

東港溪水質改善策略分析 及成本推估

黃益助

國立屏東科技大學環境工程與科學系教授

張志誠、張天祥

環球技術學院環境資源管理系助理教授

湯平貴

國立屏東科技大學環境工程與科學系博士生

林雅茹

國立屏東科技大學環境工程與科學系碩士

摘 要

東港溪流域水量長年豐沛穩定，但因長期承受沿岸畜牧廢水排放，造成其水質嚴重污染，目前僅能供應台灣高屏地區之工業用水使用，行政院為了舒緩南部地區缺水問題，乃提出東港溪作為南部飲用水備用水源的構想。本研究規劃各種水質改善策略，採用 QUAL2K 模式進行水質模擬與預測，並以乙類水體水質標準作為改善目標，評估各種改善策略方案之效果與成本分析，結果顯示，水質改善成效以污水截流與清潔養豬較佳，其次為加強管制。因污水截流成本較高，故採截流率 50% 搭配加強管制、清潔養豬 75% 和納入內埔系統措施，除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 尚無法符合要求外，BOD 已可達目標水體。單位污染削減量所需費用，以清潔養豬最低，污水截流最高。東港溪流域水質改善策略以污水截流效果較佳，但建設成本同時也較高，建議可以清潔養豬措施作為流域水質改善之優先考量。

關鍵字：河川污染指數(River Pollution Index, RPI)、QUAL2K、污染削減策略、清潔養豬、涵容能力(Assimilative Capacity)



一、前 言

東港溪流域(圖 1)為高屏地區主要河川之一，近年來由於經濟與人口快速成長，河段水體已遭受不同程度的污染，其污染來源有畜牧廢水、工業廢水、家庭廢污水、掩埋場滲出水及非點源污染等，總產出污染量約為 $89,184 \text{ kg day}^{-1}$ ，總污染排出量約為 $49,721 \text{ kg day}^{-1}$ ，其中畜牧廢水為主要污染來源，其污染量高於 50% ⁽¹⁾。

東港溪各類廢污水排入量，以生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD)進行評估，則以畜牧廢水最多(66.7%)、生活污水次之(31.3%)、事業廢水居末(2.0%)；在氨氮(ammonia nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$)排放量方面，以畜牧廢水最多(74.8%)、生活污水次之(25.2%)；在懸浮固體(suspended solids, SS)排放量方面，以畜牧廢水最多(70.7%)、生活污水次之(27.4%)、事業廢水居末(1.9%)，因此畜牧廢水為東港溪流域最主要的污染來源⁽²⁾。

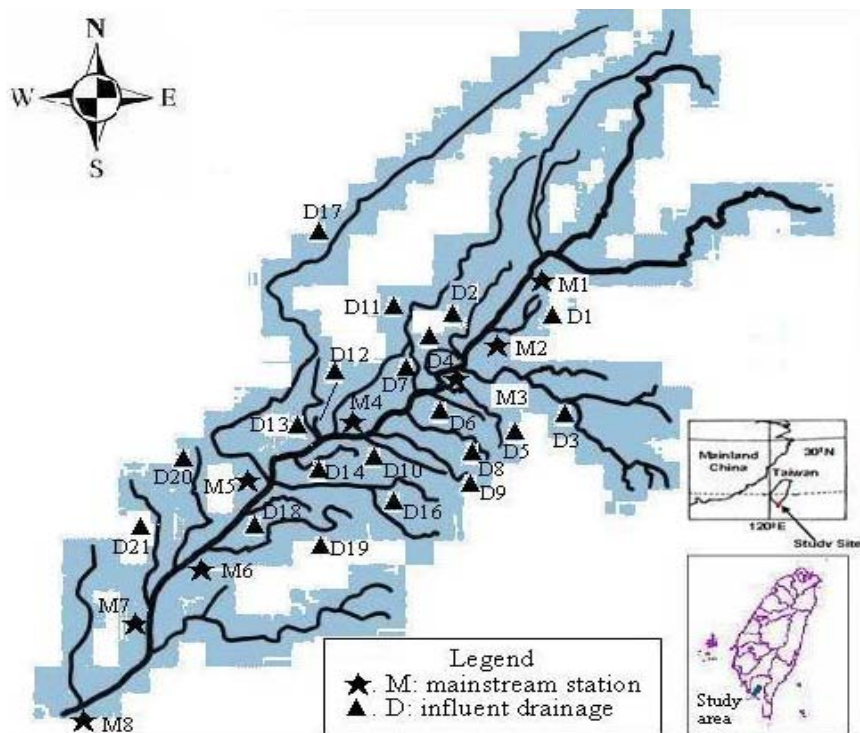


圖1 東港溪流域主支流監測站位置圖

由於東港溪常年水量充沛穩定，流域內港西抽水站為鳳山水庫水源之一，主要提供大高屏地區之工業用水，行政院為了舒緩南部地區之缺水問題，乃提出東港溪作為南部地區飲用水備用水源的構想。然而，以環保署2005-2011年東港溪

