



台灣自來水公司

九十八年度

# 水庫優養化因應與探討

研究單位：第七區管理處牡丹給水廠

研究人員：蔡曜至

研究期程：中華民國 98 年 3 月至 6 月

# 目 錄

一、緣起與目的.....	2
二、研究方法與過程	
優養化之成因.....	3
水庫水質採樣及檢驗.....	3
湖泊水庫營養程度的評估.....	5
三、研究發現及建議.....	8
補充資料.....	11

## 一、緣起與目的

人類來說，水最直接的用途，就是拿來飲用和清潔物品。人體組織中水份佔人體重量的百分之六十到七十，其他動物或植物其體內的水份也佔百分之五以上，可見水是維持生命不可缺少的物質。如果我們喝的水不乾淨，水中含有微生物或有毒物質，很可能會發生傳染病或中毒的事件，不僅對人類有很大的影響，對於其他生物，也造成相當大的威脅，除此之外，水也是國家經濟發展的必要條件，不論是商業活動、工業發展、農業運作、水力開發及水產養殖，皆需水的配合。

目前台灣用水來源水庫水壩佔了相當大部分，因台灣是一個多雨而河川短促湍急的島嶼，境內河川由於地勢陡峻，河床比降極大，遇雨則山洪暴漲，氾濫成災，逢旱則乾涸見底，用水缺乏。然水庫是一個多元性的水利工程設施，具有貯水及調節水流的重要功用，如灌溉、發電、防洪、供應工業用水和民生用水、並有控制上游淤沙及發展觀光事業等附帶效益。近年來台灣經濟發展迅速、人口增加、工業發展及都市擴張，人們在高度開發運用天然資源時，因未能做適當的處理，導致整個生態系的不平衡，進而水庫湖泊優養現象，河川濁黑及枯竭等陸續發生，使生活環境失去調和現象，以致影響水的正常用途或危害國民健康及生活環境，同時也增加了自來水廠的處理費用。

## 二、研究方法與過程

### Ø 優養化之成因

水體優養化依其營養鹽的來源可概分為兩大類

1. 天然性優養化(Natural Eutrophication):指湖泊於自然生態系中，由於自然營養鹽之沈降與累積，造成湖泊水質逐漸優養化，換句話說，該湖泊正在逐漸老化中。
2. 人為性優養化(Artificial Eutrophication):指湖泊或水庫由於集水區或水體上之人為活動增加，如：蔬果栽種、遊憩活動等，將大量營養鹽帶入湖泊或水庫中，導致水體中浮游動植物大量繁殖，造成水體生態系急遽變化，使得水質嚴重惡化。一般此種變化情形極快，往往只在短短數年時間內即可形成。

### Ø 水庫水質採樣及檢驗

1. 採樣方法與紀錄：各水庫水質監測採樣點深度，除採取表水評估優養化程度，另根據各水庫蓄水深度進行分層採樣。
2. 採樣頻率：各水庫水質監測頻率為每季一次，第一季約在二月；第二季約在五月；第三季約在八月；第四季約在十一月間進行採樣。
3. 採樣點數：各水庫水質監測點數量依水庫大小而有所不同，如補充附圖牡丹水庫及鳳山水庫採樣檢測點。

4. 水庫水質檢驗：水質監測項目共 17 項，如下列所示

- (1) 水溫
- (2) 透明度
- (3) 氫離子濃度指數(pH)
- (4) 溶氧量
- (5) 導電度
- (6) 濁度
- (7) 懸浮固體量
- (8) 硬度
- (9) 總鹼度
- (10) 化學需氧量
- (11) 氨氮
- (12) 硝酸鹽氮
- (13) 亞硝酸鹽氮
- (14) 有機氮
- (15) 總磷
- (16) 葉綠素 a
- (17) 磷酸鹽

註：各水質監測項目之檢驗方法係依照行政院環境保護署公告之水質檢驗類檢測方法。

## Ø 湖泊水庫營養程度的評估

湖泊水庫可依營養程度分為三種狀態：貧養狀態 (oligotrophic)、中養狀態 (mesotrophic) 及優養狀態 (eutrophic)。貧養狀態的湖泊水庫有以下特徵：水中營養物質濃度低、水中生物族群的物種具多樣性、初級生產力與藻類生質量低、各項水質良好可提供各種水的用途。相對的，優養狀態的水體則是水中營養物質濃度過高、初級生產力與藻類生質量均高、時常發生藻華、熱分層期間下水層時常處於缺氧狀態、生物族群的物種較少、用水品質差。中養狀態則為貧養狀態進入優養狀態的過度現象。所以，湖泊水庫的三種狀態可以用來區分水體所含的營養物多寡。

