

集水區水質健檢分析及污染削減策略評估 —以湖山水庫集水區為例

ASSESSING THE WATERSHED INTEGRITY OF HU-SHAN RESERVOIR AND
STRATEGY FOR NON-POINT SOURCE REDUCTION

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
研究助理

林郁汶
Yu-Wen Lin

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
教授

許少華*
Shao-Hua Marko Hsu

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
教授

張嘉玲
Chia-Ling Chang

摘 要

1

本研究透過水庫水質水量保護區健檢，分析集水區各項觀測資料，挑出影響水庫水質及庫容永續的潛在危害因子，一者在去除或削減點源及非點源污染，二者在加強區域內水土保育，使相關單位可依其結果及早介入，以預防原水高濁度災害並促進水質之穩定功效，以確保水庫永續利用與穩定供水之標的。

經本研究調查分析湖山水庫水質水量保護區內各子集水區之水質環境後，水質環境評估係根據 SWMM 所分析之桶頭攔河堰以上集水區各子集水區污染量成果，並根據單位面積污染負荷量、點源污染以及污染貢獻占總量比例等排序結果，選出 S2 (支流毛生樹溪集水區)、S5 (支流阿里山溪集水區) 及 S1 (桶頭攔河堰以上主流部分) 分別為前三名之污染熱點，故選上述三個子集水區作為目標，以熱點之方式進行總磷污染削減及策略模擬。

了解熱點區域分布在 S1、S2 及 S5，皆是農地與建物之聚集地，聚落之生活污水所產生之點源污染，以及農地所產生之總磷非點源污染，於湖山水庫集水區廣設 LID (low impact development, 低衝擊開發設施)，達到污染在地處理後排放。當全區控制時，如情境六-同時管制點源及非點源污染 (同時控制點源污染排放濃度削減至 2 mg/L 與非點源污染負荷減少 50 %)，則總磷平均濃度可降至 40 µg/L 以下。

關鍵詞：集水區健檢、總磷污染削減、集水區管理。

* 通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

40724 台中市西屯區文華路 100 號，shhsu@fcu.edu.tw

ASSESSING THE WATERSHED INTEGRITY OF HU-SHAN RESERVOIR AND STRATEGY FOR NON-POINT SOURCE REDUCTION

Yu-Wen Lin

Department of Water Resources
Engineering and Conservation,
Feng Chia University,
Taichung, Taiwan

Shao-Hua Marko Hsu*

Department of Water Resources
Engineering and Conservation,
Feng Chia University,
Taichung, Taiwan

Chia-Ling Chang

Department of Water Resources
Engineering and Conservation,
Feng Chia University,
Taichung, Taiwan

ABSTRACT

Through assessing the basin of Hu-Shan reservoir, this study analyzes the observation data in watershed of the reservoir, and identifies potential threads affecting the water quality as well as sustainable storage capacity of the reservoir. Firstly, to reduce the point source and non-point source pollutions for water quality. Secondly, to strengthen water and soil conservation in the watershed for reducing sediment laden inflow into reservoir; which means, based on the results, the concerned authorities can intervene as quick as possible in order to promote the stability of water quality as well as prevent the consequence of high turbidity in the raw water, ensuring sustainable utilization and stable water supply by the reservoir.

After investigating and analyzing the water quality condition of each sub-catchment area of the Hu-Shan Reservoir, this study assesses the water quality environment of pollution loads in each sub-catchment of the watershed above Tongtou diversion weir according to SWMM analysis. Based on the ranking of pollution load per unit area, point source pollution, and the pollution contribution ratio to total amount, three top pollution hot spots were chosen, which are S2 (the Shengmaoshu tributary catchment), S5 (the Alishan tributary catchment) and S1 (The mainstream above Tongtou diversion weir). Then the three sub-catchment areas become the targets of strategy simulation for pollution reduction.

The hot spots, distributed in S1, S2 and S5, are the human settlement and gathering of agricultural lands, where the point source pollution is caused by the untreated domestic sewage, and the non-point source pollution, such as total phosphorus, is generated from the agricultural lands. Our strategy, by simulation, for pollution reduction is to widely set up feasible LID (Low Impact Development) facilities for the purpose of pollutant discharge after on-site treatment in the watershed of Hu-Shan Reservoir. When the hot-spot area is under control, such as scenario 6, simultaneous control of point sources and non-point sources, the emission concentration of the point source pollutants can be reduced to 2mg /L and non-point source pollutants reduced by 50 %, the average concentration of total phosphorus can be reduced to less than 40 $\mu\text{g/L}$.

Keywords: Assessment of watershed integrity, Pollution reduction, Watershed management.

Lin, Y.W., Hsu, S.H. Marko*, & Chang, C.L. (2022). "Assessing the Watershed Integrity of Hu-Shan Reservoir and Strategy for Non-point Source Reduction." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 68(3), 1-10.
[https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68\(3\).0001](https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68(3).0001)

一、前言

台灣用水最主要來源是雨水，每年大約有二千五百毫米雨量，換算成水量約為九百多億噸。但扣除蒸發、流到海裡和滲入地下後，實際可供運用的只有一百三十五億噸的水量。可是每年的需求量約為一百九十億噸，由於供需失衡，水資源不足的問題乃一年比一年嚴重。

由於自然的地理因素，加上人為的河川污染，使得地表河水的利用率偏低，因此在河川的中上游興建水庫，用來蓄水、增加河水的使用量，是台灣早年處理水資源的主要思維，水庫也是相當重要的水利工程。

台灣現有的八十多座水庫總容量雖僅占總需求量的二成四，卻是調節水資源最重要、也是最有效的一個環節。台灣水庫多數興建的年代久遠，加上經濟的快速發展，上游集水區過度開發的結果，導致水庫淤塞。加上優養化的問題也相當嚴重，正快速地走向衰竭的地步。