水質監測資料分析結果顯示，以河川污染指數(River Pollution Index, RPI)進行比較，各監測站之BOD，在興社大橋及港西抽水站河段約有50%為中度污染，當以NH₃-H進行比較時，在潮州大橋及興社大橋河段約有35%為中度污染，以溶氧(dissolved oxygen, DO)進行比較時，中度污染河段比例由上游隴東橋到下游港西抽水站逐漸升高，依序為16.9%(隴東橋)、20.5%(潮州大橋)、56.6%(興社大橋)、77.1%(港西抽水站)，顯示東港溪整體水質仍屬不佳，值得有關單位重視。

從以上分析得知，東港溪欲作為南部地區飲用水備用水源之目標，將面臨嚴峻的挑戰。本研究主要針對東港河流域進行污染調查、分析及推估，以掌握污染來源及污染量，作為污染管制及整治策略擬定之依據，透過水質模式的建立與水質模擬，將有助於評估港西抽水站以上河段污染負荷改善策略之成效，進而推估改善措施之成本分析

二、模式架構及參數選用

水質在河流中的變異主要係經由物理的傳送及生物、化學和生化的轉化過程，普遍應用於國內外河川之污染負荷及水質變化分析⁽⁴⁻⁸⁾。本研究選用QUAL2K⁽³⁾模式進行水質模擬與策略評估，藉由實測之水文及水質資料建立模式後，進行東港溪水質變化之模擬，並以BOD、NH₃-N等水質參數評估河川水質改善策略之成效，作為研擬污染管制策略之目標，其結果可提供未來水質模擬與水質管理之參考⁽⁹⁾。

東港河流域模擬之水體範圍從上游邊界成德大橋至下游邊界港西抽水站，全長為24.69 km，模擬範圍內共有21條支流匯入，河段選定係依水質測站或流域水質、水力特性，將東港河流域以網格劃分為7個河段及51個計算單元，每計算單元長度約為0.5 km⁽¹⁰⁾。第一河段從成德大橋至隴東橋全長1.58 km，第二河段從隴東橋至萬巒大橋全長4.79 km，第三河段從萬巒大橋至潮州大橋全長5.29 km，第四河段從潮州大橋至五魁橋全長1.55 km，第五河段從五魁橋至興社大橋全長5.29 km，第六河段從興社大橋至港東二號橋全長3.75 km，第七河段從港東二號橋至港西抽水站全長2.44 km。水力參數則採用曼寧公式進行水理計算，第一次調校模擬之流量來源以流域面積比法(drainage area ratio method)計算，公式為 $Q_i = Q_0 \times (A_i/A_0)^n$ ，Q為流量、A為面積、n值為0.64。東港河流域水文測站以潮州站資料較為完整，自1965年至迄今仍持續監測流量，因此，日流量延時曲線推估，以潮州測站枯水期(Q₇₅)作為設計流量，並以主流及支流集水面積分別計



算求出各別流域之流量，做為模式流量輸入，第二次流量則以 2010 年 10 月 9 日之實測資料為主。水質生化參數包括怯氧係數、再曝氣係數、硝化係數及底泥需氧量，採用現場實測值。延散係數為 $2-130 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、怯氧係數 $0.2-0.4 \text{ d}^{-1}$ 、再曝氣係數 $0.78-6.0 \text{ d}^{-1}$ 、硝化係數 $0.05-0.1 \text{ d}^{-1}$ 、底泥需氧量 $0.37-3.2 \text{ gO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，與國內外文獻水質生化參數比較，均在合理之範圍內⁽¹¹⁻¹⁴⁾。