1. 水質指標：通常利用水中總磷濃度、葉綠素 a 濃度（亦即表示藻類生物質量）及透明度三種水質作為指標：

水質項目	總磷 (mg/L)	透明度 (m)	葉綠素 a (mg/L)	優養程度的判定
貧養 (oligotrophic)	<10	>3.7	<7	水體中養分含量低，水生植物產量低，各層溶氧均高，水體透光性良好。
中營養性 (mesotrophic)	10~20	2~3.7	7~12	養分含量中等，具相當數量及種類的生物，溶氧及透光度居中。
優營養性 (eutrophic)	>20	<2	>12	養分含量高，水生植物的產量亦高，溶氧有時候在某深度甚至不存在，透光度低，浮游植物的種類變少。

2. 營養狀態指數 (TSI)：為國內研究水庫優養化狀態最常被採用的營養等級判定指標。

行政院環保署計算優養化主要是利用卡爾森營養狀態指數 (Carlson TSI，簡稱 CTSI) 作為水庫水質優養程度的指標。CTSI 係以水中的透明度 (SD)、葉綠素 a (Chl-a) 及總磷 (TP) 等三項水質參數之濃度值進行計算，再以其計算所得之指標值，判定水庫水質之優養程度，判定之準則如下表所示，公式如下：

$$TSI(\text{Chl. a})=9.81 \times \ln(\text{Chl. a})+30.6$$

$$TSI(\text{SD})=60-14.4 \times \ln(\text{SD})$$

$$TSI(\text{TP})=14.42 \times \ln(\text{TP})+4.15$$

$$CTSI=[TSI(1)+TSI(2)+TSI(3)] \div 3 \quad \ln \text{ 為自然對數}$$

優養化判定標準

CTSI 指標值	水庫優養程度
CTSI < 40	貧養狀態
40 ≤ CTSI ≤ 50	普養狀態
CTSI > 50	優養狀態

3. 下水層溶氧指標：通常以下水層溶氧大於 80% 飽和溶氧以上者為貧養狀態，小於 10% 者為優養狀態，介於 10~80% 者為中養狀態。
4. 藻類生長潛勢 (AGP)：AGP 是以水體的水樣培養某一特定藻類一段時間後，視該藻類增殖的情形來判斷水樣所含營養物質的多寡，並可表示水體潛在的優養能力。

### 三、研究發現及建議

#### Ø 優養化對水質的影響

1. 死亡之藻團影響觀瞻，腐敗之藻類引發臭味甚至湖水變色，影響景觀與遊憩的價值。
2. 由於藻類白天行光合作用及隨時均行呼吸作用，造成水體溶氧在一天中產生相當大的變異，致使晚間的溶氧質太低時，常令魚類等水生生物無法生存。
3. 沉降至水體底部的浮游植物常會引起底泥需氧量的增加，當藻類在生長和死亡的同時，伴隨發生的氧氣產生及消耗，降低了水體深水層的容氧。

此外，水體的優氧化對於水質尚有以下幾種直接的影響：

1. 增加顆粒狀有機質之數量，如浮游性生物、底棲生物、細菌、真菌和殘屑、及排泄物。
2. 藻類族群發生改變，產生某些吾人不欲其存在水體中之優勢藻

類，如藍綠藻等。

3. 增加溶解性之有機化合物的濃度，使水質：
  - a. 具有螯合或其它更複雜的特性。
  - b. 增加水中的臭味及色度。
  - c. 提高形成三鹵甲烷類化合物的可能性，因有機化合物本身是形成三鹵甲烷(致癌物質)的前驅物質。
  - d. 提供處理廠和給配水系統中細菌生長的基質。
  - e. 易於腐蝕配水管線。
4. 增加 PH 值，同時使得一天之 PH 值變化量加大。
5. 使水層中的溶氧降低，造成水體底部與底泥接觸帶溶氧減低，導致底泥有機質礦化作用不完全，而釋出  $H_2S$ 、 $NH_3$ 、P、Fe、Mn 及其它金屬，甲烷及其它還原物質於水中，這些皆造成水質的直接污染。

