

# 鯉魚潭水庫集水區降雨與水質監測中優養因子關係之探討

陳文福<sup>(1)</sup> 吳專誠<sup>(2)</sup>

## 摘要

台灣本島屬太平洋季風氣候區且未居板塊擠壓帶上，地形陡峭且河短川急，雖年均雨量高達 2,500 公厘，卻因地形因素使得雨水停留之時間極為短暫。為解決農業、民生與工業用水之需，多興建水庫壩堰等儲水設施以蓄洪濟枯，確保水源能穩定供應。

鯉魚潭水庫位於苗栗縣卓蘭、大湖與三義之交界處，為台灣精緻農業與生產高價水果園區之一。在水庫興建前，土地超限利用情形即已嚴重。其水源除由集水區上游大安溪之三條支流（景山溪、雙坑溪及雙連溪）匯集蓄水之外，當水質清淨時更引進大量大安溪士林壩經發電後之水。由於集水區降雨之時空分佈不均，豐、枯水期之降雨量比例高達 4:1，近年來水庫水質有日益惡化且造成優養化之趨勢。故藉由瞭解集水區之降雨與水庫水質各因子間之相關性，以作為未來水庫管理決策之參考。

本研究蒐集 2006~2008 年鯉魚潭水庫集水區之降雨及水質監測資料，並假設此期間集水區土地利用沒有變化，及自大安溪引入之水量穩定且不影響水庫水質之情形下，利用統計軟體 SPSS 進行迴歸分析並探討集水區降雨與水庫水質各因子間關係之情形。研究結果顯示：

- 一、本集水區所擷取之 2006~2008 年之降雨資料顯示其降雨屬性以「小雨」與「中雨」居多，且日平均雨量約 16.8mm。
- 二、本集水區屬中、小雨之降雨特性，對於廣而深之水庫容易因層溫變化造成不同密度之水體沉降，以及降雨時將集水區地表營養鹽帶入水庫中，導致降雨量與溶氧量呈負相關、與葉綠素呈正相關，並使優養化趨勢更為嚴重。
- 三、近年來工業污染所造成酸雨，以及大自然循環所釋放硫化氫、硝酸根及氨等物質，應為導致本集水區 pH 值與降雨量呈負相關之原因。
- 四、本集水區經常性小雨所產生水中溶氧量大於大雨所產生之溶氧量，而其他水質因子在各級降雨屬性中並無明顯之差異。

（**關鍵字：**集水區、水庫水質、優養化）

## Investigation of Relationship among the Rainfall and Water Quality factors on Eutrophication for Li-Yu-Tan Reservoir Watershed

Wen-Fu Chen<sup>(1)</sup> Chuan-Cheng Wu<sup>(2)</sup>

---

<sup>(1)</sup> 國立中興大學水土保持學系教授

<sup>(2)</sup> 國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者:w0267@nuu.edu.tw)

Professor<sup>(1)</sup>, Graduate student<sup>(2)</sup> Department of Soil and Water Conservation  
National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C.

## ABSTRACT

For being located at the arc-continent collision zone, Taiwan results in steep topography and short distance stream with high speed flow. Although the annual rainfall in Taiwan is up to 2,500mm, the property of the topography causes the run off stay briefly. Many facilities such as reservoir, dam and weir were built to ensure the stability of demand in agricultural irrigation and water supply. Li-Yu-Tan reservoir at the south Miaoli, is one of the fields that develop fine agriculture and produce high price fruits in Taiwan. Before the reservoir was built, the field was seriously overused. Besides reserving water from the three branches of Da-An river, the water from Da-An river was partly employed for generating electric power and common water use. For the presence of nonuniform of raining time and space, the ratio of wet to dry season is 4:1. Recently, the quality of water contained in reservoir tend to depravation and eutrophication. The objective of this research is to learn the correlation among the water quality factors of the reservoir and rainfall in the watershed. The present study collected the detection data of rainfall and water quality of Li-Yu-Tan reservoir watershed from 2006 to 2008. This study assumes that the variation of use on field of the watershed is neglectful and the water quantity from Da-An river was stable and doesn't affect the water quality of the reservoir. The correlation of rainfall and water quality factors of the watershed were studied and the regression analysis was performed with the statistical software SPSS. The results of the correlation among the water quality variables show:

1. During the experiment (2006~2008), the characteristic of the rainfall is hardly in downpour, and daily average rainfall is 16.8mm.
2. Belonged to the watershed, the light rain on the rainfall characteristics of the wide and deep reservoir layer vulnerable to changes in temperature caused by the water of different densities of settlement, as well as the rainfall of the watershed surface when the nutrients into the reservoir, leading to rainfall and DO was negatively correlated and positively correlated with chlorophyll, eutrophication and the situation is even more serious.
3. In recent years, acid rain caused by industrial pollution, as well as the natural cycle of the release of  $H_2S$ ,  $NO_3$  and  $MH$  led to pH values of the watershed was negatively correlated with rainfall.
4. The watershed of light rain generated by the regular level of DO in water resulting from rain is greater than the amount of DO, and other water quality factors in the rain at all levels of properties, there is no significant difference.

( **Keywords:** Reservoir Watershed, Water Quality of the Reservoir, Eutrophication )

## 前言

台灣屬太平洋季風氣候區，且位於颱風路徑上，雨量豐沛，年均雨量多達 2,500 公厘。然因位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之擠壓帶上以致地形陡峻且河短川急，降雨在集水區停留之時間極為短暫，為解決農業灌溉及民生用水等需求，故多興建水庫、壩、堰等儲水工程以確保水源供應之穩定性。鯉魚潭水庫由大安溪之 3 條支流（景山溪、雙坑溪及雙連溪）匯集而成，屬於離槽水庫，雖可減少泥砂量但營養化較為嚴重，近年來更因為集水區的土地超限利用及受地球溫室效應之影響，水庫之水質日益惡化且營養化問題已受到大家重視。

