

以主成分分析法探討水庫優養化之動力研究

陳鴻烈⁽¹⁾ 蔡大偉⁽²⁾

摘要

本研究是以德基水庫優養化變化趨勢中相關重要參數為研究對象，運用主成分分析法來篩選出與優養化相關之最重要且無共線性問題的因子，來協助水庫優養化管理策略的制定。本文先針對經單迴歸分析篩選出的優養化重要因子進行研究，然後再以多元複迴歸分析所形成之優養全模式為基礎來進行主成分分析。研究結果顯示，前 3 個主成分分別為磷與藻類濃度、氮與藻類濃度、鈉與藻類濃度，這 3 個主成分共可解釋模式 75.92% 的變異度，表示德基水庫之優養化主要原因為營養鹽所造成。若將主成分分析結果與原始變數透過迴歸模式選擇法來相互比較，可發現原始變數之迴歸模式選擇結果對模式變異度解釋能力較高，而主成分分析則可解決模式變項間之共線性問題。因此，若是以共線性消除為主要考量，則仍建議使用主成分迴歸模式較佳。

(**關鍵詞**：優養化、主成分分析、水質因子、德基水庫)

Reservoir Eutrophication Dynamics by Principal Component Analysis

Paris Honglay Chen⁽¹⁾, David D-W. Tsai⁽²⁾

Professor⁽¹⁾, and Graduate Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

To help develop management policy of eutrophication the principal component analysis was used to find out important water quality factors with no colinearity problem of eutrophication in Te-Chi reservoir. At first the important factors of eutrophication were sifted out by the simple regression analysis. The principal component analysis was done on basis of the full eutrophication model formed by the multiple regression analysis, we accomplished. The results showed that the first three principal components were the concentrations of phosphorus and algae, nitrogen, algae, as well as sodium and algae, respectively. A total of 75.92% explained model variances, suggesting that the eutrophication of Te-Chi reservoir was mainly caused by nutrient.

(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博士班研究生

After comparing the results between the principal component analysis and original variables, it was selected by regression model found that the latter had higher explanatory ability on model variances than the former. The former could solve colinearity problems of the model. Therefore, if removing colinearity was the main consideration, the use of principal component regression model is suggested.

(**Keywords:** Eutrophication, Principal Component Analysis, Water Quality Factors, Te-Chi Reservoir)

前 言

由於台灣地狹人稠，山坡地開發乃成爲不可擋的趨勢，然而，過度的開發往往會造成當地居民嚴重的災害，其中較難以爲人所重視的潛在危機之一就是優養化。優養化會迅速地影響飲水源的品質，危害人體健康，因此，針對水源優養化的管理，實爲刻不容緩之重要工作之一。

優養化管理的工作項目繁多，其中包括變動趨勢的掌握，此部分可用時間數列來說明 (陳鴻烈、鄭慧玲，1997、1998；陳鴻烈等，1999、2000a、2004；陳鴻烈、蔡大偉，2005)。另外，還有動力因素的探討，一般影響優養化的因子非常多，主要包括水溫、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 種 (陳鴻烈、蔡大偉，2006a)，本研究將以德基水庫的資料爲基礎 (經濟部水利署德委會，1983~1996)，希望藉由主成分分析的功能，去除各個因子間的相依性，找出其中最重要的優養化相關主成分。此外，研究中還將主成分分析與模式選擇法之結果互相比較，找出兩者間的異同，以尋求更好的分析方法。探求優養化最重要的動力因子，將有助於優養化的管理與處理。

理論分析

一般主成分分析有兩個主要的功能，一是精簡線性資料中的變項 (Saegusa et al., 2004)，亦即可以使用最精簡的主成分數來取得最大的解釋變異量，以簡化變項間分析的過程；另一個主要功能爲線性轉換，以解決迴歸變項間共線性的問題，亦即變項間有高度相關的現象存在時，經過主成分分析就可使新的變項間成爲零相關，然後再進一步將各個主成分對目標應變數作迴歸分析，即可得到個別主成分對應變數之預測能力 (Liu et al., 2003)。

主成分分析是經由變項加權後來求主成分，因此著重於解釋資料的變異數，是屬於變異數導向的統計方法。其主要目的就是希望在經過座標轉軸的動作後，能找到一個軸，使資料點投影到此軸後，投影間的距離盡可能達到最大，而讓點與點間的差異最明顯，亦即使新形成的變數可以有最大的解釋能力來解釋資料點間的差異。其做法是將 p 個 X 變項予以不同的加權 (w)，而組合成 q ($q \leq p$) 個新的變項，稱之爲主成分 C ，其數學式可表示爲

$$C_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + w_{13}X_3 \dots + w_{1p}X_p$$

$$C_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + w_{23}X_3 \dots + w_{2p}X_p$$

$$C_q = w_{q1}X_1 + w_{q2}X_2 + w_{q3}X_3 \dots + w_{qp}X_p$$

式中

C_i ：第 i 個主成分

w_{ij} ：第 j 個 X 變項 (X_j) 對第 i 個主成分 (C_i) 的加權係數

經由主成分分析所要達到的主要要求包括：

1. 使所有主成分之間都沒有相關。
2. 使第一個主成分解釋變異量最大，第二個次之，以此類推。
3. $w_{i1}^2 + w_{i2}^2 + w_{i3}^2 + \dots + w_{ip}^2 = 1$
 $i = 1, 2, 3, \dots, q$
4. $w_{i1}w_{j1} + w_{i2}w_{j2} + \dots + w_{ip}w_{jp} = 0$
 $i \neq j$

主成分分析的方法分為兩種，一種是使用共變異矩陣來進行分析，又稱為離差分數；另一種則是選用相關矩陣來進行分析，又稱為標準分數。兩者間的主要差異在於對 X 變項的處理方式，所以在進行主成分分析之前，必須先做自變數關聯性分析，以建立主成分分析的基礎。

由於共變異矩陣與相關矩陣兩種主成分分析結果各有長處，因此，本研究兩者均採用，並針對其分析結果加以比較。另外，為了探討個別主成分之組成情形，亦將進行標準化主成分分析。

完成主成分分析後，即可建立主成分模式，而為了進行模式之最佳化，可使用迴歸模式選擇法來篩選主成分，最後再選出最佳之主成分迴歸模式。迴歸模式選擇法包括順向、逆向與逐步三種方法。

一、模式自變數關聯性分析

(一) 共變異數矩陣

製作共變異數矩陣之目的，為查看模式自變數間的相關性程度，其方法為直接計算兩變數間之共變異數，當共變異數之數值愈大時，即代表變數間的關聯性愈高。

(二) 相關矩陣

相關矩陣之目的，同樣為探討模式兩兩自變數間之關聯性，為共變異數矩陣之標準化分數，而相關矩陣之形成可分為未校正與校正後兩種情形。

1. 未校正之相關矩陣

主成分分析模式的前提條件會影響相關係數的推求，若主成分模式不考慮截距，則相關係數計算時就不針對均數做校正，也就是計算標準差時不校正均數，形成未校正的相關矩陣 (uncorrected correlation matrix)。

2. 校正後之相關矩陣

在不考慮均數的情況下，相關係數容易出現過度膨脹的問題，因此，本研究仍以會針對均數做校正的相關矩陣 (corrected correlation matrix) 為主。

二、主成分分析

(一) 共變異矩陣主成分分析

以共變異數矩陣 (S) 進行主成分分析時，分析方法是在 $w'w = 1$ 的條件下求得 $w'Sw$ 的最大值；而經由 S 矩陣所求出的特徵值 λ ，即為主成分的變異數；至於特徵向量 w ，即為 X 變項之加權係數，也就是計算主成分數 (principal component scores) 時之係數 (Ri-chards, 2004)。

因此，主成分數即可表達為 $C = wX$ ，而第 i 個主成分之變異數就等於第 i 個特徵值，即 $\text{var}(C_i) = \lambda_i$ ，所以，各個主成分的解釋變異量比例就等於 $\lambda_i/\text{tr}S$ ，其中， $\text{tr}S$ 為矩陣 S 的結果 (trace)，即矩陣對角線之和，也就是所有 X 變項的變異數總和。而主成分與變項間之相關係數則可表示為

$$r_{C_i X_j} = \frac{w_{ij} \sqrt{\lambda_i}}{S_j}$$

式中

$r_{C_i X_j}$ ：第 i 個主成分對第 j 個變項之相關係數

w_{ij} ：第 j 個 X 變項 (X_j) 對第 i 個主成分 (C_i) 的加權係數，即矩陣 S 之特徵向量

λ_i ：第 i 個特徵值

S_j ：第 j 個變項之標準差

(二) 相關矩陣主成分分析

雖然使用變數矩陣來進行分析，比較容易解釋分析結果，且統計顯著性檢驗也較簡單，但因每個變項測量的單位不同，會影響分析的結果，故許多學者建議將資料轉換成標準分數後再進行分析，亦即使用相關矩陣來進行分析。也因此，大部分的統計軟體若無特別指定，均預設使用相關矩陣來進行主成分分析。