湖山水庫於 2016 年正式蓄水啟用，為有效保育湖山水庫（含桶頭攔河堰上游）集水區水質水量，針對湖山水庫及桶頭攔河堰上游集水區水源水質之標的，針對集水區內非點源污染進行調查分析，有效降低水源污染，強化桶頭攔河堰上游水源保護。透過集水區分析各項觀測資料，分析影響水庫水質的潛在危害因子，去除或削減點源及非點源污染，使相關單位可依其結果及早介入，使其促進水質穩定之功效，以確保水庫永續利用與穩定供水之標的並且降低風險。

二、研究內容及方法

2.1 研究區域

湖山水庫為離槽水庫，藉由輸水隧道由桶頭攔河堰引進清水溪豐水期多餘水量，有效蓄水量為 5,300 萬立方公尺。湖山水庫自桶頭攔河堰越域引水，依據水質水量保護區劃定原則，湖山水庫水質水量保護區，範圍包含湖山水庫庫區及桶頭攔河堰兩部分。桶頭攔河堰位於清水溪中游，集水面積為 259.2 平方公里。

2.1.1 水質概況

湖山水庫施工期間之河川水質水量監測，範圍相關之梅林溪流域及清水溪流域均屬於乙類水體，為經混凝、沈澱、過濾、消毒等一般通用之淨水方法處理可供公共給水之水源，依據環保署乙類水體標準，溶氧量須大於 5.5 mg/L、懸浮固體應小於 25 mg/L、生化需氧量應小 2 mg/L、總磷應小於 0.05 mg/L。

1. 施工期間水質情況

施工期間監測資料自 94 年起至今，水體監測成果波動幅度較大，偶有不符合乙類水體標準，總磷監測成果詳如圖 1 所示，其中總磷則於 104 年於部分測站有測得超過 3 (mg/L) 以上之濃度，該濃度屬於嚴重超標。

