

# 水清石見-台灣北部水庫水質監測

劉芊妤<sup>1</sup> 徐安驊<sup>1</sup> 廖苡均<sup>1</sup> 陳正儒<sup>2\*</sup> 張維凱<sup>2</sup> 王奕甯<sup>2</sup>

## 摘要

水質監測是當代重要的環境課題，透過遙測進行水庫水質推估較傳統的人工測點採樣省時省力，且有迅速獲知大範圍水質資訊的優點。本研究使用福衛五號、陸域衛星八號影像與地理資訊系統，選定北台灣石門與寶山水庫，以遙測光譜和庫區水質現地資料建立迴歸模型進行水質監測。數據分析成果顯示兩個庫區水質的迴歸模型在葉綠素 a、總磷、化學需氧量的水質推估判定係數皆在 0.61~0.75 之間。利用迴歸模型能呈現庫區水體整體水質分布，估測水質與岸區土地利用有很高的關聯性。利用遙測以迴歸模型進行水庫水質之空間推估，未來能應用於台灣其他水庫。

**關鍵詞：**水質監測、遙測、福衛五號、陸域衛星八號

## 1. 前言

### 1.1 研究動機

眾所皆知，桃園市是個山明水秀的地方，桃園水庫廣為人知，但是有雨時沒水，沒雨時也沒水，卻是桃園在地人共同的記憶。沒雨時牽涉到水源的調配，但是有雨時沒水卻是因為豪雨導致水庫濁度飆高，淨水場處理不及，這不禁使我們想去了解我們所飲用水源的水質是如何被偵測，是否能有一個監測工具能提供做為參考。透過課堂所學的地理資訊系統，以及老師介紹我國福衛五號衛星 (FORMOSAT-5, FS5) 影像的應用，讓我們得以落實我們的想法。因此，我們決定從與我們生活用水有緊密關係的水庫水質開始進行研究，並與鄰近水庫進行比較。政府開放資料的網站上提供每月一次的水質測站資料，但是這些資料為個別點位的呈現，除了時間 (一月一次或一季一次) 與空間 (4-6 個測站) 的解析不高之外，更是以表格與統計圖的方式來呈現，令人難以一窺全豹。研究指出，評估水質營養等級，傳統上是採用有限的水質採樣檢測，再根據營養等級指

數評估污染狀況。但以少數分散式的點狀資料，藉以判斷整個水域的水質狀態，顯然是以偏概全。而結合少數的採樣點資料及大面積涵蓋的遙測資訊，則可以進行統計迴歸分析，並快速推估廣大水域水質分佈。為了以衛星影像了解水庫水質狀況，研究使用地理資訊系統工具，配合衛星影像與現地資料，選擇石門水庫與寶山水庫，進行驗證，以思考、探討並驗證這些問題，完成以監測庫區水質及優養化情形為主題的專題研究。

### 1.2 研究目標

透過衛星影像與地理資訊系統的結合，配合現地測站資料，以 2018-2019 年的資料進行迴歸分析，了解桃園石門水庫與寶山水庫的水質與優養化現象。本研究之研究目標茲列如下：

- (1) 蒐集研究區、測站地調資料與衛星資料。
- (2) 熟悉 GIS 分析工具與衛星影像處理程序。
- (3) 衛星光譜與現地調查資料進行迴歸分析並映射水庫整體水質分布狀態。
- (4) 透過時序衛星影像能瞭解不同時期水庫水質的變化。

<sup>1</sup> 桃園市立中壢商業高級中等學校 綜合高申科 三年級學生

<sup>2</sup> 桃園市立中壢商業高級中等學校 地理科教師

\* 通訊作者, 電話: 03-4929871, E-mail: ccru@clvsc.tyc.edu.tw

收到日期: 民國 109 年 11 月 02 日

修改日期: 民國 110 年 03 月 17 日

接受日期: 民國 110 年 03 月 22 日

## 2. 文獻回顧

從相關應用文獻可知 (Gholizadeh *et al.*, 2016、蕭文哲, 2013), 水庫的優養化依營養程度分為三種狀態: 貧養狀態、中養狀態及優養狀態。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、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。因此多將營養源的濃度做為優養指標, 分別量測磷酸鹽、基礎生產力的葉綠素 a 的濃度、用沙奇盤測定水質透明度的可見深度與有機物分解所需之化學需氧量等。磷酸鹽來自赤潮、自然界動、植物的屍體腐爛分解, 或人造含磷的合成清潔、沐浴等洗淨劑或者是化學農肥料等等, 排入河川時會造成磷酸鹽污染, 水中磷酸鹽過多時會促使大量微藻類生長, 同時造成水色混濁降低透明度並且有非常高的生化氧需求。因此在水庫的監測上, 主要監測因子分別為總磷、透明度和葉綠素 a, 並可結合化學需氧量進行比對。目前我國環保署用於評估水庫水質優養程度的指標為「卡爾森指數 (Carlson Trophic State Index, CTSI)」。CTSI 係以水中的透明度、葉綠素 a 及總磷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 (行政院環境保護署, 2020)。

傳統的水質監測都是以現地採樣的方式, 但此方法往往受人力、時間及物力影響; Gholizadeh *et al.* (2016) 提及傳統水庫水質調查方法缺點與限制有: (1) 水質參數之現場採樣和測量需要大量的勞動、時間與金錢; (2) 無法調查大型水體的時空變化和水質趨勢; (3) 限於地形可及性, 無法取得整個水體的監控、預測和管理; (4) 由於現場採