以相關矩陣 (R) 進行主成分分析時，即是在 $w'w = 1$ 的條件之下，求出 $w'Rw$ 的極大值；而由矩陣 R 所解出的特徵值 δ 與特徵向量 ω ，則分別為主成分 C_z 的變異數與 X_z 變項的加權係數，可以下式來表示：

$$C_z = \omega X_z, \text{Var}(C_{z_i}) = \delta_i$$

因此，各個主成分的解釋變異量比例即可表

示如下：

$$\frac{\delta_i}{\text{tr}R} = \frac{\delta_i}{p}$$

式中

δ_i ：第 i 個特徵值

p ：變項數

$\text{tr}R$ ：矩陣 R 之結果

另外，第 i 個主成分 (C_{z_i}) 與第 j 個變項 (X_{z_j}) 的相關係數可如下式所表示：

$$r_{C_{z_i} X_{z_j}} = \omega \times \sqrt{\delta_i}$$

式中

$r_{C_{z_i} X_{z_j}}$ ：第 i 個主成分與第 j 個變項的相關係數

ω ：矩陣 R 之特徵向量

δ_i ：第 i 個特徵值

另外，當研究目的為精簡模式變項時，除了可使用許多統計指標來鑑定 (Peres-Neto et al., 2005) 外，亦可考慮以特徵值作為分類的門檻。在使用標準化資料的前提下，可採取特徵值大於 1 者做為模式變項 (林師模、陳范欽, 2003)。

(三) 標準化主成分分析

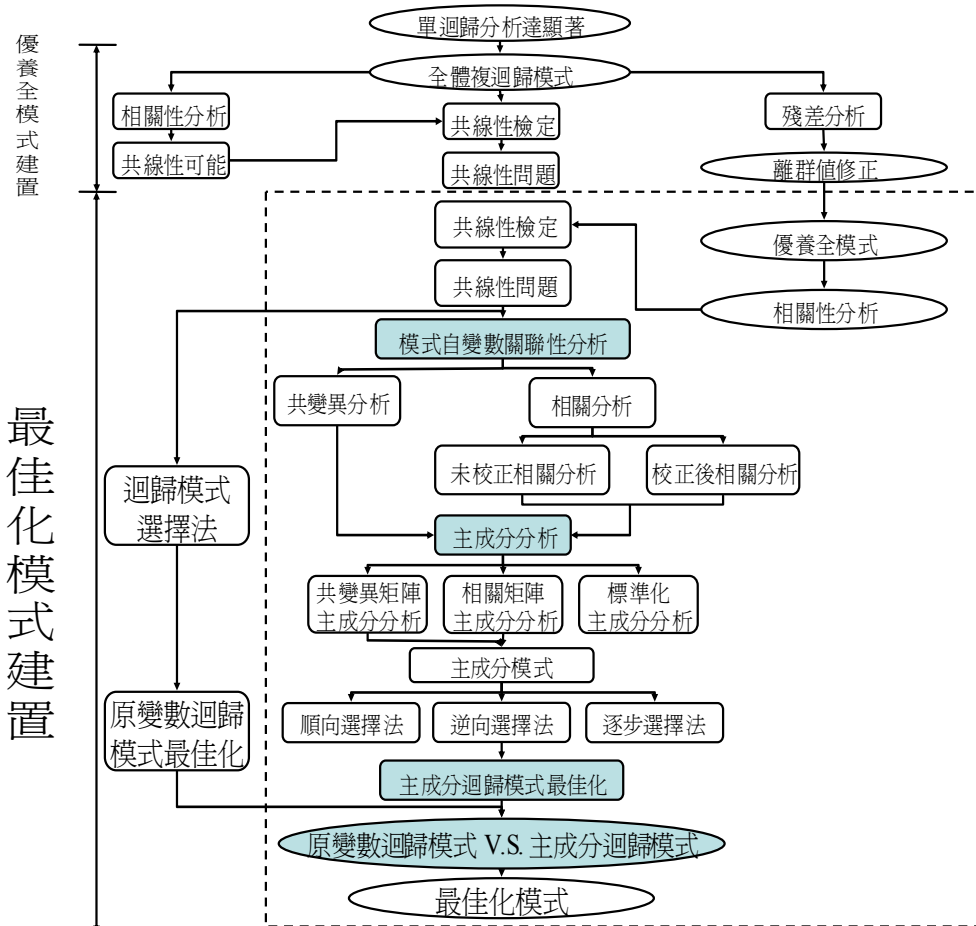
相關矩陣相對於共變異矩陣之主成分分析的過程，即為模式變異數標準化為特徵值的動作。若為了使主成分之組成變數間差異更加顯現，以利於比較，則可藉由 Z 值來標準化主成分，亦即將變異數標準化為 1，則在變數間無共線性的情形下，係數越大就代表該變數之相對重要性越高。

三、主成分迴歸模式最佳化

本研究使用迴歸模式選擇法來最佳化主成分迴歸模式，而最常用的選擇法有順向、逆向和逐步等 3 種，接著再依模式選擇結果選出最佳模式。詳細的做法可參考本研究室之前所發表的文章 (陳鴻烈、蔡大偉, 2006b)。

本研究所依據之基礎模式，是先經單迴歸分析篩選出重要的優養相關水質因子，再通過離群值修正之優養全模式 (陳鴻烈、蔡大偉, 2006c)，以減輕主成分模式誤差因子離群值的影響 (Sarbu and Pop, 2005)。此模式為

研究方法



註：虛框內為本研究主要流程。

圖 1. 研究流程圖

Figure 1. Overview of research method.

一多元複迴歸模式，經過共線性檢定後，發現自變數間有共線性問題存在 (陳鴻烈、蔡大偉，2006c)，因此，希望藉由主成分分析來消除其共線性，並可藉由分析結果來探討與藻類消長相關之主要因子 (Lau and Lane, 2002)。

探討優養全模式之後，本研究可藉由統計軟體 SAS 進行主成分分析 (彭昭英，1998)。首先，依據模式自變數數據計算其共變異矩陣及相關矩陣，以進行模式自變數關聯性分析，藉此完成主成分分析前置作業，並探討模式自變數間之關聯性。接著，根據共變異與相關兩個矩陣來計算主成分分析之結果，藉此將原模式之自變數轉變為互相獨立的主成分，以消除自變數間之共線性問題。而在個別主成分的組成及代表意義上，本研究採用原始個別變數與個別主成分進行相關分析的方法來探討，並以相關分析的統計顯著性來做為個別主成分命名之依據。另外，研究中亦藉由標準化之主成分分析來探討各個主成分內變數間的相對重要性。

使用迴歸模式選擇法來精簡模式，也可解決部分共線性的問題 (陳鴻烈、蔡大偉，2006b)，因此，研究中亦將主成分分析與原始變數分別透過迴歸模式選擇法篩選之結果做一比較，以探討兩者之異同，以達模式最佳化之目的。

如上所述，本研究可將研究流程繪製如圖 1。

結果與討論

本研究在進行主成分分析時，是先計算出各變數間之共變異矩陣與相關矩陣，其中，共變異矩陣分析較容易解釋，且顯著性較高；至於相關矩陣，則可讓不同單位的觀

測值標準化，而得到較正確的結果。因此，第一部分就以共變異與相關矩陣來說明各變數間的關係，藉此看出整體大概的趨勢；第二部分再針對主成分分析的結果加以討論，以找出主成分因子群組。

一、模式自變數關聯性分析

(一) 共變異矩陣

將優養化相關因子 — 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 與透明度等共 12 個進行離差分數分析後，即可得其共變異矩陣 (表 1)，由表中數據可知，相關性最強的為葉綠素 a 與懸浮固體、總磷、磷酸鹽、COD 等。

葉綠素 a 為直接量測水體優養化程度的指標之一，藉此指標可了解水體中藻類族群的含量。因懸浮固體為測量水中懸浮微粒之含量，故亦含括藻類族群在內；至於水中磷的含量，則是一般淡水區域優養化的控制因子；此外，COD 是量測水中包括無法由生物分解的有機物含量，故藻類之細胞壁亦囊括在內。由於這 5 個水質因子均可代表優養化量測的一部分，所以彼此間呈高度相關。

(二) 相關矩陣

1. 未校正之相關矩陣

若進行主成分分析時不考慮截距，則此時相關係數的計算就不針對均數做校正，最後結果整理為相關矩陣後如表 2。由表 2 可看出，若以相關係數 0.6 做為達顯著相關之分界線 (陳鴻烈、蔡大偉，2006c)，則 12 個水質參數中，除了磷酸鹽與其他因子的相關性較低外，其他因子間的相關性均相當高。因此，可能有相關性過度膨脹的情形發生，故本研究不採用未做均數校正的相關矩陣。

表 1. 各變數間之共變異矩陣

Table 1. Covariance matrix between two independent variables.

Covariance Matrix						
	水溫	溶氧	懸浮固體	濁度	氨氮	硝酸鹽
水溫	18.50591	2.53915	19.70415	2.74052	0.33144	-0.32972
溶氧	2.53915	3.20890	2.91982	0.57826	0.01075	0.22129
懸浮固體	19.70415	2.91982	87.82885	37.15649	0.46143	-0.75764
濁度	2.74052	0.57826	37.15649	21.60918	0.18940	-0.26397
氨氮	0.33144	0.01075	0.46143	0.18940	0.01984	-0.00800
硝酸鹽	-0.32972	0.22129	-0.75764	-0.26397	-0.00800	0.06821
總磷	119.74132	35.35525	308.43972	121.63879	5.32742	-3.69427
磷酸鹽	34.15453	0.63087	224.21537	70.10553	0.83274	-3.30354
鈉	41.23073	2.62389	143.32479	62.71368	0.96239	-2.10103
COD	-0.08529	0.11301	0.12597	0.11903	-0.01059	0.02115
葉綠素a	308.14410	4.55780	1370.77486	619.14880	8.37672	-21.92010
透明度	-2.00608	-1.13171	-2.85678	-0.81043	-0.03297	-0.06117