2. 試營運期間水質情況

試營運期間於 105 年 9 月新設 4 站水質監測站，水質監測成果詳圖 2 所示，總磷則於不同月份水質情況有所波動。

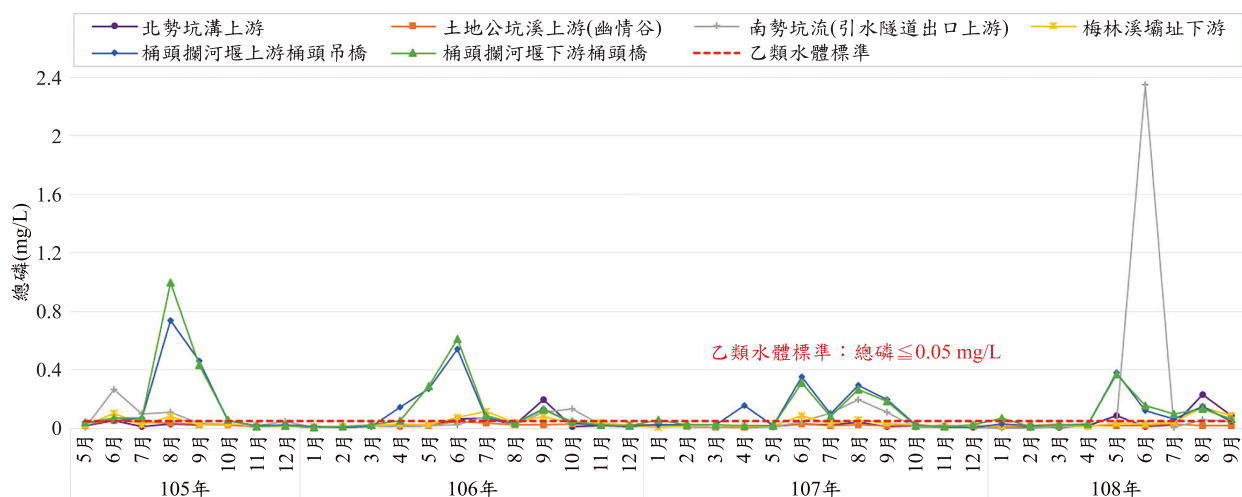


圖 1 中水局施工階段水質監測監測 (總磷) 成果圖

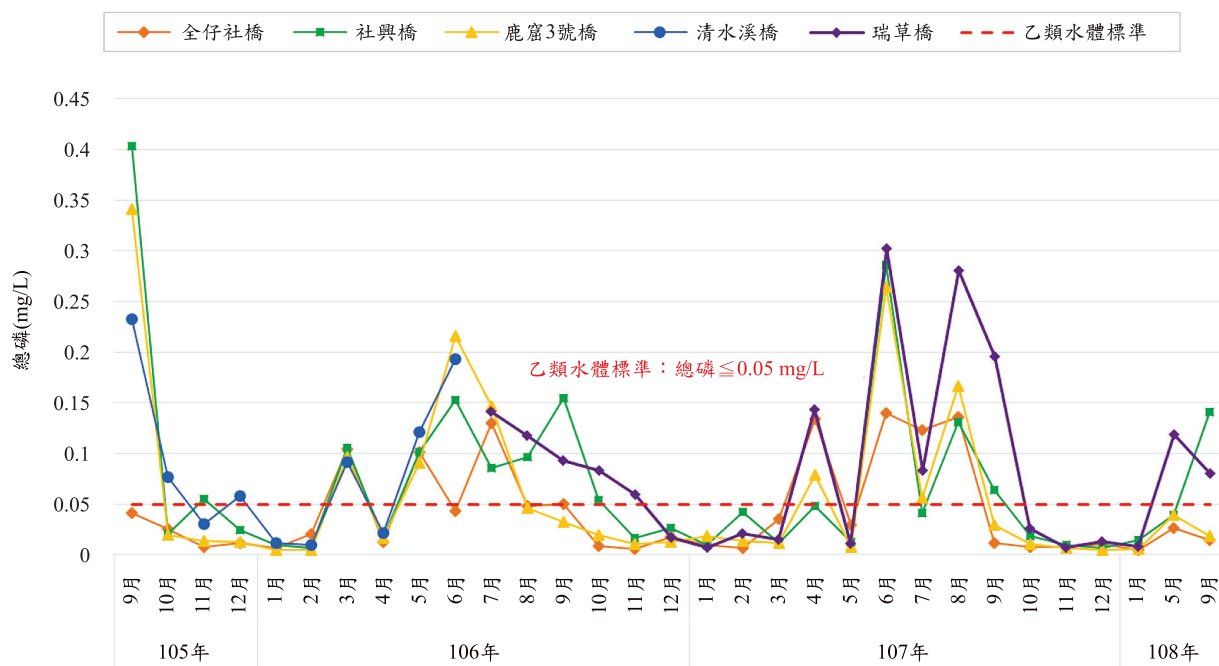


圖 2 中水局試營運階段水質監測 (總磷) 成果圖

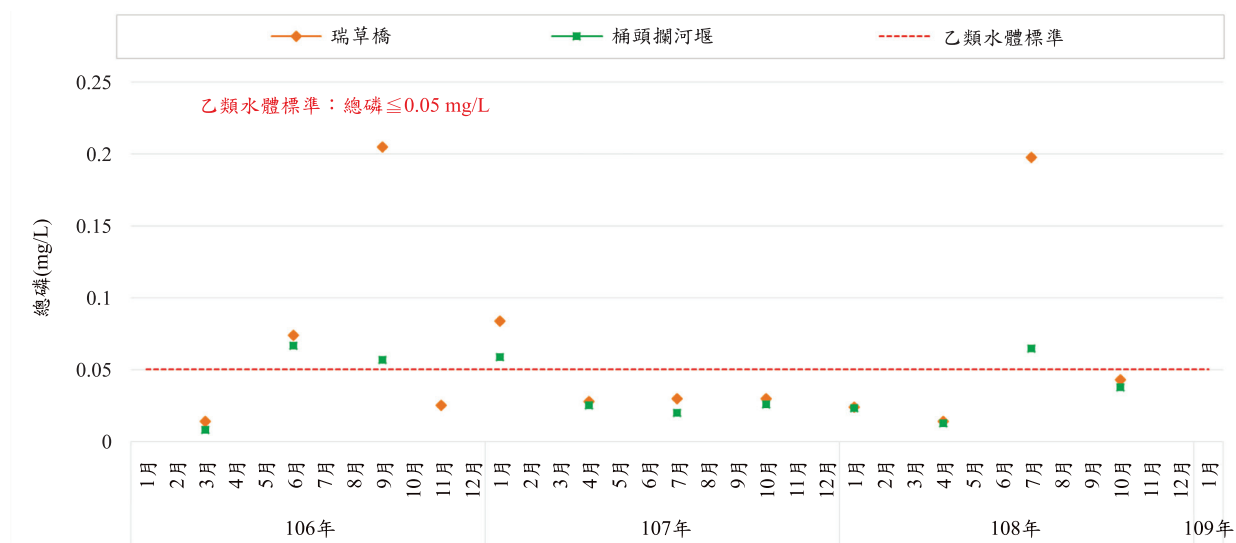


圖 3 環保署水質監測 (總磷) 成果圖

3. 環保署補充監測水質情況

於民國 106 年新設兩站水質測站，監測成果詳見圖 3，總磷部分則僅於 3 月份才有水質採樣成果。

2.1.2 子集水區劃分

依照湖山水庫水質水量保護區之水系、地形等情況，將其集水區劃分子集水區以地形高程劃分，考量部分野溪非經常性有流量，並且在未來實際操作水庫

水質水量保護區健檢及治理規劃上，因此將湖山水庫庫區本身劃分為 1 個子集水區 (湖山)、桶頭攔河堰以上集水區則劃分為 5 個 (S1 ~ S5)，子集水區如圖 4 所示。

