



環境部環境管理署

112 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

建置清淨水質監測與預警平台： 河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用 期末報告(定稿)

主辦單位： 環境部環境管理署
專案執行單位：國立清華大學／分析與環境科學研究所
專案主持人：周秀專 教授
專案執行期間：112 年 12 月 15 日起至
113 年 11 月 29 日止

中華民國 113 年 12 月 印製



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■構想書 □申請計畫書 □期中報告 審查意見回覆對照表
□修正計畫書 □期末報告

計畫年度	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：周秀專 NO：R8
計畫名稱	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 於內文中僅知分析底泥「毒性」，以及正規劃分析「8 大重金屬與 12 種有機物質」，但皆未提及分析項目，建議於內文中補充說明分析項目以利了解對於人體危害。 2. 請多論述底泥毒性及水質污染之間的關係，才能以底泥毒性分析結果做為水質預警的指標。		感謝委員提供具體的建議。 1. 本計畫將進行的底泥毒性分析項目如下： 8 大重金屬：砷(As)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、銅(Cu)、汞(Hg)、鎳(Ni)、鉛(Pb)、鋅 (Zn)。 無機砷、鎘、六價鉻、鎳被 IARC (WHO 國際癌症研究機構)歸類為對人類具有致癌性(IARC I，對人體有明確致癌性的物質或混合物)，鉛為可能的致癌物 (IARC 2A，對人類很可能有致癌性，對動物則為確定之致癌物)，甲基汞為可能的致癌物 (IARC 2B，對人類為有可能致癌物，對動物為很可能也是致癌物)。 12 種有機物 (8 種多環芳香烴、4 種塑化劑)： 多環芳香烴(8)：二苯并蒽、(1,2,3-cd)芘、苯、蒽、苯並(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)螢蒽、苯并(k)螢蒽。在 IARC 的分類中，這八種有機物分別被 IARC 列為第 1 和第 2A、2B 類，表示對人類有致癌性或是可能有致癌性。 塑化劑(4)：鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)。 這些物質對人體的危害已在計畫書中詳細描述。 2. 底泥是水生生物棲息地，同時也是汙染物質的沉積處。底泥毒性分析結果不僅是水質預警指標，也可作為環境生態的健康指標。原因如下： 沉降作用：來自家庭、工業或農業廢水中的汙染物經由沉降作用後，會積聚在底泥中。	



	親疏水性：底泥中的污染物由於其特性，傾向附著於底泥，尤其是多環芳香烴等有機污染物。 吸附競爭關係：重金屬等污染物會透過吸附競爭作用積聚在底泥中。 河川污染物經由化學沉澱、吸附離子交換及化學錯合等反應沉積於底泥中，導致底泥積累大量多環芳香烴化合物、重金屬等。這些底泥污染物可能受環境因子變化的影響，脫附、溶出至水體，再度污染河川水質。 預警的主要價值在於降低風險。底泥作為水質指標具有潛在價值，不同於水質檢測易受水流沖刷稀釋而產生誤差，底泥具有長期影響觀察的特性。因此，在環境監測和水質預警中，底泥毒性扮演著重要的角色。															
委員二	感謝委員的提問。 在進行底泥採樣和污染物萃取過程中，我們採用統一的標準，以減少其他環境壓力因素和干擾所造成的實驗誤差。實驗再現性是現代科學的核心價值之一。為了評估底泥污染累積毒性的實驗再現性，並減少細胞間的基因差異，本計劃所有研究方法皆會進行至少三次獨立實驗，以嚴謹分析所有實驗結果。透過評估細胞損傷程度和環境污染物的分析結果，我們可以推知兩者關聯性，並評估不同環境污染物對人體健康的危害程度。目前法規主要定義單一毒性物對環境的影響，但對於複合型毒性物質對環境（以及人體）的影響尚未有明確規範。我們希望藉由本計畫建立一套檢測複合型毒性污染物的機制，以彌補現行法規在這方面的不足。															
委員三	感謝委員提供具體的建議。 1. 本計畫有編列自籌款以順利推動計畫執行。 2. 兩計畫差異處說明如下： <table><tr><th></th><th>客雅溪 (國科會計畫)</th><th>頭前溪 (本計畫)</th></tr><tr><td>污染源</td><td>工業排放廢水</td><td>民生及工業廢水</td></tr><tr><td>水源使用</td><td>無</td><td>民生用水水源</td></tr><tr><td>底泥採樣深度</td><td>0~10 公分</td><td>表層：0~10 深層：50 公分以下</td></tr><tr><td>樣品檢測</td><td>底泥</td><td>底泥、間隙水、</td></tr></table>		客雅溪 (國科會計畫)	頭前溪 (本計畫)	污染源	工業排放廢水	民生及工業廢水	水源使用	無	民生用水水源	底泥採樣深度	0~10 公分	表層：0~10 深層：50 公分以下	樣品檢測	底泥	底泥、間隙水、
	客雅溪 (國科會計畫)	頭前溪 (本計畫)														
污染源	工業排放廢水	民生及工業廢水														
水源使用	無	民生用水水源														
底泥採樣深度	0~10 公分	表層：0~10 深層：50 公分以下														
樣品檢測	底泥	底泥、間隙水、														



		萃取物
國外合作	無	抗生素及PFOS/PFAS相關的成分分析
採樣點	3 地點	7 地點

根據以上資料，本計畫是奠基於先前國科會計畫成果，並納入以下考量以彌補先前計畫的不足：

(1) 多地點採樣：為更準確知道河川上中下游之底泥污染物成分差異，我們在同一河川多個採樣點，希望藉此方式能使我們的樣品符合實際河川汙染狀態。

(2) 底泥深度考量：表層底泥用於分析短期汙染，深層底泥用於分析長期汙染，藉此結果更全面分析底泥汙染源是什麼，以利於長期的河川環境治理。

(3) 成分分析：為了更全面進行分析，除了原先檢測底泥中的汙染物含量（8 大重金屬和 12 種有機物）外，我們進一步細分表層和深層底泥，並採集不同型態的樣本，例如間隙水和萃取物。這樣可以更深入了解底泥汙染物的組成成分。

基於以上三點我們可以知道底泥汙染物的成分，再透過細胞實驗得知汙染物的生物毒性強弱，藉此建立一套標準，用以檢視底泥汙染物之毒性，並起到警示之作用。

3. 因應環境監測的預警過程是一個有系統性的流程，旨在監測、辨識和回應可能對環境造成損害或威脅的事件或情況。這個過程包括幾個主要階段：

(1) 監測和收集資料; (2) 資料評估和風險分析; (3) 預警和通知：當資料分析顯示出潛在的風險或超出事先設定的標準時，啟動預警機制，以促成應對和進一步行動; (4) 根據預警信息，制定應對計劃以減少環境風險和最小化損害。

這是一個循環進行的過程，透過持續的監測、評估和應對，以確保環境的健康與安全。更實際地反應複合型累積汙染物和準確的汙染河川預警，是提前發現潛在環境危機的重要途徑。在這方面，建立人類細胞株篩選平台用於河川底泥生物毒性評估，具有前景且富有應用價值，可提升環境汙染鑑識效率，同時成為清淨水質監測與預警



	的重要工具。未來，我們可以推動以下步驟以實現這樣的平台： (1) 制定標準和指標：標準化生物毒性評估的敏感性細胞株和毒性分析方法與流程，以便有效比較和評估不同水體樣本的毒性程度。 (2) 建立數據庫：創建一個完善的數據庫，用於追蹤和分析來自不同水體樣本的測試結果，以支持建立更精確的環境污染模型。 (3) 整合儀器和技術：採用先進的儀器和技術，以不斷提升生物毒性測試的靈敏度和測量精確性。 (4) 制定監測計畫：設立定期監測計畫，包括定期校正儀器、更新敏感細胞株和校核數據合格性，以確保系統的穩定運作。 (5) 建立預警系統：全面了解、追蹤和記錄目標水體的污染狀態。建立一個整合監測數據的預警系統，實現正確通知有關水體狀態變化的機制並識別潛在危險，以協助及早應對環境問題。 這些措施將有助於提升環境監測的有效性與準確性，同時為政府制定相應的政策和法規提供寶貴參考。底泥生物毒性測定可視為先進的環境積累污染物辨識的一種方式，可根據其資料調整河段改善的優先順序，以實現更有效的監測、準確預警、並提升國人健康水平。
委員四 1. 本計畫之執行目標為建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用，構想書執行規劃內容並未含預警平台建置之工項，建議應補充說明其執行規劃。 2. 附件 1-9，有關本計畫預期目標及可能成果說明，其內容應為針對研究內容可直接產生之成果，如建立相關檢驗標準、完成數據庫建置等研究成果。 3. 附件 1-10，針對構想書提出之經濟效益部分，其敘述較不清晰，對於本技術可提供之直接與間接效益說明，包含提供政府整治目標執行建議、國人健康品質評估與監測等潛在效益，建議可多加說明。 4. 有關本計畫之研究進度規劃，建議應檢具	感謝委員斧正與提供具體的建議。 1. 如前所述，因應環境監測的預警是一個系統性循環，致力於監測、辨識和應對環境可能造成損害的事件。目前計畫書的工作目標集中在監測和辨識階段，其主要建設項目如下所述： (1) 規劃統一採樣流程：流域沿岸採樣點，每個點將採集表層和深層底泥。 (2) 規劃統一底泥萃取流程：新鮮底泥送去檢測重金屬及有機化合物，其餘自然風乾，待風乾後用篩子過篩，再進行有機萃取與減壓濃縮，最後以 DMSO 回溶 (3) 規劃統一成分分析種類與方法：檢測分析 12 種有機物和 8 大重金屬。 (4) 建立試驗之細胞平台：肝臟細胞(Hep-G2)、腎臟細胞(HEK-239T)、生殖細胞(PC3、HeLa)等。 (5) 建立生物毒性檢測流程：細胞存活率(MTT assay)，氧化壓力測試(ROS assay)，膜電位測試(JC-10 assay)。

(6) **標準化河流污染程度:**我們希望透過以上步驟建立一個平台，並進一步驗證其他待整治的河流，這將有助於更好辨識環境污染的潛在問題。

3. 原先的構想書附件 1-10 已在計畫書中做了修改。我們相信本計畫執行能夠帶來直接和間接的效益：

(1) 直接效益包括提供政府整治目標執行的建議以及優化河川整治。我們以分段多點的方式在同一流域進行採樣，也能夠了解同一河流在不同區段、不同季節，對人體和環境的毒性程度。這有助於在河川整治時有序地優先處理污染嚴重的區域，更有效地運用有限的資源。

(2) 在國民健康品質評估和監測方面，也具有潛在的效益。國民健康對我們來說至關重要，而根據衛福部的統計數據，2021 年台灣的健保支出佔 GDP 的 6.6%，不斷增加。因此，我們希望將本計畫的研究成果擴展成全國河川水質的測評標準。透過建立清淨水質監測和預警平台，降低全台癌症發生率，進而減少健保支出。同時，這也能促進國民健康，達到經濟效益的目標。

4. 本計畫之研究進度規劃，已在計畫書檢具含工作項目、執行期間及查核點之甘特圖（如右圖）。

九、研究進度及預期完成之工作項目（甘特圖）。

[illegible]



委員五 1. 因河川底泥污染有季節性與不均勻分布，如何取得代表性樣品，是否也評估在出海口採集樣品。 2. 具前瞻性，符合專案徵求主題。	感謝委員提供具體的建議與肯定。 目前使用的樣品是在十月採集的，屬於乾季樣品，計畫明年六月規劃採集濕季的樣品。本研究的重點是頭前溪的飲用水質監測，因此目前所有的採樣點都被設置在湊雅取水口之上游河段。此外，頭前溪的出海口匯集了多條溪流，包括鳳山溪和豆子埔溪，且較容易受海水中的鹽分和潮汐變化所影響。因此，經過評估後，我們決定不在出海口設置採樣點，因為那裡受到的干擾因素較多。
委員六 1. 如何評估非關切因子(例如：自然環境所致的水質參數變化)的干擾? 2. 底泥採樣時機對監測結果的解讀的影響，建議討論 (例如：雨季前後採樣的意義…等)	感謝委員的提問與具體建議。 1. 由環境部河川水質監測資料中，水質相關參數測定結果可以看出，在整個頭前溪流域當中，各個採樣點其環境干擾因子差異不大。而在訂定採樣日期及時間時，會參考當日潮汐時間，並且避開颱風天及一週內有降雨等特殊情況，將非關切因子的干擾降到最低。 https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/EnvWaterMonitoring/River.aspx 2. 無論是底泥或水質監測，最好在水質相對穩定時進行取樣。豪雨或颱風過後，常會因為附近土壤或污染物質被雨水沖刷至水體中，導致測量值偏高。雨水的酸鹼值也會影響降雨中懸浮微粒吸附的污染物成分。酸性的 pH 值可能使金屬離子更容易停留在水中或底泥中。 台灣大學王秋森教授先前的調查報告指出，雨季期間，空氣中的懸浮微粒經過雨水淋溶後，未能有效地限制污染物的擴散，進而影響當地水質。一般情況下，PM2.5/PM10 比值曲線的變化會隨著日夜的變化而上下波動，而隨著雨季來臨，比值也會持續上升或下降。在雨天，此比值呈現上升的趨勢，而在晴天則呈現下降趨勢。可能的原因是連續的降雨造成濕沉降，使得粗顆粒減少，進而導致比值上升。空氣懸浮微粒因顆粒大小不同，吸附的環境污染物成分也有所不同。雖然大部分粗顆粒會隨著雨水沉積在底泥中，但雨水沖刷又會帶來不同的變化。 因此，在進行底泥污染物管理或監測時，應該避免降雨情形，同時考慮空氣中懸浮微粒的影響，並在乾季和雨季分別進行取樣。



