

烏山頭水庫水質與浮游生物之調查研究

A Water Quality and Plankton Survey of Wushantou Reservoir

蕭榮超 江弘斌* 林康

摘要

烏山頭水庫為日人八田與一於日據時代規劃建成之著名水利工程，對台灣農業貢獻相當大，現已有嚴重淤積。本水庫蓄水因受曾文水庫之調節，較不受乾雨季影響，各項水質變化也不明顯，且水庫主水道長，庫水具明顯自淨作用。季節性浮游生物以 Ankistrodesmus，Tetraedron，Scenedesmus，Cyclotella 為主，而 6 月份 Oscillatoria 數量則明顯增加。水庫之進水口及主水道沒有受到明顯持續性污染。依環保署之水體分類及標準，本水庫水可評為乙類水體。

緒論

近年來台灣由於人口的增加，農畜業及工商發展，導致家庭污水、農畜業排放水及工廠廢水量的大幅增加。這些污廢水多數未經處理即排入河川，使得河川有機污染等物質大為增加。河川原有一定的自淨涵容能力，但長期的超負荷污染物質瀉入河川已使河川上游污染有日益嚴重趨勢，而中下游水質則日益惡化。隨著微生物分解水中之有機物致使耗氧量大增，水中溶氧降低甚至變成無氧狀態。水色由清澈轉為灰濁進而變成黑色，甚至發出惡臭，幾乎變成死水者到處可見。

目前台灣較下游的河川水被引用為自來水源者少，而中、上游之河川水則廣被利用為自來水水源。其利用方式不外乎引河川水進入淨水場直接利用，或以水庫方式蓄水再利用之。在水庫蓄水方面理論上進入水庫內之河川水因物理、化學及生物性之自淨作用可使停留於水庫中一段時間之河川水水質獲得改善（1.2.3.4.），使其更適合利用為自來水水源。唯受污染的河川水因水中有機污染物質為細菌等微生物分解後產生二氧化碳、無機氮、磷等代謝物。這類含過量 N、P 等營養物質的河川水在持續被引入湖泊／水庫後會導致藻類等滋生繁殖，進而使整個湖泊／水庫系統營養物質不斷的加速累積增加，使得湖泊／水庫營養化速度加快，因而造成湖泊／水庫水的水質明顯轉劣，增加水處理廠的操作困難，成本增加，並影響到供水之品質（5.6.7.）。

由於目前利用水庫水為自來水原水所佔比例相當大，保護各水庫水源水質與供應良好自來水可說息息相關。本自來水公司自 1985 年 9 月至 1986 年 9 月對烏山頭水庫水質及浮游生物

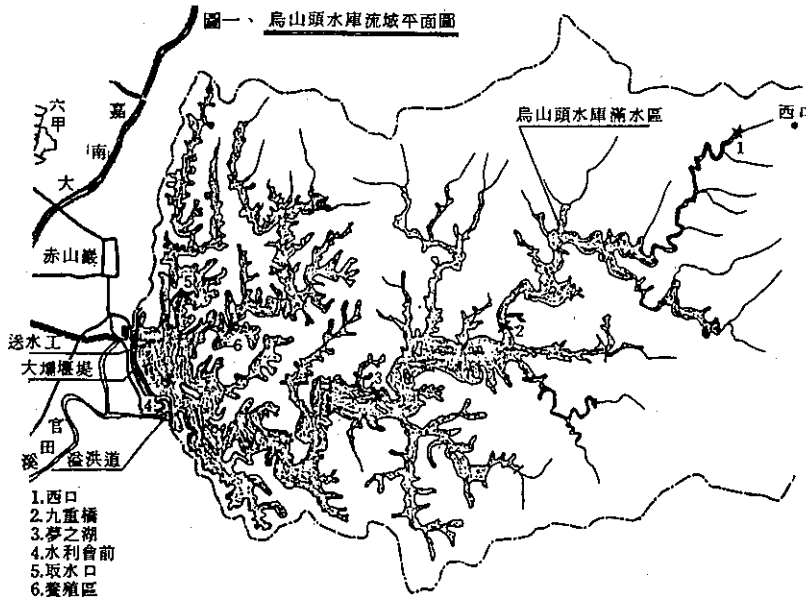
蕭榮超：台灣省自來水公司水質中心主任
江弘斌*：台灣省自來水公司水質中心組長
林康：台灣省自來水公司水質中心工程員

展開為期一年之調查，旨在對烏山頭水庫水質暨營養化情形進行瞭解，並探究是否有明顯嚴重之污染源。進而對烏山頭水庫水源之水質維護改善，提出建議供有關單位參考，以期長期提供良好之公共給水。

採樣及檢驗方法

採樣

每月一次前往烏山頭水庫西口（進水口），九重橋（上游），夢之湖（中游），水利會前（下游），烏山頭給水廠取水口及箱網養魚區附近採樣。西口水樣採自溢留堰入庫水，其餘各點分表底層以沈水式採樣器（Kemmer Water Sampler）採樣。表層水樣採自水面下1公尺，底層水樣採自水面下8公尺。有時因水庫蓄水量減少，有些採樣點水深不足8公尺，此種情況則調整底層採樣於3—7公尺之間，以免接觸到底泥。採樣地圖如圖一所示(8-11)：



採取之水樣以冰櫃保存，攜回台中總管理處檢驗（鹹度檢驗係在烏山頭給水廠內進行）。

檢驗方法

一、物理因子檢驗：

氣溫、水溫、PH 係採樣後馬上測定，電導度係用日本 TOA CM-15A Conductivity Meter 測定，濁度以 Hach Turbidimeter 2100A 測定，懸浮固體量及溶解固體量係以濾膜法（孔徑 $0.45\mu\text{m}$ ，直徑 47mm）過濾定量之，透明度以直徑 30cm 之 Secchi Disc 沈入水中測定。色度、臭度則依照美國公共衛生協會等出版之用廢水標準法測定（12）

二、化學因子檢驗：

一般水質分析依照美國公共衛生協會等出版之用廢水標準法測定（12.13）。鹼度用加酸滴定法，硬度用 EDTA 滴定法，氯鹽用 Mercuric Nitrate Method 硫酸鹽用 Turbidimetric Method, UV₂₅₄ 以 $0.45\mu\text{m}$ 濾膜過濾後水於 254 nm 波長測定之。總磷和溶解磷用 Ascorbic

Acid Method, 氮氮用Nesslerization Method, 亞硝酸塩用Sulfanilamide & NED-dihydrochloride Method, 硝酸塩用UV Spectrophotometric Screening Method, 有機氮則用Macro-Kjeldahl Method 分別測定之。溶氧、五天生化需氧量以Azide Modification Method, 化學需氧量以Dichromate Reflux Method 測定。重金屬Pb、Cr、Hg、Cd、Cu、Zn 則以原子吸光分光法測定。

三、生物因子檢驗 (12)