樣及實驗室的誤差, 收集到的現場數據其準確性和精確性可能令人懷疑。

由於遙測技術的應用逐漸成熟, 在國內已被應用於各個領域。近年來, 遙測技術所具大範圍及即時特性吸引不少學者開始利用遙感探測技術進行水庫水質監測。遙測技術使用在水質評估中是有用的工具。水質遙測之探討文獻, 一般可分為指標污染物參數項目的選擇、光譜變量的選擇及應用的模式等 (施明倫等, 2010、Chang *et al.*, 2009、González-Márquez *et al.*, 2018)。藉遙測技術的日益精進, 顯示出強大的監測和評估水質的能力。許多研究人員在研究中經常使用太陽光譜的可見和近紅外波段 (主要是從藍色到近紅外區域) 來獲得水質反射率與物理和生物化學等成分, 例如水體中的透明度、葉綠素濃度及有機物和礦物懸浮沉積物。配合傳統的採樣方法和現場調查結合使用, 可將遙測影像、空間統計和水質推估模型相結合, 增進人們對於水庫整體區域水質現況的偵測時空效率。楊明德等 (2008) 利用 SPOT 衛星於德基水庫作為水質觀測工具, 該研究使用衛星影像, 並於影像中取 5 個測點獲取水質 (葉綠素、透視度及磷酸鹽) 樣本及光譜樣本, 以多變量迴歸分析模式預估水質; 而蕭國鑫等 (2004) 使用衛星影像與現地採樣資料, 以德基水庫為研究區, 建立水質與光譜值參數的迴歸模式, 同時結合地面輻射偵測儀進行推估的水質模擬, 可以準確推估德基水庫之水質分布與時間變化, Chang *et al.* (2009) 以福衛影像進行曾文水庫的葉綠素與懸浮固體物水質繪圖, Mushtaq & Lala (2017) 則以陸域衛星八號, 配合現調資料, 利用迴歸分析進行湖泊水質參數推估並製圖, 說明利用遙測影像, 如福衛與陸域等光學衛星影像來監測特定水質參數的可行性。因此, 使用衛星影像, 配合的水質現地勘查資料, 即可成為一個快速且大範圍的水質監測工具。本研究挑選台灣北部石門水庫與寶山水庫, 兩個不同規模型態的水庫, 以遙測技術來進行庫區水質監測的測試。

### 3. 研究資料與方法

#### 3.1 研究區簡介

本研究以石門水庫與寶山水庫做為研究區域。依蓄水容量與集流區大小，石門水庫屬於大型蓄水水庫，而寶山水庫則屬於小型水庫，水庫特性分述如下。

##### 3.1.1 石門水庫

為台灣北部的最主要水庫之一，位於桃園市大溪區、龍潭區、復興區與新竹縣關西鎮之間的石門峽谷，如圖 1(a) 所示。為一在槽型水庫（大漢溪）。水庫採土石堤岸型壩體，攔截淡水河支流的大漢溪溪水蓄水而成，石門水庫也具有發電廠，是台灣第一座多功能水庫。正常蓄水位標高為 245 m，總蓄水量則為 3.1 億  $m^3$ 。石門水庫壩高達 133.1 m，是全台灣高度最高的土石壩，集水區範圍約 136  $km^2$  (政府開放資料 KML 檔案計算取得)。

石門水庫水質汙染之原因主要為颱風豪大雨後土石沖刷大量泥砂及上游土地利用與開發，造成透明度降低與營養鹽、總磷增加，影響水庫水質優養化現象，進而導致藻類的異常增生。藻類因為光合作用及其他生理現象，對營養鹽（特別是氮、磷）之變化十分敏感，加上藻類種類繁多、分佈廣的特性，不同種類忍耐污染物的能力也不相同，使得藻類十分適合做為水質營養鹽及有機污染物的生物指標（經濟部水利署北區水資源局，

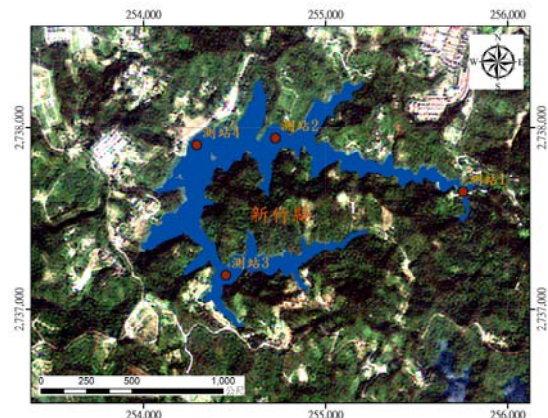
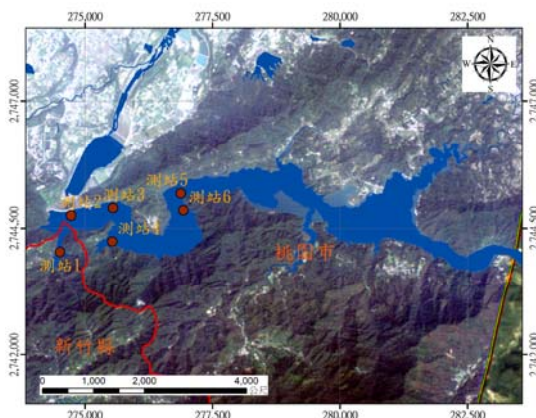
2008）。