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☒申請計畫書 ☐期中報告 ☐修正計畫書 ☐期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他	主持人：周秀專 NO：R9	
計畫名稱	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一		1. 感謝委員細心提醒。原文已修訂為「置入二氧化碳培養箱 (溫度設定：37℃，二氧化碳濃度設定：5% CO ₂ ，濕度設定：80%)」。	
1. P.29,「置入細胞培養箱(37℃，5%CO ₂ ，80%濕度)」，誤繕請修正。		2. 感謝委員細心提醒。原文已修訂為「一般情況下 PM _{2.5} /PM ₁₀ ratio…」。	
2. P.32,「一般情況下 PM _{2.5} /PM ₁₀ …」，誤繕請修正。		3. 感謝委員提問。雖然本專案計畫採樣點不包括河川下游，潮汐狀況對本實驗樣品影響可忽略。但是感潮河川在下游河段(河口處)確實是須考量潮汐狀況，並應於低平潮時進行採樣工作。通常在感潮河段採樣時應在低平潮前 0.75 小時至低平潮後 0.75 小時，共 1.5 小時內完成採樣，而非感潮河段則由上游往下游依序進行採樣工作 (依照 河川、湖泊及水庫水質採樣通則 (NIEA W104.51C))。	
3. 感潮河川是否影響河川底泥污染狀況，若將造成影響，應如何取得代表性樣品。			
委員二		1. 感謝委員的用心與指教。環境中確實存在基質複雜的問題並且環境污染物日新月異，不可能一一檢測所有對於環境當中有害或具有影響的因素，這也是藉由監測底泥生物毒性反映複合型環境污染程度的可貴之處。	
1. 欲建置應用於河川底泥生物毒性分析的人類細胞株篩選平台，以優化環境污染鑑識度並作為清淨水質監測與預警平台，具技術新穎性。唯環境中存在的基質複雜，如何確認細胞株的損傷程度直接反映實際環境污染程度的相關性，而非來自於其他環境中的壓力因子或干擾？		受限於儀器與經費，本專案計畫也僅能針對政府所管控對人體具重大危害的 8 大重金屬與 12 種有機物進行底泥化學分析，並以其相對濃度推導其對應的複合型累積毒性。	
		細胞株的損傷程度直接反映實際環境污染程	



	度的根據是使用統一標準化的方式進行底泥樣品的萃取再進行底泥萃取液的化學分析，最後將底泥與底泥萃取液的成分分析與細胞損傷程度進行關聯性比較就可得知污染物的種類及整體污染程度與細胞損傷之間的相關性。 參考過去研究文獻，目前底泥各重金屬的污染性可進一步以 CF_i（底泥重金屬的污染因子，C_i 和 B_i 分別是金屬的測量濃度和背景值）呈現，而各區域的重金屬綜合程度則以污染負荷指數（PLI, pollution load index, ）評估。 $CF_i = C_i/B_i \quad PLI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n CF_i}$ 根據我們目前的底泥生物毒性結果，可以看出污染物整體污染程度與細胞損傷之間的高度相關性。這部分的結果，我們會完整呈現在成果報告。
委員三 1. 本計畫著重在污染及生物毒性，但是在鑑識部分，因為缺乏污染源採樣，似乎有鑑識不容易，建議可以再補充。 2. 底泥的細胞毒性，提供一個快速分析方法，但是與真正的生物毒性間、以及底泥污染物濃度間的關聯性，建議能多加分析比較，以提供政策建議之參考。	1. 感謝委員的用心與建議。在本計畫中的環境污染鑑識是針對不同區域性的差異進行討論，例如：採樣點來自取水口、工業區廢水以及家庭汙水，尚未針對特定地點（污染排放源）進行採樣。是因為本專案計畫的目標除了標準化生物毒性的檢測流程，也希望能夠建置不同河段/流域的污染數據庫，以提供政府整治污染河川優先順序的參考資料。若特別針對特異的排放地點進行檢測會失去相對客觀性，但若將來的實驗場域是污染場址，污染源的鑑識與生物毒性的因果關係將會更容易建立。 2. 感謝委員的用心與建議。過去不同生態區常存在不同生物指標，故導致警示標準多樣化，缺乏統一性的問題。更重要的是目前的生物毒性所使用的生物多為底棲生物，雖可做為



生態汙染指標，但其與國民健康相關性太低。以端足蟲為例：

	生物毒性	細胞毒性
實驗主體	端足蟲 (Hyalomma azteca)	人類細胞
檢測時間成本	10 天	4 天
花費耗材成本	較高	較低
實驗複雜度	較高	較低
與人類的相關性	較低	較高

(參考[底泥生物毒性檢測方法—端足蟲更水式法](#))

當要探討環境毒素對於人體所造成的影響時並不會以人體作為實驗主體，這會違反倫理道德的相關法規，最適合的毒性檢測方式是以合法取得的人類細胞進行細胞毒性的探討，並且分析細胞內部的毒性機制，例如：細胞凋亡的路徑調控與不同器官中特定功能的路徑調控，再針對其中的特異性分子進行抑制而達成病灶減緩或體內保護的作用。

各個金屬或有機汙染物在底泥當中幾乎都有各自的規範值，我們將底泥中所測到的分析物濃度與 US EPA 所規範的數值進行比較，並將各採樣點中所超標的汙染項目與超標程度以及細胞毒性的結果進行相關性討論。此外，底泥各重金屬的污染性進一步以 CFI (底泥重金屬的污染因子)呈現，而各區域的重金屬綜合程度則以污染負荷指數 (PLI, pollution load index) 評估。根據我們目前的底泥生物毒性結果，可以看出汙染物整體汙染程度與細胞損傷之間的高度相關性。這部分的結果，我們會完整呈現在成果報告，以提供政策建議之參考。

委員四

1. 主持人近三年已發表 6 篇 SCI 期刊，其中研究開發一種新模型，用於預測底泥汙染物的環境風險，與本研究具相關性。近三年主持人獲其他機關補助計畫 7 件又曾領導兩項國科會資助的計畫評估汙染物的生物毒性，足以勝任本研究計畫，惟建議強

1. 感謝委員的肯定與建議。詹鴻霖教授是該兩項國科會資助計畫評估汙染物生物毒性的共同主持人，於過去五年期間發表 29 篇 SCI 文章，其中 22 篇為通訊作者，大多為 IF 超過 5.0 的期刊。詹教授研究著重於細胞生物學、與蛋白質體學於 ischemia reperfusion injury、臨床生物標記分子與腫瘤標記分子、化療藥



化協同主持人學術研究相關經驗。 2. 本研究計畫透過底泥生物毒性監測平台，全面了解、追蹤和記錄頭前溪的污染狀態。建立更完善的監測系統將有助於進行分析並識別潛在危險，及時發出警報並啟動應對措施，以最大程度降低風險。研究方法步驟尚詳盡，亦針對國內外相關執行情形及重要參考文獻進行評析。 3. 本計畫預估之成果績效貢獻包括學術產出國外期刊、國內外研討會各二篇、辦理學術研討會會議及論壇各1場、技術平台1項、人才培育研發人員4人、跨領域團隊1個、跨機構團隊2個及促成合作研究700仟元。 4. 本計畫申請補助經費耗材與主要費用偏高，建議調整費用。 5. 本研究計畫務實反映複合型累積污染物和準確的污染河川預警，可以有效提前發現潛在的環境危機，提供政府制定相應的監測標準、管理政策和法規之參考。	物抗藥性機轉之蛋白質體學研究、糖尿病之細胞模式分析及腸道微生物體學研究。由於詹教授這些專長，因此我們分析環境汙染物對細胞影響會請他協助細胞蛋白質層次的調節與細胞毒性造成的蛋白質修飾，對於我們整體計畫有相當的幫助。未來也會著眼在環境汙染物在微生物體上的分析，會與詹教授更密切合作。我們將在計畫書修正稿中補充這些資料。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員的細心。我們會努力完成本計畫預估之成果績效貢獻。惟促成合作研究金額已被合作單位通知可能調降，我們將在計畫修正稿中修訂。 4. 感謝委員建議。耗材與主要費用金額已經調整，不過因本計畫預定完成項目的經費需求，已編列到自籌款項。 5. 感謝委員肯定。
委員五 1. 計畫書內容詳實。 2. 建議應考慮未來應用時所遇到的困難進行研究。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員具體建議。本計畫旨在反映複合型累積污染情形和污染河川預警，以有效發現潛在環境危機。所以，所有過程的標準化和數據判斷將是最關鍵的重點。本計畫書在 P.32 和 P.38 也考量未來應用時可能遭遇之困難，並將其納入研究考量。舉例說明： 汙染物的種類非常多，無法一一被分析與檢測，不同河川所受到的汙染也會隨著周遭的環境而有所改變。因此我們參考了環境部公告之底泥指標項目，以及 IARC (WHO 轄下國際癌症研究機構)制定之致癌物等級，最終選用八大重金屬以及十二種有機物化合物，為重點檢測及分析項目，建立河川汙染程度之指標。 此外，底泥汙染物的成份可能會隨著季節變



	化而有所改變，因此我們預計於今年六月進行二次採樣，並以同樣標準化的方式處理樣品後，將成分分析與生物毒性結果與先前(去年十月)採樣之樣品進行比較，以獲得不同季節下(乾季與濕季)之代表性實驗數據。
委員六 1. 計畫書中以頭前溪「隆恩堰」和「湳雅取水口」作為專案場域的主因在於其為飲用水取水口及頭前溪及香山污染及當地居民癌症率偏高。「隆恩堰」和「湳雅取水口」底泥適合做為試驗材料，但不宜過早將底泥品質/生物毒性、河川污染、飲用水、罹癌率鏈結。 2. 如同計畫書中陳述:底泥可能因民生用水取水口、灌溉或養殖水而將污染物輸送至蔬果、水稻和魚蝦，再透過食物鏈進入人體，對健康造成危害。底泥是否造成健康危害主要關鍵是與底泥接觸之水的水質毒性及其是否會進入民生用水、農業用水之用戶端。所以本計畫擬開發底泥生物毒性分析方法，主要樣品是「隆恩堰」和「湳雅取水口」底泥，建議增加測試「隆恩堰」和「湳雅取水口」底泥採集點水樣之生物毒性，除了可以擴大擬建立方法之應用性之外，亦可了解底泥與健康風險之相關性。	1. 感謝委員建議。本計畫旨在反映複合型累積污染情形和污染河川預警，以有效發現潛在環境危機。雖然先前針對新竹客雅溪底泥對於人類細胞株的生物累積效應分析結果，可以大致確立底泥品質與生物毒性之關聯性。但是，我們需要累積更多研究結果，才能釐清底泥品質/生物毒性/河川污染與國內罹癌率的關聯性。 本計畫以新竹母親河-頭前溪做為目標河川，並添加了新的研究方向，以深入探討不同採樣點之樣品差異性，希望能夠更完整建立底泥品質資料庫。舉例說明: 總共設置七處採樣點，並將其分為三大類，分別為(1)取水口、(2)工業污染區以及(3)家庭污水區，藉此細部探討頭前溪流域當中，不同河段之污染狀況及其生物毒性。 採集表層與深層樣品，用以分析此採樣點污染物屬於短期或是長期排放，以及不同成分污染物質的沉積位置，藉此更加了解該河段的周遭環境及污染來源。 2. 感謝委員具體建議。實驗規劃中沒有安排底泥採集點水樣之生物毒性的原因如下： i. 水樣品的滲透壓不適合細胞生長，會導致細胞破裂進而死亡，因此水樣之生物毒性測試具有實驗上的困難。 ii. 水中大部分的重金屬及多環芳香烴，皆傾向累積於底泥沉積物當中。重金屬離子藉由化學沉澱、吸附離子交換及化學錯合等反應，大量沉積於底泥沉積物中(Rao, Ke, et al., 2021)；多環芳香烴化合物，因為具有高疏水的性質，使其更容易待在底泥相當中 (Jesus, Fátima, et al.,



