減去決定係數值 (林, 2002)，其算法為

$$\text{容忍度} = 1 - R_i^2$$

R_i^2 ：以其他自變數預測第 i 個自變數所得之決定係數

決定係數值越大，表示越有可能存在共線性的問題，亦即表示容忍度數值越小，則共線性問題越嚴重。

2. 變異數波動因素

變異數波動因素 (variance inflation factor, VIF) 為容忍度之倒數，可以表示為

$$\text{VIF} = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

R_i^2 ：以其他自變數預測第 i 個自變數所得之決定係數

變異數波動因素的判別標準是 — 若其數值大於 10，則代表該變項與其他預測變項間存在共線性的問題 (陳, 2003)。

(二) 模式特徵值與特徵向量

藉由模式特徵值與特徵向量的計算，可看出迴歸模式中各個自變數之間線性相依的情形與程度。

1. 特徵值

各個自變數之特徵值 (eigenvalue) 若接近於 0，則代表此 X 矩陣可能是特異矩陣 (singular matrix)，也就是有線性相依的情形發生。

2. 條件指數

條件指數 (condition index, CI) 是根據特徵值所計算的指數，其計算方法如下：

$$CI = \sqrt{\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_i}}$$

λ_{\max} ：最大行列式值

λ_i ：第 i 項之行列式值

條件指數判別標準為 — 當其數值介於 30~100 之間時，為中度共線性；若大於 100，則是具有高度共線性 (陳，2003)。

3. 變異數比例 (variance proportions)

根據矩陣 X 所求之特徵向量 (eigen vector) 來判定，在任一列上有任兩個變項以上之係數非常接近 1 者，或是數值均大於 0.5 以上者，則表示這些變項間可能有共線性的情形 (Katz, 2005)。

二、迴歸分析選擇法

一般常用的迴歸選擇方法包括順向、逆向與逐步分析法，其分析方法如下：

(一) 順向選擇迴歸分析

順向法是先將解釋能力最高者 (R^2 值最大) 納入模式中，再依次將淨進入 F 值 (F-to-enter) 最大的變數加入進行迴歸分析，一直到沒有大於系統所規定的標準變數為止。一般標準定為顯著水準 0.5 (彭，1998)，意即將重要的自變數一一納入，使得迴歸模型達到最精簡的程度 (Carlona, 2004)。

(二) 逆向選擇迴歸分析

先將所有的選用變數放入迴歸方程式，然後再將對模式影響最小者去除，依次剔除淨退出 F 值 (F-to-remove) 最大的變數，一直到沒有變數小於系統所規定的標準為止。一般標準定為顯著水準 0.1 (彭，1998)，意即將不重要的自變數加以剔除，讓模型中只存在不可缺少的因子 (陳，2003)。

(三) 逐步迴歸分析

以順向選擇迴歸分析法為主，一樣將大於系統規定的淨進入 F 值的變數納入，然而

在變數納入後，卻採用逆向選擇迴歸分析法，將小於系統規定的淨退出 F 值予以剔除，若沒有可剔除的變數，則繼續進行順向選擇法。一般標準定為顯著水準 0.15 (彭，1998)，如此一直反覆進行，直到沒有變數可以納入或剔除為止 (林，2004)。

三、分析結果評判標準

本研究共使用 4 種統計指標來判斷模式選擇結果的表現，分別是 F 統計值、決定係數值 (R^2)、調整後決定係數值 (Adj. R^2) 與 Mallows 的判斷標準 (Mallows's Cp criterion, Cp)，其理論及判斷標準簡介如下。

(一) F 統計值

使用 F 統計量對迴歸模型進行變方分析 (analysis of variance)，若檢定結果機率值 (P-value) 達統計顯著水準，則代表此模型為合理。一般 F 值的計算方法為 — 模式誤差均方除以總誤差均方。而在複迴歸模型中，計算個別參數之 F 值時，必須採用 Type II SS 來計算，若以應變數 Y ，自變數 X_1 、 X_2 為例， X_1 之 F 值計算可表示如下：

$$F = \frac{SS_{(x_1, x_2)} - SS_{(x_2)}}{SS_{(total)} / Df_{(total)}}$$

$SS_{(x_1, x_2)}$ ：以 X_1 、 X_2 為自變數的複迴歸模型之誤差平方和

$SS_{(x_2)}$ ：以 X_2 為自變數的單迴歸模型之誤差平方和

$SS_{(total)}$ ：全模式之誤差平方和

$Df_{(total)}$ ：全模式之自由度

(二) 決定係數值 (R^2)

R^2 值可用來評判一迴歸模型對其變異度的解釋能力，其值越高，代表該模型的解釋能力越強。其計算方法為

$$R^2 = \frac{SSR}{SSE}$$

SSR：模式誤差平方和

SSE：總誤差平方和

(三) 調整後決定係數值 (Adj. R²)

由於本研究使用迴歸模式選擇法來進行優養化部份模式的選擇，因此，挑選出來的複迴歸模型之參數數量有不一致的情形。為了避免因參數多而導致 R² 值膨脹的情形發生，必須考慮參數自由度來標準化 R² 值，使得在比較時能有相同的基準。計算調整後決定係數值 (Adj. R²) 時，是以參數個數改變對模式無法解釋的部分進行修正，其修正式可表示如下：

$$\text{Adj. } R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N - 1}{N - k}$$

N：觀測值個數

k：模式參數個數

(四) Mallow 的判斷標準 (Cp)

Cp 值可用來判斷部分模式與全模式的差別，當其值越小或是越接近於期望值 p+1 時，代表該部分模式表現越接近全模式。式中 p 為部分模式中所採用的參數個數，而 Cp 值之計算方法如下：

$$C_p = \frac{SSE_R}{MSE_F} - (n - 2k)$$

n：觀測值個數

p：部分模式參數個數

k：未知參數個數，k=p+1

SSE_R：部分模式誤差平方和

MSE_F：全模式誤差均方

研究方法

本研究先根據優養化動力因子研究結果來選用與優養化相關的因子，共包括水溫、溶氧、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD、鈉、葉綠素 a 與透明度等 12 個經單迴歸達顯著之因子 (陳，

2005b)，其中包含了一般淡水區優養動力研究常見的因子 (Reisenhofer, 1995)。每個因子之決定係數值如表 1 所示，藉由表中這些水質因子可形成一全體複迴歸模型，此模型再經過離群值修正，即可得一優養全模式 (陳，2005c)。本研究就是使用此全模式之數據，來作為分析與比較之依據。

表 1. 選用因子之決定係數表
Table 1. R² values of different factors.