2.2 污染推估方法

1. 點源家庭污水盤點

本研究利用各鄉鎮戶政事務所之 2016 年平均人口數，計算各子集水區的人數。而每人每日污水產生

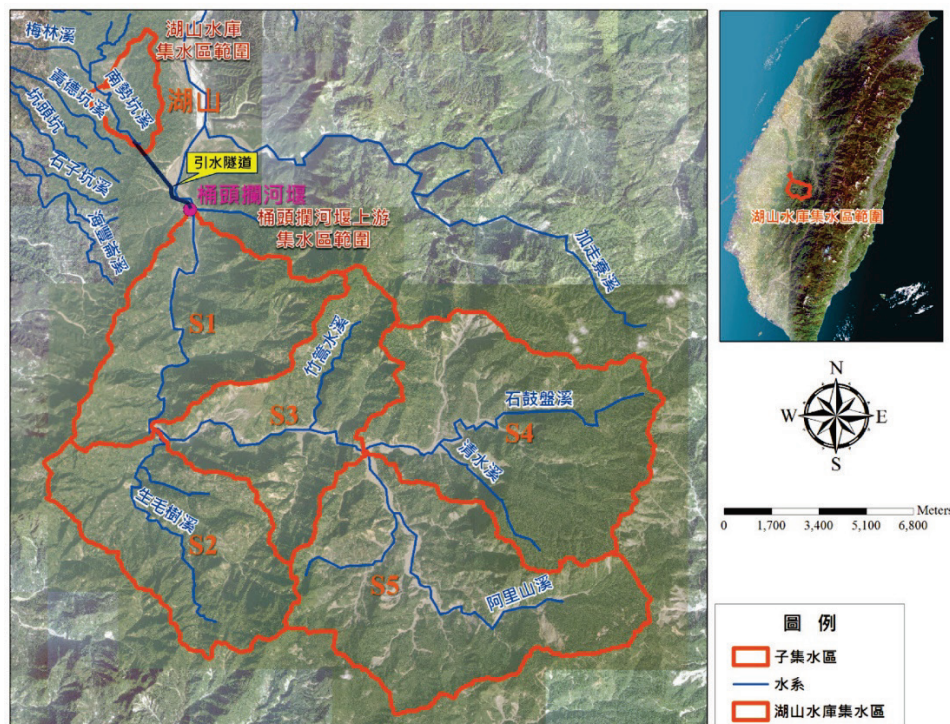


圖 4 湖山水庫集水區之子集水區劃分成果圖

表 1 湖山水庫各子集水區點源與非點源之總磷分配情形表

桶頭攔河堰以上子集水區	人口數	生活污水 (kg/yr)	觀光污水 (kg/yr)	住宿污水 (kg/yr)	點源污染 (kg/yr)	非點源污染 (kg/yr)	污染總量 (kg/yr)
S1	1,949	862.1	-	3.7	865.8	4,836.4	5,702.2
S2	2,431	1075.3	-	107.8	1,183.0	6,110.0	7,293.0
S3	653	288.7	-	321.4	610.2	3,547.9	4,158.1
S4	527	233.2	-	138.4	371.6	3,690.6	4,062.2
S5	2,116	935.9	118	439.4	1,493.4	5,460.8	6,954.2
合計		3395.2	118	1,010.7	4,524.0	23,645.7	28,169.7

備註：1.湖山水庫集水區範圍內無點源污染。

2.湖山水庫庫區集水區範圍內無點源污染。

3.觀光污水=105 年度觀光人數 2,247,796 人 $\times$ 4.04 mg/L $\times$ 13L/1000000=118 (kg/yr)

量之推估，係利用該地區每人每日之用水量乘以係數而得，其係數約為 0.7 至 0.9 之間 (營建署，91 年)。參考經濟部水利署自來水生活用水量統計，嘉義縣、南投縣與雲林縣 2016 年之平均每人每日生活用水量，因此本研究假設生活污水量為每人每日 300 公升。為符合當地生活污水之總磷濃度，乃參考附近污水處理廠進流水平均濃度 4.04 mg/L 做為家庭污水之假設，綜整計算後，水庫集水區內之生活污水之總磷污染量為 3,395 kg/yr (此值已是排放量，非產生量) (詳表 1 所示)。

2. 點源觀光污水及住宿污水盤點

湖山水庫集水區內之遊憩區為阿里山森林遊樂區，依據調查 2016 年之旅客人數約為 224.7 萬人，此外阿里山遊樂區位置偏遠，遊客的觀光習慣多為停留

一天以上居多，尤其是遊覽車型態之觀光客，因此以遊憩區域之廁所用之水為主。根據經濟部水利署節用水技術手冊提及，一般舊型馬桶每次沖水量約在 12 公升左右，而洗手用水約為 1 公升，故本研究假設每人每日所產生之觀光污水量為 13 公升，排放濃度則採與當地生活污水估算濃度 (4.04 mg/L) 相同。而過夜遊客所產生之住宿污水乃與當地居民之生活污水無異，透過調查可粗略估計約有 60 家民宿飯店，再透過電訪及網路搜尋等方式估計可容納之人數約為 3,264 人，假設此區之住房率為七成。因此，觀光與住宿污水合計總磷負荷量為 1,129 kg/yr。

總整以上，生活與遊憩污水合計總磷負荷量為 4,524 kg/yr，詳如表 1 所列。後續將依實際推估之點源污染量放入模式中，同時模擬點源及非點源污染造

成水庫集水區之影響。

3. 非點源污染盤點

本研究調查保護區內非點源污染基礎資料，包含人口數、聚落面積、土地利用、地質與土壤分布…等，可作為後續進行非點源污染分析之基礎。過去非點源污染量之推估大多使用單位面積輸出法，利用過去研究建議的單位面積污染輸出係數乘以各土地利用之面積。但由於各地區所產生之污染量，會受到許多條件影響，例如降雨型態，再者，考慮之後在策略研擬上需了解各區塊子集水區之污染狀況，故本研究乃採用水質模式對於非點源污染進行推估。

4. 集水區水質環境評估

本研究利用 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources) 系統建立集水區幾何特性資料，包含集水區劃分、坡度計算、面積計算等。再將數位化的集水區特性輸入 SWMM (Storm Water Management Model) 模式，進行集水區水文與水質模擬，SWMM 模式目前已廣泛應用於都市暴雨逕流以及集水區水文、水力及水質問題模擬與分析上，透過各項監測資料與模擬值進行參數率定 (calibration) 與驗證 (verification)，以確立其可信度，後續即可進行負荷量之計算及策略擬定。

SWMM 模式率定與驗證程序以統計指標方法進行模擬值與實測值之資料分析，本研究採用平均絕對誤差百分比 (MAPE, Mean Absolute Percentage Error) 衡量模擬值與實測值之間的相關性，代表模擬值和實測值之間的正相關或負相關，Lewis (1982) 提出平均絕對誤差百分比 $MAPE < 15\%$ 為高準確預測， $10\% \sim$

