

# 以類神經網路評估永和山水庫水質優養化之研究 — 使用 SPOT 衛星影像

## The Study of Applying Artificial Neural Networks to Yeong-Her-Shan Reservoir Trophic State Evaluation Using Spot Image

中華大學土木工程系  
副教授

陳 莉

Li Chen

中華大學土木工程研究所  
碩士

吳俊穎

Chen-Ying Wu

中華大學土木工程研究所  
碩士班

梁訓源

Hsun-Yuan Liang

### 摘 要

永和山水庫位於苗栗縣，係單一目標之離槽水庫，為供應新竹、竹南、頭份等地區之重要水源，本研究使用法國史波特(SPOT)衛星之影像，做為監測水庫水體之資料來源。

研究中組合 89 種影像因子並利用線性迴歸方式，建構影像因子與地面水質參數(葉綠素、總磷、透明度)之模型關係，尋求較佳之迴歸公式，其中葉綠素 a 與影像因子之  $r$  為 0.779，據此可建立永和山水庫水質污染狀況空間分布關係，並進而以 Carlson 營養狀況指標(Carlson Trophic State Index, CTSI)判別水庫水體優養狀況，以為水庫管理單位及人員重要參考。

**關鍵詞：**衛星遙測，水庫，優養化，Carlson 指標。

### ABSTRACT

Yeong-her-Shan reservoir, located in Miao-Li county, is a single-purpose off-stream reservoir. It is an important water supply source for Hsin Chu, Chu Nan, and Tou Fen areas. This research focuses on the realization of water quality of this reservoir. The data source of investigation is derived from remote sensing SPOT images.

Linear regression is used to construct the relationship between water quality parameters (such as total phosphate, Chlorophyll-a and secchi disk depth) and spectral parameters. There are 89 combinations of image factors in this paper. The results show

that the coefficient of correlation between chlorophyll-a and image factors equals 0.779. By means of the results, it will be able to build the relationship between water pollution and space distribution. Then, Carlson Trophic Status Index is used to estimate condition of eutrophication and will provide managers an important reference.

**Keywords:** Remote sensing, Reservoir, Trophic status, Carlson Index.

## 一、前言

水庫優養化是各水庫管理單位所重視的問題。一般說來水庫水體中經常滋生藻類等微生物，使水庫水產生臭味，將嚴重影響水庫的功能與價值，並且增加淨水場混凝劑（聚氯化鋁），消毒劑（氯）以及強氧化劑（高錳酸鉀）等的加藥量，間接提高淨水操作成本的費用，更值得重視的是已被視為致癌物的三鹵甲烷與藻類的消長有密切的關係。水庫內之生態體系一般含有兩種微生物群，一種以行光合作用合成有機物為主之自營性微生物（主要為藻類），另一種為行呼吸作用分解有機物之異營性微生物（細菌、黴菌）。

永和山水庫的水質調查顯示於民國 79 年生化需氧量(Oxygen Demanded Biochemical, BOD)常高至 5-9mg/l、總磷 10 至 60 $\mu$ g/l、氨氮 0.4 至 0.6mg/l，顯現南庄溪水已遭受有機廢水污染(陳國宏, 1992)，再加上水庫興建時，水庫淹沒區之草木未予清除，蓄水二至三年後草木逐漸腐爛，溶出物亦對底層水造成污染，因此產生臭味（魚腥臭、土臭、霉臭），之後雖利用排放底層水稍加改善水質，惟民眾對自來水品質要求日益提升，故原水水質實不容忽視。

## 二、研究目的

自來水公司第三區管理處東興淨水場水源來自永和山水庫，該水庫為離槽式水庫，其水源來自中港溪之上游南庄溪由田美攔河堰經 10.3 公里的大南埔圳引入水庫，該水源受季節變化的影響，常於夏季產生臭味問題，嚴重影響淨水操作與供水品質，在無法有效的改善原水水質並杜絕水庫優養之際，如何對水質的變化，迅速且確

實的掌握，將是重要的課題。

水庫優養將使水庫自淨能力降低且水質轉劣，並產生色度與臭味，鐵、錳、氨氮的含量亦或增加，且因藻類不易沈澱去除，易使快濾池的濾床阻塞增加反沖洗次數，一般淨水設備不易將藍藻、放線菌產生之色度、臭度有效去除，這將嚴重影響自來水品質。目前永和山水庫現地採樣每三個月辦理一次，採樣點僅有一處，採樣後之水體需送至新竹由專業人員檢驗，耗時頗長且無法代表整個水庫水質狀況，而衛星遙測則突破了現有的限制，能成爲一個快速且大範圍的水質監測工具。因此使用衛星資料監測水庫水質爲本研究之初始動機，如果能利用衛星影像快速取得水質優養與變化情形，將可擬訂水體改善對策，例如：清除底泥或排底層水、水庫內進行曝氣以提升水底溶氧消除臭氣等，對於水庫維護管理與自來水淨水操作，將有極大的助益。