鯉魚潭水庫擔負著台灣中部地區水資源供應之重任，其集水區位於苗栗縣卓蘭鎮、大湖鄉與三義鄉之交界處，為台灣精緻農業與生產高經濟價值果園區域之一。在水庫興建之前土地超限利用情形已很嚴重，加上近年來政府推動休閒及觀光之政策奏效，水庫週邊每逢假日均人潮聚集。因此，環境污染對水庫水質之影響有增無減。由於降雨時間與空間分佈不均，全年豐枯水期之降雨量比例高達 4：1。因此，本集水區之降雨特性與水庫水質各因子間之關係究竟為何？是否會降低水質的營養程度？乃為本研究探討之動機。

本研究針對該水庫集水區 2006～2008 年間各項水質監測之資料，以統計分析方法且利用 SPSS 軟體進行迴歸分析，以探討降雨量與各水質因子間之相關性以及降雨量與水質各因子間對應變化因子之營養化關係，並

將所獲結果進行初步檢視，以瞭解現有監測點之適當性，或未來是否應在各取水口、入流口、放流口皆設置監測器之必要性提出建議。

此外，鯉魚潭水庫集水區面積 5,345 公頃，而大安溪士林攔河堰上游集水區面積卻高達 44,712 公頃，約為本集水區之 8.4 倍，鯉魚潭水庫集水區之面積顯然較小。士林攔河堰將大安溪部份水源分配流入卓蘭圳，導入卓蘭電廠進行水利發電之後，再放流並被引入鯉魚潭水庫中。因此，鯉魚潭水庫之入流量來源有集水區之降雨及士林攔河堰越域引入之水源兩種，並以士林攔河堰所引進之入流量為主要之水源。然因引水容量的限制，最大引水量不得超過 35cms（經濟部水利署中區水資源局，2005）。當大安溪上游發生暴雨、原水濁度不符發電標準時溪水未導入水庫；而平時溪水水質及入流量穩定，加上士林攔河堰所引進入流量之進水點亦無水質監測儀之佈設，欠缺監測數據。為使本研究討論之背景更為單純，故不考慮大安溪入流水水質對水庫水質之影響。又本集水區之土地利用情形經實地踏勘與訪查結果，截至目前為止並無明顯之變化，故本研究假設鯉魚潭水庫集水區土地利用條件不變。本研究先由研讀相關之前人研究開始，並藉由蒐集到的 2006～2008 年之降雨與水質監測資料，利用統計軟體 SPSS 進行分析，以探討集水區降雨與水質營養化因子間之關係，研究之流程示如圖 1。

## 文獻回顧

優養化 (Eutrophication) 係一個自然的程序，旨在呈現當湖泊水庫形成後，其蓄水水域經由自然界的降雨或水體內部累積等，內、外部負荷所產生之營養漸增過程的一種現象。Carlson (1977) 由透明度 (Secchi Disk, SD)、葉綠素 a (Chlorophyll-a, Chl-a) 與總磷 (Total Phosphorous, TP) 等之相互關係，提出以透明度為基礎之連續性營養指標 (Carlson's Trophic State Index, CTSI)。其範圍值為 0 到 100；當  $CTSI < 40$  為貧養 (Oligotrophic)； $40 < CTSI < 50$  為普養 (Mesotrophic)； $CTSI > 50$  則為優養 (Eutrophic)。由行政院環保署 2008 年環境水質監測年報顯示，鯉魚潭水庫的卡爾森指數 (CTSI) 介於普養到優養程度，示如圖 2。

目前探討水庫水質之指標，大部分以多變量統計方法為主，包括：陳育偉 (1995)

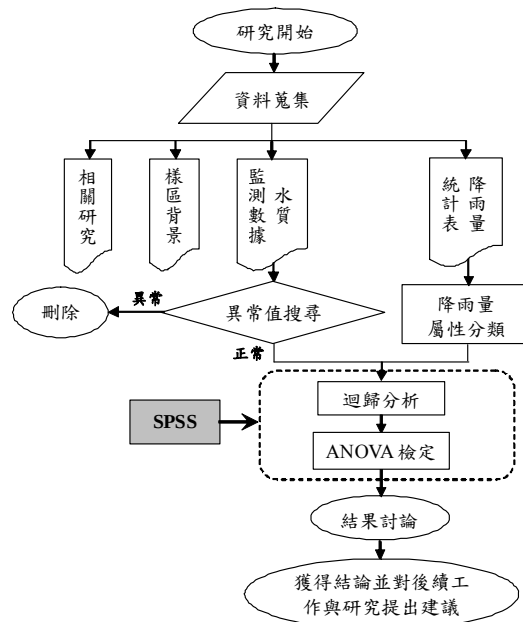
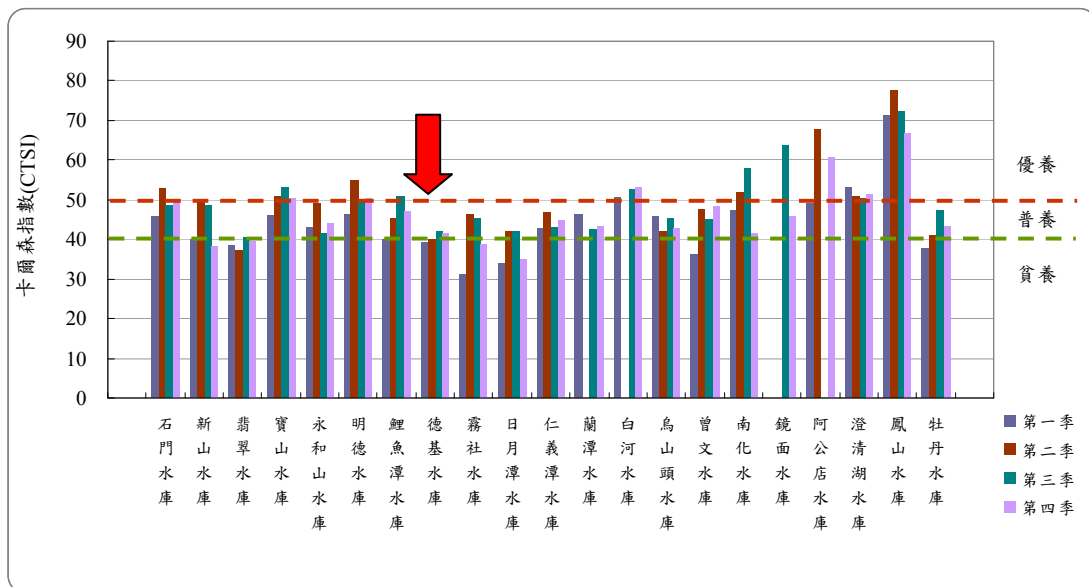