20% 為優良預測、 $20\% \sim 50\%$ 為合理預測、 $MAPE > 50\%$ 為不準確預測。本研究根據湖山水庫工程施工期間環境監測總報告，選用桶頭攔河堰上游桶頭吊橋之 105 年監測資料進行模式率定驗證，桶頭攔河堰為集水區之最下游處，故以此測站監測資料作為模式之率定驗證，可完整瞭解及掌握集水區各支流之水文水質狀況，提高模式之準確度。平均絕對百分比誤差 (MAPE) 率定 (1 月 ~ 6 月) 之結果為 30.5% ，驗證 (7 月 ~ 12 月) 之結果為 40.8% ，結果均在可接受值範圍之內，且流量模擬結果符合率定驗證標準後 (詳圖 5 所示)，即進行水質參數的率定驗證模擬。桶頭吊橋水質監測站之總磷率定驗證結果如圖 6 所示，其率定及驗證之 MAPE 分別為 49% 和 43% ，結果皆落於可接受值範圍，可藉由判定指標證明 SWMM 模式所模擬之數值與實際值接近並認定此套參數之可使用性。

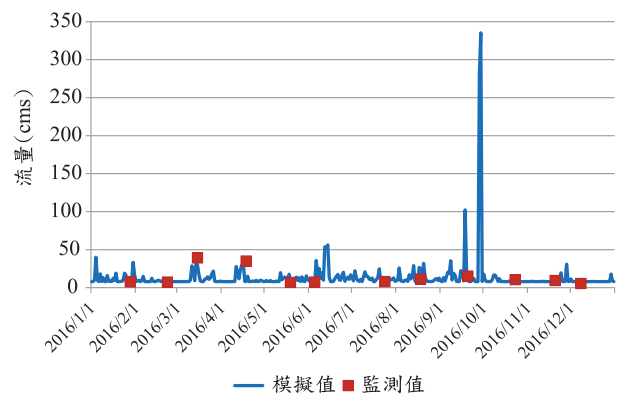


圖 5 湖山水庫水質水量保護區流量率定驗證圖 (桶頭吊橋監測點)

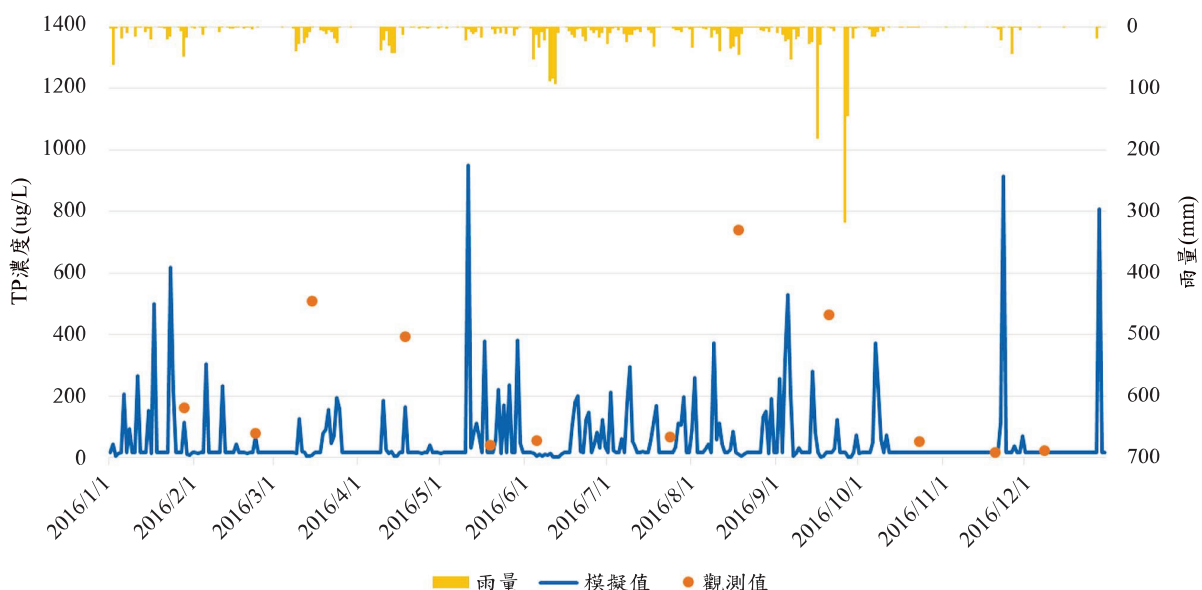


圖 6 湖山水庫水質水量保護區總磷率定驗證圖 (桶頭吊橋監測點)

2-3 集水區水質健檢分析方法

參考經濟部水利署所執行中之「全國水庫集水區水源保護總體檢計畫」中所採用之水質健檢項目，作為快速分析水庫集水區健康程度。

1. 卡爾森指標 (CTSI) 以及河川污染指標 (RPI)

環保署對於水庫水質的監測指標以卡爾森指標 (後稱 CTSI) 來表示，而河川則採用河川污染指標 (後稱 RPI) 來表示，CTSI 係由水中透明度、葉綠素 *a* 及總磷濃度計算而得，一旦水中含砂量上升，則水中透明度會下降，且附著於土壤顆粒表面之吸附磷會一併進入水體，致使總磷濃度隨之上升，造成 CTSI 上升。RPI 則是由水中溶氧量、生化需氧量、懸浮固體及氨氮來決定，因此，若水中泥沙濃度上升，則懸浮固體 (SS) 濃度便可能影響 RPI 值。因此由歷年的 CTSI 或 RPI 變化趨勢，可以據此研判水質是否有劣化的情形。

2. 總磷點源污染量

總磷點源污染主要指水庫集水區內因生活、工廠、觀光及畜牧等所產生的未處理廢水，台灣之水庫集水區大部分的點源污染來自於聚落生活污水。本研究利用集水區污染盤點分析各子集水區點源污染量。

3. 總磷非點源污染量

水庫集水區之總磷非點源污染源包括森林、社區、道路及農業行為等，然而因森林所產生的非點源污染屬於無法控制之背景污染源，而且據調查台灣水庫集水區之非點源以農業行為最大宗。非點源污染以 SWMM 模式模擬獲得。