## 三、研究資料與方法

### 3.1 永和山水庫環境概況

永和山水庫其地理位置爲東經 120° 55'00" 北緯 24° 39'30"處，集水面積 4.8 平方公里，滿水位 85 公尺，滿水位蓄水面積 165 公頃，最大水深 58 公尺，總蓄水量 2,958 萬立方公尺，有效蓄水量 2,842 萬立方公尺，計劃平均每日供水量 18.7 萬立方公尺，年計劃供水量 6,825.5 萬立方公尺，水庫的主要目標爲公共水及農業救旱之灌溉用水。

### 3.2 現地採樣與水質檢驗

水庫水域內設有六處採樣點如圖 1，每一點均以不鏽鋼製之浮桶及錨設定，設計時已考量使浮桶能隨水位升降而不致漂移，研究中使用全球

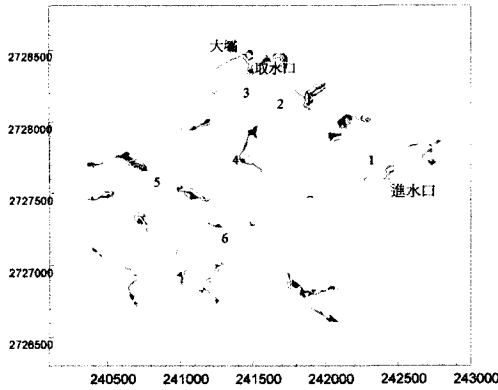


圖 1 永和山水庫採樣點位置圖

衛星定位系統(GLOBAL POSITIONING SYSTEM, GPS)輔助水質資料地面定位。又水質採樣時間與影像接收時間僅相差 0~10 天之間見表 1, 經查在水質採樣與影像接收其間並未有大量進水, 故水質應不致有太大變異。

本研究中, 水中葉綠素 a 檢測方法為丙酮萃取法, 水中磷檢測方法為維生素丙比色法, 另以沙奇盤量測透明度, 以 HACH 濁度計分析濁度。

### 3.3 水質影像分析

#### (1) SPOT 衛星影像

本研究所利用的衛星影像, 係法國 SPOT 衛星影像。SPOT 1-2 衛星攜帶有兩套 HRV 感測器, 可接收多光譜(Multi-Spectral)及全色態(Panchromatic)的資料, 同時因具備垂直及傾斜的觀測能力, 能在不同軌道掃描同一地區, 因此可提供立體的觀測影像, 也可縮短掃描同一地區的週期。多光譜之三個波段分別為綠光段(R2: 0.5 $\mu$ m~0.59 $\mu$ m)、紅光段(R3: 0.61 $\mu$ m~0.68 $\mu$ m)、近紅外光段(R4: 0.79 $\mu$ m~0.89 $\mu$ m)。其影像空間解析力為 20 公尺, 全色態的波長範圍在 0.51 $\mu$ m~0.73 $\mu$ m 空間解析力為 10 公尺。

#### (2) 影像因子之建構

應用多光譜比值, 消除大氣、地形因子等影響, 為遙測影像分析中一種傳統的方法。研究中將綠光、紅光、近紅外光之光段, 組合成 89 種影像因子(陳莉、吳俊穎, 2001), 做為遙測影

像與現地採樣水質迴歸分析之資料。

#### (3) 迴歸分析

研究中使用 STATISTICA 6.0 做為做為統計迴歸分析之工具, 將水質參數(葉綠素、總磷、透明度、濁度)與影像綠光段、紅光段、近紅外光段之各種波段組合因子使用逐步迴歸分析法建構多元迴歸模式, 再選取其中相關性較高者, 並計算其迴歸相關係數  $r$ , 經前述分析, 可得下列公式:

$$Chla = 5.399 - 0.143 \times (R2) + 0.206 \times (R3 + R4) \dots (1)$$

$$r = 0.779 \quad RMS = 2.29$$

$$\ln TB = 0.768 + 0.005 \times \left( \frac{R2 \times R4}{R3} \right) - 0.423$$

$$\times \left[ \frac{\ln(R3 + R4)}{R2} \right] \dots (2)$$

$$r = 0.518 \quad RMS = 0.433$$

$$SDD = 2.017 + 0.089 \times \left( \frac{R3}{R4} \right) + 0.042 \times \left( \frac{R4}{R3} \right) \dots (3)$$

$$r = 0.413 \quad RMS = 0.309$$

$$\ln TP = 4.803 - 0.084 \times \left( \frac{R3}{\ln R3} \right) - 1.998$$

$$\times \left[ \frac{\ln(R3 + R4)}{\ln(R2 \times R4)} \right] \dots (4)$$

$$r = 0.782 \quad RMS = 4.46$$

式中  $Chla$  表示葉綠素濃度( $\mu$ g/l)