	2022)。 iii. 水樣當中剩餘的微量的汙染物質，容易受到水流沖刷或是雨水稀釋等外來因素影響，因此水樣之生物毒性測試，對於本計畫欲反映複合型累積汙染情形和汙染河川預警的應用性較低。
委員七 1. 所採集樣品背景的說明詳盡。	1. 感謝委員肯定。
委員八 1. 計畫主持人及本計畫執行團隊的學術研究能力佳，足以勝任本計畫。主持人及本計畫執行團隊近五年的研究績效佳。 2. 本計畫對國內土壤及地下水汙染整治的推動有貢獻。 3. 本計畫書撰寫具體完整，計畫書中已經說明本計畫的執行方式。 4. 計畫書所述的構想具可行性，且具有實務應用潛力(本計畫擬：“…務實反映複合型累積汙染物和準確的汙染河川預警，可以有效提前發現潛在的環境危機，提供政府制定相應的監測標準、管理政策和法規的寶貴參考…”)(系統的穩定性值得討論)(本計畫擬：“…透過底泥生物毒性監測平台，我們能更全面了解、追蹤和記錄頭前溪的汙染狀態。建立更完善的監測系統將有助於進行分析並識別潛在危險，及時發出警報並啟動應對措施，以最大程度降低風險…”)(關鍵參數的意義與解讀值得討論)。 5. 計畫執行期限合理，也已經說明預期的研究成果。 6. 計畫經費編列合理。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員肯定。 4. 感謝委員具體建議。因應環境監測的預警是一個系統性循環，而我們提出的監測鑑識平台又是過去前所未有，確實系統的穩定性與關鍵參數標準化都是重要的評估重點。包括： (1) 統一採樣流程 (2) 標準化底泥萃取流程 (3) 建立汙染物檢驗標準 (4) 統一毒性分析項目與方法 (5) 建立敏感性細胞平台 (6) 建立生物毒性檢測流程 (7) 標準化河流汙染程度 目前結果顯示，CFi (汙染因子)與 PLI (汙染負荷指數)是評估各區域底泥重金屬綜合汙染程度的關鍵參數，MTT assay 所測得的 IC₅₀ (衡量汙染物誘導半數細胞死亡的能力)則是評估生物毒性的關鍵參數。另外，氧化壓力與粒線體膜電位的判斷數值仍在建立中。 5. 感謝委員肯定。 6. 感謝委員肯定。
委員九 1. 設備費： 1.歐陸檢驗備註 9,900 元/件*10 件+18,000 元/件*10 件+16,500 元/件*10 件總計為 444,000 元，與 380,000 元不一致，請確認。 2.設備費加總共 413,410 元與合計 120,000	1. 感謝委員細心提醒。歐陸檢驗的費用明細已修正，另超支部分已編列於自籌款表中。 2. 感謝委員細心提醒。耗材費抗生素混和液數量已修正。 3. 感謝委員細心提醒。所列其他研究相關費用已自籌款方式編列；已刪除誤餐費；其他雜費



元金額不符，請依設備費實際支出金額填寫，另超支部分請編列於自籌款表格中。 2. 耗材費:抗生素混和液數量誤植，請修正為10瓶。 3. 其他: 1.其他研究相關費用中報告印刷、期刊編修、資料蒐集費、出差意外保險費請歸於行政管理費，若行政管理費無法支應，請以自籌款方式編列。 2.差旅費中每日雜費已包含誤餐費用，請刪除。 3.其他雜費(實驗室所需雜項耗材)應歸列在耗材及主要項目。 4.住宿（花蓮）參與台灣永續棧年會，請說明與計畫相關性。 4. 自籌款:歐陸檢驗費用與設備使用維護費用超支部分金額不一致，請確認。	(實驗室所需雜項耗材)已歸列在耗材及主要項目；已在計畫書修正版說明台灣永續棧年會與計畫相關性。 4. 感謝委員細心提醒。歐陸檢驗的費用明細已修正，另超支部分已編列於自籌款表中。
--	--



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書

☐申請計畫書

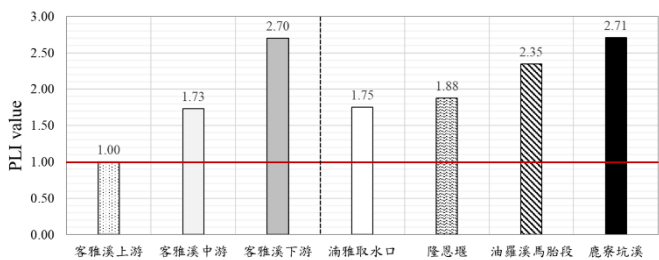
☒期中報告

☐修正計畫書

☐成果報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：周秀專 NO：A1
計畫名稱	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一		1. 感謝委員對報告的寶貴建議。關於計畫背景中引用二手資料的問題，您的指導讓我們了解直接引用環境部的正式研究報告與數據的重要性。我們將進一步核對並更新相關內容，確保所使用的數據來源更具權威性與準確性。	
1. 報告中計畫背景部分，引用的都是二手資料，建議能直接引用環境部正式研究報告或是數據。		2. 感謝委員對本研究的深刻見解與建議。我們除了比較頭前溪枯水期不同採樣點之間，也進行豐水期的採樣以及相關研究，並且已經發表國內客雅溪的研究論文。關於底泥調查數據的比較問題，我們認同擴大比較範圍的重要性，不僅限於本流域的數據，並計劃參考國內外其他地區的濃度資料，以提供更具全面性的分析。	
2. 本研究的底泥調查數據多。建議除了與本流域不同間比較外，也能夠去比較國內其他地方的濃度，並討論可能污染源，並非只有單純提到工業源。		以頭前溪與客雅溪之底泥八大重金屬檢測結果，計算各個兩條溪流各採樣點的污染負荷指數（PLI）如下圖。從圖中可以看出，頭前溪工業汙染區（鹿寮坑溪），其汙染嚴重程度已經相當於客雅溪下游，且位於頭前溪下游的隆恩堰以及湍雅取水口的汙染程度，也已經相當於客雅溪中游。由此可以反映出，頭前溪的汙染是需要被深入探討，且待改善的。	
3. P.29 及 30 頁，取水口附近清淤，敬請說明清淤相關資料；竹東表層水的鉛及砷，新近有污染，建議進一步分析。			
4. 類似的細胞毒性平台，國內外有許多研究進行，建議討論本計畫之新穎與應用性，以及有關本計畫成果，如何提供政策相關應用。			



△頭前溪與客雅溪污染程度比較

此外，您提到的污染源問題也十分重要。我們非常重視您的寶貴建議，未來將進一步補充這些內容，以提升研究的深度與廣度。目前頭前溪的污染源除了主要的工業污染，還有家庭污水、農業畜牧廢水、空氣中隨著降雨的污染物、地質本身組成金屬等。頭前溪是匯集五華工業區以及科學園區的溪流，所以我們更強調工業污染，希望可以推展興建工業區淨水廠。

3. 感謝委員的指教。在環境部 113 年土壤及地下水重金屬污染整治作業參考指引（EPA-25-III-06B-2015-003）中提及，我國的土壤重金屬污染改善方法可以概分為離地整治與現地整治兩大類。離地整治技術包括：固化/安定化法、開挖及離場處理法、土壤清洗法等；現地整治技術則包括：現地生物整治法、玻璃化法、應用土壤改良法、植物復育法、土壤淋洗法等。

而關於新竹取水口的清淤規劃，目前該作業由自來水第三區管理，但在官方網站上無法查詢到具體資料。我們在採樣時，確實觀察到取水口附近有清淤的痕跡，並透過電話詢問相關單位，得知清淤標準是由定期巡視的人員決定。因此，我們無法確定具體的清淤程序以及淤泥的最終處理去向。然而，根據各國的清淤統計資料，大多數情況下，淤泥會被挖掘後移至其他地點進行掩埋，或加工成污泥餅進行保存。

竹東地區是五華工業區的工業廢水和頭前溪上游家庭污水的重要匯集點。在工業部分，鉛常被用作焊接材料、表面塗層、水道管線，或



應用於電磁設備與發電機使用的含鉛汽油等。此外，家庭污水中，老舊的下水道管線可能導致鉛塗層老化，進而進入水體。至於**砷**，工業上常用於合金製造，例如生產強化銅合金或添加於車用鉛酸蓄電池的合金中。在半導體製造中，砷作為摻雜劑合成 n 型半導體材料，砷化鎵（摻矽的光電子化合物）是最常見的半導體材料之一。砷及其化合物，特別是三氧化二砷（砒霜），也廣泛用於合成農藥、除草劑和殺蟲劑，特別是在木材產品的處理中。因此，這些重金屬可能來自工業區、住宅區及農業活動。

4. 感謝委員對本研究的寶貴建議。確實，國內外已有多項細胞毒性平台的研究，但本計畫的創新點在於針對台灣特定污染物或環境樣本，優化毒性篩選方法，並提升平台的靈敏度與準確性。從而更精確地反映真實環境中的毒性風險，並針對台灣的環境與人群特性發展出獨特的細胞毒性平台，填補目前國內此類平台的空缺。

我們建立的人類細胞株的篩選平台不僅能輔助現有的河川污染指標，更全面反映複合型污染現況，還能直接評估污染物對人體健康的潛在影響。尤其在重金屬污染方面，現行的河川污染指標（RPI）無法充分反映，研究建議將重金屬污染因子（CFi）和污染負荷指數（PLI）納入評估體系，以更全面了解河川污染程度。結合政府長期的水質監測數據，該技術有助於構建更精確的預測模型，提升水質監控與預警系統的效能，並提高生物累積風險評估的準確性。

關於政策應用，本研究成果可為監管機構提供科學依據，協助制定和修訂環境標準與政策，尤其是針對水質和底泥中的污染物長期暴露及其累積效應進行研究。根據環境部的統計，全台中度至重度污染的河段高達 763.9 公里，未來的整治應考慮底泥生物毒性的數



	據，這將有助於降低污染物暴露的風險，更有效地改善國人健康。
委員二 1. 項目的研究目標是否足夠明確，能否在成果中清晰地體現出「清淨水質監測與預警平台」之架構與功能？ 2. 應詳細描述實驗設計，包括樣本大小、重複次數以及統計分析方法，報告中提供的數據是否經過了適當的驗證和測試？數據收集和分析過程中是否存在偏差，是否有措施來控制這些偏差？ 3. 應有廣泛地回顧相關文獻，以確保研究建立在現有知識的基礎上？文獻是否支持報告中的論點和結論？ 4. 風險評估和管理是否有對項目的發現及可能遇到的風險進行評估，並提出相應的管理策略？ 5. 後續應考慮了如何將研究成果轉化為實際的政策或管理措施？	1. 感謝感謝委員的提問。起初，我們希望在建立污染物成分與生物毒性資料庫的過程中，能夠達成以下目標： (1) 統一採樣流程 (2) 標準化底泥萃取流程 (3) 建立污染物檢驗標準 (4) 統一毒性分析項目與方法 (5) 建立敏感性細胞平台 (6) 建立生物毒性檢測流程 (7) 標準化河流污染程度呈現方式 這些目標的實現將有助於強化對底泥規範的重視，並加嚴相關標準。然而，僅完成這些工作還不足以發揮預警功能。因此，我們的資料庫主要用於支持預警模型的建立，需結合政府的長期水質監測數據，從而構建更精確的預測模型，提升水質監控與預警系統的效能，並增強生物累積風險評估的準確性。 2. 我們非常重視委員提出的建議，下圖為較詳細的實驗設計與流程規劃。在報告中也將補充更多詳細的數據驗證過程，確保研究結果的科學性與嚴謹性。 頭前溪底泥樣品採樣 豐水期、枯水期 不同汙水源之表層樣品 表層與深層樣品 鹿寮坑溪之上中下游樣品 成份分析 底泥樣品萃取 室溫乾燥→過篩→萃取 底泥汙染物 八大重金屬 十二種有機物 間隙水樣品 八大重金屬 萃取液成份分析 八大重金屬 汙染物分析 汙染因子(CF)_i、汙染負荷指數(PLI) 生物毒性平台建立與分析 MTT assay, ROS assay MMP assay, Apoptosis Western blot 促使國家相關政策的推動 河川整治措施、廢污水排放規範等 △實驗流程規劃 具體來說，樣本的選擇在 10 天內沒有降雨的環境條件進行，而非感潮河段則由上游往下