總細菌殖數採用標準平板法、大腸菌類、糞便鏈球菌及糞便大腸菌數皆以標準濾膜法檢驗。浮游生物含量則以顯微鏡觀察計數, 葉綠素含量則依15版標準法測定。

結果

本水庫各點各項水質如表 I. II。茲就物理、化學、生物因子分別論述之：

表 I. 烏山頭水庫各點表層各項水質

項目	樣點	西 口	九 重 橋	夢 之 湖	水 利 會	養 魚 區	進 水 口
氣 溫 °C		18.2-35.0 (30.6)	16.0-31.5 (25.1)	16.0-32.0 (25.8)	15.0-34.0 (26.0)	15.8-34.0 (26.7)	16.0-34.0 (27.0)
水 溫 °C		21.0-26.0 (24.3)	20.0-30.0 (23.5)	19.5-30.8 (25.5)	18.5-32.0 (26.6)	18.5-32.0 (26.8)	18.5-32.5 (26.8)
濁 度 NTU		2.2-48 (15)	3.4-43 (17)	2.4-42 (11)	2.2-17 (4.9)	1.7-10 (3.5)	1.8-14 (4.2)
懸浮固體量 mg/L		2.0-129.5 (25.1)	5.0-119.5 (28.3)	3.5-54.0 (14.9)	1.5-12.5 (4.0)	1.0-6.0 (3.2)	1.0-11.0 (4.6)
溶解固體量 mg/L		128-167 (149)	127-183 (151)	123-197 (156)	140-193 (162)	137-207 (163)	124-204 (155)
電 導 度 μmhos/cm		198-271 (236)	216-320 (249)	207-338 (260)	213-319 (264)	219-324 (266)	222-314 (262)
透 明 度 m		—	0.2-1.9 (0.9)	0.4-2.6 (1.4)	0.7-2.7 (2.0)	1.0-3.4 (2.2)	0.7-2.8 (1.9)
PH		8.01-8.42 (8.16)	8.00-8.65 (8.18)	8.10-8.81 (8.44)	8.20-8.97 (8.61)	8.14-8.94 (8.60)	8.17-8.94 (8.61)
鹼 度 mgCaCO ₃ /L		72.4-108.7 (90.2)	75.5-98.6 (89.0)	77.3-97.0 (89.9)	84.0-100.3 (91.0)	84.8-100.1 (91.3)	83.1-99.8 (90.7)
硬 度 mgCaCO ₃ /L		97-121 (112)	97-127 (114)	101-122 (116)	107-130 (118)	111-130 (119)	109-122 (116)
氨 塩 mg/L		0.70-2.70 (1.70)	1.00-3.60 (0.004)	0.90-3.30 (2.00)	0.80-4.50 (2.05)	1.00-4.90 (2.37)	1.10-4.70 (2.03)
溶 解 磷 mg/L		0.001-0.011 (0.004)	0.001-0.008 (0.005)	0.001-0.008 (0.005)	0.001-0.010 (0.005)	0.001-0.008 (0.005)	0.001-0.009 (0.005)
總 磷 mg/L		0.011-0.054 (0.020)	0.009-0.057 (0.021)	0.010-0.031 (0.018)	0.007-0.027 (0.014)	0.003-0.013 (0.009)	0.006-0.017 (0.010)
游離氨氮 mg/L		0.045-0.541 (0.174)	0.033-0.506 (0.174)	0.058-0.378 (0.143)	0.050-0.244 (0.113)	0.050-0.500 (0.135)	0.062-0.349 (0.132)
亞硝酸塩氮 mg/L		0.001-0.012 (0.004)	0.001-0.012 (0.005)	0.002-0.006 (0.004)	0.002-0.006 (0.003)	0.002-0.007 (0.003)	0.002-0.007 (0.003)
硝酸塩氮 mg/L		0.187-0.917 (0.589)	0.198-1.071 (0.604)	0.174-0.925 (0.503)	0.182-0.552 (0.367)	0.204-0.527 (0.363)	0.209-0.505 (0.344)
有 機 氮 mg/L		0.125-0.533 (0.242)	0.035-0.654 (0.273)	0.029-0.638 (0.279)	0.075-0.567 (0.286)	0.071-2.637 (0.484)	0.050-0.363 (0.218)
溶 氧 量 mg/L		8.5-10.7 (9.4)	8.2-9.4 (8.7)	8.3-9.9 (9.0)	8.3-10.0 (8.9)	7.4-10.0 (8.6)	7.8-9.9 (8.8)
生化需氧量 mg/L		0.7-2.8 (1.3)	0.2-2.4 (1.0)	0.5-1.3 (0.9)	0.1-1.2 (0.8)	0.4-1.8 (0.9)	0.2-1.3 (0.9)
化學需氧量 mg/L		1.8-11.5 (5.4)	0.3-7.2 (3.1)	3.3-11.3 (5.3)	1.0-8.4 (4.8)	0.7-8.0 (4.9)	1.3-11.6 (6.9)
UV ₂₅₄ 吸 光 度		0.011-0.105 (0.042)	0.013-0.113 (0.043)	0.012-0.088 (0.034)	0.012-0.037 (0.025)	0.012-0.033 (0.023)	0.011-0.034 (0.022)
細 菌 CFU/mL		1100-4200 (1900)	1000-17000 (4600)	320-5000 (1700)	250-32000 (3800)	410-63000 (6500)	110-3000 (790)
大腸菌 CFU/100mL		110-620 (270)	89-1600 (460)	0-330 (80)	0-210 (47)	15-120 (53)	6-460 (76)
糞便性大腸菌 cfu/100ml		10-200 (65)	36-840 (190)	0-290 (68)	2-42 (15)	3-43 (17)	0-57 (22)
糞便性鏈球菌 cfu/100ml		36-290 (150)	53-5100 (820)	3-1700 (270)	1-160 (29)	4-80 (27)	3-65 (18)
浮游生物數 #/mL		0-1600 (440)	11-6100 (1100)	59-4900 (2000)	540-6800 (3700)	1800-6300 (3700)	560-5100 (2900)

括弧者為年平均值, 其上者為範圍

表 II 烏山頭水庫各點底層各項水質 (西口同表層)