$R2$  表示綠光段

$R3$  表示紅光段

$R4$  表示近紅外光段

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{n}} \quad \text{誤差均方根}$$

$n$  表示樣本數

$X_i$  表示水質實測值

$\hat{X}_i$  表示影像推估值

#### (4) 推估分析

藉由上列公式(1)、(2)、(3)、(4)利用影像資料來推估每一點之水質資料如表 1。並進行全面

表 1 水質採樣與影像推估水質結果

採點編號	現地水質採樣結果					影像推估水質結果				
	採樣日期	Chla ( $\mu\text{g/l}$ )	TP ( $\mu\text{g/l}$ )	SDD (m)	TB (NTU)	影像日期	Chla ( $\mu\text{g/l}$ )	TP ( $\mu\text{g/l}$ )	SDD (m)	TB (NTU)
1	2000/07/31	9.5	32.0	2.2	2.70	2000/07/25	5.90	32.70	2.17	2.18
2		6.0	30.0	2.1	2.58		5.29	34.77	2.14	2.10
3		5.9	35.0	2.1	2.18		5.76	32.53	2.14	2.11
4		7.1	35.0	2.2	2.45		6.98	31.37	2.17	2.34
5		7.3	28.0	2.1	2.60		6.11	31.17	2.15	2.08
6		6.4	24.0	2.1	2.82		6.98	31.37	2.17	2.04
1	2000/08/21	19.2	21.0	2.2	2.65	2000/08/19	13.54	17.29	2.15	2.57
2		11.7	23.0	2.3	2.47		8.98	19.54	2.18	2.30
3		8.5	18.0	2.3	1.75		13.37	16.31	2.15	2.61
4		7.8	14.0	2.2	2.51		11.30	18.51	2.15	2.45
5		14.1	18.0	2.2	2.04		12.43	17.00	2.15	2.50
6		16.0	15.0	2.1	2.87		12.66	17.16	2.15	2.48
3	2000/08/28	10.9	18.0	2.1	3.06	2000/09/07	9.90	17.32	2.19	2.35
4		10.9	16.0	2.1	2.76		13.49	16.09	2.15	2.63
5		10.1	16.0	2.2	2.52		10.31	17.42	2.18	2.38
6		7.0	14.0	2.2	2.61		9.29	20.59	2.16	2.29
1	2000/09/28	5.1	21.0	2.2	1.64	2000/10/04	7.24	21.46	2.16	1.60
3		5.6	22.0	2.3	1.39		7.69	24.97	2.14	1.93
4		6.4	26.0	2.2	1.36		7.03	21.38	2.15	1.62
5		6.1	30.0	2.3	1.54		7.16	23.23	2.14	1.81
6		6.5	20.0	2.2	1.46		6.27	26.12	2.16	1.85
3	1997/09/15	7.05	26.0	1.6	1.6	1997/09/17	4.57	24.71	2.35	2.14
明德		6.68	37.0	1.3	1.5		5.39	27.33	2.18	2.23
3	1998/07/20	6.1	21.0	2.0	2.3	1998/07/21	6.50	24.56	2.19	2.02
明德		7.0	23.0	1.8	2.6		7.77	22.21	2.14	1.78
3	1999/10/27	8.2	29.0	2.2	1.6	1999/10/21	5.23	26.08	2.27	2.10
明德		8.6	32.0	1.8	2.1		6.18	25.09	2.20	2.13
1	2001/03/05	2.8	18.0	2.78	2.44	2001/03/05	5.20	22.63	2.38	2.11
2		2.8	16.0	2.80	1.92		4.23	18.74	2.91	2.09
4		3.1	32.0	2.89	2.12		5.20	27.06	2.22	2.17
5		3.2	34.0	3.01	2.03		4.79	25.23	2.33	2.13
6		3.1	22.0	2.68	2.68		4.85	26.65	2.26	2.16

TP 表示磷酸鹽濃度( $\mu\text{g/l}$ )

TB 表示濁度(N.T.U.)

SDD 表示沙奇盤深度(m)

水體水質之推估，以獲得其空間分佈圖。圖 2 所示即為葉綠素實測值與推估值之迴歸關係圖。

Carlson(1977)發表一種新的方法，此系統命名為營養程度指標(Trophic State Index, TSI)，其

包含了營養程度的分類的定義和測定水體中此程度的新方法，Carlson TSI 利用葉綠素、透明度與總磷的濃度等資料計算成個別的 TSI，其公式如下：

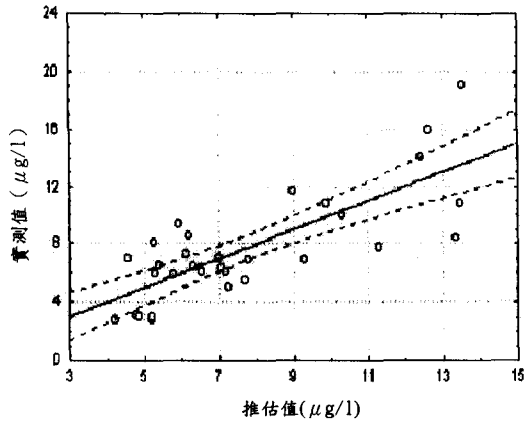


圖 2 葉綠素實測值與推估值之迴歸關係圖

$$TSI(SDD)=60-14.42\ln(SDD) \dots\dots\dots(5)$$

$$TSI(TP)=14.42 \times \ln(TP)+4.15 \dots\dots\dots(6)$$

$$TSI(CHLA)=9.81 \times \ln(CHLA)+30.6 \dots\dots\dots(7)$$

再將三項 TSI 計算其平均值，便可得到 Carlson 營養狀況指標(CTSI)，當 CTSI<40 時，水質為貧養狀態，40≤CTSI<50 時為普養，CTSI≥50 為優養狀態，本研究將 2001 年 3 月 5 日水庫推估水質以 CTSI 判釋結果，其水庫優養狀況如圖 3 所示，CTSI 值在 44~55 範圍內故介於普養與優養之間。另外再以現地採樣水質資料與影像推估水質資料以 CTSI 判定其優養化，其結果如表 2 所示。