Covariance Matrix						
	總磷	磷酸鹽	COD	鈉	葉綠素a	透明度
水溫	119.74132	34.15453	41.23073	-0.08529	308.14410	-2.00608
溶氧	35.35525	0.63087	2.62389	0.11301	4.55780	-1.13171
懸浮固體	308.43972	224.21537	143.32479	0.12597	1370.77486	-2.85678
濁度	121.63879	70.10553	62.71368	0.11903	619.14880	-0.81043
氨氮	5.32742	0.83274	0.96239	-0.01059	8.37672	-0.03297
硝酸鹽	-3.69427	-3.30354	-2.10103	0.02115	-21.92010	-0.06117
總磷	3038.30564	1129.49471	486.95487	-5.89110	4399.87650	-26.32576
磷酸鹽	1129.49471	1786.54954	322.03426	-3.60649	3663.33664	-1.79174
COD	486.95487	322.03426	286.71516	0.20767	2578.92135	-3.29599
鈉	-5.89110	-3.60649	0.20767	0.10418	0.93946	-0.04910
葉綠素a	4399.87650	3663.33664	2578.92135	0.93946	25703.58917	-15.90062
透明度	-26.32576	-1.79174	-3.29599	-0.04910	-15.90062	0.74343

2. 校正後之相關矩陣

將各個變數校正後的相關係數繪成矩陣格式 (表 3)，可看出 3 個主要的趨勢：(1) 溶氧與透明度 — 此區高含氧可能由大量藻類行光合作用後產生，而水體經優養化後，將使透明度明顯下降。(2) 懸浮固體、濁度、COD 與葉綠素 a — 懸浮固體與濁度均為量測水中

懸浮微粒的含量，因此亦包含藻類族群

在內；COD 是測量水中包括生物無法分解之有機物，藻類細胞壁亦囊括其中；至於葉綠素 a，則是直接量測藻類的族群數量。因此，4 個水質指標均為優養化評估的一部分，所以因子間的相關性特別高。(3) 總磷與氨氮 — 總磷為淡水區域優養化的控制因子，而氮則是藻類主要的組成成分，此外，氨氮與懸浮固體均可用來代表藻類族群的濃度指標，因此，營養鹽磷與藻類濃度指標氨氮、懸浮固

體間有顯著相關 (陳鴻烈、蔡大偉, 2006b)。

表 2. 兩變數間未校正的相關矩陣

Table 2. Uncorrected correlation matrix between two independent variables.

Variable	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	1.0000	0.9752	0.8493	0.7993	0.9368	0.9086	0.8369	0.4550	0.8347	0.9720	0.7687	0.8706
溶氧	0.9752	1.0000	0.8126	0.7944	0.8984	0.9599	0.8164	0.4238	0.7755	0.9827	0.7109	0.8697
懸浮 固體	0.8493	0.8126	1.0000	0.9478	0.8199	0.7074	0.8538	0.6483	0.9630	0.8054	0.9550	0.6757
濁度	0.7993	0.7944	0.9478	1.0000	0.7994	0.7167	0.8065	0.5367	0.9227	0.8002	0.9220	0.7004
氨氮	0.9368	0.8984	0.8199	0.7994	1.0000	0.8338	0.8934	0.4429	0.8130	0.8947	0.7620	0.8059
硝酸鹽	0.9086	0.9599	0.7074	0.7167	0.8338	1.0000	0.6992	0.3212	0.6431	0.9514	0.5677	0.8517
總磷	0.8369	0.8164	0.8538	0.8065	0.8934	0.6992	1.0000	0.6075	0.8156	0.7649	0.7808	0.6121
磷酸鹽	0.4550	0.4238	0.6483	0.5367	0.4429	0.3212	0.6075	1.0000	0.5893	0.4023	0.6479	0.3836
COD	0.8347	0.7755	0.9630	0.9227	0.8130	0.6431	0.8156	0.5893	1.0000	0.7764	0.9744	0.6730
鈉	0.9720	0.9827	0.8054	0.8002	0.8947	0.9514	0.7649	0.4023	0.7764	1.0000	0.7177	0.9197
葉綠素a	0.7687	0.7109	0.9550	0.9220	0.7620	0.5677	0.7808	0.6479	0.9744	0.7177	1.0000	0.6417
透明度	0.8706	0.8697	0.6757	0.7004	0.8059	0.8517	0.6121	0.3836	0.6730	0.9197	0.6417	1.0000

註：以粗體標記者為達顯著相關者。

表 3. 兩自變數間校正後的相關矩陣

Table 3. Corrected correlation matrix between two independent variables.

Variable	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	0.4887	0.1370	0.5469	-0.2935	0.5050	0.1878	0.5660	-0.0614	0.4468	-0.5408
溶氧	0.3295	1	0.1739	0.0694	0.0426	0.4730	0.3581	0.0083	0.0865	0.1955	0.0159	-0.7327
懸浮 固體	0.4887	0.1739	1	0.8529	0.3495	-0.3095	0.5971	0.5660	0.9032	0.0416	0.9123	-0.3535
濁度	0.1370	0.0694	0.8529	1	0.2892	-0.2174	0.4747	0.3568	0.7967	0.0793	0.8308	-0.2022
氨氮	0.5469	0.0426	0.3495	0.2892	1	-0.2175	0.6861	0.1399	0.4035	-0.2329	0.3709	-0.2714
硝酸鹽	-0.2935	0.4730	-0.3095	-0.2174	-0.2175	1	-0.2566	-0.2992	-0.4751	0.2509	-0.5235	-0.2717
總磷	0.5050	0.3581	0.5971	0.4747	0.6861	-0.2566	1	0.4848	0.5217	-0.3311	0.4979	-0.5539
磷酸鹽	0.1878	0.0083	0.5660	0.3568	0.1399	-0.2992	0.4848	1	0.4500	-0.2644	0.5406	-0.0492
COD	0.5660	0.0865	0.9032	0.7967	0.4035	-0.4751	0.5217	0.4500	1	0.0380	0.9500	-0.2258
鈉	-0.0614	0.1955	0.0416	0.0793	-0.2329	0.2509	-0.3311	-0.2644	0.0380	1	0.0182	-0.1764
葉綠素a	0.4468	0.0159	0.9123	0.8308	0.3709	-0.5235	0.4979	0.5406	0.9500	0.0182	1	-0.1150
透明度	-0.5408	-0.7327	-0.3535	-0.2022	-0.2714	-0.2717	-0.5539	-0.0492	-0.2258	-0.1764	-0.1150	1

註：以粗體標記者為達顯著相關者。

表 4. 共變異矩陣與相關矩陣之比較

Table 4. Comparisons between covariance matrix and corrected correlation matrix.

分析方法	達顯著相關之變數		
	第 1 組	第 2 組	第 3 組
共變異矩陣	葉綠素a 與懸浮固體、總磷、 磷酸鹽、COD		
相關矩陣 (標準化)	葉綠素a 與懸浮固體、 濁度、COD	總磷與氨氮、 懸浮固體	溶氧與 透明度

將共變異矩陣與標準化後的相關矩陣之結果做一比較 (表 4)，可發現兩者之結論不盡相同。因共變異矩陣參數間單位並不一致，因此結論僅供參考，但仍可藉此看出各個自變數間大致的趨勢變化；至於相關矩陣，是共變異矩陣之標準化，用來解決自變數間單位不同的問題。經自變數間關聯性分析後，我們發現優養重要水質相關因子——如葉綠素 a、總磷、磷酸鹽、懸浮固體、濁度與 COD 等，相互間均存有中高度的相關性，需進一步進行主成分分析以減低其共線性。

二、主成分分析

(一) 共變異矩陣之主成分分析

以各個變數間的共變異矩陣為基礎，進行主成分分析之結果如表 5，由表中特徵值的計算可得到各個主成分的解釋變異量。其中，第一主成分可解釋高達 88.71% 的變異量，而其他主成分的解釋量則均低於 10%。此外，由表中的特徵向量數值可知，各個主成分所包含的主要因子為——第一主成分是葉綠素 a，第二是總磷，第三是磷酸鹽，其他依序是 COD、懸浮固體、水溫、溶氧、濁度、透明

度、鈉、硝酸鹽及氨氮，此一結果與一般淡水優養化重要因子相符合。其中，葉綠素 a 可直接反應出藻類的生物量，而得知優養化情形；至於磷，則是優養化的控制因子。

為了能更清楚看出各個主成分之顯著變數為何，本研究進一步將各個主成分對各個變數做相關性分析，使能更清晰、方便的找出各個主成分之主要因子。

將優養化相關因子與共變異矩陣之主成分分析結果經相關分析後彙整如表 6，根據表中的數據可將各主成分分述如後：

1. 第一主成分

第一主成分包括水溫、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、總磷、磷酸鹽、COD 與葉綠素 a 等 8 個因子，幾乎將優養化重要因子全包含在內，因此，其解釋變異量可達 88.71%。其中，懸浮固體、濁度、COD 與葉綠素 a 均可顯示水體中藻類族群含量；而水溫、硝酸鹽、總磷及磷酸鹽則為藻類生長的重要相關因子，當中又以磷最為重要。因此，主成分的命名

表 5. 共變異矩陣主成分分析結果之特徵值與特徵向量

Table 5. Eigenvalue and eigenvector of principal component analysis resulted by covariance matrix.