##### 3.1.2 寶山水庫

寶山水庫位於新竹縣寶山鄉山湖村，新竹科學工業園區於 1980 年成立時，為了配合園區用水，開始興建，水源包括頭前溪支流柴梳溪及上坪溪越域引水，於民國 70 年興建至 73 年 10 月完工，民國 75 年後正式通水啟用，如圖 1(b) 所示。寶山水庫為離槽式水庫，水源主要來自頭前溪上游之上坪溪、由上坪攔河堰引水，經水利會之竹東圳輸入水庫。寶山水庫總容量為 550 萬  $m^3$ ，集水面積為 3.2  $km^2$ 。供應新竹科學工業園區之工業用水，新竹、竹北、寶山、竹東等地用水（台灣自來水公司第三區管理處，2005）。依行政院環境保護署於 2010 年寶山水庫水質治理方案計畫中提到汙染源主要有山鄉山湖村生活污水、垂釣汙染、農地汙染與岸堤、道路邊坡崩塌及植生保土性不足所產生。

#### 3.2 資料取得

為研究所需，本研究蒐集 2018 年至 2019 年之衛星影像，包括陸域衛星 8 號（本文以後稱 L8）與福衛五號（本文以後稱 FS5）影像、地面測站水質監測資料（水利署水情監測網與環保署全國環境水質監測資訊網）與自政府開放資料平台取得之台灣地區鄉鎮、縣市界與河川水系向量檔（ESRI SHP 格式）作為後續製圖之用。所有資料圖檔將統一轉換成 TWD97 二度分帶座標進行處理分析。



(a) 石門水庫 (影像底圖為 FS5 2018/03/18 自然色強化) (b) 寶山水庫 (影像底圖為 FS5 2019/10/15 自然色強化)  
圖 1 水庫位址與其水質測站分布 (TWD97 座標)

### 3.2.1 衛星資料

本研究使用 L8 與 FS5 影像，進行研究。以下進行衛星性質的簡略敘述如下：

#### (1) 陸域衛星 8 號

Landsat 8 於 2013 年 2 月 11 日發射，該衛星備有陸地成像儀 (OLI) 和熱紅外傳感器 (TIRS)。OLI 被動感應地表反射的太陽輻射和散發的熱輻射，有九個波段的感應器，覆蓋了從紅外到可見光的不同波長範圍，與 Landsat 7 的 ETM+傳感器相比，OLI 增加了一個藍色波段，和一個短波紅外波段。TIRS 是有史以來最先進，性能最好的熱紅外傳感器，目標是了解所觀測地帶之水分消耗，本研究配合福衛五號使用相同之波段進行分析，波段資訊列表如表 1。資料可參考 <https://www.wmo-sat.info/oscar/instruments/view/375>。L8 的衛星影像資料可利用美國國家地質調查局 (USGS, 2020) 地球探索者網站 <https://earthexplorer.usgs.gov/> 下載，本研究使用 Landsat8 level 2 影像集，這是地球資源觀測與科學 (EROS) 中心，以陸地表面反射率代碼 (LaSRC) 演算法，去除大氣影響的取得之大氣層頂(TOA)地表反射率產品。使用者利用網站介面選取研究區域之時序影像後，下訂單後，約等 2~3 天即可批次下載。

表 1 陸域衛星 8 號波段資訊列表

頻段	波段 $\mu\text{m}$	解析度(m)
Band 2 (Blue)	0.452 – 0.521	30
Band 3 (Green)	0.533 – 0.590	30
Band 4 (Red)	0.636 – 0.673	30
Band 5 (NIR)	0.851 – 0.879	30

#### (2) 福衛五號

福爾摩沙衛星五號，簡稱福衛五號是首個由臺灣完全自主研发的光學遙測衛星。其於 2017 年 8 月 24 日成功發射。福衛五號的遙測成像儀 (Remote Sensing Instrument, RSI) 多光譜影像可偵測藍、綠、紅、近紅外四波段光，其遙測對地的解析度為黑白影像 2 m，彩色影像 4 m，波段資訊如表 2，繞行地球一週約 99 分鐘，且每兩天會在同一時間通過同一地點的上空，詳細衛星參

數資料可以參考 <https://www.wmo-sat.info/oscar/instruments/view/1172> 所述。本研究透過國家太空中心的空間資料市集申請研究區域的影像，通過核可後下載。

表 2 福衛五號波段列表

頻段	波段 $\mu\text{m}$	解析度(m)
Band 1 (Blue)	0.63 – 0.69	4
Band 2 (Green)	0.52 – 0.60	4
Band 3 (Red)	0.45 – 0.52	4
Band 4 (NIR)	0.76 – 0.90	4

### 3.2.2 水質測站資料

研究所需的水質測站資料由全國環境水質監測資訊網 (<https://wq.epa.gov.tw/Code/?Languages=tw>) 蒐集並配合無雲衛星影像監測時間整理而成，主要為 2018-2019 年間石門測站及寶山測站之監測數據，詳見表 3 與表 4。依文獻研究，本研究將選擇四項監測資料，包括總磷 (TP)、葉綠素 a (CHI-a)、化學需氧量 (COD) 與透明度 (SDD)，配合衛星影像資料，進行分析研究。研究主要進行總磷、葉綠素 a、化學需氧量以及透明度四項水質進行遙測估測。以下簡述四項監測資料特性：