本研究分析結果，永和山水庫水質應介於普養與優養之間，依 2001 年 3 月 5 日之水質資料，得以建立葉綠素 a、總磷、透明度與濁度等之空間分布圖如圖 4，以清晰的分佈影像，使水庫管理者易於瞭解水體的涵養。

### 3.4 驗證迴歸分析

由於上節係採用雷祖強，鄭克聲(1999)研究之方法，所推估之結果與前人比較結果，尚有檢討與改善空間，因此本節將上節之迴歸分析中將範例分組成訓練與測試資料，藉由訓練資料建構模型，再由測試資料驗證其推估能力。

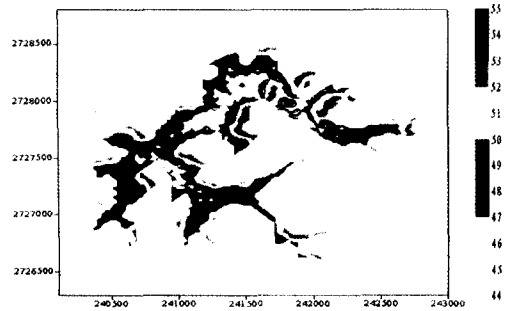


圖 3 2001 年 3 月 5 日影像使用 Carlson 營養狀態指標優養化判定結果展示圖

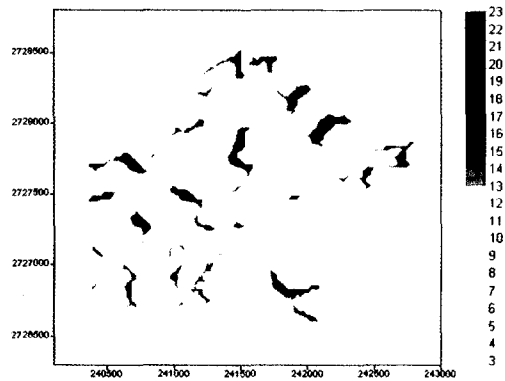


圖 4 永和山水庫水體於 2001 年 3 月 5 日葉綠素 a 之空間分布圖

將蒐集之遙測影像資料整理後，利用迴歸分析法建構推估模型，為使建構之模型具有普遍性與重現性，故將資料分為訓練範例與測試範例。運用訓練範例以建構模型之數據；再利用測試範例測試模型之數據。若模型對訓練範例誤差小則代表模型具重現性；若模型對測試範例誤差小則代表模型具普遍性。

研究中建構模型時，將葉綠素 (Chla)、總磷 (TP)、透明度 (SDD)、濁度 (TB) 分別建構，每組模型輸入自變數有 3 個—波段值 (G、R、IR) 及應變數 1 個—實測水質。

分析資料共為 32 筆遙測資料。分析時為求客觀，於範例組合決定時，每一次隨機選取 12 筆遙測資料作為測試資料，取剩餘 20 筆遙測資料作為訓練測試資料，如此的組合視為一個範例

表 2 現地資料與推估資料關係

採點編號	採樣日期	現地 Carlson 指標	優養化判定	影像日期	推估 Carlson 指標	優養化判定
1	2000/7/31	51.8	優養	2000/7/25	50.4	優養
2		50.2	優養		50.4	優養
3		50.9	優養		50.4	優養
4		51.3	優養		50.7	優養
5		50.5	優養		50.4	優養
6		49.4	普養		50.8	優養
1	2000/8/21	52.1	優養	2000/8/19	50.1	優養
2		50.7	優養		49.3	普養
3		48.5	普養		49.8	普養
4		47.2	普養		49.9	普養
5		50.3	優養		49.8	普養
6		50.1	優養		49.9	普養
3	2000/8/28	49.7	普養	2000/9/7	49.0	普養
4		49.2	普養		49.8	普養
5		48.7	普養		49.2	普養
6		46.8	普養		49.7	普養
1	2000/9/28	47.8	普養	2000/10/4	49.1	普養
3		48.1	普養		50.1	優養
4		49.5	普養		48.9	普養
5		49.8	普養		49.9	普養
6		48.3	普養		49.6	普養
3	1997/9/15	51.4	優養	1997/9/17	47.9	普養
※		53.9	優養		49.2	普養
3	1998/7/20	48.8	普養	1998/7/21	49.3	普養
※		50.2	優養		49.5	普養
3	1999/10/27	50.8	優養	1999/10/21	48.7	普養
※		52.5	優養		49.2	普養
1	2001/3/5	43.9	普養	2001/3/5	47.8	普養
2		43.3	普養		45.3	普養
4		46.8	普養		49.0	普養
5		47.0	普養		48.2	普養
6		45.4	普養		48.6	普養

註：※表示明德水庫進入明德淨水場之進水口採樣點位

組合（組合 A）；重複再做 9 次共可得 10 種範例組合（組合 A、B、C、D、.....、J），範例組合表如表 3 所示最後再將 10 種範例組合之訓練範例與測試範例以誤差均方根 RMS 與相關係數 r 評比，並將結果平均以進行檢討工作。