Eigenvectors						
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
水溫	0.012012	0.021691	-0.033402	0.434205	-0.473691	0.565668
溶氧	0.000417	0.013263	-0.012203	0.071579	0.052180	0.190626
懸浮固體	0.052179	0.020547	-0.004289	0.254356	0.665014	0.587990
濁度	0.023272	-0.002074	-0.022842	-0.093304	0.562649	-0.162709
氨氮	0.000339	0.001368	-0.001691	-0.000050	-0.009684	-0.000231
硝酸鹽	-0.000822	0.000193	-0.000136	0.004918	0.031256	0.018402
總磷	0.183553	0.910901	-0.364709	-0.049731	-0.014065	-0.024063
磷酸鹽	0.147601	0.343412	0.925657	0.047912	-0.001752	-0.020118
COD	0.097021	-0.011781	-0.063983	0.845660	0.091259	-0.506448
鈉	-0.000025	-0.002868	-0.001195	0.006666	0.017128	0.018522
葉綠素a	0.965246	-0.225892	-0.064551	-0.099844	-0.049874	0.023500
透明度	-0.000763	-0.008871	0.008774	-0.054708	-0.041177	-0.112998
Eigenvalue	27452.5774	2377.0459	1059.7810	29.6249	15.3479	9.0208
Proportion	0.8871	0.0768	0.0342	0.0010	0.0005	0.0003
Cumulative	0.8871	0.9639	0.9981	0.9991	0.9996	0.9999

	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
溫度	-0.060822	0.501945	0.085184	0.041316	-0.015744	-0.022668
溶氧	0.937396	-0.152575	0.215246	0.006974	-0.070938	0.045692
懸浮固體	-0.236021	-0.293437	0.045233	-0.001029	-0.011120	0.013489
濁度	0.117301	0.790772	0.073465	0.030557	-0.041768	-0.004790
氨氮	-0.020475	0.027151	0.027957	0.116660	0.356471	0.925895
硝酸鹽	0.071278	0.010189	0.050073	0.083558	0.922180	-0.365472
總磷	-0.010454	-0.013048	0.001028	0.004045	0.000548	-0.002835
磷酸鹽	0.011835	0.024334	-0.001351	0.001701	-0.000582	0.000707
COD	0.021975	-0.076363	-0.007056	-0.003418	0.003513	0.002755
鈉	0.061202	-0.025006	-0.354533	0.924957	-0.096342	-0.066472
葉綠素a	0.008168	-0.003007	-0.003913	-0.001555	0.002063	-0.000870
透明度	-0.195138	-0.072644	0.899955	0.348052	-0.077876	-0.043662
Eigenvalue	2.3558	1.2630	0.1557	0.0524	0.0206	0.0028
Proportion	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cumulative	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

表 6. 各主成分對各變數之相關分析 (共變異矩陣)
Table 6. Correlation analysis between principal components and independent variables (covariance matrix).

Pearson Correlation Coefficients, N=19												
Prob > r under H ₀ :R _{h0} = 0												
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
水溫	0.46267	0.24584	-0.25277	0.54937	-0.43138	0.39494	-0.02170	0.13113	0.00781	0.00220	-0.00053	-0.00028
P-Value	0.0461	0.3103	0.2965	0.0148	0.0652	0.0942	0.9297	0.5926	0.9747	0.9929	0.9983	0.9991
溶氧	0.03853	0.36099	-0.22176	0.21749	0.11412	0.31961	0.80318	-0.09572	0.04741	0.00089	-0.00569	0.00135
P-Value	0.8756	0.1289	0.3615	0.3711	0.6418	0.1822	<.0001	0.6967	0.8472	0.9971	0.9816	0.9956
懸浮固體	0.92250	0.10689	-0.01490	0.14772	0.27799	0.18844	-0.03865	-0.03519	0.00190	-0.00003	-0.00017	0.00008
P-Value	<.0001	0.6632	0.9517	0.5462	0.2492	0.4398	0.8752	0.8863	0.9938	0.9999	0.9994	0.9998
濁度	0.82947	-0.02176	-0.15997	-0.10925	0.47418	-0.10513	0.03873	0.19118	0.00624	0.00150	-0.00129	-0.00005
P-Value	<.0001	0.9296	0.5130	0.6562	0.0403	0.6684	0.8749	0.4330	0.9798	0.9951	0.9958	0.9998
氨氮	0.39897	0.47348	-0.39081	-0.00193	-0.26931	-0.00492	-0.22309	0.21660	0.07830	0.18951	0.36348	0.34713
P-Value	0.0906	0.0406	0.0980	0.9938	0.2649	0.9840	0.3586	0.3731	0.7500	0.4371	0.1261	0.1454
硝酸鹽	-0.52173	0.03597	-0.01696	0.10248	0.46883	0.21162	0.41888	0.04384	0.07564	0.07321	0.50716	-0.07390
P-Value	0.0220	0.8838	0.9451	0.6763	0.0429	0.3845	0.0743	0.8586	0.7583	0.7658	0.0267	0.7637
總磷	0.55174	0.80570	-0.21540	-0.00491	-0.00100	-0.00131	-0.00029	-0.00027	0.00001	0.00002	0.00000	0.00000
P-Value	0.0143	<.0001	0.3758	0.9841	0.9968	0.9957	0.9991	0.9991	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000
磷酸鹽	0.57859	0.39612	0.71294	0.00617	-0.00016	-0.00143	0.00043	0.00065	-0.00001	0.00001	0.00000	0.00000
P-Value	0.0094	0.0932	0.0006	0.9800	0.9995	0.9954	0.9986	0.9979	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
COD	0.94936	-0.03392	-0.12301	0.27183	0.02111	-0.08983	0.00199	-0.00507	-0.00016	-0.00005	0.00003	0.00001
P-Value	<.0001	0.8904	0.6159	0.2602	0.9316	0.7146	0.9935	0.9836	0.9995	0.9999	0.9999	1.0000
鈉	-0.01268	-0.43321	-0.12049	0.11240	0.20789	0.17235	0.29103	-0.08706	-0.43335	0.65579	-0.04287	-0.01088
P-Value	0.9589	0.0639	0.6232	0.6468	0.3931	0.4805	0.2267	0.7230	0.0638	0.0023	0.8617	0.9648
葉綠素a	0.99755	-0.06869	-0.01311	-0.00339	-0.00122	0.00044	0.00008	-0.00002	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000
P-Value	<.0001	0.7799	0.9575	0.9890	0.9960	0.9986	0.9997	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
透明度	-0.14670	-0.50162	0.33126	-0.34535	-0.18709	-0.39362	-0.34737	-0.09468	0.41180	0.09238	-0.01297	-0.00267
P-Value	0.5490	0.0287	0.1659	0.1476	0.4431	0.0954	0.1451	0.6998	0.0798	0.7068	0.9580	0.9913

可稱為營養質指標磷與藻類濃度，也代表這些因子可以完整的表現出優養的變化。

2. 第二主成分

第二主成分為總磷、氨氮與透明度，總磷與氨氮兩個水質因子均為優養化營養鹽的控制因子，可控制藻類的族群數量；至於透明度，亦代表藻類的數量。所以，主成分可命名為藻類族群因子，而其中的總磷因子與第二主成分之相關係數為 0.8057，較氨氮因

子的 0.4735 為高，表示在淡水領域中，磷因子的影響較氮因子高。

3. 第三主成分

第三主成分為磷酸鹽，亦為影響水中磷含量的因子，可命名為水中磷酸鹽含量，這也表示分析結果中以磷為主要的控制因子。

4. 第四主成分

第四主成分為水溫，水溫可控制水中藻類的生長數量，但因影響範圍廣大，故重要性相對降低。

5. 第五主成分

第五主成分為濁度與硝酸鹽，濁度的量測可用來粗估水中藻類的族群數量，但由於量測標的並非針對藻類，故精準度不足。至於硝酸鹽，雖然其含量會影響藻類的生長，但卻非主要的營養鹽控制因子，故將此主成分命名為藻類族群概估因子。

6. 第六主成分

第六與第四主成分相同，均為水溫。

7. 第七主成分

第七主成分中有達顯著水準 5%者為溶氧，一般優養化發生時，溶氧量會明顯變化，故可藉此評判是否有優養的情形發生。然而，由於影響溶氧的因子眾多，也可能造成誤判，使得此因子的重要性相對降低。

8. 第八主成分

第八主成分為氨氮。一般而言，優養化發生與否，水體中營養鹽磷為控制因子之一，但因氮為藻類主要的構成成分，因此亦有相關。然而，一般水中氮含量遠高於磷，故使得此因子的重要性減低。

9. 第九、十主成分

第九與第十主成分均為鈉，生活污水的排放或是鈉肥的施作，均會影響水中鈉的含量，進而影響藻類族群的生長，但是淡水中鈉含量一般偏低，因此解釋優養能力亦較弱。

10. 第十一主成分

第十一主成分為硝酸鹽，可影響水中氮的含量，但影響層面較低，所以重要性偏低。

11. 第十二主成分

第十二主成分為氨氮，與第八主成分相同，影響水中總氮的含量，但由於磷才是主要的控制因子，因此其影響力相對較低。

將表 5 與表 6 互相比較，可看出使用相關分析法尋求主成分之重要因子明顯地較使用原始數據來得詳細，尤其是在第一主成分的判別上，使用相關分析法尋找之後，才找出第一主成分包含哪些重要因子，因此，可高度解釋模式的變異度。

(二) 相關矩陣主成分分析

將水溫、溶氧、懸浮固體、濁度、氨氮、硝酸鹽、總磷、磷酸鹽、COD、鈉、葉綠素 a 與透明度等 12 個優養化相關因子進行主成分分析，其特徵值、特徵向量與解釋變異度如表 7。由表中特徵值欄可看出，特徵值大於 1 的主成分有第一、第二和第三，表示取前 3 個主成分已可解釋大部分的變異度。前 3 個主成分大約都可解釋 10%以上的變異度，3 者累積更可解釋 75.92%的變異度，尤其是第一主成分，其解釋度高達 43.74%。

另外，由表 7 的特徵向量可看出各個主成分中的主要因子之趨勢如下，第一主成分為懸浮固體、COD 與葉綠素 a，第二為溶氧、硝酸鹽與透明度，第三為氨氮與鈉，其餘依序為磷酸鹽、氨氮、鈉、硝酸鹽、溶氧、總磷、COD、濁度與葉綠素 a。

從共變異與相關矩陣之主成分分析結果可發現，兩者的第一主成分相似，均包含了葉綠素 a；至於其他主成分方面，共變異矩陣

表 7. 相關矩陣主成分分析結果之特徵值與特徵向量

Table 7. Eigenvalue and eigenvector of principal component analysis resulted by correlation matrix.

