

# 專題統計分析

## 臺南市河川污染情形特性分析



臺南市政府主計處

114年9月



## 摘要

本篇分析係以全國環境水質監測資訊網，針對109年至113年本市主要河川流域及105年至114年本市二仁溪流域水質監測資料進行河川污染指數(River Pollution Index, RPI)統計分析，茲就分析結果摘述如下：

一、本市113年主要河川流域水質分析如下：

- 113年本市主要河川流域平均RPI以急水溪4.73為最高，較112年5.04減少0.31(或6.15%)，若接近5年觀察，平均RPI以急水溪自109年5.81逐年減少至113年4.73，共減少1.08(或18.59%)為最多；二仁溪4.60次之，鹽水溪4.08再次。
- 113年本市主要河川流域受污染長度(由同一河川各測站的RPI污染程度，計算而來)比例觀察，嚴重污染比例中以二仁溪22.62%為最高，鹽水溪17.88%次之，急水溪14.55%再次，曾文溪及八掌溪則無嚴重污染比例；中度污染比例中亦以二仁溪60.11%為最高，急水溪53.66%次之，八掌溪48.39%再次。二仁溪嚴重及中度污染比例合計高達82.73%，占逾八成；然環境部在統計河川受污染長度時，係以該河川流域涵蓋跨縣市測站計算而成，非僅計算本市測站，主要影響為高雄市範疇，惟綜合先前平均RPI及各測站RPI分布結果，顯示二仁溪仍為本市主要被污染之河川。

二、雖依水污染防治法中的放流水水質標準規定，已有訂定放流水酸鹼值應介於6.00至9.00之標準，惟為找出潛在影響河川污染指數的水質變數，達降低RPI值之目標，運用本市近10年二仁溪流域水質月資料，結合XGBoost模型及SHAP分析，針對分析結果建議如下：

- 針對下列高風險樣點加強常態監測與即時預警；超過臨界高值者，應優先納入污染源調查與整治規劃，以防範污染惡化與擴散：
  - 1.化學需氧量介於 28至60 mg/L 時，對RPI有最強的正向影響，此區間的值越高，越容易被模型判定為污染加劇。

2.酸鹼值介於 7.20至7.88 時，該範圍內之水體條件與RPI呈現正向關聯，應針對此區間內之樣點加強監測密度與預警機制。

3.大腸桿菌群之菌數介於  $5 \times 10^5$  至  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 時，為河川污染風險分級之關鍵判斷區段，應針對該區間內的樣點加強監測與預警機制；至於菌數高於  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 之河段，可視為嚴重污染區域，宜優先納入污染源調查與整治計畫，以有效控管水質惡化風險。

- 當監測資料缺漏RPI原始計算所需之4項指標(溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氨氮)時，建議可將**化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群**做為替代變數，進行RPI污染等級之預測與初步研判，以維持評估作業之連續性與穩定性；未來若要檢討RPI組成變數時，建議將上述3項變數納入考量，發展「改良型RPI」評估模式，提升污染辨識之敏感度與實務應用性，可作為傳統RPI之輔助與補充工具。
- 鑒於二仁溪污染程度最為嚴重，且全段無未(稍)受污染區域，建議將二仁溪列為本市河川治理之**優先處理河段**，並於未來環境預算與整治計畫中，**優先配置資源與規劃行動方案**。

三、施政措施如下：

- 為解決二仁溪污染問題，本市積極向中央爭取經費推動「二仁溪河道廢棄物清理第二期專案」，114-117年度總預算13億432萬元已獲核定，預計117年前清除約2.2萬公噸廢棄物。
- 三爺溪(二仁溪支流)推動事業污染削減，並針對事業廢水放流水中的銅金屬加嚴管制。三爺溪事業廢水放流水(銅)加嚴標準自107年8月公告實施，目前列管事業共73家，涵蓋15個行業別，其中以金屬表面處理業36家最多，電鍍業17家次之，化工業及紡織業各3家，其餘14家分屬其他行業。113年執行稽查110家次及採樣35件，查獲違反水污染防治法案件1件。

# 目錄

壹、前言 .....	1
貳、現況描述 .....	1
參、統計分析 .....	5
一、河川污染相關指標分布情形 .....	6
二、模型比較 .....	10
三、SHAP 值分析法，讓 AI 模型可解釋 .....	13
肆、結論與建議 .....	23
一、結論 .....	23
二、建議 .....	24

## 壹、前言

二仁溪為流經本市的重要河川之一，歷年來由於工業、家庭污水及非法棄置廢水等問題，造成嚴重水質污染。雖經過多年整治，目前水質仍以中度至嚴重污染為主。本文使用「全國環境水質監測資訊網」監測資料，其中包含河川污染指數(RPI)及多項水質指標，期望透過統計與機器學習方法，深入探討潛在水質因子對污染等級變化之重要貢獻，供本市河川污染整治之參據。

## 貳、現況描述

(一)113年本市主要河川流域平均RPI以急水溪4.73為最高，較112年5.04減少0.31(或6.15%)

河川污染指數(RPI)係以溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等4項理化水質變數組成，用以根據其數值來對污染程度加以分類，計算方式如下：

- 1.將各水質變數依據表1的污染程度得到點數
- 2.將點數合計取平均後即為RPI，其介於1~10間
- 3.若  $RPI \leq 2.0$  則為未(稍)受污染、 $2.0 < RPI \leq 3.0$  為輕度污染、 $3.1 \leq RPI \leq 6.0$  為中度污染、 $RPI > 6.0$  為嚴重污染

表 1 河川污染指數(RPI)之計算及比對基準

水質/項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量 (DO) mg/L	$DO \geq 6.5$	$6.5 > DO \geq 4.6$	$4.5 \geq DO \geq 2.0$	$DO < 2.0$
生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> ) mg/L	$BOD_5 \leq 3.0$	$3.0 < BOD_5 \leq 4.9$	$5.0 \leq BOD_5 \leq 15.0$	$BOD_5 > 15.0$
懸浮固體 (SS) mg/L	$SS \leq 20.0$	$20.0 < SS \leq 49.9$	$50.0 \leq SS \leq 100$	$SS > 100$
氨氮 (NH <sub>3</sub> -N) mg/L	$NH_3-N \leq 0.50$	$0.50 < NH_3-N \leq 0.99$	$1.00 \leq NH_3-N \leq 3.00$	$NH_3-N > 3.00$
點數	1	3	6	10
污染指數積分值 (S)	$S \leq 2.0$	$2.0 < S \leq 3.0$	$3.1 \leq S \leq 6.0$	$S > 6.0$

備註：本表依 102 年 5 月 30 日環署水字第 1020045468 號函「河川污染指數(RPI)基準值及計算方式修正」研商會議結論，自 102 年起參考國家環境研究院公告「檢測報告位數表示規定」，調整計算 RPI 公式。  
資料來源：全國環境水質監測資訊網

113年本市主要河川流域平均RPI以急水溪4.73為最高，較112年5.04減少0.31(或6.15%)，若接近5年觀察，平均RPI以急水溪自109年5.81逐年減少至113年4.73，共減少1.08(或18.59%)為最多；二仁溪4.60次之，鹽水溪4.08再次。

表 2 近 5 年本市主要河川流域平均 RPI

年別	八掌溪流域 (測站數：2)	急水溪流域 (測站數：9)	曾文溪流域 (測站數：12)	鹽水溪流域 (測站數：6)	二仁溪流域 (測站數：8)
109年	3.91	5.81	2.32	4.21	5.02
110年	3.84	5.24	2.11	4.25	5.31
111年	3.55	5.11	2.35	4.50	5.24
112年	3.76	5.04	2.67	4.14	4.98
113年	3.68	4.73	2.34	4.08	4.60
較上年增減數	-0.08	-0.31	-0.33	-0.06	-0.38
較上年增減%	-2.13	-6.15	-12.36	-1.45	-7.63
近5年增減數	-0.23	-1.08	0.02	-0.13	-0.42
近5年增減%	-5.88	-18.59	0.86	-3.09	-8.37

備註：測站數係指 109 年至 113 年間總測站數。

八掌溪流域：嘉南大橋、厚生橋。

急水溪流域：急水溪行甘橋(原為甘宅二號橋)、台 1 線急水溪橋、五王大橋(原為南鯤鯓)、青葉橋、宅港橋、台 19 甲線急水溪橋、二港橋；白水溪行甘橋(原為甘宅二號橋)；六重溪青葉橋。

曾文溪流域：曾文溪玉井橋、二溪大橋、曾文溪橋、走馬瀨橋、大內橋(取代北勢洲橋)、曾文溪河口、曾文一橋(原為曾文一號橋)、玉峰大橋(取代舊橋)、國姓橋(原為國聖橋)、西港大橋、麻善大橋；菜寮溪玉峰大橋(取代舊橋)。