項 目 \ 採 樣 點	西 口	九 重 橋	夢 之 湖	水 利 會	養 魚 區	進 水 口
氣 溫 °C	18.2-35.0 (30.6)	16.0-31.5 (25.1)	16.0-32.0 (25.8)	15.0-34.0 (26.0)	15.8-34.0 (26.7)	16.0-34.0 (27.0)
水 溫 °C	21.0-26.0 (24.3)	20.0-25.0 (22.7)	18.0-26.5 (23.3)	19.0-29.0 (24.5)	18.1-28.0 (24.6)	18.0-29.0 (24.6)
濁 度 NTU	2.2-48 (15)	4.9-43 (18)	4.0-43 (19)	2.8-30 (13)	2.1-18 (7.1)	2.3-20 (7.9)
懸浮固體量 mg/L	2.0-129.5 (25.1)	6.5-59.0 (25.4)	4.5-49.5 (20.9)	2.0-30.0 (11.7)	1.5-16.0 (6.6)	1.0-16.0 (7.0)
溶解固體量 mg/L	128-167 (149)	133-163 (152)	116-182 (157)	135-229 (167)	136-190 (162)	133-209 (163)
電 導 度 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$	198-271 (236)	226-281 (246)	212-291 (244)	215-378 (269)	220-328 (266)	219-320 (267)
透 明 度 m	—	—	—	—	—	—
PH	8.01-8.42 (8.16)	8.00-8.28 (8.17)	8.00-8.33 (8.19)	7.92-8.60 (8.29)	7.82-8.60 (8.26)	7.82-8.57 (8.26)
鹼 度 mgCaCO_3/L	72.4-108.7 (90.2)	74.2-100.5 (87.3)	76.0-97.2 (87.6)	80.0-101.5 (90.6)	83.3-97.3 (90.8)	81.7-96.7 (90.3)
硬 度 mgCaCO_3/L	97-121 (112)	99-120 (113)	99-122 (114)	102-129 (115)	110-131 (119)	109-130 (119)
氯 化 物 mg/L	0.70-2.70 (1.70)	1.00-3.09 (2.14)	0.90-2.80 (1.82)	0.80-3.44 (2.11)	1.00-4.20 (2.54)	1.10-3.60 (2.20)
溶 解 磷 mg/L	0.001-0.011 (0.004)	0.005-0.007 (0.006)	0.002-0.009 (0.005)	0.001-0.011 (0.005)	0.001-0.009 (0.004)	0.001-0.006 (0.003)
總 磷 mg/L	0.011-0.054 (0.020)	0.011-0.026 (0.018)	0.006-0.026 (0.018)	0.006-0.033 (0.016)	0.005-0.016 (0.011)	0.005-0.020 (0.012)
游 離 氨 氮 mg/L	0.045-0.541 (0.174)	0.091-0.262 (0.147)	0.045-0.494 (0.191)	0.050-0.401 (0.138)	0.054-0.448 (0.133)	0.050-0.430 (0.133)
亞 硝 酸 鹽 氮 mg/L	0.001-0.012 (0.004)	0.002-0.007 (0.004)	0.002-0.017 (0.005)	0.002-0.008 (0.004)	0.001-0.006 (0.003)	0.002-0.006 (0.003)
硝 酸 鹽 氮 mg/L	0.187-0.917 (0.589)	0.196-0.988 (0.580)	0.207-1.021 (0.575)	0.196-1.262 (0.596)	0.239-0.905 (0.528)	0.228-0.755 (0.505)
有 機 氮 mg/L	0.125-0.533 (0.242)	0.054-0.679 (0.352)	0.046-0.835 (0.296)	0.075-0.708 (0.317)	0.042-0.832 (0.299)	0.025-0.733 (0.323)
溶 氧 量 mg/L	8.5-10.7 (9.4)	8.5-9.7 (8.9)	7.79-9.6 (8.7)	7.4-10.0 (8.5)	5.8-9.5 (7.8)	6.4-9.5 (8.1)
生 化 需 氧 量 mg/L	0.7-2.8 (1.3)	0.1-1.0 (0.6)	0.2-1.0 (0.6)	0.3-1.0 (0.7)	0.3-1.2 (0.7)	0.1-1.3 (0.5)
化 學 需 氧 量 mg/L	1.8-11.5 (5.4)	0.3-7.9 (3.2)	0.9-4.4 (3.1)	1.0-7.9 (4.8)	1.0-9.1 (5.1)	0.4-8.0 (3.9)
UV ₂₅₄ 吸 光 度	0.011-0.105 (0.042)	0.013-0.070 (0.035)	0.012-0.096 (0.039)	0.012-0.076 (0.035)	0.011-0.062 (0.029)	0.010-0.061 (0.027)
細 菌 CFU/mL	1100-4200 (1900)	1300-9200 (3400)	720-12000 (3800)	370-8700 (2200)	270-54000 (7900)	150-19000 (2400)
大 腸 菌 CFU/100mL	110-620 (270)	200-1100 (420)	20-1100 (330)	15-440 (130)	38-660 (150)	25-340 (120)
糞 便 性 大 腸 菌 cfu/100ml	10-200 (65)	36-200 (76)	7-340 (110)	7-90 (37)	3-120 (43)	7-220 (51)
糞 便 性 鏈 球 菌 cfu/100ml	36-290 (150)	79-530 (190)	6-790 (210)	5-150 (55)	3-740 (280)	6-290 (79)
浮 游 生 物 數 #/mL	0-1600 (440)	9-2200 (680)	13-2100 (730)	55-4200 (1600)	91-3400 (1600)	330-5700 (200)

括弧者為年平均值，其上者為範圍

(一)物理因子

(1)水位：

烏山頭水庫因和上游曾文水庫聯線作業，灌溉用水所占比重又大，庫水並無明顯隨乾、雨季而變化（表1）。水位低時，沿水庫主水道可見淤積情形之嚴重。

表1 烏山頭水庫全年水位、氣溫之變化

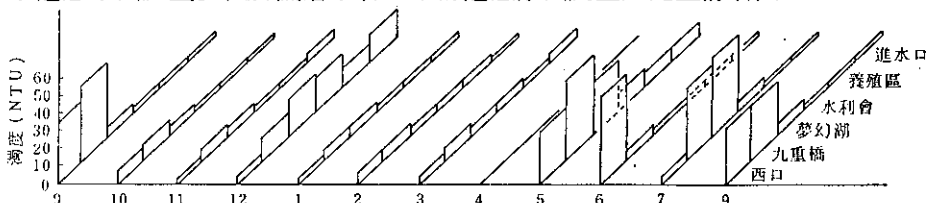
採樣日期 月、日	9月 10-11	10月 15-16	11月 19-20	12月 10-11	1月 21-22	2月 18-19	3月 18-19	4月 15-16	5月 20-21	6月 17-18	7月 22-23	8月 2-3
水位(m)	57.60	54.73	56.02	53.00	57.80	57.60	55.77	57.14	53.48	57.96	53.50	57.19
平均氣溫(°C)	32.1	31.1	24.7	21.0	16.7	17.0	24.2	26.6	28.2	31.9	33.2	31.7