排序	變數	R ²	P-value
1	總磷	0.7997	< 0.0001
2	懸浮固體	0.5400	< 0.0001
3	透明度	0.3956	< 0.0001
4	葉綠素a	0.3818	< 0.0001
5	COD	0.3259	< 0.0001
6	濁度	0.2293	< 0.0001
7	水溫	0.1324	0.0034
8	鈉	0.1292	0.0194
9	溶氧	0.1290	0.0038
10	硝酸鹽	0.1055	0.0094
11	氨氮	0.1009	0.0142
12	磷酸鹽	0.0961	0.0321

資料來源：陳，2005b。

本研究先針對優養全模式進行共線性檢定，觀察此模式之共線性情形，然後再藉由統計軟體 SAS 分別進行順向、逆向選擇迴歸分析與逐步迴歸分析，希望藉此改善模式共線性的問題。分析所採用的標準是依據 SAS 系統的內設值，然後透過許多檢定模式表現的統計指標將分析結果之精簡模式逐一與全模式相比較，希望找出最佳的方法來進行參數選擇研究，以得到最佳化模式。

本研究之流程如圖 1 所示，其中虛線框外為全模式之建置過程，框內則為本研究進行之流程。

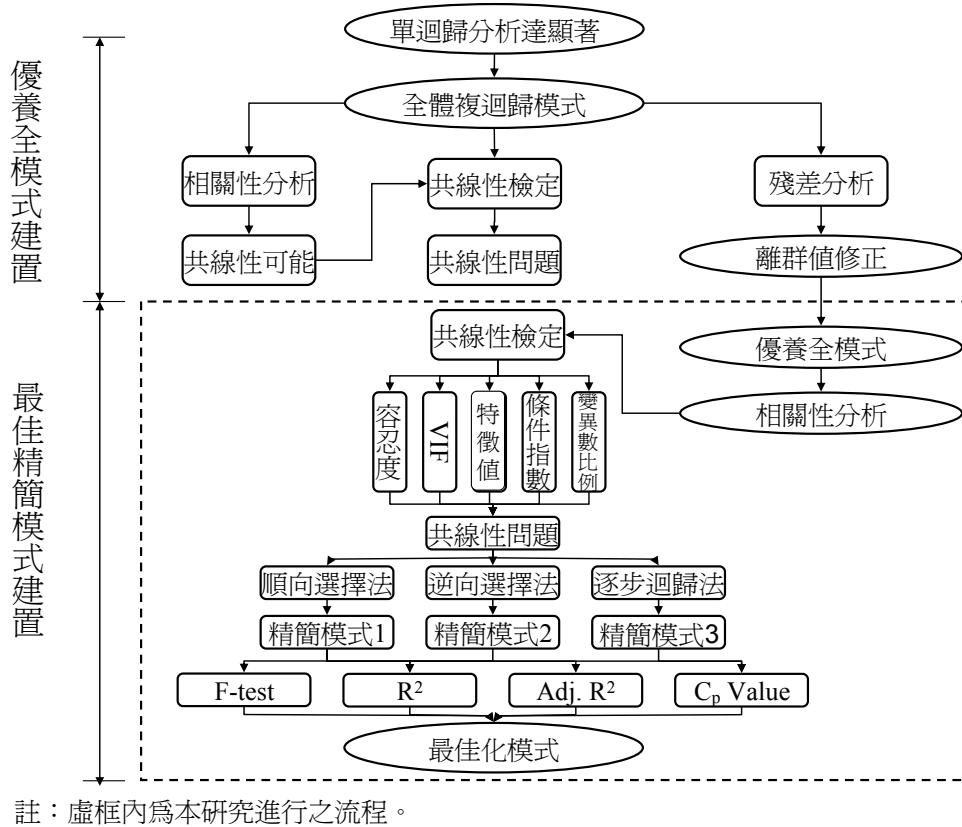


圖 1. 研究流程圖

Figure 1. Overview of research method.

結果與討論

一、相關性分析

複迴歸模式中，兩兩自變數之相關性分析可初步檢視模式中是否有共線性的問題。相關性分析之結果如表 2 所示，在經過相關顯著性統計檢定後，可得到顯著性機率 p 值。若以 5% 為顯著水準，達到 5% 顯著水準以上者，則可視為有顯著相關性。由表 2 數據可看出自變數間相關性相當複雜，為了簡化目的，可使用 TSI 之 3 個重要變數——總磷、葉綠素 a、透明度為指標來說明，以探討與優養化相關之重要變數，因此有下列 3 組顯著相關，即

(一) 總磷

與總磷因子呈顯著相關者共有水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、磷酸鹽、COD、葉綠素 a 與透明度等 8 個變數，其中，水溫變化影響藻類生長速度；氨氮與懸浮固體可用來代表藻類族群的濃度指標；濁度在有機態部分包括藻類族群；磷酸鹽是總磷的一部分；COD 為量測有機碳含量，同樣包含藻類；另外，葉綠素 a 與透明度已被証實與總磷同為優養化重要變數，因此，這 8 個變數達顯著相關為合理現象。

(二) 葉綠素 a

和葉綠素 a 呈顯著相關之變數有懸浮固體、濁度、硝酸鹽、總磷、磷酸鹽、COD 等 6 個，其中，懸浮固體、濁度、COD 均與藻

表 2. 兩自變數間之相關矩陣

Table 2. Correlation matrix between two independent variables.

