

# 應用 SWMM 模式模擬鹿寮溪水庫集水區環境 變化對水質水量之影響

## Applying the SWMM Model to Predict the Effects of Environmental Changes on Water Quality and Hydrologic Responses

逢甲大學

水利工程與資源保育學系  
研究生

**洪廷岳**

**Ting-Yue Hong**

逢甲大學

水利工程與資源保育學系  
教授

**張嘉玲\***

**Chia-Ling Chang**

逢甲大學

營建及防災研究中心  
助理教授

**何智超**

**Chih-Chao Ho**

逢甲大學

水利工程與資源保育學系  
研究生

**朱立倫**

**Li-Lun Chu**

逢甲大學

營建及防災研究中心  
專案助理

**曾品潔**

**Pin-Jie Zeng**

### 摘 要

近年來工商業快速發展，許多地方的都市化程度日益增加，環境變化將影響集水區水質水量，也使得集水區經營管理變得更加重要。本研究以鹿寮溪水庫集水區為研究區域，鹿寮溪水庫為當地農業及民生用水重要來源，因此，集水區內環境變化對於水質水量的影響是相當重要的課題。本研究應用暴雨逕流管理模式(Storm Water Management Model, SWMM)，模擬在不同的環境變化情境下集水區水質水量之變化，所評估的情境包括：集水區不透水面積增加、非點源污染量增加及點源污染量增加等等。由本研究結果可知，集水區不透水面積增加主要影響流量反應，污染源的增加對水體水質之影響甚鉅，其中又以點源污染之影響較顯著，雖本區域並非水質水量保護區，但仍建議應加強集水區管理，以達到水質保護之目標；本研究分析結果可提供鹿寮溪水庫集水區管理策略之參考。

**關鍵詞：**環境變化，SWMM 模式，集水區模擬。

\*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系教授，40724 中市西屯區文華路 100 號，clchang@fcu.edu.tw

## ABSTRACT

Rapid industrial development in recent years increases the degree of urbanization. Environmental changes influence the watershed environment; it is the major problem in watershed management. The Luliao Reservoir Watershed is the case area in this study. The Luliao Reservoir is the major water source for agricultural activity and domestic use. The objective of this study is to assess the possible impact of human activities and environmental changes on the watershed environment. This study applies the Storm Water Management Model (SWMM) to predict the hydrologic responses and water quality in the case area. The results show that the increase of pollution sources, point sources in particular, may worsen water quality. Therefore, pollution control is important in watershed management. The discussion and analysis can be useful references for watershed management.

**Keywords:** Environmental change, SWMM, Watershed simulation.

## 一、前言

隨著經濟發展，使得許多地方的都市化程度不斷提高，台灣地狹人稠，土地資源相當有限，故即使是涵養水源的水庫集水區，也無法全面限制土地使用；然而，水庫集水區內的農業使用及人類活動等行為，則可能影響集水區水質水量反應，進而影響水庫水體水質，因此集水區管理是永續水環境管理相當重要的課題之一。都市化將導致土地不透水面積增加，使得地表保水能力下降；此外，都市化造成的土地使用及環境變化，主要亦將使得污染源增加。集水區環境污染源包括點源污染與非點源污染，點源污染指有固定排放點的污染源，例如：工業廢水及都市生活污水，由排放口集中匯入河川中，點源污染雖較容易受到管制，但集中式的污染排放行為對水體水質的衝擊亦不容忽視；非點源污染指污染物在降雨沖刷後，從非定點隨著地表逕流匯入承受水體，故又稱為暴雨污染源或擴散污染源，當降雨發生時將地表累積的擴散污染物沖刷、攜帶與運移到下游，最後進入河川或水庫，將對水體水質產生衝擊，非點源污染控制在集水區管理中相當重要(Vladimir and Olem, 1994；劉柏廷，2004；張嘉玲，2005；郭振泰，2007)。

都市化主要造成的集水區環境變化，包括地表透水及保水特性的變化及污染源變化等等，而此等環境變化亦將影響集水區水質水量反應，相關集水區管理對策必須因應這些變化而進行調整，方能達到集水區永續經營管理之目標。本研究目的係要探討集水區環境變化對水質水量的影響，基於前述所談到都市化可能造成的環境變化，本研究從三個面向設計環境變化情境，包括：集水區不透水面積增加、非點源污染負荷增加及點源污染輸出量增加等等，分別去探討此等環境變化情境下集水區水質水量反應的變化，相關分析結果將可提供集水區管理策略之參考。