(2)氣溫、水溫

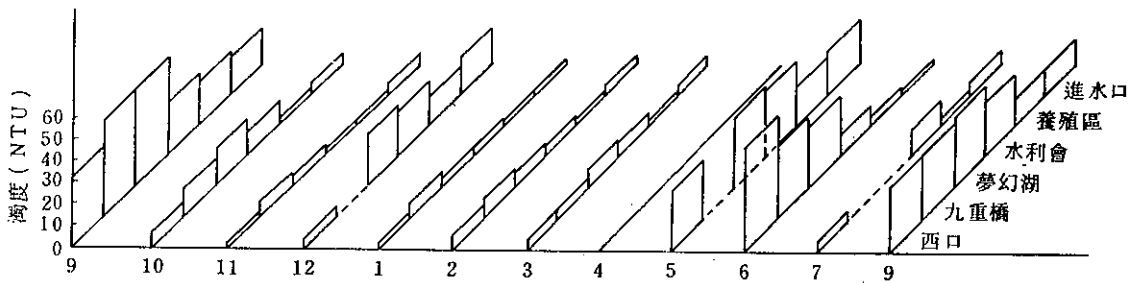
表1顯現水庫各採樣點平均氣溫變化情形。全年最低氣溫在12—2月間（16.7-21.0°C），最高則在6—10月間，平均溫度超過30°C。庫水之水溫明顯受到季節性影響，唯不似氣溫變化之大。水溫在1—2月間最低（18-23°C），6—10月間最高（24-32°C）。上游除6月份外，表層水溫相差不大，夏季也無明顯成層現象。此因西口入庫水至上游九重橋一帶，水流仍急。又在低水位時，水較淺，故有表層水溫相差有限情形。至中下游於夏季則有成層現象，溫差大多在5°C以內。

(3)濁度、懸浮固體量

高濁度入庫水經沈澱自淨作用，至下游時，濁度已大為降低（圖二、三）。與上游比較，下游表層濁度改善效果最為明顯。此種現象在坐船溯水而上採樣時，可強烈感受到水色由青藍（下游）逐漸轉濁（上游）。底層濁度改善效果則較差。又烏山頭水庫水位較低時（如12.5.7.月）常常會有西口（即水庫進水口）水樣濁度低而九重橋（上游）、夢之湖（中游）一帶濁度反高之現象。由於水庫上中游地區，底泥淤積已相當嚴重，而西口又是整年進水，水流湍急，在水庫水位較低時，主水道流水較接近底泥區。上游底泥可能因此受到沖攪而造成西口水清而上中游水濁之有趣現象（圖二、三）。又西口進水濁度受上游曾文溪水質影響很大，上述情形也有可能是採樣前數天西口之進水濁度高，而至採樣日時，西口之進水已因上游情況改變，使水色轉清、濁度大為降低，而烏山頭因主水道長，中上游地區仍呈一片混濁之情形。另外養殖區採樣點因偏離主水道，其濁度和給水廠取水口之水樣比較雖相近，却往往更低，此係其水域受主水道水流攪動較少的緣故。以年平均來看，上中游濁度高，下游及進水口濁度低。又濁度與懸浮固體量有明顯正相關（ $Y = 0.8603$ ），懸浮固體量低者，濁度低，反之也然。又表層水之懸浮固體量多低於底層水者。下游之懸浮固體量又比上游者低。



圖二 烏山頭水庫各點上層水樣濁度之變化



圖三 烏山頭水庫各點底層水樣濁度之變化

(4)溶解固體量、電導度：

烏山頭水庫受上游曾文水庫調節緣故，其蓄水量未隨乾雨季而呈明顯變化，水庫水位主要受進水及灌溉用放水影響，本水庫運用率為本省主要水庫中最高者（9）。各採樣點溶解固體量平均值介於 149 - 163 mg/L，亦無隨乾雨季呈明顯變化。調查期間，以 11.12 月間含量較低，電導度平均值介於 236 - 269 mg/L。溶解固體量與電導度略呈相關性（ $\bar{Y} = 0.7001$ ）。

(5)色度、臭度：

調查結果並未發現庫水有色度問題，另除中游夢幻湖表層水經常有 TON 1—3 之魚腥或土臭味外，其他點水樣則未有次數多而持續性之臭味。

(二)化學因子

(1) PH：

西口入庫水除 1.2 月外，其餘時間 PH 十分穩定，約在 8.1—8.2 間，全年無甚變化。上游九重橋一帶，因水流動仍十分明顯，表底層水溫、PH 四季均相差很小，中游以下之庫水則有明顯起伏。夏季成層明顯期間，表層 PH 高，底層 PH 則較低。愈往下游差距愈大，其受庫水中浮游生物光合作用影響明顯。至冬春季，庫水成層不明顯，表底層 PH 相差有限。

(2)重金屬：

調查之重金屬包括鉛、鎘、汞、鎳、銅、鋅。每季檢查一次。庫水並無重金屬污染問題，其含量均很少或不能檢出，且全在台灣省自來水水質標準範圍內（14）。

(3)溶解磷與總磷：

水庫溶解磷含量都在 0.011mg/L 以下。而以 10 月份測得者較高，其他月份較低，各點年平均則在 0.003—0.006mg/L 之間。總磷方面，雖然極少數水樣之總磷含量偶而會出現較高值，唯大部份水樣總磷含量在 0.020mg/L 以下。各點總磷年平均值在 0.021mg/L 以下。以年平均來看，愈往下游，總磷含量有減少傾向。

(4)無機氮與有機氮：

調查期間游離氨氮含量前半年較低，後半年中最後 4 個月氨氮含量較高，尤以 5 月份最高，原因待查。各點年平均則在 0.1—0.2mg/L 之間。亞硝酸鹽則多在 0.010mg/L 以下，各點平均值則在 0.005mg/L 以下。硝酸鹽氮年平均則約在 0.3—0.6mg/L 間，其中以調查期間之第一個月及後半年所測得之量較高，又底層比表層高。有機氮變動情況，以第一個月及 5.6.7.9 月含量較高，各點有機氮年平均值介於 0.2—0.5mg/L 之間。

(5)溶氧：

烏山頭水庫水全年並無嚴重缺氧情形，在夏季成層期間底層水也不例外。可能因為採樣點均在主水道上，烏山頭水庫進水、出水量均大，因此主水道水停留於水庫時間不長及主水道下面之底泥並不很髒所致。上、中游採樣常常水深不足 8 m 或比 8 m 多一點，其底層溶氧仍然相當高，而下游區域雖然稍深一點，也未有嚴重缺氧現象。在夏季成層期間曾對下游採樣點較深近底泥處（約 14 m 處）作溶氧測定，雖然溶氧較低（平均值 3.9 mg/L，但未發現溶氧嚴重不足情形）。

(6)生化需氧量、化學需氧量：

庫水 BOD₅ 除 10 月份九重橋表層及 11 月份西口水樣稍高於 2.0 mg/L 外，其餘均低於 2.0 mg/L。絕大部份又在 1.5 mg/L 以下。年平均除西口外，其餘皆在 1.0 mg/L 以下。整體言之，底層水 BOD₅ 並不比表層水高。庫水 COD 介於 0.3—12 mg/L 之間，各點年平均則在 3.1—6.9 mg/L 左右。

(7) UV₂₅₄ 吸光度：

庫水 UV_{254, 1cm} 年平均值介於 0.02—0.04 之間，其中後半年 UV₂₅₄ 吸光值較高（尤以 5 月份最高）。此值被認為和水中溶解性有機物含量有關。