Pearson Correlation Coefficients, N=19												
Prob. > r under H ₀ : Rh ₀ = 0												
自變數	水溫	溶氧	懸浮固體	濁度	氨氮	硝酸鹽	總磷	磷酸鹽	COD	鈉	葉綠素a	透明度
水溫	1	0.3295	0.48875	0.13704	0.54694	-0.29346	0.50498	0.18784	0.56603	-0.06143	0.44679	-0.54085
P-value	-	0.1683	0.0337	0.5759	0.0154	0.2227	0.0274	0.4413	0.0115	0.8027	0.0551	0.0168
溶氧	0.3295	1	0.17392	0.06944	0.0426	0.47297	0.35806	0.00833	0.08651	0.19546	0.01587	-0.73272
P-value	0.1683	-	0.4764	0.7776	0.8625	0.0408	0.1323	0.9730	0.7247	0.4226	0.9486	0.0004
懸浮固體	0.48875	0.17392	1	0.8529	0.34951	-0.30953	0.59708	0.56603	0.90319	0.04164	0.91233	-0.35354
P-value	0.0337	0.4764	-	< 0.0001	0.1424	0.1972	0.0070	0.0115	< 0.0001	0.8656	< 0.0001	0.1376
濁度	0.13704	0.06944	0.8529	1	0.28923	-0.21742	0.47472	0.3568	0.79674	0.07933	0.83077	-0.2022
P-value	0.5759	0.7776	< 0.0001	-	0.2297	0.3712	0.0400	0.1337	< 0.0001	0.7468	< 0.0001	0.4065
氨氮	0.54694	0.0426	0.34951	0.28923	1	-0.21747	0.68609	0.13986	0.40346	-0.23293	0.3709	-0.27142
P-value	0.0154	0.8625	0.1424	0.2297	-	0.3711	0.0012	0.5680	0.0867	0.3372	0.1180	0.2610
硝酸鹽	-0.29346	0.47297	-0.30953	-0.21742	-0.21747	1	-0.25661	-0.29925	-0.47508	0.25092	-0.52349	-0.27165
P-value	0.2227	0.0408	0.1972	0.3712	0.3711	-	0.2889	0.2133	0.0398	0.3001	0.0214	0.2606
總磷	0.50498	0.35806	0.59708	0.47472	0.68609	-0.25661	1	0.4848	0.52173	-0.33112	0.49788	-0.55392
P-value	0.0274	0.1323	0.0070	0.0400	0.0012	0.2889	-	0.0354	0.0220	0.1661	0.0301	0.0139
磷酸鹽	0.18784	0.00833	0.56603	0.3568	0.13986	-0.29925	0.4848	1	0.44996	-0.26435	0.5406	-0.04916
P-value	0.4413	0.9730	0.0115	0.1337	0.5680	0.2133	0.0354	-	0.0532	0.2741	0.0169	0.8416
COD	0.56603	0.08651	0.90319	0.79674	0.40346	-0.47508	0.52173	0.44996	1	0.038	0.94998	-0.22576
P-value	0.0115	0.7247	< 0.0001	< 0.0001	0.0867	0.0398	0.0220	0.0532	-	0.8773	< 0.0001	0.3527
鈉	-0.06143	0.19546	0.04164	0.07933	-0.23293	0.25092	-0.33112	-0.26435	0.038	1	0.01815	-0.17644
P-value	0.8027	0.4226	0.8656	0.7468	0.3372	0.3001	0.1661	0.2741	0.8773	-	0.9412	0.4699
葉綠素a	0.44679	0.01587	0.91233	0.83077	0.3709	-0.52349	0.49788	0.5406	0.94998	0.01815	1	-0.11503
P-value	0.0551	0.9486	< 0.0001	< 0.0001	0.1180	0.0214	0.0301	0.0169	< 0.0001	0.9412	-	0.6391
透明度	-0.54085	-0.73272	-0.35354	-0.2022	-0.27142	-0.27165	-0.55392	-0.04916	-0.22576	-0.17644	-0.11503	1
P-value	0.0168	0.0004	0.1376	0.4065	0.2610	0.2606	0.0139	0.8416	0.3527	0.4699	0.6391	-

註：以粗體標記者為達顯著相關者。

類濃度相關，而磷更是一般淡水中藻類生長之營養鹽限制因子，而氮亦為藻類生長重要營養鹽之一。因此，這 6 個因子均與藻類族群指標葉綠素 a 有顯著相關，意味著這些因子均為量測優養化的重要因素。

(三) 透明度

水溫、溶氧與總磷均和透明度有顯著相關，其中，水溫與溶氧量關係著污染物質的含量消長，高水溫與高溶氧均可能導致污染物增加，以至於透明度下降。而總磷與透明度則已被證實同為優養化重要相關因子，因

此，這 3 個因子與透明度顯著相關為合理。

由於自變數間存在著中高度的相關，顯示此模式可能存有共線性的問題，必須進一步藉由統計檢定法來確認。

原本採用全體觀測值之複迴歸模式，在使用同樣方法來尋找相關情形時，亦有 3 組顯著相關之水質指標，包括 (1) 總磷與懸浮固體、濁度、氨氮、磷酸鹽、COD、葉綠素 a、透明度；(2) 葉綠素 a 與水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD；(3) 透明

度與水溫、溶氧、懸浮固體、總磷 (陳, 2005a)。與優養全模式相比, 兩者幾乎一致, 但結果同樣顯示自變數間高度相關的問題仍未解決, 必須做進一步的校正。

二、共線性檢定

為了檢定模式中是否有共線性的問題存在, 可進一步使用統計方法來確定, 並檢測出是哪幾個自變數共線性最為嚴重。研究中使用的檢定方法, 一是模式決定係數檢定, 另一則是模式特徵值與特徵向量檢定。前者包括容忍度與變異數波動因素檢定, 後者則分為模式行列式值、條件指數與變異數比例檢定, 其分析方法將一一討論如後。

(一) 模式決定係數檢定

1. 容忍度

經過容忍度檢定之結果如表 3 所示, 由表中可發現, 所有因子中以葉綠素 a 之容忍度最低, 表示該因子的共線程度最為嚴重。

2. 變異數波動因素

在變異數波動因素檢定方面 (表 3), 模式所採用的水質因子中, 共有懸浮固體、濁度、總磷、COD 與葉綠素 a 這 5 個因子之指標數值大於 10, 表示此 5 個因子存有共線性的問題。

懸浮固體與濁度均為量測水體中懸浮物質之含量, 因此藻類族群亦包含在內; 至於總磷, 則是一般淡水優養化之營養控制因子; COD 是量測水中無法由生物分解之有機物, 包括藻類之細胞壁外殼; 而葉綠素 a 更是直接測量水中藻類族群含量的指標。因此, 5 個指標均包含測量優養化的一部分, 代表均有共線性問題存在。

若與採用全體觀測值之全體複迴規模式相比, 可發現原模式之容忍度與變異數波動因素檢定結果為懸浮固體、COD 與葉綠素 a 三個因子共線 (陳, 2005c), 而優養全模式則

表 3. 容忍度與變異數波動因素之共線性檢定表

Table 3. Colinearity tests of tolerance and VIF.

變數	自由度	容忍度	變異數波動因素
截距 t	1	-	0
水溫	1	0.10139	9.86274
溶氧	1	0.18475	5.41272
懸浮固體	1	0.04637	21.56524
濁度	1	0.06906	14.48017
氨氮	1	0.16060	6.22662
硝酸鹽	1	0.16424	6.08864
總磷	1	0.08160	12.25451
磷酸鹽	1	0.31578	3.16672
COD	1	0.05643	17.72033
鈉	1	0.50044	1.99823
葉綠素a	1	0.03047	32.82106
透明度	1	0.15795	6.33092

又多了濁度與總磷這兩個因子, 代表優養全模式之共線性問題更為嚴重。

(二) 模式行列式值與特徵向量檢定

1. 行列式值

經過行列式值的計算後, 其結果由大到小排序於表 4。由表中數據可看出, 排序 11 以後者, 其數值均小於 0.01, 接近於 0。而當行列式值越接近於 0 時, 代表有共線性問題存在, 所以此複迴歸模式存有共線性問題。

若與原全體複迴規模式相比, 原模式之行列式值小於 0.01 的有 2 組, 而最小值為 0.00187 (陳, 2005c); 至於優養全模式方面, 則比原模式多了 1 組有共線性問題的參數, 且其最小值為 0.00093, 亦小於原模式之最小值, 表示優養全模式之共線性問題較嚴重。

2. 條件指數

條件指數計算結果亦列於表 4, 由表中得知, 在排序 11 之後的條件指數數值均大於 30, 表示此模式存有共線性問題, 尤其最大值為 106.02150, 已大於 100, 代表模式中之

表 4. 行列式值、條件指數與變異數比例之共線性檢定表

Table 4. Colinearity tests of eigenvalue, condition index and variance proportions.