游依序進行採樣工作（河川、湖泊及水庫水質採樣通則（NIEA W104.51C））。每項實驗至少進行三次重複，以確保結果的重現性。數據的統計分析採用了標準的統計學方法，來驗證數據的顯著性。在數據收集與分析過程中，我們充分考慮了潛在的偏差風險。為了控制這些偏差，我們採用了盲測程序、隨機化樣本處理以及不同生化實驗。其中細胞生化實驗涉及高度複雜的操作，每個步驟都需要嚴格遵循，以確保數據的準確性和實驗的可重複性，確保實驗條件一致，並將系統誤差降至最低。也有平行實驗和上下游實驗嚴格反覆驗證，確保結果的可信度與科學性。

3. 感謝委員的提問與建議。關於文獻回顧的部分，我們在研究初期確實進行了廣泛的相關文獻檢索，並依據目前國內外的最新研究成果來設計和推進本計畫。我們的論點和結論是建立在已有的研究基礎之上，特別是在細胞毒性平台和污染物分析方面。然而，我們也認識到需要進一步強化文獻的引用和分析。在成果報告中，我們將會更明確地展示與支持我們論點和結論的關鍵文獻，並更深入地討論這些文獻如何為本研究提供理論和實證支持，確保研究能夠緊密連接到現有的知識體系。

4. 感謝委員的提問。原來本計畫書所評估可能的風險，如低污染區的底泥品質、底泥萃取物的適當處理時間與濃度、採樣次數、實驗再現性等都有一一克服。不過，本計畫建立在先前國科會支持的多年期研究基礎之上，希望進一步採取新的措施來補充和改進先前計畫的不足之處，具體包括以下幾點：

(1) 多地點採樣：為更準確知道河川上中下游之底泥污染物成分差異，我們在同一河川多個採樣點，希望藉此方式能使我們的樣品符合實際河川汙染狀態。

(2) 底泥深度考量：表層底泥用於分析短期汙染，深層底泥用於分析長期汙染，藉此結果更



	全面分析底泥污染源是什麼，以利於長期的河川環境治理。 (3) 成分分析：為了更全面進行分析，除了原先檢測底泥中的污染物含量(8大重金屬和12種有機物)外，我們進一步細分表層和深層底泥，並採集不同型態的樣本，例如間隙水和萃取物。這樣可以更深入了解底泥與水質污染物的組成成分。 由於樣點數量、數據分析以及生化實驗的規模龐大，一年期的時間較為有限，導致研究經費和實驗執行面臨相當大的壓力。目前我們正全力以赴，謹慎克服各項挑戰，並確保實驗過程中每個研究結論的準確性。 5. 感謝委員的提問。我們建立的人類細胞株的篩選平台不僅能輔助現有的河川污染指標，更全面反映複合型污染現況，還能直接評估污染物對人體健康的潛在影響。尤其在重金屬污染方面，現行的河川污染指標(RPI)無法充分反映，研究建議將重金屬污染因子(CFi)和污染負荷指數(PLI)納入評估體系，以更全面了解河川污染程度。結合政府長期的水質監測數據，該技術有助於構建更精確的預測模型，提升水質監控與預警系統的效能，並提高生物累積風險評估的準確性。 關於研究成果轉化為實際的政策或管理措施，本研究成果可為監管機構提供科學依據，協助制定和修訂環境標準與政策，尤其是針對水質和底泥中的污染物長期暴露及其累積效應進行研究。根據環境部的統計，全台中度至重度污染的河段高達763.9公里，未來的整治應考慮底泥生物毒性的數據，這將有助於降低污染物暴露的風險，更有效地改善國人健康。
委員三 1. 本計畫進行頭前溪流域七處進行底泥採樣並進行八大重金屬污染物檢驗分析，期中報告做詳盡結果分析，期中工作成果值得肯定。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員的建議。本計畫所使用之樣品採集於2023年10月，為枯水期底泥樣品，而我們已於2024年7月再次到相同的採樣地點進行豐水期底泥樣品採樣，並且進行後續的



2. 本計畫採樣時間與外在環境均做特定選擇，若時間與外在環境改變，檢測結果是否會有重大差異，建議於成果報告補充說明。 3. 本案採污染因子判斷，並以<1、$1\sim3$、>3做為污染程度判斷，是否具備統計顯著判定標準，建議做補充說明。	重金屬與有機化合物成分分析。由現階段的分析結果可以看出，隨著河川水量的增加，沉積於深層底泥當中的汙染物，會因受到擾動而被帶到表層，導致表層底泥的汙染程度上升。我們會將更詳細的檢測數據及分析會於成果報告補充說明。 3. 感謝委員用心指教。參考過去相關研究文獻(Hakanson, 1980; Astatkie <i>et al.</i>, 2021), CF_i (污染因子) 經常是底泥當中各重金屬汙染水平的呈現方式。$CF_i < 1$ 為低度汙染因子；$1 < CF_i < 3$ 為中度汙染因子；$3 < CF_i < 6$ 為大量汙染因子；$CF_i > 6$ 為高度汙染因子，參考先前學者的汙染程度判定方式，具有一定參考價值。
委員四 1. 7處採樣點之選擇依據為何? 2. 8大金屬與12種有機汙染物生物毒性監測值，有複合型累積性之相關性回歸與驗證，國內外相關文獻之研究成果，宜多予以充實。 3. $Cfi(i=1\sim u)$與細胞受損程度之關聯，如何評估?另，PLI 或 $\sum Cfi$ 可否取代單一成分(Cfi i.e.重金屬)作為關聯因子? 4. Cfi and(or) PLI 如何輔助 RPI，更精確的劃分河川汙染等級? 5. 成果績效自評，各項指標在期中報告階段，皆已達成。 6. 三、請依前述學術面、產業面...成果對本署政策推動之助益。敘述不明確，且無針對本計畫之特徵效益說明(eigen effective)。 7. 部分圖表清晰度待改善，如圖 5-5、5-15~16。 8. 期中報告後工作規劃，可更明確。 9. 未來可考量針對「複合型預警機制」提供建議，並研擬驗證計畫。 10. 可進行連續型監測及即時 RPI 之可行性評估。	1. 感謝委員的提問。此七處採樣點分布於整個頭前溪流域當中。最上游的採樣點位於油羅溪馬胎段處，匯集了來自尖石鄉家庭所產生的汙水，因此將此樣點定義為家庭汙水區；接下來於鹿寮坑溪中的上、中、下游以及竹東中興河道設置採樣點，此兩處分別匯集了五華工業區以及竹東沿河工業區的工業廢水，因此定義為工業廢水區，其中竹東中興河道還匯集上游家庭汙水，可列為複合型汙染區；頭前溪下游的部分選擇了隆恩堰以及湍雅取水口，新竹地區九成以上的用水取自於此，因此將此兩處定義為取水口區。選擇汙廢水排放處以及取水口作為採樣點，並將其分組做進一步的討論，希望能審慎探討頭前溪的汙染問題以及國人飲用水安全。 2. 感謝委員的建議。關於8大金屬與12種有機汙染物生物毒性的複合型累積性回歸與驗證，我們將參考國內外文獻對此議題的回歸分析模型與實驗驗證，增強對複合效應的研究深度與應用。 3. 感謝委員的提問。根據目前結果 PLI 或 $\sum Cfi$ 與細胞受損程度高度相關，不過各樣點個別重金屬的 Cfi 並不能完全顯示細胞受損程度，儘管它們之間存在顯著相關性。雖然 PLI



	與 Cfi 代表不同意義，我們認為 PLI 或$\sum Cfi$ 確實可以有機會取代單一成分(Cfi i.e.重金屬)作為關聯因子。譬如我國衡量水庫優養化狀態採用的卡爾森指數（Carlson Trophic State. Index, CTSI），還有常用的水質指標 WQI (Water Quality Index)就分別以總磷或總氮為水質監測數據，然後與 RPI 一樣最後彙整成單一指標的方法進行水質判定。 4. 感謝委員的提問。RPI 主要針對生化需氧量、溶氧量、氨氮及懸浮固體關鍵水質指標進行綜合評分。因此，PLI 也可以作為重金屬污染物的水質指標參數之一，輔助 RPI 提供更全面評估河川污染程度。 5. 感謝委員肯定。 6. 感謝委員對本研究成果的寶貴建議，我們將進一步強化內容敘述的明確性。 (1) 學術面：本計畫建立的細胞毒性平台，填補了國內在新興污染評析上的不足，為污染傳佈和健康風險評估提供了一個高效且準確的工具，有助於推動相關研究的進展。 (2) 產業面：該平台可應用於污染物檢測和評估，為環境治理技術的研發提供支持，進一步促進綠色產業的發展。 (3) 政策推動助益：本計畫成果將為環保署提供科學依據，支持環境標準的制定和修訂，特別是在污染風險評估與預警機制的建構上，有助於提升環境監控和管理精準度。 7. 感謝委員的細心提醒，已於成果報告中改善圖表清晰度。 8. 感謝委員對期中報告後工作規劃的指導建議。我們的工作規劃可以進一步明確化如下： (1) 樣本數據收集與分析：根據前期實驗結果，進行更深入的數據分析，並進一步與不同季節樣本比較以提高結果的代表性。 (2) 優化實驗設計：依據期中報告中發現的
--	---



	問題，優化細胞毒性檢測平台，提升測試的靈敏度與準確性。 (3) 建立預測模型資料庫：利用現有數據結合政府長期監測資料，與其他團隊合作以協助構建更精確的污染預警模型。 (4) 文獻回顧補充與成果撰寫：進一步擴充文獻回顧的內容，並開始著手撰寫研究成果。 9. 感謝委員對未來研究方向的寶貴建議。針對「複合型預警機制」的建議，我們認為這是提升環境監測效能的重要一步。我們將考慮將多種污染指標整合到單一的預警機制中，並結合現時數據、污染物累積效應與環境因素的變化來提升預警系統的精準度。我們會進一步研擬詳細的驗證計畫，並將其納入後續工作規劃，以確保能提供科學依據來支持政策應用。再次感謝委員的建議，這對未來研究有著重要的指導意義。 10. 感謝委員對連續型監測與即時 RPI 可行性評估的建議。我們認同這對提升水質監測的準確性和即時性具有重要意義。我們將在後續的研究中深入探索或整合這些技術與方法，並進行可行性評估，確保「複合型預警機制」能在實際應用中發揮效能。感謝委員的寶貴建議，這將是我們未來研究的重要方向之一。
委員五 1. 使用細胞技術進行生物毒性評估為環境檢測方法中較新穎之技術應用，需更多相關研究佐證其可信賴度，亦期待未來相關技術開發可廣泛應用於環境保護工作。 2. 計畫中使用 CFi（污染因子）和 PLI（污染負荷指數）輔助現有的河川污染指標（RPI）反映水質污染現況，惟主要針對重金屬污染之評估，是否有其他評估方式可納入化學分析（重金屬或有機污染物濃度）與生物毒性（細胞毒性）數據結果，共同整合用於評估污染等級或人體危害程	1. 感謝委員的建議與期許。在毒性測試中，目前 HepG2 人類肝癌細胞株被廣泛用於水中污染物的毒性評估。相關研究顯示，該細胞系可以有效檢測多種污染物的細胞毒性，包括重金屬、環境酚類和有機污染物，並且研究結果與動物實驗的結果高度一致。這種方法的優點在於，它能直接測試環境樣本對活細胞的影響，補充了傳統化學分析對污染物濃度檢測的不足，也能更全面地反應複合污染物對生物的影響，也能減少對動物的依賴，符合環保和倫理要求。我們也期待未來相關技術開發可廣泛應用於環境保護



度？若使用人類細胞株執行生物累積效應評估，將如何進行？

3. 圖 4-3 萃取流程之萃取液若加酸，則不適用於細胞實驗，請補充說明或修正流程圖與萃取方法說明一致；圖 5-16 之結果說明表示細胞存活率都是表層樣品>深層樣品，惟數據圖中隆恩堰樣品暴露 24 小時及 48 小時、浦雅取水口樣品暴露 48 小時，表層及深層底泥萃取物的細胞存活率是否達顯著差異？有關底泥 ROS assay 結果顯示，活性氧類高低順序依採樣地點有所不同，建議可進一步探討與萃取液中金屬成分的關聯性。
4. 意見回復對照表應為"申請計畫書"階段，非期中報告請修正。