分別將上述 10 個範例組合的訓練範例針對 4 個實測水質進行迴歸分析，可得 40 組迴歸方程

式。葉綠素 (Chla)、總磷 (TP)、透明度 (SDD)、濁度 (TB) 各隨機 10 次其訓練範例與測試範例結果如表 4(a)~表 4(d) 所示。

### 3.5 類神經網路模式

本研究中由於所獲得之水質參數與影像因子相關係數稍微偏低，因此研究中嘗試以類神經網路模式建構模型。

表 3 範例組合表

組合	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
訓練範例	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
	2	2	2	6	5	4	2	2	5	2
	5	3	5	7	6	7	5	4	6	7
	6	6	6	8	7	9	6	5	7	8
	7	7	7	9	8	10	8	6	8	9
	8	8	9	10	10	11	10	8	14	10
	11	10	10	11	11	12	12	10	15	11
	13	12	11	13	12	13	13	12	17	13
	15	13	12	15	13	14	14	14	18	15
	16	14	14	16	16	16	15	16	19	17
	17	15	15	17	17	19	18	18	22	19
	18	21	19	18	18	20	19	20	23	20
	21	23	21	19	19	21	20	21	24	22
	23	24	22	23	20	22	21	22	25	23
	25	25	23	24	21	25	25	26	26	26
	26	27	24	28	25	26	26	27	27	27
27	28	25	29	26	27	27	28	28	28	
30	29	28	30	28	28	29	29	29	29	
31	30	31	31	29	29	30	31	30	31	
32	32	32	32	32	30	32	32	32	32	
測試範例	9	11	13	14	4	6	7	9	10	12
	14	26	30	27	14	18	16	11	16	6
	20	19	16	12	27	17	9	13	20	25
	29	4	29	3	9	3	24	3	4	5
	3	20	26	5	31	8	22	30	13	18
	4	18	27	21	30	15	17	24	31	16
	28	22	17	20	23	31	3	17	2	4
	22	31	3	25	24	24	23	15	12	21
	19	16	8	22	22	2	11	19	3	24
	10	5	4	1	15	5	28	7	9	14
	24	17	18	26	3	23	4	23	21	3
	12	9	20	4	1	32	31	25	11	30

表 4(a) 迴歸分析 Chla 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

Chla 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	1.91	0.86	3.75	0.76
B	2.16	0.86	2.91	0.59
C	2.39	0.81	2.49	0.39
D	0.43	0.46	0.59	-0.11
E	2.02	0.88	3.30	0.64
F	2.65	0.76	1.63	0.75
G	1.97	0.78	2.99	0.74
H	2.16	0.73	2.63	0.82
I	2.25	0.80	2.59	0.76
J	2.57	0.76	1.81	0.85
AVE	2.05	0.77	2.47	0.62

表 4(b) 迴歸分析 TP 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

TP 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	3.72	0.81	6.98	0.48
B	5.07	0.69	3.85	0.81
C	3.65	0.82	6.18	0.62
D	4.65	0.69	5.17	0.74
E	3.82	0.64	8.60	0.81
F	4.46	0.76	5.38	0.58
G	4.28	0.71	6.59	0.61
H	4.97	0.69	4.79	0.80
I	4.59	0.61	4.94	0.84
J	4.95	0.67	4.61	0.84
AVE	4.42	0.71	5.71	0.71

表 4(c) 迴歸分析 SDD 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

SDD 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	0.34	0.27	0.31	0.21
B	0.33	0.41	0.35	-0.01
C	0.35	0.25	0.32	0.06
D	0.43	0.46	0.59	-0.11
E	0.16	0.75	0.55	-0.05
F	0.29	0.33	0.39	0.09
G	0.20	0.67	0.52	-0.17
H	0.30	0.39	0.39	-0.06
I	0.38	0.23	0.25	0.29
J	0.34	0.27	0.31	0.21
AVE	0.31	0.40	0.40	0.05

表 4(d) 迴歸分析 TB 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

TB 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	0.47	0.31	0.45	0.46
B	0.35	0.53	0.71	-0.05
C	0.47	0.24	0.51	0.10
D	0.43	0.46	0.59	-0.11
E	0.46	0.55	0.57	-0.17
F	0.45	0.48	0.50	0.13
G	0.44	0.56	0.61	0.00
H	0.41	0.55	0.64	-0.02
I	0.46	0.40	0.49	0.26
J	0.45	0.42	0.55	0.40
AVE	0.44	0.45	0.56	0.10