三、水質資料蒐集與分析

本研究進行各主流水流量測及水質採樣之資料蒐集，包括 pH、溫度 (temperature, T)、導電度 (electric conductivity, EC)、SS、BOD、DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、總凱式氮 (total Kjeldahl nitrogen, TKN)、總磷 (total phosphorus, TP)、無機磷 (orthophosphate, PO_4^{3-}) 和流量 (Flow) 等，其分析方法悉依行政院環保署公告之檢測方法進行，資料蒐集完成後再進行模式參數之率定與驗證，待模式建立後再以驗證之水質模式進行各河段涵容能力分析，並模擬推估河川水質及各項措施之改善結果。模式率定與驗證分別採用 2008 年 4 月 13 日⁽¹⁵⁾ 和 2010 年 10 月 09 日⁽¹⁵⁾ 之水質監測資料 (表 1)，檢測結果顯示，東港河流域排入主流之主要 BOD 負荷量，依序為 $\text{D17} > \text{D11} > \text{D21} > \text{D16} > \text{D3} > \text{D10} > \text{D5} > \text{D19} > \text{D13}$ ，主要 $\text{NH}_3\text{-N}$ 負荷量則依序為 $\text{D17} > \text{D11} > \text{D16} > \text{D19}$ 。本研究於各主流站採用實測水質生化參數進行率定及驗證，並利用 MAPE (mean absolute percentage error) 檢定驗證模擬曲線與監測值之相對差距⁽¹⁶⁾，以判別兩者間之吻合程度，結果顯示除 $\text{NH}_3\text{-N}$ (48%) 及 SS (23%) 為合理範圍 (20%~50%) 外，其餘參數如 EC (15%)、DO (6%)、BOD (15%) 均屬於高精確度 (<10%) 至良好預測 (10%~20%) 範圍，證明現場實測之水質生化係數，可適用於東港河流域污染物傳輸之預測。

四、涵容能力分析與污染削減策略

(一) 涵容能力及削減量分析

東港河流域選定港西抽水站以上河段進行模式模擬，以 BOD 及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作為主要水質改善評估指標，進行河川涵容能力與污染削減量分析，預期使模擬河段可達到乙類水體水質標準，經模擬計算結果，東港溪 CBOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 之涵容能力各為 7,449.2 和 1,046.2 kg d^{-1} (圖 2)。涵容能力係利用已完成校驗之水質模式進行推估，並以 2010 年 10 月 9 日實測之水質濃度乘以流

量得到各河段排放污染量，由上游依序進行支流污染量削減作業，使削減後之濃度維持在乙類水體水質之最低標準。東港流域 CBOD₅ 與 NH₃-N 總削減量須分別達 7,449.2 kg d⁻¹ (削減率 53.8%) 及 3,245.0 kg d⁻¹ (削減率 75.6%)，才能使港西抽水站以上各河段皆可符合乙類水體水質目標(表 2)。