## 二、研究內容及方法

### 2.1 研究區域

本研究以鹿寮溪水庫集水區為研究區域，其相對位置如圖 1 所示。鹿寮溪水庫集水區位於台南市白河區馬稠後與嘉義縣水上鄉牛稠埔溪交界處，屬於八掌溪流域，集水區總面積約為 7.75km<sup>2</sup>，該區平均高程為 114.18m，集水區高程介於 48m 至 242.60m。本研究參考國土測繪中心土地使用分類類別，將該地區土地利用分類為農業用地、森林用地、人為用地、水利用地總共四類，森林用地為大宗，約佔總集水區面積之

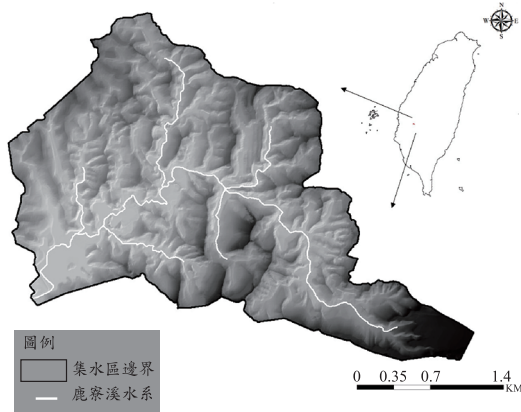


圖 1 研究區域-鹿寮溪水庫集水區。

53.82%，農業用地則為第二，約佔總集水區面積之 38.19%，人為開發用地及水體用地則各佔 3.03%及 4.97%，統計如表 1 所示。鹿寮溪水庫係於民國 28 年興建完工，隸屬台糖公司所有及管理。

表 1 鹿寮溪水庫集水區土地利用統計資料

分類	面積(km <sup>2</sup> )	佔總面積(%)
農業用地	2.96	38.19
森林用地	4.17	53.82
人為用地	0.23	3.03
水利用地	0.38	4.97
合計	7.75	100.00

## 2.2 集水區模式建置

### 2.2.1 模式介紹—SWMM 模式

暴雨逕流管理模式(Storm Water Management Model, SWMM)為美國環保署所開發，以 FORTRAN 語言撰寫，使用者可依實際情況自行改寫程式碼。第一版 SWMM 始於 1971 年，歷經數次版本升級，廣泛使用於都市地區，分析雨水逕流和設計規劃下水道排水系統，亦有許多應用在非都市地區的案例。最新版 SWMM 5.1 是由美國環保署和 Camp Dresser & McKee 工程顧問公司共同開發，發展視窗化介面，讓使用者更容易了解與操作，且提供一個 GIS 整合平台可輸入與

編輯資料，進行水文、水力和水質模擬，及以不同形式圖表查看模擬結果，如以色彩呈現不同流域面積和輸送系統、列出具時間序列的圖表、動態圖片、資料統計和頻率分析等等。

SWMM 模式概念是由水及多個環境區塊組成的排水系統，包括氣候(Climatology)、水文(Hydrology)、水利(Hydraulics)、水質(Quality)及曲線(Curve)等區塊組成，氣候區塊為設定溫度、蒸發、風速、融雪等氣候資料；水文區塊為設定雨量、子集水區、地下水層、雪地、單位歷線及 LID 控制等水文、地文及設施基本資料；水利區塊為設定節點(如人孔、出口、分流點、蓄水節點)、箭線(如渠道、管線、抽水站、孔口流、堰及滯洪池放流管)等水利設施基本資料；水質區塊為設定污染及土地利用等污染源基本資料；曲線區塊為設定控制曲線、分流曲線、抽水機率定曲線、率定曲線、形狀曲線、蓄水曲線、潮位曲線等曲線資料。SWMM 模式主要可應用於排水系統設計、滯洪池、控制下水道溢流策略，評估污水下水道漏水影響，研究廢水負荷分配中非點源污染負荷，評估 BMP 設施削減雨天污染負荷之效能。基於 SWMM 模式的特性與功能，故本研究選擇應用 SWMM 模式評估集水區內環境變化對集水區水質水量反應之影響。