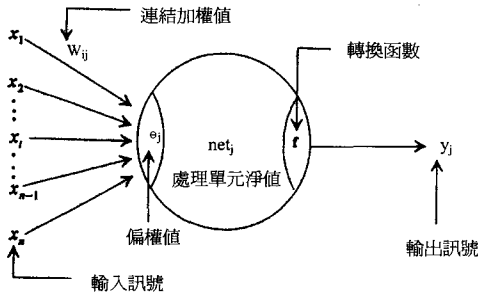


圖 5 人工神經元模型

類神經網路是由許多的人工神經細胞所組成，人工神經細胞又稱為神經元、人工神經元或處理單元 (processing element)，人工神經元模型如圖 5，每一個處理單元的輸出以扇狀輸送出，做為其他處理單元的輸入，其輸入值與輸出值的關係式，如式(8)，可用輸入值的加權乘積和函數表示：

$$Y_j = f(\sum_{i=1}^n W_{ij} X_i - \theta_j) \dots\dots\dots(8)$$

其中：

$Y_j$ ：模仿生物神經元的模型的輸出訊號。

$f$ ：模仿生物神經元的模型的轉換函數 (transfer function)，將從其他處理單元輸入值的加權乘積和轉換成處理單元輸出值的數學公式。

$W_{ij}$ ：模仿生物神經元的模型的神经强度，又稱連結加權值。

$X_i$ ：模仿生物神經元的模型的輸入訊號。

$\theta_j$ ：模仿生物神經元的模型的閾值。

介於處理單元間的訊息傳遞路徑稱為連結 (connection)。每一個連結上有一個數值的加權值  $W_{ij}$ ，表示第  $i$  個處理單元對第  $j$  個處理單元影響程度。

類神經網路是由許多個人工神經元與其連結所組成，並且可以組成各種網路模式 (network model)，或稱網路典範 (network paradigm)。其中以倒傳遞網路 (back-propagation network, BPN)，應用最為普遍，它適合用於分析連續性輸出值及聚類、識別等分析。

倒傳遞類神經網路基本原理是利用最陡坡降法 (the gradient steepest descent method) 的觀念，將誤差函數予以最小化，屬於監督式學習網路。

倒傳遞網路有幾個重要參數，包括隱藏層處理單元數目、隱藏層層數、學習速率，說明如下 (葉怡成，1993)：

(1)隱藏層層數

通常隱藏層之數目為 1-2 層時有最好的收斂性質，太多層或太少層收斂結果均較差。沒有隱藏層不能反應此問題輸入單元間的交互作用，因而有較大的誤差。



表 5 類神經網路中參數之設定

輸入層	隱藏層	輸出層	隱藏層處理單元數	學習循環	學習速率初始值	慣性因子	學習速率下限值
1	1	1	6	100	1	0.95	0.1

(2)隱藏層處理單元數目

隱藏層處理單元數目過少可能無法有效描述問題型態；隱藏層處理單元數目越多則收斂越慢，但可達到更小的誤差值。

(3)學習速率 ( $\eta$ )

學習速率太大或太小對網路的收斂性質均不利，太小時容易浪費時間，且可能無法跳脫局部最小值；太太易造成震盪不易收斂。

研究中建構模型時，將葉綠素 (Chla)、總磷 (TP)、透明度 (SDD)、濁度 (TB) 分別建構，每組模型輸入自變數有 3 個—波段值 (G、R、IR) 及應變數 1 個—實測水質。

為使比較時立足點平等，類神經網路範例組合之選取同迴歸分析法，即每一次隨機選取 12 筆遙測資料作為測試資料，取剩餘 20 筆遙測資料作為訓練測試資料，如此的組合視為一個範例組合 (組合 A)；重複再做 9 次共可得 10 種範例組合 (組合 A、B、C、D、...、J)，最後再將 10 種範例組合之訓練範例與測試範例以誤差均方根 (RMS) 與相關係數 ( $r$ ) 評比，並將結果平均以進行檢討工作。

類神經網路中參數之設定如表 5 所示。使用標準倒傳遞類神經網路模式，即一層輸入層、一層隱藏層及一層輸出層的網路結構 (葉怡成，1993)。

葉綠素 (Chla)、總磷 (TP)、透明度 (SDD)、濁度 (TB) 各隨機 10 次訓練範例與測試範例結果如表 6(a)、表 6(b)、表 6(c)、表 6(d) 所示。

#### 四、案例分析與討論

本研究先組合 89 種影像因子，再利用迴歸方式，建構影像因子與地面水質參數 (葉綠素、總磷、透明度) 之模型關係，尋得較佳之迴歸公式以推估水庫各點的水質狀況。利用 STATISTIC 6.0 軟體可建構整個水庫葉綠素、總磷、透明度

之空間分佈圖以及優養化狀況圖，效果相當良好，鮮明的色彩，可讓水庫管理人員明確的瞭解水庫現況。

在所尋求較佳迴歸公式中，水質參數與影像因子之相關係數  $r$  均有偏低情形，葉綠素、總磷、透明度、濁度與影像因子之相關係數，分別為 0.779、0.782、0.413、0.518，故仍有研究與改進的空間。

現由永和山水庫 2001 年 3 月 5 日葉綠素 a 之空間分佈圖，如圖 4 所示，其葉綠素濃度大部分都在 3~10 $\mu\text{g/l}$  之間，水質狀況相當穩定與良好，葉綠素濃度最高約 23 $\mu\text{g/l}$ ，濃度較高處，大部份都在水庫岸邊之極小的範圍內，這與岸邊水淺、藻類易繁殖，水質易受污染似有密切的關係。