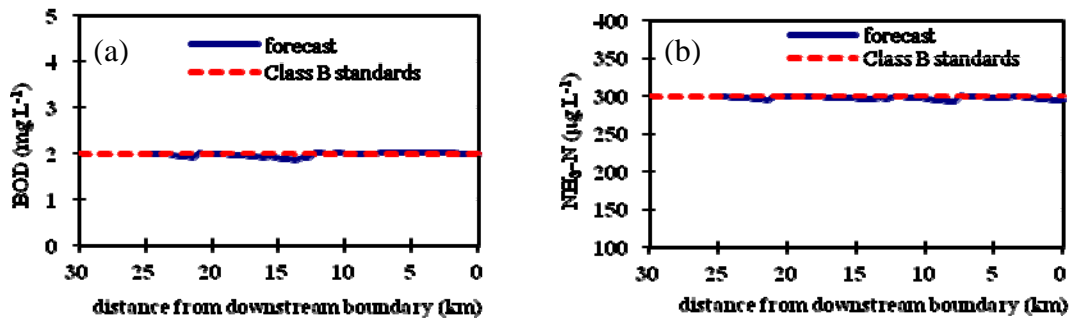


圖2 東港流域主流河段(a)CBOD和(b)NH₃-N削減後達乙類水質標準模擬結果

表 2 東港溪達乙類水體水質標準之涵容能力及污染量削減率

| 支流測站 | 污染排放量 | | 達乙類水質標準之涵容能力 | | 達乙類水質標準之污染量削減率 | |
|-----------|------------------------------|---|------------------------------|---|----------------|---------------------------|
| | BOD (kg d ⁻¹) | NH ₃ -N (kg d ⁻¹) | BOD (kg d ⁻¹) | NH ₃ -N (kg d ⁻¹) | BOD (%) | NH ₃ -N (%) |
| D1 | 162.4 | 12.2 | 162.4 | 24.4 | - | - |
| D2 | 27.7 | 2.8 | 27.7 | 4.4 | - | - |
| D3 | 779.7 | 87.7 | 1072.1 | 151.1 | - | - |
| D4 | 118.2 | 32.8 | 288.9 | 40.7 | - | - |
| D5 | 645.4 | 79.6 | 473.3 | 66.7 | 26.7 | 16.2 |
| D6 | 215.9 | 25.4 | 279.4 | 39.4 | - | - |
| D7 | 135.5 | 30.5 | 93.1 | 13.1 | 31.3 | 56.9 |
| D8 | 229.5 | 60.2 | 179.3 | 22.2 | 21.9 | 63.1 |
| D9 | 213.8 | 35.0 | 162.0 | 20.1 | 24.2 | 42.6 |
| D10 | 671.9 | 67.2 | 349.9 | 43.4 | 47.9 | 35.4 |
| D11 | 2365.5 | 1152.4 | 1455.7 | 188.0 | 38.5 | 83.7 |
| D12 | 33.7 | 44.9 | 51.7 | 7.0 | - | 84.5 |
| D13 | 353.0 | 117.7 | 451.1 | 60.8 | - | 48.3 |
| D14 | 71.3 | 59.5 | 29.8 | 4.0 | 58.2 | 93.2 |
| D15 | 259.7 | 15.0 | 4.0 | 0.6 | 98.5 | 96.2 |
| D16 | 1254.5 | 428.6 | 1202.3 | 175.1 | 4.2 | 59.1 |
| D17 | 6356.9 | 1429.6 | 593.3 | 94.7 | 90.7 | 93.4 |
| D18 | 109.8 | 99.2 | 74.4 | 11.7 | 32.3 | 88.2 |
| D19 | 521.2 | 308.7 | 421.0 | 66.2 | 19.2 | 78.6 |
| D20 | 235.9 | 88.0 | 23.6 | 3.7 | 90.0 | 95.8 |
| D21 | 1376.4 | 114.3 | 54.4 | 9.1 | 96.0 | 92.1 |
| 總計 | 16137.7 | 4291.2 | 7449.2 | 1046.2 | - | - |
| 總削減百分比(%) | | | | | 53.8 | 75.6 |



(二)污染削減策略

依據本研究分析結果顯示，東港溪流域下游河段為中等至惡劣水質，遠超出各河段之涵容能力，因此需要擬定各種污染削減策略，以減少東港溪流域水體之污染負荷。其改善策略包括：

1.加強各河段之污染管制措施

加強管制措施如化糞池污染削減率提升至 30% 及三段式廢水處理系統之開機率提升至 95%，則民生污水和畜牧廢水之 BOD 分別約可減少 343 和 3,690 kg d⁻¹；NH₃-N 分別約可減少 69 和 231 kg d⁻¹。經由以上之管制措施，東港溪流域之 BOD 和 NH₃-N 削減率至少尚需達到 38%(4,655.8 kg d⁻¹) 和 74%(2,944.8 kg d⁻¹)，才可使港西抽水站以上各河段達到乙類水體水質目標(圖 3)。

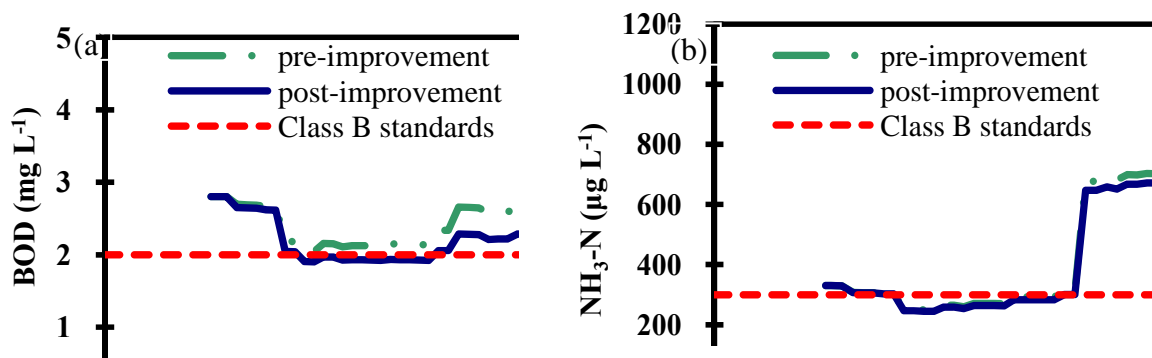


圖 3 加強管制後(a)CBOD 和(b)NH₃-N 模擬結果

2.污水截流措施

港西抽水站以上河段以 WQI (water quality index)分析，各排水如 D11(中下)、D13(中下)、D14(中下)、D15(惡劣)、D17(不良)、D18(中下)、D20(惡劣)及 D21(惡劣)，支流排水水質介於中下至惡劣水質等級。