- (1) 總磷：主要由正磷酸鹽、聚(焦)磷酸鹽及有機磷所組成，水中的磷幾乎全部以磷酸鹽 (phosphate) 型式存在，為構成土壤養分及動植物原生質的要素。磷是植物生長的重要養分，當過量的磷進入水體，將造成藻類大量繁殖及死亡，並會因其腐敗分解大量耗氧，導致水中溶氧耗盡，形成優養化現象。單位為 ( $\mu\text{g/L}$ )。
- (2) 葉綠素 a：葉綠素的種類很多，較常見的有呈藍綠色的葉綠素 a 及呈黃綠色的葉綠素 b，葉綠素 a 和 b 的成分相差無幾，皆能吸收太陽光，只有在內部結構和吸收不同波長光線上有所差別，陸上植物葉綠素 a 與 b 的比例大約是 3 比 1。當水體中葉綠素 a 偏高時，表示水中藻類過量繁殖，間接也反應了水體優養化程度。單位為 ( $\mu\text{g/L}$ )。

表 3 石門水庫水質監測站地面資料與衛星資料監測列表

測站	衛星形式	現地量測時間	影像時間	日期差
石門 1、2、3、4、5、6	FS5	20180307	20180318	+11
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20180511	20180516	+5
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20180706	20180719	+13
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20180801	20180804	+3
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20180906	20180921	+15
石門 1、2、3、4、5、6	FS5	20181207	20181201	-6
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20190410	20190417	+7
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20190604	20190620	+16
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20190806	20190813	+7
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20190905	20190908	+3
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20191004	20191010	+6
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20191101	20191111	+10
石門 1、2、3、4、5、6	L8	20191205	20191213	+8

表 4 寶山水庫水質監測站地面資料與衛星資料監測列表

測站	衛星形式	現地量測時間	影像時間	日期差
寶山 1、2、3、4	FS5	20180307	20180318	+11
寶山 1、2、3、4	L8	20180514	20180516	+2
寶山 1、2、3、4	L8	20180705	20180719	+14
寶山 1、2、3、4	L8	20180809	20180804	-5
寶山 1、2、3、4	L8	20180905	20180921	+16
寶山 1、2、3、4	L8	20190411	20190417	+6
寶山 1、2、3、4	L8	20190613	20190620	+7
寶山 1、2、3、4	L8	20190807	20190813	+6
寶山 1、2	L8	20190909	20190908	-1
寶山 3、4	L8	20191001	20191010	+9
寶山 1、2、3、4	F5	20191001	20191015	+14
寶山 1、2、3、4	LC08	20191101	20191111	+10
寶山 1、2、3、4	LC08	20191209	20191213	+4

- (3) 化學需氧量：水中有機物質分解需要氧氣，因此化學需氧量越大，說明水體受有機物的污染越嚴重。測定值為將汙水中的所有有機廢料氧化時，所消耗氧的總量。在 COD 測定過程中，有機物被氧化成二氧化碳和水。水中各種有機物進行化學氧化反應的難易程度是不同的，因此化學需氧量只表示在規定條件下，水中可被氧化物值的需氧量的總和。單位為(mg/L)。
- (4) 沙奇盤透明度：水質透明度表示水中的懸浮粒子與溶解物質與物態如膠狀有關，可以說是濁度與水色的綜合水質指標。當溶解物有顏色或是懸浮粒子多時，則透明度越小。單位為 m。

全國環境水質監測資訊網平台網站提供十分便利的資料搜尋與下載平台，本研究將取得的資料整理成 EXCEL 檔案以做為後續統計分析與地理資訊系統資料連結分析之用。利用測站的經緯度座標，也數化入地理資訊系統中，並轉換 TWD 97 座標，作為抽取衛星影像像素光譜與製圖之用。

### 3.3 研究方法

本研究使用 ESRI ArcGIS 8.3 地理資訊系統軟體與 IBM SPSS 26 統計軟體，並使用 i5 8GB-RAM，1TB SSD 筆記型電腦進行分析。參考前人研究與配合本研究需求，研究流程分為 (1)從衛星影像與水質測站地真資料蒐集、(2)影像前處理、(3)建立水質光譜迴歸關係模型、(4)利用模型參數，以衛星光譜資料繪製水體水質分布狀況，

本研究之研究流程如圖 2 所示。

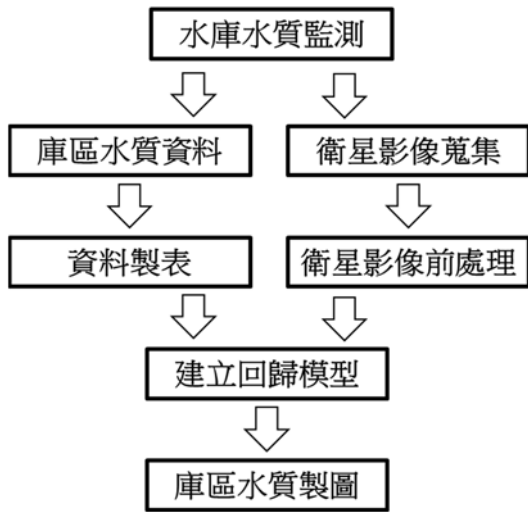


圖 2 研究流程圖

### 3.3.1 資料前處理

影像資料下載之後，L8 資料先進行資料波段疊合，配合福衛影像波段，本研究選取 Band 2-5 之波段配合福衛影像波段排列次序進行疊合，並進行投影座標轉換，以利測站區域範圍之波段資訊萃取。福衛影像為疊合之 GeoTIFF 影像檔案，利用影像資料檔案所附參數轉數像元數值 (DN) 轉換大氣層頂反射率 (TOA) 後，以暗物法 (Dark Object Method) 消去大氣效應成地表反射率。由於水體光譜反射值很小，因此研究中將 FS5 波段光譜值配合 L8 的產品資料格式 (USGS, 2020)，乘以 10,000 尺度因子，以進行的資料分析運算。同時，本研究亦萃取庫區測點位置之衛星光譜資料與計算常態化植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)。NDVI 的計算如下：