2.4 總磷污染削減策略研擬

建議可先從總磷污染熱區優先管制，因此本研究情境設定，將上述總磷點源與總磷非點源削減假設於總磷污染熱區以及全區實施，共設定六種情境，如表 2。情境一至三將針對總磷污染熱區之總磷點源與總磷非點源污染進行總磷污染削減，即集水區 S1、S2、S5，而情境四至五則是針對全區之總磷點源與總磷非點源污染進行總磷污染削減。此六種情境設定，可評估總磷點源、總磷非點源策略對各自集水區水質改善效果，並評估全部採用時的成效。若採用總磷污染熱區即可達目標濃度目標，則可建議優先管理總磷污染貢獻量大的地區，對水質改善效果有明顯助益者先行管理，再逐步減少其他污染源。

點源削減策略可利用點源國內外經常使用之呈層複合土壤技術或是合併式淨化槽應用。呈層複合土壤

表 2 各總磷削減策略之情境模擬說明一覽表

情境	目標地區	削減策略
情境一	污染熱區 S1、S2、S5	點源污染排放濃度削減至 2 mg/L。
情境二	污染熱區 S1、S2、S5	非點源 (農地) 污染負荷減少 50 %。
情境三	污染熱區 S1、S2、S5	同時控制點源污染排放濃度削減至 2 mg/L 與非點源 (農地) 污染負荷減少 50 %
情境四	全區 (S1~S5)	點源污染排放濃度削減至 2 mg/L。
情境五	全區 (S1~S5)	非點源 (農地) 污染負荷減少 50 %。
情境六	全區 (S1~S5)	同時控制點源污染排放濃度削減至 2 mg/L 與非點源 (農地) 污染負荷減少 50 %

技術主要由混合土塊層 (soil mixture layer, SML) 和透水層 (permeable layer, PL) 組成，其應用於單一住宅污水處理。合併式淨化槽以去除 BOD 與 SS 為主，為推動水體 BOD、氮、磷、總量削減。而非點源削減策略則可以利用低衝擊開發 (LID) 措施，主要有透水性鋪面、綠屋頂、雨水貯集系統、入滲乾井與水質過濾設施等項目，可視設置區位條件選擇合適的項目與工法。

2.5 集水區水質環境評估模式分析

本研究利用 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources) 系統建立集水區幾何特性資料，包含集水區劃分、坡度計算、面積計算等。再將數位化的集水區特性輸入 SWMM (Storm Water Management Model) 模式，進行集水區水文與水質模擬，SWMM 模式目前已廣泛應用於都市暴雨逕流以及集水區水文、水力及水質問題模擬與分析上，透過各項監測資料與模擬值進行參數率定 (calibration) 與驗證 (verification)，以確立其可信度，後續即可進行負荷量之計算及策略擬定。

SWMM 模式在水質計算理論分為兩部分，一是晴天累積，其二為降雨沖刷。此計算來自非點源污染的主要特性：晴天累積在地面的污染物，隨降雨沖刷進入水體，導致水質變化，所以 SWMM 以兩個函數分別模擬晴天污染物累積量以及降雨沖刷量。本研究選擇冪函數 (power function) 為污染物累積函數，如式(1)；降雨沖刷部分則採用事件平均濃度 (eventmean concentration)。

$$B = \text{Min}(C_1, C_2^3) \dots\dots\dots(1)$$

其中，B：污染物累積量、C1：污染物累積上限量、C2：累積係數、C3：時間指數。

水質模式之準確度，係利用該集水區之實際水文與水質監測值與模式模擬值進行率定 (calibration) 與驗證 (verification) 程序，再以統計指標評估兩者差距是否在可接受範圍，藉此證明模式模擬結果的可靠度。

完成桶頭攔河堰以上集水區之總磷污染源盤點與分析，將整個集水區分為 5 個子集水區 (依照地形劃分，為了以模式分析非點源污染而設定)。總磷點污染源分為生活污水、遊憩污水 (又分為觀光過境污水與旅遊住宿污水)，總共總磷點源污染共 4,524 kg/yr。總磷非點源污染以 SWMM 模式模擬獲得，總磷非點源污染共有 23,645.7 kg/yr。因此 SWMM 模式所分析之整個集水區總磷污染量為 28,169.7 kg/yr，總磷非點源污染佔總污染比例 83.9 % (含林地輸出量)，總磷點源污染則佔 16.1 %。各子集水區點源與非點源總磷污染量如表 1 所示。

三、結果與討論

3.1 集水區水質健檢結果分析

湖山水庫集水區內水質平均狀態下屬於普養程度，河川水質部分由於 S1 位於相對較下游位置 (桶頭攔河堰)，故分析其 RPI 指標顯示出較差之情況。而各子集水區內之點源污染接管皆為 0。非點源污染潛勢中以 S2 總量最大，係因該子集水區農業用地最大，故該指標僅能顯示出總量多寡，而無法指出單位面積污染量之情形 (成果詳見表 3 所示)。

3.2 水質環境評估

利用已率定驗證好的參數進行非點源污染計算，得湖山水庫水質水量保護區之非點源污染總量為 23,646 kg/yr，可知 S2 之非點源污染量最高 (與水質環境健檢成果中非點源農業污染潛勢 S2 也為污染量相對最高之子集水區) 為 6,110 kg/yr，原因在於其農業與都市土地面積比例較高；點源污染總量為 4,524 kg/yr。總整點源及非點源污染，桶頭攔河堰以上集水區之總磷污染負荷量為 28,170 kg/yr，詳列如表 4 所示。

表 3 水質環境健檢成果一覽表

水質健檢指標	桶頭攔河堰以上集水區				
	S1	S2	S3	S4	S5
RPI	4 ◎ (中度污染)	1 ▲ (未/稍受污染)	1 ▲ (未/稍受污染)	1 ◎ (未/稍受污染)	1 ◎ (未/稍受污染)
總磷點源污染量 (kg/yr)	865.8	1,183.0	610.2	371.6	1493.4
總磷非點源污染量 (kg/yr)	4,836.4	6,110.0	3,549.9	3,690.6	5,460.8