東港溪流域污染來源主要以點源污染為主，污染截流措施係將所截流之污水進行處理後再引入原截流點附近河段，以不同截流率(20%、40%、50%、90%)做為改善措施，模擬結果則以截流率 90%之改善效果最好，NH₃-N 尚需削減 31% (476.8kg d⁻¹)，而 BOD 則已達到乙類水體水質目標(圖 4)。

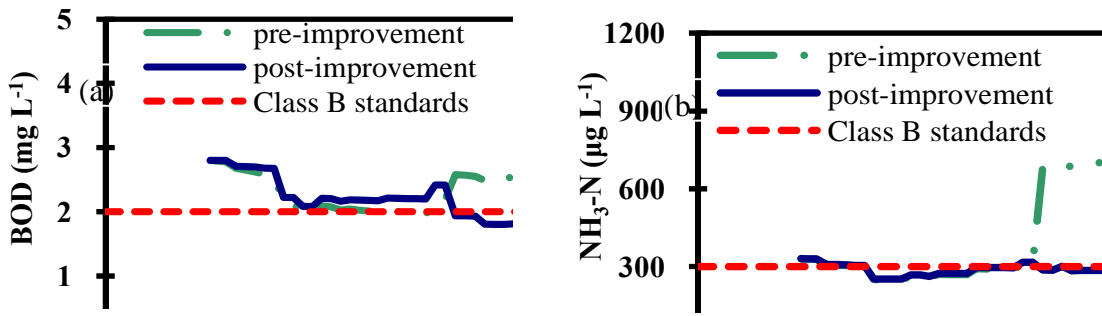


圖 4 截流率 90%之(a)CBOD 和(b)NH₃-N 模擬結果

3. 污水下水道措施

污水下水道改善措施，係將點源污染納入內埔、萬巒和潮州系統，BOD 排入量分別約可減少 11,361、11,567 和 12,006 kg d⁻¹；NH₃-N 分別約可減少 3,233、3,183 和 3,371 kg d⁻¹，三種系統之改善效果差別不大。納入內埔系統，其 BOD 和 NH₃-N 削減率至少尚需 53% (8,413.8 kg d⁻¹)和 75% (3,227.8 kg d⁻¹)；納入萬巒和潮州系統，其 BOD 和 NH₃-N 削減率至少尚需 52% (8,164.8 kg d⁻¹)和 76% (3,258.8 kg d⁻¹)；納入內埔、萬巒和潮州系統，則其 BOD 和 NH₃-N 削減率至少尚需 51% (7,889.8 kg d⁻¹)和 76% (3,237.8 kg d⁻¹)，才能達到乙類水體水質目標(圖 5)。

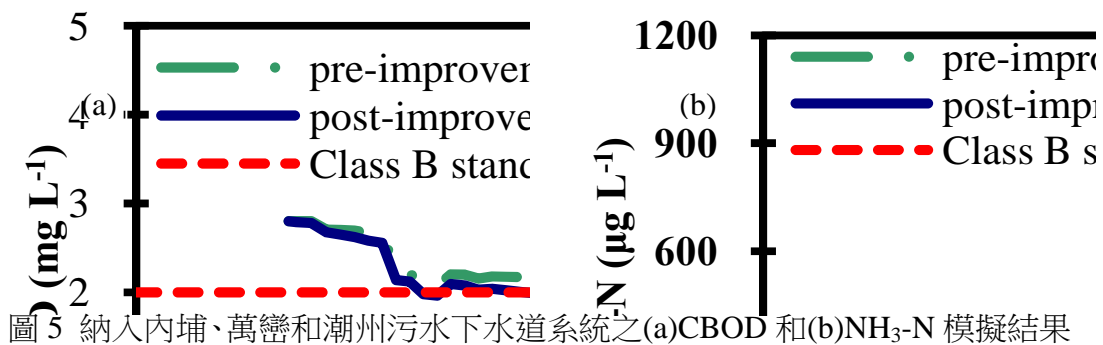


圖 5 納入內埔、萬巒和潮州污水下水道系統之(a)CBOD 和(b)NH₃-N 模擬結果

4. 清潔養豬措施(豬廁所)