### 2.2.2 模式輸入資料

本研究應用 SWMM 模式進行集水區水質水量模擬，所需要的模式資料包括：氣象水文資料及地文資料兩大類。在雨量資料部分，本研究選擇離本區域最近之中央氣象局中埔雨量站，而蒸發量資料並非每個氣象站都會提供，故選擇擁有此資料且離本區域最近之中央氣象局嘉義氣象站。在地文資料的部分，本研究應用 ArcGIS 程式的水文分析模組(hydrology)來確定鹿寮溪水庫集水區的水系及流域特徵，採用高解析度之數值高程資料，首先進行窪地填滿處理，再生成流域流向，並輸入適當水系門檻值，產生與其現況水系一致，並根據水系進行子集水區劃分，將本研究區域劃分為 11 個子流域，各子集水區分佈情形如圖 2 所示，各子集水區地文參數、土地使用狀態及不透水率等資訊彙整如表 2 及表 3 所示。

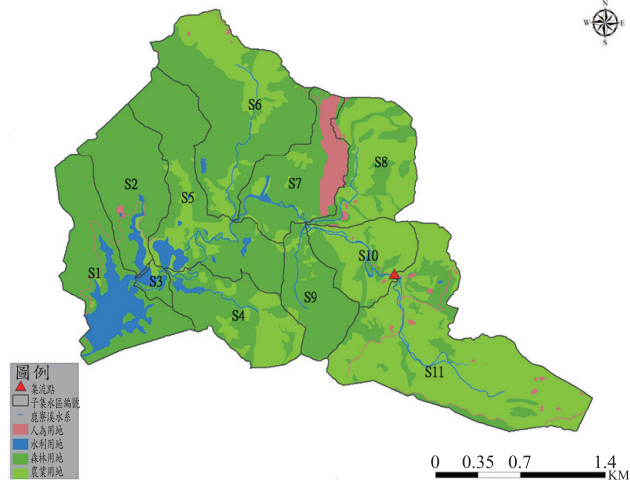


圖 2 鹿寮溪水庫集水區子集水區分佈圖。

表 2 鹿寮溪水庫集水區各子集水區地文參數

子集水區編號	面積(m <sup>2</sup> )	寬度(m)	坡度(%)	河川長度(m)
S1	759418.75	1155	25.66	1121.90
S2	565353.13	775	34.62	791.84
S3	61968.75	320	19.94	330.56
S4	532231.25	1170	43.16	1018.61
S5	863290.63	1290	33.05	1160.75
S6	1102112.50	1380	39.35	1606.60
S7	566065.63	965	38.41	883.05
S8	573775.00	925	45.06	1075.48
S9	387178.13	650	48.53	808.55
S10	417400.00	935	47.32	1035.33
S11	1483659.38	2190	38.55	1728.38

表 3 鹿寮溪水庫集水區各子集水區不透水率及土地利用現況統計資料

子集水區編號	不透水率 (%)	農業用地		森林用地		人為用地		水利用地	
		面積(m <sup>2</sup> )	%	面積(m <sup>2</sup> )	%	面積(m <sup>2</sup> )	%	面積(m <sup>2</sup> )	%
S1	4.82	7594.19	1.00	531593.10	70.00	7594.19	1.00	212637.30	28.00
S2	6.85	16960.59	2.97	508817.80	89.11	11307.06	1.98	33921.19	5.94
S3	6.02	6196.88	10.10	35322.19	57.58	0.00	0.00	19830.00	32.32
S4	14.65	207570.20	39.39	303371.80	57.58	0.00	0.00	15966.94	3.03
S5	9.27	155392.30	18.00	647468.00	75.00	0.00	0.00	60430.34	7.00
S6	13.46	363697.10	33.00	738415.40	67.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S7	28	50945.91	9.09	356621.30	63.64	135855.80	24.24	16981.97	3.03
S8	24.08	378691.50	66.00	177870.30	31.00	17213.25	3.00	0.00	0.00
S9	6.61	23230.69	6.06	360075.70	93.94	0.00	0.00	0.00	0.00
S10	22.68	283832.00	68.00	121046.00	29.00	4174.00	1.00	8348.00	2.00
S11	40.00	1186928.00	80.00	252222.10	17.00	29673.19	2.00	14836.59	1.00