#### Ø 水庫優氧化的防制及改善措施

許多國家地區的學者正進行改善優氧化的措施：物理性的有撈除法、遮斷日光法、曝氣循環法、前壩法、水氣洩降法等，化學性的有混凝沉降法、氣提法等，但實施起來卻事倍功半，僅局部性治標效果。治本之道在於嚴格執行水源與集水區的保護、保育措施，有效將人為的活動，如開墾、養殖、遊憩等和廢污物質阻絕於保護區之外。以取水水源

的湖泊、水庫而言，初級或二級廢水處理無法遏止優氧化發生，須仰賴三級處理，以去除水中的氮、磷。

### 1. 磷的去除

加入石灰於污水中，形成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  與溶解水中的磷酸鹽結合，形成不溶解化合物，沉澱後可將磷與廢水分離。

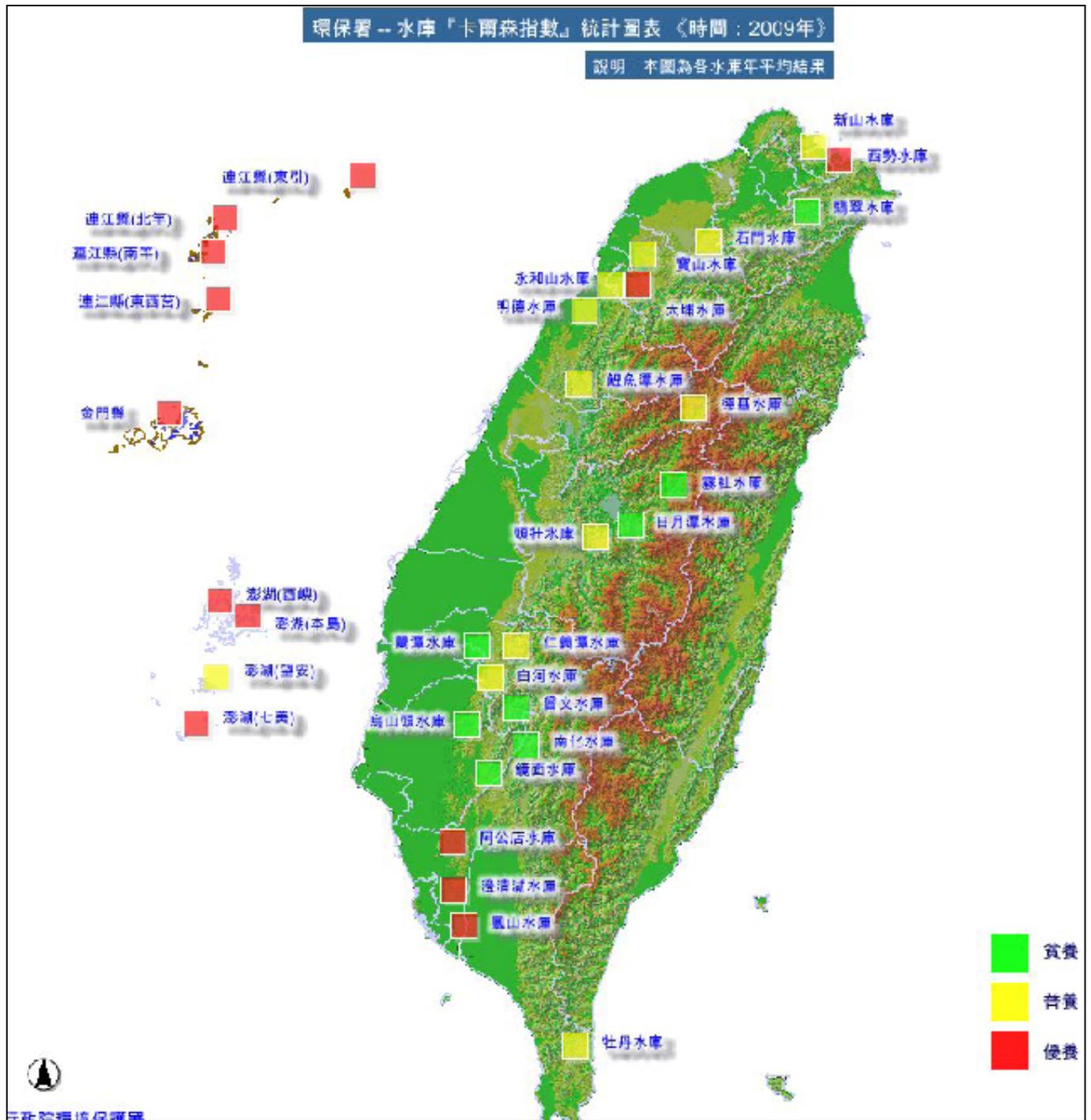
### 2. 氮的去除

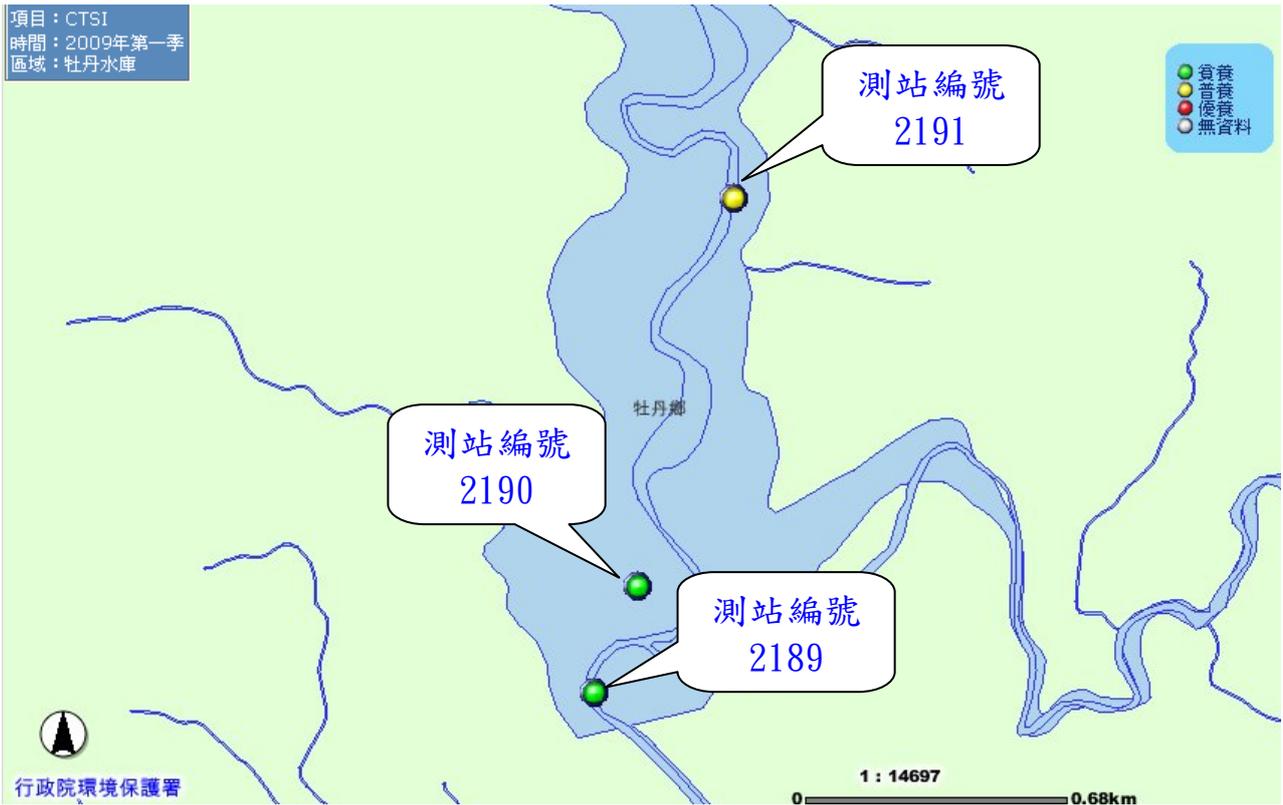
a. 氣提法:廢水中加入鹼將 PH 值提高，銨離子將變成氨氣，再通入空氣。將氨氣由水中階逸出，完成去氮。

b. 生物法:分二大階段，一為硝化作用、一為脫氮作用。先用硝化菌的硝化作用，將銨根氧化成亞硝酸根；再氧化成硝酸根，利用脫氮菌的脫氮作用將硝酸根變為  $\text{N}_2$  逸至大氣。