將 2001 年 3 月 5 日衛星影像所推估之水質，以 CTSI 判釋結果參閱圖 3。水庫優養較嚴重區域仍在水庫週邊，整個水庫 CTSI 約在 44~55 之間，大部份範圍均屬普養，水質狀況相當良好，其原因應與水源來自較山區未受家庭與工廠大量廢水污染且永和山水庫為離槽水庫，較能慎選水源，且在「水源、水質、水量保護區」範圍內，少有濫墾濫伐等事故。由於迴歸分析方法，無訓練與測試過程，因此無法與類神經網路之結果做一比較。實測水質與神經網路推估值、迴歸分析推估值之誤差均方根與相關係數比較表如表 7(a)~表 7(d) 所示。

#### 五、結論與建議

本研究嘗試以 SPOT 衛星影像推估永和山水庫水質並判定優養狀況，其結論如下所述。

- (1)永和山水庫目前不僅採樣頻率低且樣本取得數目甚少，無法代表整個水庫水質狀況，本研究中共購買了 8 張衛星影像如圖 6，利用 SPOT 衛星影像監測水庫優養化，除了可以獲得大量資訊，充分反應整個水

表 6(a) 類神經網路 Chla 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

Chla 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	2.67	0.77	2.67	0.72
B	2.85	0.76	2.04	0.68
C	2.89	0.73	2.01	0.7
D	2.71	0.78	2.9	0.81
E	2.63	0.81	2.62	0.59
F	3.02	0.7	1.77	0.74
G	2.46	0.68	3.51	0.77
H	2.66	0.63	3.55	0.79
I	2.8	0.73	2.49	0.74
J	2.93	0.7	2.04	0.78
AVE	2.76	0.73	2.56	0.73

表 6(c) 類神經網路 SDD 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

SDD 範例	TRAIN		TEST	
	RMSE	r	RMSE	r
A	0.37	0.2	0.32	0.18
B	0.37	0.2	0.31	-0.04
C	0.37	0.1	0.31	0.41
D	0.37	0.23	0.36	-0.1
E	0.23	0.39	0.49	-0.03
F	0.31	0.13	0.41	0.07
G	0.27	0.34	0.46	-0.04
H	0.33	0.25	0.4	-0.14
I	0.39	0.13	0.25	0.29
J	0.39	0.08	0.27	0.1
AVE	0.34	0.21	0.36	0.07

表 6(b) 類神經網路 TP 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

TP 範例	TRAIN		TEST	
	RMS	r	RMS	r
A	5.32	0.58	6.23	0.62
B	5.9	0.58	5.17	0.64
C	4.99	0.66	6.66	0.53
D	5.67	0.51	6.12	0.72
E	3.98	0.63	9.13	0.79
F	5.28	0.66	6.28	0.37
G	4.44	0.7	7.42	0.52
H	5.42	0.64	6.19	0.59
I	5.43	0.43	6.85	0.78
J	5.02	0.68	4.85	0.84
AVE	5.15	0.61	6.49	0.64

表 6(d) 類神經網路 TB 隨機 10 次訓練範例與測試範例結果

TB 範例	TRAIN		TEST	
	RMS	r	RMS	r
A	0.51	0.31	0.5	0.5
B	0.4	0.46	0.68	0.21
C	0.5	0.19	0.53	0.82
D	0.49	0.35	0.52	0.38
E	0.5	0.51	0.43	0.04
F	0.46	0.5	0.51	0.12
G	0.5	0.51	0.45	0.14
H	0.48	0.45	0.51	0.34
I	0.49	0.39	0.5	0.33
J	0.48	0.38	0.53	0.5
AVE	0.48	0.41	0.52	0.34

表 7(a) Chla 神經網路推估值、迴歸分析推估值 “RMS” & “r”

Chla	TRAIN (10 次平均)		TEST (10 次平均)	
	RMS	r	RMS	r
神經網路	2.76	0.73	2.56	0.73
迴歸分析	2.23	0.81	2.68	0.71

表 7(b) TP 神經網路推估值、迴歸分析推估值 “RMS” & “r”

TP	TRAIN (10 次平均)		TEST (10 次平均)	
	RMS	r	RMS	r
神經網路	5.15	0.61	6.49	0.64
迴歸分析	4.42	0.71	5.71	0.71

表 7(c) SDD 神經網路推估值、迴歸分析推估值 “RMS” & “r”

SDD	TRAIN (10 次平均)		TEST (10 次平均)	
	RMS	r	RMS	r
神經網路	0.34	0.21	0.36	0.07
迴歸分析	0.31	0.40	0.40	0.05

表 7(d) TB 神經網路推估值、迴歸分析推估值 “RMS” & “r”

	TRAIN (10 次平均)		TEST (10 次平均)	
	RMS	r	RMS	r
神經網路	0.48	0.41	0.52	0.34
迴歸分析	0.44	0.45	0.56	0.10

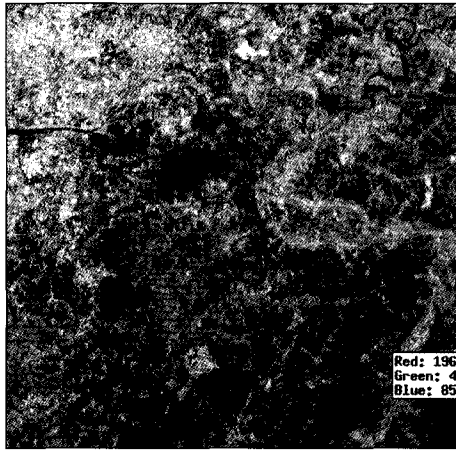


圖 6(a)全幅衛星影像圖(1998/7/21)