圖 1 本研究之流程圖

Fig. 1 Flow Chart of the study



(資料來源：環境水質監測年報)

圖 2 2008年台灣主要水庫CTSI比較圖

Fig. 2 Carlson's TSI Comparison of main reservoirs of Taiwan

認為探討台灣水庫營養狀態，必須先了解台灣水庫的水質特徵。於是運用多變量分析之方法，來探討水質間的相互關係，進而建立適用於台灣地區水庫優養指標與等級劃分之評價模式。而黃建源（2000）利用行政院環保署全球資訊網 1993~1998 年之水體霧社與日月潭水庫監測資料，找出長時間影響水庫水質的變異因子，並利用群集分析研判霧社與日月潭水庫之污染源以探討兩水庫的水質狀況。再進一步利用多變量統計分析的結果與污染負荷量的計算得知：削減霧社水庫 23 % 之營養鹽負荷，可使日月潭水庫控制在普養狀態。黃富昌等（2006）就石門水庫目前之優養化指標，選取單一性指標與複合參數指標進行比較與探討，並依記錄之時間點，擷取環保署資料庫 2000~2005 年之 16 項水質監測資料，以多變量統計分析方法進行主成份分析與因子分析，經探討得知影響石門水庫水質變化的 4 項主要共同因子。該等又於 2005 年以新竹縣寶山水庫之優養化指標，選取單一性與綜合性優養指數，以多變量統計分析進行比較與探討，獲得主要影響寶山水庫水質變化的 2 個共同因子及寶山水庫之優養化指標（HEI）。

林炤映（2004）利用日月潭水庫水質數據進行相關性分析及無母數檢定，以瞭解日月潭水庫日夜抽蓄發電是否對於水庫之水質有所影響，並對各個共同因素進行時間序列的分析，獲得 2 處監測站各 4 個共同因素，計有 8 個最佳時間序列模式。除自來水營養鹽供給因子屬 ARMA（1,0,1）模式（Auto Regressive Moving Average Model）外，其他均為 AR1（1,0,0）模型。

另外又有某些學者透過極有限之監測數據進行分析及模擬，試圖建立水庫優養化之推估模式，概有：吳朱華等（2006）以南化水庫自啓用前的水質評估資料及正式啓用後（1992~2005 年間）水質監測紀錄之卡爾森優養指數及其相關形成因子，以推估南化水庫優養化之形成模式。經推估結果，依序被選入模式之項目為總磷、葉綠素 a 及透明度，恰為卡爾森優養指數的計算變數。

此外，張志雄（2008）藉由石門水庫連續監測之水質數據進行相關水質參數分析，以有效了解水庫水質相關因子間之相關性及長期變化之趨勢。另又針對特殊事件之降雨強度、流量及水庫中濁度等資料進行迴歸分析，得其各參數間之迴歸模式，經解析發現案例水庫整年度水質成層作用及轉換現象顯著，屬季節性變化水庫。特殊事件日所產生的底層流，會擾動湖水原有的分層現象，並於大壩處產生水體翻騰現象，使原水濁度飆昇。

而水質監測資料之完整性與精確性與否，攸關後續分析結果之正確性及可行性，故監測站設置之位置及設置之原則，應長遠規劃及審慎評估。梁文傑等（1988）與黃秀蓮等（1994）論述監測站之設置原則，主要從監測站之位置、監測站內外之環境要求、監測儀器設置之考慮、監測資料品質之要求、相關行政支援與經費運用，以及預留監測站發展空間以因應未來發展之需求等 6 個方面詳加考量。

## 研究材料與方法

本研究將所蒐集的資料，包含經濟部水

利署中區水資源局於 2005 年對鯉魚潭水庫集水區所做的環境背景調查、水庫常時降雨入放流之營運報表、壩體附近自來水取水工位置所監測之水質參數，並採用 SPSS 進行迴歸分析及 ANOVA 檢定等方法，探討降雨與水質各因子間之關係及各降雨屬性與水質因子相關性之顯著程度。

#### 一、區位環境背景概述

經濟部水利署中區水資源局有鑑於九二一大地震及歷經多次颱風豪雨後，集水區內土地鬆動引發多處崩塌，中、上游野溪蝕溝之冲刷加劇，造成下游野溪及水庫庫區之淤積，對於水庫水資源永續利用產生極為不利之影響。為防止集水區內因災害發生而形成土砂淤積來源，經濟部水利署中區水資源局（2005）曾針對集水區之崩場地滑、野溪蝕溝及滿水位週邊環帶等治理與保育工作進行調查規劃，其調查成果及依農林航測所拍攝之 40m 網格 DEM 進行分析結果，分別概述如后：

##### （一）地形

全區坡度在 15~30% 所佔之百分比最多，達 45.86%；坡向以西北向為最多，佔達 19.63%，而以東向為最少，僅佔 8.61%，區內坡度、坡向分佈如圖 3 及圖 4 所示。

##### （二）水系

本集水區細分成三個子集水區，分別為：雙坑溪集水區（雙坑溪及關刀山坑溪）、雙連溪集水區（雙連溪、桂竹林溪、花草坑溪及馬鈴坑溪）及景山溪集水區（景山溪、蘇魯溪、坪林溪、爽文坑、大克溪及流壁下溪）。其中景山溪自壩址以上之流路長約 17

公里，地形在長年流水切割下形成深陡之峽谷地形，兩岸多為陡峭岩壁，集水區中小支流密佈，呈樹枝狀分佈，地表覆蓋良好。

##### （三）地質

本集水區中最重要的地質構造為大湖向斜，略以南北走向貫穿本集水區，主要地層依向斜軸向外分別為卓蘭層、紅土臺地堆積層、錦水頁岩、桂竹林層魚藤坪砂岩段、桂竹林層十六份頁岩段、桂竹林層關刀山砂岩段、上福基砂岩及東坑層等。