工作。

2. 感謝委員提問與具體建議。一般而言，水體污染程度的指標是水體中生物體的可用性。過去有許多文獻指出重金屬本質是不可生物降解，因此會擾亂水體平衡。甚至重金屬的生物累積會造成水生生物重要器官的組織病理學改變，因此水環境中的重金屬污染是世界都關注的問題。不過，不管是國內採用的 RPI(生化需氧量、溶氧量、氨氮及懸浮固體) 還是國際常用 WQI (水透明度、溶氧、需氧量、營養素(總氮或總磷)、細菌)的水質參數類別都沒有採計重金屬含量。甚至，國內水質後來加測的卡爾森指數 (Carlson's TSI，總磷、葉綠素 a、透明度)也僅是衡量水體優養化現象。這種偏重有機物的不完善監測系統，容易造成重金屬排放量的無效控管。發生這種情況的原因是人們對重金屬元素對環境的危害，特別是對人體健康的危害認知不足。

過去許多文獻和我們的實驗結果都證明重金屬含量與生物毒性相關性，顯示人類細胞平台可有效協助環境污染鑑識，並更直接反映環境污染物對人體的危害程度。現階段制定標準方法與建立數據庫是非常重要的過程。

1. 制定標準方法：標準化生物毒性評估的敏感性細胞株和毒性分析方法與流程，以便有效比較和評估不同水體樣本的毒性程度。
2. 建立數據庫：創建一個完善的數據庫，用於追蹤和分析來自不同水體樣本的測試結果，以支持建立更精確的環境污染模型。
- 除了進行標準化敏感性細胞株的生物毒性分析外，我們將研擬驗證細胞株進行長年底泥污染萃取物處理，並模擬體外誘導建立抗藥性細胞株的方法系統性馴化細胞。透過這一方法可以人類細胞株執行生物累積效應評估。

3. 感謝委員的細心與建議。圖 4-3 萃取流程圖



	為誤植，已在成果報告書中修正流程圖與萃取方法。 圖 5-16 之細胞存活率實驗結果，隆恩堰樣品暴露 24 小時及 48 小時、滿雅取水口樣品暴露 48 小時，仍然可以看出細胞存活率為表層樣品>深層樣品的趨勢，但並沒有顯著差異。我們將修正其結果說明，以更精確表達實驗結果。 由 ROS assay 結果顯示，活性氧類高低順序依採樣地點有所不同，我們將於成果報告中進一步探討此實驗結果與萃取液中金屬成分之關聯性。 4. 感謝委員的細心提醒。我們已修正。
--	---



環境部環境管理署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐構想書 ☐申請計畫書 ☐期中報告
☐修正計畫書 ☒成果報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	112 年度	計畫類型	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他		主持人：周秀專 NO：A1
計畫名稱	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用		
審查意見		執行單位回覆	
委員一		1. 謝謝委員的肯定。	
1. 本研究應用化學分析、細胞株、及 ROS 探針等多種分析方法，分析新竹地表水及底泥中，重金屬濃度及細胞毒性，研究中使用多種方法進行分析，實驗內容多。		2. 謝謝委員具體的建議。本計畫長期目標期望能綜合評估重金屬汙染程度以及生物毒性高低，以建立一個全面性的河川汙染預警平台。首先以重金屬的檢測及分析結果可以得知，在工業廢水區以及家庭汙水區的汙染程度較高，其中以鎳、鋅、鉻及砷的汙染程度較為嚴重。而在後續的生物實驗結果顯示，此兩區域的底泥萃取物會導致人體腎臟細胞存活率明顯下降、細胞內產生大量活性氧物質、粒線體損傷以及嚴重的細胞凋亡現象。綜合以上，可以證實受到汙染的河川底泥具有生物毒性，並且是會對於人體健康存在潛在風險的。此平台透過不同於現今廣泛使用的水質監測方式，以生物毒性測試，希望能提供不同面向的資訊，讓水質狀況能更完整呈現，以保障用水安全。	
2. 計畫獲得數據多，但是多數數據止於分析其個別金屬或是生物毒性高低，尚看不出平台之意義，建議應該整體性分析其相似及差異性。		本計畫的數據結構主要以底泥汙染物分析與生物毒性實驗兩大部分組成。汙染物分析以標準方法汙染因子(CF value)以及汙染負荷指數(PLI value)的計算整理，生物毒性實驗則是以量化圖的方式呈現。蒐集完整資料後，後續再以斯皮亞曼等級相關係數(Spearman's rank correlation coefficient)進行相關性分析，並且由分析結果繪製熱點圖(Heatmap)，用以結合生物毒性與環境監測數據，達到將其應用於環境汙染監測和預警系統的目標。	
3. P.42 底泥汙染深層與表層濃度，重金屬及有機物不同，為何有此結果？為何汙染程度是深層較表層高？		然而，建立完善的環境汙染監測預警系統不僅不可能以一年計劃就完成，而且需要多領域的合作。目前，我們團隊已與其他專業領域的團隊建立合作關係，預計利用多項汙染監測與分析技術，如即時水汙染檢測、河流廢棄	
4. P.32 中，乾濕季差異造成表層與底層不同，其原因為何？又與 P.42 間，如何相互比較？			
5. 有關豐水期底泥汙染較枯水期嚴重原因，建議亦能說明。			



物影像辨識系統、大數據分析，來加強污染源的即時監測與分析。我們希望藉由長期的水質數據，探究水質與底泥或水中毒物之間的潛在相關性。透過對長期數據進行統計分析與趨勢預測，例如相關性分析、回歸分析和主成分分析等，以初步研判水質與底泥間的相關性。

此外，我們計劃採用回歸模型，包括時間序列自回歸模型、支持向量機回歸模型以及深度學習模型等，以發掘數據中的深層資訊和模式，並建立能夠預測水質與底泥或水中毒物含量關聯的模型。這些技術將有助於辨識出水質數據中與底泥或水中毒物濃度相關的關鍵特徵，並支持未來的預測模型構建，以展示本研究專案的實際應用價值。

3. 謝謝委員的細心提問。重金屬與有機物於底泥當中分布不同的原因如以下：
- (1) 被排放入河川當中的**重金屬**通常以吸附於懸浮顆粒物的方式，再經由**沉降作用**而累積於底泥當中。當重金屬與底泥中的礦物質結合而**形成穩定的化合物**後，便不易移動，而長期累積於底泥當中。因此在一個被長期汙染的環境，重金屬較傾向累積於深層的土質。這與目前其他發表的研究文獻結果相同。
 - (2) **有機物**(如多環芳香烴化合物)因為具有較高的**疏水性質**，所以相較於在水相當中，有機物更傾向待在底泥相當中，但是有機物並不容易藉由疏水作用而進入到深層底泥中。因此我們發現有機物多存在於表層土質。
 - (3) 深層底泥的污染程度顯著較高，這是根據目前對**底泥樣品中重金屬和有機物濃度的檢測結果**，以及**細胞實驗的分析推論而得的**。所有樣品中，檢測到的重金屬總濃度遠高於有機物（約相差 1000 倍），而生物毒性實驗結果進一步顯示，深層底泥具有明顯的腎毒性。由此可見，底泥污染程度與重金屬的分布高度相關，推論累積較多重金屬的深層底泥污染程度大於表層底泥。



	4. 謝謝委員的提問。在乾季時，我們觀察到底泥中的重金屬分布呈現深層 > 表層，而在濕季時，分布則反轉為表層 > 深層。這一現象與河川水量的變化密切相關。濕季期間，由於降雨使河川水位顯著上升，水流的攪動強度也隨之增加，導致沉積於底部的重金屬顆粒被重新攪起並轉移至表層底泥。這種水體動力的影響不僅改變了重金屬在空間中的重新分布，還可能影響其生物可利用性與生態風險，顯示水文條件對河川底泥重金屬行為的重要調控作用。這與目前其他發表的研究文獻結果相同。 5. 謝謝委員的建議。關於豐水期的污染程度較枯水期高，我們認為有以下原因： (1) 豐水期的降雨導致河川水位上升，大量的擾動將長期穩定累積於深處的污染物質重新釋出，進而導致檢測到的污染程度較高。 (2) 此外，豐水期間水質惡化也可能與新增或增加的工業污染有關。在此期間，排放的污染物尚未穩定轉化或沉降到底層，而是滯留於水體或表層底泥中，導致豐水期的整體污染程度相對較高。
委員二 1. 底泥毒性與水質污染的關係： 應該更加詳細地論述底泥毒性如何反映水質污染情況，以及為何可以將底泥毒性分析結果作為水質預警指標。這涉及到沈降作用下污染物從水體到沈積物中的遷移過程，也應探討底泥作為環境生態健康指標的重要性。 2. 複合型累積效應的研究： 對於重金屬與有機污染物複合型累積效應的回歸分析與驗證工作，需參考國內外文獻，並結合實驗數據來增強研究深度。此外，應當探討不同污染物之間可能存在的交互作用及其對生態系統的影響。 3. 數據分析與模型構建： 確保所有樣本數據收集遵循統一的標準流程，並進行了充分的數據清查與處理。建立	1. 謝謝委員具體的建議。底泥毒性可以直接或間接地反映水質污染情況，這是因為水體中的污染物在經過物理、化學和生物過程後，往往會沉降並富集於底泥中。這些污染物可能包括重金屬、有機污染物（如多環芳香烴和農藥）、以及其他持久性有毒物質。在這一過程中，底泥成為污染物的“匯”，記錄了水體的污染歷史。以下幾點具體說明了底泥毒性如何反映水質污染： (1) 污染物的遷移與富集： 水體中的污染物通過懸浮、吸附和沉降作用進入底泥。重金屬和疏水性有機物由於與細顆粒物質的高親和性，特別容易在底泥中累積。這些沉積物成分反映了過去一段時間內水質的污染狀況，例如工業排放或農業徑流的影響。 (2) 污染物釋放與再懸浮：



預測模型時，不僅考慮當前研究所得數據，還需整合政府長期監測資料，以提高模型準確性。

PLI(Pollution Load Index) 和 CFI(Contamination Factor)的使用是合理的，但需要注意其局限性，特別是在解釋單一成分與整體污染狀況之間的關係時。

4. 風險評估與管理策略：
項目已識別出若干潛在風險因素，並提出了相應的管理措施。未來還需要進一步細化風險管理計畫，特別是針對新型污染物或未預期到的情況制定應對方案。
5. 宜明確指出本研究結果如何轉化為實際應用，比如支持環境部制定更科學合理的環境標準和政策。同時，強調平台建設對於提升公眾飲用水安全的重要意義。

當水文條件改變（如濕季時水流加速或水體攪動增加）時，底泥中的污染物可能再次進入水體，對水質造成“二次污染”。這種污染途徑表明，底泥毒性分析可以反映出潛在的水質惡化風險，特別是在環境條件變化時。

(3) 生物毒性測試的直接指標：

底泥毒性測試（如細胞毒性或生物指標測試）可以直接量化底泥中污染物的生物影響，揭示其對環境生物及生態系統的潛在威脅。例如，腎毒性、高氧化壓力等生物效應指標可反映污染物對生物的累積性危害，並進一步推測水質污染來源及其影響範圍。

此外，將底泥毒性分析結果作為水質預警指標具有多方面的科學基礎和應用價值：

(1) 長期累積的污染記錄：

底泥能長時間保留來自水體的污染物，包含重金屬、有機污染物及其他微量元素。其累積的污染記錄可以補充短期水質監測的不足，幫助識別長期污染趨勢，從而實現更準確的污染預警。

(2) 與污染來源的直接關聯：

底泥毒性分析能揭示污染物的來源和類型。例如，底泥中的重金屬濃度可能指向工業排放，而特定有機污染物則可能與農業活動相關。通過分析底泥毒性，不僅可以追蹤污染物來源，還能判定其對水質的潛在影響。

(3) 指標穩定性與靈敏性：

底泥相較於水體而言，物理和化學性質更為穩定，因此能更靈敏地反映突發性污染事件的影響。當水質因外界干擾迅速波動時，底泥毒性分析結果仍可提供穩定的指標以支持監測和預測。

(4) 預警水質變化的潛力：

底泥毒性與其內部污染物的可生物利用性息息相關。當底泥毒性升高，表明其中的污染物可能會在特定條件下釋放到水體，進一步加劇水質污染。因此，底泥毒性可作為預測水質變化及其可能引發的生態風險的重要信號。

(5) 作為環境生態健康的指標：

底泥毒性直接影響底棲生物的生存狀況，



進而影響整個生態系統的健康。底棲生物在食物鏈中的關鍵角色，使得底泥毒性對生態系統的影響可能具有累積效應。因此，將底泥毒性作為預警指標，能有效協助制定保護環境健康的策略。