(三)生物因子

1. 細菌殖數：

烏山頭水庫之細菌殖數年平均含量 3900 CFU/mL，標準偏差為 9400 CFU/mL，其具有明顯變化。就年平均而言，以養殖區表層細菌殖數最高，主要係因 5 月份養殖區表層細菌殖數達到 63000 CFU/mL，11 月份及 9 月份養殖區底層細菌殖數分別為 26000 及 54000 CFU/mL，以致年平均高。水利會表層 9 月份細菌殖數達到 32000 CFU/mL，進水口底層達到 19000 CFU/mL 也高。此種情形可能由非經常連續性之短暫污染所致，而最後一個月上、中、下游底層水細菌殖數較高被懷疑和 8 月下旬韋恩颱風及過境後庫水水質改變有關。

2. 大腸菌、糞便性大腸菌及糞便性鏈球菌：

庫水中之大腸菌年平均為 190 CFU/100mL，各點年平均愈往下游有減少趨勢。而九重橋於 5、9 月份大腸菌偏高，導致其年平均值偏高。糞便性大腸菌除 5 月份九重橋表層，糞便性鏈球菌除 5 月份九重橋及夢之湖表層外，其餘並不高，在 1 月份後二者改成兩個月輪流檢驗一次。唯大部份情形 100 mL 水樣中所含之糞便性鏈球菌在 100 CFU 以下，難以引用 FC/FS 評估污染情形。

3. 浮游生物 (15.16.17.18.19.20.21.)：

烏山頭水庫之浮游生物以藻類為主，包括綠藻 (Chlorophyceae)，藍綠藻 (Cyanophyceae)，矽藻 (Bacillariophyceae)，鞭毛綠藻 (包括不易鑑定之小型鞭毛藻類)，少數原生動物 (Protozoa) 及輪蟲 (Rotatoria) 等，浮游生物數如表 2 所示：

表 2 浮游生物數 (# / mL)

採 樣 月 數	西 口	九重橋 _s	九重橋 _B	夢之湖 _s	夢之湖 _B	水利會 _s	水利會 _B	養魚區 _s	養魚區 _B	進水口 _s	進水口 _B
9	4	11	9	830	13	4,500	55	5,800	91	560	680
10	37	78	68	3,400	100	4,300	1,600	5,700	2,500	3,300	1,000
11	120	68	90	520	200	4,400	3,200	3,100	1,400	2,700	5,700
12	790	500	—	150	93	540	830	1,800	1,600	900	400
1	1,500	2,100	2,200	2,500	2,100	2,000	1,700	3,200	2,100	4,400	2,800
2	1,600	1,400	1,500	1,800	2,100	2,600	1,600	2,200	1,200	880	1,100
3	350	530	820	2,900	1,100	3,800	1,600	3,200	1,100	3,300	2,100
4	530	1,100	1,100	3,000	1,300	5,200	4,200	6,300	3,400	4,500	3,500
5	180	530	—	710	470	3,100	1,500	4,100	1,000	3,200	590
6	—	6,100	240	4,900	470	6,800	1,700	3,500	2,100	5,100	2,500
7	120	180	—	59	—	3,900	1,400	2,400	2,100	2,800	2,700
9	59	59	59	3,800	120	3,100	350	3,600	290	3,700	30
平均值	440	1,100	680	2,000	730	3,700	1,600	3,700	1,600	2,900	2,000
中數值	150	520	240	2,200	470	3,900	1,600	3,400	1,500	3,300	1,600
範圍	0 { 1,600	11 { 6,100	9 { 2,200	59 { 4,900	13 { 2,100	540 { 6,800	55 { 4,200	1,800 { 6,300	91 { 3,400	560 { 5,100	330 { 5,700

S: Surface

B: Bottom

討論

烏山頭水庫水因係曾文水庫水流入曾文溪至東口取水站，再經烏山嶺導水隧道到達西口經溢流堰注入水庫者，水流至此仍甚湍急，西口水樣應可以河川水質判定之。根據河川水質之溶氧量，生化需氧量，懸浮固體量，氨氮四種水質項目，採用點數計分法，可判別其污染程度(22)。河川污染程度之分類如表 3，西口主要水質項目分析結果如表 4。如以表 3 分類之，西口積分數為 1.5，屬於未受/稍受污染程度之河川水質。如以全年各項水質綜觀之，西口水質尚稱良好，由於其水源來自曾文溪上游之曾文水庫，該水庫上有大埔村，中有合作農場，下有箱網養魚及餐飲遊樂區，曾文水庫下面曾文溪部份又有曾文水庫管理局辦公室，宿舍等設施。這些可能之固定點排放污染來源，似乎沒有對西口進水水質造成明顯惡化之影響。此可能係曾文水庫本身之自淨作用及壩至東口這段曾文溪流體水稀釋及河川自淨作用產生之正面影響所致。表 4 如以衛生署發佈之水體分類及水質標準來評定(23)，烏山頭水庫之西口進水及下游給水廠進水口表層之庫水均屬乙類水體，亦即需經一般通用之淨水方法處理方可適用水之。以年平均(或數據範圍)而言，給水廠進水口表層水之水質優於西口入庫水，尤以懸浮固體量及大腸

表 3 河川污染程度分類

項 目	污 染 程 度			
	未 受 污 染 稍 受	輕 度 污 染	中 度 污 染	嚴 重 污 染
溶 氧 量 DO mg/L	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
生 化 需 氧 量 BOD ₅ mg/L	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
懸 浮 固 體 量 S.S. mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨 氮 NH ₃ -N mg/L	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點 數	1	3	6	10
積 分	2.0 以下	2.0~3.0	2.0~6.0	6.0 以上

註：表內積分爲 DO, BOD₅, SS, NH₃-N 點數之平均值。

表 4 烏山頭水庫部份水質資料

取 樣 點	項 目	PH	溶 氧 量	BOD	大 腸 菌 類 數	懸 浮 固 體 量	氨 氮	總 磷	重 金 屬
			mg/L	mg/L, 5 天	CFU/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	
西 口		8.16 (8.01-8.42)	9.4 (8.5-10.7)	1.3 (0.7-2.8)	270 (110-620)	25.1 (2.0-129.5)	0.174 (0.045-0.541)	0.020 (0.011-0.054)	*
淨水廠進水口表層		8.61 (8.17-8.94)	8.8 (7.8-9.9)	0.9 (0.2-1.3)	76 (6-460)	4.6 (1.0-11.0)	0.132 (0.062-0.349)	0.010 (0.006-0.017)	*

