

明德水庫集水區污染熱區分析及 水質改善策略研擬

ANALYSIS OF THE POLLUTION HOTSPOTS AND IMPROVEMENT STRATEGIES OF RESERVOIR WATER QUALITY FOR
THE MINGDE RESERVOIR WATERSHED

逢甲大學水利工程
與資源保育學系
研究生

張正聖
Cheng-Sheng Chang

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

本研究區域為明德水庫，此水庫主要功能為灌溉及公共給水，主要供應苗栗地區農業用水、工業用水及部分民生用水。歷年來明德水庫水質多處於優養狀態，且有日趨惡化之趨勢。本研究結合都市暴雨逕流管理模式(Storm Water Model, SWMM)進行集水區水質水量模擬，及零維總磷質量平衡模式(Vollenweider Model)進行水庫水質模擬，主要目的係要探討及分析明德水庫集水區內污染源及污染熱區，為改善明德水庫水質狀態，本研究研擬數個水質改善情境方案。由分析結果可知，明德水庫集水區以非點源污染比例較高，點源和非點源污染比例約分別為 20%及 80%，因此，本研究建議加強非點源污染控制與削減，並應從集水區內之污染熱區優先執行。

關鍵詞：污染削減、水庫水質、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 · cchang@fcu.edu.tw

ANALYSIS OF THE POLLUTION HOTSPOTS AND IMPROVEMENT STRATEGIES OF RESERVOIR WATER QUALITY FOR THE MINGDE RESERVOIR WATERSHED

Cheng-Sheng Chang

Feng Chia University
Department of Water Resources Engineering
and Conservation

Chia-Ling Chang*

Feng Chia University
Department of Water Resources Engineering
and Conservation

ABSTRACT

The study area is the Mingde Reservoir Watershed. The main functions of this reservoir are irrigation and public water supply. It mainly supplies water for agriculture, industry and some people's livelihoods in Miaoli. In recent years, the eutrophication problem of the Mingde Reservoir is getting worse. This study applies the watershed model (SWMM) and reservoir model (Vollenweider). The purpose of this study is to analyze the pollution sources and pollution hotspots in the Mingde Reservoir Watershed. In order to protect the water quality of the Mingde Reservoir, this study proposes several pollution reduction strategies. The analysis results show that there is about 20% of point source pollution and 80% of non-point source pollution in the Mingde Reservoir watershed. Therefore, the control and reduction of non-point source pollution needs to preferentially implement in the pollution hotspots of the Mingde Reservoir Watershed.

Keywords: Pollution reduction, Reservoir water quality, Watershed management.

一、前言

台灣四面環海，年降雨量可高達 2,500 mm，屬於海洋島嶼型之氣候特性，由於台灣具有降雨時空分布不均之特性，使台灣地區的豐枯水季現象顯著，短延時的強降雨易將地表的沉積物沖刷入河川當中，因此水庫容易產生淤積及優養化之現象，根據環保署的環境水質監測年報，台灣許多水庫皆存在優養化的問題，使得水源問題逐漸浮上檯面。水庫水質常會受到氣候變遷或是集水區範圍人為活動影響，造成水質波動幅度甚大，嚴重時甚至導致水體呈現優養情形。

氣候變遷的影響是指當極端降雨事件頻率增加或是豐枯水季現象更為顯著，會於短時間內帶來豐沛的降雨量進而形成地表逕流量，挾帶著土壤中的污染物進入水體，造成水庫產生泥砂淤積且原水濁度過高等問題；人為活動則是與集水區的土地使用型態有密切關係，像是農業用地、人為用地產生之污染量就會稍高於森林用地(De Wit and Stankiewicz, 2006; Dixon and Brook, 2007; Kay *et al.*, 2009; Dunn *et al.*, 2012; Ahmadi *et al.*, 2014; Molina-Navarro *et al.*, 2014; Yu *et al.*, 2015)。

明德水庫全年大多處於優養化的情況之下，為了保護水庫之水質，本研究分析明德水庫之污染來源，並根據水質之變化趨勢提出相對應之策略，以改善明德水庫之水體水質，且達到水資源永續發展之目的。本研究應用集水區模式推估明德水庫集水區內之污染量及污染熱區空間分布情形，並串接水庫水質模式，評估集水區污染對水庫水體水質之影響，並預測所研擬之水庫水質改善策略之可能成效，本研究成果可供水庫集水區相關管理單位參考之用。

二、研究區域介紹

本研究區域明德水庫，位於苗栗縣頭屋鄉之明德村及獅潭鄉之永興、百壽、和興與新店四村以及頭屋與造橋鄉交界之一小部分，如圖 1 所示。明德水庫所在流域位於後龍溪支流老田寮溪上，集水面積為 6,108 公頃為典型的在槽水庫。水庫壩型為滾壓式土壩，壩高 35.5 公尺，壩長 187 公尺，設計總容量為 1,770 萬立方公尺。設計有效蓄水量為 1,650 萬立方公尺。排洪設施設置六座弧型閘門控制式溢洪道。明德水庫興建目的為灌溉及公共給水，主要供應苗栗地區農業、工業用水及部分民生用水，為苗栗境內第一座多目標水庫。明德水庫集水區農業使用面積為 382 公頃，約佔總面積