##### （四）土壤

本集水區土壤以灰黃色崩積土為主，佔集水區面積 46.7%，分佈於較陡之丘陵地；石質土次之，佔 28.4%，分佈於大克山、司令山及關刀山等較陡之高山地區，再次為沖積土、崩積土、黃壤、紅壤夾雜其間，如圖 5 所示。

##### （五）氣象

大安溪為台灣南北兩種氣候型態之分界線，而本集水區係位於大安溪以北，就整體而言雖屬於亞熱帶氣候，但冬季受到東北季風及夏季受到西南氣流之影響，全年高溫多雨，季風特強，且乾濕季分明。

降雨情形一般而言，以 5~9 月為豐水期，其中 8、9 月常因颱風來臨而帶來大雨；10 月~翌年 4 月為枯水期，其降雨量只佔全年降雨量之 20~33%。西南季風時期則降雨量豐沛，形成豐枯水期明顯之差異。

#### 二、集水區降雨資料

本研究為擷取鯉魚潭水庫管理中心於本集水區內之鯉魚潭、新開、坪林等 3 個雨量

陳文福、吳專誠: 鯉魚潭水庫集水區降雨與水質監測中優養因子關係之探討  
站，所量測 2006~2008 年之降雨量日平均值為 8.3mm，而對應於刪除水質監測異常及未降雨日之資料，所得之日平均值則為 16.8mm。因考量本集水區之面積廣達 5,345 公頃，範圍擴及三義、大湖及卓蘭 3 鄉鎮，為避免雨量不均而造成研究引用之偏差，乃以徐昇氏多邊形法劃出各站控制面積之加權比例（如圖 6），其各站所佔加權比例為：鯉魚潭站 4.7%、新開站 47.2%、坪林站 48.1%。

經加權平均計算之日降雨量後並按教育部自然生態學習網站中，台灣自然生態第 2.1.5 節—「降雨量」，將雨量分類為毛毛雨、小雨、中雨、大雨、豪雨、特大豪雨及超大豪雨 7 級，其所代表之降雨量與屬性整理如表 1 所示。依表 1 進行降雨量及屬性分類，即為本研究所採用之降雨量資料。

### 三、集水區水質監測資料

鯉魚潭水庫管理中心有鑒於 2005 年 9 月以前，水庫之水質資料皆依賴自來水公司進

行必要性之取樣分析，而無長期連續性之監測作業。為有效瞭解水庫水體即時狀況，並建立水庫相關水質基本資料與更新資料庫，以強化資訊展現功能及維護水庫水質潔淨與水源安全等功能，乃自 2005 年 9 月起委託慧技科學有限公司進行水質連續性自動監測工作，顯示水庫管理單位相當重視水庫之水質標準，也為水庫之自主管理創造一個新的開端。該監測作業係於自來水取水工附近建置監測平台（如圖 7），並以該平台吊掛一部垂直移動式自動水質連續監測器（YSI 6600 EDS）。其吊掛深度位於水面下 1 公尺處，約每 30 分鐘隨其垂直移動深度自動量測 1 次，並於每個月實施維護保養校正 1 次。

表 1 降雨量屬性表（資料來源為教育部網頁）

Table 1 Attribution classification of rainfall

| 屬 性  | 名 稱 | 代 表 雨 量 或 屬 性                       |
|------|-----|-------------------------------------|
| 毛毛雨  | 小毛雨 | 能見度超過 1,000 公尺為小毛雨。                 |
|      | 中毛雨 | 能見度 500~1,000 公尺為中毛雨。               |
|      | 大毛雨 | 能見度低於 500 公尺為大毛雨。                   |
| 小雨   |     | 每小時降雨量小於 3 公厘。                      |
| 中雨   |     | 每小時降雨量約 3~15 公厘。                    |
| 大雨   |     | 一日累積雨量達 50 公厘，<br>或一小時內降雨達 15 公厘以上。 |
| 豪雨   |     | 一日累積雨量達 130 公厘。                     |
| 特大豪雨 |     | 一日累積雨量達 200 公厘。                     |
| 超大豪雨 |     | 一日累積雨量達 350 公厘。                     |