* 不超過甲類河川、湖、潭、庫之水質標準上限。

** 未括弧者爲年平均值，() 者爲範圍。

菌類數之減少較爲明顯。西口入庫水往下流經大丘園，孢子寮，九重橋一帶，水道狹窄，唯此區係烏山頭主水道較有住戶人煙之處（遊客很少至此）。本次調查期間，大部份月數水質情況正常，無甚異處。唯 5 月及 9 月兩月份，細菌，大腸菌有比平常偏高很多的情形，可能因孢子寮，九重橋一帶住戶人／畜排泄物受到雨水冲刷入庫（按：5 月 21 日早晨採樣前曾下雨及 9 月份採樣前數天受颱風過境後影響，一直有下雨）導致水源受到該區域地表暫時性污染所致。九重橋一帶，5 月份糞便性大腸菌及糞便性鏈球菌含量也較高，可爲污染之另一間接證據。如以有效之 FC/FS（需 FS ≥ 100 CFU/100mL）比值來看，沒有明顯證據顯示烏山頭水庫受到持續性之溫血動物排泄物之污染（12.24）。但孢子寮，九重橋一帶住戶較多，在細菌、大腸菌、糞便大腸菌、糞便鏈球菌數目突然增高時，應可懷疑該點於該時間時受到污染。中游夢之湖一帶，時有遊客乘坐遊艇或快艇至此登岸觀光走動，而調查之水質資料並沒有顯示污染情形。下游箱網養魚區及給水廠進水口附近設有箱網養魚設施，係以人工飼料配合箱網密集養殖魚類

。雖然最後一個月細菌殖數偏高，其可能是颱風過後，底層受到攪動，以致濁度升高，底層水樣細菌數大幅增加。除此外全年調查結果並沒有證據顯示該二處受到污染。據當地人言，箱網養魚全是拋投飼料，絕大部份為網內飼魚所吃掉，而少許魚飼料會由網目漏出，唯網外却有一批庫魚等著吃這些漏網魚飼料，而且飲食作息習慣已與箱網養魚時間配合。因此由飼料造成的污染問題可以說沒有。此種說法對於箱網水域之N、P、BOD、COD等含量沒有明顯增加似能合理解釋，而細菌、大腸菌等檢驗項目其含量卻也沒有顯現持續性特別偏高情形乃是值得驚奇的事。

烏山頭水庫浮游生物主要為藻類，全年平均含量約為2000 cells/mL，4月份下游表層浮游生物平均含量相當高，而整體來看，則以6月份上、中、下游表層浮游生物含量普遍增加最為明顯。該月份九重橋表層為6100 #/mL，夢之湖表層為4900 #/mL，水利會表層6800 #/mL，進水口表層為5100 #/mL，養殖區表層為3500 #/mL。由於整個主水道表層浮游生物數量尤其是上、中游表層數量增加很多，導致該月份表層之浮游生物數量平均值明顯上升。經查該月份水位高，上、中游表層濁度低，因此表層浮游生物除因季節上適合其生長繁衍外，其含量可能與庫水表層濁度低及水庫在採樣前該段期間減少放水，濁度下降，水流動趨緩有明顯相關。後者雖因嘉南農田水利會不願提供水庫進水、儲水、出水等內部作業資料而無法進一步探討，唯水力停留時間長短對浮游生物含量多寡卻有重大影響(25.26.27)。濁度對水庫浮游生物數量影響十分明顯。在本次調查期間，可發現烏山頭水庫各處採樣點水樣濁度高時，浮游生物數偏低，如九重橋表層9.12.5.7.9等月份，夢之湖表層9.12.5.7等月份，水利會及進水口表層12月份等。又如九重橋6月份表底層水樣、夢之湖10.6.月份表底層水樣等，皆是表層濁度低、浮游生物數高；底層濁度高，浮游生物數低之典型例子。如以年平均來看，庫水愈往下游，濁度也愈下降，而浮游生物數量有增加之趨勢。又以月平均來看，9月份底層及12月份表層浮游生物數量之偏低顯然和濁度高有明顯相關($\gamma_9 = 0.75$, $\gamma_{12} = 0.92$)，另外水流緩急與流量變化也會影響到浮游生物多寡，西口、九重橋一帶浮游生物數目應與二者有關。在水庫下游所選定之三個取樣點，一般皆以表層之浮游生物含量較底層為高，此和表層之光度較適合藻類行光合作用而生長繁殖有關。但是偶有底層之浮游生物高於表層之現象發生。此可能係採樣當時庫水濁度不高(皆在3.5 NTU以下)，水淺而底層仍有適當之光度，藻類仍能在此環境中生長。此外在底層浮游生物含量高於表層時，此時表底層水沒有明顯成層現象，而底層之氮、磷含量時有高於表層情形，故能提供適合藻類生長的環境。

烏山頭水庫逐月各種無機氮鹽($\text{NH}_3 + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)及溶解性正磷酸鹽含量如表5所示。在2.3.4.月間因吸光儀損害送修，資料從缺，唯可發現下半年氨氮和硝酸鹽氮明顯增加，溶解性正磷酸鹽則無明顯升高現象。理論上在庫水中N/P質量比大於7.0—7.5表示無機性磷為限制浮游生物生長之主要因子，若是N/P小於7.0—7.5則表示無機性氮鹽為限制浮游生物生長之主要因子，唯需要無機性氮鹽小於0.05mg/L，而無機性磷小於數 $\mu\text{g/L}$ 以下(28)。本次調查期間，烏山頭水庫無機性氮鹽—N/溶解性正磷酸鹽—P比皆大於7.5，而溶解磷含量並不高，磷應為限制浮游生物生長之主要因子。唯溶解性正磷酸鹽雖然其含量多在數 $\mu\text{g/L}$ 以下，並未完全限制藻類之生長繁衍，如養魚區表層9.10.月間，九重橋、夢之湖表層6月間

表 5 烏山頭水庫各無機氮和溶解性正磷酸塩逐月之變化

項 目 \ 月 份	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	9
NH ₃ -N mg/L	0.121	0.081	0.104	0.054	0.068	—	—	—	0.429	0.155	0.120	0.195
NO ₂ -N mg/L	0.007	0.003	0.003	0.002	0.003	—	—	—	0.003	0.004	0.004	0.006
NO ₃ -N mg/L	0.616	0.345	0.364	0.334	0.202	—	—	—	0.532	0.678	0.664	0.798
Inorganic-N mg/L	0.744	0.429	0.471	0.390	0.273	—	—	—	0.964	0.837	0.788	0.999
Ortho-P mg/L	0.006	0.008	0.004	0.002	0.006	—	—	—	0.004	0.002	0.003	0.004
Inorg-N/Ortho-P	124	54	118	195	46	—	—	—	241	419	263	250

，其浮游生物數量即達約 5000 ~ 6000 個/mL間，此表示溶解磷含量雖少，但浮游生物尤其是需磷量較低之藻類仍有適度生長之空間範圍。雖然如此，磷含量少為抑制浮游生物大量繁殖生長之主要因子，則應無疑義（29）。