備註：1.“▲”係利用本研究水質補充監測成果分析之。

2.“◎”係利用湖山水庫管理中心水質監測資料 (包含建造時期及試營運時期)

3.湖山水庫集水區內水庫水質測站係有湖山壩址及湖南壩址等兩站，於 CTSI 單一指標計算時則採用近一年來每月所監測之總磷、葉綠素 a 平均後即為該數據成果。

表 4 各集水區以不同方式排序之結果表

排序	單位面積總磷污染負荷量		點源總磷污染比例		總磷污染貢獻佔總量比例	
	排序	總磷污染量 (kg/yr/km ²)	排序	總磷點源比例 (%)	排序	總磷污染比例 (%)
1	S2	177	S5	27%	S2	26%
2	S1	137	S2	19%	S5	23%
3	S3	107	S1	18%	S1	20%
4	S5	105	S3	17%	S3	15%
5	S4	64	S4	10%	S4	16%

備註 1：單位面積污染負荷量 (kg/yr/km²) = 各子集水區總污染量/面積。

備註 2：點源污染比例 (%) = 各子集水區點源污染量/各子集水區總污染量。

備註 3：污染貢獻佔總量比例 (%) = 各子集水區總污染量/5 個子集水區總污染量。

表 5 情境模擬總磷污染削減量計算總表

情境	2016 年 (情境現況)	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	情境六
總磷污染總量 (kg/yr)	26,663	25,590	23,508	22,492	24,350	21,564	19,309
污染 削減	總磷削減量 (kg/yr)	-	1,770	4,065	5,834	2,255	5,042
	總磷削減百分比 (%)	-	6.6 %	15.2 %	21.9 %	8.5 %	18.9 %
平均 濃度	總磷平均濃度 ($\mu\text{g/L}$)	55.4	49.7	48.7	43.0	48.2	47.0
	總磷削減百分比 (%)	-	10.3 %	12.1 %	22.4 %	13.0 %	15.2 %

根據單位面積污染負荷量、點源污染以及污染貢獻占總量比例等排序結果(詳表 5 所示)，選出 S2、S5 及 S1 分別為前三名之污染熱點，S2 與 S1 為人口較為密集之處，農地與住宅面積比較最高；S5 內有阿里山森林遊樂區，遊憩與住宿污水皆高於其他。故選上述三個子集水區作為目標，下一步將以熱點之方式進行總磷污染削減及策略模擬。

3.3 總磷污染削減及水庫水質改善策略評估

利用 SWMM 模式分析 2016 年總磷(模式考慮流達率)之總污染量 26,663 kg/yr，平均濃度為 55.4 $\mu\text{g/L}$ ，情境一若將污染熱區(S1、S2、S5)之點源污染全數收集，使總磷放流濃度達到 2 mg/L 以下，則預計可削減總磷 1,770 kg/yr。污染熱區之點源污染處理後，總磷平均濃度下降至 49.7 $\mu\text{g/L}$ ，可達水體水質目標。但雖然全年平均濃度達到乙類水體水質標準，對暴雨沖刷時之高濃度削減卻無改善，若需將降雨沖刷導致之高濃度降低則需要削減非點源污染。由於該三區沒有明顯之大型集中村落，建議點源控制可採用分散式污水處理設施如呈層複合土壤水質淨化系統或合併式淨化槽，讓資源有限情況下達到水質淨化最大效益。

情境二針對非點源進行控制，模擬結果對高濃度有明顯改善，最高濃度從 948 $\mu\text{g/L}$ 下降至 708 $\mu\text{g/L}$ ，總磷預計可削減 4,065 kg/yr。總磷平均濃度下降至 48.7 $\mu\text{g/L}$ ，可達水體水質目標。

而情境三是同時削減污染熱區之點源與非點源污染，預計可削減總磷 5,834 kg/yr，平均總磷濃度下降至 43 $\mu\text{g/L}$ 。

上述三個情境乃控制污染熱區 S1、S2、S5，則已達水體水質標準，平均總磷濃度小於 50 $\mu\text{g/L}$ 。若要進一步將總磷污染削減策略推行於全集水區，即一併控制 S3、S4 子集水區，則情境四、五、六依序可削減 2,255 kg/yr、5,024 kg/yr、7,297 kg/yr；濃度可降至 48.2 $\mu\text{g/L}$ 、47.0 $\mu\text{g/L}$ 、39.8 $\mu\text{g/L}$ 。各情境評估結果

詳表 5，各情境模擬結果如圖 7。

綜整情境分析結果，以平均濃度改善效果，點源控制可將平均濃度降低，在三個污染熱區管理點源放流水至 2 mg/L 即可達到目標，但點源控制對暴雨時高總磷濃度沒有改善效果。若以總磷之總污染削減量，則非點源污染削減量較高，總磷平均濃度亦可達到目標。當全區控制時，如情境六，則總磷平均濃度可降至 40 $\mu\text{g/L}$ 以下。