2. 感謝委員的建議。我們將深入參考國內外相關文獻，從中汲取研究方法與經驗，並結合我們的實驗數據，**進一步加強對重金屬與有機污染物複合型累積效應的回歸分析與驗證工作**。我們也認識到，不同污染物之間可能存在複雜的交互作用，這些交互作用對生態系統的潛在影響值得深入探討。未來，我們計劃設計更精細的實驗方案，模擬污染物在實際環境中的交互行為，並採用相關性統計分析和生態毒性模型，全面評估這些交互作用對生態系統健康的影響，進一步提升研究的應用價值。
3. 謝謝委員的建議。我們將確保樣本數據的收集嚴格遵循統一標準流程，同時進一步提升數據清查與整理的合理性，以確保其可靠性與一致性。**在預測模型的建立過程中，我們規劃將結合政府長期監測數據，將這些規模宏大且系統化的資料與我們的研究結果進行整合，從而提高模型的準確性和穩定性。**
針對 PLI (污染負荷指數) 和 CFI (污染因子) 的使用，我們充分認同其在污染程度評估中的價值，但同時也將特別注意其在解釋單一成分與整體污染狀況關係時的局限性。為彌補這些不足，我們計劃採用多元統計分析及生物毒性測試等輔助方法，進一步完善對污染狀況的綜合判斷，確保結果更具全面性與科學性。
此外，我們將規劃生物累積性相關實驗，利用底泥萃取物長期培養細胞株，並通過細胞存活率測試觀察其生長情況，以更深入地探討污染物的複合累積效應，為污染治理提供更具實證性的參考依據。
4. 謝謝委員的肯定與建議。我們將針對項目中識別的潛在風險因素，**在未來進一步細化風險管理計畫**，也會特別針對新型污染物和潛在的未預期情況進行全面評估，並設計更具針對性的應對方案。目前，我們已利用腎臟細



胞毒性試驗初步建立了生物毒性平台。未來將進一步納入不同季節的數據及其他細胞株的研究成果，通過綜合比較與分析，逐步完善該平台。為提升風險應對能力，我們計劃與其他大數據分析的領域專家合作，引入情境分析和動態監測方法，以加強對風險因素的感知和預測，同時增強應急管理的靈活性和有效性。最終目標是根據不同的實際污染情況，精確評估污染程度，並提供有效的應對策略。

5. 謝謝委員的具體建議。本研究使用的 CFi 可分析單一污染物在不同採樣點的濃度分布，有助於辨識主要污染源，協助制定更精確的污染排放政策；而 PLI 則能綜合評估特定地點的整體污染情況，彌補政府長期監測中缺乏的重金屬含量標準，進一步提升水質監測的效率與嚴謹性。為增強污染評估的科學性，我們將 CFi 與 PLI 結合生物毒性測試結果，建立了全新的生物毒性評估平台。該平台基於實驗數據，可為環境政策提供可靠依據，尤其在應對重金屬與有機污染物的複合毒性時，**能優化污染物排放限值與監測指標體系**。此外，平台對於公共飲用水安全具有重要意義，透過高靈敏度的毒性評估，能及時預警污染威脅，降低水污染對健康的風險，並提升公眾的環保意識。未來，我們將持續完善平台數據庫，強化與政策制定及公共健康保護的聯繫，協助環境部實現可持續的環境治理目標。

委員三

- 1. 本計畫在結論與建議中係以不同分組的實驗結果進行說明，建議在最後做綜合整理分析與建議。
- 2. 報告中第 51 頁提出「推動五華工業區的污水處理廠興建」，但是污水處理廠興建為相對比較長期計畫，在短期或即時性方面，對於環境部管理署或者新竹環保局的相關行政作為，建議提出補充說明與有關措施。

1. 謝謝委員的建議。本計畫的實驗結果綜合整理分析與建議如以下，會在成果報告定稿加以修訂。

枯水期實驗結果：

- (1) 由污染物檢測結果可以得知，各採樣點底泥中所含有的重金屬含量遠大於有機物(相差約 1000 倍)。因此**頭前溪流域中的重金屬污染較為嚴重，且底泥毒性與重金屬污染程度有較高的關聯性**。
- (2) 在頭前溪流域的底泥重金屬含量檢測結果中可以發現，普遍存在**鎳含量過高的**



現象，此檢測結果與經濟部水利署在 112 年 1 月的水質監測調查報告相同。此現象是需要被特別關注的。

- (3) 由鹿寮坑溪上、中、下游的樣品成分分析及實驗結果可以得知，**鹿寮坑溪的底泥確實有受到汙染，且具有細胞毒性**，其中以下游累積的汙染最為嚴重，導致細胞存活率下降也最為明顯。而這些累積於鹿寮坑溪下游的汙染物最終將被排放入頭前溪當中，隨著水流到達下游的隆恩堰以及滴雅取水口，使得這兩處的底泥也受到汙染，且存在細胞毒性。若要徹底根除頭前溪的汙染問題，從上游的汙染源頭進行處理，是最直接且有效的方式。
- (4) 從結果發現到，**深層底泥的重金屬汙染程度與生物毒性皆大於表層**，尤其是在工業污染區。此現象不僅說明了**重金屬汙染物會累積於深處**，同時也表示此流域中持續存在著汙染源，導致重金屬汙染物的長期累積。

枯水期與豐水期比較：

- (1) 枯水期時重金屬多累積於深層底泥當中，而在豐水期時重金屬多出現於表層底泥中。此現象顯示，**降雨及河川水量會造成水體與底泥間的擾動，並將沉積於較深處的汙染物重新帶到底泥表面**，同時也導致**豐水期的整體汙染程度較高**。
- (2) 由枯水期與豐水期的間隙水重金屬檢測(表 5-7)，可以看出豐水期的汙染物含量明顯高於枯水期。由此可知，**豐水期的河川擾動，不僅會使得累積於底泥深層的重金屬回到表層，更會使其重新釋出到河川水體當中，成為頭前溪水質的一大汙染源**。

2. 由研究成果與汙染物分析，可以明確的看出周遭工業排放源確實對此河川造成嚴重汙染。除了推動五華工業區的汙水處理廠興建之外，**提倡更嚴謹的廢水排放規定，或是針對特定汙染物進行二次檢測，如鎳、鋅及鉻金屬為檢測到汙染程度較高的重金屬**，這些都是能更及時應對汙染源的相關措施。此外，在短期或即時性環境管理上，以下建議措施，將促使環境部以迅速



改善水質及減少污染風險，並為後續污水處理廠的建設爭取更多時間與資源。

(1) 加強污染源的即時監測與控制

建議在重點污染區域和敏感水域設置”移動式水質監測站”，實施即時監測，涵蓋參數如現有 RPI 及重金屬濃度等，並與中央監控系統連線，實現即時數據傳輸與預警，降低污染擴散風險。

(2) 推動臨時污水應急處理設施

在現有污水排放點附近增設”臨時應急污水處理設施”，如化學沉澱及過濾系統，以降低污染物的即時排放濃度，尤其是在雨季或汛期前後，降低因地表徑流造成的污染負荷。這類應急設施建置成本相對低，且可在短時間內見效，有效補充污水處理廠尚未建成前的空缺。

(3) 加強社區與企業的污染防治宣導與執法推動”社區與企業的污染防治教育與輔導”，並加強對非法排放行為的執法與處罰，建立”舉報獎勵機制”，鼓勵公眾參與污染源舉報，並促使企業加強自我監控，減少污染源的隱蔽排放。

(4) 鼓勵低影響開發 (LID) 措施的推廣

推動企業和社區採用雨水花園、滯留池、透水鋪面等低影響開發措施，以減少地表徑流對水體的污染，還能提升城市雨水管理的韌性，減輕污水處理廠的負荷。

(5) 加強水質數據的公開與透明化

定期向民眾發布”水質監測數據”，並建立開放式數據平台，供民眾及專家即時查詢與分析，提升監測數據的透明度與公信力。目前環境部已建立該平台，也會進一步解釋水質數據以助於民眾了解和相信政府環境治理的信心。

(6) 短期內優先修復受污染的河段或水體

對於已知受污染嚴重的河段，環境部可推動”短期生態修復工程”，如投放生物過濾材料、設置人工濕地，或利用微生物修復技術加速污染降解，可在短期內顯著改善水質，減輕污染對生態系統的壓力。



委員四

- (3) 報告中仍出現「環保署」用詞，請再檢視修正。
- (4) 國外期刊 2 篇預計之討論內容為何？請簡要說明。
- (5) 底泥鎳含量超過國內標準之「下限值」是否正確？請再確認。
- (6) P. 47，六、結論與建議，仍缺建議事項。可考慮將「複合型預警機制」之建構與驗證，納入未來發展建議。
- (7) 本計畫已依預定進度，完成各項工作項目，成果績效皆符合或超過預期指標，值得肯定。
- (8) 開發「複合型預警技術」並驗證之。

1. 謝謝委員的細心提醒，我們會在成果報告定稿中仔細檢視修正。
2. 謝謝委員的提問。關於 2 篇國外期刊的內容，目前預計第一篇將撰寫與**鹿寮坑溪**相關的研究與成果分析。內容主要探討工業區的廢水排放與汙染問題，並且驗證了鹿寮坑溪全長雖僅短短 2 公里，但汙染物依舊能夠隨著水流累積於下游的特性。更值得大家關注的是，鹿寮坑溪的下游緊連著的頭前溪，而這些具有毒性的汙染物若未經處理，最終將流入頭前溪並且成為下游取水口的潛在汙染風險。第二篇期刊則是要擴大探討整個**頭前溪流域的汙染問題以及對於人體腎臟細胞的影響**。以頭前溪流域上游的家庭汙水及鹿寮坑溪下游的工業廢水作為兩個汙染源代表，與頭前溪流域下游的隆恩堰及湳雅取水口作為兩個乾淨水源代表，進行更深入的研究，並且找出汙染物與生物毒性的相關連性。
3. 謝謝委員的提醒。國內針對底泥鎳金屬含量的**規範下限值為 24.0 mg/kg**，本研究於頭前溪流域 7 處採集的 10 個底泥樣品之鎳金屬含量檢測值，除了竹東表層為 15.9 mg/kg 低於下限值以外，其餘 **9 個樣品之鎳含量介於 24 mg/kg 至 75.9 mg/kg 之間**，皆高於規範之下限值。頭前溪底泥鎳金屬含量超過規範下限值的結果，過去也數次出現在環境部的底泥重金屬檢測報告。
4. 謝謝委員的提醒。補充幾項建議如以下，並將增列到成果報告：
 - (1) 由目前的研究結果可以驗證，底泥具有長期觀察複合型汙染物的優勢，適合作為一個環境監測的材料。因此除了水質的定期檢測之外，建議政府機關可以**增加河川底泥相關監測項目的頻率**，以更全面性的保障河川水質安全。
 - (2) 由實驗結果可以明確的看出，鹿寮坑溪周圍的工業廢水排放確實造成了河川水質的汙染。因此建議可以**制定更嚴謹的廢水排放規定**，以即時解決汙染問題的發生。
 - (3) 此外，在短期或即時性環境管理上，建議加強汙染源的即時監測與控制，推動臨時污水應急處理設施與鼓勵低影響開發措



	施的推廣，將促使環境部以迅速改善水質及減少污染風險，並為後續污水處理廠的建設爭取更多時間與資源。 5. 謝謝委員的肯定。 6. 謝謝委員的期許。目前已完整分析頭前溪流域底泥中的重金屬污染情況，並且將要完成腎毒性的相關研究以及腎損傷的機制探討。待實驗數據蒐集完整後，會利用 Spearman Correlation 進行相關性分析，尋找出重金屬與生物毒性之關聯性。後續則會再深入進行生殖毒性的研究，驗證在不同的細胞模型下，這些受到污染的底泥，是否會產生相對應的毒性。然而，開發完善的複合型預警平台不僅不可能以一年計劃就完成，而且需要多領域的合作。目前，我們團隊已與其他專業領域的團隊建立合作關係，預計利用多項污染監測與分析技術，如即時水污染檢測、河流廢棄物影像辨識系統、大數據分析，來加強污染源的即時監測與分析。我們希望藉由長期的水質數據，探究水質與底泥或水中毒物之間的潛在相關性，以建立複合型預警平台的數據庫。
委員五 1. 計畫敘述分別於 2023 年 10 月 20 日採集豐水期底泥樣品，以及 2024 年 7 月 10 日採集枯水期底泥樣品。其中枯水期應為冬春季節 11 月至隔年 4 月間，雖近年因氣候變遷使降雨情況略有改變，仍建議可於上半年度亦進行採樣分析，豐富樣品來源，利於更有效之研究分析。 2. 研究方法參考文獻使用有機溶劑萃取液進行細胞實驗，而重金屬檢測使用酸消化法火焰式原子吸收光譜法，如此對照重金屬含量與細胞毒性反應結果，或有些許疑慮之處，請補充說明此部分數據分析之合理性或未來可修正方向。 3. 採樣器具及方法建議參採國環院底泥採樣方法(NIEA S104.32B)；另計畫中大多參考國際期刊文獻的實驗方法，是否有其他公認國際指引（例如：OECD Guidelines）可為本計畫實驗方法之參考依據？ 4. 本年度底泥生物毒性平台架構建置完成，未來可擴大採集樣品及進行較多化學檢測與	1. 謝謝委員具體的建議。根據經濟部水利署的水文概況資料顯示 (https://www.wranb.gov.tw/cp.aspx?n=38468)，隆恩堰集水區所監測到的 7 月平均雨量為 263 mm，明顯大於 10 月的平均雨量 86 mm。更正我們分別於 2023 年 10 月 20 日採集枯水期底泥樣品，以及 2024 年 7 月 10 日採集豐水期底泥樣品。在 2 次採樣現場，我們可以明顯觀察到河水豐沛度的差異，因此本計畫目前所使用的底泥樣品確實可以代表枯水及豐水兩個不同季節。未來，若有足夠的計畫經費以及研究人力，我們將在上半年進行採樣分析。 2. 謝謝委員的指正與建議。我們理解酸消化法火焰式原子吸收光譜法與有機溶劑萃取法在樣品處理及分析中的差異，對於重金屬含量與細胞毒性反應的對照可能引發疑慮。因此，針對此部分的數據分析，我們提出以下說明與未來的修正方向： (1) 數據分析的合理性 在本研究中，酸消化法則針對重金屬的總含量進行定量分析，而有機溶劑萃取主要用於