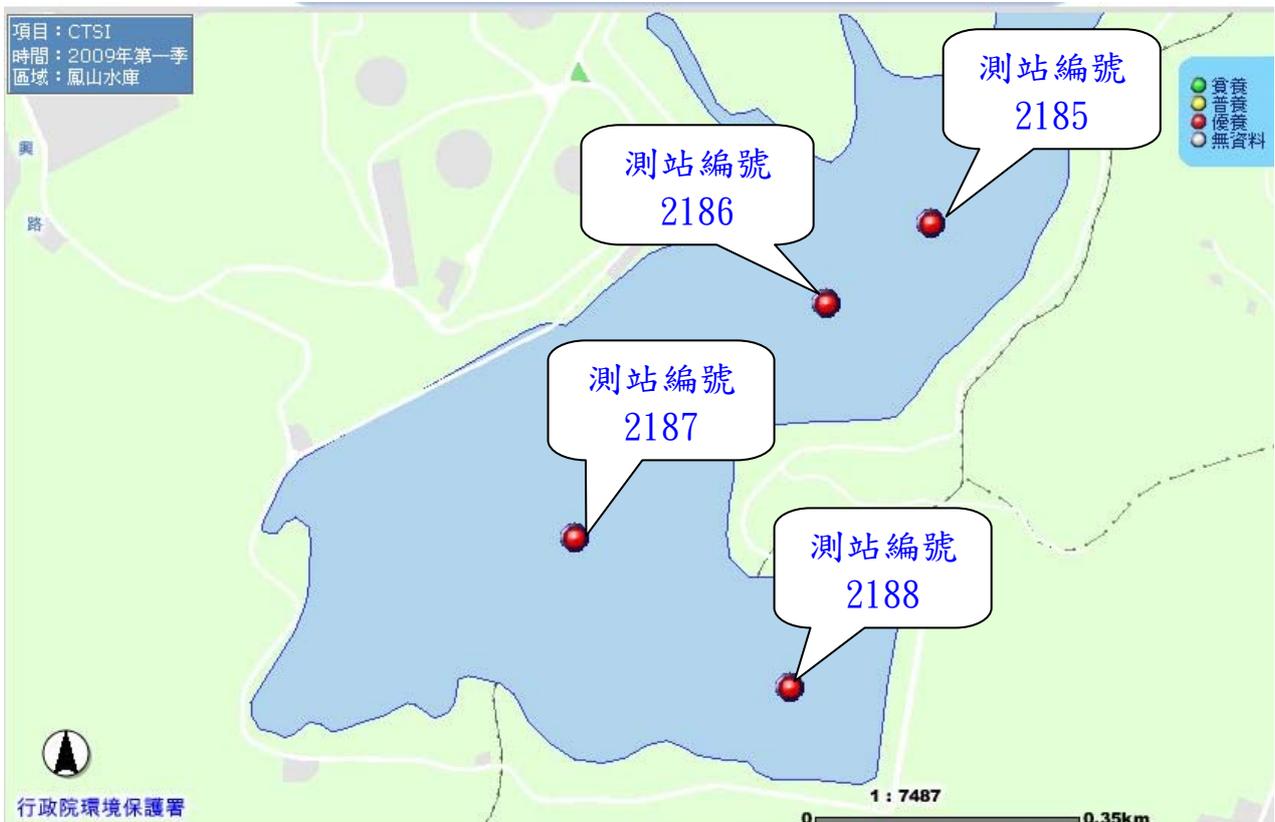
水庫蓄水後，整個流域的水文狀況受到改變，下游水量受到水庫調節或攔截，導致下游河川的稀釋與自淨能力，及溶氧濃度降低，造成下游河段河川水質惡化；被水庫淹沒之草木腐爛而釋出有機物及氮、磷等營養質，造成藻類繁生，加速水庫水質優氧化現象。另外水庫施工期間會造成下游河道水質污染。而水庫完成後之水質保護、污染源管制、觀光遊憩是否開放等營運管理政策，對水質環境、水棲生態、都有很大影響。