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \dots\dots\dots (1)$$

其中 *IR* 為紅外光波段，*R* 為紅光波段。此外，由於我們採取線性迴歸，為了增加 SPSS 對迴歸參數的選擇，我們亦計算了四個波段光譜倒數，

如 1/*R*。

地真資料與衛星影像時間配對後，將選擇最近日期之無雲遮蔽測站區域影像，由於影像與測站資料並無時間之一致，考慮 L8 影像 16 日再訪週期，我們以 16 日作為標準，超出±16 日資料不予採用。石門水庫衛星影像與地真列表如表 3，寶山水庫衛星影像與地真列表如表 4。測站區域使用濾除陸地部分的 5×5 影像區域，萃取對應使用之衛星影像測站周圍區域光譜平均與地真資料製表製成 Excel 試算表，作為統計軟體與地理資訊系統分析製圖之用。

### 3.3.2 迴歸分析

依文獻討論如 Gholizadeh *et al.* (2016)、楊明德等 (2008) 與蕭國鑫等 (2008) 研究所示，水質參數和光譜資料的關係，可由線性多元迴歸模式予以推求：

$$Y = X\beta + \varepsilon \dots\dots\dots (2)$$

其中 *Y* 代表水質估測值；*X* 代表多光譜反射值。 $\varepsilon$  代表隨機誤差； $\beta$  為欲解之迴歸係數。依據文獻參考，本研究使用光譜線性組合求取最佳迴歸式，SPSS 軟體提供了便捷的迴歸統計功能，我們以逐步參數輸入的方式，利用資料比對移除高相關波段，並提供最佳水質的預測模式，其後我們利用統計檢定進行模式預測力評估。

本研究先就各水質測站之水質監測參數進行統計檢定，檢定成果顯示，寶山與石門其各測站之水質參數監測，在葉綠素 a (CHI-a)、透明度 (SDD)、化學需氧量 (COD) 與總磷 (TP) 並為明顯差異。因此本研究將分別以石門水庫 6 個測站 13 張影像、寶山水庫 4 個測站 13 張影像進行迴歸分析，建立光譜水質預測模型。

### 3.3.3 成果製圖

由於不同時期之水庫水位差異，導致庫區水體不同時期水域有所差異。為了能以光譜水質迴歸模型映射不同時間之水庫水體區域水庫水體，本研究以常態化植生指數 NDVI 閾值法萃取水體

後，再以進行區域生長法選出庫區水體區域。本研究以  $NDVI < 0.1$  之閾值進行水體萃取，之後再以水體區域光譜以迴歸模型進行光譜水質映射。

## 4. 成果與討論

### 4.1 迴歸模型分析

本研究以 SPSS 執行逐步迴歸分析建立衛星光譜之水質預測模型，包括葉綠素 a (CHI-a)、透明度 (SDD)、化學需氧量 (COD) 與總磷 (TP) 等水質參數與使用光譜波段，石門水庫與寶山水庫水質迴歸模式列表如表 5 所示。

由迴歸模型函數與參數組成可知，其中水質參數的葉綠素 a 可以視為紅光與紅外光之組合，紅外光越強，會增加葉綠素 a 的數值，而紅光反射高則表示葉綠素 a 值降低；水質透明度與紅光有關，透明度與紅光反射有關，紅光反射越強，透明度越高。而化學需氧量與藍光、綠光波段有關，藍光反射高表示 COD 低，而綠光反射高則會增加 COD 的需求，總磷可以植生指數來進行數值推估。數據顯示兩個庫區水質的迴歸模型在葉綠素 a、總磷、化學需氧量的水質推估判定係

數皆在 0.6~0.75 之間。

### 4.2 製圖成果

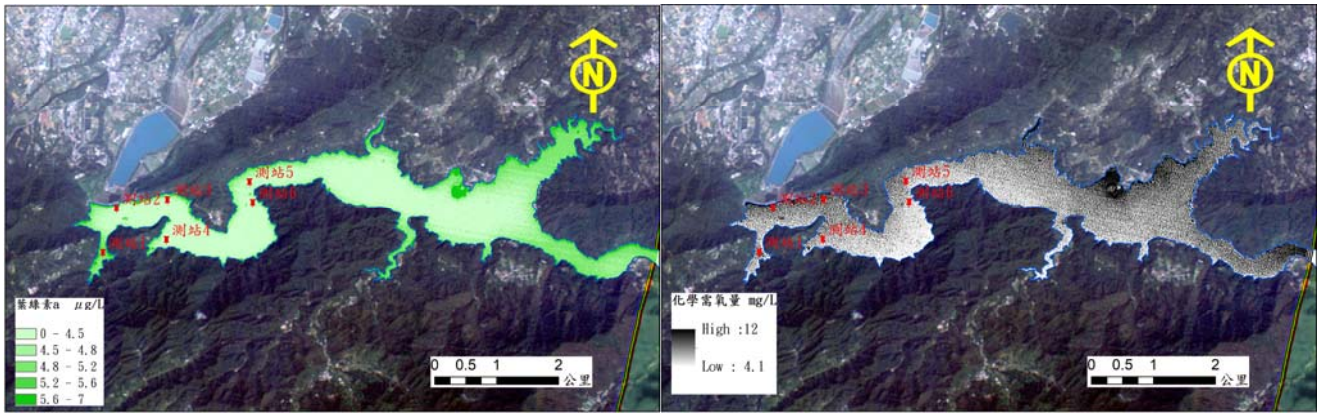
透過迴歸模型，利用衛星光譜與模型參數，我們以福衛影像推估石門水庫 (時間 2018 年 3 月 18 日) 與寶山水庫 (時間 2019 年 10 月 15 日) 之水質空間分布。石門水庫各水質推估圖如圖 3，寶山水庫各水質推估圖如圖 4 所示。由總體而言，由水質推估圖可以觀察到，兩個水庫在岸區皆有較高之葉綠素 a 濃度、總磷，化學需氧量高且透明度較差，特別是岸區有非植被的土地利用區域。估測水質與岸邊土地利用型態有很大的關連性，與政府調查報告 (經濟部水利署，2017、行政院環境保護署，2010) 所述相當吻合。

