

應用 WASP 模式評估污水下水道接管對河川水質改善之成效-以二仁溪為例

Applying the WASP Model to Evaluate the Effect of Wastewater Sewer Takeover on River Water Quality Improvement – A Case Study of the Erren River

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
水利工程與資源保育學系
教授

張嘉玲*

Chia-Ling Chang

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
大學部專題生

楊宗祐

Zong-You Yang

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
大學部專題生

蘇致仁

Jhih-Ren Su

逢甲大學
水利工程與資源保育學系
大學部專題生

林新源

Sin-Yuan Lin

摘 要

二仁溪是台灣南部重要的河川之一，屬於中央管的河川，主要受到來自高雄與台南兩個地區的污染，流域的周遭有許多的工廠，因此有許多進入河川的污水可能尚未處理或是有偷排進入河川的情況，因此使得河川水質呈現較差的情形，進而導致河川的水無法直接使用，因此二仁溪也被列為重點管理河川之一。本研究針對水質改善提出兩種方案，第一種為增加污水下水道接管率，改善排水濃度，使排水進入河川水質都符合放流水標準；第二種方案為總量管制，分別對各排水減少 50% 污染量、減少 100% 污染量以及減少上游邊界污染濃度使其達到公告水體水質標準三種情境進行模擬，並探討改善的效果。由結果得知 BOD 以改善放流水的效果較佳，可使河川超過污染標準的超標率降至 8%，而 SS 則以改善上游的污染能有較好的成效，可使超標率降至 0%。

*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

關鍵詞：WASP 模式、河川水質模擬、水質改善。

ABSTRACT

The Erren River is one of the important rivers in southwestern Taiwan. The river belongs to the Central Administration. Its pollution mainly comes from Kaohsiung and Tainan. There are many factories in this basin. The sewage entering the river may not be treated, so that the water quality is poor and need to be improved. Therefore, the Erren River is listed as one of the key management river. This study proposes two solutions for water quality improvement for the Erren River. The first is to increase the sewage treatment rate and to improve the drainage concentration so that drainage into the river water quality can meet the discharge water standard. The second way is to control the total pollution loads. The scenarios are to reduce 50% and 100% pollution loads, and the concentration of pollution at the upstream boundary. This study discusses the efficiency of these pollution reduction strategies. The results show that BOD can be reduced when increasing the sewage treatment rate, while SS reduction needs to control upstream pollution loads.

Keywords: WASP, water quality simulation, water quality improvement.

一、前 言

1.1 研究緣起

台灣的年平均降雨量為 2500 公釐，與世界的年平均降雨量相比高出了 2.6 倍，但是由於台灣的降雨時間較為集中，且人口分布密集，導致了能使用的土地較少，因此為了增加可以使用的土地，更壓迫到了河川地，再加上台灣的河川普遍較短，所以在降雨之後水能留在河川中的時間也較短，種種原因造成台灣每人能夠分配到的平均水量較低，使台灣成為全世界缺水國家中排行第 18 名。隨著台灣的經濟、工業發展，排放進入河川的污染也越來越多，由台灣環境保護署的網站統計資料中，可以得知近 10 年來，在人口較密集且開發較高的地區，中度與高度污染的比例高達 7 成。台灣的水資源利用面臨水質水量的綜合性問題，水資源有效運用相當不容易，而河川水質改善也一直是相關單位相當重視的課題。

河川水質改善的方式有很多，有效控制進入

水體之污染源是最重要的辦法。目前台灣除了實施各種污染處理的對策，以及做好防治的方法外，更推動增加污水下水道接管方案，希望能改善水質，目前台灣北部污水下水道接管率達到 90%以上，而台灣南部僅有不到 10%的接管率，因此在台灣南部仍有增加的空間(行政院環保署，2015)。