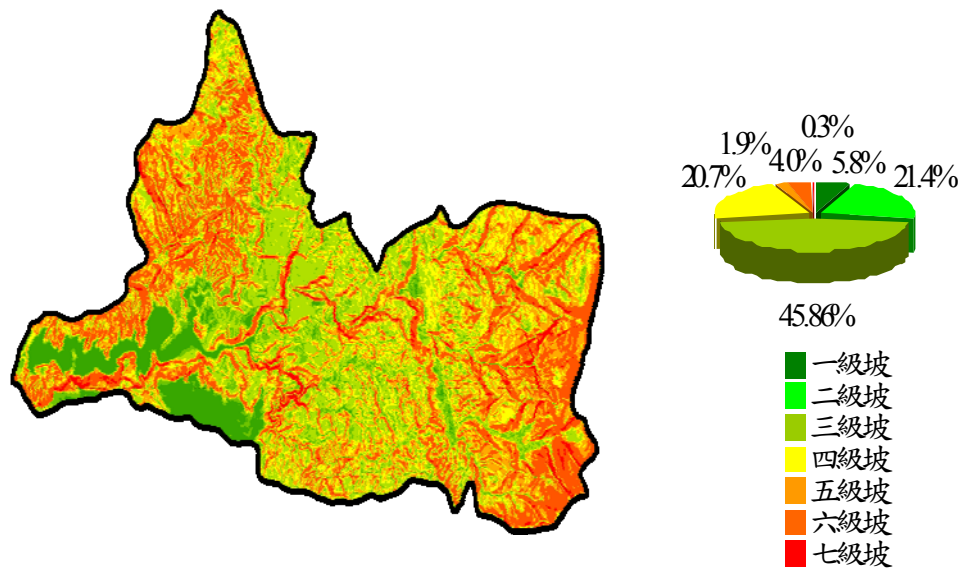


圖 3 鯉魚潭水庫集水區坡度分佈示意圖

Fig. 3 Slope distribution map of Li-Yu-Tan Reservoir Watershed

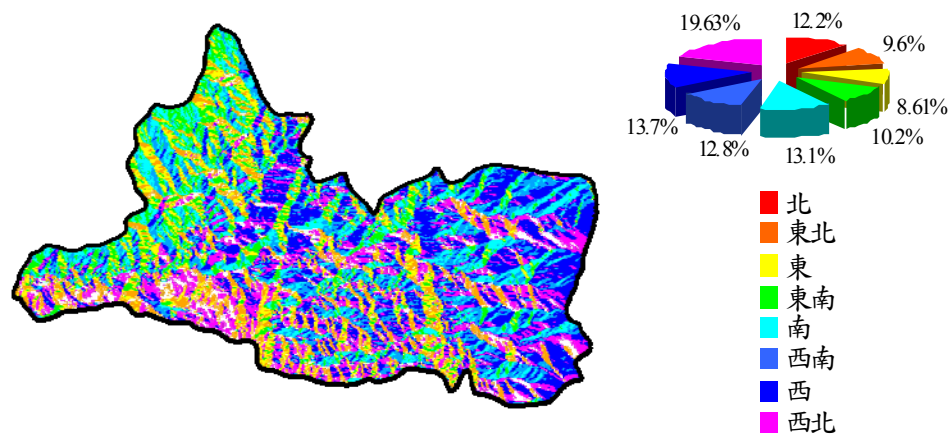


圖 4 集水區坡向分佈示意圖

Fig. 4 Aspect distribution map of Li-Yu-Tan Reservoir Watershed

陳文福、吳專誠: 鯉魚潭水庫集水區降雨與水質監測中優養因子關係之探討

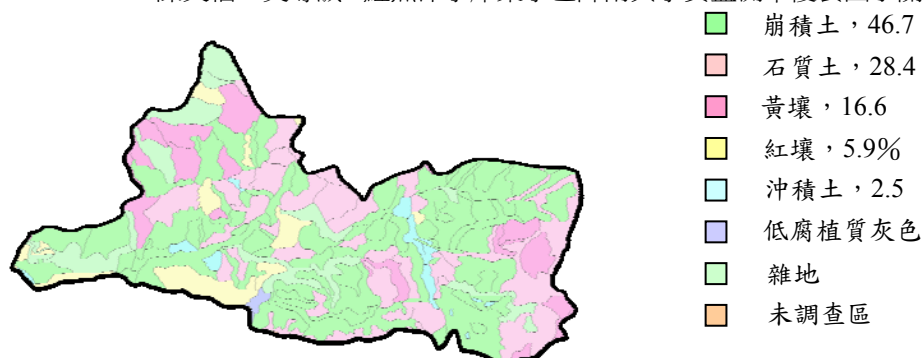


圖 5 鯉魚潭水庫集水區土壤分佈示意圖

Fig. 5 Soil distribution map of Li-Yu-Tan Reservoir Watershed

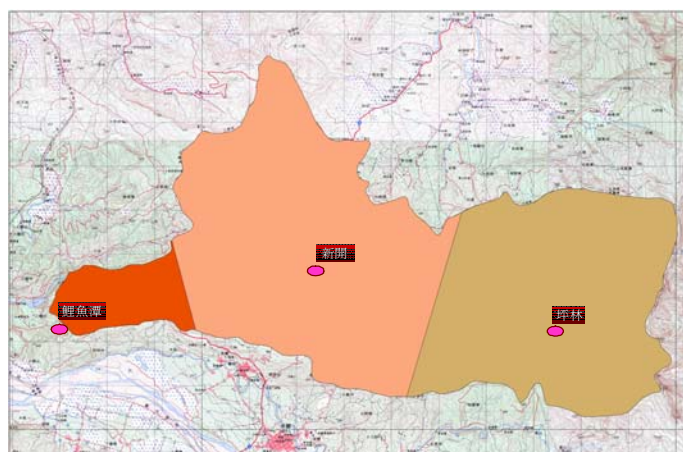


圖 6 鯉魚潭、新開、坪林等雨量站加權分析

Fig. 6 The weighted analysis for Li-Yu-Tan, Xin-Kai and Ping-Lin rain gauge station

本研究利用前述監測器所測得2006~2008年水庫水質監測資料,包括:水溫(Water Temperature)、導電度(Conductivity)、溶氧量(Dissolved Oxy, DO)、酸鹼值(pH)、濁度(Nephelometric Turbidity Unit, NTU)、葉綠素(Chlorophyll)等6項水質參數共計各有51,465筆;由於監測設備斷續的故障及維修導致監測數據出現異常,經刪除水質監測異常及未降雨日之資料,並進行日平均值計算後得到各項水質參數(樣本數)為268筆。

本研究將蒐集之各項水庫水質監測資料,先去除未降雨日與儀器故障及維修時段之異常監測值等資料,再以平均值方式計算出各水質參數之日平均值,得到各268筆之水質監測樣本數。接著進行迴歸分析(Regression Analysis)。

此外,將蒐集之集水區日降雨量資料按雨量大小予以分級,依據教育部網站之台灣自然生態中,2.1.5節之「降雨量」,進行降雨量屬性分類。經彙整後將此降雨量資料分別與各水質參數探討降雨量對各項水質參

#### 四、資料分析方法

水土保持學報 42(2) : 151-166(2010)

Journal of Soil and Water Conservation, 42(2) : 151-166(2010)

數相關之情形。再進行 ANOVA 檢定，以探討不同降雨量對各水質因子間之顯著情形。

## 結果與討論

本章為將降雨量、水質監測資料以迴歸分析及 ANOVA 檢定結果，探討降雨量分別與各項水質因子間之關係，及各級降雨量屬性間對應水質變異情形，詳細內容分述如下。

### 一、降雨量屬性分類

依據表 1 之降雨量屬性，將未量化之「毛毛雨」所可能代表之微小雨量納入小雨級距，經整理得樣本數量如表 2。其中「超大豪雨」並無樣本數、「特大豪雨」3 筆、「豪雨」9 筆，為使得本研究更為嚴謹以合乎統計分析