### 2.2.3 模式率定及驗證方法

為提高模式可信度，除加強環境監測資料的完整性外，亦必須透過模式檢定，以使得該模式可以較真實地描述區域性的環境特性與各種環境行為(李鴻源等，1991)；集水區模式率定驗證之程序，首要為水文流量模擬，其次為泥砂傳輸，再者為水質模擬，因此要有好的水質模擬結果，須先有良好的水文模擬基礎(林鎮洋等，2005)。本研究為建立 SWMM 模式區域性之參數，故將進行模式參數之率定與驗證工作，以提升模式模擬之可信度。

由於本研究區域內並無環保署之水質監測站，因此透過現地勘查後，本研究於子集水區 S11 之匯流點(如圖 2 所標示)，進行流量與水質之補充監測與調查。本研究於 2016 年 4~10 月間進行環境補充採樣與調查，並分別選取五筆資料進行模式參數率定與驗證，水質補充採樣監測資料彙整如表 4 所示。本研究流量模擬及其參數率定驗證時，相對較為重要的參數包括：匯流點之基流量與子集水區之不透水區與透水區的曼寧係數

與窪蓄深度、Horton 入滲公式最大、最小入滲率、衰減常數及飽和土壤乾燥時間等等；而在水質模擬及其參數率定驗證時，相對較為重要的參數則包括：土地利用之最大污染累積量、累積速度常數、沖刷係數及沖刷指數等。率定驗證常見之判定指標包含相關係數、決定係數、均方根誤差、模式有效性係數及平均絕對百分比誤差，其中決定係數( $R^2$ )較常被應用在流量參數檢定，而平均絕對百分比誤差(MAPE)較常被用在水質參數檢定，此兩判定指標之定義說明如式(1)及式(2)，其中 O 和 P 分別代表監測值與預測值(McCuen, 2005; Mean and Efficiencies, 2006; Moriasi *et al.*, 2007)。

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}} \right]^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_i - O_i}{P_i} \right| \dots\dots\dots (2)$$

表 4 水質補充採樣監測資料

日期	監測項目(單位)	水質項目		水量項目
		懸浮固體 SS(mg/L)	總磷 TP(mg/L)	流量(cms)
1050427	引水道集水區集流點	22.8	0.031	0.11
1050510	引水道集水區集流點	24.8	0.098	0.099
1050519	引水道集水區集流點	148	0.331	0.123
1050530	引水道集水區集流點	56	0.2	0.047
1050605	引水道集水區集流點	8.5	0.02	0.06
1050622	引水道集水區集流點	244	0.437	0.183
1050627	引水道集水區集流點	76.2	0.082	0.058
1050705	引水道集水區集流點	77	0.665	0.588
1050801	引水道集水區集流點	198	0.321	0.016
1050825	引水道集水區集流點	334	0.576	0.055
1050831	引水道集水區集流點	173	0.216	0.018
1050906	引水道集水區集流點	948	1.45	0.248
1050925	引水道集水區集流點	155	0.323	0.024
1051020	引水道集水區集流點	64.4	0.165	0.085
1051031	引水道集水區集流點	18.8	<0.02	0.042

### 2.3 環境變化情境設計

本研究參考過去研究情境設計方法，以假想情境設計研究區域可能的環境變化(Chang *et al.*,2010；Wahyu *et al.*, 2010；王天一等，2015)，主要探討的環境變化情境包括：集水區不透水面積增加、集水區非點源污染量增加及集水區點源污染增加三個面向，共設計六個情境。情境一及二為因應都市化程度提高，可能造成集水區不透水面積及不透水率的上升，故將全區不透率增加 0.5 倍及 1 倍，情境三及四主要考慮非點源污染累積量及沖刷量的增加，故將晴天累積參數、及

降雨沖刷參數分別增加 0.5 倍及 1 倍，情境五及六為點源污染加重的環境變化狀況，故將輸入之點污染量增加 0.5 及 1 倍，此三類情境設計之參數資料設定如表 5、6 及 7 所示。

## 三、結果與討論

### 3.1 環境現況分析

鹿寮溪水庫集水區除天然林地之外，主要以農牧用地為主，目前鹿寮溪水庫淤積情形嚴重，庫容已由完工時之 378 萬噸，降至約 78.8 萬噸，淤積率達 80%，水利單位正在評估辦理活化水庫