1.2 研究目的

近年來國內開始使用各式軟體來進行水質變化的模擬，無論是集水區或是河川的模擬都開始使用模式，因此會針對研究區域的集水區或是河川進行調查後，再依據各模式不同的特性，選擇適合的模式進行模擬，並且依據河川特性對於模式進行參數的設定，使模擬出來的結果具有可信度，並以模式呈現其結果，再藉由建立的模式進行後續的模擬。本研究目的係要以建置具有可信度的河川模式，並應用河川模式模擬及預測水質改善策略之成效，期望可以找出最佳的水質改善方案，並探討污水下水道接管率提升是否對河

川水質之改善效果。

二、研究方法

2.1 研究架構與流程

本研究主要採用河川水質模擬軟體進行水質的模擬與評估污染削減對策的效果，主要的流程包含資料收集、模式建置及率定驗證、河川水質改善方案模擬、河川水質改善方案評估及比較，圖 1 為本研究的流程圖。

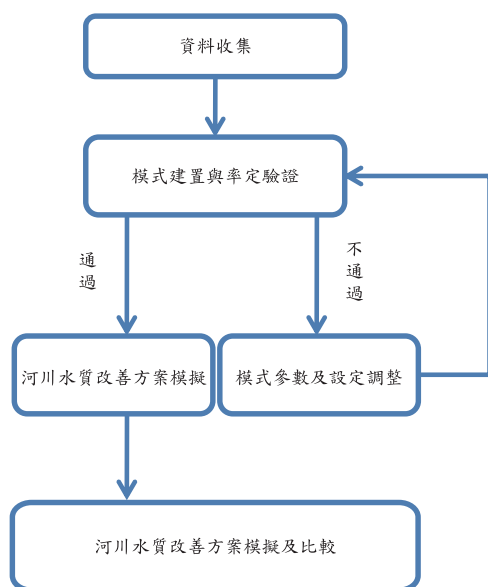


圖 1 研究流程圖。

2.2 研究區域介紹

本研究選擇二仁溪作為研究的河川，二仁溪在台灣也是重要的河川之一，並且二仁溪屬於中央管河川，主要承受來自台南與高雄的污水。二仁溪發源於阿里山山脈水系，主流長度約為 63.2 公里，是高雄市與台南市的界河。二仁溪上、中、下游都有不同的名稱，主要是由上游的分水溪進入岡山溪之後再進入角帶圍溪一直到下游範圍才被稱為二層行溪，並且在後來更名為二仁溪。二仁溪主要的支流有三爺宮溪、深坑子溪、港尾溝溪、松子腳溪與牛稠埔溪等支流，整個二仁溪

流域的面積約為 350 平方公里(吳，2011)，圖 2 為本研究區域位置示意圖。



圖 2 研究流域位置示意圖。

二仁溪周圍有許多的處理廢五金與提煉的工廠，是台灣主要工廠的聚集地之一，在早期的時候，有許多工廠沒有進行水質處理、淨化就直接排放進入河川，因此導致河川的水質逐漸的惡化，甚至其中更出現有毒物質，而丟棄在河岸兩旁的廢棄物也是造成河川主要污染的原因之一，這些污染導致了河川水質的問題，並且引發相當嚴重的污染，更產生了綠牡蠣、稻米污染等嚴重的污染事件，影響了人類的生活。二仁溪上游曾經是畜牧區，因此畜牧業的廢水進入後，加上工廠的污水進入，更進一步的導致了水質的惡化，目前已有設置污水截流與現地處理設施。依據陸域地面水體水質標準的分類，二仁溪整體分成三個段落，分別對應丙、丁、戊三類水體水質標準，二仁溪於上游的二層橋至二層行橋處公告為丙類水體水質標準，此段總長約 46.5 公里，由二層行橋至南荳橋則是丁類水體水質標準，此段長 5 公里，最後由南荳橋至出海口則為戊類水體水質標準，長 1 公里(行政院環保署，1998 年)。