之樣本數為 30 個以上之條件，乃將「豪雨」以上之雨量併入「大雨」級距中進行分析討論。因此，本研究將雨量分為小雨（3mm 以下）、中雨（3~15mm）、大雨（15 mm 以上）等 3 個級距。

### 二、降雨量與各水質因子間相關性分析

本研究採用 SPSS 軟體將降雨量與水質之 6 項因子各 268 筆樣本數，以  $\alpha = 0.05$  之條件進行迴歸分析，找出具顯著性的因子分別探討降雨量與該等因子間相關之情形。經分析得降雨量與各水質因子迴歸分析結果示如表 3、4。由表 3 可知僅降雨量與溶氧量、pH 值及葉綠素之 F 值，皆大於在  $\alpha = 0.05$  之顯著水準及分子自由度為 1、分母自由度

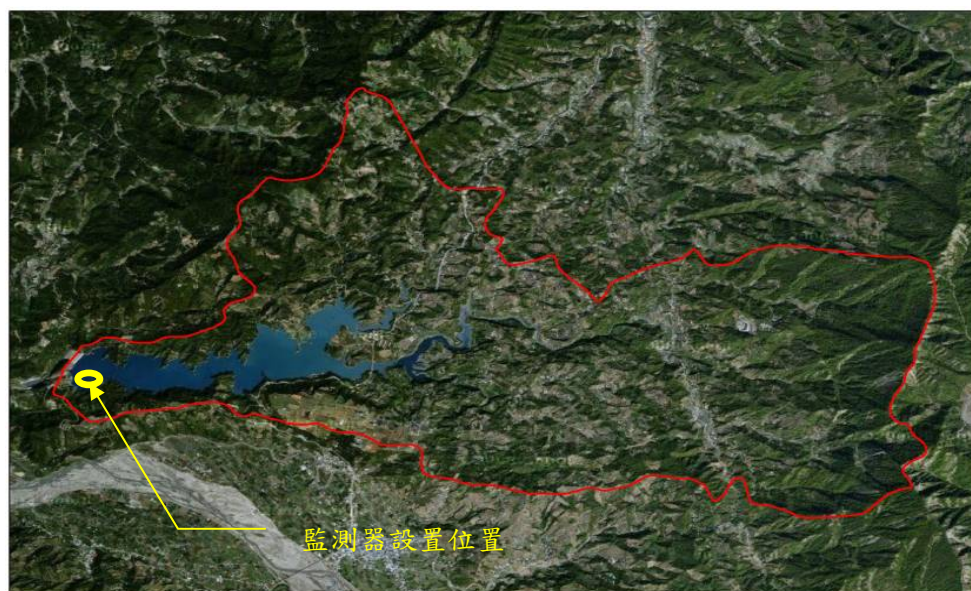


圖 7 水質監測器設置位置示意圖

Fig. 7 The site setted map of water quacity detector

陳文福、吳專誠：鯉魚潭水庫集水區降雨與水質監測中優養因子關係之探討及氨（MH）等物質，在無人干擾之因素下雨水之 pH 值將可能降至 5.0 左右；酸雨在台灣中部酸化程度為 pH 值介於 4.9~5.5（薛美莉，2000）。也因此導致本水庫之 pH 值隨降雨而降低。

表 2 各降雨級距樣本數

Table 2 Sample numbers for each rainfall level

| 降雨量級距           | 樣本數 |
|-----------------|-----|
| 小雨（3mm 以下）      | 122 |
| 中雨（3~15mm）      | 100 |
| 大雨（15~130mm）    | 34  |
| 豪雨（130~200mm）   | 9   |
| 特大豪雨（200~350mm） | 3   |
| 超級豪雨（350mm~）    | 0   |

$n = 268 - 2 = 266 > 120$  之 F 分配下  $F_{0.05} = 3.84$ ，且呈顯著關係。又由表 4 得知降雨量與此三個因子間相關之方向。經整理表 3、4 後分別討論如下：

#### （一）降雨量與溶氧量呈負相關

當降雨時溶氧量卻相對降低。由於本集水區三年來降雨多屬小雨及豪大雨次數不多之低降雨量特性，對於廣而深之水庫容易因層溫變化造成不同密度之水體沉降，使表面水層溶氧量受下層低溶氧水層綜合之趨勢而降低；相對地，下層水之溶氧也因此增加而提升優養之環境。更由於近年來全球氣候異常，各地出現水旱災，降雨量低使得優養化問題更為嚴重（陳韻如，2006），應為導致降雨量與溶氧量所呈負相關之關係，更顯出本水庫潛在優養化之趨勢，不因降雨而降低。

#### （二）降雨量與 pH 值呈負相關

當降雨量時 pH 值相對降低。乃因近年來工業污染所造成酸雨（Acid Rain），以及大自然循環所釋放硫化氫（H<sub>2</sub>S）、硝酸根（NO<sub>3</sub>）

#### （三）降雨量與葉綠素呈正相關

因本集水區降雨特性容易導致層溫變化及密度不同之水體沉降，加上降雨將集水區地表營養鹽帶入水庫，且雨水自集水區入流至水庫、再流至壩體附近之取水口之監測點，其移動之距離甚遠，為增加優養程度及降雨與葉綠素呈正相關之可能原因。

#### 三、降雨量屬性與各水質因子間之變異分析

將降雨屬性與水質資料進行 ANOVA 分析及 Scheffe 檢定後，獲得各降雨屬性間之顯著差異示如表 5。由表 5 可知溶氧量於小雨之顯著性大於大雨之顯著性，顯示本集水區經常性小雨所產生水中溶氧量大於大雨所產生之溶氧量。而其他水質因子在各級降雨屬性中並無明顯之差異。