鹽水溪流域：千鳥橋、同心橋、豐化橋、鹽水溪橋、溪頂寮大橋(原為太平橋)、永安橋。

二仁溪流域：二仁溪南茆橋、二層行橋、五空橋、永寧橋、網寮橋(原為建國村)；三爺溪網寮橋(原為建國村)、永寧橋、五空橋。

資料來源：全國環境水質監測資訊網

若按盒鬚圖觀察各測站RPI，除鹽水溪外，其餘主要河川各測站RPI分布較為集中，以急水溪整體最高，平均數為4.73，值得注意的是，八掌溪、急水溪及二仁溪多數測站介於中度污染( $3.1 \leq RPI \leq 6.0$ )，整體污染尚未明顯改善。

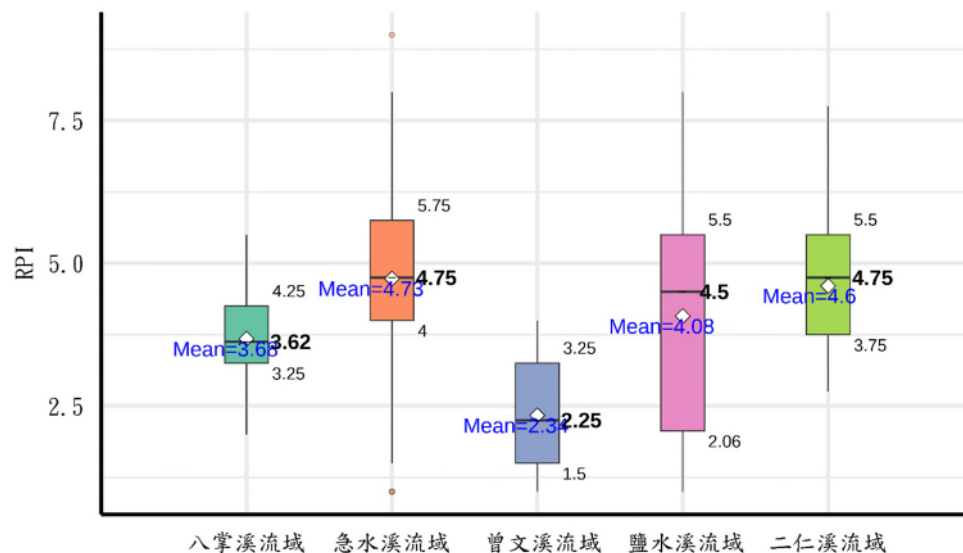


圖 1 113 年本市主要河川流域各測站 RPI 分布情形

(二)113年本市主要河川流域受污染長度比例以二仁溪嚴重及中度污染比例82.73%為最高，占逾八成

若按河川受污染長度<sup>1</sup>比例觀察，嚴重污染比例中，以二仁溪22.62%為最高，鹽水溪17.88%次之，急水溪14.55%再次，曾文溪及八掌溪則無嚴重污染比例；中度污染比例中，亦以二仁溪60.11%為最高，急水溪53.66%次之，八掌溪48.39%再次。

值得注意的是，若按嚴重及中度污染比例來觀察，二仁溪合計高達82.73%，占逾八成，完全無未(稍)受污染比例，係環境部在統計河川受污染長度時，以該河川流域涵蓋跨縣市測站計算而成，非僅計算本市測站，主要影響為高雄市範疇，惟綜合先前平均RPI及各測站RPI分布結果，顯示二仁溪仍為本市主要被污染之河川。

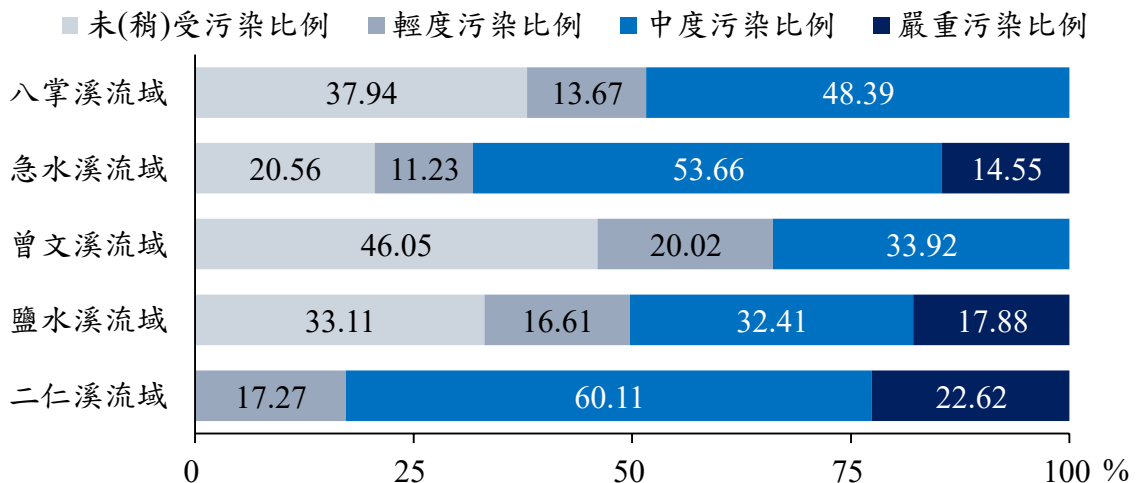


圖 2 113 年本市主要河川流域污染長度比例

### (三)本市施政措施

為解決二仁溪污染問題，本市積極向中央爭取經費推動「二仁溪河道廢棄物清理第二期專案」，114-117年度總預算13億432萬元已獲核定，預計117年前清除約2.2萬公噸廢棄物。

<sup>1</sup> 河川受污染長度：係由 4 項水質(DO、BOD、SS、NH<sub>3</sub>-N)測值計算成河川污染指數(RPI)後，統計測站之未(稍)受污染、輕度污染、中度污染與嚴重污染四個等級，再依同一河川各測站的污染程度，計算河川受污染長度，統計範圍不僅限於本市測站，其中二仁溪統計之測站不涵蓋支流三爺溪網寮橋、五空橋、永寧橋等三測站。

三爺溪(二仁溪支流)推動事業污染削減，並針對事業廢水放流水中的銅金屬加嚴管制。三爺溪事業廢水放流水(銅)加嚴標準自107年8月公告實施，目前列管事業共73家，涵蓋15個行業別，其中以金屬表面處理業36家最多，電鍍業17家次之，化工業及紡織業各3家，其餘14家分屬其他行業。113年執行稽查110家次及採樣35件，查獲違反水污染防治法案件1件。

為減輕急水溪流域台19甲急水溪橋測站水質污染情況，本府環境保護局110年2月19日公告招商「臺南市八翁里畜牧糞尿資源化處理計畫」，結果為台以八翁股份有限公司，續於8月10日提報申請計畫爭取補助，總工程經費約1億4,490萬元，環境部補助4,970萬元與市府補助2,130萬元(合計占49%)及廠商出資7,390萬元，相關成果臚列如下：

- 1.收集21家畜牧場約3,630頭牛隻廢水(其中八翁酪農區18家)，採乾式+濕式厭氧發酵工法處理329.3CMD水量，114年8月5日進入正式營運，預期完工後台19甲急水溪橋測站水質RPI由9.0下降為7.0，河川污染指數下降。
- 2.自111年10月31日開工，112年12月8日提報完工，迄今工程進度為100%，113年8月1日正式啟用，另113年10月畜牧場已全數完成通水作業，113年12月10日通過試運轉。

本府水利局辦理港尾溝排水系統、大灣排水系統、仁德排水系統等鹽水溪與二仁溪間市管區域排水等改善整治工程及用地取得。

本府環境保護局於113年辦理相關說明會：4月23日、5月4日、5月25日、7月2日、11月25日、11月29日、12月11日，針對「畜牧業廢水處理常見問題及違規樣態」、「氨氮加嚴法規說明會」、「水污染相關法規說明會」、「水污染檢測申報管理辦法法規說明會」、「列管事業深度查核流程及常見問題說明會」、「納管事業定檢申報流程及常見問題等內容」、「水污染防治法規說明及氨氮廢水處理操作實務」，辦理7場說明會。

本府環境保護局成立本市河川守護隊43隊計1,009人，並辦理4場教育訓練，人數達939人，於5月31日辦理1場首長與巡守隊活動說明會。

## 參、統計分析

河川污染指數(RPI)係以溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等4項理化水質變數組成，為探索除了傳統RPI組成變數外，尚有哪些潛在水質變數對河川污染等級變化具有重要貢獻，以及提供當RPI組成變數缺漏時，是否可利用其他變數評估RPI。

為此，本文利用全國環境水質監測資訊網105年至114年5月近10年的本市二仁溪流域月資料進行建模，除傳統線性迴歸外，本文引入XGBoost模型進行預測比較，並運用R語言實現。