# 補充資料





牡丹水庫



鳳山水庫

採樣測站編號：2189

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Ch1a)	(TSI-TP)
95/2/8	0.5	41.7353	1.5	1.6	9
95/2/8	38		-	0.7	18
95/5/4	0.5	51.4947	1.2	4.3	28
95/5/4	24		-	1.8	22
95/8/16	0.5	56.6986	1.6	25.3	33
95/8/16	36		-	0.1	56
95/11/10	0.5	45.1745	3.5	4	23
95/11/10	35.3		-	3.6	17
96/2/9	0.5	43.0248	1.9	2.2	12
96/2/9	31.1		-	2.7	63
96/5/16	0.5	35.0609	2.6	0.2	16
96/5/16	26.7		-	0.04	8
96/8/23	0.5	53.8776	0.2	0.5	33.2
96/8/23	11.6		-	0.2	25.3
96/11/15	0.5	45.2300	2.3	2.8	19.5
96/11/15	36.6		-	1.6	28.3
97/1/28	0.5	37.3555	2.9	0.8	11.2
97/1/28	35.5		-	0.3	3.6
97/5/23	0.5	39.9263	3.2	2.2	10.6
97/5/23	25.6		-	1	34.5
97/8/18	0.5	50.4456	2.4	14.8	19.4
97/8/18	14.8		-	9	41.8
97/11/12	0.5	42.4303	2.8	4.3	9.9
97/11/12	35.9		-	2.4	9.6
98/1/21	0.5	38.7116	2.2	1.3	8.1
98/1/21	34.2		-	2	10.9

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2190

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Chla)	(TSI-TP)
95/2/8	0.5	43.4493	1.4	1.6	12
95/2/8	34.7		-	0.9	77
95/5/4	0.5	47.5107	1.4	2	24
95/5/4	18.2		-	2.9	27
95/8/16	0.5	53.8534	1.7	12.7	31
95/8/16	30.8		-	0.3	28
95/11/10	0.5	45.3813	3	4.5	19
95/11/10	25.7		-	3.7	15
96/2/9	0.5	43.8781	2	4.7	9
96/2/9	27.6		-	3	8
96/5/16	0.5	32.8683	2.4	0.1	15
96/5/16	20.3		-	0.1	23
96/8/23	0.5	49.8356	0.2	0.1	42.8
96/8/23	33.3		-	0	24.8
96/11/15	0.5	44.7265	2.5	1.7	26.8
96/11/15	33.1		-	1.9	28.5
97/1/28	0.5	39.2515	2.7	3.3	5.9
97/1/28	31.6		-	0.8	5.2
97/5/23	0.5	38.7554	2.8	1.3	10.4
97/5/23	22.6		-	0.2	11.5
97/8/18	0.5	44.0121	2.5	4.8	11.4
97/8/18	29.4		-	1.7	43
97/11/12	0.5	42.9255	2.5	4.3	9.8
97/11/12	32.6		-	3.3	10.4
98/1/21	0.5	37.9568	2.1	1	7.9
98/1/21	27.5		-	2.7	16.5

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2191

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Chla)	(TSI-TP)
95/2/8	0.5	46.2838	1.6	1.9	22
95/2/8	9.5		-	1.2	15
95/5/4	0.5	51.4119	0.8	2.9	24
95/5/4	3		-	3.1	29
95/8/16	0.5	48.8892	1.7	5.3	20
95/8/16	14.7		-	2	68
95/11/10	0.5	45.0187	2.7	3.2	20
95/11/10	14.1		-	5.1	16
96/2/9	0.5	46.7515	1.8	3.5	18
96/2/9	10.3		-	5.7	12
96/5/16	0.5	41.2257	0.9	0.2	20
96/5/16	3.1		-	0.2	17
96/8/23	0.5	47.3352	0.3	0.2	23.8
96/8/23	29.5		-	0.6	43.2
96/11/15	0.5	46.3288	2.4	2.4	28.4
96/11/15	6.2		-	2.2	31
97/1/28	0.5	36.6288	2.6	0.6	10.5
97/1/28	11.6		-	0.9	4.2
97/5/23	0.5	44.6616	2.3	1.8	23.4
97/5/23	4.8		-	1	24
97/8/18	0.5	47.1101	2	3.2	22.9
97/8/18	10.9		-	2.9	47.2
97/11/12	0.5	44.7276	2.4	5.7	11.3
97/11/12	14.2		-	3.8	10.5
98/1/21	0.5	43.4649	2.1	2.3	14.1
98/1/21	12.6		-	4.6	14.6