2.3 河川水質應用

1. 模式選擇

本研究選擇 WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) 模式進行模擬，WASP 模式

主要發展於美國的曼哈頓學院，後來經由美國環保署的改良後成為現在常用的模擬軟體之一，目前 WASP 模式被廣泛的運用在水質模擬的研究之中，且 WASP 主要可以模擬不同水體的變化，如河川與河口的變化，因此成為較多人使用的模式之一。此外 WASP 還可以模擬水體受到物理變化、人為活動影響等因素產生的污染變化之後的水質變化，且模式中污染模組包含相當廣泛，此外模式所建立的模擬可以包含一、二、三維的模擬，並可觀察到底泥與水質的相互作用(Ambrose and Wool, 2001)。

近年來，水質模式可以模擬的污染項目逐漸增加，需要的輸入的資料也逐漸增加，其中，WASP 在 2005 年推出了可以使用在 WINDOWS 系統上的版本，提供更多容易使用的介面，並且提供更多樣的污染物模擬供人使用，讓使用者能夠更方便地進行模擬，其中包含優養化模組、重金屬模組、有機毒物模組……等六種模式，總共有 16 種污染方程式可供選擇使用(Ambrose and Wool, 2009)；此外，隨著模式的發展，為了使模式模擬出更準確的結果，河川相關參數設定也被加入模擬軟體裡面，因此能夠更仔細的把河川資訊告訴模式，使模擬的精度得以提升，因此在模擬的時候需要先建立河川或網格的劃分、污染負荷量、參數、初始濃度等條件的資料輸入，並選擇使用的模式計算的模組、計算方程式後進行模擬，以期可以達到更精確的模擬(林, 2006; 賴, 2013)。

2. 模式建置

(1) 資料收集

本研究針對模式中模擬所需要的斷面資料採用政府資料開放平台中公開的河川斷面樁號資料，並且依照河川斷面樁號進行模式所需要的河段切割，並且依照實際斷面資料於地理倉儲中心中取得實際的斷面資料作為模擬時使用。針對模擬所需要的流量、污染負荷量等資料，本研究採用環境保護署於 2015 年公開的重點河川調查資料報告中的實際調查資料與魚骨圖的實際資料，以實際的調查資料作為依據(經濟部水利署, 2015, 行政院環保署, 2015)。針對模式的率定驗

證所需要的監測資料，本研究使用環境保護署的全國水質監測網站中的資料，並且配合模擬輸入的流量、負荷量採樣的日期，因此監測資料採用 2015 年監測的資料，本研究於上游二層橋至下游南荳橋共取了 7 個監測站資料。

(2) 河段切割與邊界條件設定

WASP 模式於模擬之前需要進行河段分割，並且依據各個分割的河段給予斷面幾何資料、污染資料、流量資料及參數等設定，並且決定使用的計算公式與模式模組，將詳細的資料提供給 WASP 模式後才能進行模擬(Ambrose *et al.*, 1993)。本研究依照各斷面樁號的位置進行切割，並且使每個切出來的河段中僅包含一個排水進入，本研究將支流視為排水進入，因此在設定的時候，每個河段僅會包含一個排水或是支流。本研究選定二仁溪上游處的二層橋作為上游的邊界往下游模擬至河口，總長 52.5 公里，設定時，二層橋為上游邊界，下游邊界為南荳橋。本研究設定邊界條件時為避免下游模擬受到影響，因此僅設定上游邊界的資料，且邊界條件採用實際調查資料作為輸入的依據，圖 3 為本研究的河道劃分示意圖。

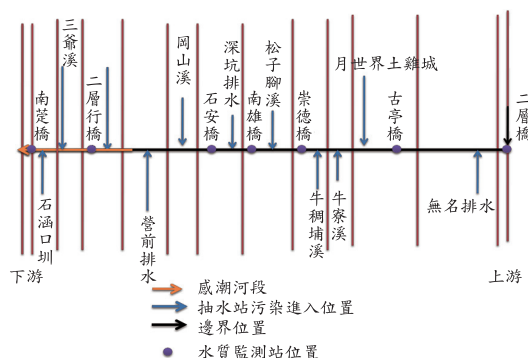


圖 3 二仁溪河道劃分示意圖。

(3) 模式率定驗證

本研究採用平均絕對百分誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 作為率定驗證的指標，依據「環境影響評估河川水質評估模式