在資料分析與建模中，傳統的線性迴歸模型由於其建模方式簡單、推論結果容易解釋(如係數的正負代表變數與目標的線性關係)，長期以來被廣泛應用於環境、水質及社會科學等領域。其模型架構清晰，具可解釋性、模型估計快速，計算資源需求低、能提供變數的重要性與顯著性檢定，惟其僅能捕捉變數間的線性關係，無法有效建構非線性或交互作用的複雜模式、對多重共線性與異常值敏感、模型的預測能力在高維或非線性資料中有限。

為了解決這個問題，提升預測準確度與模型的彈性，本文採用近年廣泛應用於機器學習領域的XGBoost(eXtreme Gradient Boosting)模型，其能處理高維、非線性、異質性資料、藉由集成多棵樹模型，有效提升預測能力、提供內建變數重要性排序功能等。

惟XGBoost模型雖然預測效能強大，但也因此成為所謂的「黑箱模型<sup>2</sup>」，難以直接解釋各變數對預測結果的貢獻程度。尤其在水質等涉及公共決策的研究中，僅提供準確的預測結果往往不足，解釋模型行為用以支援決策才是關鍵。

為克服此問題，本文進一步導入SHAP(SHapley Additive exPlanations)值分析法，讓AI模型可解釋(Explainable AI, XAI)。SHAP

---

<sup>2</sup> 在傳統迴歸模型中，可以透過係數來解釋每個變數對目標變數的影響。但在像 XGBoost 或神經網路這種非線性、樹狀或深層結構的模型中，即使預測很準，也無法直接說：「某個變數提高了多少會讓預測值變化多少」。這就是黑箱模型的問題：準確，但無法解釋。

建立於合作博弈理論中的Shapley值概念，可用於量化各變數對單一預測結果的貢獻度。其優點包括：

- 1.每個預測結果都能明確分解為各變數的貢獻
- 2.可生成整體與局部層級的模型解釋
- 3.支援視覺化工具，如SHAP summary plot與dependence plot，有助於解釋與溝通

透過SHAP分析，本文得以釐清各水質變數對RPI的相對影響力，並進一步探索模型中可能隱含的非線性關係或交互效應，彌補XGBoost模型難以解釋的缺點，兼顧預測力與可解釋性。

## 一、河川污染相關指標分布情形

本文利用全國環境水質監測資訊網105年至114年5月近10年的本市二仁溪月資料進行統計分析。

由表3可知，水質變數分為一般水質變數(包括水溫、ph值、導電度、溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氯鹽、氨氮、化學需氧量及大腸桿菌群)與重金屬變數(包括總磷、鎘、鉛、六價鉻、銅、鋅、汞、砷、硒、錳、銀及鎳等)，其中前者為每月監測一次，後者則為每季或每年監測一次。鑑於本文需掌握較細緻之時間變化趨勢，並兼顧資料完整性與樣本數量，故最終選擇使用月資料的一般水質變數作為分析對象(相關名詞解釋列於表4)，以確保建模基礎穩固，並提高結果的代表性與時效性。

惟RPI係以溶氧量、生化需氧量、懸浮固體及氨氮4項指標組成，若將其納入作為解釋變數，將可能造成自變數與依變數高度相關的問題，進而導致模型解釋力高估或產生偽相關。為避免此類內生性問題干擾模型推論，並確保預測變數對RPI具有獨立解釋力，故最終選取排除RPI組成變數後之一般水質變數：氣溫(gasT)、水溫(waterT)、酸鹼值(ph)、導電度(electric)、化學需氧量(needO)、大腸桿菌群(Lintestine)、氯鹽(cl)作為模型輸入，藉以建立更具客觀性與預測力之污染指數預測模型。

表 3 河川水質監測項目、檢驗方法與監測頻率

序號	項目	方法編號	方法說明	監測頻率
1	水溫	NIEA W217.51A	溫度計法	每月一次
2	pH 值	NIEA W424.53A	電極法	每月一次
3	導電度	NIEA W203.52C	導電度計法	每月一次
4	溶氧	NIEA W455.52C	電極法	每月一次
5	生化需氧量	NIEA W510.55B	五日恆溫培養法	每月一次
6	懸浮固體	NIEA W210.58A	103℃~105℃乾燥	每月一次
7	氯鹽※	NIEA W407.51C	硝酸銀滴定法	每月一次
8	氨氮	NIEA W448.52B NIEA W437.52C	靛酚比色法 靛酚法	每月一次
9	化學需氧量	NIEA W515.55A NIEA W516.56A	重鉻酸鉀迴流法 高鹵離子重鉻酸鉀迴流法 <sup>u3</sup>	每月一次
10	大腸桿菌群	NIEA E202.55B	濾膜法	每月一次
11	總磷	NIEA W427.53B	分光光度計/維生素丙比色法	每季一次
12	鎘、鉛、銅	NIEA W308.22B NIEA W311.54C NIEA W313.54B	鉍合離子交換樹脂濃縮法 感應耦合電漿原子發射光譜法 感應耦合電漿質譜法	每季一次
13	六價鉻	NIEA W320.52A	比色法	每季一次
14	砷	NIEA W313.54B NIEA W434.54B NIEA W435.53B	感應耦合電漿質譜法 自動化連續流動式氫化物原子吸收光譜法 批次式氫化物原子吸收光譜法	每季一次
15	汞	NIEA W330.52A	冷蒸氣原子吸收光譜法	每季一次
16	鋅	NIEA W308.22B NIEA W311.54C NIEA W313.54B	鉍合離子交換樹脂濃縮法 感應耦合電漿原子發射光譜法 感應耦合電漿質譜法	每季一次
17	錳	NIEA W308.22B NIEA W311.54C NIEA W313.54B	鉍合離子交換樹脂濃縮法 感應耦合電漿原子發射光譜法 感應耦合電漿質譜法	每季一次
18	銀	NIEA W311.54C NIEA W313.54B	感應耦合電漿原子發射光譜法 感應耦合電漿質譜法	每季一次
19	鎳	NIEA W308.22B NIEA W311.54C NIEA W313.54B	鉍合離子交換樹脂濃縮法 感應耦合電漿原子發射光譜法 感應耦合電漿質譜法	每季一次
20	硝酸鹽氮	NIEA W436.52C	鎘還原流動注入分析法	每季一次
21	亞硝酸鹽氮	NIEA W436.52C NIEA W418.54C	鎘還原流動注入分析法 分光光度計法	每年一次 (第一季)
22	總有機碳	NIEA W532.52C	過氧焦硫酸鹽加熱氧化/紅外線測定法	每年一次 (第一季)
23	硒	NIEA W341.51B NIEA W303.51A NIEA W340.52A	自動化連續流動式氫化物原子吸收光譜法 石墨爐式原子吸收光譜法 氫化硒原子吸收光譜法	每年一次 (第一季)

備註：1.NIEA 為環境部公告的檢測方法編號，資料來源詳環境部國家環境研究院(原環保署環境檢驗所)網站 <https://www.moenv.gov.tw/nera/E94B91C27A2E6725>。