Eigenvectors						
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
溫度	0.281168	0.206346	-0.249629	-0.441095	-0.424610	-0.059153
溶氧	0.093496	0.571618	0.063305	0.198092	-0.165055	-0.223526
懸浮固體	0.405355	-0.024298	0.222951	0.091747	0.000230	-0.055099
濁度	0.338620	-0.085106	0.341691	0.138426	0.441196	-0.211096
氨氮	0.253280	0.068344	-0.415288	-0.301528	0.518387	0.429511
硝酸鹽	-0.191623	0.434105	0.173199	0.310466	0.341457	0.117120
總磷	0.340284	0.156909	-0.334132	0.192843	0.181812	0.109910
磷酸鹽	0.253292	-0.162164	-0.060024	0.585327	-0.403399	0.554001
COD	0.400801	-0.099996	0.186986	-0.142325	-0.044109	-0.169257
鈉	-0.044066	0.201969	0.606523	-0.386741	-0.073229	0.586734
葉綠素a	0.395331	-0.177078	0.212769	-0.041003	-0.021407	-0.069275
透明度	-0.183131	-0.544663	0.037479	0.002010	0.094543	0.063570
Eigenvalue	5.2492	2.3086	1.5526	0.9905	0.7071	0.4350
Proportion	0.4374	0.1924	0.1294	0.0825	0.0589	0.0362
Cumulative	0.4374	0.6298	0.7592	0.8417	0.9007	0.9369

Eigenvectors						
	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
溫度	0.389715	-0.151912	0.127179	0.143175	0.431324	0.200063
溶氧	-0.000557	0.679631	-0.120824	0.158820	0.028931	-0.203712
懸浮固體	0.126071	-0.242600	0.448033	0.460731	-0.324056	-0.425640
濁度	-0.101232	-0.109217	-0.247128	0.153296	0.629040	0.022880
氨氮	0.177039	0.164301	-0.277544	0.099348	-0.122358	-0.233196
硝酸鹽	0.603483	-0.176755	0.182267	-0.172233	-0.029525	0.242786
總磷	-0.443241	0.107667	0.567565	-0.181743	0.089935	0.307106
磷酸鹽	0.113923	-0.036097	-0.223809	-0.041929	0.151208	-0.068502
COD	0.182359	0.092570	0.032081	-0.783730	-0.065957	-0.286548
鈉	-0.230880	0.100858	0.131768	-0.012987	0.088934	0.035912
葉綠素a	0.115871	0.205347	-0.222945	0.135617	-0.442047	0.664118
透明度	0.342079	0.558749	0.396046	0.106714	0.240745	0.000535
Eigenvalue	0.3560	0.2399	0.0630	0.0488	0.0319	0.0175
Proportion	0.0297	0.0200	0.0053	0.0041	0.0027	0.0015
Cumulative	0.9666	0.9866	0.9918	0.9959	0.9985	1.0000

較偏重於磷因子的影響，而相關矩陣則偏重於氮因子，但因磷與氮均為優養化控制因子，故兩者的分析結果均可反應出優養的變

化情形。

為了能確切的了解各主成分之組成，須以個別主成分與原水質參數做相關分析。其

中，以相關矩陣為基礎之主成分分析結果進行相關分析時，其結果如表 8，依表中數據可將所有主成分之重要因子彙整如下：

1. 第一主成分

可將水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD 與葉綠素 a 歸類為第一主

成分，其中，懸浮固體、濁度、COD 及葉綠素 a 與水中藻類濃度有密切關係；至於水溫、氨氮、總磷與磷酸鹽，則是與藻類的生長繁殖有關，而 4 個因子中又以營養鹽磷最為重要。因此，第一主成分可命名為營養質指標磷與藻類濃度，表示以這些水質指標來量測優養化之狀態為合理且準確的方法。

表 8. 各主成分對各變數之相關分析 (相關矩陣)

Table 8. Correlation analysis between principal components and independent variables (correlation matrix).

Pearson Correlation Coefficients, N=19												
Prob > r under H ₀ :R _h = 0												
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
水溫	0.64419	0.31352	-0.31104	-0.43900	-0.35704	-0.03901	0.23253	-0.07440	0.03192	0.03162	0.07698	0.02646
P-Value	0.0029	0.1912	0.1949	0.0601	0.1335	0.8740	0.3381	0.7621	0.8968	0.8978	0.7541	0.9144
溶氧	0.21421	0.86852	0.07888	0.19715	-0.13879	-0.14743	-0.00033	0.33286	-0.03033	0.03507	0.00516	-0.02694
P-Value	0.3785	<.0001	0.7482	0.4185	0.5709	0.5470	0.9989	0.1638	0.9019	0.8867	0.9833	0.9128
懸浮固體	0.92872	-0.03692	0.27780	0.09131	0.00019	-0.03634	0.07522	-0.11882	0.11246	0.10174	-0.05783	-0.05629
P-Value	<.0001	0.8807	0.2495	0.7101	0.9994	0.8826	0.7596	0.6281	0.6467	0.6785	0.8141	0.8190
濁度	0.77582	-0.12931	0.42576	0.13777	0.37099	-0.13923	-0.06040	-0.05349	-0.06203	0.03385	0.11226	0.00303
P-Value	<.0001	0.5978	0.0691	0.5738	0.1179	0.5697	0.8060	0.8278	0.8008	0.8906	0.6473	0.9902
氨氮	0.58030	0.10384	-0.51746	-0.30010	0.43590	0.28328	0.10563	0.08047	-0.06966	0.02194	-0.02184	-0.03084
P-Value	0.0092	0.6723	0.0233	0.2119	0.0621	0.2399	0.6669	0.7433	0.7769	0.9290	0.9293	0.9003
硝酸鹽	-0.43903	0.65958	0.21581	0.30899	0.28712	0.07725	0.36007	-0.08657	0.04575	-0.03803	-0.00527	0.03211
P-Value	0.0600	0.0021	0.3749	0.1980	0.2333	0.7533	0.1300	0.7246	0.8525	0.8772	0.9829	0.8962
總磷	0.77963	0.23841	-0.41634	0.19193	0.15288	0.07249	-0.26446	0.05273	0.14246	-0.04013	0.01605	0.04061
P-Value	<.0001	0.3256	0.0762	0.4312	0.5321	0.7681	0.2739	0.8302	0.5607	0.8704	0.9480	0.8689
磷酸鹽	0.58032	-0.24639	-0.07479	0.58255	-0.33921	0.36539	0.06797	-0.01768	-0.05618	-0.00926	0.02699	-0.00906
P-Value	0.0092	0.3092	0.7609	0.0089	0.1554	0.1240	0.7822	0.9427	0.8193	0.9700	0.9127	0.9706
COD	0.91828	-0.15193	0.23299	-0.14165	-0.03709	-0.11163	0.10881	0.04534	0.00805	-0.17306	-0.01177	-0.03789
P-Value	<.0001	0.5346	0.3371	0.5630	0.8802	0.6491	0.6575	0.8538	0.9739	0.4786	0.9619	0.8776
鈉	-0.10096	0.30687	0.75574	-0.38491	-0.06158	0.38698	-0.13776	0.04940	0.03307	-0.00287	0.01587	0.00475
P-Value	0.6809	0.2013	0.0002	0.1037	0.8023	0.1017	0.5738	0.8408	0.8931	0.9907	0.9486	0.9846
葉綠素a	0.90575	-0.26905	0.26511	-0.04081	-0.01800	-0.04569	0.06913	0.10057	-0.05596	0.02995	-0.07889	0.08782
P-Value	<.0001	0.2653	0.2727	0.8683	0.9417	0.8527	0.7785	0.6821	0.8200	0.9031	0.7482	0.7207
透明度	-0.41957	-0.82757	0.04670	0.00200	0.07950	0.04193	0.20410	0.27365	0.09941	0.02356	0.04297	0.00007
P-Value	0.0737	<.0001	0.8494	0.9935	0.7463	0.8647	0.4020	0.2569	0.6856	0.9237	0.8614	0.9998

2. 第二主成分

第二主成分以溶氧、硝酸鹽與透明度最為顯著，3 者均影響或代表藻類族群的含量，但並非以藻類為主要的觀察對象，所以第二主成分大致可命名為營養質指標氮與藻類濃度，這代表了此水體的優養情形亦會受到硝酸鹽含量的影響。

3. 第三主成分

由第三主成分欄位中可看出最顯著的因子是氨氮與鈉，與第二主成分類似，均影響藻類的生長。其中，氮為藻類組成之主要成分，而鈉則是促進藻類生長的重要微量元素 (陳鴻烈等，2000b)，因此，可將此主成分命名為營養質指標鈉與藻類濃度。

4. 第四主成分

第四主成分中最顯著的因子為磷酸鹽，表示水中磷的含量為控制優養化程度的重要因子之一。

5. 第五主成分

第 5 主成分為氨氮的含量，藉此可了解藻類生物量大略的分布情形。然因其在平時的含量大致固定，只有當藻類大量繁殖後才會有大幅度的變化，所以對量測優養化的程度不夠敏感。