而相較於寶山水庫，石門水庫水庫的水質參數顯示較為“清澈潔淨”，主要是由於水庫的水體區域大且蓄水區域較寶山水深。未來有影像，我們就可以利用我們現有的迴歸模型，由影像光譜推估水質狀況。如果影像與地面資料能夠於未來同時獲取，可以重新調整研究的迴歸模型，提高模型的解釋力與預測效果。

表 5 石門水庫與寶山水庫水質光譜水質估測模型列表

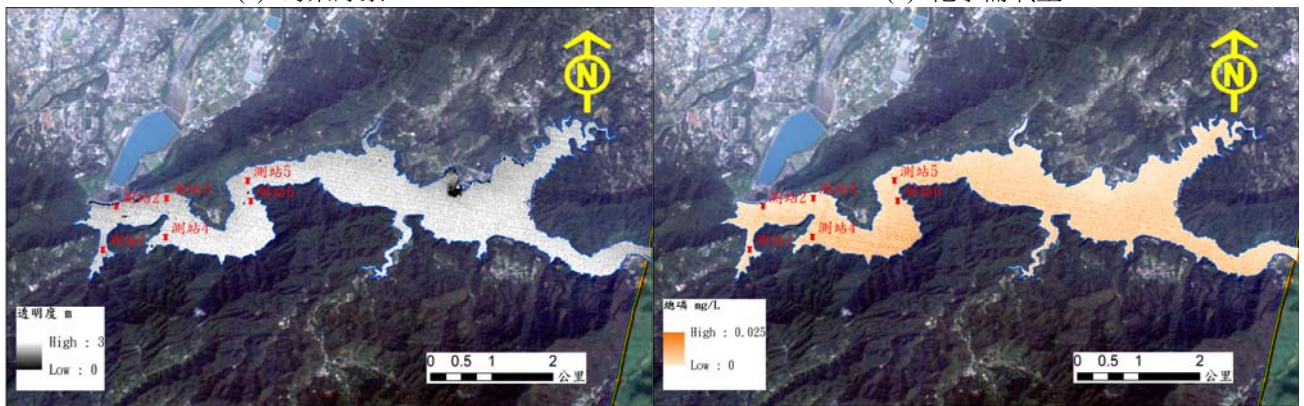
區域	迴歸模型	R <sup>2</sup>
石門水庫	(CHI-a) = 0.982+0.21*IR-0.14*R	0.625
	(SDD) = 2.208-64.151/R	0.632
	(COD) = 4.952-221.781/B+863.558/G	0.711
	(TP) = 0.24-0.27*NDVI	0.681
寶山水庫	(CHI-a) = 0.986+0.2*IR-0.22*R	0.712
	(SDD) = 2.147-93.626/R	0.681
	(COD) = 4.152-212.781/B+742.112/G	0.701
	(TP)=0.20-0.19*NDVI	0.631