2.※感潮河段加測項目。

3.感潮河段氯鹽濃度 $\geq 2,000$  mg/L 時，化學需氧量改用 NIEA W516.56A 高鹵離子鉻酸鉀迴流法。

4.感潮河段金屬鎘、鉛、銅、鋅、錳、鎳使用 APDC 整合 MIBK 萃取原子吸收光譜法分析。重金屬類檢測方法未過濾，均測總量。

資料來源：112 年環境水質監測年報

表 4 河川一般水質變數名詞解釋

序號	項目	名詞解釋
1	水溫	水溫係表示水的冷熱程度，是檢驗及評估水體品質的一項重要物理參數。水溫的變化以受氣候影響為主，而廢污水排放也會對水溫造成影響。水溫會影響水的密度、黏度、蒸氣壓、表面張力等物理性質，在化學方面可影響化學反應速率及氣體溶解度等，在生物方面可影響微生物的活性及代謝速率等。一般水溫可以經校正之溫度計量測。
2	ph值	氫離子濃度指數係指水中氫離子濃度倒數的對數值。一般自然水之 ph 值多在中性或略鹼性範圍，若水受到工業廢水或礦場廢水污染時，其 ph 值可能產生明顯的變化；ph 值會影響生物的生長、物質的沈澱與溶解、水及廢水的處理等。
3	導電度	表示水傳導電流能力，導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，因此導電度也可表示水中總溶解固體的多寡。導電度太高對灌溉有不良的影響，因此導電度為灌溉水質之重要指標項目之一。導電度之量測乃以電流通過長 1 cm <sup>2</sup> 截面積、長 1 cm 之液柱時電阻(Resistance)之倒數，單位為 S/cm(亦可以通用單位 mho/cm 表示)，導電度較小時以 10 <sup>-3</sup> 或 10 <sup>-6</sup> 表示，為 mS/cm(亦可以通用單位 mmho/cm 表示) 或 μS/cm(亦可以通用單位 μ mho/cm 表示)。
4	溶氧量	指溶解於水中之氧氣濃度，在河川水質管理實務上，溶氧量被視為是判斷水質好壞之主要指標，一般而言，濃度愈高代表水質狀況愈好。水中之飽和溶氧量受水溫及水中溶解物質之影響，水溫愈高飽和溶氧量(濃度)愈低。
5	生化需氧量	生化需氧量係指水中易受微生物分解的有機物質，在某特定時間及溫度下，被微生物的分解氧化作用所消耗的氧量。一般所稱的生化需氧量係以 20°C 培養 5 日後所測得的結果，記做 BOD <sub>5</sub> 。生化需氧量可表示水中生物可分解的有機物含量，間接也表示了水體受有機物污染的程度。
6	懸浮固體	懸浮固體係指水中會因攪動或流動而呈懸浮狀態之有機或無機性顆粒，這些顆粒一般包含膠懸物、分散物及膠羽。懸浮固體會阻礙光在水中的穿透，其對水中生物影響與濁度相類似；懸浮固體若沉積於河床，則會阻礙水流，若沉積於水庫庫區，則可能減少水庫的蓄水空間。
7	氯鹽	氯鹽係指水中之氯離子，一般在天然淡水中的含量不多，其來源主要為海水入侵、鹽層滲出及工業廢水等。氯鹽濃度高具有腐蝕性，對於作物會造成生長妨礙。氯離子為維持人體細胞正常滲透功能所必須，在正常範圍內對人體無害，但濃度高時對腎臟病患者有影響。在評估沿海地區因地下水超抽而造成海水入侵之影響時，氯鹽可做為重要評估指標項目之一。
8	氨氮	含氮有機物主要來自動物排泄物及動植物屍體之分解，分解時先形成胺基酸，再依氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮程序而漸次穩定。因此當水體中存在氨氮可表示該水體受污染時間較短。
9	化學需氧量	化學需氧量一般用於表示水中可被化學氧化之有機物含量。化學需氧量係應用重鉻酸鉀為氧化劑，在強酸情況下加熱，將水中有機物氧化為二氧化碳及水，則所消耗之重鉻酸鉀換算成相當之氧量就是化學需氧量。一般工業廢水或含生物不易分解物質之廢水，常以化學需氧量表示其污染程度。
10	大腸桿菌群	寄生於動物腸道的短桿狀細菌，糞便中即含有大量的大腸桿菌群。這些細菌大部分並不會引起疾病，但可以用來做為水體受到糞便污染的一種指標。

資料來源：全國環境水質監測資訊網

經資料清洗後共計456筆(測站數：8)，相關指標分布情形如下：

表 5 近 10 年本市二仁河流域河川污染相關指標分布情形

統計項	河川污染 指數 RPI	氣溫 gasT (°C)	水溫 waterT (°C)	酸鹼值 ph	導電度 electric ( $\mu\text{mho/cm}$ 25°C)	化學 需氧量 needO (mg/L)	大腸桿菌群 Lintestine (CFU/100mL)	氯鹽 cl (mg/L)
最小值	2.250	15.700	17.800	7.220	127	4.900	10	28
Q1	3.750	28.000	25.570	7.710	1,218	16.570	31,000	4,440
Q2(中位數)	5.000	31.200	28.300	7.830	10,550	25.700	255,000	7,420
平均數	5.049	30.250	27.890	7.854	16,440	30.590	1,094,202	7,928
Q3	6.250	33.000	30.900	7.980	31,250	38.300	1,225,000	10,650
最大值	9.000	38.900	34.800	8.940	50,300	466.000	10,000,000	19,600

備註：1.Q1 代表第 1 四分位數、Q3 代表第 3 四分位數。

2.測站數係指近 10 年間總測站數，分別為：二仁溪五空橋、南茆橋、二層行橋、永寧橋、網寮橋(原為建國村)；三爺溪五空橋、網寮橋(原為建國村)、永寧橋。

資料來源：全國環境水質監測資訊網

由表5可知，RPI整體數值介於2.250至9.000之間，Q1為3.750、Q3為6.250，平均數為5.049、中位數為5.0000，整體分布略為右偏，依據RPI標準分級，介於3.1至6.0之間屬中度污染，而本文樣本中有超過半數落於該區間附近(IQR<sup>3</sup>範圍為3.750至6.250)，說明多數測站位處中度污染警戒區。而各項水質變數中，以化學需氧量與大腸桿菌群變異最為明顯，其最大值分別為466 mg/L、 $1.0 \times 10^7$  CFU/100mL，顯示部分測站仍可能受到中高度有機污染與生活污水影響，對水質安全具潛在威脅。

此外，導電度與氯鹽濃度亦呈現明顯右偏分布，分別最大達5萬300  $\mu\text{moh/cm}$ 與1萬9,600 mg/L，反映部分河段可能存在高溶解離子或鹽化現象，但其是否與 RPI 升高呈現直接關聯，仍須進一步分析。

相較之下，酸鹼值(ph)分布相對集中，介於7.220至8.940之間，平均值為7.854，屬中性至弱鹼性範圍，顯示水體整體酸鹼穩定。氣溫與水溫則顯示典型季節性波動，分布連續，未見極端異常。

整體而言，本區域河川水質污染程度仍具差異性，部分測站仍顯示污染風險較高，初步建議針對化學需氧量及大腸桿菌群高值站點加

<sup>3</sup> IQR：即四分位距(interquartile range)，為第 3 四分位數(Q3)和第 1 四分位數(Q1)之差，常用於表示統計資料中各變量分散情形。

強追蹤與取樣頻率，同時深入辨識導電度與氯鹽異常值背後之潛在污染來源，以利後續水質監控與污染防治策略之規劃與資源配置。

為進一步分析，本文首先將水質變數資料標準化，用以建立線性迴歸模型，避免因各變數的數值尺度差異，導致模型係數無法直接比較其相對影響力，可能使模型在參數估計或變數選擇上產生偏誤，進而影響解釋力與預測準確度。透過標準化處理，可確保各變數在同一數值範圍內，有助於提升模型穩定性並改善估計結果之可解釋性。

但建立 XGBoost 模型卻不需要標準化，係因其屬於基於決策樹之集成學習方法，透過特徵分裂進行預測，判斷依據為變數的相對大小與最佳分裂點，而非變數的絕對數值。因此，XGBoost 對於變數尺度具備不敏感性，無須進行標準化亦可保有穩定之建模效果與解釋性。

接著，為了評估模型在未見資料上的泛化能力，本文將資料切分成訓練(70%)與測試集(30%)，其中訓練集用以建構模型並進行參數估計，測試集則作為驗證模型預測效能之依據，以避免模型過度擬合訓練資料，並確保其在實際應用中具備穩健性與可解釋性。此種資料切分策略亦有助於後續比較不同模型在相同資料條件下之預測表現。

## 二、模型比較

為進行模型比較，本文以根均方誤差(Root Mean Square Error, RMSE)作為主要評估指標，主因係RMSE能夠量化模型預測值與實際觀測值之間的差異，且對於誤差較大的預測結果具高度敏感性，有助於判斷模型在整體預測上的準確性。考量各模型性質差異與實務應用需求，採RMSE作為一致性標準，有助於公平比較線性迴歸模型與XGBoost模型的預測表現，並據此選定最適模型作為後續分析之依據。

表 6 模型評估指標比較

模型	AIC/BIC	R <sup>2</sup>	p值	RMSE/MSE
線性迴歸	適用	適用	適用	適用
XGBoost	不適用	可能低估表現	不適用	適用

資料來源：本文自行整理

接續比較不同模型對RPI之預測效能，本文分別建立傳統線性迴歸、XGBoost預設參數模型(Default)與XGBoost調參模型(Tuned)，並以根均方誤差(RMSE)作為主要評估指標。

結果顯示，線性迴歸模型的RMSE為1.500，預測誤差明顯高於其他兩種非線性模型，顯示其對資料中潛在非線性結構與變數交互關係掌握有限；XGBoost 模型在未經調參下即達到 RMSE 0.810，預測精度已有顯著提升，經過參數優化後，其 RMSE 進一步降至 0.771，為三者中表現最佳。

由此可見，XGBoost 調參模型在捕捉資料特徵與預測RPI方面具備更高穩定性與準確度，因此本文最終選定XGBoost調參模型作為後續解釋變數影響力與政策應用的分析依據。

表 7 模型評估指標比較

	線性迴歸	XGBoost Default	XGBoost Tuned
RMSE	1.500	0.810	0.771

資料來源：本文自行整理

為進一步比較不同模型對RPI之預測準確性，繪製3種模型(線性迴歸、XGBoost預設參數與XGBoost調參模型)之預測值與實際值的散布圖(圖3)，並輔以45度參考線(紅虛線)呈現理想預測情形。

XGBoost 模型預測值與實際值之間的擬合程度明顯優於傳統線性迴歸，且經過參數調整後的 XGBoost 模型呈現出最接近 45 度對角線的分布，顯示其預測準確性最佳。