## 結論與建議

本研究針對鯉魚潭水庫集水區降雨與水質各因子間之關係進行分析與討論後，獲得結論與建議如下：

#### 一、結論

（一）本集水區所擷取之 2006~2008 年之降雨資料顯示其降雨屬性為「小雨」與「中雨」居多，且日平均雨量約 16.8mm。

表 3 降雨量與各水質各因子之迴歸分析

Table 3 Regression analysis of rainfall v.s. water quality factors

|                |    | 平方和       | 自由度 | 平均平方和   | F 檢定  | 顯著性   |
|----------------|----|-----------|-----|---------|-------|-------|
| 水溫<br>(°C)     | 迴歸 | 2.464     | 1   | 2.464   | 0.233 | 0.630 |
|                | 殘差 | 2816.990  | 266 | 10.590  |       |       |
|                | 總和 | 2819.454  | 267 |         |       |       |
| 導電度<br>(mS/cm) | 迴歸 | 0.001     | 1   | 0.001   | 0.572 | 0.450 |
|                | 殘差 | 0.466     | 266 | 0.002   |       |       |
|                | 總和 | 0.467     | 267 |         |       |       |
| 溶氧量<br>(mg/L)  | 迴歸 | 48.947    | 1   | 48.947  | 5.323 | 0.022 |
|                | 殘差 | 2445.985  | 266 | 9.195   |       |       |
|                | 總和 | 2494.932  | 267 |         |       |       |
| pH值            | 迴歸 | 1.174     | 1   | 1.174   | 7.778 | 0.006 |
|                | 殘差 | 40.163    | 266 | 0.151   |       |       |
|                | 總和 | 41.338    | 267 |         |       |       |
| 濁度<br>(NTU)    | 迴歸 | 3.920     | 1   | 3.920   | 0.065 | 0.799 |
|                | 殘差 | 16030.260 | 266 | 60.264  |       |       |
|                | 總和 | 16034.181 | 267 |         |       |       |
| 葉綠素<br>(µg/L)  | 迴歸 | 191.612   | 1   | 191.612 | 4.312 | 0.039 |
|                | 殘差 | 11821.116 | 266 | 44.440  |       |       |
|                | 總和 | 12012.728 | 267 |         |       |       |

表 4 降雨量與各水質因子間之迴歸係數表

Table 4 Regression coefficients of rainfall v.s. water quality factors

|               |      | 未標準化係數 |       | 標準化係數  |    | t       | 顯著性   |
|---------------|------|--------|-------|--------|----|---------|-------|
|               |      | B 之估計值 | 標準誤   | Beta   | 分配 |         |       |
| 溶氧量<br>(mg/L) | (常數) | 6.750  | 0.201 |        |    | 33.594  | 0.000 |
|               | 降雨量  | -0.011 | 0.005 | -0.140 |    | -2.307  | 0.022 |
| pH值           | (常數) | 8.875  | 0.026 |        |    | 344.727 | 0.000 |
|               | 降雨量  | -0.002 | 0.001 | -0.169 |    | -2.789  | 0.006 |
| 葉綠素<br>(µg/L) | (常數) | 7.090  | 0.442 |        |    | 16.053  | 0.000 |
|               | 降雨量  | 0.021  | 0.010 | 0.126  |    | 2.076   | 0.039 |

表 5 各級距降雨量對水質各因子之變異數分析

Table 5 ANOVA result for rainfall level v.s. water quality factors

| 應變數            | 雨量屬性<br>(I) | 雨量屬性<br>(J) | 平均差異<br>(I-J) | 標準誤     | 顯著性   | 95% 信賴區間 |         |
|----------------|-------------|-------------|---------------|---------|-------|----------|---------|
|                |             |             |               |         |       | 下界       | 上界      |
| 水溫<br>(°C)     | 小雨          | 中雨          | -0.55213      | 0.43821 | 0.453 | -1.6309  | 0.5266  |
|                |             | 大雨          | -0.79460      | 0.56091 | 0.368 | -2.1754  | 0.5862  |
|                | 中雨          | 小雨          | 0.55213       | 0.43821 | 0.453 | -0.5266  | 1.6309  |
|                |             | 大雨          | -0.24247      | 0.57912 | 0.916 | -1.6680  | 1.1831  |
|                | 大雨          | 小雨          | 0.79460       | 0.56091 | 0.368 | -0.5862  | 2.1754  |
|                |             | 中雨          | 0.24247       | 0.57912 | 0.916 | -1.1831  | 1.6680  |
| 導電度<br>(mS/cm) | 小雨          | 中雨          | 0.00124       | 0.00566 | 0.976 | -0.0127  | 0.0152  |
|                |             | 大雨          | 0.00549       | 0.00725 | 0.751 | -0.0124  | 0.0233  |
|                | 中雨          | 小雨          | -0.00124      | 0.00566 | 0.976 | -0.0152  | 0.0127  |
|                |             | 大雨          | 0.00425       | 0.00748 | 0.851 | -0.0142  | 0.0227  |
|                | 大雨          | 小雨          | -0.00549      | 0.00725 | 0.751 | -0.0233  | 0.0124  |
|                |             | 中雨          | -0.00425      | 0.00748 | 0.851 | -0.0227  | 0.0142  |
| 溶氧量<br>(mg/L)  | 小雨          | 中雨          | 0.62663       | 0.40879 | 0.310 | -0.3797  | 1.6329  |
|                |             | 大雨          | 1.35776(*)    | 0.52325 | 0.036 | 0.0697   | 2.6458  |
|                | 中雨          | 小雨          | -0.62663      | 0.40879 | 0.310 | -1.6329  | 0.3797  |
|                |             | 大雨          | 0.73112       | 0.54024 | 0.401 | -0.5988  | 2.0610  |
|                | 大雨          | 小雨          | -1.35776(*)   | 0.52325 | 0.036 | -2.6458  | -0.0697 |
|                |             | 中雨          | -0.73112      | 0.54024 | 0.401 | -2.0610  | 0.5988  |
| pH值            | 小雨          | 中雨          | 0.06301       | 0.05308 | 0.495 | -0.0677  | 0.1937  |
|                |             | 大雨          | 0.09262       | 0.06795 | 0.396 | -0.0746  | 0.2599  |
|                | 中雨          | 小雨          | -0.06301      | 0.05308 | 0.495 | -0.1937  | 0.0677  |
|                |             | 大雨          | 0.02961       | 0.07015 | 0.915 | -0.1431  | 0.2023  |
|                | 大雨          | 小雨          | -0.09262      | 0.06795 | 0.396 | -0.2599  | 0.0746  |
|                |             | 中雨          | -0.02961      | 0.07015 | 0.915 | -0.2023  | 0.1431  |
| 濁度<br>(NTU)    | 小雨          | 中雨          | -0.01553      | 1.05017 | 1.000 | -2.6007  | 2.5696  |
|                |             | 大雨          | 0.29090       | 1.34421 | 0.977 | -3.0181  | 3.5999  |
|                | 中雨          | 小雨          | 0.01553       | 1.05017 | 1.000 | -2.5696  | 2.6007  |
|                |             | 大雨          | 0.30644       | 1.38785 | 0.976 | -3.1100  | 3.7228  |
|                | 大雨          | 小雨          | -0.29090      | 1.34421 | 0.977 | -3.5999  | 3.0181  |
|                |             | 中雨          | -0.30644      | 1.38785 | 0.976 | -3.7228  | 3.1100  |
| 葉綠素<br>(µg/L)  | 小雨          | 中雨          | 1.26980       | 0.90541 | 0.375 | -0.9590  | 3.4986  |
|                |             | 大雨          | 0.09320       | 1.15891 | 0.997 | -2.7596  | 2.9460  |
|                | 中雨          | 小雨          | -1.26980      | 0.90541 | 0.375 | -3.4986  | 0.9590  |
|                |             | 大雨          | -1.17660      | 1.19653 | 0.617 | -4.1220  | 1.7688  |