細胞毒性分析，供建立環境污染物質與人體危害影響之毒理資料。

模擬底泥中疏水性有機污染物的釋出及其對細胞的毒性影響。我們理解這兩種方法在提取過程中的化學環境有所不同，但目前的研究設計主要著重於環境污染物在各樣點的環境流佈與生物毒性，**每一組實驗都有嚴謹的對照組與統計分析。因此，兩者的初步對照結果仍具有一定的參考價值。**為了消除兩者之間相互比較的疑慮，我們規劃進行有機溶劑萃取液的重金屬成份分析，可用以進一步確認用於細胞實驗的重金屬成分。

(2) 未來可修正方向

為提高數據分析的準確性與科學性，我們計劃在未來研究中進行以下修正：

➤ **同步進行重金屬的生物可利用性測試：**
除了總含量分析外，我們將引入化學形態分析法（如 BCR 三步序列萃取法）來評估重金屬在底泥中的可溶性、交換性與有機結合形態，更準確地反映重金屬的生物可利用性，並與細胞毒性結果進行更直接的對照。

➤ **採用更接近生理條件的萃取方法：**
在細胞毒性實驗中，我們將逐步引入水相萃取法或模擬生物體內液體萃取法（如仿體液萃取），以提高萃取物對生物環境的模擬程度，從而更準確地反映污染物對細胞的潛在毒性。

➤ **建立多重污染物交互效應模型：**
為了更全面評估有機污染物與重金屬之間的交互作用，我們將設計多因子實驗，並結合相關性統計分析與毒性指標綜合評估，探索不同污染物協同或拮抗效應對細胞毒性的影響。

3. 謝謝委員具體的建議。本計畫所使用的採樣器具與方法皆有參照國環院底泥採樣方法 (NIEA S104.32B) 進行。而本計畫的實驗方法參考了多種國際期刊的內容，以確保其可行性以及具有可信度。後續本團隊將規畫進行底泥毒性的生物累積性相關實驗，將納入委員的建議，參考更多的國際公認的指引（如 OECD TG 218），作為實驗方法參考的依據。
4. 謝謝委員建設性的建議。為底泥生物毒性平台後續可以在推動環境治理政策奠定厚實基礎，未來計畫方向與目標：



(1) 豐枯水期樣品比較

擴大研究至豐水期樣品的毒性測試，與枯水期樣品進行季節性比較，評估污染物的變動趨勢與生物毒性差異。

(2) 擴大樣品來源與多樣性

擴展採樣範圍至不同流域、工業區、農業區及城市區域。建立多元污染樣本庫，以提升研究結果的代表性與適用性。

(3) 增加多重污染物的化學檢測

新增新興污染物（如藥物殘留、微塑膠）檢測技術。加入持久性有機污染物（如二噁英、PCBs）的監測，完善污染物分析指標。

(4) 深化細胞毒性分析

納入多種類型的細胞株進行毒性測試（如腎臟、肝臟、生殖細胞等）。探討基因表現、氧化壓力、細胞凋亡等毒性機制，建立更全面的毒理學數據。

(5) 建立毒理數據庫

構建污染物與人體健康危害的毒理數據庫，作為風險評估與政策制定的科學依據。提供環境健康研究的重要資源，支持未來的污染治理策略。



專案基本資料表

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質		專案類別(單選)	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型	
研究主題	☒ 調查 ☐ 整治 ☐ 其他				
申請機構系所	國立清華大學分析與環境科學研究所				
機構地址	300044 新竹市東區光復路二段 101 號				
專案主持人	周 秀 專	職等／職稱	教 授 且 兼 任 所 長		
協同主持人	詹 鴻 霖	職等／職稱	教 授 且 兼 任 學 務 長		
專 案 名 稱	中文	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境污染鑑識的應用			
	英文	Establish a platform for monitoring and early warning of clean water quality: Applying the biological toxicity of river sediment in environmental pollution identification			
	關鍵字	河川底泥、新興汙染物、人類細胞株、生物毒性、先進鑑識 River sediment, Emerging pollutants, Human cell lines, Biological toxicity, Advanced identification			
執行期程	自 民 國 112 年 12 月 15 日 起 至 民 國 113 年 11 月 29 日 止				
專案主持人	姓名：周秀專	E-mail： chouhc@mx.nthu.edu.tw	專線：035715731#35486 手機：0932174749		
協同主持人	姓名：詹鴻霖	E-mail： hlchan@life.nthu.edu.tw	專線：035715131#34700 手機：0932174719		
兼任人員	姓名：汪奕萱	E-mail： woowoo0320@gmail.com	專線：035715731#33477 手機：0903225938		
兼任人員	姓名：陳維憶	E-mail： cwi8977@gmail.com	專線：035715731#33477 手機：0912440117		
兼任人員	姓名：邱思瑜	E-mail： vicky96022@gmail.com	專線：035715731#33477 手機：0988293978		



兼任人員		113 學年度碩一新生待聘		
經費 分 析 總 表	專 案 預 估 經 費		第一年 金額	編列說明
	1.	人事費用	349,749	計畫主持人、協同主持人、兼任人員與臨時工資的研究人力、勞退保及二代健保費用
	2.	設備使用含維護費	75,000	有機無機污染物分析、貴儀使用費
	3.	耗材與主要費用	475,364	底泥採樣、底泥物化分析、人類細胞株平台建置、底泥生物毒性分析
	4.	其它研究相關費用	4,287	差旅、租賃、郵資、電腦使用、影印等費用
	5.	行政管理費	159,600	學校行管費
	6.	自籌款	600,000	委託檢測、期刊投稿、報告印刷、研討會報名費與國外差旅費
	申請補助金額(1~5 項)		1,064,000	總金額：1,064,000
	計畫總金額(1~6 項)		1,664,000	總金額：1,664,000

專案主持人（簽名或蓋章）：周秀亭

日期：113/12/3



校長 高育元



112 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：113 年 12 月 3 日

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質	專案類別	☐ 先導型 ☒ 研究型 ☐ 模場型
研究主題	☐ 整治 ☒ 調查 ☐ 其他		
執行機構	國立清華大學 分析與環境科學研究所	專案主持人	周秀專 教授
專案名稱	建置清淨水質監測與預警平台：河川底泥生物毒性在環境汙染鑑識的應用		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 成果		

二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於欄位中。

(一) 學術面

目標達成程度 項目		申請 預估 數	期中 達成 數	成果 達成 數	結案後 半年 達成率	備註 (說明未達成原因或學術產出 發表名稱)
A 學術 產出 及 活動	(1)論文	0	0	0		
	1.國內投稿 (篇數) (2)研討會論文	2	2	7		1. 5/4-5/5 高醫 2024 Symposium on Biosciences for Human Health Programme (附件一)。 2. 6/18 清華 2024 大學社會責任實踐論壇：USR 的地方本位人才培育(附件二)。 3. 9/18 投稿 3 篇海報論文參加原科院專題研究競賽(附件三)。 4. 10/29 【2024 新竹生活科技節 x 預見科技桃花源】成果會(附件四)。



目標達成程度 項目			申請 預估 數	期中 達成 數	成果 達成 數	結案後 半年 達成率	備註 (說明未達成原因或學術產出 發表名稱)
							5. 11/27 「2024 第一屆竹科園區 ESG 論壇」及「2024 鄰鄰 在地實踐展」(附件五)。
2.國外投稿(篇數)	(1)期刊論文		2	1	1		1. 發表於環境期刊 <i>Science of the Total Environment</i> (SCI, IF=9.8) (附件六)。 2. 第 2 篇文章撰稿中。
	(2)國際研討會論文發表		2	2	2		1. 5/29 UTS-NTHU Joint Workshop (附件七)。 2. 7/22-7/25 10th Annual International Conference on Biology 接受函 (附件八)。
3.報告 (篇數)	(1)技術報告		0	0	0		
	(2)研究報告		1	1	1		1. 本專案計畫期中報告。
4.專著 (本數)			0	0	0		
5.辦理學術會議 (場數)	(1)研討/說明會		1	1	1		1. 5/10 台泰雙邊實驗室會議 (附件九)。
	(2)成果發表會		0	1	1		1. 6/5【水清木華：環境科學與永續流域生活圈】 揭牌典禮暨研究成果發表(附件十)。
	(3)論壇		1	1	1		1. 6/5【水清木華：環境科學與永續流域生活圈】 揭牌典禮暨研究成果發表(附件十)。
6.研發改良技術 (項數)	(1)已開發技術		1	2	4		開發 MTT、ROS、MMP、WB 四種生化分析方法監測頭前溪底泥生物毒性
	(2)技術平台		1	1	1		目前成功以 1 種細胞株建置腎毒性平台



目標達成程度 項目		申請 預估 數	期中 達成 數	成果 達成 數	結案後 半年 達成率	備註 (說明未達成原因或學術產出 發表名稱)
	7.技術獎項(項數)	0	0	0		
B 人 才 培 育	8.研發人 員 (人 數)	(1)碩士	3	3	4	碩士新生加入團隊
		(2)博士	1	1	1	
	9.研究團 隊(個數)	(1)跨領 域團隊	1	1	1	環境科學與生物醫學跨領域團 隊。
		(2)跨機 構團隊	2	3	5	除校內區創中心，與 NGO 團體 光合人文教育工作室、荒野協 會、乾淨水聯盟，竹東高中密切 合作辦理 5/24 研習營(附件十 一)、6/5 論壇(附件十)與 11/15 講 師學習活動(附件十二)。
		(3)形成 研究中 心	1	1	1	代表校方以”水清木華：環境科 學與永續流域生活圈”主題成為 台灣永續棧新伙伴學校(附件十 三)。
		(4)形成 實驗室	0	0	0	
	10.其他指標 (請自行 命名)	開設與 本專案 相關課 程	1	1	1	課程”永續環境治理與設計思 考”今年 9 月開課(11310AES 470100)。
		論文競 賽獎項	0	1	3	1. 2024 化學年會”生化研究論 文獎-傑出獎”(附件十四)。 2. 2024 原科院專題研究競賽- 優勝與最佳人氣獎(附件十 五)。



(二) 產業面

項目 \ 目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	成果 達成數	結案後半 年 達成率	備註 (說明未 達成原因 或專利、 技術轉移 相關詳細 資料)
A 智慧財產權	1.專利 (件數)	已核准	發明	0	0	0		
			新型/設計	0	0	0		
			合計	0	0	0		
		申請中	發明	0	0	0		
			新型/設計	0	0	0		
			合計	0	0	0		
B 研發技術轉移	2.先期技術 成果移轉	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍生利益金(仟元)		0	0	0		
	3.技術移轉 (專利)	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍生利益金(仟元)		0	0	0		
	4.技術移轉 (應用技術)	件數		0	0	0		
		授權金(仟元)		0	0	0		
		衍生利益金(仟元)		0	0	0		
	5.可移轉 產業技術	(1) 技術(件數)		0	0	0		