具體來看，線性迴歸模型預測值較為分散，部分點(如實際 RPI 為中低值者)有明顯高估情形，甚至出現明顯離群的過度預測現象(預測值超過 20，見圖3紅圈處)，反映該模型對資料中的非線性與變異性掌握有限。XGBoost 預設模型預測結果較集中於對角線附近，明顯改善高估與低估情形，但仍可見少數偏離點。調整參數後之 XGBoost 模型，預測點幾乎呈線性排列，對各污染程度之預測能力皆較穩定且貼近實際值，整體預測落差最小，亦符合其 RMSE 值最低的結果。

綜上所述，由圖形趨勢搭配先前RMSE指標，三種模型中以 XGBoost 調參模型之預測表現最佳，不僅降低過度預測風險，亦提升整體預測之精確度與穩定性，故可作為後續RPI預測與水質管理之優先選用模型。

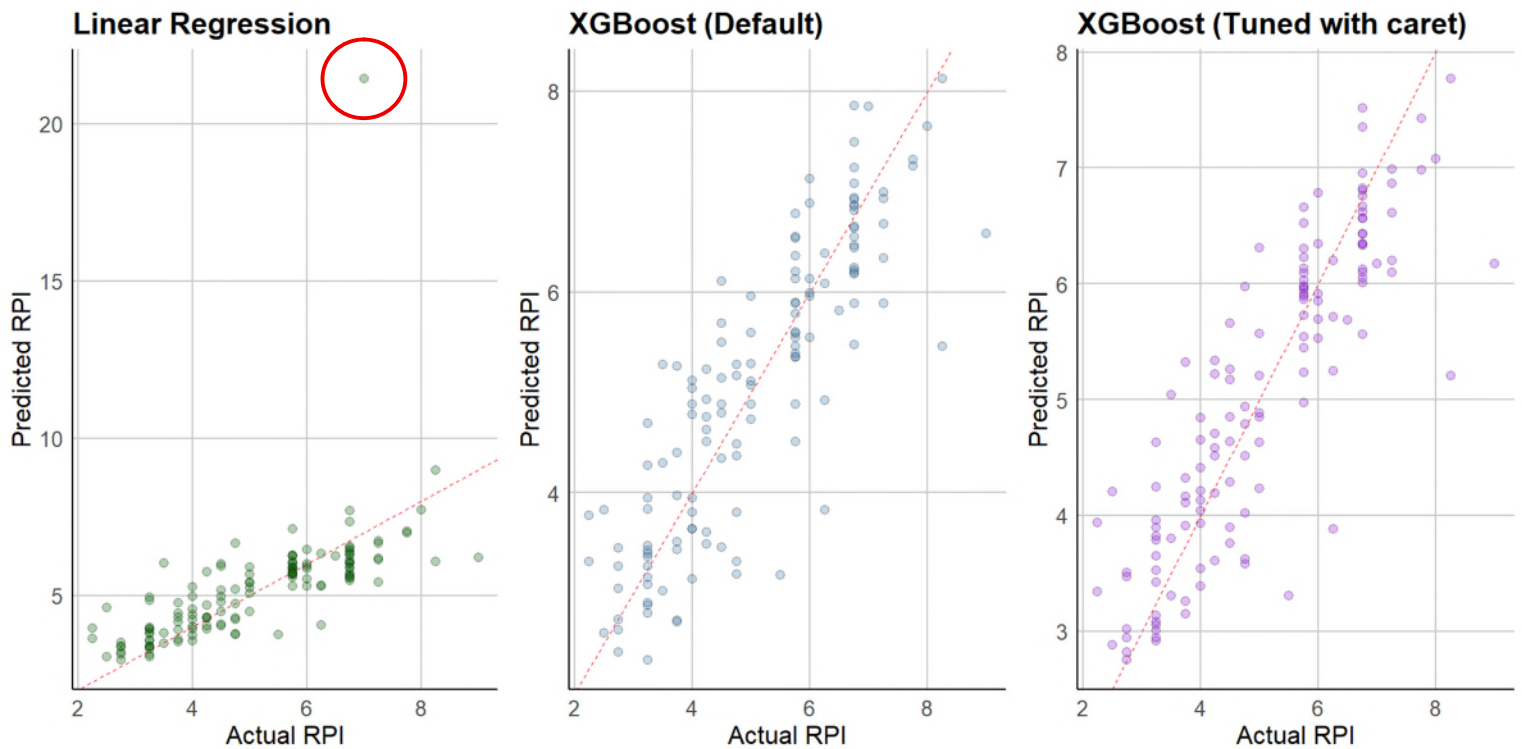


圖 3 預測值與實際值散布圖

### 三、SHAP值分析法，讓AI模型可解釋

因 XGBoost 為黑箱模型，雖具有優異之預測表現，但難以直接解釋各變數對結果的貢獻，故為接續解釋重要變數，找出有哪些潛在水質變數對河川污染等級變化具有重要貢獻，本文使用 SHAP 值分析法，使 AI 模型具備可解釋性。

SHAP 值分析法係建立於合作博弈理論中的 Shapley 值概念，透過計算單一變數在所有可能變數組合下對模型預測結果的邊際貢獻平均值，以量化各變數對個別預測結果的影響方向與程度。此方法具備一致性與局部準確性等理論特性，可廣泛應用於非線性與高複雜度模型，特別適用於 XGBoost 等集成學習模型。藉由 SHAP 值可視化分析，不僅能判斷重要變數的相對影響力，亦可觀察不同變數取值下對 RPI的推升或抑制效果，進一步提升模型之解釋力與實務應用價值。

本文首先利用 SHAP summary plot，視覺化各變數對 XGBoost 模型預測結果的整體影響力，並依據平均絕對 SHAP 值進行變數排序。圖中每一點代表一筆觀測資料之某變數對預測結果的貢獻大小，其顏色反映該變數的實際取值，由此可同時觀察變數的重要性、影響方向與取值分布。

圖4展示 XGBoost 模型中各水質變數對 RPI 預測結果的貢獻程度與方向。每一列對應一個變數，點的顏色代表變數的實際取值(紫色為高值、黃色為低值)，X 軸為 SHAP 值，表示該變數對預測結果的影響力與方向(正向提升或負向降低 RPI 預測值)、Y 軸為變數名稱，依 SHAP 平均絕對值從高到低排序。本文針對前3名重要變數進行分析：

#### (一)化學需氧量(needO)

- 1.平均 SHAP 值最高(0.438)，為影響 RPI 預測最重要之變數。
- 2.高濃度(紫色)樣本明顯分布於 SHAP 值右側，顯示其顯著推升模型

對污染指數之預測。

3. 低濃度(黃色)樣本多集中於 SHAP 值左側，影響力相對較小或具有降低預測值的效果。

## (二) 酸鹼值(ph)

1. 平均 SHAP 值 0.275，排名第2。
2. 與 RPI 呈現負相關，高 ph 值(紫色)樣本位於 SHAP 值左側，代表偏鹼環境傾向降低污染預測值。
3. 低 ph 值(黃色)樣本集中於右側，顯示偏酸水質具有提升污染預測值的作用。

## (三) 大腸桿菌群(Lintestine)

1. 平均 SHAP 值 0.272，為排名第3。
2. 高菌數樣本(紫色)對 RPI 有明顯正向影響，推升預測值，顯示與生活污水、糞便污染等潛在污染源高度相關。