表 5 不透水率變化情境之參數資料

子集水區編號	現況 不透水率(%)	情境一 (不透水率增加 0.5 倍) 不透水率(%)	情境二 (不透水率增加 1 倍) 不透水率(%)
S1	4.82	7.23	9.64
S2	6.85	10.28	13.7
S3	6.02	9.03	12.04
S4	14.65	21.98	29.30
S5	9.27	13.91	18.54
S6	13.46	20.19	26.92
S7	28.00	42.00	56.00
S8	24.08	36.12	48.16
S9	6.61	9.915	13.22
S10	22.68	34.02	45.36
S11	40.00	60.00	80.00

表 6 非點源污染變化情境之參數資料

污染物		TP				SS			
模組		Buildup		Washoff		Buildup		Washoff	
情境	土地利用	C1	C2	C3	C1'	C1	C2	C3	C1'
現況	人為用地	2	1.5	1	1.5	300	150	1	150
	農業用地	1	0.8	1	0.8	200	100	1	100
	森林用地	0.5	0.3	1	0.3	150	80	1	80
情境三 (非點源污染累積及沖刷增加 0.5 倍)	人為用地	3	2.25	1	2.25	450	225	1	225
	農業用地	1.5	1.2	1	1.2	300	150	1	150
	森林用地	0.75	0.45	1	0.45	225	120	1	120
情境四 (非點源污染累積及沖刷增加 1 倍)	人為用地	4	3	1	3	600	300	1	300
	農業用地	2	1.6	1	1.6	400	200	1	200
	森林用地	1	0.6	1	0.6	300	160	1	160

註：Buildup 內 C1：最大累積量(單位面積或單位邊長之質量)、C2：累積速度常數(1/日)、C3：時間指數，Washoff 內 C1'：沖刷係數(單位為質量/升)

表 7 點源污染變化情境之參數資料

TP(mg/L)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
現況	0.03	0.03	0.03	0.03	0.2	0.02	0.4	0.3	0.31	0.16	0.03	0.03
情境五 (點源污染增加 0.5 倍)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.3	0.03	0.6	0.5	0.47	0.24	0.05	0.05
情境六 (點源污染增加 1 倍)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.4	0.04	0.8	0.6	0.62	0.32	0.06	0.06
SS(mg/L)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
現況	22.8	22.8	22.8	22.8	30	80	15	365	150	60	22.8	22.8
情境五 (點源污染增加 0.5 倍)	34.2	34.2	34.2	34.2	45	120	22.5	548	225	90	34.2	34.2
情境六 (點源污染增加 1 倍)	45.6	45.6	45.6	45.6	60	160	30	730	300	120	45.6	45.6

及提高水資源利用等等水庫更新改善計畫。鹿寮水庫集水區河川水質現況為丙類水體，河川污染指標(RPI)屬未遭受污染程度至中度污染，河川水質指數(WQI)結果顯示，水質評語為良好至中下，在水庫水質方面，鹿寮溪水庫現況為丙類水體，卡爾森指數(CTSI)計算結果，顯示水體優養化現象為優養狀況。在現階段台灣南部地區由於受天候環境限制，河川流量豐枯及不均勻再加上河川淤積嚴重，且本研究現地調查資料顯示其流量平均值為 0.18 cms，顯示其現況流量為基流狀態。本研究區域內污染源包括點源污染及非點源污染，由於非點源污染必須經由降雨沖刷帶出，故在平日未降雨的情況下，點源污染是造成水質變化的主要因素，然而農業施肥行為等所累積的非點源污染量，亦是造成水質惡化的潛在因素，故兩污染源對水體水質的影響均不容忽視。

### 3.2 模式率定及驗證結果分析

本研究模式率定驗證參考以往研究(王佳偉, 2014)，將鹿寮溪水庫集水區上游及庫區假設其水理特性雷同，本研究在子集水區 11 之集流點進行水質採樣，故模式模擬亦針對此集流點進行水質水量模擬，並透過參數率定及驗證工作，找出適合本研究區域之地區性模式參數。模式率

定及驗證指標相當多，本研究選擇  $R^2$  及 MAPE 為主要評鑑指標， $R^2$  可以評判模擬結果對實際變化趨勢之掌握度，而 MAPE 則可判斷模擬結果與實測值之間的相對誤差。圖 3 為鹿寮溪水庫集水區之流量率定驗證圖，由結果可知流量率定時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.79 及 8.1%，以及流量驗證時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.99 及 19.6%，顯示流量率定及驗證結果良好，代表模式對流量現況預測能力佳。圖 4 及圖 5 為鹿寮溪水庫集水區之 SS 及 TP 率定及驗證結果圖，由結果可知 SS 率定時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.58 及 27.8%，以及 SS 驗證時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.83 及 9.8%，TP 率定時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.5 及 46.5%，以及 TP 驗證時模擬值與實測值之  $R^2$  及 MAPE 各為 0.98 及 8.9%，顯示水質率定及驗證結果良好，代表模式對水質現況預測能力佳。