6. 第六主成分

第六主成分中以鈉最為顯著，代表鈉鹽之含量變化會對優養程度有一定的影響。

7. 第七主成分

第七主成分為硝酸鹽，證明此區優養化情形會受到水體中硝酸鹽含量的影響。

8. 第八主成分

第八主成分為水中的溶氧量，可以量測

水中藻類的繁殖情形。但因水中溶氧變化因子複雜，所以此因子對優養的變化仍不夠敏感。

9. 第九主成分

第九主成分為總磷，磷為水中優養控制因子之一，所以必為重要指標之一。

10. 第十主成分

第十主成分為 COD，可以量測水中的碳源含量，但因其並非針對藻類的量測而設計，因此，若只用 COD 值來代表不夠準確。

11. 第十一主成分

第十一主成分為濁度，可以間接量測水中藻類的生物量，但因不夠精準，故其重要性較低。

12. 第十二主成分

第十二主成分為葉綠素 a，為量測水體中優養化最直接的指標之一。但因在此與多項優養相關水質因子有高度相關，可能存在嚴重的共線性問題，故重要性亦大大降低。

將表 7 與表 8 互相比較，可發現兩者之結果差不多一致，只有在第一主成分有所差別，但仍以表 8 來找出各個主成分的重要因子較為容易。以相關性分析來尋找時，會納入較多的因子，也因此較不會忽略重要的因子。最後結果也顯示，以水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD 與葉綠素 a 等指標來解釋優養化程度時，可以解釋大部分的變異度，達 43.74%，若再考慮水中藻類的粗估含量與藻類生長因子等兩個主成分，則解釋變異度可增加至 75.92%，能更完整的解釋優養程度變化情形。

(三) 標準化主成分分析

爲了能進一步探討各個主成分內各原始變數之相對重要性，可在進行相關矩陣之主成分分析後，再將其變異數標準化爲 1，以突顯原始變數間的差異性。經過標準化後的主

成分如表 9 所示，將表 9 與表 7 相互比較後，可發現兩者之趨勢完全相同，亦即各個主成分之組成幾乎一致。然而，經標準化後的主成分，會使其組成中重要因子的係數增大，

表 9. 相關矩陣主成分分析結果標準化後之特徵向量

Table 9. Eigenvector of standardized principal component from correlation matrix.

Eigenvectors						
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
水溫	0.12272	0.13581	-0.20034	-0.44320	-0.50496	-0.08969
溶氧	0.04081	0.37621	0.05081	0.19904	-0.19629	-0.33891
懸浮固體	0.17692	-0.01599	0.17893	0.09218	0.00027	-0.08354
濁度	0.14780	-0.05601	0.27423	0.13909	0.52469	-0.32006
氨氮	0.11055	0.04498	-0.33329	-0.30297	0.61649	0.65122
硝酸鹽	-0.08364	0.28571	0.13900	0.31195	0.40607	0.17758
總磷	0.14852	0.10327	-0.26816	0.19376	0.21622	0.16665
磷酸鹽	0.11055	-0.10673	-0.04817	0.58812	-0.47974	0.83998
COD	0.17494	-0.06581	0.15007	-0.14300	-0.05246	-0.25663
鈉	-0.01923	0.13293	0.48677	-0.38858	-0.08709	0.88961
葉綠素a	0.17255	-0.11654	0.17076	-0.04120	-0.02546	-0.10504
透明度	-0.07993	-0.35847	0.03008	0.00202	0.11243	0.09639

Eigenvectors						
	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
水溫	0.65317	-0.31018	0.50669	0.64837	2.41680	1.51286
溶氧	-0.00093	1.38768	-0.48138	0.71922	0.16211	-1.54045
懸浮固體	0.21130	-0.49534	1.78500	2.08644	-1.81575	-3.21866
濁度	-0.16967	-0.22300	-0.98458	0.69421	3.52465	0.17302
氨氮	0.29672	0.33547	-1.10576	0.44990	-0.68560	-1.76341
硝酸鹽	1.01144	-0.36090	0.72617	-0.77996	-0.16543	1.83593
總磷	-0.74288	0.21984	2.26123	-0.82303	0.50392	2.32231
磷酸鹽	0.19094	-0.07370	-0.89168	-0.18988	0.84725	-0.51800
COD	0.30564	0.18901	0.12781	-3.54916	-0.36957	-2.16685
鈉	-0.38696	0.20593	0.52498	-0.05881	0.49832	0.27156
葉綠素a	0.19420	0.41928	-0.88823	0.61415	-2.47688	5.02201
透明度	0.57333	1.14086	1.57788	0.48326	1.34894	0.00405

使能更容易辨識每一個主成分的組成情形。例如若以 0.17 作爲門檻值，標準化後第一主成分中以懸浮固體、COD 與葉綠素 a 較爲重要，與未標準化前比較起來，即多了葉綠素 a 這個重要的因子。

將各個主成分分析法之結果的前 3 主成分整理如表 10，由表中可看出，若以原始分數來辨識主成分，並不易看清各主成分之結構，只能找出主成分中最重要之參數；然若使用標準化的主成分，則因可使主成分內各

個參數標準化，而能更清楚地辨別出主成分的結構。

將共變異矩陣與相關矩陣主成分分析兩者之相關性檢定結果互相比較，可發現雖然兩者之主成分結構差異大，但在第一主成分方面則是大致相同，差別僅在於氮的型態不

同。由此亦顯示，由水溫、懸浮固體、濁度、氮、磷指標、COD 與葉綠素 a 所構成之優養化綜合指標對模式之解釋能力最強。

三、主成分迴歸模式之最佳化

本研究共採用順向、逆向與逐步等 3 種

表 10. 各主成分分析法結果之前 3 個主成分

Table 10. The former three principal components of each principal component analysis.

		第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
依主成分原始分數	共變異矩陣主成分	葉綠素a	總磷	磷酸鹽
	相關矩陣主成分	懸浮固體、COD	溶氧、硝酸鹽、透明度	氨氮、鈉
	標準化主成分	懸浮固體、COD、葉綠素a	溶氧、硝酸鹽、透明度	-
依相關性檢定	共變異矩陣主成分	水溫、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、總磷、磷酸鹽、COD、葉綠素a	總磷、氨氮、透明度	磷酸鹽
	主成分變異度解釋百分比	88.71	7.68	3.42
	相關矩陣主成分	水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD、葉綠素a	溶氧、硝酸鹽、透明度	氨氮、鈉
	主成分變異度解釋百分比	43.74	19.24	12.94

選擇法來進行主成分迴歸模式之最佳化。

(一) 順向選擇法

順向選擇分析結果如表 11，由表中可知，僅主成分 6 (鈉) 與主成分 8 (溶氧) 被排除在外，其他主成分均被納入模式，表示這兩個主成分單獨對此區優養化的解釋能力相對較弱。因此，最後總共將 10 個主成分納入迴歸模式，然其中仍以第一主成分最為重要，可解釋變異度達 66.03%，代表磷仍是此區最重要的優養相關因子。

10 個主成分累積共可解釋 96.51% 的變異度，表示此迴歸式具有高解釋能力。另外，每個主成分經 F 檢定後，達 5% 顯著水準者

有第 1、2、3 和 7 主成分，表示主成分中仍以營養鹽相關之主成分最為重要。

若將表 11 所得到的主成分順向選擇結果進行變異數分析 (表 12)，由表中可知，此迴歸模式經 F 檢定後，F 值為 22.11，在 (10, 8) 自由度下已達 1% 顯著水準，表示此迴歸式為合理的模式 (潘南飛，2003)。

(二) 逆向選擇法

逆向選擇分析結果如表 13，此法共剔除了第 4、5、6、8、10、11、12 等 7 個主成分，只留下第 1、2、3、7 及 9 主成分。由主成分分析結果可知，自第 3 主成分之後的主成分之重要性均偏低，因此可考慮予以剔除，但

逆向選擇卻保留了其中的第 7 與第 9 主成分，第 7 主成分為硝酸鹽，第 9 主成分為總磷，表示此區優養化仍主要受營養鹽的影響，包括磷與氮因子。至於被剔除的主成分

中，以第 11 主成分對變異度的解釋量最大，第 11 主成分為濁度，雖可用來代表藻類濃度，但不夠精確。

表 11. 主成分順向選擇迴歸分析結果

Table 11. Principal component analysis results of forward selection method.

Step	Variable Entered	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	F Value	Pr > F
1	Prin1	1	0.6603	0.6603	33.04	<.0001
2	Prin3	2	0.1335	0.7938	10.36	0.0054
3	Prin2	3	0.0571	0.8509	5.74	0.0300
4	Prin7	4	0.0389	0.8898	4.94	0.0432
5	Prin9	5	0.0284	0.9181	4.51	0.0535
6	Prin11	6	0.0152	0.9334	2.74	0.1235
7	Prin12	7	0.0093	0.9427	1.79	0.2083
8	Prin5	8	0.0093	0.9520	1.93	0.1944
9	Prin4	9	0.0088	0.9607	2.01	0.1901
10	Prin10	10	0.0043	0.9651	0.99	0.3482

將表 13 之迴歸分析結果進行變異數分析可得到表 14，由表 14 可知此迴歸模式的 F 檢定值為 29.16，已達 1% 以上的顯著水準。另外，因整體模式對變異度的解釋可高達 91.81%，代表此模式為可高度解釋優養化的模式。

(三) 逐步選擇法

將逐步選擇分析結果整理為表 15，由表中可發現共有第 1、2、3、7、9、11 等 6 個主成分被納入迴歸模式。被納入的主成分主要有營養鹽磷、氮、鈉與藻類濃度等因子，同樣代表與此區優養化變化最相關的還是營養鹽與藻類濃度。此外，被採用的主成分中仍以第 1 主成分最為重要，R² 值達 0.6603；而經由 F 檢定結果亦知第 9 與 11 主成分未達

表 12. 順向選擇主成分迴歸分析結果變異分析表

Table 12. ANOVA table from principal component analysis results of forward selection method.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	R-Square	Adj. R-Sq
Model	10	2881.83764	288.18376	22.11	< 0.0001	0.9651	0.9214
Error	8	104.28932	13.03616				
Corrected Total	18	2986.12696					

表 13. 主成分逆向選擇迴歸分析結果

Table 13. Principal component analysis results of backward selection method.