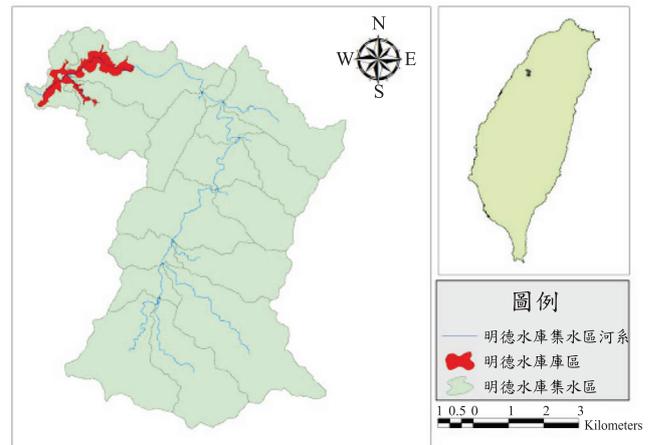


圖 1 明德水庫集水區位置圖

6.25%；森林地面積為 5,263 公頃，約佔總面積 86%；人為開發地為 260 公頃，佔 4.25%；水利用地為 197 公頃，佔 3.23%，而裸露地及荒地為 6 公頃，佔 0.1%。

本研究蒐集環保署於明德水庫庫區內設有之三處的水質監測站資料，彙整 2008 年至 2018 年的水庫水質資料，近 11 年明德水庫透明度、總磷、葉綠素-a 與卡爾森指標(CTSD)監測結果如圖 2 所示。本研究探討明德水庫的優養化程度，歷年來明德水庫的水質依照卡爾森指標評估多處於優養的情況，且近五年平均之水質狀況較歷年平均差，顯示明德水庫水質略有變差之趨勢。在卡爾森指標三個水質項目中，透明度有時會因暴雨後濁度上升而出現優養程度誤判之情形，葉綠色-a 可反應水體中藻類多寡，而總磷則是表現水體中營養物質含量多寡，其中總磷檢測相對葉綠色-a 容易，故總磷濃度時常被作為優養判定之單一指標(林學文，2015)。歷年明德水庫平均之總磷濃度為 0.0188 mg/L 屬於普養狀態，近五年有稍微攀升的趨勢其五年之平均值為 0.0222 mg/L，並依照卡爾森(Carlson)單一總磷參數指數之優養化標準，當總磷濃度值小於 0.012 mg/L 時為貧養狀態；介於 0.012 mg/L 至 0.024 mg/L 間為普養狀態；大於 0.024 mg/L 時為優養狀態，而明德水庫目前是位於普養趨近於優養狀態(苗栗縣環境保護局，2019)。