| 應變數 | 雨量屬性<br>(I) | 雨量屬性<br>(J) | 平均差異<br>(I-J) | 標準誤     | 顯著性   | 95% 信賴區間 |        |
|-----|-------------|-------------|---------------|---------|-------|----------|--------|
|     | 大雨          | 小雨          |               |         |       | 下界       | 上界     |
|     |             | 中雨          | -0.09320      | 1.15891 | 0.997 | -2.9460  | 2.7596 |
|     |             |             | 1.17660       | 1.19653 | 0.617 | -1.7688  | 4.1220 |

\* 在 $\alpha = 0.05$  水準上的平均差異很顯著。

(二) 本集水區屬經常性中、小雨之降雨量偏低特性，對於廣而深之水庫容易因層溫變化造成不同密度之水體沉降，以及降雨時將集水區地表營養鹽帶入水庫中，導致降雨量與溶氧量呈負相關、與葉綠素呈正相關；而水體沉降使優養化趨勢更為嚴重。

(三) 近年來工業污染所造成酸雨，以及大自然循環所釋放硫化氫、硝酸根及氨等物質，應為導致本集水區 pH 值與降雨量呈負相關之原因。

(四) 本集水區經常性小雨所產生水中溶氧量大於大雨所產生之溶氧量，而其他水質因子在各級降雨屬性中並無明顯之差異。

## 二、建議

(一) 水質監測資料的異常值（遺漏等）比例高達 35.43%，顯示該自動化水質監測儀的故障警示，以致無法簡易、順利傳達訊息予管理人員，對於儀器與終端警示之方式尚有改善之空間。

(二) 本研究蒐集三年之資料中，水質之監測資料僅自來水取水口一處而已，且豪雨之降雨資料次數太少致使某些問題尚難徹底掌握到，未來如能有較多監測點之水質資料及較長時間之降雨數據時，應可針對降雨量之多寡與水質變異情形作更完整之探討。

## 參考文獻

1. 教育部網站，  
[http://www.edu.tw/populace.aspx?populace\\_sn=2#](http://www.edu.tw/populace.aspx?populace_sn=2#) (2009)。
2. 方世榮 (1998)，「統計學導論」第三版，華泰文化事業公司，P. 469~568。
3. 行政院農業委員會水土保持局 (2006)，「水土保持手冊」。
4. 行政院環保署 (2009)，「環境水質監測年報—97 年 1 月至 12 月」，行政院環境保護署環境監測及資訊處。
5. 吳朱華、張益三 (2006)，「水庫水質建立模式—以南化水庫為例」，化工期刊 53 (4)：110~119。
6. 林炤映 (2004)，「以水質自動監測系統與統計分析方法分析日月潭水庫之水質變化趨勢」，碩士論文，大葉大學環境工程學系碩士班。
7. 陳育偉 (1995)，「應用多變量統計方法判識水庫優養化」，碩士論文，國立台灣大學農業工程研究所。
8. 陳韻如 (2000)，「台灣生物多樣性的損失-哪些資源正在流失?水質優養化」，國立

陳文福、吳專誠: 鯉魚潭水庫集水區降雨與水質監測中優養因子關係之探討  
台灣大學生物多樣性研究中心。 甲大學土木及水利工程研究所。

9. 張志雄 (2008), 「水庫集水區特殊事件與水庫中濁度流分佈相關性之研究」, 碩士論文, 輔英科技大學環境工程與科學系碩士班。
10. 黃建源 (2000), 「多變量統計方法在日月潭水庫水質管理之應用」, 碩士論文, 逢討會論文集, P. 1-10-1~1-10-10。
12. 黃富昌、李俊福、古煥林、賴允偉、陳淳圓、吳承恩 (2005), 「以多變量統計分析探討寶山水庫水質優養化最適指標」, 第三十屆廢水處理技術研討會論文集, P. 1~10。
13. 梁文傑、張能復 (1988), 「環境監測政策評析」, 環境保護政策分析叢書 (十)。
14. 黃秀蓮、張大年、何燧源 (1994), 「環境分析與監測」, 科技圖書股份有限公司。
11. 黃富昌、林嘉鴻、顏冠忠 (2006), 「以多變量統計分析探討石門水庫水質優養化」, 2006 年台灣環境資源永續發展研
15. 經濟部水利署中區水資源局 (2005), 「鯉魚潭水庫集水區治理工程調查規劃設計報告」, P. 1-1~2-50。
16. 薛美莉 (2000), 「臺灣中部山區降雨水質及酸性沉降」, 行政院農委會特有生物研究保育中心。
17. Carlson, R.E. (1977) "A Trophic State Index for Lakes", *Limnology and Oceanography*, 22 (2) : p.361-369.

---

98年07月31日收件

98年09月03日修改

99年03月04日接受

水土保持學報 42(2) : 151-166(2010)  
Journal of Soil and Water Conservation,42(2) : 151-166(2010)