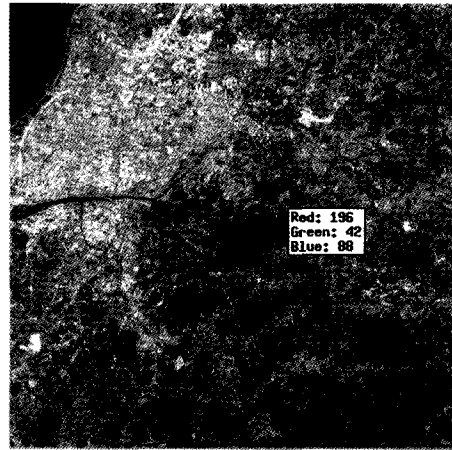


圖 6(c)全幅衛星影像圖(2000/7/25)

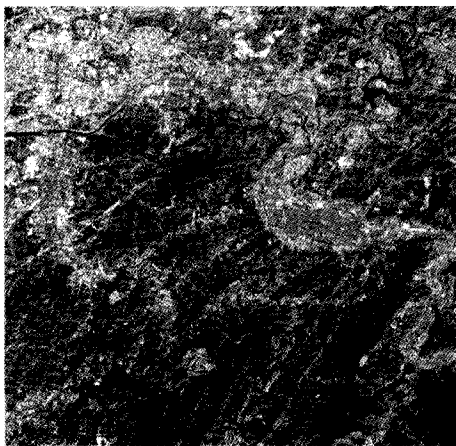


圖 6(b)全幅衛星影像圖(1999/10/21)

庫水質狀況，也可以節省現地採樣所耗費人力、成本和時間。

- (2) 研究中爲了增加研究案例之筆數，故增加苗栗明德水庫相對時間之水質資料共三筆，以作爲研究對照用途；明德水庫與永和山水庫之地理位置相近，最大之差異爲明德水庫是一在槽水庫，其水質中所含的污染物質，較永和山水庫高出甚多，且泥沙淤積量亦大於永和山水庫。
- (3) 研究中將 32 筆水質資料隨機選取 10 次，即期望能模擬日後推估之情形。使用具有訓練與測試之迴歸分析法與類神經網路模式建構模型以推估水質，由表 7(a)~表 7(d)

中觀察，發現在 Chla、SDD、TB 均是類神經網路較佳，而於 TP 時則是迴歸分析較佳；由此可知，以神經網路與迴歸分析建構之影像推估水質模型，有其一定價值存在。

- (4)目前水庫優養化的判別方法以變數的個數來分，有單一變數指標法與多變數指標法，單一變數指標法又有 USEPA、OECD、Carlson、Bartsch、Gakstor 等方法，各法所評判的優養狀況有相當差異，故判別方法有極大的研究與探討空間。
- (5)自來水公司目前以 CTSI 來進行水庫水質優養程度的判定， $CTSI < 40$  時為貧養， $40 \leq CTSI < 50$  為普養， $CTSI \geq 50$  時為優養狀態。永和山水庫以 2001 年 3 月 5 日衛星影像所推估的水質，來評定優養化的結果，CTSI 介於 45~55 之間，水質在普養與優養之間。
- (6)優養指標之計算應考慮地區性之差異，根據雷祖強，鄭克聲(1999)之結論中，提出 CTSI 模式在台灣廣為沿用，但能需依照各水庫之水質條件加以修正；故本文之後續研究方向為依據永和山水庫與德基水庫地理環境所造成之差異，再著手 CTSI 模式之修正。

## 六、致謝

本研究的進行承蒙逢甲大學地球資訊管理

研究中心雷祖強博士的協助，在此致上謝意。

## 七、參考文獻

1. 雷祖強，鄭克聲，「應用衛星遙測及隨機變域模擬於水庫優養化評估」，中國農業工程學報，2000。
2. 雷祖強，鄭克聲，「使用衛星影像監測水庫水質」，八十八年度農業工程研討會，1999。
3. 雷祖強，鄭克聲，「德基水庫水質營養狀況判別指標」，中國農業工程學報，1999。
4. 陳莉，吳俊穎，「使用 SPOT 衛星影像評估永和山水庫水質優養化之研究」，2001。
5. 陳國宏，「寶山及永和山水庫水質改善規劃」，1992。
6. 葉怡成，「類神經網路網路模式應用與實作」，儒林圖書公司，1993。
7. Carlson, R.E., "A trophic state index for lakes", *Limnol. Oceanogr.*, 22(2), pp.361~369, 1977.
8. Cheng, K.S. and T.C. Lei, 2001. Reservoir trophic state evaluation using Landsat Image. *Journal of the American Water Resources Association*.

收稿日期：民國 90 年 12 月 25 日

修正日期：民國 91 年 3 月 25 日

接受日期：民國 91 年 3 月 29 日