### 3.3 環境變化對集水區水質水量之影響

#### 3.3.1 環境變化對流量之影響

本研究設定六種環境開發情境，情境一及二為集水區不透水面率增加，情境三及四為非點源污染增加，情境五及六為點源污染加重，將完成

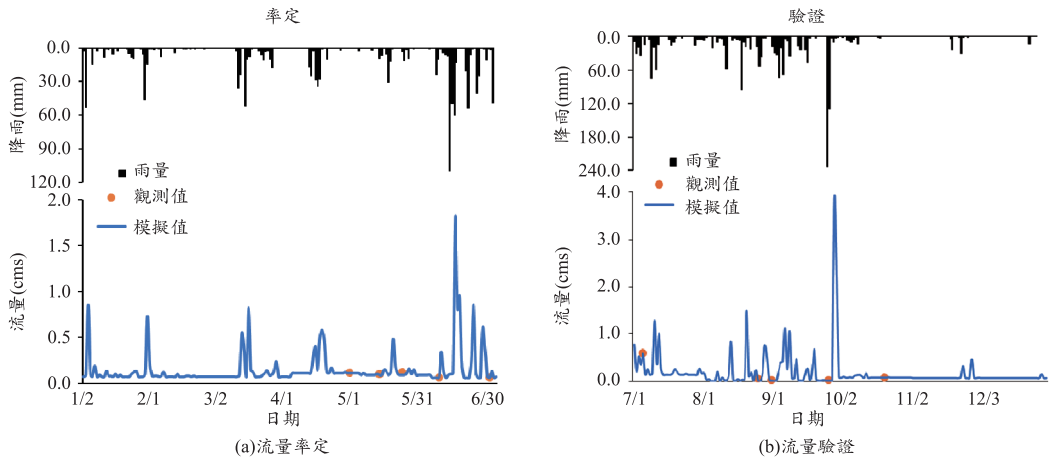


圖 3 流量率定驗證結果。

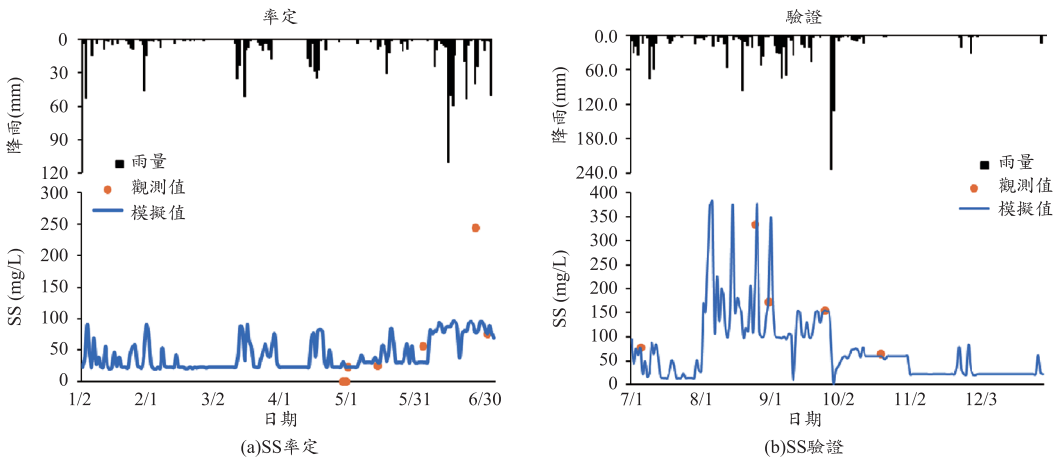


圖 4 SS 率定驗證結果。

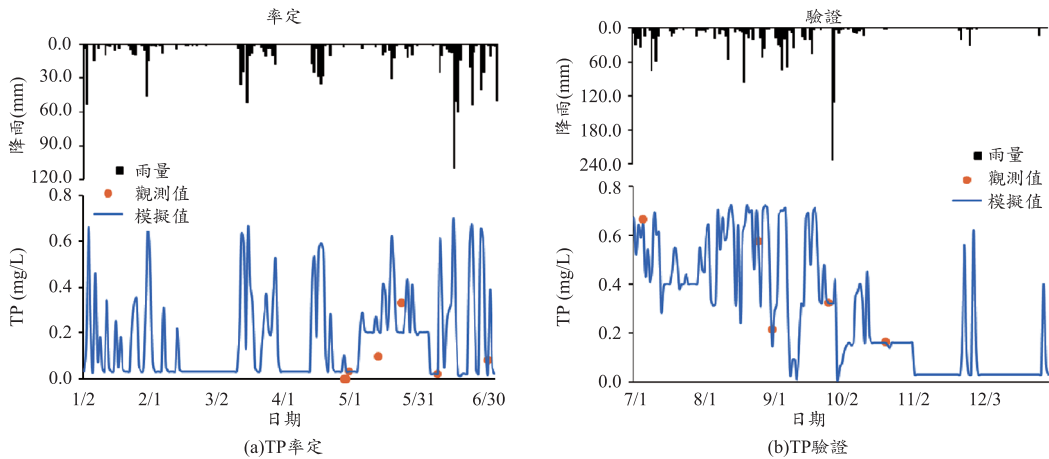


圖 5 TP 率定驗證結果。



率定驗證之參數套用在不同情境下對鹿寮溪水庫集水區流量模擬，並分析在環境開發下的流量變化。SWMM 模式模擬出來不同情境下對鹿寮溪水庫集水區流量變化如表 8 所示；在流量變化情形的部分，情境一日平均流量變化率為 2.37%，情境二日平均流量變化率為 4.08%，而情境三至六日平均流量變化率為 0%；情境一日尖峰流量變化率為 0.64%，情境二日尖峰流量變化率為 1.07%，而情境三至六日尖峰流量變化率為 0%。由結果可知，當集水區不透水率增加時，使地表保水能力下降，造成流量的增加，日流量增加比率雖不高，但以目前鹿寮溪水庫集水區河道淤積嚴重的情形而論，增加的流量亦可能增加河川通水斷面的負擔，而污染源增加則對流量變化無顯著之影響。

### 3.3.2 環境變化對水質之影響

SWMM 模式模擬出來各情境下對鹿寮溪水庫集水區水質的變化，分析結果彙總如表 9 及表 10 所示；在 SS 部分，因不透水面積增加亦會造