Number	Eigenvalue	Condition index	Variance proportions					
			Intercept	水溫	溶氧	懸浮固體	濁度	氨氮
1	10.45538	1.00000	0.00001	0.00004	0.00005	0.00013	0.00019	0.00022
2	1.31368	2.82114	0.00005	0.00008	0.00021	0.00087	0.00076	0.00016
3	0.49604	4.59106	0.00002	0.00000	0.00006	0.00093	0.00529	0.00008
4	0.34650	5.49312	0.00002	0.00010	0.00010	0.00009	0.00162	0.01186
5	0.17322	7.76921	0.00000	0.00033	0.00180	0.00534	0.01541	0.03435
6	0.10394	10.02938	0.00001	0.00805	0.00225	0.00251	0.09311	0.00814
7	0.04823	14.72283	0.00084	0.00005	0.00675	0.00203	0.00004	0.24741
8	0.02067	22.49255	0.00064	0.01006	0.02581	0.43524	0.00475	0.00014
9	0.01727	24.60155	0.00095	0.00072	0.01372	0.05099	0.04122	0.03435
10	0.01441	26.93676	0.00307	0.01614	0.02094	0.04571	0.22599	0.00486
11	0.00671	39.48817	0.00054	0.21750	0.03880	0.03151	0.30576	0.00393
12	0.00302	58.80052	0.01822	0.13797	0.88949	0.36417	0.00233	0.49561
13	0.00093	106.02150	0.97563	0.60895	0.00002	0.06048	0.30353	0.15888

Number	Variance proportions						
	硝酸鹽	總磷	磷酸鹽	COD	鈉	葉綠素a	透明度
1	0.00012	0.00022	0.00077	0.00017	0.00004	0.00010	0.00014
2	0.00154	0.00059	0.05213	0.00129	0.00024	0.00148	0.00125
3	0.00050	0.00036	0.33235	0.00413	0.00002	0.00202	0.00121
4	0.00001	0.04180	0.01214	0.00079	0.00018	0.00216	0.01477
5	0.02524	0.00098	0.00655	0.00207	0.00016	0.00252	0.02756
6	0.00050	0.01736	0.00002	0.02624	0.00058	0.00202	0.02405
7	0.05561	0.15377	0.09096	0.00004	0.00122	0.00011	0.01840
8	0.03803	0.00124	0.05740	0.19790	0.00204	0.02687	0.00551
9	0.10470	0.06033	0.04426	0.32883	0.04962	0.14118	0.13306
10	0.09474	0.04121	0.28758	0.18546	0.03105	0.33350	0.05098
11	0.00954	0.07881	0.02806	0.10578	0.36723	0.00015	0.00368
12	0.62296	0.37992	0.06840	0.05441	0.00630	0.47529	0.05131
13	0.04651	0.22341	0.01938	0.09289	0.54132	0.01260	0.66807

自變數存有高度共線性的問題。

原全體複迴規模型之條件指數大於 30 者有 2 組，最大值為 73.54101 (陳，2005c)；而優養全模式之條件指數檢定結果發現 3 組參數有共線性問題，最大值為 106.02150。由此看來，優養全模式之共線性問題較原全體迴歸模式嚴重。

3. 變異數比例

變異數比例檢定結果整理於表 4，若以變異數比例 0.5 作為標準，可發現 (1) 溶氧與硝酸鹽，(2) 水溫、鈉與透明度等 2 組水質指標可能存在共線性問題。第 (1) 組之溶氧為藻類生長環境因子之一，硝酸鹽則是量測水中氮含量的指標之一，而藻類的組成中蛋白質含量很高，故溶氧與硝酸鹽兩者均為量測

優養化因子之一。此外，水中溶氧的含量亦會影響硝酸鹽的含量，因此這兩因子有共線性的可能。

至於第 (2) 組，水溫為藻類重要生長因子之一；鈉雖然並非一般淡水優養化之動力因子，但若上游農業使用大量含鈉肥料，即有可能嚴重影響藻類族群的發展；至於透明度，可表示水中含有機懸浮微粒的程度，藉此看出優養化情形。此外，水溫與鈉的溶解度及透明度均有關聯，故此 3 因子間存在共線性的問題是合理的。

至於相關性的高低，則可由表 2 得知，亦即懸浮固體、濁度、總磷、COD 與葉綠素 a 這組之相關性最高，代表共線性最強；溶氧與硝酸鹽為中度相關，共線性相對較低；而水溫、鈉與透明度則是中低相關，共線性最低。

若與原始全體複迴歸模式相比，兩者均採用 0.5 作為門檻值，發現原模式有水溫、溶氧、氨氮及硝酸鹽 1 組因子有共線性的可能 (陳, 2005c)；而優養全模式則有 (1) 溶氧與硝酸鹽，及 (2) 水溫、鈉與透明度等 2 組因子有共線性的問題，兩者之共線結構已有所不同。

(三) 與原全體複迴歸模式比較

原全體複迴歸模式為本研究優養全模式之原始根據，其亦存有 (1) 懸浮固體、COD 與葉綠素 a，及 (2) 水溫、溶氧、氨氮與硝酸鹽等 2 組水質因子共線性的問題 (陳, 2005a)。至於本研究優養全模式則有 (1) 懸浮固體、濁度、總磷、COD 與葉綠素 a，(2) 溶氧與硝酸鹽，及 (3) 水溫、鈉與透明度等 3 組共線性參數。由此可知優養全模式之共線性問題更嚴重，具有共線性問題的因子更多。

此外，研究中亦發現，經過離群值修正後所導致的資料結構改變會造成共線結構的變化，但兩者間之共線性問題大致都集中在

有機物指標上，表示優養全模式仍存有共線性問題，必須進一步使用統計方法來解決。

三、迴歸模式選擇法

本研究之基礎模式為優養全模式，模式中包含水溫、溶氧、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD、鈉、葉綠素 a 與透明度等 12 個水質因子，為了簡化原模式，將藉由模式選擇法來進行，並改善模式共線性的問題。

(一) 順向選擇迴歸分析

經過順向選擇迴歸分析後，依序將總磷、懸浮固體、濁度、磷酸鹽、鈉與水溫等 6 個水質指標納入迴歸式而得到精簡模式 1，其分析結果如表 5 所示。由表中可知，參數中以總磷因子最為重要，其 R^2 值達 0.8851，且經 F 檢驗後模式達 99.99% 的顯著水準。至於其他 5 個因子，則對迴歸式解釋程度貢獻不大，其 R^2 值均在 0.05 以下；此外，經由 F 檢驗可知，除了在納入總磷、懸浮固體、濁度與磷酸鹽的模式表現較佳外，其他模式均未達 5% 的顯著水準，表示這些模式的解釋能力不夠顯著 (俞, 1990)。

另外，由表 5 的 C_p 值可發現，在納入總磷、懸浮固體、濁度、磷酸鹽等 4 個參數後，模式之 C_p 值為最小 (1.7745)，代表在整個模式參數的選擇過程中，此時之部分模式表現最近似於全模式。但由於未達順向選擇之顯著水準門檻值 0.5，模式最後又加入鈉與水溫等 2 個參數。由表中可看出 C_p 值有增大的趨勢，增大原因在於模式選擇過程為挑選表現最佳的參數，然後將之逐一納入模式中，所以所挑選的組合均為模式誤差最小者，也因此受模式參數個數變化影響較大。雖然順向選擇結果之 C_p 值增幅不大，但模式解釋能力卻有所提升，這意味著使用順向法選出的 6 個參數所構成的部分模式之表現已接近全模式，且具高度解釋力。

表 5. 順向選擇迴歸分析結果

Table 5. Results of forward regression analysis.