三、水質水量模式建立

3.1 水質模式建立方法

常見的集水區模式包括：HSPF、SWMM、STORM、AGNPS、ANSWERS、VAST 等等，各模式在適用範圍、

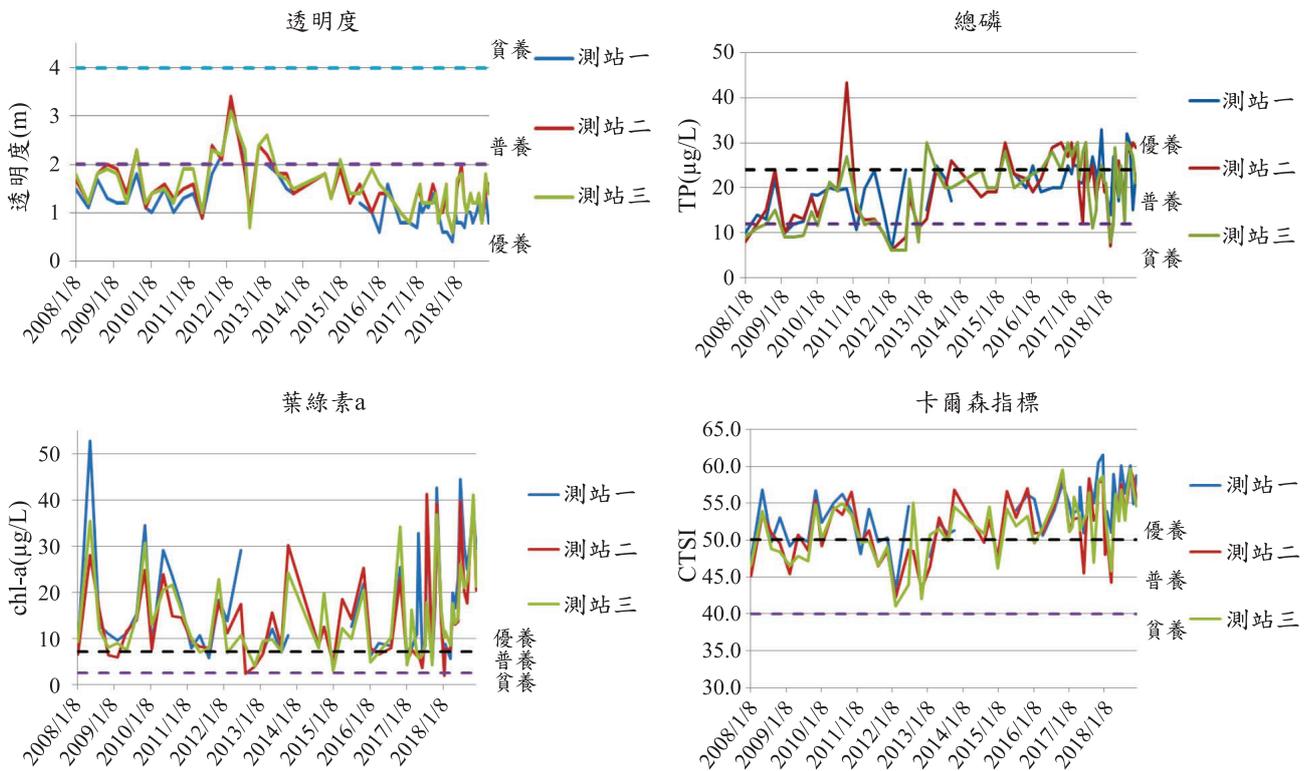


圖 2 明德水庫歷年水質卡爾森指標變化

模擬功能、所需資料需求及複雜度等均有所差異。在此等模式中 SWMM、STORM 及 HSPF 可以模擬連續降雨，其餘模式則是僅能模擬單場降雨事件；而除了 ANSWERS 模式之外，均可模擬總磷；資料需求以 SWMM、AGNPS、ANSWERS 及 HSPF 較高，而模式複雜度則是以 SWMM 及 HSPF 較高(陳羿秋, 2015)。經由上述之比較結果，本研究選擇採用能夠模擬連續降雨、模擬污染項目多樣之 SWMM 模式，進行集水區水量及水質模擬。SWMM 模式為發展成熟之集水區模式，已被廣泛應用在國內外水質水量模擬之相關研究，近年來有些研究精進模式參數優化，有些研究將 SWMM 結合其他水環境模式，亦有些研究將其應用在都市化水環境建設與發展(Xu *et al.*, 2017; Tu and Smith, 2018; Tuomela *et al.*, 2019; Yazdi *et al.*, 2019)。

本研究之集水區模式選用都市暴雨逕流管理模式 (Storm Water Model, SWMM) 進行模擬，根據建模後之模擬結果透過明德水庫集水區之水量及水質的模擬，推估其污染產量並且建立污染負荷熱區，以利於後續進行集水區管理工作，本研究所劃分之明德水庫子集水區位置分布圖及水質採樣點位如圖 3 及圖 4 所示。水庫水質模式則是採用零維的總磷質量平衡模式 (Vollenweider Model) 作為水體水質模擬之工具，依據集水區模式(SWMM 模式)模擬集水區的水量及水質狀

態並求得總磷污染產量，將其污染產量套入水庫模式 (Vollenweider 模式) 中可模擬水體之總磷濃度。

明德水庫子集水區劃分位置分布圖



圖 3 明德水庫之子集水區劃分位置分布圖

明德水庫子集水區水質採樣站位置圖



圖 4 明德水庫水質採樣站位置圖

3.2 集水區模式介紹

本研究之集水區模式採用 SWMM 模式，其屬於動態的模擬降雨逕流的模式，可模擬區域的一降雨事件或是長期的降雨量所衍生出的逕流，主要用來評估集水區集流點匯流之水質水量反應。而此模式整體概念為由水及多個環境區塊組成的排水系統，包括氣候、水文、水利、水質及曲線等四個部分所組成。SWMM 模式演算的流程包含水文及水質，在水文部分，由降雨(或溶雪)開始經過非線性蓄水模型的演算，將溢流之流量變成地表逕流，中間過程會經過蒸發及入滲，入滲部分即進入地下水，接著會進入至匯流點，流進河道排出水流；而在水質部分，由晴天(未降雨時間)地表開始累積污染物，透過降雨產生的地表逕流冲刷後，伴隨著水流進入匯流點及河道排出，可依據不同土地利用型態產生的非點源污染進行分析，土地利用模組依據晴天累積(Buildup)、逕流冲刷(Washoff)及街道清掃(street cleaning)模擬非點源污染量(行政院環境保護署，2011)。

SWMM 模式主要應用在排水系統、滯洪池、控制下水道溢流策略，得以評估污水下水道漏水的衝擊，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。模式中須輸入六大項資料，分

別為基本設定、氣候資料、水文資料、水力資料、水質資料及曲線資料，而近幾年因 LID (Low Impact Development)的推廣，SWMM 模式在最新的版本中更加入 LID-BMP 控制設施的模擬。