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2185

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Chla)	(TSI-TP)
95/2/9	0.5	72.0572	0.5	7.2	593
95/5/3	0.5	81.1546	0.4	35.2	1070
95/8/7	0.5	71.0402	0.4	15.8	225
95/11/13	0.5	70.8395	1	21	444
96/2/8	0.5	72.8533	0.6	15.7	494
96/5/11	0.5	91.4283	0.4	226	2560
96/8/8	0.5	75.0210	0.3	8	614
96/11/13	0.5	81.8042	0.4	190	389
97/1/29	0.5	72.4863	0.6	5.4	946
97/5/21	0.5	78.6867	0.6	23.6	1260
97/8/18	0.5	74.2682	0.4	17	419
97/11/11	0.5	69.7446	0.4	5.2	366
98/1/21	0.5	69.2381	0.7	3.8	713

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2186

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Chla)	(TSI-TP)
95/2/9	0.5	72.6241	0.6	12.5	550
95/5/3	0.5	80.5835	0.6	53.6	1070
95/8/7	0.5	71.2815	0.4	14.4	252
95/11/13	0.5	69.4048	1.1	17.7	407
96/2/8	0.5	73.4075	0.7	34.7	377
96/5/11	0.5	83.0008	0.6	63.3	1580
96/8/8	0.5	73.0058	0.6	15	526
96/11/13	0.5	75.5359	0.5	31.4	449
97/1/29	0.5	72.3758	0.9	9.8	924
97/5/21	0.5	76.3010	1	27.9	1140
97/8/18	0.5	74.1865	0.5	21.7	436
97/11/11	0.5	66.0092	0.9	5.5	364
98/1/21	0.5	70.4141	0.7	5.4	717

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2187

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Chla)	(TSI-TP)
95/2/9	0.5	69.9433	0.6	7.3	454
95/5/3	0.5	81.3332	0.5	52.3	1060
95/8/7	0.5	70.1084	0.4	8.8	276
95/11/13	0.5	70.6327	0.8	18.5	371
96/2/8	0.5	72.6325	0.6	19.3	410
96/5/11	0.5	85.2336	0.5	151	1160
96/8/8	0.5	71.1433	0.7	11.2	508
96/11/13	0.5	73.9713	0.6	31.4	389
97/1/29	0.5	68.1766	0.9	3	863
97/5/21	0.5	77.4276	1	37.9	1170
97/8/18	0.5	72.5890	0.5	17.5	362
97/11/11	0.5	64.8692	1	4.7	355
98/1/21	0.5	70.7983	0.8	9.6	600

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

採樣測站編號：2188

採樣日期	採樣深度	監測項目卡爾森水體優養等級			
	(m)	CTSI	透明度	葉綠素 a 含量	總磷
			(TSI-SD)	(TSI-Ch1a)	(TSI-TP)
95/2/9	0.5	67.7181	1	5.6	570
95/2/9	9.6		-	11.7	504
95/2/9	18.2		-	5.2	538
95/5/3	0.5	83.7345	0.5	109	1060
95/5/3	4.8		-	25.6	992
95/5/3	8.5		-	14.7	894
95/8/7	0.5	70.2233	0.4	7.3	321
95/8/7	5		-	5	379
95/8/7	8.9		-	4.9	476
95/11/13	0.5	66.2464	1.3	16	267
95/11/13	9.5		-	8.1	298
95/11/13	17.9		-	5.3	402
96/2/8	0.5	72.1910	0.8	23.5	436
96/2/8	10.8		-	3.4	280
96/2/8	20.5		-	3.9	307
96/5/11	0.5	83.7173	0.5	55.1	1680

"ND" 表示無法檢測，"<" 表該項測值低於方法偵測極限值。

參考文獻：

環境微生物 中華民國環境工程學會 編印（88）

中華民國台灣地區水庫水壩資料

行政院環境保護署水庫年報

報告者：

審核：

單位主管：

經理：