東港河流域主要污染來源為畜牧廢水，其中以養豬廢水污染最為嚴重⁽¹⁷⁾，主要係養豬廢水未經妥善處理而直接排入河川造成污染，參考環保署河川流域管理方案⁽¹⁸⁾，進行支流集水區養豬業者污染改善工作，透過豬廁所之設計，可減少每日沖洗水量，減少廢水排放量，並提高豬隻之育成率，進而增加農民之收益。另外，過量畜牧廢水易造成水體優養化，藻類迅速



繁殖導致水質變差，由於藻類代謝會產生色度及味道，且藻類腐敗亦快速消耗溶氧，因而影響水體的品質。但在嚴格條件控制下，藻類可消耗畜牧廢水中之氮、磷，降低排放至河川水體之氮、磷量，減輕水體之污染負荷⁽¹⁹⁾，因此，善用豬廁所與藻類生長特性，可減輕畜牧業排放之污染負荷。經由清潔養豬措施後之排放量，BOD 分別約可減少 7,310 kg d⁻¹ (25% 養豬戶採清潔養豬措施)、9,240 kg d⁻¹ (50%)、11,503 kg d⁻¹ (75%)、13,053 kg d⁻¹ (100%)；NH₃-N 分別約可減少 1,870 kg d⁻¹ (25%)、2,652 kg d⁻¹ (50%)、3,445 kg d⁻¹ (75%)、4,018 kg d⁻¹ (100%)。利用「豬廁所」之設計理念進行清潔養豬，並採取 25%、50%、75% 及 100% 清潔養豬措施之削減策略，模擬結果以清潔養豬 100% 之改善效果較佳，評估 BOD、NH₃-N 於各種清潔養豬策略，模擬港西抽水站以上河段結果分析顯示，採用清潔養豬 25%、50%、75%、100% 策略後，BOD 和 NH₃-N 尚需分別削減 48%(6,759.8 kg d⁻¹)和 70%(2,454.8 kg d⁻¹)；39%(4,829.7 kg d⁻¹)和 62%(1,672.8 kg d⁻¹)；26%(2,566.8 kg d⁻¹)和 46%(880.8 kg d⁻¹)；12%(971.8 kg d⁻¹)和 9%(98.80 kg d⁻¹)，才可達到乙類水體目標(圖 6)。

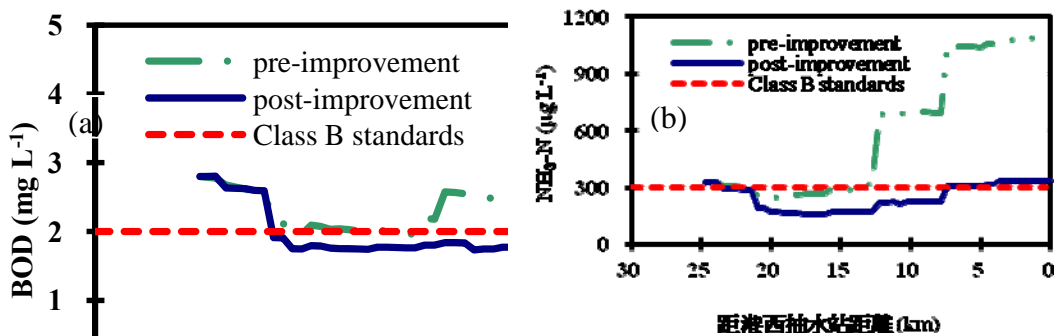


圖 6 清潔養豬 100% 之(a)CBOD 和(b)NH₃-N 模擬結果

5. 整合削減策略

依據上述各削減策略評估分析，發現以污水截流與清潔養豬改善效果較佳，其次為加強管制。結果顯示清潔養豬需達 100%，污水截流需達 90% 以上，才可使東港河流域符合目標水體，因此進行不同策略之組合，冀望能提升水質達成率與降低成本。因污水截流成本較高，故將截流率降至 50% 搭配加強管制、75% 清潔養豬措施和納入內埔系統，除 NH₃-N 尚無法符合要求外，BOD 已可達乙類水體水質目標。