3.3 水庫水質模式介紹

本研究之水庫水質模式選用 Vollenweider 模式，為零維的質量平衡模式，模式假設當水體為不隨時間與空間變化的黑盒子(black box)分析湖泊或水庫等水體優養化與水力特性(如水深、水表面積)之間的關係。Vollenweider 模式主要是用以評估水體的優養程度，故以總磷項目作為判定的標準(Tapp, 1978)。Vollenweider 模式可評估湖泊或水庫等水體的優養化程度，Vollenweider 模式演算之理論方程式如式(1)，其中 M 為總磷輸入量、P 為總磷濃度， R_p 為總磷損失比例、 Q_{out} 為水庫流出體積。 R_p 總磷損失比例可由總磷沉降率(v)及水力負荷(q_s)求得，如式(2)；而水力負荷(q_s)可由水庫入流體積(Q_{in})及水庫表面積(A)求得，如式(3)；其中總磷沉降率 v 為可調整之參數(Vollenweider, 1968)。

$$P = \frac{M \times (1 - R_p)}{Q_{out}} \dots\dots\dots(1)$$

$$R_p = \frac{v}{v + q_s} \dots\dots\dots(2)$$

$$q_s = \frac{Q_{in}}{A} \dots\dots\dots(3)$$

3.4 模式檢定結果分析

本研究無環保署監測資料，故採用苗栗縣環保局所提供之 2019 年 4 月至 7 月的補充採樣監測數據，以 4 月、5 月之監測值作為率定使用，並以 6 月、7 月之監測值做為驗證，將集水區模式所模擬匯流點之非點源污染量，與對應的三處監測點位之非點源污染量比較，以進行集水區模式之檢定，模式檢定數量符合環保署河川水質模式技術規範之要求，其流量檢定結果之決定係數(R^2)分別為 0.69 及 0.98，皆在合理範圍內；水質檢定結果結果之絕對平均百分比誤差(MAPE)分別為 26.96%及 48.64%，皆屬於合理範圍內；模式主要參數設定彙整如表 1 所示，模式檢定結果如表 2、圖 5 及圖 6 所示。

而水庫水質模式 Vollenweider 模式檢定方法是利用集水區所推估之點源污染量加上 SWMM 模式模擬

表 1 模式主要參數設定表

土地利用分類	Maximum buildup (kg)	Wash-off pollution concentration (mg/L)
農業	0.03	0.022
森林	0.025	0.013
人為建築	0.034	0.038
水利	0	0
裸露地	0.02	0.025
模式適用範圍	>0	>0

之非點源污染量後，即可得知集水區產出的年總磷污染量，將此污染量及水庫基本參數資料輸入水庫水質模式後，即可反推出明德水庫的總磷濃度，並與水庫現況之總磷濃度進行模式檢定，模式中將總磷沉降率(v)設定為 7.2 m/yr，2017 年之率定結果其 MAPE 值約為 8.32%，而 2018 年之驗證結果其 MAPE 值約為 5.63%，檢定結果顯示此模式於應用上係具有合理性，而本研究之水庫水質模式檢定結果如表 3、圖 7 所示。

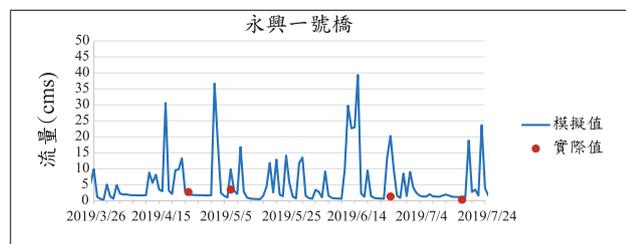
表 2 集水區模式檢定結果

(a) 流量檢定結果

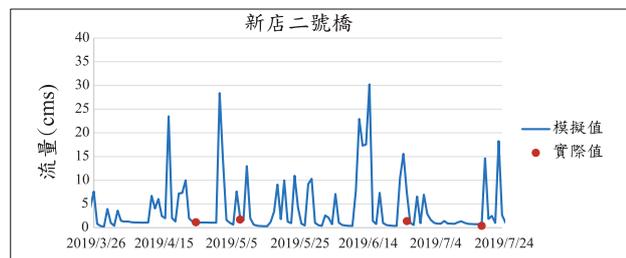
月份	率定				驗證			
	4 月		5 月		6 月		7 月	
流量 (cms)	模擬值	實際值	模擬值	實際值	模擬值	實際值	模擬值	實際值
永興一號橋	2.04	2.70	9.84	3.47	20.28	-	1.14	0.32
新店二號橋	1.15	1.12	2.26	1.70	7.32	1.38	0.72	0.40
新興橋	0.47	0.30	0.61	0.39	0.41	0.34	5.85	-
R ²	0.69				0.98			