技術規範」中規定與建議，河川水質模式的率定及驗證需要採用平均絕對百分誤差作為指標進行計算，因為平均絕對百分誤差法所計算時，使用的數值為相對的數值，不會受到測量值與單位的大小的影響，因此選擇此指標會較為準確，且較具有可信度。平均絕對百分誤差法的計算如式(1)所示(行政院環保署，2011)，其中 $x(k)$ 表示實際值， $x'(k)$ 為模擬值， M 為監測站點數。

$$MAPE = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \left| \frac{x(k) - x'(k)}{x(k)} \right| \times 100\% \dots\dots (1)$$

MAPE 值若是小於百分之五十則為可信的預測，模式即可使用且具有可信度並能提供後續模擬使用，相反地，MAPE 值若判定大於百分之五十，則表示模式模擬之結果與實際監測的數值差異較大，模式不能提供後續所使用，因此需要重新進行設定後再次檢驗，指標判定的詳細標準如表 1 所示。

表 1 模式預測可信度判斷

平均絕對百分誤差(MAPE)	判別
<15%	高準確預測
10%~20%	優良預測
20%~50%	合理預測
>50%	不合理預測

2.4 污染管制策略

本研究針對污染管制對策的部分提出了兩個方案，並且利用 WASP 模式進行模擬，並比較現況與改善對策的差異，探討改善的成效。本研究提出的第一個方案為增加污水下水道接管率，改善各排水至放流水標準，並經由 WASP 模擬後探討各河段是否符合公告之陸域地面水體水質標準。第二個方案為總量管制，並且針對各排水減少污染量 50%、減少 100%與改善上游邊界污染濃度三種情境進行模擬，探討污染主要來源是經由排水或是來自上游的污染，並找出較佳的改善方案，使河川水質符合公告的水體水質標準。

1.提高污水下水道接管策略

針對改善放流水的策略，本研究提出的方案為增加污水下水道的接管率，使各排水或支流進入河川的水質符合公共污水下水道污水排放標準，並與現況進行比較，探討改善放流水是否能有效的改善水質。本研究區域河川流量皆大於 250 CMD，因此採用的公共污水下水道的放流水標準，BOD、SS 兩者濃度皆應小於 30 mg/L。本研究比對目前河川周邊各污水排放濃度與放流水標準之水質濃度，若目前污水排放濃度大於放流水標準，則假設污水下水道接管後可改善至放流水標準後再排放，若目前污水排放濃度已小於放流水標準，則維持現有的排放狀況。

2.污染總量管制策略

本研究提出的第二個方案為總量管制，限制排水進入的總污染量以及限制上游的污染量，因此本研究針對減少排水 50%污染量、減少排水 100%污染量以及減少上游污染使上游邊界符合公告的陸域地面水體水質標準三種情境進行模擬，並且與現況進行比較，探討河川污染主要來自排水的污染量或是上游的污染造成水質呈現較糟糕的情況，並且探討何種改善的方式能有效使河川水質改善至符合公告的陸域地面水體水質標準。本研究所提出之污染減量策略，均不改變污水排放之水量，而是改變污染負荷量，污染負荷減量時，BOD、SS 等水質濃度會變低，進而減輕污水排放對河川水質之衝擊。