Step	Variable entered	Number vars in	Partial R ²	Model R ²	Cp	F value	Pr > F
1	總磷	1	0.8851	0.8851	5.5466	130.92	< 0.0001
2	懸浮固體	2	0.0205	0.9055	3.8863	3.47	0.0810
3	濁度	3	0.0140	0.9195	3.3866	2.61	0.1273
4	磷酸鹽	4	0.0202	0.9397	1.7745	4.69	0.0480
5	鈉	5	0.0070	0.9468	2.5200	1.71	0.2133
6	水溫	6	0.0032	0.9500	3.9434	0.77	0.3964

表 6. 順向選擇迴歸法之變異分析

Table 6. ANOVA of forward regression method.

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr > F	R ²	Adj. R ²
Model	6	2836.75156	472.79193	37.98	< 0.0001	0.9500	0.9250
Error	16	149.37540	12.44795				
Corrected total	18	2986.12696					

順向選擇法之變異分析表如表 6 所示，由此表可知迴歸式的表現與合理性 (陳，1997a)。表 6 顯示由表 5 中的 6 個優養水質因子所構成的精簡模式 1 可達到 99.99% 的顯著水準，代表使用這 6 個指標即可高度解釋優養化的情形。同時，從表中可知迴歸式的 R² 值高達 0.9500，表示此一迴歸式可解釋高達 95% 的變異度，表現良好，已接近全模式。

另外，經順向選擇法分析後之迴歸式的參數估計結果如表 7 和 8，由表中數據我們可以整理此迴歸式如下：

$$Y = 60.89203 - 0.30305X_1 + 1.01699X_2 - 1.19751X_3 + 0.19822X_4 - 0.07951X_5 - 4.02794X_6$$

式中 Y = TSI，X₁ ~ X₆ 分別代表水溫、懸浮固體、濁度、總磷、磷酸鹽與鈉。

由表 7 可知，在最終選擇的複迴歸模式裡，Type II SS 以總磷最高，為 918.26659，

表示總磷對模式的解釋能力貢獻最大，其次是懸浮固體 (121.30455)，但已跟總磷因子有一段差距。此外，經 F 值檢定後，發現除了水溫與鈉因子外，其他因子均可達 5% 的顯著水準。

此外，在表 8 參數顯著性檢驗方面，經 t 檢驗後，同樣只有水溫與鈉因子未達 5% 的顯著水準，這意味著此兩個因子之重要性較低 (潘，2003)。推論是因研究中所採用的水溫資料大部分集中在非冬季的時間下，故水溫變化較不明顯，因此對優養化的影響也不夠顯現。至於鈉因子方面，則是因研究區是淡水，故鈉的影響較不重要。而在標準化迴歸係數欄中，可看出懸浮固體與總磷之值較大，代表在進行預測時這兩個指標的重要性較高。

由上述討論可知，水溫、懸浮固體、濁度、總磷、磷酸鹽與鈉等 6 個因子經順向選擇迴歸分析後，發現懸浮固體與總磷兩個因子最為重要。

表 7. 順向選擇迴歸分析結果之 F 檢定參數估計

Table 7. Parameter estimation of F test for forward regression analysis.

Variable	Parameter estimation	Standard error	Type II SS	F value	Pr > F
Intercept	60.89203	11.16797	370.05829	29.73	0.0001
水溫	-0.30305	0.34454	9.63025	0.77	0.3964
懸浮固體	1.01699	0.32578	121.30455	9.74	0.0088
濁度	-1.19751	0.51967	66.09990	5.31	0.0399
總磷	0.19822	0.02308	918.26659	73.77	< 0.0001
磷酸鹽	-0.07951	0.03073	83.30563	6.69	0.0238
鈉	-4.02794	3.00968	22.29577	1.79	0.2056

表 8. 順向選擇迴歸分析結果之 t 檢定參數估計

Table 8. Parameter estimation of t test for forward regression analysis.

Variable	DF	Parameter estimation	Standard error	t value	Pr > t	Standard estimation
Intercept	1	60.89203	11.16797	5.45	0.0001	0
水溫	1	-0.30305	0.34454	-0.88	0.3964	-0.10122
懸浮固體	1	1.01699	0.32578	3.12	0.0088	0.73997
濁度	1	-1.19751	0.51967	-2.30	0.0399	-0.43220
總磷	1	0.19822	0.02308	8.59	< 0.0001	0.84831
磷酸鹽	1	-0.07951	0.03073	-2.59	0.0238	-0.26092
鈉	1	-4.02794	3.00968	-1.34	0.2056	-0.10094

(二) 逆向選擇迴歸分析

經逆向選擇法進行迴歸分析後，由表 9 可看出，此迴歸法依序將 COD、透明度、葉綠素 a、氨氮、溶氧、硝酸鹽、水溫與鈉等 8 個因子一一剔除，最後只剩下懸浮固體、濁度、總磷與磷酸鹽 4 個因子所構成的精簡模式 2。被剔除的因子中，其 R² 值均不高，最高者為鈉，數值也僅達 0.0070，代表這 8 個被剔除的因子對優養化的解釋能力均不高。此外，經 F 檢驗後，8 個因子沒有一個達 5% 的顯著水準，代表由這些被剔除的因子所構成之模式的重要性均偏低。

另外，由表 9 的 Cp 值可知，在分別去除 COD、透明度、葉綠素 a、氨氮、溶氧、硝酸

鹽、水溫與鈉後，Cp 值 1.7745 為模式選擇過程中最小，表示去除這 8 個參數後，其複迴歸模式之表現仍接近於全模式。因此，最後逆向法結果即以懸浮固體、濁度、總磷與磷酸鹽 4 個因子所構成的複迴歸模式來帶全模式。

經逆向法分析後的迴歸式之變異分析如表 10，由表中可知此迴歸式經 F 檢驗後，可達 99.99% 顯著水準，代表此迴歸式可充分解釋優養化情形。此外，迴歸式的 R² 值達 0.9397，亦表示可以高度解釋優養程度之變異性。

另外，將迴歸式之參數估計結果整理如

表 9. 逆向選擇迴歸分析結果

Table 9. Results of backward regression analysis.