(b) 水質檢定結果

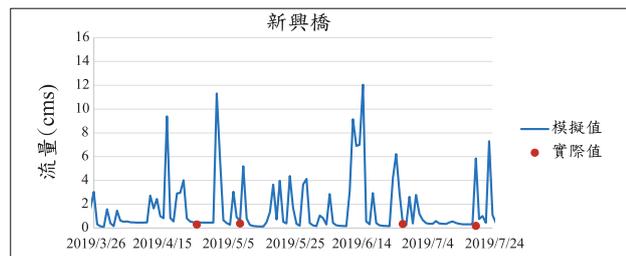
月份	率定				驗證			
	4 月		5 月		6 月		7 月	
總磷 (mg/L)	模擬值	實際值	模擬值	實際值	模擬值	實際值	模擬值	實際值
永興一號橋	0.05	0.05	0.02	0.18	0.02	0.03	0.02	0.02
新店二號橋	0.05	0.05	0.04	0.05	0.01	0.03	0.02	0.02
新興橋	0.06	0.04	0.06	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03
MAPE (%)	26.96				48.34			



(a) 永興一號橋流量檢定結果

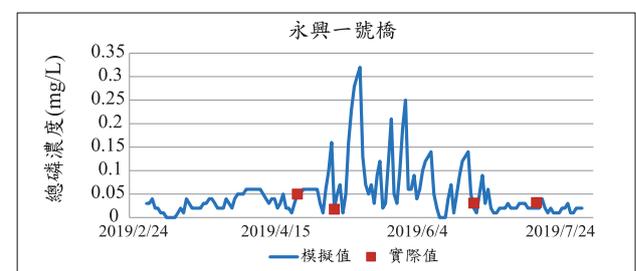


(b) 新店二號橋流量檢定結果



(c) 新興橋流量檢定結果

圖 5 集水區模式流量檢定結果



(a) 永興一號橋總磷檢定結果



(b) 新店二號橋總磷檢定結果



(c) 新興橋總磷檢定結果

圖 6 集水區模式總磷檢定結果

表 3 水庫水質模式檢定結果

水庫水質模式之率定結果(2017年)		
	總磷濃度(mg/L)	MAPE(%)
模擬值	0.022	8.32
實際值	0.024	
水庫水質模式之驗證結果(2018年)		
	總磷濃度(mg/L)	MAPE(%)
模擬值	0.023	5.63
實際值	0.022	

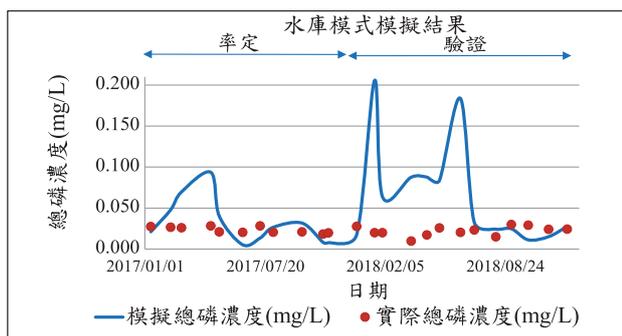


圖 7 Vollenweider 模式檢定結果

四、明德水庫集水區污染源及污染熱區分析

4.1 污染源分析

本研究針對明德水庫集水區之污染源進行分析，其目的為推估集水區之點源污染產量及非點源污染產

量，藉以分析明德水庫集水區之污染源，作為後續污染削減策略之評估標準。明德水庫周邊的點源污染來源大致可分為生活污水及遊憩污水；因集水區內無列管之排放污水事業單位，故不計算事業廢水；畜牧是數量過於稀少，忽略不列入計算。生活污水主要為當地居民所產生之家庭污水，參考經濟部水利署自來水生活用水量統計，苗栗縣2018年之每人每日生活用水量為254公升，因此本研究假設生活污水量為每人每日200公升。生活污水估算方式為集水區內人口數乘上每人每日之生活污水量，並依照當地水資源回收中心的污水總磷濃度(4 mg/L)來計算污染量。根據苗栗縣政府戶政服務網2019年3月底苗栗縣鄉鎮村里人口數統計資料和苗栗縣各鄉鎮村里的面積及占集水區之面積比例，可推估明德水庫區域之居住人口數約有3,296人，生活污水推估的總磷污染量為320.01 kg/yr。

遊憩污水為觀光人潮所帶來的污水，分為住宿污水(旅遊住宿業者)及當日往返的遊客所造成的觀光污水量(即為沖廁及洗手之污水量)。住宿污水部分計算方式以集水區內住宿人數乘以每人每日之生活污水量(200 L/人/日)，再乘以污水總磷濃度(4 mg/L)推估其污染量；非住宿污水以觀光人口數乘以每人每日所產生之觀光污水量(13 L/人/日)，再乘以污水總磷濃度計算其污染量，本研究推估明德水庫之遊憩住宿污水之總磷污染量約為21.46 kg/yr，觀光污水所產生之總磷污染量約為1.76 kg/yr，故明德水庫集水區實際進入水體的點源污染量約為343.2 kg/yr；表4為明德水庫集水區之點源污染源之污染量推估結果。