註：IR 為紅外光段 R 為紅光段、G 為綠光段，數值尺度皆須乘 10,000。NDVI 為常態化植生指數，尺度固定



(a) 為葉綠素 a

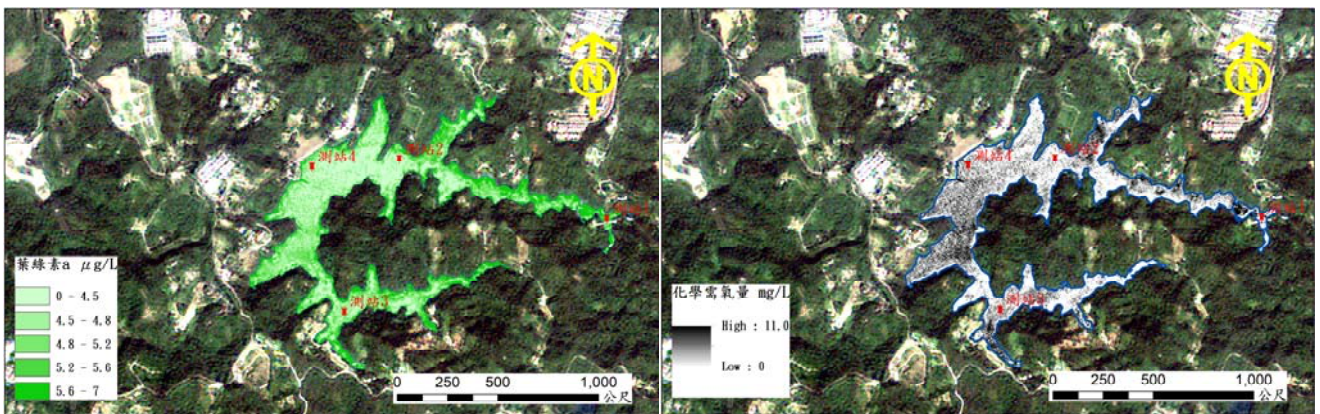
(b) 化學需氧量



(c) 透明度

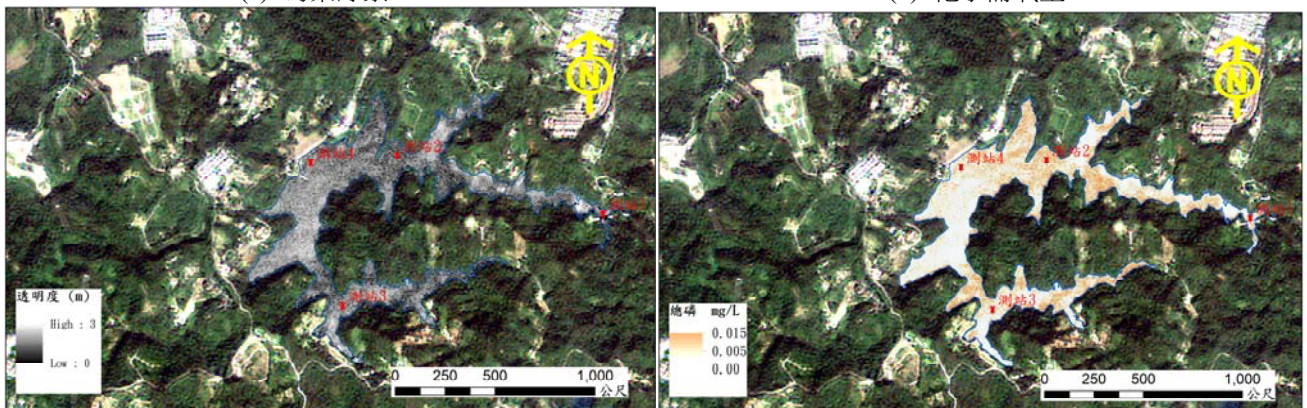
(d) 總磷

圖 3 石門水庫 2018/03/18 福衛五號影像水質推估



(a) 為葉綠素 a

(b) 化學需氧量



(c) 透明度

(d) 總磷

圖 4 寶山水庫 2019/10/15 福衛五號影像水質推估



## 5. 結論及心得

透過本研究對石門與寶山水庫兩水庫，以衛星影像進行庫區水質監測的成果，可以知道：

- (1) 水質監測是環境監測很重要的一環，包括飲水安全、水域生態及農業灌溉都很重要。衛星遙測技術現今已被廣泛使用於自然環境的監測，衛星是可有效偵測庫區水質，提供高時效且廣域的水質資訊，以作為環境監測的利器。在本研究中地面水質資料，透過結合多張衛星影像光譜資料進行迴歸分析，可以得到不錯的推估成果，同時利用迴歸模型能推估水庫水質整體的空間分布，並且可以得到多時序的水質資料，將助於我們了解環境事件所造成水質波動。相信更多更多的衛星影像與時空匹配的地面資料加入，可以調整迴歸模型，得到更精準之估測成果。
- (2) 本研究利用衛星資料與現地資料建立迴歸方程式以推估水庫整體的水質現象，數據顯示兩個庫區水質的迴歸模型在葉綠素 a、總磷、化學需氧量的水質推估判定係數皆在 0.6~0.75 之間。透過這樣的方式可以針對未來衛星影像的資料配合現地資料建立迴歸模型以進行水庫水質的空間與時間推估。
- (3) 本次因為衛星的監測時間與現地調查時間差異的關係，導致推估的方程式的偏差，未來若有同時段或時間差距小的資料加入，應可提升迴歸方程式之準確度。另外，由文獻可知水質光譜關係使用非線性迴歸模型能有較高的推估成效，本研究目前採用光譜線性組合的迴歸模型，未來可以嘗試使用非線性模型。
- (4) 水庫的水質會受氣象的影響，例如降雨、溫度變化等因素，本次研究未能考慮到氣象造成的變化，未來如能增加氣象資料，應能有效提升水庫水質的預測精度。
- (5) 水質是非常重要的環境指標，透過研究我們利用衛星與現地資料可以得到不錯的偵測現象，研究方法應能推廣至台灣地區其他湖泊

水域之遙測水質監測之應用，研究成果將有助於利用遙測影像進行水庫湖泊水質之空間推估呈現與環境事件影響變遷分析。

在製作論文的期間，我們學習到了許多以前不曾接觸到的地理資訊處理與統計分析軟體，並討論找出可行的水質監測方法。發現原來研究實作比想像中的困難，從最初水質資訊、GIS 與遙測的門外漢，開始進行資料蒐集彙整、遙測影像分析處理，到統計模型的建立，最後完成報告的寫作，在在費盡心力，次次領悟我們不懂的東西還很多而且更多。研究過程中壓力很大，但卻知不足而更努力去學習，本次研究過程中，我們除了了解到地表豐富的現象，也發現衛星科技發展竟如此驚人，可以應用在許多研究領域，而不僅僅是監測單一應用。謝謝指導老師在旁適時出手指導並導正我們錯誤的觀念，回首研究過程雖然辛苦，但我們卻得到了更多！

## 誌謝

本研究參加國家實驗研究院國家太空中心 (NSPO) 福衛五號衛星影像應用小論文競賽並由 NSPO 提供福衛五號影像之授權使用，特此感謝。

## 參考文獻

- 台灣自來水公司第三區管理處，2005。寶山水庫集水區調查治理保育規劃。[Third Branch Taiwan Water Corporation, 2005. Bau shan shuei ku ji shuei chiu diau cha jr li bau yu guei hua. (in Chinese)]
- 行政院環境保護署，2010。寶山水庫水質治理方案。[Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan), 2010. Bau shan shuei ku shuei jr jr li fang an. (in Chinese)]
- 行政院環境保護署，2020，環境水質監測網，<https://ewq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx>，引用 2020/3/1。[Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan), 2020. Taiwan Environmental