Step	Variable removed	Number vars in	Partial R ²	Model R ²	Cp	F value	Pr > F
1	COD	11	0.0001	0.9663	11.0216	0.02	0.8880
2	透明度	10	0.0024	0.9639	9.4515	0.50	0.5025
3	葉綠素a	9	0.0056	0.9583	8.4550	1.24	0.2970
4	氨 氮	8	0.0051	0.9532	7.3744	1.11	0.3195
5	溶 氧	7	0.0025	0.9506	5.8247	0.54	0.4803
6	硝酸鹽	6	0.0007	0.9500	3.9434	0.15	0.7078
7	水 溫	5	0.0032	0.9468	2.5200	0.77	0.3964
8	鈉	4	0.0070	0.9397	1.7745	1.71	0.2133

表 10. 逆向選擇迴歸法之變異分析

Table 10. ANOVA of backward regression analysis.

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr > F	R ²	Adj. R ²
Model	4	2806.16817	701.54204	54.58	< 0.0001	0.9397	0.9225
Error	14	179.95879	12.85420				
Corrected total	18	2986.12696					

表 11 和 12，由表中數據可以寫出此迴歸式如下：

$$Y = 43.54983 + 0.72822X_1 - 0.85247X_2 + 0.20092X_3 - 0.05617X_4$$

式中 Y = TSI，X₁ ~ X₄ 分別代表懸浮固體、濁度、總磷與磷酸鹽。

表 11 為使用 F 檢定的參數估計表，由於

模式參數中 Type II SS 仍以總磷 1350.11305 為最高，其次為懸浮固體 150.61841，代表逆向法選擇出來的複迴歸模式依然是以總磷為最重要參數。此外，4 個參數經 F 檢定後均能達 5% 的顯著水準。

表 12 是藉由 t 檢定來測試各參數之顯著性，經評估後發現其顯著性可高達 99.99%；而在標準化迴歸係數值方面，亦是以總磷因

表 11. 逆向選擇迴歸分析結果之 F 檢定參數估計

Table 11. Parameter estimation of F test for backward regression analysis.

Variable	Parameter estimation	Standard error	Type II SS	F value	Pr > F
Intercept	43.54983	1.54453	10219	795.02	< 0.0001
懸浮固體	0.72822	0.21274	150.61841	11.72	0.0041
濁 度	-0.85247	0.36421	70.41926	5.48	0.0346
總 磷	0.20092	0.01960	1350.11305	105.03	< 0.0001
磷酸鹽	-0.05617	0.02593	60.33183	4.69	0.0480

表 12. 逆向選擇迴歸分析結果之 t 檢定參數估計

Table 12. Parameter estimation of t test for backward regression analysis.

Variable	DF	Parameter estimation	Standard error	t value	Pr > t	Standard estimation
Intercept	1	43.54983	1.54453	28.20	< 0.0001	0
懸浮固體	1	0.72822	0.21274	3.42	0.0041	0.52986
濁度	1	-0.85247	0.36421	-2.34	0.0346	-0.30767
總磷	1	0.20092	0.01960	10.25	< 0.0001	0.85983
磷酸鹽	1	-0.05617	0.02593	-2.17	0.0480	-0.18433

子的 0.85983 最高。這表示經過逆向選擇迴歸分析後，在所有被考慮的水質指標（懸浮固體、濁度、總磷與磷酸鹽）中，總磷因子的重要性最高，亦即其能解釋優養化情形的能力最高。

由上述可知，逆向選擇迴歸分析結果與順向相似，都歸納出是以總磷為最重要之因子，但逆向法之篩選比順向更為嚴苛。在模式納入迴歸式的因子中，逆向法減少了水溫與鈉因子，也因此降低了其解釋變異程度的 R² 值 (0.9397)；順向的 R² 值較高，為 0.9500。

(三) 逐步迴歸分析

本研究中之逐步迴歸分析結果乃依次將總磷、懸浮固體、濁度與磷酸鹽納入做迴歸分析而形成精簡模式 3，其分析過程之結果如表 13 所示。表中數據顯示只有 4 項水質指標被納入，表示其他指標之重要性不足或存有共線性問題。

表 13 亦顯示納入總磷因子時之 R² 值達 0.8851，而納入懸浮固體、濁度與磷酸鹽時，可解釋變異量僅增加了 0.0205、0.0140 及 0.0202，最後整體之 R² 值為 0.9397，表示納入因子中還是以總磷的重要性最高。但因懸浮固體與濁度可評估藻類族群的數量，故在優養化研究中仍應被納入考慮 (Kunimatsu, 1999)。至於磷酸鹽方面，則是因會間接影響藻類的生長，故亦為影響優養化變化的因子之一。因此，懸浮固體、濁度與磷酸鹽被納

入逐步迴歸式將可更完整的解釋優養化之趨勢變化情形。另外，檢驗 F 值之顯著性時，可發現濁度與懸浮固體未達 5% 顯著水準，而總磷與磷酸鹽因子則達 5% 顯著水準。

另外，表 13 顯示經由總磷、懸浮固體、濁度與磷酸鹽等 4 個參數所構成的複迴歸模式之 Cp 值為 1.7745，與逆向法結果相同，亦同樣為模式選擇過程中 Cp 值最小者，代表此時該部分模式已相當接近於全模式。

最後，逐步迴歸法的變異分析如表 14，由表中可發現 F 值達 99.99% 的顯著水準，代表此迴歸模型可被接受，已足夠解釋優養的變化情形。而其整體 R² 值為 0.9397，表示可解釋 93.97% 的變異度。

此外，其模式參數估計結果如表 15 與 16 所示，而經過逐步迴歸分析後之迴歸方程式則如下所示：

$$Y = 43.54983 + 0.72822X_1 - 0.85247X_2 + 0.20092X_3 - 0.05617X_4$$

式中 Y = TSI, X₁ ~ X₄ 分別代表懸浮固體、總磷、濁度與磷酸鹽。

由表 15 中 Type II SS 之數值可明顯看出，總磷因子對模式的解釋能力貢獻最大，計算值為 1350.11305，懸浮固體 150.61841 次之，磷酸鹽 60.33183 最低。而經過 F 檢定後，可知 4 個參數均可達 5% 的顯著水準。

表 13. 逐步迴歸分析結果

Table 13. Results of stepwise regression analysis.

Step	Variable entered	Number vars in	Partial R ²	Model R ²	Cp	F value	Pr > F
1	總 磷	1	0.8851	0.8851	5.5466	130.92	< 0.0001
2	懸浮固體	2	0.0205	0.9055	3.8863	3.47	0.0810
3	濁 度	3	0.0140	0.9195	3.3866	2.61	0.1273
4	磷酸鹽	4	0.0202	0.9397	1.7745	4.69	0.0480

表 14. 逐步迴歸法之變異分析

Table 14. ANOVA of stepwise regression analysis.

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr > F	R ²	Adj. R ²
Model	4	2806.16817	701.54204	54.58	< 0.0001	0.9397	0.9225
Error	14	179.95879	12.85420				
Corrected total	18	2986.12696					

表 15. 逐步迴歸分析結果之 F 檢定參數估計

Table 15. Parameter estimates of F test for stepwise regression analysis.