表 4 明德水庫集水區之點源污染源之污染量推估結果

子集水區編號	人口數 (人)	生活污水 (kg/yr)	觀光人數 (人/年)	觀光污水 (kg/yr)	住宿人數 (人/日)	住宿污水 (kg/yr)	點源總磷年總污染量 (kg/yr)
S1	93	9.01	2726	0.05	22	2.14	11.2
S2	327	31.73	9602	0.17	-	-	31.9
S3	187	18.12	5483	0.10	-	-	18.2
S4	31	3.01	910	0.02	-	-	3.0
S5	68	6.61	1999	0.04	-	-	6.6
S6	147	14.30	4328	0.08	28	2.72	17.1
S7	279	27.11	8206	0.15	-	-	27.3
S8	149	14.42	4365	0.08	-	-	14.5
S9	145	14.09	4266	0.08	-	-	14.2
S10	285	27.69	8380	0.15	-	-	27.8
S11	156	15.10	4571	0.08	14	1.36	16.5
S12	89	8.68	2628	0.05	36	3.50	12.2
S13	198	19.24	5824	0.11	19	1.84	21.2
S14	82	8.00	2420	0.04	-	-	8.0
S15	459	44.59	13495	0.25	-	-	44.8
S16	281	27.29	8260	0.15	-	-	27.4
S17	319	31.02	9388	0.17	102	9.90	41.1
總和	3296	320.01	96852	1.76	221	21.46	343.2

非點源污染推估方式，本研究使用已經過檢定後的集水區模式(SWMM 模式)進行模擬，將 2017 年至 2019 年 7 月降雨資料套入模式中，模擬該地區的總磷污染產量，2017 年非點源總磷污染產量約為 1641.47 kg/yr，2018 年非點源總磷污染產量約為 1706.20 kg/yr；

表 5 明德水庫集水區之非點源污染源之污染量推估結果

年份	2017	2018
子集水區編號	非點源總磷年總污染量(kg/yr)	非點源總磷年總污染量(kg/yr)
S1	49.376	48.558
S2	166.388	164.089
S3	85.388	90.794
S4	16.492	16.404
S5	43.319	42.783
S6	60.801	58.031
S7	134.969	142.124
S8	56.836	59.674
S9	88.653	87.21
S10	158.698	169.396
S11	99.397	105.433
S12	59.219	59.128
S13	45.115	49.757
S14	47.256	50.807
S15	160.921	169.086
S16	133.903	147.117
S17	234.736	245.811
總和	1641.47	1706.20

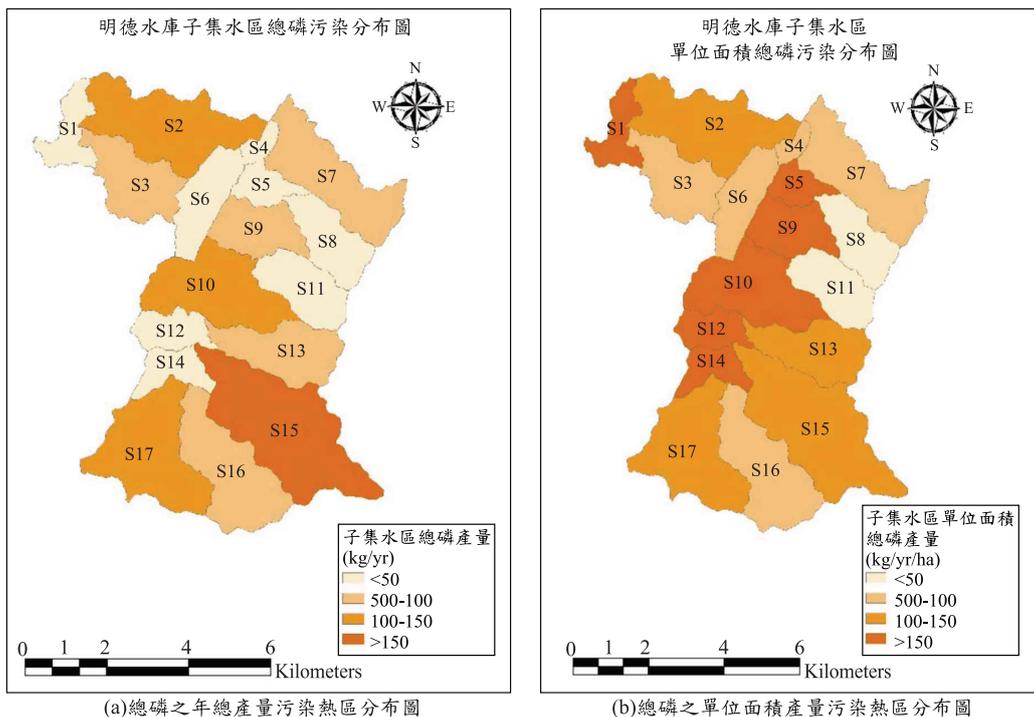
表 5 為明德水庫集水區之非點源污染源之污染量推估結果。經本研究所估算之明德水庫集水區污染推估結果彙總如表 6 所示。由結果可知，進入明德水庫的年總磷污染量(含點源及非點源污染)約為 2,000 kg/yr，而此地區是以非點源污染為主，約占整體的 80%，可針對本研究之污染負荷熱區進行非點源污染削減；而點源污染部分約占 20%，可從區域性聚落進行點源污染控制。