- water quality information, Available at: <https://ewq.epa.gov.tw/Code/Business/Standard.aspx>, Accessed March 1, 2020. (in Chinese)]
- 施明倫、楊政儒、顏可翰，2010。應用非監督模式分類河川污染空間分佈之研究，航測及遙測學刊，14(4)：287-302。[Shih, M.L., Yang, J.R., and Yan, K.H., 2010. Using unsupervised method to classify the space of river pollution in the image of the satellites, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 14(4): 287-302. (in Chinese)]
- 楊明德、林佑昌、蔡婷鈺、楊擘芬，2008。結合衛星影像與模糊理論於水庫水質優養判釋與管理，中國土木水利工程學刊，20(2)：205-215。[Yang, M.D., Lin, Y.C., Tasi, T.Y., and Yang, Y.F., 2008. Integration of satellite imagery and fuzzy theory into eutrophication interpretation and management for reservoir water quality, *Journal of the Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering*, 20(2): 205-215. (in Chinese)]
- 經濟部水利署，2017。石門水庫及其集水區整治計畫總執行成效(檢討)報告。[Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, 2017. The effectiveness of Shimen Reservoir and its Catchments Management Project. (in Chinese)]
- 經濟部水利署北區水資源局，2008。石門水庫高濁度缺水分析及改善策略檢討。[Northern Region water resources office, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, 2008. Study on the analysis and reforming strategy of water supply shortage caused by exceeded turbidity in Shihmen Reservoir. (in Chinese)]
- 蕭文哲，2013。應用SPOT衛星影像於石門水庫優養判釋與趨勢分析，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。[Hsiao, W.C., 2013. Application of SPOT satellite imagery to eutrophication interpretation and trend analysis for Shihman Reservoir, Master Thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC.(in Chinese)]
- 蕭國鑫、吳啟南、廖子毅，2004。地面光譜資料與SPOT影像應用於水質定量推估研究，航測及遙測學刊，10(2)：169-182。[Hsiao, K.H., Wu, C.N., and Laio, T.Y., 2005. Water quality estimation using spectroradiometer and SPOT data, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 10(2): 169-182. (in Chinese)]
- Chang, C.H., Liu, C.C., Wen, C.G., Cheng, I.F., Tam, C.K., and Huang, C.S., 2009. Monitoring reservoir water quality with Formosat-2 high spatiotemporal imagery, *Journal of Environmental Monitoring*, 11(11): 1982-1992.
- Gholizadeh, M.H., Melesse, A.M., and Reddi, L., 2016. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques, *Sensors*, 16(8): 1298.
- González-Márquez, L.C., Torres-Bejarano, F.M., Torregroza-Espinosa, A.C., Hansen-Rodríguez, I.R., and Rodríguez-Gallegos, H.B., 2018. Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia, *Journal of South American Earth Sciences*, 82: 231-238.
- Mushtaq, F., and Lala, M.G.N., 2017. Remote estimation of water quality parameters of Himalayan lake (Kashmir) using Landsat 8 OLI imagery, *Geocarto International*, 32(3): 274-285.
- United States Geological Survey (USGS), 2020. Landsat 8 Collection 1 Land Surface Reflectance Code Product Guide, Available at: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-collection-1-land-surface-reflectance-code-product-guide>, Accessed March 1, 2020.

# “Seeing the Pebbles on the Riverbed Only through the Clear Water”: Monitor Water Quality of the Reservoirs in Northern Taiwan

Qian-Yu Liu<sup>1</sup>    An-Hua Hsu<sup>1</sup>    Yi-Jun Liao<sup>1</sup>    Cheng-Ru Chen<sup>2\*</sup>  
Wei-Kai Zhang<sup>2</sup>    Yi-Ning Wang<sup>2</sup>

## Abstract

Water quality monitoring is nowadays an essential environment issue. Compared to the traditional survey, using remote sensing data to estimate the water quality in the reservoir is more time-saving, efficient in a large area. This study utilized the satellite images of FormoSat-5 (FS5), Landsat 8 (L8), and geographic information system (GIS) to monitor the water quality of Shimen and the Baoshan Reservoir. The predicted regression model was built based on the spectral data of the collected satellite images and ground-referenced data of the water quality of the Shimen Reservoir and Baoshan Reservoir. The R<sup>2</sup> of chlorophyll-a (ChIa), secchi disk depth (SDD), chemical oxygen demand (COD), and total phosphorus (TP) in Shimen and Baoshan Reservoir are between 0.61 and 0.75. The mapping results can not only present the spatial distribution of water quality in the reservoir area, but also indicate that water quality has high correlation with the land use in the reservoir coastal area. In this study, the procedure of combining remote sensing data and the regression model to estimate the spatial distribution of water quality of the reservoir can be promoted to monitor the water quality of other reservoirs in Taiwan in the future.

**Keywords:** Water Quality Monitoring, Remote Sensing, FormoSat-5, Landsat 8

---

<sup>1</sup> Senior Student, Taoyuan Municipal Zhong Li Commercial Senior High School

<sup>2</sup> Geography Teacher, Taoyuan Municipal Zhong Li Commercial Senior High School

\* Corresponding Author, Tel: 886-3-4929871, E-mail: ccruc@clvsc.tyc.edu.tw

Received Date: Nov. 02, 2020

Revised Date: Mar. 17, 2021

Accepted Date: Mar. 22, 2021