三、結果與討論

3.1 模式檢定結果與分析

本研究針對生化需氧量的檢定，使用模擬的 1 至 6 月作為率定使用，並使用模擬的 7 至 12 月作為驗證使用，用以檢驗生化需氧量的 MAPE 是否符合規定，針對 SS 的部分，本研究採用 1 至 4 月作為率定，5 至 8 月作為驗證，主要原因為本研究採用之模式為線性計算，因此依據使用的數據會干擾到後續的模擬，本研究採用的數據中 8 月份的上邊界濃度上升幅度過大，因此使其符合現況後，後續的月份模擬值會向上增幅，導致後續月份的數據無法與實際情況對應，因此本研究率定驗證時，剔除後續因模式限制而無法使用的

數據。經由率定驗證結果，本研究 BOD、SS 的模擬 MAPE 皆小於 50%，表示模式模擬具有可信度，表 2 為 BOD、SS 率定驗證的詳細結果。

表 2 河川水質模式率定驗證結果

(a) BOD 率定驗證結果

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	率定
56.92%	59.69%	56.77%	31.24%	30.99%	35.83%	45.24%
7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	驗證
25.23%	25.97%	26.19%	29.27%	33.74%	34.10%	29.08%

(b) SS 率定驗證結果

1 月	2 月	3 月	4 月	率定
41.57%	39.59%	26.62%	17.23%	31.25%
5 月	6 月	7 月	8 月	驗證
23.49%	28.19%	84.11%	45.76%	45.39%

3.2 河川水質改善成效分析

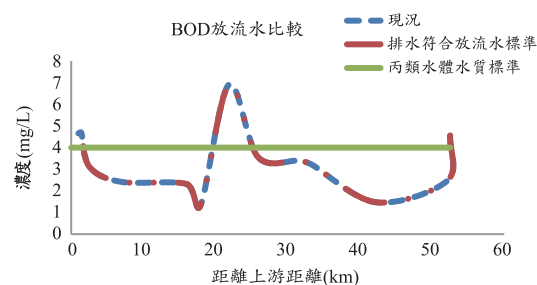
本研究經由 MAPE 的計算，確認模式具有可信度，並可利用於後續的模擬，後續本研究將分成兩種情況討論，分別為提高接管率與總量管制兩部分進行討論，期望方案比較後可以得出較佳的改善方式。

1. 提高污水下水道接管率之策略成效

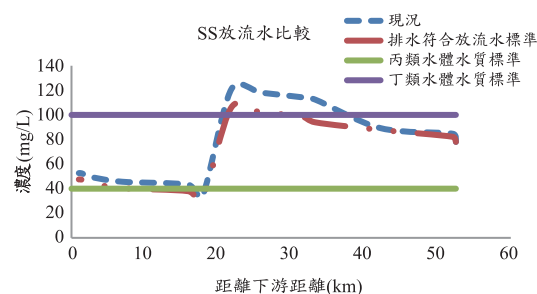
本研究提出的第一個方案為提升污水下水道的接管率，並藉由提高污水下水道的接管率來改善排水至符合放流水標準，並且與現況進行比較，討論改善的成效。本研究採用的污水排放數值中，BOD 各排水現況皆已經符合放流水標準，因此污水排放之水質水量將維持現況；而 SS 的部分，由於現況污水排放濃度有超過放流水標準之情況，因此本研究假設污水下水道接管後，各排水之污水排放濃度可以改善至符合放流水標準。由圖 4 結果可知，在提升污水道接管率的策略下，對 BOD 並無影響，而此策略雖可降低河川中 SS 濃度，但濃度下降幅度不大，在距離下游 40 公里至 20 公里處濃度減少較多，但整體而言，此策略成效並不顯著。

本研究針對河段進行統計，計算了超過水體

水質標準的河段所佔的比例，結果顯示未改善前的 BOD 的超標率為 15%，SS 的超標率為 69%，改善之後 BOD 的超標率仍為 15%，而 SS 的超標率僅下降到 62%。在此方案中可以由結果得知，距離下游 25 公里處削減成效較好，減少了 15 mg/L 的污染濃度，但就整體而言，SS 的超標率仍較高，且改善排水下降的幅度不大，因此本研究推論其主要污染不是來自於各排水進入的污染。