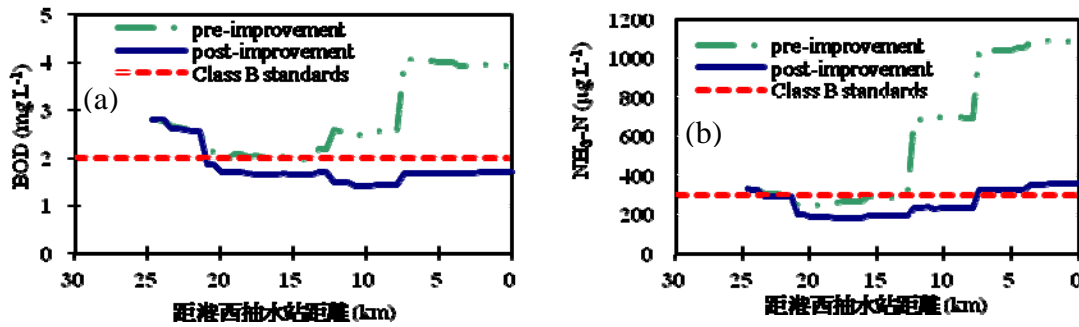


圖 7 加強管制、污水截流 50%、清潔養豬 75%和納入內埔系統之 BOD、NH₃-N 模擬結果

五、削減策略執行成本推估

本研究參考「東港溪整治綱要(修正計畫)規劃-水質改善」⁽²⁾及「東港溪流域水質改善檢討及綜合規劃計畫」⁽²⁰⁾進行各種改善策略之成本估算，以作為當地政府管制和整治規劃之參考。在加強糞池清理方面，建議政府以補貼方式，鼓勵民眾定期清理，以減少污染物對河川之影響。從民政系統查得東港溪流域沿岸，由港西抽水站至上游邊界，約有 63,010 戶，假設每年進行一次抽肥工作，每次費用為 1,500 元，每次政府給予補助一半費用計算，則每年所需補助費用為新台幣 47,257,500 元。

截流改善策略方面，參考「東港溪流域水質改善檢討及綜合規劃計畫」⁽²⁰⁾之成本模式估算，本研究假設龍頸溪排水(D11)和麟洛溪排水(D17)截流率可達到 40%，換算截流量各為 242,611 和 113,011 CMD，以每 CMD 建造費用 20,000 元計算，則總建造成本為 71.13 億元。假如將 D11(242,611 CMD)、D13(78,451 CMD)、D14(5,184 CMD)、D15(691 CMD)、D17(113,011 CMD)、D18(14,170 CMD)、D20(4,493 CMD)及 D21(10,368 CMD)等 8 條污染較嚴重之支流進行截流，則總建造成本約提高至 93.8 億元。

納入污水道系統方面，東港溪流域內相關下水道系統之規劃，包括潮州、內埔、萬巒、東港、麟洛、萬丹、仙吉、烏龍-鹽埔漁港等系統，內埔、萬巒系統採 BOT 方式，潮州系統預計納入營建署第 4 期工程興建，每案總工程費各約 17.7 億元、4.1 億元及 24.6 億元，共計 46.4 億元⁽²⁰⁾。

清潔養豬方面，推行清潔養豬方案每場預估所需之經費，主要為既有豬舍改造工程，包含豬廁所、真空吸糞機、集糞走道等之施作共需約 70 萬元，平均施



作單價 350 元/頭，東港河流域沿岸飼養頭數約 545,045 頭⁽²⁰⁾，計算港西抽水站以上支流採用清潔養豬 25%、50%、75%、100%，則所需費用分別約為 0.48、0.95、1.43、1.91 億元。

綜合以上改善措施，計算每單位污染削減量所需經費進行比較分析，以清潔養豬費用最低，污水截流費用則屬最高。加強管制、污水截流、納入內埔及萬巒和潮州系統、清潔養豬之 BOD 單位污染削減量所需經費分別為 3.9 萬元 $\text{d kg}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、535.8、130.6、8.3 萬元 d kg^{-1} ； $\text{NH}_3\text{-N}$ 單位污染削減量所需經費分別為 52.5 萬元 $\text{d kg}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、1,938.8、482.7、20.2 萬元 d kg^{-1} ；SS 單位污染削減量所需經費分別為 2.5 萬元 $\text{d kg}^{-1} \text{y}^{-1}$ 、136、19.2、1.1 萬元 d kg^{-1} 。