四、結論與建議

1. 利用 SWMM 模式評估總磷污染總量，得知湖山水庫水質水量保護區之非點源污染總量為 23,646 kg/yr，其中以 S2 之非點源污染量最高為 6,110 kg/yr，原因在於其農業與都市土地面積比例較高；點源污染總量為 4,524 kg/yr。總整點源及非點源污染，桶頭攔河堰以上集水區之總磷污染負荷量為 28,170 kg/yr。
2. 根據 SWMM 所分析之桶頭攔河堰以上集水區各子集水區污染量排序結果，選出 S2、S5 及 S1 分別為前三名之污染熱點，S2 與 S1 為人口較為密集之處，農地與住宅面積比較最高，本研究選為非點源污染熱區；S5 內有阿里山森林遊樂區，遊憩與住宿污水皆高於其他，本研究選為點源污染熱區。
3. 桶頭攔河堰以上集水區被列為需符合乙類水體標準河川水質標準，因此總磷之水體水質標準為 50 $\mu\text{g/L}$ 。以平均濃度改善效果，點源控制可將平均濃度降低，在污染熱區(S1、S2、S5)管理點源污染之放流水至 2 mg/L 即可達到目標，係因點源污染可藉由控制排入點進而達到減量，但點源控制對暴雨時高總磷濃度沒有改善效果。若以總磷之總污染削減量，則非點源污染削減量較高，總磷平均濃度亦可達到目標。當全區控制時，如情境六-同時管制點源及非點源污染(同時控制點源污染排放

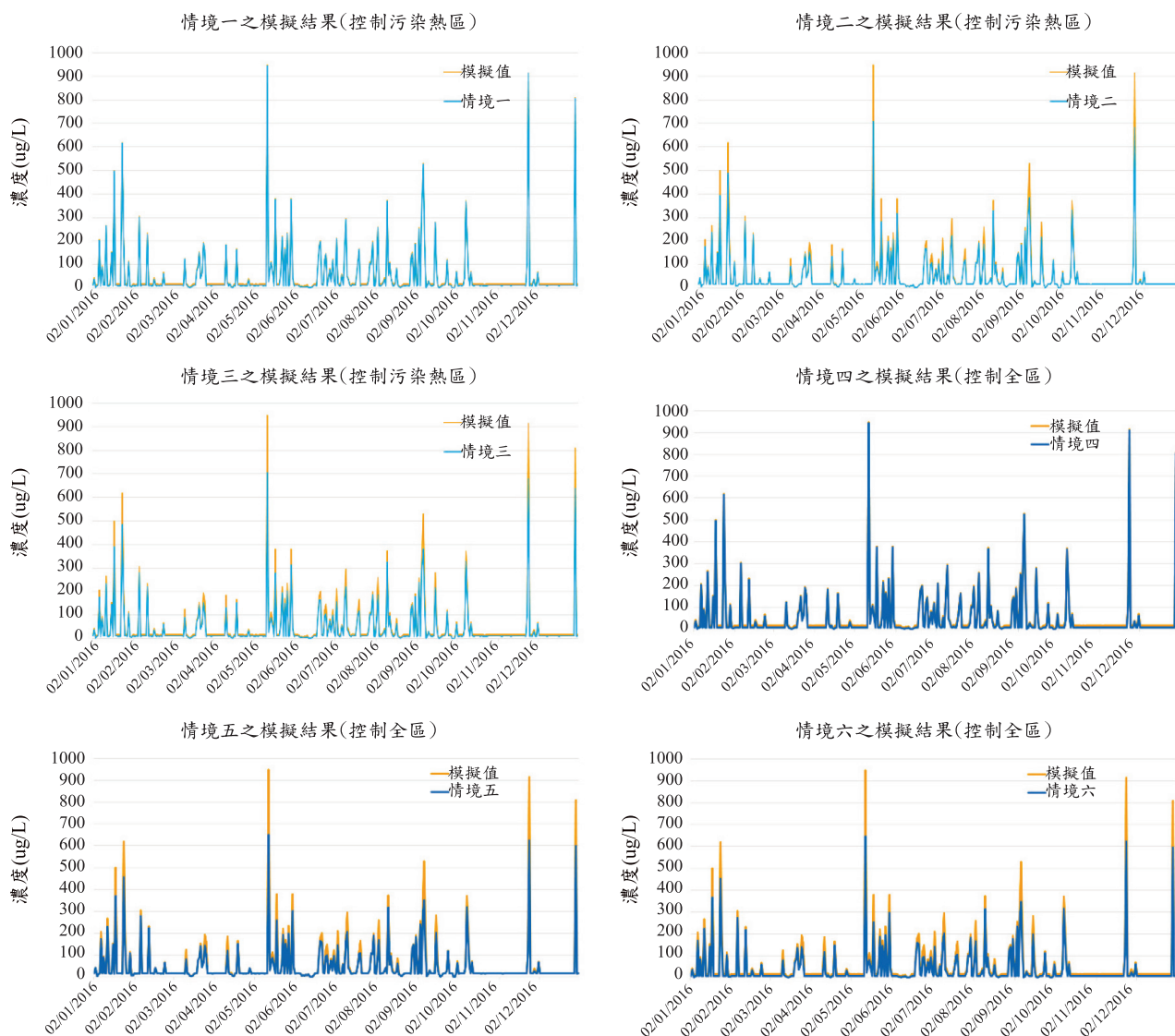


圖 7 各情境總磷削減模擬結果

濃度削減至 2 mg/L 與非點源污染負荷減少 50 %)，則總磷平均濃度可降至 40 $\mu\text{g/L}$ 以下。

4. 由分析結果可得知，而國內近期常用的快速健檢方式與模式所分析之趨勢一致。未來建議可針對如何控制非點源污染排出多做努力，例如合理化施肥宣導、低衝擊開發設施推廣等。

水區與自來水水質水量保護區劃設」。

3. 經濟部水利署 (2017)「全國水庫集水區水源保護總體檢計畫」。
4. Lewis, C. D. (1982), Industrial and business forecasting methods, Butterworths Scientific.

參考文獻

1. 內政部營建署 (2002)，「台灣地區家庭污水量及污染量推估研究」。
2. 經濟部水利署中區水資源局 (2016)，「湖山水庫集

收稿日期：民國 110 年 04 月 13 日

修改日期：民國 111 年 06 月 05 日

接受日期：民國 111 年 07 月 23 日