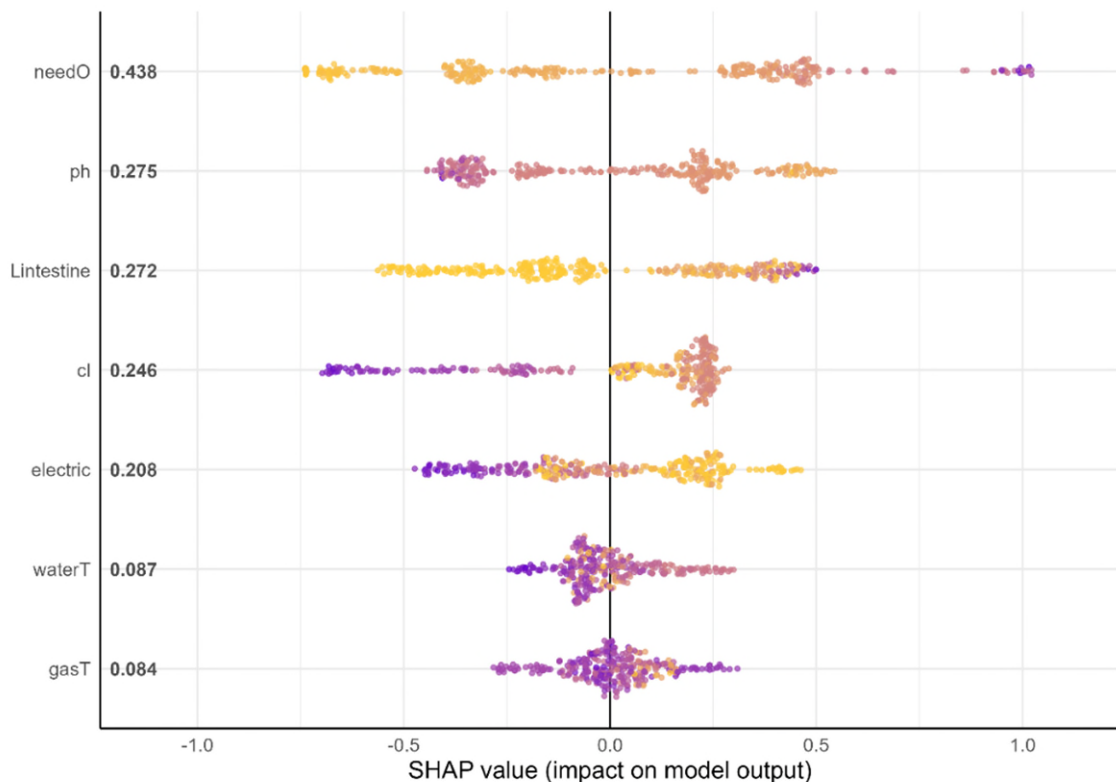
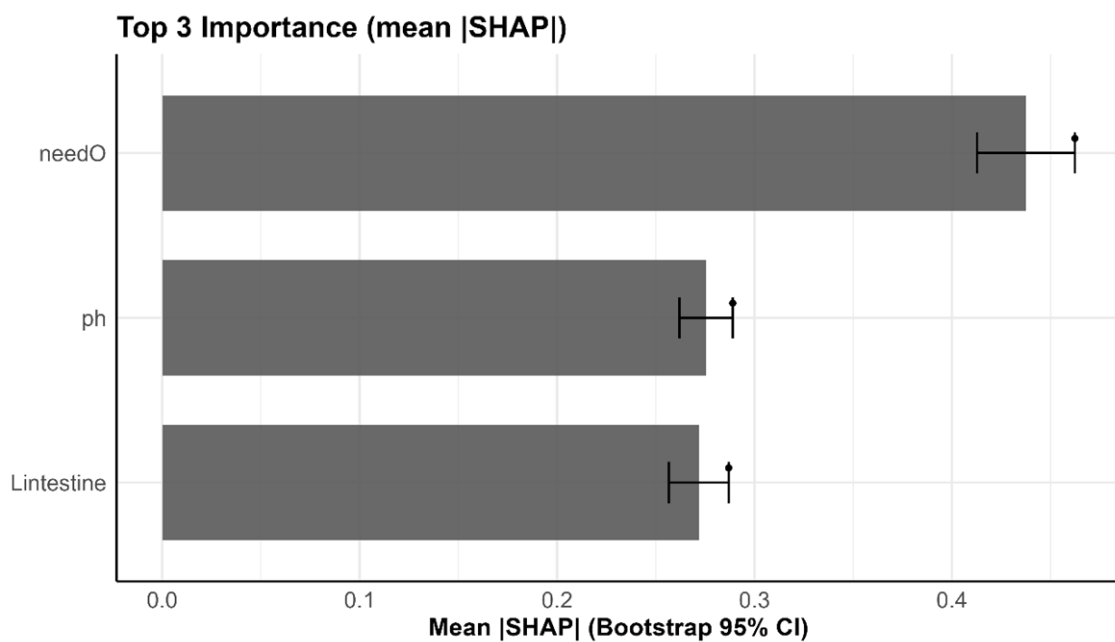


圖 4 SHAP summary plot

接著，除SHAP summary plot的探索性分析外，為進一步檢定這些重要變數是否為解釋 RPI 變化的顯著變數，本文採用Bootstrap及信賴區間法<sup>4</sup>進行驗證。

利用 2,000 次 Bootstrap 重抽樣估計 SHAP 變數重要性，化學需氧量的平均貢獻值為 0.438 (95% CI = [0.413, 0.462])；酸鹼值的平均貢獻值為 0.275 (95% CI = [0.262, 0.289])；大腸桿菌群的平均貢獻值為 0.272 (95% CI = [0.257, 0.287])。三者的信賴區間下限均大於 0，結果顯示3大關鍵變數(化學需氧量、酸鹼值、大腸桿菌群)在統計上均對RPI 具有顯著性與穩定性(圖5)。

綜上可知，化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群為解釋 RPI 變化的主要貢獻因子，具有高度參考價值，應列為污染監控與預警之核心指標。



備註：長條代表平均貢獻值，誤差棒為 2000 次 Bootstrap 估計之 95% 信賴區間。信賴區間下限大於 0 代表變數重要性在統計上顯著。

圖 5 Bootstrap 及信賴區間法檢定結果

<sup>4</sup> 藉由重複抽樣重新計算 n 個平均 SHAP 值，得到其分布後，建立 95% 信賴區間(CI)，若信賴區間下限大於 0，表示該變數重要性顯著。本文重複抽樣 2,000 次(即 n=2,000)。

惟 SHAP summary plot 雖可呈現各變數對模型預測的重要性排序與整體貢獻方向，但無法明確顯示變數取值與 SHAP 值之間的具體關係。

為更深入瞭解關鍵變數與RPI之間的非線性影響模式，本文接著將前3名重要變數(化學需氧量、酸鹼值、大腸桿菌群)進一步搭配 SHAP dependence plot 進行分析，以視覺化各變數取值在不同區間下對 RPI 預測結果的貢獻程度與變化趨勢，並探索其可能之臨界值或風險區間，作為後續污染預警與水質管理參考依據。

觀察圖6，X 軸為化學需氧量(needO)實際數值、Y 軸為該數值對模型預測 RPI 的 SHAP 值(貢獻程度)、紅線為擬合趨勢線，分析如下：

#### (一)SHAP 值與化學需氧量呈明顯正相關

- 1.在化學需氧量數值由低到高(約 5 至 60 mg/L)時，SHAP 值明顯上升，表示當化學需氧量上升，模型預測的 RPI 值會顯著增加，也就是污染程度被判定更高。
- 2.這與實際環境意義一致，化學需氧量代表水體中有機物含量，數值越高代表越多有機污染，水質越差。

#### (二)趨勢在高濃度區段呈現飽和

當化學需氧量超過約 60 mg/L 後，SHAP 值趨於平緩甚至略為下降，顯示在極高污染下(可能已達嚴重污染上限)，化學需氧量對預測的貢獻趨於飽和，模型可能已有「污染確定」的判斷，不再大幅上修 RPI。

#### (三)低濃度時 SHAP 值為負

當化學需氧量低於約 28 mg/L，SHAP 值明顯偏負，表示模型會傾向預測較低的污染指數，認為此處水質狀況良好。

上述可知，當化學需氧量偏低(小於約 28 mg/L)時，SHAP 值多為負，代表此階段之化學需氧量有助於模型預測較低之污染程度，顯示水體有機污染壓力較輕微。

隨著化學需氧量上升至約 28 至 60 mg/L 區間，SHAP 值快速轉為正值並呈顯著上升趨勢，說明此階段化學需氧量對污染指數預測有強烈的正向貢獻。此變化可能反映水體受中度以上有機污染之情形，一般工業廢水或含生物不易分解物質之廢水，常以化學需氧量表示其污染程度。進一步觀察圖形可知，當化學需氧量超過 60 mg/L 時，SHAP 值趨於平緩，顯示模型對於極高濃度的化學需氧量已捕捉到其對污染指數的最大影響力，進入影響飽和區。

綜合而言，當化學需氧量介於約 28 至 60 mg/L 時，SHAP 值迅速上升，在這個範圍內，化學需氧量對模型預測 RPI 有最強的正向影響，代表此區間的值越高，越容易被模型判定為污染加劇或等級提升，建議應列為重點監控對象。