Step	Variable Removed	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	F Value	Pr > F
1	Prin8	11	0.0001	0.9664	0.01	0.9089
2	Prin6	10	0.0013	0.9651	0.27	0.6210
3	Prin10	9	0.0043	0.9607	0.99	0.3482
4	Prin4	8	0.0088	0.9520	2.01	0.1901
5	Prin5	7	0.0093	0.9427	1.93	0.1944
6	Prin12	6	0.0093	0.9334	1.79	0.2083
7	Prin11	5	0.0152	0.9181	2.74	0.1235

表 14. 逆向選擇主成分迴歸分析結果變異分析表

Table 14. ANOVA table from principal component analysis results of backward selection method.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	R-Square	Adj. R-Sq
Model	5	2741.69716	548.33943	29.16	< 0.0001	0.9181	0.8867
Error	13	244.42980	18.80229				
Corrected Total	18	2986.12696					

表 15. 主成分逐步選擇迴歸分析結果

Table 15. Principal component analysis results of stepwise selection method.

Step	Variable Entered	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	F Value	Pr > F
1	Prin1	1	0.6603	0.6603	33.04	< 0.0001
2	Prin3	2	0.1335	0.7938	10.36	0.0054
3	Prin2	3	0.0571	0.8509	5.74	0.0300
4	Prin7	4	0.0389	0.8898	4.94	0.0432
5	Prin9	5	0.0284	0.9181	4.51	0.0535
6	Prin11	6	0.0152	0.9334	2.74	0.1235

5% 之顯著水準，表示總磷與濁度兩個項目涉及的範圍較廣，無法完整地解釋優養化變動情形。

將表 15 之分析結果所構成的迴歸模式進行變異數分析如表 16，表中模式之 F 檢定值

為 28.02，在自由度 (6, 12) 下達 1% 以上的顯著水準。至於在變異度的解釋能力方面，可達 93.34%，表示此迴歸模式為可接受之合理模式。

將上述 3 個經選擇法分析後的主成分迴

歸模式相比較 (表 17)，可知順向選擇採取了 10 個主成分，逆向 5 個，逐步則是 6 個，故以逆向之選取最為嚴格，而順向最為寬鬆。

在 3 種選擇法所選取的主成分中，以第 1、2、3、7、9 主成分為共同選項，除了前 3 個是重要主成分外，第 7 與 9 主成分分別為硝酸鹽

表 16. 逐步選擇主成分迴歸分析結果變異分析表

Table 16. ANOVA table from Principal component analysis results of stepwise selection method.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	R-Square	Adj R-Sq
Model	6	2787.18810	464.53135	28.02	< 0.0001	0.9334	0.9001
Error	12	198.93886	16.57824				
Corrected Total	18	2986.12696					

表 17. 全部迴歸選擇法分析結果之比較

Table 17. Comparison of analysis results among all selection models.

迴歸法	選取主成分	F Value	Pr > F	R-Square	Adj R-Sq
順向迴歸	1,2,3,4,5,7,9,10,11,12	22.11	< 0.0001	0.9651	0.9214
逆向迴歸	1,2,3,7,9	29.16	< 0.0001	0.9181	0.8867
逐步迴歸	1,2,3,7,9,11	28.02	< 0.0001	0.9334	0.9001

與藻類濃度為最重要的主成分，亦表示此區優養程度之變化主要仍被營養鹽濃度所控制。而在模式解釋能力方面，由於 3 種選擇之模式主成分數不同，故以調整後的 R^2 值做為比較基礎，最後發現以順向選擇後之迴歸模式表現最佳，可解釋 92.14% 的變異度。

將主成分數與 R^2 值之關係做圖 (圖 2)，由圖中可看出 R^2 值隨著主成分數的增加而增加。此外，由圖中亦可大略看出使用 1、2、3、7、9 等 5 個主成分即可解釋大部分的變異度，解釋率達 91.81%；繼續增加主成分數雖可持續加大模式解釋能力，但增加幅度已顯著降低。從本研究的案例中也可看出，順向選擇法會納入最多的變數，解釋能力最強；逆向選擇法所剔除的變數最多，模式較精

簡，但也削弱模式的解釋能力；至於逐步迴歸選擇結果，則是介於兩者之間。

主成分迴歸模式經調整後， R^2 值亦隨著主成分數的增加而增加，這是因為主成分間無共線性存在的緣故，也因此最後仍以順向迴歸法因擁有最多的 10 個主成分而使得模式的解釋能力最強。

若以精簡模式為主要目的，則可在相關矩陣主成分分析後，取特徵值大於 1 之主成分來精簡模式 (陳正昌等，2003)，意即取 (1) 磷與藻類濃度、(2) 氮與藻類濃度、(3) 鈉與藻類濃度等前 3 個主成分，再將此 3 個主成分納入迴歸模式選擇分析中 (Pyle et al., 2001; 周夢柏，2002)，分析後發現順向、逆向與逐步迴歸之結果均相同。

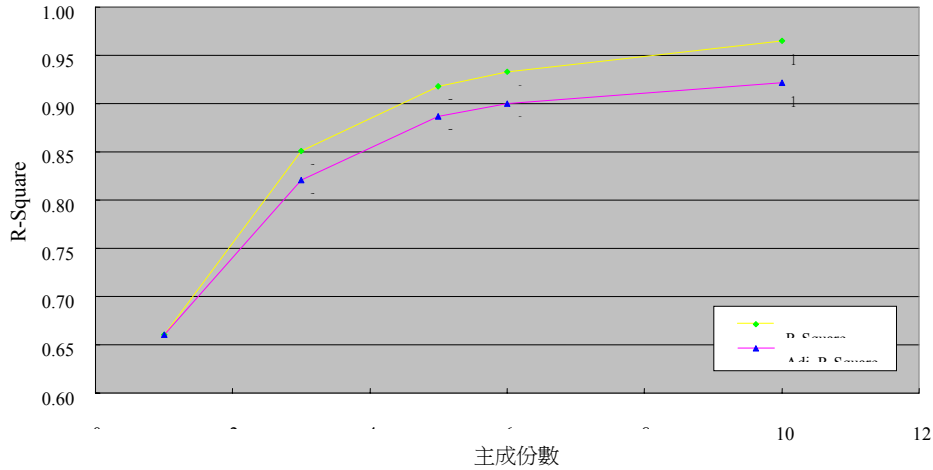


圖 2. 主成份數對模式解釋能力的影響

Figure 2. Influence of the number of principal components on explanatory ability of model.

若以逐步迴歸結果為代表 (表 18)，可知 3 個主成分均被納入迴歸模式中，且 3 個主成分的 F 檢驗均達 5% 顯著水準，其中又以第一主成分解釋變異度最高，達 66.03%，而此迴歸模式共可解釋 85.09% 之變異度。表 19 是由主成分構成之精簡模式的變異分析表，表中數據顯示此模式之 F 檢定值為 28.53，達 1% 顯著水準，表示此模式為可接受的模式。至於調整後的 R^2 值為 0.8210，仍低於原始主

成分經選擇後之精簡模式的 0.9250。

將其結果與經迴歸模式選擇法所建構的主成分模式互相比較，可發現使用 1、2、3 三個主成分所形成之模式的解釋能力最弱。至於經逆向選擇法所篩選出使用 1、2、3、7、9 五個主成分之模式則可大幅增加模式的解釋能力。這表示使用特徵值大於 1 為標準來篩選出重要的主成分之方法仍不夠正確，雖然快速，卻僅能粗略的挑選重要的主成分。

表 18. 精簡後的主成分逐步選擇迴歸分析結果

Table 18. Simplified results for principal component analysis of stepwise selection method.

Step	Variable Entered	Number Vars In	Partial R-Square	Model R-Square	F Value	Pr > F
1	Prin1	1	0.6603	0.6603	33.04	< 0.0001
2	Prin3	2	0.1335	0.7938	10.36	0.0054
3	Prin2	3	0.0571	0.8509	5.74	0.0300

表 19. 精簡後的逐步選擇主成分迴歸分析結果變異分析表
Table 19. ANOVA table of simplified results for principal component analysis of stepwise selection method.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F	R-Square	Adj R-Sq
Model	3	2540.79948	846.93316	28.53	<0.0001	0.8509	0.8210
Error	15	445.32748	29.68850				
Corrected Total	18	2986.12696					

四、原變數與主成分迴歸模式最佳化之比較

原始變數在經過順向、逆向與逐步迴歸等模式選擇法篩選過後，發現以順向選擇之結果最佳，可將優養全模式精簡為由總磷、懸浮固體、濁度、磷酸鹽、鈉與水溫等 6 個水質指標所構成，可解釋達 95% 之變異度，且調整後的 R^2 值亦達 0.9250 (陳鴻烈、蔡大偉，2006b)。

若將本研究所得之 12 個主成分同樣透過順向、逆向與逐步迴歸等 3 種模式選擇法篩選過後，可發現仍以順向選擇結果最佳。若與原始變數之順向選擇結果比較，雖然主成分分析結果的 R^2 值 (= 0.9651) 大於原始變數迴歸模式的 0.9500，但由於主成分迴歸模式中 含有 10 個主成分，而原始變數迴歸式中僅有 6 個變數，因此必須使用調整後的 R^2 值進行比較。結果顯示原始變數迴歸式的 0.9250 優於主成分迴歸模式的 0.9214，這表示以解釋變異度的能力來看，原始變數迴歸式較佳。