表 6 明德水庫集水區之污染負荷量推估結果

污染源類別	2017 年總磷污染量(kg/yr)	比例(%)	2018 年總磷污染量(kg/yr)	比例(%)
點源污染	343.20	17.29%	343.20	16.75%
非點源污染	1641.47	82.71%	1706.20	83.25%
合計	1984.67	100.00%	2049.40	100.00%

4.2 污染熱區分析

本研究完成模式率定驗證後，則進行污染負荷熱區分析，以 2018 降雨資料作為現況降雨量，並以 ArcGIS 分別呈現各子集水區年總磷產量(公斤/年)及單位面積產量(公斤/公頃/年)之空間分佈變異性，分析結果如圖 8 所示。總磷之年總產量部分，由圖 8(a)顯示，S15 為污染最嚴重之區域，該子集水區擁有較大的土地



(a)總磷之年總產量污染熱區分布圖

(b)總磷之單位面積產量污染熱區分布圖

圖 8 明德水庫集水區污染熱區分析

面積，其農業用地面積較其他子集水區高，總磷之年總產量為 173.95 kg/yr，而人為開發程度最低的 S4 即為污染最輕微之地區，總磷之年總產量為 10.11 kg/yr；總磷之單位面積產量部分，由圖 8(b)顯示，S1、S5、S9、S10、S12 及 S14 為污染較嚴重之區域，其人為用地及農業用地比例較其他子集水區高，推斷原因可能為人為活動密集區，而其餘地區之污染較輕微。本研究將其與各子集水區之土地利用進行比較及分析，各項土地利用分布比例及情況可能會影響子集水區的污染程度，農業使用用地會影響到總磷(TP)及懸浮固體(SS)，而人為使用用地則可能會影響到生化需氧量(BOD)及懸浮固體(SS)，由上述可得知，土地利用的分布與總磷單位面積產量關係密切。

五、水質改善策略

本研究區域明德水庫為苗栗地區重點水庫之一，因此維持其水庫之水質為相當重要之目標，庫區目前是處於普養上限值，根據行政院環保署監測統計 2019 年總磷濃度為 0.023 mg/L，每年約會有 2.017 噸的污染進入到水庫當中。為了改善水庫水質現況，建議進行水庫污染之削減策略，當減量約 0.209 噸(約減量 10%)之總磷污染量時，可改善明德水庫水質至甲類水體水質標準(0.02 mg/L)，減量約 0.390 噸(約減量 20%)之總磷污染量時，可使明德水庫達到穩定普養狀態(0.018 mg/L)，而減量約 0.932 噸(約減量 46%)之總磷污染量時，可達到普養之下限值(0.012 mg/L)，明德水庫之總磷污染量削減策略及成效分析如表 7 所示。

本研究將庫區及集水區之污染進行估算，在明德水庫集水區是以非點源污染比重較高，而點源及非點源污染分別約佔 20%及 80%；由此可知明德水庫之庫區集水區是以非點源污染為主，可加重此區域之削減計畫，針對非點源污染進行削減策略之分析。本研究針對明德水庫集水區規劃了不同地削減策略，在點源污染部分，可針對污染較嚴重之區域設置簡易式淨化槽，透過污水的處理，使水質達到淨化的效果，日本於 1988 年發展出一新興的現地污水處理技術，稱為呈層複合土壤水質淨化系統(Multi-Soil-Layering System, MSL)，其土地使用面積小，且其對磷的去除效果較佳，可更有效地改善點源污染(行政院環境保護署，2019)；在非點源污染部分，明德水庫污染源以非點源污染為主，因此非點源污染的控管更加重要，非點源污染相較於點源污染較難控制，其是以分散的形式存在，隨著降雨將地表累積的污染物排入到水體當中，因此沖蝕及土壤流

失可能是造成非點源污染主要的問題，可透過最佳管理措施(BMP)的實施，如劃設保護帶、設置植生溝、入滲溝及植生過濾帶等設施來過濾水體，以減少泥沙排入至水體當中，來減少逕流量及降低洪峰流量；此外亦可推動農業管理，因農業行為是總磷污染的重要來源之一，故透過減少農藥的使用亦可改善庫區之水體狀況。針對不同的污染源可選用不同的削減措施，有效地進行集水區管理，明德水庫之總磷污染量削減方法彙整如表 8 所示，此外，本研究建議從污染熱區優先推動總磷污染削減策略。

表 7 明德水庫之總磷污染量削減策略

水質改善目標	總磷濃度 (mg/L)	年產量 (噸/yr)	減量 (噸/yr)	減量 (%)
現況	0.023	2.017	-	-
甲類水體水質標準	0.020	1.808	0.209	10.38%
穩定普養	0.018	1.627	0.390	19.34%
普養下限	0.012	1.085	0.932	46.23%