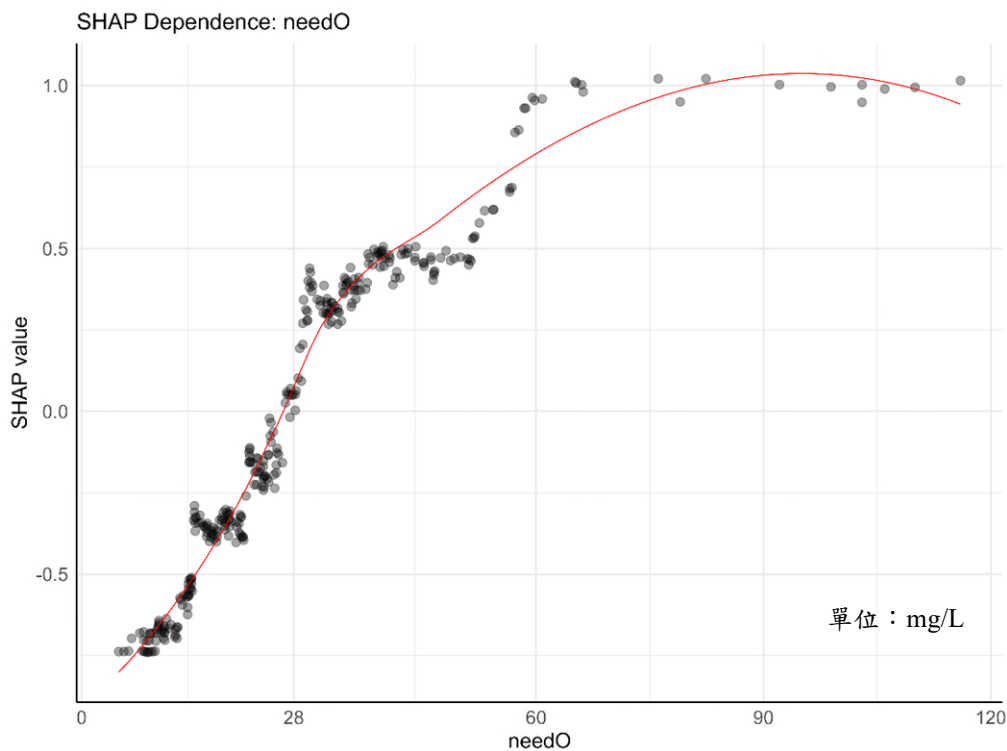


圖 6 化學需氧量對 RPI 之 SHAP dependence plot

觀察圖 7，X 軸為酸鹼值 (pH) 實際數值、Y 軸為該數值對模型預測 RPI 的 SHAP 值 (貢獻程度)、紅線為擬合趨勢線，分析如下：

(一) 酸鹼值在 7.20 至 7.88 區間 (偏中性) 時，SHAP 值最高

表示模型認為此區間的酸鹼值會提高RPI，即對預測有正貢獻。

## (二)酸鹼值逐漸上升(約大於7.88)後，SHAP 值快速下降並轉為負值

即偏鹼性的水體對 RPI 有「降低」的影響，模型認為這類水質通常伴隨污染程度較低。

## (三)酸鹼值約大於 8 時 SHAP 值趨於穩定偏低

顯示過高的鹼性狀況對 RPI 的預測影響相對穩定。

依據水污染防治法中的放流水水質標準規定，放流水酸鹼值應介於6.00至9.00之間，惟本文進一步分析可知，酸鹼值約介於7.20至7.88時，其對 RPI 預測的 SHAP 值達最高，顯示此範圍內的水體酸鹼條件與RPI呈正向關聯，即污染程度相對較高。

隨著酸鹼值持續上升(約大於7.88)，SHAP 值呈快速下降趨勢，並轉為負值，顯示偏鹼性環境下，對模型所預測之污染指數有負向影響。此結果反映部分河段的偏鹼性水體可能來自於較清潔或經處理排放之水源，污染程度相對較低。當酸鹼值進一步上升至 8.5 以上時，SHAP 值趨於穩定，表示極端偏鹼的水質對污染指數之影響變化有限。

整體而言，酸鹼值對RPI的貢獻呈現倒 U 型變化，顯示其在 RPI 預測模型中具有顯著且非線性之解釋能力，應於水質監測與污染判釋中予以重視。

建議將酸鹼值介於約 7.20 至 7.88 之間時，作為河川污染風險分級之關鍵判斷區段，該範圍內之水體條件與污染指數呈現正向關聯，顯示污染風險相對較高，應針對此區間內之樣點加強監測密度與預警機制。至於酸鹼值高於約 8.0 之河段，則可視為污染風險較低之區域，可能反映水源較為清潔或經處理排放之特性，宜優先納入污染趨勢穩定觀測與維持管理計畫，以有效控管水質變動風險並確保環境品質穩定性。

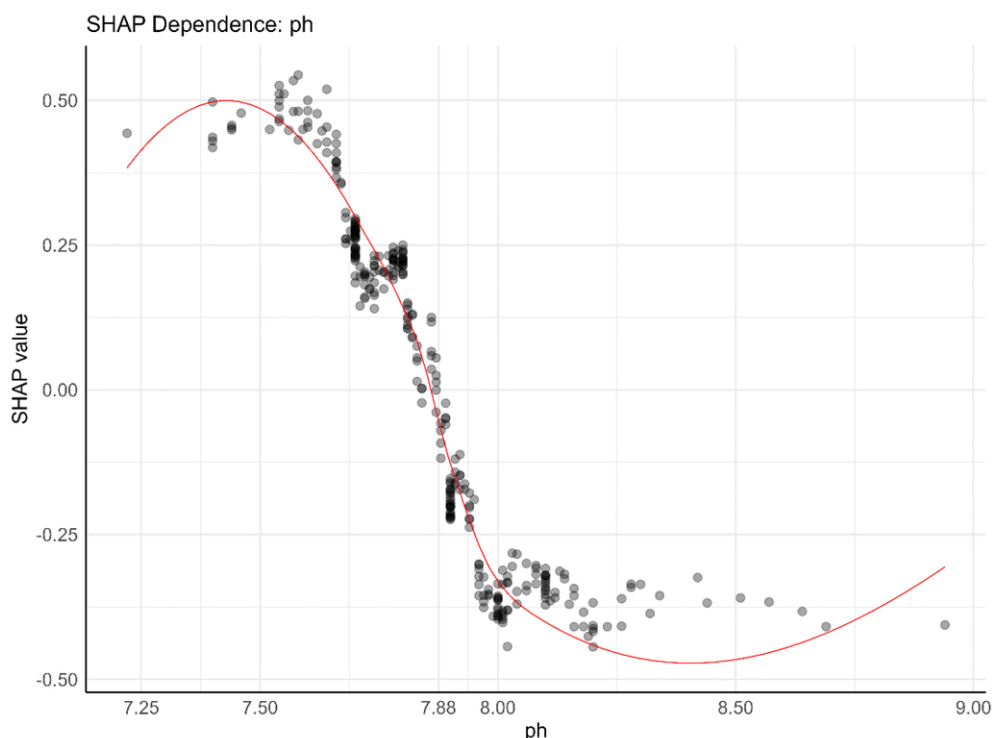


圖 7 酸鹼值對 RPI 之 SHAP dependence plot

觀察圖8，X 軸為大腸桿菌群(Lintestine)實際數值、Y 軸為該數值對模型預測 RPI 的 SHAP 值(貢獻程度)、紅線為擬合趨勢線，分析如下：

(一)低濃度(小於約  $5 \times 10^5$  CFU/100mL)

1. SHAP 值為負，表示模型預測污染程度較低。
2. 顯示此階段對河川污染指數貢獻較小或為負向影響。

(二)中濃度(約介於  $5 \times 10^5$  至  $4 \times 10^6$  CFU/100mL之間)

1. SHAP 值快速由負轉正，代表對污染指數有明顯正向貢獻。
2. 為污染風險變化的「敏感區段」，模型對該變數特別敏感。

(三)高濃度(大於約  $4 \times 10^6$  CFU/100mL)

1. SHAP 值趨於飽和但維持正向影響，貢獻趨於穩定。
2. 顯示模型已辨識高濃度下污染風險極高，進入影響上限。

上述可知，於低濃度區時，SHAP 值普遍為負，顯示大腸桿菌群於此濃度下對預測結果貢獻負向影響，亦即模型傾向預測為污染程度

較低的情形。

隨濃度上升至中濃度區，SHAP 值快速轉為正值，並趨於穩定，反映該變數在此區間內對污染指數有明顯的正向貢獻。

當大腸桿菌群濃度超過約  $4 \times 10^6$  CFU/100mL(高濃度區)時，SHAP 值變化趨於平緩，說明模型已捕捉到其對污染預測的最大貢獻，進入影響飽和期。

整體而言，大腸桿菌群對模型輸出具穩定且正向的貢獻，特別在中高濃度區間扮演重要角色，其作為反映人畜糞便污染之微生物指標，對於評估河川衛生風險與污染源監測具有重要意義。此結果亦佐證其納入 RPI 替代評估模型之潛力。

建議將菌數介於中濃度區(約介於  $5 \times 10^5$  至  $4 \times 10^6$  CFU/100mL)時作為河川污染風險分級之關鍵判斷區段，並針對該區間內的樣點加強監測與預警機制。至於菌數高於  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 之河段，則可視為嚴重污染區域，宜優先納入污染源調查與整治計畫，以有效控管水質惡化風險。