成水量變化，故情境一及情境二 SS 日平均濃度變化率略有減少，但變化並不顯著，而當非點源污染增加，情境三及情境四 SS 日平均濃度變化約分別增加 11.08%及 22.16%，SS 超過乙類標準的機率亦略為增加，當點源污染增加，情境五及情境六 SS 日平均濃度變化約分別增加 38.92%及 77.84%，SS 超過乙類標準的機率大幅增加；在 TP 部分，情境一及情境二 TP 日平均濃度變化小幅增加，而當非點源污染增加，情境三及情境四 TP 日平均濃度變化約分別增加 21.52%及 43.2%，TP 超過乙類標準的機率亦略為增加，當點源污染增加，情境五及情境六 SS 日平均濃度變化約分別增加 29.12%及 56.78%，TP 超過乙類標準的機率有較顯著的增幅。由模擬結果可知不透水率增加，對水質略有影響，但水質變化情形並不顯著；相對地，污染源的增加則對水體水質有較為顯著的影響，尤其當點源污染增加，對水質影響更是較為顯著，因此，污染源的控制對鹿寮溪水庫集水區管理則頗為重要。

表 8 環境變化對集水區流量之影響分析

情境	日平均流量(cms)	日平均流量變化率(%)	日尖峰流量(cms)	日尖峰流量變化率(%)
現況	1.19	-	18.65	-
一	1.22	2.37	18.77	0.64
二	1.24	4.08	18.85	1.07
三	1.19	0.00	18.65	0.00
四	1.19	0.00	18.65	0.00
五	1.19	0.00	18.65	0.00
六	1.19	0.00	18.65	0.00

表 9 環境變化對 SS 之影響分析

情境	SS 日平均濃度(mg/L)	SS 日平均濃度變化率(%)	超過乙類標準天數	超過乙類標準發生率(%)
現況	58.15	-	200	54.64
一	57.32	-1.41	209	57.10
二	56.97	-2.02	213	58.20
三	64.59	11.08	210	57.38
四	71.03	22.16	212	57.92
五	80.78	38.92	346	94.54
六	103.41	77.84	363	99.18