(a) BOD



(b) SS

圖 4 策略一：符合放流水標準排放成效分析。

2. 污染總量管制之策略成效

本研究針對總量管制的部分提出減少各排水的污染量 50%與 100%與減少上游的污染量三種情況，針對三種情況與現況的比較，探討主要污染來自於各排水或是上游，並選擇出較佳的改善方案。

(1) 減少污染排放量比例

本研究針對各排水進行污染量的減量，分別針對各排水減少 50%及 100%的污染量，探討河

川主要污染是否來自於各排水排放的污染，並討論削減一半與全部削減是否能使河川水質改善，並達到公告的水體水質標準。本研究河川區域上游為丙類水體水質標準，距離下游邊界 5 公里至距離下游 1 公里處為丁類水體水質標準，距離下游 1 公里至最下游為戊水體水質標準，經由模擬結果可以得知，BOD 主要污染來自於各排水排放進入河川的污染，因此在削減各排水的污染量 50% 的情況下，就能使大部分河段符合丙類水體水質標準。針對懸浮固體的部分，可以發現到儘管削減 100% 的污染量，也僅能使河川符合丁類水體水質標準，因此針對 SS 的污染來源，本研究推論其主要污染來源並非由排水進入河川。本研究針對河段超過標準的比例進行超標率的計算，BOD 的超標率減少 50% 與減少 100% 污染量兩者都僅有一個河段超過標準，因此可以發現到超標率降低到了 8%，而 SS 的部分，由於主要污染並非來自排水，因此削減效果較差，超標率僅降低至 54%，仍有超過一半的河段是超出標準的情況，圖 5 為改善排水比較圖。

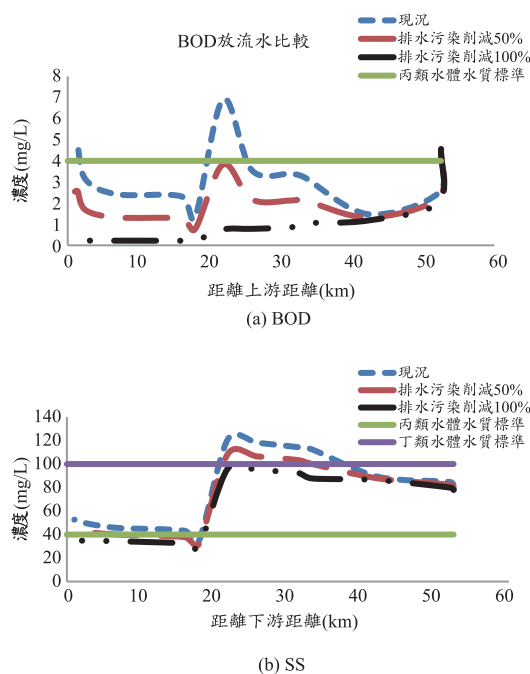


圖 5 策略二：減少污染排放量比例之成效分析。

(2) 上游污染減量控制

本研究提出的第二個方案總量管制中的第三種情況就是改善上游的污染，因此本研究針對改善上游邊界濃度使其符合公告的陸域地面水體水質標準。本研究區域 BOD 之污染濃度已符合公告標準，因此無須進行改善，針對 SS 的部分，原始 SS 上游邊界污染濃度僅符合丁類水體水質標準，而公告為丙類水體水質標準，污染濃度超過許多，因此本研究針對 SS 的部分進行上游污染改善的模擬，並使上游污染濃度符合公告的丙類水體水質標準。由計算結果可以得知 BOD 的超標率為 15%，因此可以知道 BOD 主要污染並非上游所造成的，大部分來自於排水，因此才會呈現較高的超標率，針對 SS 的部分，可以發現到將河川上游的水質改善至標準後，超標率下降至 0%，因此 SS 的污染主要來自上游，圖 6 為改善上游的比較圖。