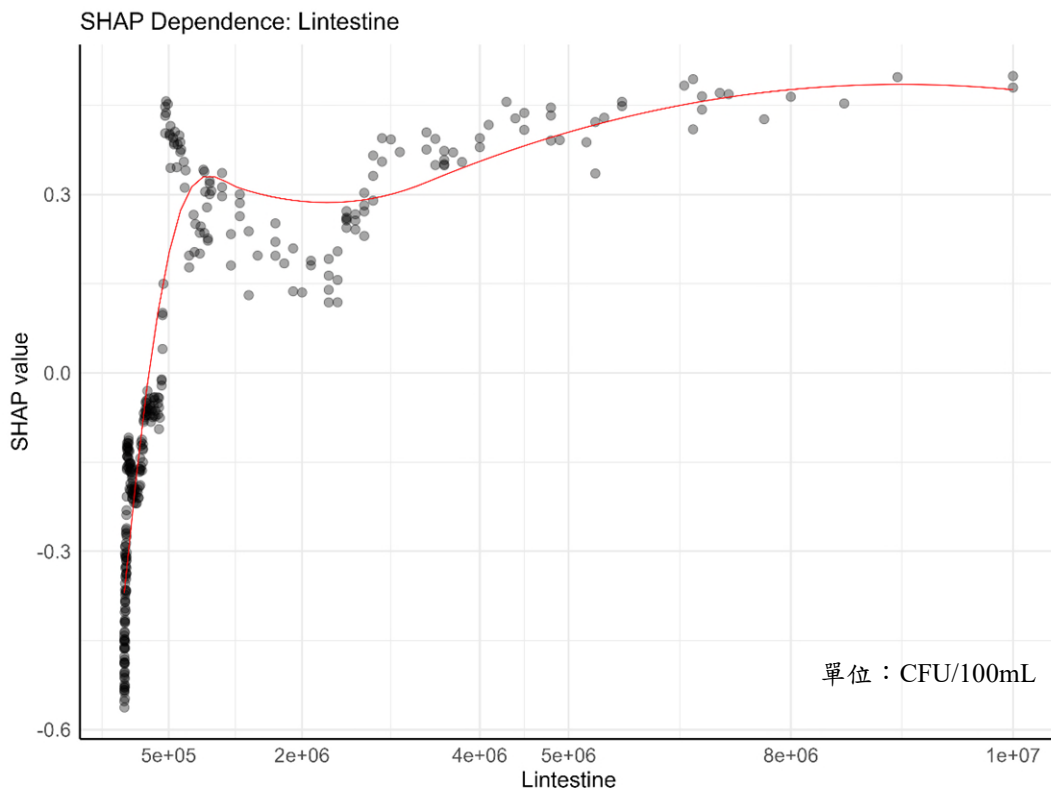


圖 8 大腸桿菌群對 RPI 之 SHAP dependence plot

本文除利用SHAP summary plot進一步解釋影響RPI預測的重要變數外，另選取 SHAP summary plot 中排名前3名關鍵變數：化學需氧量、酸鹼值及大腸桿菌群，進行 SHAP dependence plot 分析，綜合 SHAP dependence plot結果，前3名關鍵變數在 RPI 預測模型中皆展現出顯著的貢獻與具體的非線性反應結構，反映其作為污染風險指標之解釋能力。

化學需氧量與 RPI 呈明顯之正相關性，當濃度介於約 28 至 60 mg/L 時，SHAP 值迅速上升，顯示該變數在此區間對模型預測污染等級具最強正向貢獻。當化學需氧量超過 60至80 mg/L 後，SHAP 值趨於平緩甚至略為下降，表示模型預測進入污染飽和區，對極端高值之響應有限；相反地，在濃度低於 28 mg/L 時，SHAP 值普遍為負，顯示其有助於預測水體為低污染狀態，應視為良好水質之區段。

依據水污染防治法中的放流水水質標準規定，放流水酸鹼值應介於6.00至9.00之間，惟本文進一步分析可知，酸鹼值展現出倒 U 型之變化趨勢，當酸鹼值介於 7.20 至 7.88 時，SHAP 值達最高，模型預測之RPI亦隨之升高。當酸鹼值超過約 7.88 後，SHAP 值快速下降，並轉為負值，顯示偏鹼性水體通常與低污染環境有關，可能為受控排放水源。當酸鹼值進一步上升至 8.5 以上時，SHAP 值變化趨於穩定，表示其對預測結果之影響趨於平緩。

大腸桿菌群則表現出明顯的閾值效應。當菌數低於約  $5 \times 10^5$  CFU/100mL 時，SHAP 值多為負，代表污染風險低；而菌數介於約  $5 \times 10^5$  至  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 間時，SHAP 值快速由負轉正並維持穩定上升，成為模型辨識污染的重要判斷依據。當菌數超過  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 時，SHAP 值雖仍為正，但變化趨緩，反映模型對於高濃度菌數的解釋力已達飽和。

整體而言，上述三項變數皆於特定區間對污染指數預測具穩定且顯著貢獻，並具明確之門檻或飽和特徵，顯示其可作為河川污染風險分級之判斷依據。

建議針對化學需氧量介於 28至60 mg/L、酸鹼值介於 7.20至7.88，以及大腸桿菌群介於  $5 \times 10^5$  至  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 之樣點加強常態監測與即時預警；對於超出臨界高值範圍者，亦應納入污染源追蹤與整治優先處理對象，以提升河川污染防治之效率與科學依據。

同時當RPI組成變數缺漏時，建議可利用化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群做為替代方案評估RPI。

## 肆、結論與建議

### 一、結論

#### **(一)113年本市主要河川流域平均RPI以急水溪4.73為最高，較112年5.04減少0.31(或6.15%)**

113年本市主要河川流域平均RPI以急水溪4.73為最高，較112年5.04減少0.31(或6.15%)，若接近5年觀察，平均RPI以急水溪自109年5.81逐年減少至113年4.73，共減少1.08(或18.59%)為最多；二仁溪4.60次之，鹽水溪4.08再次。

#### **(二)113年本市主要河川流域受污染長度比例以二仁溪嚴重及中度污染比例82.73%為最高，占逾8成**

按河川受污染長度比例觀察，嚴重污染比例中，以二仁溪22.62%為最高，鹽水溪17.88%次之，急水溪14.55%再次，曾文溪及八掌溪則無嚴重污染比例；中度污染比例中，亦以二仁溪60.11%為最高，急水溪53.66%次之，八掌溪48.39%再次。

值得注意的是，若按嚴重及中度污染比例來觀察，二仁溪合計高達82.73%，占逾8成，完全無未(稍)受污染比例，係環境部在統計河川受污染長度時，以該河川流域涵蓋跨縣市測站計算而成，非僅計算本市測站，主要影響為高雄市範疇，惟綜合先前平均RPI及各測站RPI分布結果，顯示二仁溪仍為本市主要被污染之河川。

#### **(三)利用XGBoost模型及SHAP分析，化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群為重要潛在水質變數，對RPI預測具重要貢獻**

在SHAP分析中，前3大重要變數平均貢獻值以化學需氧量0.438為最高，酸鹼值0.275次之，大腸桿菌0.272再次，進一步藉由Bootstrap及信賴區間法檢定，結果顯示三者為模型預測 RPI 的最關鍵變數。

最後依據SHAP dependence plot，化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群皆於特定區間對污染指數預測具穩定且顯著之貢獻，且各具明確之門檻值或飽和效應。

## 二、建議

雖依水污染防治法中的放流水水質標準規定，已有訂定放流水酸鹼值應介於6.00至9.00之標準，惟為找出潛在影響河川污染指數的水質變數，達降低RPI值之目標，運用本市近10年二仁溪流域水質月資料，結合XGBoost模型及SHAP分析，針對分析結果建議如下：

### (一)針對污染熱區強化常態監測與預警機制

針對下列高風險樣點加強常態監測與即時預警；超過臨界高值者，應優先納入污染源調查與整治規劃，以防範污染惡化與擴散：

- 1.化學需氧量介於 28至60 mg/L 時，對RPI有最強的正向影響，此區間的值越高，越容易被模型判定為污染加劇。
- 2.酸鹼值介於 7.20至7.88 時，該範圍內之水體條件與RPI呈現正向關聯，應針對此區間內之樣點加強監測密度與預警機制。
- 3.大腸桿菌群之菌數介於  $5 \times 10^5$ 至 $4 \times 10^6$  CFU/100mL 時，為河川污染風險分級之關鍵判斷區段，應針對該區間內的樣點加強監測與預警機制；至於菌數高於  $4 \times 10^6$  CFU/100mL 之河段，可視為嚴重污染區域，宜優先納入污染源調查與整治計畫，以有效控管水質惡化風險。

### (二)缺漏RPI組成變數時，建議採替代評估方式

當監測資料缺漏RPI原始計算所需之4項指標(溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氨氮)時，建議可將化學需氧量、酸鹼值與大腸桿菌群做為替代變數，進行RPI污染等級之預測與初步研判，以維持評估作業之連續性與穩定性。

### (三)檢討RPI指數組成，建立改良型RPI評估模式

現行RPI由4項理化水質指標計算而得，建議未來若要檢討RPI組成變數時，考量納入上述3項變數，發展「改良型RPI」評估模式，提升污染辨識之敏感度與實務應用性，作為傳統RPI之輔助與補充工具。

#### (四)強化二仁溪污染治理優先順序與政策資源配置

鑒於二仁溪污染程度最為嚴重，且全段無未(稍)受污染區域，建議將二仁溪列為本市河川治理之優先處理河段，並於未來環境預算與整治計畫中，優先配置資源與規劃行動方案。