Variable	Parameter estimation	Standard error	Type II SS	F value	Pr > F
Intercept	43.54983	1.54453	10219	795.02	< 0.0001
懸浮固體	0.72822	0.21274	150.61841	11.72	0.0041
總 磷	-0.85247	0.36421	70.41926	5.48	0.0346
濁 度	0.20092	0.01960	1350.11305	105.03	< 0.0001
磷酸鹽	-0.05617	0.02593	60.33183	4.69	0.0480

表 16. 逐步迴歸分析結果之 t 檢定參數估計

Table 16. Parameter estimates of t test for stepwise regression analysis.

Variable	DF	Parameter estimation	Standard error	t value	Pr > t	Standard estimation
Intercept	1	43.54983	1.54453	28.20	< 0.0001	0
懸浮固體	1	0.72822	0.21274	3.42	0.0041	0.52986
濁 度	1	-0.85247	0.36421	-2.34	0.0346	-0.30767
總 磷	1	0.20092	0.01960	10.25	< 0.0001	0.85983
磷酸鹽	1	-0.05617	0.02593	-2.17	0.0480	-0.18433

表 16 亦顯示，經 t 檢驗後模式中參數均達 5% 的顯著水準。另外，在標準化迴歸係數

欄還是以總磷數值最高，達 0.85983，表示在 4 個因子中，總磷還是優養化預測時最重要的

因子。

由上述討論可知，逐步迴歸法所選擇的模式共包含總磷、懸浮固體、濁度與磷酸鹽 4 個水質因子，其中仍以總磷及懸浮固體為重點，而總磷更是最重要的因子

若將逐步迴歸法之結果與前面兩種迴歸法進行比較，在納入迴歸式的因子數方面，順向迴歸分析共納入總磷、懸浮固體、濁度、磷酸鹽、鈉與水溫 6 個水質指標，逆向與逐步迴歸分析則是同樣將總磷、懸浮固體、濁度與磷酸鹽 4 個因子納入，由此可知，逆向與逐步迴歸分析篩選較嚴格，只有 4 個因子納入分析。然而，3 個方法均顯示總磷為最重要的因子，代表在 12 個與優養化程度相關的因子中，仍然是以總磷因子最為重要，符合一般淡水優養化控制因子為總磷的理論 (Lau, 2002)。

四、綜合討論

在顯著水準選擇標準方面，三種模式選擇法均不相同，本研究中順向為 0.5，逆向為 0.1，逐步則是 0.15。為了證明選取標準的合理性，我們進一步使用不同顯著水準 (0.7、0.5、0.15、0.1、0.05 與 0.01) 來進行模式選擇並予以比較，然後以調整後 R^2 值來作為比較的標準。結果 (表 17) 顯示，順向法在顯著水準為 0.5 時有最佳結果，逆向法在 0.15、0.1 與 0.05 時均有最佳結果，逐步法則是在顯著水準大於 0.15 後皆可獲得最佳模式，因此證明本研究所採用之標準為合理。

在剔除參數比較方面，順向法共去除氨氮、硝酸鹽、溶氧、COD、葉綠素 a 與透明度 6 個因子，逆向與逐步法則是剔除水溫、溶氧、氨氮、硝酸鹽、鈉、COD、葉綠素 a 與透明度 8 個因子。而在優養全模式所使用的 12 個參數中，可能存有共線性問題的包括 (1) 懸浮固體、濁度、總磷、COD 與葉綠素 a，(2) 溶氧與硝酸鹽，(3) 水溫、鈉與透明度，

表 17. 模式選擇法在不同顯著水準下的結果

Table 17. Results of different model selection methods in different significant level.

顯著水準	順向選擇	逆向選擇	逐步迴歸
0.7	0.9134	0.9134	0.9225
0.5	0.9250	0.9188	0.9225
0.15	0.9225	0.9225	0.9225
0.1	0.8937	0.9225	0.8937
0.05	0.8783	0.9225	0.8783
0.01	0.8783	0.8783	0.8783

經 3 種模式選擇分析後，發現所有選擇法均剔除第 2 共線組 (溶氧與硝酸鹽) 之因子；至於第 1 共線組 5 個因子中，則是選擇剔除 COD 與葉綠素 a，表示這 5 個因子對模式解釋能力之貢獻大致可以懸浮固體、濁度與總磷 3 個因子來代表；最後在第 3 共線組方面，逆向與逐步迴歸均選擇全部剔除，順向迴歸則是僅刪除透明度因子，表示在此組中以透明度共線性最強，可剔除後以水溫和鈉因子來替代。因上述三種分析方法均對共線性因子作出選擇處理，故模式解釋能力都有所提升。

在解釋變異度方面，由於 3 種迴歸分析法所納入的因子數不盡相同，所以要使用標準化 R^2 值來比較，以減少因納入因子增加而導致 R^2 值膨脹的問題 (林, 2003)。結果顯示順向、逆向與逐步迴歸之標準化 R^2 值分別為 0.9250、0.9225 及 0.9225，3 者間差距極小，但以順向選擇的解釋程度最高。推測原因，應是順向選擇相較於另外兩者多納入了水溫與鈉因子，因膨脹效應而得到較佳的結果。

另外，從優養全模式之變異分析表 (表 18) 可知 R^2 值達 0.9664，較本研究採用的順向、逆向與逐步迴歸分析法為高，但這是因全模式納入最多因子而膨脹的結果。因此，藉由考慮誤差自由度的校正來比較標準化 R^2 值，將可發現全模式最低，僅達 0.8993。這樣的結果顯示，納入迴歸的因子並非越多越

表 18. 優養全模式之變異分析
 Table 18. ANOVA for full model of eutrophication.

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr > F	R ²	Adj. R ²
Model	12	2885.931	240.4942	14.40	0.0019	0.9664	0.8993
Error	6	100.2112	16.70187				
Corrected total	18	2986.142					

資料來源：陳，2005c。

表 19. 優養全模式之參數估計表
 Table 19. Parameter estimation for full model of eutrophication.