烏山頭水庫上中游各個時期主要浮游生物分別為74年9—11月之綠藻 Ankistrodesmus，74年12月之矽藻 Cyclotella，75年1月之綠藻 Tetraedron 及矽藻 Cyclotella，75年2月之矽藻 Cyclotella，75年3月之綠藻 Scenedesmus，其次為矽藻 Cyclotella 和綠藻 Tetraedron，75年4—5月之綠藻 Scenedesmus 和 Tetraedron，75年6月之藍綠藻 Oscillatoria 及75年9月之綠藻 Ankistrodesmus。其主要浮游生物除夏季之 Oscillatoria 外均為綠藻、矽藻和小型鞭毛藻類。一般認為湖泊水庫由貧養湖往優養湖之營養化進行之過程中，其水中主要藻類也隨之由藍藻轉為矽藻再轉為綠藻、鞭毛藻最後轉為藍綠藻（30.31.32.33.34）。整體來看，烏山頭水庫除夏季外，多為綠藻、矽藻、鞭毛藻。而其主要浮游生物 Ankistrodesmus，Tetraedron，Scenedesmus，Cyclotella 等多屬於中腐水性之指標生物（15.16）。值得注意的是在夏季間尤其是6月間藍綠藻 Oscillatoria 數量相當多，初步認定主要為 Oscillatoria tenuis，其被認為是污水性或水體受有機污染之藻類（17.33），也有視其強腐水性或中腐水性指標生物者（35）。

Vollenweider 於 1968 年曾列出湖泊生產力與表層氮、磷平均濃度之一般關係如表 6（36）。Vollenweider 與 Kerebe 於 1980 年另將 OECD eutrophication program 之湖泊營養化程度評估資料加以整理分類如表 7（37）。

表 6 湖泊生產力與表層氮、磷平均濃度之一般關係

湖泊生產力之一般等級	總 磷 μg/L	無 機 氮 μg/L	有 機 氮 μg/L
低貧養湖	< 5	< 200	< 200
貧養—中養湖	5—10	200—400	200—400
中養—營養湖	10—30	300—650	400—700
營養湖	30—100	500—1500	700—1200
高營養湖	> 100	> 1500	> 1200

表 7 OECD eutrophication program 中湖泊營養化程度評估分類表

項	目	貧 養	中 養	營 養	高 營 養
總 磷 $\mu\text{g/L}$	\bar{x}	8.0	26.7	84.4	
	$\bar{x} \pm 1\text{SD}$	4.85-13.3	14.5- 49	38 - 189	
	$\bar{x} \pm 2\text{SD}$	(2.9-22.1)	(7.9-90.8)	(16.8-424)	
	Range	3.0-17.7	10.9-95.6	16.2- 386	750 -1200
	N	21	19(21)	71(72)	2
總 氮 $\mu\text{g/L}$	\bar{x}	661	753	1875	
	$\bar{x} + 1\text{SD}$	371 -1180	485 -1170	861 -4081	
	$\bar{x} + 2\text{SD}$	(208-3103)	(313-1816)	(395-8913)	
	Range	307 -1630	361 -1387	393 -6100	
	N	11	8	37(38)	
葉綠素 a $\mu\text{g/L}$	\bar{x}	1.7	4.7	14.3	
	$\bar{x} + 1\text{SD}$	0.8 - 3.4	3.0 - 7.4	6.7 - 31	
	$\bar{x} + 2\text{SD}$	(0.4-7.1)	(1.9-11.6)	(3.1- 66)	
	Range	0.3 - 4.5	3.0 - 11	2.7 - 78	100 - 150
	N	22	16(17)	70(72)	2
葉綠素 a 峯 值 $\mu\text{g/L}$	\bar{x}	4.2	16.1	42.6	
	$\bar{x} + 1\text{SD}$	2.6 - 7.6	8.9 - 29	16.9- 107	
	$\bar{x} + 2\text{SD}$	1.5 - 13	4.9 -52.5	6.7 - 270	
	Range	1.3 -10.6	4.9 -49.5	9.5 - 275	
	N	16	12	46	
透明度 m	\bar{x}	9.9	4.2	2.45	
	$\bar{x} + 1\text{SD}$	5.9 -16.5	2.4 - 7.4	1.5 - 4.0	
	$\bar{x} + 2\text{SD}$	(3.6-27.5)	(1.4- 13)	(0.9-6.7)	
	Range	5.4 -28.3	1.5 - 8.1	0.8 - 7.0	0.4 - 0.5
	N	13	20	70(72)	

\bar{x} = 平均值
SD = 標準偏差

另外美國 EPA 於 1974 年曾將總磷含量作為湖泊營養程度分類之依據如表 8 (29) 。
'Jones 和 Lee 於 1982 年曾以總磷、葉綠素、平均透明度 (average secchi depth) 對湖泊營養化程度加以分類 (25) ，其資料如表 9 。烏山頭水庫上、中、下游各種氮、磷、葉綠素。高峯值，透明度平均值等資料如表 10 所示。台灣河川短促，河床坡度大，每逢陣雨，河川水

表 8 營養程度與總磷之關係

營 養 程 度	總 磷 $\mu\text{g/L}$
貧 養	< 10
中 養	10 - 20
營 養	> 20

表 9 水庫／湖泊湖沼學上之營養程度分類

營養程度	葉綠素平均值 $\mu\text{g/L}$	透明度平均值 m	總磷平均值 $\mu\text{g/L}$
貧 養	< 2.0	> 4.6	< 7.9
貧養—中養	2.1 — 2.9	4.5 — 3.8	8 — 11
中 養	3.0 — 6.9	3.7 — 2.4	12 — 27
中養—營養	7.0 — 9.9	2.3 — 1.8	28 — 39
營 養	≥ 10	≤ 1.7	≥ 40

表 10 烏山頭水庫上、中、下游表底層氮、磷、葉綠素 a 透明度等資料

項 目	地 點	上游		中游		下游	
		表	底	表	底	表	底
總 磷	$\mu\text{g/L}$	21	18	18	18	11	13
總 氮	$\mu\text{g/L}$	1056	1198	929	1067	817	994
無機氮	$\mu\text{g/L}$	783	846	650	771	488	681
有機氮	$\mu\text{g/L}$	273	352	279	296	329	313
葉綠素* (峯值)	$\mu\text{g/L}$	2.57	—	3.57	—	2.64	—
透明度	m	0.9		1.4		2.0	

* 夏季 6. 7. 9. 三個月平均值

迅速轉濁。而台灣地區多數水庫蓄水量不大，平均深度淺，每逢此種狀況之河川水入庫即迅速影響到其水質中之濁度及透明度，因此以 Secchi depth 來評估湖泊／水庫營養程度並不十分恰當，而總磷，總氮等應較適為湖泊／水庫營養程度評估之參考因子。摒除透明度項目後，如以表 6. 7. 8. 9. 來評估表 10 中烏山頭各項有關水質，可化得到表 11 之結果（表 10 數據中底層及上游表層資料不作為評估之參考依據）。另外在本次調查期間，烏山頭水庫主水道底層水雖有缺氧情形，但並不嚴重，顯示其未有營養湖之湖底因死亡之生物、有機物質過度累積，以致在夏

表 11 烏山頭水庫營養化程度之評估

營養程度	評 估 依 據
中養 — 營養	表 6 ; Vollenweider
中 養	表 7 ; OECD; Vollenweider & Kerebe
中 養	表 8 ; USEPA
中 養	表 9 ; Jones & Lee