以主成分為基礎進行迴歸模式選擇的過程中，可發現主成分對依變項 TSI 之變異度的解釋排序與原主成分重要度之排序不同。例如第 3 主成分的解釋能力就優於第 2 主成分，推論原因，在於主成分之推求是依據最

大解釋能力的線性組合來排序，而當使用主成分轉軸投射到 y 軸的 TSI 指標上來建構迴歸模型時，每個主成分之投射量不一，因此造成兩者間有不同的結果，也因此會產生如順向迴歸去除第 6、8 主成分卻納入第 11、12 主成分的結果。

在消除模式自變數共線性問題方面，先針對順向選擇結果之精簡模式進行共線性檢定，藉由容忍度 (tolerance) 與變異數波動因素 (variance inflation factor, VIF)、特徵值 (eigenvalue)、條件指數 (condition index, CI) 與變異數比例 (variance proportions) 等統計檢定可得知該模式之共線性情形 (陳鴻烈、蔡大偉，2006c)。檢定結果分別如表 20 與 21，由表 20 可知，模式中懸浮固體之變異數波動因素大於 10，顯示可能存有共線性問題 (陳正昌等，2003)。另外，由表 21 可看出模式之條件指數大於 30，代表模式存有中度共線性問題。而在表 21 中之變異數比例檢定方面，以 0.5 作為門檻值時 (Katz et al., 2005)，水溫與濁度可能存有共線性問題，因此證明使用順向選擇法雖可減輕共線性問題，但仍無法完全去除。相較於主成分分析，由於變項重新加權處理而使主成分間的相關為 0，故不存有共線性的問題。

表 20. 容忍度與變異數波動因素之共線性檢定

Table 20. Colinearity tests of tolerance and VIF.

Variable	DF	Tolerance	Variance Inflation
截距	1	.	0
水溫	1	0.3148	3.17659
懸浮固體	1	0.07419	13.47916
濁度	1	0.1185	8.43861
總磷	1	0.42732	2.34019
磷酸鹽	1	0.40979	2.44028
鈉	1	0.73281	1.3646

表 21. 特徵值、條件指數、變異數比例之共線性檢定

Table 21. Colinearity tests of eigenvalue, condition index and variance proportions.

Number	Eigenvalue	Condition Index	Proportion of Variation						
			截距	水溫	懸浮固體	濁度	總磷	磷酸鹽	鈉
1	5.61301	1	0.00014774	0.000388	0.000736	0.00114	0.00419	0.00411	0.000215
2	0.80708	2.63719	0.00062663	0.00109	0.000925	0.000208	0.00389	0.27747	0.00112
3	0.31245	4.23846	0.00151	0.00263	0.01343	0.05627	0.00333	0.21371	0.00172
4	0.20267	5.26266	0.00042058	0.000249	0.00318	0.01702	0.62075	0.07563	0.00174
5	0.05275	10.31552	0.00579	0.05174	0.2136	0.18489	0.08872	0.06272	0.00519
6	0.00896	25.02837	3.14E-07	0.65175	0.42592	0.53132	0.26431	0.13017	0.24959
7	0.00308	42.67734	0.9915	0.29215	0.34222	0.20916	0.0148	0.2362	0.74042

結論與建議

經模式自變數間之關聯性分析後，可發現自變數間存有中高度的相關性，導致共線性問題的產生，需要進一步使用統計分析方法來消除共線性。因此，本研究採用主成分分析法來進行研究。

經過共變異矩陣與相關矩陣主成分分析後，共變異矩陣之第一主成分可解釋模式 88.71% 的變異量，原因在於以共變異矩陣為主成分分析基礎時，會使得第一主成分負荷量較重。至於相關矩陣主成分分析，其第一

主成分則可解釋 43.74% 之變異量。

在進行主成分內之重要參數選擇時，建議可將主成分內各參數對該主成分進行相關分析來作為參考。我們發現以此方式進行選擇時，共變異矩陣與相關矩陣主成分分析的第一主成分之組成類似。其中，共變異矩陣的第一主成分是由水溫、懸浮固體、濁度、硝酸鹽、總磷、磷酸鹽、COD 與葉綠素 a 等 8 個因子所組成；相關矩陣則是由水溫、懸浮固體、濁度、氨氮、總磷、磷酸鹽、COD 與葉綠素 a 所組成，兩者只差在氮的呈現方式（一為硝酸鹽，一為氨氮）。表示共變異主成分分析雖然未經標準化而正確性較低，但仍可看出大致的趨勢。

在主成分迴歸模式最佳化的過程中，發現若同時考慮模式精簡性及其解釋能力，是以逆向選擇最佳；然而，若僅單純考慮模式之總解釋能力，則以順向選擇最佳，但亦會付出最高的成本。至於逐步迴歸之結果，是介於兩者之中，因此，一般情形下大多會採用較中庸的逐步迴歸法。

將主成分與原變數迴歸模式之結果相比較，可發現由原變數所構成之精簡模式的解釋變異度能力較強，但其在共線性問題的解決能力上則較主成分迴歸模式低，亦即若以共線性消除為主要考量，則仍以主成分迴歸模式較佳。

若由兩者之變異度解釋能力的差距來看，原始迴歸式所採用的自變數間共線性問題影響頗大，尤其是與磷因子重疊之解釋者最多，因此導致在去除共線性問題後之主成分分析結果的解釋能力較低，並同樣的削弱了其精簡模式的能力。

由主成分分析結果與主成分迴歸選擇結果來看，解釋能力強的主成分不一定對 TSI 指標有較強的解釋能力，這暗示著可能有比 TSI 更好的指標，可以更精確的掌握優養化的變化，這個部分可以在未來的研究中進行更深層的討論。

參考文獻

1. 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。
2. 周夢柏 (2002) 「應用財務比率分析我國商業銀行獲利能力之實證研究」，碩士論文，朝陽大學。
3. 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。
4. 陳鴻烈、鄭慧玲 (1997) 「台中縣政府大甲溪及德基水庫水質監測研究方案」，台中縣環境保護局委託研究計畫，pp.94~117。
5. 陳鴻烈、鄭慧玲 (1998) 「水庫優養化之時間數列分析研究」，水土保持學報，第三十卷，第四期，第 331~337 頁。
6. 陳鴻烈、梁家柱、鄭慧玲、王久泰 (1999) 「利用相加性季節變動模式之德基水庫優養化時間數列分析」，水土保持學報，第三十一卷，第三期，第 139~144 頁。
7. 陳鴻烈、梁家柱、王久泰、鄭慧玲 (2000a) 「德基水庫優養化之空間分析研究」，水土保持學報，第三十二卷，第三期，第 117~124 頁。
8. 陳鴻烈、梁家柱、王久泰、鄭慧玲 (2000b) 「以多變量統計主因子分析法探討德基水庫水質之變異性研究」，水土保持學報，第三十二卷，第一期，第 5~10 頁。
9. 陳鴻烈、梁家柱、羅惠芬、鄭慧玲 (2004) 「水庫優養化時間序列模式分析比較研究」，水土保持學報，第三十六卷，第二期，第 169~178 頁。
10. 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。
11. 陳鴻烈、蔡大偉 (2006a) 「德基水庫優養水質研究」，水土保持學報，第三十八卷，第一期，第 93~104 頁。
12. 陳鴻烈、蔡大偉 (2006b) 「不同優養水質共線性分析及模式選擇之研究」，水土保持學報，第三十八卷，第四期。
13. 陳鴻烈、蔡大偉 (2006c) 「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，第三十八卷，第三期，第 243~266 頁。
14. 彭昭英 (1998) 「SAS 與統計分析」，儒林圖書公司，台北市。

15. 經濟部水利署德委會 (1983~1996) 「德基水庫集水區整體治理計畫水質監測與管理模式研究」，經濟部水利署德基水庫集水區管理委員會。
16. 潘南飛編譯 (2003) 「工程統計」，全威圖書有限公司，台北縣。
17. Lau, S. S. S. and S. N. Lane (2002) “Biological and Chemical Factors Influencing Shallow Lake Eutrophication: A Long-Term Study”, *The Science of the Total Environment*, Vol.288, p.p.167-181.
18. Liu, R. X., J. Kuang, Q. Gong and X. L. Hou (2003) “Principal Component Regression Analysis with SPSS”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol.71, p.p.141-147.
19. 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.
20. Peres-Neto, P. R., D. A. Jackson and K. M. Somers (2005) “How Many Principal Components? Stopping Rules for Determining the Number of Non-Trivial Axes Revisited”, *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol.49, p.p.974-997.
21. Pyle, G. G., S. M. Swanson and D. M. Lehmkuhl (2001) “Toxicity of Uranium Mine-Receiving Waters to Caged Fathead Minnows, *Pimephales promelas*”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol.48, p.p.202-214.
22. Richards, J. E. (2004) “Recovering Dipole Sources from Scalp-Recorded Event-Related-Potentials Using Component Analysis: Principal Component Analysis and Independent Component Analysis”, *International Journal of Psychophysiology*, Vol.54, p.p.201-220.
23. Saegusa, R., H. Sakano and S. Hashimoto (2004) “Nonlinear Principal Component Analysis to Preserve the Order of Principal Components”, *Neurocomputing*, Vol.61, p.p.57-70.
24. Sarbu, C. and H. F. Pop (2005) “Principal Component Analysis Versus Fuzzy Principal Component Analysis. A Case Study: The Quality of Danube Water (1985– 1996)”, *Talanta*, Vol.65, p.p.1215-1220.

97 年 2 月 25 日 收稿

97 年 3 月 20 日 修改

97 年 3 月 26 日 接受