六、結論

本研究以乙類水體水質標準作為東港溪水質改善目標，利用 QUAL2K 模式進行水質模擬，評估各種改善策略的削減成效及作為飲用水備用水源之可行性。結果顯示，以污水截流與清潔養豬改善效果較佳，其次為加強管制。但因污水截流成本較高，故將截流率降至 50% 搭配加強管制、75% 清潔養豬措施和納入內埔系統，除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 尚無法符合要求外，BOD 已可達乙類水體水質目標。進一步評估每單位污染削減量之所需經費，則以清潔養豬費用最低(BOD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 各為 8.3 和 20.2 萬元 d kg^{-1})，污水截流費用最高(BOD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 各為 535.8 和 1,938.8 萬元 d kg^{-1})。東港河流域水質改善策略以污水截流效果較佳，但建設成本同時也較高，建議可以清潔養豬措施作為流域水質改善之優先考量。本研究模式模擬僅考量點源污染，建議日後可納入非點源污染，使污染來源模擬更具完整性和代表性。

參考文獻

1. 張良平，2004，以河濱溼地特性探討生態治河－東港溪為例，碩士論文，國立屏東科技大學，土木工程系碩士班，屏東。
2. 經濟部水利署，2008，東港溪整治綱要(修正計劃)規劃-水質改善，屏東。
3. Brown, L.C. and Barnwell, T.O., The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS, EPA/600/3-87-007, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, p.189, 1987.
4. Park, S.S. and Lee, Y.S., A water quality modeling study of the Nakdong river, Korea, *Ecological Modeling*, 152:65-75, 2002.
5. Marsili-Libelli, S., and Giusti, E., Water quality modeling for small river basins, *Environmental Modelling & Software*, 23: 451-463, 2008.
6. Mathew, M., Yao, Y., Cao, Y., Shodhan, K., Ghosh, I., Bucci, V., Leitao, C., Njoka, D., Wei, I., and Hellweger, F.L., Anatomy of an urban water body: a case study of Boston's Muddy River, *Environmental Pollution*, 159: 1996-2002, 2011.
7. Tang, P.K., Huang, Y.C., Huang, J.S., and Lin, Y.J., Water quality management strategies for various river flows with QUAL2K model, *Applied Mechanics and Materials*, 58-60:2462-2467, 2011.
8. Huang, Y.C., Yang, C.P., and Tang, P.K., Water quality management scenarios for the Love River in Taiwan, 2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, IEEE, 1:487-490, 2010.
9. Tang, P.K., Huang, Y.C., Lin, Y.J., Sustainable management strategies for an urban-type and low dissolved oxygen stream using in-situ measured biochemical coefficients, *Desalination and Water Treatment*, 2011 (accepted).
10. 林雅茹，2011，應用水質模式研擬東港溪流流域之水質管理策略，國立屏東科技大學環境工程與科學系，屏東。
11. Bowie, G.L., Mills, W.B., Porcella, D.B., Campbell, C.L., Pagenkopf, J.K., Rupp, G.L., Johnson, K.M., Chan, P.W.H., and Ghreini, S.A., Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, EPA/600/3-85/040, 2nd ed., EPA, Environmental Research Laboratory, Athens, Ga., 1985.
12. Lung, W.S., *Water Quality Modeling for Wasteload Allocations and TMDLs*, Wiley, New York, 2001.
13. Thomann, R.V., and Mueller, J.A., *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row, New York, 1987.
14. Tsivoglou, E.C., and Neal, L.A., Tracer measurements of reaeration: III. predicting the reaeration capacity of inland streams, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 48(12):2669-2689, 1976.
15. 黃日昇，2009，應用 QUAL2K 建立高屏溪及東港溪河川水質模式與管理策略之研究，碩士論文，國立屏東科技大學，環境工程與科學系，屏東。
16. Delurgio, S., *Forecasting Principles and Applications*, McGraw-Hill, New Jersey, 1998.
17. 屏東縣環保局，2010，屏東縣河川水質監測計畫，屏東。
18. 行政院環保署，2011，河川流域管理方案，台北。
19. 萬騰州，2010，養豬場源頭減量、資源化技術及效益調查研析計畫，行政院環保署，EPA-99-G104-02-224，台北。
20. 行政院環保署，2010，東港溪流流域水質改善檢討及綜合規劃計畫，台北。