季湖泊或水庫成層期間造成底層無氧或過份缺氧情形。烏山頭水庫浮游生物數量多在 5000 cells/mL 以下 (偶會超過 5000 cells/mL) , 沒有跡象顯示其影響到濁度、懸浮固體量, 產生明顯臭味、色度、水花等問題、藻類尚未明顯傾移至污水性之屬種。配合上述烏山頭水庫水之氮、磷、葉綠素等因子來看, 初步將烏山頭水庫列為中營養化程度者應屬合理。

結論與建議

1. 烏山頭水庫淤積已相當嚴重, 目前主要由水庫周圍山谷, 沿岸瀉傾而下之沙泥所引起。早期進水所攜帶之大量泥沙已因西口溢流堰之興建及曾文水庫之建造完成而改善。
2. 烏山頭水庫主水道長, 庫水沈澱自淨作用明顯。
3. 烏山頭水庫因與曾文水庫串聯營運, 物理、化學、生物等水質項目沒有明顯受到枯水期或豐水期之影響。
4. 烏山頭水庫浮游生物多為綠藻、矽藻及鞭毛藻, 其中以 Ankistrodesmus, Tetraedron, Scenedesmus, Cyclotella 為主。至 6 月份則藍綠藻 Oscillatoria 大量繁殖。浮游生物種類具季節性變化。
5. 烏山頭水庫磷含量雖不多, 雖不足以完全限制藻類之生長繁衍。但磷可視為限制藻類大量繁殖之重要因子。
6. 烏山頭水庫濁度和懸浮固體量、透明度有顯著相關。而濁度又明顯影響藻類之數量。
7. 烏山頭水庫進水沒有明顯受到污染跡象。上游孢子寮、九重橋一帶, 偶會有非持續性污染出現。中游及下游沒有受到污染, 箱網養魚區偶有污染情況, 但並不持續。
8. 烏山頭水庫水依衛生署環保局之水體分類及標準評定之可列為乙類水體。
9. 烏山頭水庫西口進水可視為未受/ 稍受污染之河川水質。
10. 烏山頭水庫可初步評估為中營養化程度者之水庫。
11. 烏山頭水庫為確保其庫水品質, 應有必要對西口, 孢子寮、養魚區水質及下游地區浮游生物定期監測之。
12. 烏山頭水庫為減少泥沙淤積, 應禁止快艇行駛水庫各區域, 另為確保水庫蓄水量, 似應考慮清除淤積之泥沙。

誌謝

本文承水質中心林康先生協助浮游生物資料之整理及蕭主任榮超先生於撰稿時提供寶貴意見以及邱魏琴雲、吳美炷小姐, 徐敏慶先生協助檢驗和烏山頭給水廠陳錦敦、林國揚先生協助採樣事宜, 特此一併致謝。

參考資料

1. Nagler, B.E., Pretreatment storage and Monitoring Water Quality to Reduce Pollution, J. AWWA, 59:8:680(1967)

2. Schulhof, P., Water Supply in The Paris Subsurbs: Changing Treatment for Changing Demands, J. AWWA, 72:8:428(1980)
3. Pascal, O., A storage Reservoir at Mery-Sur-Oise. In the Vicinity of Paris, *Agua*, 3(1980)
4. 陳從和, 自淨作用, 台水月刊, 2:11:22(民國74年)
5. Sawyer, C.N., Basic Concepts of Eutrophication, J. WPCF, 38:5:737(1966)
6. Bernhardt, H., General Impacts of Eutrophication on Potable Water Preparation, Restoration of Lakes and Inland Waters. Rept. EPA-400/5-81-010, USEPA, Washington D.C. (Dec. 1980)
7. 陳從和, 湖泊的優養, 台水月刊, 2:9:17(民國74年)
8. 台灣省水利局, 嘉南農田水利會, 烏山頭水庫安全調查檢討報告, 民國73年。
9. 經濟部水資源統一規劃委員會, 水文年報, 民國74年。
10. 施再滿, 珊瑚潭與八田與一, 野外雜誌, 186, 24(民國73年)
11. 台灣省嘉南農田水利會簡介, 1985年6月。
12. APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 15th Ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1981.
13. APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods For the Examination of water and Wastewater, 14th Ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1976.
14. 台灣省自來水水質標準, 省府公報74年夏字第10期。
15. 台灣地區湖沼水庫浮游生物水質污染指標研究1分類(1), 行政院衛生署環境保護局 1984。
16. 台灣地區湖沼水庫浮游生物水質污染指標研究1分類(2), 行政院衛生署環境保護局 1985。
17. 水野壽彥, 日本淡水プランクトン圖鑑, 保育社, 東京, 1976。
18. 廣瀨弘幸, 山岸高旺, 日本淡水藻圖鑑, 內田老鶴園新社, 東京, 1977。
19. Smith, G.M., The fresh-water algae of the United states, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1950.
20. Philipose, M.T., Chlorococcales, Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, 1967.
21. Desikachary, T.V., Cyanophyta, Indian Council of Agricultural Research New Delhi, 1959.
22. 郭錦洛, 台灣河川水質之偵測與評估, 第3屆給水技術研討會論文集, 民國75年, R1
23. 水體分類及水質標準, 台灣省政府74年冬字第22期第2頁。
24. APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 16th Ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1985.
25. Jones, R.A. and Lee, G.F., Recent Advances in Assessing Impact of Phosphorus Loads on Eutrophication related Water Quality, Water Research, 16, 503(1982)

26. Rast, W, Jones, R.A. and Lee, G.F., Predictive Capability of U.S. OECD Phosphorus Loading-Eutrophication Response Models, J. WPCF, 55:7:990(1983).
27. Rook, J.J. and Oskam, G Biological and Chemical Aspects of Rhine Water in The Berenplaat Reservoir, J.AWWA, 62:4:249(1970).
28. Archibald, E.M. and Lee G.F., Application of the OECD Eutrophication Modeling Approach to Lake Ray Hubbard, Texas, J.AWWA, 73:11:590(1981).
29. Bachmann, R.W. The Role of Agricultural Sediments and Chemicals in Eutrophication, J.WPCF, 52:10:2425(1980).
30. Clark, J.W., Viessman W, and Hammer M.J., Water Supply and Pollution Control, 3rd Ed., Harper & Row Publishers, New York, 1977, PP. 277.
31. Hynes, H.B.N., The Biology of Polluted Waters, Chapter II, Liverpool University Press, 1974, PP. 11.
32. Weiss, C.M., Relation of Phosphates to Eutrophication, J. AWWA, 61:8:387(1969).
33. Palmer, C.M., " Algae in Water Supplies, " US Public Health Service Publication No 657, Dept, of Health, Education and Welfare, Washington D.C., 1959.
34. 津田松苗, 水質汚濁の生態學, 第2刷, 公害對策技術同友會, 東京, 昭和49年。
35. 李錦地等, 台灣河川污染指標生物, 民國72年。
36. Wetzel, R.G., Limnology, Chapter 11 and 12, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1975.
37. Vollenweider, R.A. and Kerekes J., The Loading Concept as Basis for Controlling Eutrophication Philosophy and Preliminary Results of the OECD Programme on Eutrophication, Prog. Wat. Tech. 12,5(1980).