Variable	DF	Parameter estimation	Standard error	t value	Pr > t	Standard estimation
截距	1	77.69014	26.22922	2.961969	0.025219	0
水溫	1	-0.98623	0.703218	-1.40246	0.210344	-0.32937
溶氧	1	1.609134	1.251053	1.286223	0.245766	0.22379
懸浮固體	1	1.392002	0.477315	2.916319	0.026759	1.01283
濁度	1	-1.27132	0.788522	-1.61228	0.158027	-0.45883
氨氮	1	24.92924	17.06291	1.461019	0.194315	0.27264
硝酸鹽	1	-13.6577	9.100533	-1.50076	0.184091	-0.27695
總磷	1	0.108723	0.061176	1.777227	0.125859	0.46531
磷酸鹽	1	-0.05942	0.040555	-1.4652	0.193214	-0.19499
COD	1	0.035232	0.239473	0.147123	0.887854	0.04627
鈉	1	-6.51942	4.218651	-1.54538	0.173209	-0.16337
葉綠素a	1	-0.02211	0.034421	-0.6422	0.544487	-0.27513
透明度	1	-1.88521	2.811001	-0.67065	0.527398	-0.12618

資料來源：陳，2005c。

好，若納入錯誤的因子，反而可能會降低模式的解釋程度。

表 19 為優養全模式之參數估計，由表中可看出，只有懸浮固體 1 個因子滿足 5% 顯著水準。若與順向 (表 8)、逆向 (表 12) 與逐步迴歸 (表 16) 之參數估計結果相比較，可知本研究 3 種複迴歸分析選擇法均有相同的結果，亦即達 5% 顯著水準的均為懸浮固體、總磷、磷酸鹽與濁度 4 個因子。這表示使用這 3 種方法會提升總磷、磷酸鹽與濁度等因子的

重要性，使迴歸模型的模擬效果較佳。

將本研究 3 種迴歸分析結果與優養全模式 (陳，2005c)，及採用全體觀測值之複迴歸模式 (陳，2005a) 之 R² 值整理如表 20，證明經離群值修正後所得到的優養全模式可使模式能力提升；之後，再使用順向、逆向與逐步迴歸分析法，則更能提升迴歸模型的解釋能力。

結論與建議

表 20. 全部迴歸法分析結果比較
Table 20. Comparisons of all regression models.

迴歸法	F value	Pr > F	R ²	Adj. R ²
順向迴歸	37.98	< 0.0001	0.9500	0.9250
逆向迴歸	54.58	< 0.0001	0.9397	0.9225
逐步迴歸	54.58	< 0.0001	0.9397	0.9225
優養全模式	14.40	0.0019	0.9664	0.8993
全體複迴歸	8.60	0.0009	0.9116	0.8056

本研究所採用的水溫、溶氧、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD、鈉、葉綠素 a 與透明度等 12 個優養化相關因子，在進行順向、逆向與逐步迴歸分析後，以順向法的標準化 R² 值最高，代表此迴歸分析法可解釋變異程度最高。推論原因，應是順向選擇法綜合了較多的優養化相關因子，故可以得到較佳的模擬結果。

將本研究 3 種迴歸分析法與原本將全部因子納入的複迴歸分析法之結果進行比較，發現本研究所採用的迴歸法之標準化 R² 值均較原迴歸式佳。表示在進行複迴歸分析後，可先以此 3 種迴歸分析討論所採用因子的適宜性，便於作出更精準的迴歸結果。此外，使用本研究迴歸選擇法後，在模式變異解釋度方面之表現均較原複迴歸式佳，顯示具有消除共線性問題的能力。

本研究結果顯示，使用順向選擇法來做複迴歸分析之效果最佳。因此，未來在進行優養化動力因子研究、建立生態模式管理生態，或是以時間序列對優養化進行預測等相關研究中，可將順向迴歸分析結果作為比較研究，以找出與優養化最為相關的因子。

另外，雖然本研究顯示順向選擇分析結果可提升模式的解釋能力，但在刪除不重要參數前，仍應再三謹慎探討，以免因一時輕忽而剔除到模式重要參數，影響到其後之研究。

參考文獻

- 1.吳俊逸 (2001) 「自組非線性系統應用於地層下陷之預測」，碩士論文，成功大學。
- 2.林俊宇 (2004) 「應用迴歸分析方法預測軟體發展時程」，碩士論文，成功大學。
- 3.林師模、陳范欽 (2003) 「多變量分析~管理上的應用」，雙葉書廊有限公司，台北市。
- 4.林慧姿、張嘉容、黃春松、廖萃邁 (2002) 「統計學」，新科技書局出版，台北縣。
- 5.俞其海 (1990) 「實用統計學」，昭人出版社，台中市。
- 6.陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵 (2003) 「多變量分析方法：統計軟體應用」，五南圖書出版股份有限公司，台北市。
- 7.陳登源、楊錦洲、林茂文、蔡豐清 (1997a) 「管理數學」，國立空中大學發行，臺北縣。
- 8.陳鴻烈、蔡大偉 (2005) 「不同模式之預測能力研究」，水土保持學報，第三十七卷，第二期，第 127~138 頁。
- 9.陳鴻烈、蔡大偉 (2005a) 「德基水庫優養水質研究」，水土保持學報。
- 10.陳鴻烈、蔡大偉 (2005b) 「以複迴歸分析法探討水質因子與優養化全模式之研究」，水土保持學報。
- 11.彭昭英 (1998) 「SAS 與統計分析」，儒林圖書有限公司，台北市。

- 12.經濟部水利署德基水庫集水區管理委員會 (2002) 「德基水庫集水區第四期整體治理計畫水質監測與管理工作成果摘要總報告」。
- 13.潘南飛編譯 (2003) 「工程統計」，全威圖書有限公司，台北縣。
- 14.Antikainen, R., R. Lemola, J. I. Nousiainen, L. Sokka, M. Esala, P. Huhtanen and S. Rekolainen (2005) “Stocks and Flows of Nitrogen and Phosphorus in the Finnish Food Production and Consumption System”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.107, pp.287~305.
- 15.Carlona, C., M. D. Valle and A. Marcomini (2004) “Regression Models to Predict Water-Soil Heavy Metals Partition Coefficients in Risk Assessment Studies”, *Environmental Pollution*, Vol.127, pp.109~115.
- 16.Katz, A., M. vom Hau and J. Mahoney (2005) “Explaining the Great Reversal in Spanish America: Fuzzy-Set Methods Versus Statistical Methods”, Department of Sociology, Brown University.
- 17.Kunimatsu, T., M. Sudo and T. Kawachi (1999) “Loading Rates of Nutrients Discharging from a Golf Course and a Neighboring Forested Basin”, *Wat. Sci. Tech.*, Vol.39, pp.99~107.
- 18.Lau, S. S. S. and S. N. Lane (2002) “Biological and Chemical Factors Influencing Shallow Lake Eutrophication: A Long-Term Study”, *Science of the Total Environment*, Vol.288, pp.167~181.
- 19.Reisenhofer, E., A. Picciotto and D. Li (1995) “An Factor Analysis Approach to the Study of Eutrophication of a Shallow, Temperate Lake (San Daniele, North Eastern Italy)”, *Analytica Chimica Acta*, Vol.306, pp.99~106.
- 20.Schneider, L. C. and R. G. Pontius Jr. (2001) “Modeling Land-Use Change in the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 85, pp.83~94
- 21.Smith, R. V., C. Jordan and J. A. Annett (2005) “A Phosphorus Budget for Northern Ireland: Inputs to Inland and Coastal Waters”, *Journal of Hydrology*, Vol.304, pp.193~202.

96 年 7 月 10 日 收稿

96 年 9 月 16 日 修改

96 年 9 月 20 日 接受