表 8 明德水庫之總磷污染量削減方法

污染源類別	污染削減方法
點源污染	<ul style="list-style-type: none"> 簡易式淨化槽 2.呈層複合土壤水質淨化系統(MSL)
非點源污染	<ul style="list-style-type: none"> 推動農業管理 最佳管理措施(BMP)：如設置植生溝、入滲溝及植生過濾帶等設施

六、結論與建議

- 1.明德水庫水質現況時常有優養化情形，且近年來有日趨惡化之趨勢，為改善水庫水質狀態，必須有效進行集水區內之污染削減。根據本研究分析結果，明德水庫內之非點源佔比較點源高，因此，推動非點源污染控制與削減策略，對水庫水質改善之成效會較顯著。
- 2.本研究結合集水區模式(SWMM 模式)及水庫水質模式(Vollenweider)，分析污染源與水庫水質之關聯性，且應用模式預測污染削減策略下之水庫水質改善成效。若以甲類水體水質標準為水質改善目標，則集水區總污染量應削減約 10%，若以穩定普養為水質改善目標，則集水區總污染量應削減約 19%。
- 3.本研究評估明德水庫集水區污染熱區，由分析結果可知，有兩大區塊之單位面積污染負荷量較高，包括接近水庫庫區周邊及中游區塊的幾個子集水區，故建議在污染熱區優先推動污染削減策略，

惟具體策略仍應配合中央與地方政府政策方能落實。

參考文獻

1. 行政院環境保護署(2011), 環境影響評估河川水質評估模式技術規範。
2. 行政院環境保護署(2019), 108 年度北區水庫水質治理前瞻綜合管理計畫。
3. 林學文(2015), 水庫水質營養狀態管理指標之研究-以南化水庫與鏡面水庫為例, 淡江大學水資源及環境工程學系碩士班學位論文。
4. 苗栗縣環境保護局(2019), 108 年度苗栗縣明德水庫總磷總量管制暨總量削減計畫」。
5. 陳羿秋(2015), 石門水庫總量管制之研究, 臺北科技大學土木與防災研究所碩士班學位論文。
6. Ahmadi, M., Records, R., and Arabi, M. (2014). Impact of Climate Change on Diffuse Pollutant Fluxes at the Watershed Scale. *Hydrological Processes*, 28(4), 1962-1972.
7. De Wit, M. and Stankiewicz, J. (2006). Changes in Surface Water Supply Across Africa with Predicted Climate Change. *Science*, 311(5769), 1917-1921.
8. Dixon, N. and Brook, E. (2007). Impact of Predicted Climate Change on Landslide Reactivation: Case Study of Mam Tor, UK. *Landslides*, 4(2), 137-147.
9. Dunn, S. M., Brown, I., Sample, J., and Post, H. (2012). Relationships Between Climate, Water Resources, Land Use and Diffuse Pollution and the Significance of Uncertainty in Climate Change. *Journal of Hydrology*, 434, 19-35.
10. Kay, A. L., Davies, H. N., Bell, V. A., and Jones, R. G. (2009). Comparison of Uncertainty Sources for Climate Change Impacts: Flood Frequency in England. *Climatic Change*, 92(1-2), 41-63.
11. Molina-Navarro, E., Trolle, D., Martínez-Pérez, S., Sastre-Merlín, A., and Jeppesen, E. (2014). Hydrological and Water Quality Impact Assessment of a Mediterranean Limno-reservoir Under Climate Change and Land Use Management Scenarios. *Journal of Hydrology*, 509, 354-366.
12. Tapp, J.S. (1978). "Eutrophication Analysis with Simple and Complex Models," *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 50, No. 3, pp.484-492.
13. C. and Smith, P. (2018). Modeling Pollutant Buildup and Washoff Parameters for SWMM Based on Land Use in a Semiarid Urban Watershed. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(4), 121.
14. Tuomela, C., Sillanpää, N., and Koivusalo, H. (2019). Assessment of Stormwater Pollutant Loads and Source Area Contributions with Storm Water Management Model (SWMM). *Journal of environmental management*, 233, 719-727.
15. Vollenweider (1968), "R. A., Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters," With Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication. Tech. Report No. DAS/CSI/68.27.
16. Xu, T., Jia, H., Wang, Z., Mao, X., and Xu, C. (2017). SWMM-based Methodology for Block-scale LID-BMPs Planning Based on Site-scale Multi-objective Optimization: A Case Study in Tianjin. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(4), 1.
17. Yazdi, M. N., Ketabchy, M., Sample, D. J., Scott, D., and Liao, H. (2019). An Evaluation of HSPF and SWMM for Simulating Streamflow Regimes in an Urban Watershed. *Environmental Modelling & Software*, 118, 211-225.
18. Yu, P. S., Yang, T. C., Kuo, C. M., Tseng, H. W., and Chen, S. T. (2015). Climate Change Impacts on Streamflow Drought: A Case Study in Tseng-Wen Reservoir Catchment in Southern Taiwan. *Climate*, 3(1), 42-62.

收稿日期：民國 109 年 02 月 24 日

修正日期：民國 109 年 03 月 17 日

接受日期：民國 109 年 04 月 01 日