表 10 環境變化對 TP 之影響分析

情境	TP 日平均濃度(mg/L)	TP 日平均濃度變化率(%)	超過乙類標準天數	超過乙類標準發生率(%)
現況	0.17	-	215	58.74
一	0.18	3.07	218	59.56
二	0.18	5.31	223	60.93
三	0.21	21.52	219	59.84
四	0.25	43.20	222	60.66
五	0.22	29.12	336	91.80
六	0.27	56.78	352	96.17

#### 四、結論與建議

本研究應用 SWMM 模式於環境開發對水質水量之影響評估，並透過模式率定及驗證取得區域性模式參數資料；本研究 SWMM 模式水質水量率定及驗證效果良好，故在水質水量預測結果亦具有可信用度。

本研究以鹿寮溪水庫集水區為案例區，探討集水區不透水率增加、非點源污染增加及點源污染增加三面向的環境變化，對集水區水質水量之影響。由結果發現，集水區不透水率增加主要影響流量，其對水質之影響較不顯著；然而，污染源的增加對水質影響甚鉅，故污染源控制對集水區管理則倍顯重要。

在鹿寮溪水庫集水區內，點源污染及非點源污染對水體水質的影響都不可忽視；非點源污染控制應加強肥料管理，以降低總磷污染濃度，而非點源污染的部分，則建議可加強環境監督工作，以避免人為傾倒等行為對水體水質造成負面衝擊。

台灣土地資源有限，環境使用程度及都市化程度漸增是必然的趨勢，但水庫集水區必須有效發揮涵養水源的功能，故在集水區內之環境使用須更加謹慎。本研究區域鹿寮溪水庫集水區流量甚小，枯水時間較長的情況，對進入水體之污染源就變得更加敏感。由於本研究區域以農業行為為主，因此，本研究建議可以加強環境宣導，農民適時調整施肥的時間及用量，則可在不影響農

民正常農牧行為的情形下，有效降低污染進入水體的總量，以達到水質保護之目標。

#### 五、參考文獻

1. Chang, C. L., Hsu T. H., Wang, Y. J., Lin, J. Y., and Yu, S. L. (2010). Planning for implementation of riparian buffers in the Feitsui reservoir watershed. *Water resources management*, 24(10), 2339-2352.
2. McCuen, R. H. (2005). Accuracy assessment of peak discharge models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(1), 16-22.
3. Mean, P. E. and Efficiencies, B. P. R. (2006). *Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual*.
4. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. Asabe*, 50(3), 885-900.
5. Vladimir, N. and Olem, H. (1994). Water quality prevention, identification and management of diffuse pollution.
6. Wahyu, A., Kuntoro, A. A., and Yamashita, T. (2010). Annual and seasonal discharge responses to forest/land cover changes and climate variations in Kapuas River Basin,

- Indonesia. Journal of international development and cooperation, 16(2), 81-100.
7. 王天一、張嘉玲、周念清(2015)，氣候變遷對湘江流域水資源量之影響，農業工程學報，第六十一卷，第四期，第 71-78 頁。
  8. 王佳偉(2014)，翡翠水庫集水區污染削減措施對水庫水質改善影響之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所學位論文。
  9. 李鴻源、黃良雄、郭振泰、許銘熙、楊錦釧(1991)，水質保護綱要計劃—非點源污染防治計畫研究(二)，行政院環保署。
  10. 林鎮洋、陳彥璋、張玉珊(2005)，翡翠水庫集水區非點源污染模擬與整治順序之評估，台灣水利季刊，第五十三卷，第三期，第 25-40 頁。
  11. 張嘉玲(2005)，以模糊理論分析降雨空間變異性推估流量及非點源污染量，國立台灣大學環境工程學研究所學位論文。
  12. 郭振泰(2007)，最管理作業(BMPS)最佳化配置之研究(2/2)，行政院國家科學委員會。
  13. 劉柏廷(2004)，牡丹水庫集水區非點源污染模擬及風險分析，國立台灣大學土木工程學研究所學位論文。

收稿日期：民國 106 年 1 月 9 日

修正日期：民國 106 年 2 月 10 日

接受日期：民國 106 年 2 月 21 日