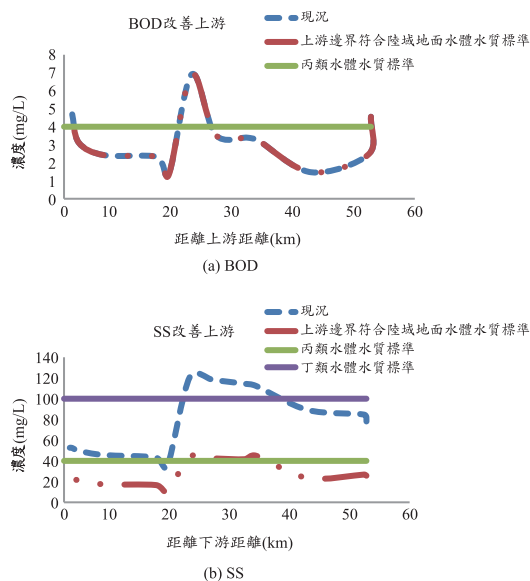


圖 6 策略三：上游污染減量控制之成效分析。

結論與建議

1. 本研究採用 WASP 模式進行模擬，並經由率定驗證確認模式參數，因此本研究的建立的模

型是可以使用的，後續對於本研究提出的水質改善策略進行模擬的結果具有可信度。

2. 二仁溪的 BOD 上游邊界現況已符合公告之陸域地面水體水質標準，且各排水各自符合放流水標準，但由於累積的污染量較多，導致部分河川現況污染濃度超過標準。SS 的上游邊界現況為超過公告之標準，加上現況有部分排水未符合放流水標準，因此現況超標的情況較 BOD 嚴重。
3. 管制對策中 BOD 各排水進入的污染符合放流水標準，且上游亦符合陸域地面水體水質標準，但進入河川的總污染量較高，因此各排水進入的污染量是造成 BOD 水質惡化的主要原因，減少排水污染量進入能有效改善水質。SS 由於上游邊界已超過標準較多，因此河川 SS 污染於起始就呈現較高的情況，使上游邊界符合陸域地面水體水質標準後，削減較多的污染，而各排水則是略高於放流水標準，因此在改善排水後雖有成效，但效果比改善上游邊界污染的效果差。
4. 由二仁溪水質改善策略整體評估結果而論，污水下水道接管率提升對二仁溪水質會有所改善，但仍需配合流域污染源之整體控制與削減，方能有效提高二仁溪水質改善的成效。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，1998，地面水體分類及水質標準。
2. 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。
3. 行政院環境保護署，2015，重點河川污染整治策略評析及執行計畫期末報告。
4. 吳進喜，2011，「二仁溪流域的環境變遷與聚落發展」，臺灣文獻，第 62 卷，第二期，第 65-103 頁。
5. 林俊宏，2006，曝氣對淡水河系水質改善之研究(以 wasp 模式探討)，碩士論文，國立聯合大學，環境與安全衛生工程學系。
6. 經濟部水利署，2015，中華民國 104 年臺灣水文年報。
7. 賴俊良，2013，利用 WASP 研擬二仁溪水質管理策略，碩士論文，屏東科技大學，環境工程與科學系。
8. Ambrose, R. B. and Wool, T. A. (2001). Modeling tools used for mercury TMDLs in Georgia rivers. Georgia Institute of Technology.
9. Ambrose, R. B. and Wool, T. A. (2009). WASP7 Stream transport-model theory and user's guide, supplement to water quality analysis simulation program (WASP) user documentation. National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.
10. Ambrose, R. B., Wool, T. A. and Martin, J. L. (1993). The water quality analysis simulation program, WASP5, Part A: Model documentation. Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Athens, GA.

收稿日期：民國 107 年 4 月 4 日

修正日期：民國 107 年 6 月 22 日

接受日期：民國 107 年 6 月 26 日