目標達成程度 項目			申請 預估數	期中 達成數	成果 達成數	結案後半 年 達成率	備註 (說明未 達成原因 或專利、 技術轉移 相關詳細 資料)
		(2)品種/系 (件數)	0	0	0		
C 產學 研合 作	6.促成合作 研究	件數	1	2	2		
		金額(仟元)	500	300	680		1. 已核定 USR Hub 30 萬(附 件十六)。 2. 富邦人 壽保險 公司產 學合作 38 萬(附 件十七)。
	7.促成投資	件數	0	0	0		
		投資金額 (仟元)	0	0	0		
	8.促成取得 業界科專	件數	0	0	0		
		業界投資金 額(仟元)	0	0	0		
	9.其他指標 (請自行命名)	(請自填)	0	0	0		

(二) 政策面

目標達成程度 項目			申請預 估數	期中 達成數	成果 達成數	結案後半 年 達成率	備註 (說明未 達成原因
--------------	--	--	-----------	-----------	-----------	------------------	--------------------



							或其他詳細資料)
A 服務 便民	1.技術服務	次數	0	0	0		
		收入 (仟元)	0	0	0		
	2.諮詢服務						4/26 二河分署(附件十八)、5/24 荒野(附件十一)、6/12 與11/15 竹東高中教師培力營(附件十二)、7/2「新竹頭前溪水質與底泥品質管理方向」研商會議(附件十九)、8/15 新竹市政府USR計畫合作研商會議、TACVA ESG 績效評鑑制度建置委員會環境專案小組召集人。
		次數	3	3	7		
		收入 (仟元)	6	6	12		



B 政策 推動	3.協助政府推動(件數)	(1)政策	1	1	1		新竹市環境教育審議委員(附件二十)。
		(2)法規	0	0	0		
C 技術 效益	4.整治技術提升(%)		0	0	0		
	5.整治成本降低(%)		0	0	0		
	6.提升能源效率(%)		0	0	0		
7.其他指標 (請自行命名)		(請自填)	0	0	0		

三、請依前述學術面、產業面、政策面等預期量化成果，具體敘明研究成果對本署政策推動之助益。（200 字為限）

學術面(如國內外研討會、期刊投稿件數、或人才培育碩博士生說明)

本計畫透過建立細胞毒性平台，強化國內對新興污染物的評析，並提供一個高效的健康風險評估工具。學術方面，計畫每年預計在國內外重要期刊發表至少 1 篇研究論文，為環保政策提供科學依據。除此之外，計畫將積極參加國內外研討會，每年提交 2 至 3 篇學術論文或海報，促進國際間的合作與學術交流。同時，計畫將致力於培養碩博士研究生，每年預計培育 1 至 3 名具備環境治理專業知識的人才，未來將參與政策制定與環境管理，推動環保政策的進步並促進跨領域合作與溝通。

產業面(如合作研發產業、申請專利、洽談技術移轉廠商件數說明)

本計畫的細胞毒性平台可應用於污染物檢測與評估，為環境治理技術研發提供關鍵支持，促進綠色產業的進步。計畫預計與 1 至 2 家產業夥伴合作，針對監測技術進行研發，並改進底(污)泥處理技術，提升其效率與可行性。這些產學合作將推動環保政策的進展，並透過技術創新為政府提供具體的政策建議，助力長期的環境保護與永續發展。

政策面(如整治費用降低、特定污染物整治效益提升、或提供政府作為監測/管制標準、污染查核、場址管理等政策及法規研訂之參考)

本計畫成果將為環境部環管署提供關鍵科學依據，支援環境標準的制定與修訂，特別是在污染風險評估和預警機制的構建上，提升環境監控與管理的精準度。透過準確反映複合型累積污染物與河川污染預警，政府得以提前偵測潛在環境危機，並制定相應法規。此外，計畫所長期收集的數據將應用於風險評估和危機管理，為制定應急措施提供可靠參考。這些數據與分析結果將成為政府修訂監測標準、污染管制政策及場址管理規範的依據，進一步降低整治成本，並提升污染治理效能。



四、主要研究人力

請依照「專案主持人」、「協同主持人」、「專任人員」、「兼任人員」及「臨時工」等類別之順序分別填寫

類別	姓名	服務機構/系所	職稱	在本研究專案內擔任之具體工作性質、項目及範圍	執行期間
專案主持人	周秀專	分析與環境科學研究所	教授且兼任所長	專案主持人：撰寫計畫書、成果報告及論文發表，指導研究生執行計畫內容與討論研究結果。	11 個月
協同主持人	詹鴻霖	國立清華大學醫學科學系	教授且兼任學務長	協同主持人：討論研究方向、提供蛋白化學相關知識並協助成果發表。	10 個月
兼任人員	汪奕萱	生物資訊與結構生物研究所	博士	兼任人員：執行論文撰寫與實驗相關操作。	2 個月
兼任人員	陳維憶	分析與環境科學研究所	碩士	兼任人員：執行行政事項處理與實驗相關操作。	6 個月
兼任人員	邱思瑜	分析與環境科學研究所	碩士	兼任人員：執行行政事項處理與實驗相關操作。	11 個月
兼任人員	張愷倫	分析與環境科學研究所	碩士	兼任人員：執行行政事項處理與實驗相關操作。	3 個月



五、產業界資源投入表

專案執行若有與產業界合作，請執行單位依實際量化成果填寫於欄位中。

投入資源類別	數量	說明
1.自籌款	元	
2.人力	人月	
3.設備		
4.其他資源 (請自行增列)	(請自填)	



研究成果中文摘要

因為底泥能夠累積水體中的污染物，尤其是重金屬和有機污染物。這些污染物一旦沉積於底泥中，會長期保存，並且反映出過去一段時間內河川的污染狀況。這使得底泥成為環境污染趨勢的良好指標，能夠揭示水質變化和污染源的影響。此外，底泥中的污染物在特定條件下可能重新釋放回水體，對水生生態系統及人類健康造成長期威脅，因此定期監測底泥對於環境治理和水質預警至關重要。本計畫透過人類細胞平台來辨識新竹主要供水源頭前溪的環境污染狀況：枯水期選取七處採樣點，豐水期則選取八處採樣點，進行重金屬、有機化合物與生物毒性分析。樣品包括不同汙水來源的表層樣品，同一河段的表層和深層樣品，以及頭前溪支流鹿寮坑溪的上、中、下游的表層樣品。研究結果顯示：

1. 無論是枯水期或豐水期，除竹東中興河道表層樣本外，頭前溪各河段採樣點的所有樣品的鎳含量均超過國內底泥標準的下限值，因此有必要提高檢測頻率。
2. 根據美國環境保護署（USEPA）標準，枯水期的銅、鎳、鋅和鉻已達重度污染等級；豐水期則是鎳、鋅和鉛達到重度污染標準。
3. 整體而言，底泥中的重金屬、有機物及間隙水的重金屬汙染在豐水期都比枯水期更為嚴重。同時，重金屬在枯水期時傾向沉積於深層底泥當中，在豐水期則容易脫附並釋出至表層。
4. 枯水期生物毒性分析顯示：表層重金屬汙染與腎毒性順序為工業廢水>家庭汙水>取水口；深層樣本的重金屬含量與細胞死亡率>表層樣本；鹿寮坑溪的汙染程度和細胞受損程度順序為下游>中游≡上游。
5. 在細胞暴露於汙染較嚴重的底泥萃取物後，抗氧化路徑蛋白（Nrf2, HO-1 和 GPX4）和腎損傷蛋白（KIM-1）表現量上升，血糖運輸蛋白（SGLT2 和 GLUT2）的表現量也有上升。
6. 生物毒性實驗結果與重金屬含量高度相關，污染因子（CFi）和污染負荷指數（PLI）不僅能輔助現有的河川汙染指標（RPI）反映水質汙染現況，還更能評估環境汙染物對人體的危害程度。

關鍵字：河川底泥、新興汙染物、人類細胞株、生物毒性、先進鑑識



Abstract of research results

Sediments play a key role in accumulating pollutants from water bodies, particularly heavy metals and organic compounds. Once these pollutants settle in the sediment, they can persist for long periods, providing a historical record of the river's pollution levels. This makes sediments valuable indicators of environmental pollution trends, offering insights into changes in water quality and the influence of pollution sources. Furthermore, under certain conditions, these pollutants can be released back into the water, posing long-term risks to aquatic ecosystems and human health. Therefore, regular sediment monitoring is essential for effective environmental management and early water quality warnings.

This project uses a human cell platform to assess the environmental pollution status of the Touqian River, the main water supply source for Hsinchu. Seven sampling points were selected during the dry season and eight during the wet season, focusing on heavy metals, organic compounds, and biological toxicity. Samples included top samples from different sewage sources, top and deep samples from the same river section, and top samples from the upper, middle, and lower reaches of Luliaokeng Creek, a tributary of the Touqian River. Key findings include:

In both dry and wet seasons, except for surface samples from the Zhudong Zhongxing River, the nickel content of all samples from Touqian River's sampling points exceeded the lower limit of domestic sediment standards, necessitating increased testing frequency.

According to the U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) standards, copper, nickel, zinc, and chromium levels during the dry season have reached severe pollution thresholds, while nickel, zinc, and lead levels have done the same during the wet season.

Overall, pollution by heavy metals in sediments, organic matter, and interstitial water is more severe in the wet season than in the dry season. Heavy metals tend to accumulate in deep sediments during dry periods and are more easily desorbed and released to the surface during wet periods.

Biological toxicity analysis from the dry season shows that surface heavy metal pollution and nephrotoxicity follow the order: industrial wastewater > domestic sewage > water intake. Additionally, deep samples exhibit higher heavy metal content and cell death rates than top samples. The pollution and cell damage in Luliaokeng Creek follow the pattern: downstream > midstream $\approx$ upstream.

After exposure to extracts from severely polluted sediments, there was an increase in the expression of antioxidant pathway proteins (Nrf2, HO-1, and GPX4)



and kidney injury markers (KIM-1), as well as increased expression and activity of glucose transport proteins (SGLT2 and GLUT2).

The results of biological toxicity tests are strongly correlated with heavy metal content. The pollution factor (CFi) and pollution load index (PLI) not only supplement the existing river pollution index (RPI) in assessing water quality pollution but also better gauge the environmental pollutants' impact on health and ecosystems.

Keywords: River sediment, Emerging pollutants, Human cell lines, Biological toxicity, Advanced identification



目錄、

壹、 前言	2
貳、 研究目的	3
參、 文獻探討	16
肆、 研究方法與過程	22
一、 底泥樣品採樣地點	22
二、 底泥樣品處理	22
三、 底泥樣品萃取方法	23
四、 間隙水樣品處理方法	23
五、 污染物檢測方法	24
六、 污染物分析方法	25
七、 細胞株與細胞培養	25
八、 細胞存活率測定	25
九、 活性氧螢光探針	26
十、 粒線體膜電位測定	26
十一、 西方點墨法	27
十二、 統計分析	27
十三、 工作進度甘特圖	28
伍、 結果與討論	29
一、 採樣點分組	29
二、 不同季節之污染物成份分析比較	29
三、 枯水期表層樣品分析與生化實驗結果	36
四、 枯水期表層與深層樣品分析與生化實驗結果	41
五、 枯水期鹿寮坑溪樣品分析與生化實驗結果	45
六、 結論與建議	47
陸、 參考文獻	55
柒、 專案成果績效自評表	57



壹、前言

隨著都市經濟以及科技相關產業的快速發展，河川污染的問題也變得日益嚴重，不僅對於自然環境造成了危害，對於人類健康更是構成了威脅。河川底泥為水體底部的混合物質，其污染源主要來自於民生、工業及農業等廢水的排放，這些污染物質經由沉降作用，最終累積在底泥當中。作為河川污染物質的沉積載體，底泥當中往往含有重金屬、有機化合物和其他持久性污染物質，而底泥不只是這些污染物質最終的蓄積處，同時也是許多水中生物的棲息地，再透過生物累積與生物放大作用，底泥的污染對於整個生態系統的影響不可忽視。

現今普遍使用的水質監測方法主要集中於水體本身的檢測，對於底泥中的污染物質監測相對不足。然而，這些沉積於底泥當中的污染物質，會隨著水體本身的 pH 質變化或是吸附於水中的微小物質，而再次釋放到河川當中。頭前溪是新竹地區的母親河，在新竹縣市有九成以上的用水來自於頭前溪中下游段的「隆恩堰」和「湳雅取水口」，當中也包括了我們平常在喝的飲用水，因此，頭前溪水質與底泥沉積物的乾淨與否至關重要。

本計畫預期建置一個清淨水質監測與預警平台，利用人類細胞的生化數據開發環境污染評估指標，對於應對現今環境污染的問題具有重要意義。期望此方法成為先進的污染辨識方式，以提升環境污染的鑑定效能。此計畫不僅具有重要的研究價值，更能協助提早發現環境當中的潛在危機，並及時採取適當措施、制定有效的治理方案，有助於改善河川水質，保護水生生物的棲息環境與民眾健康，為創造健康的河川水質環境奠下良好的基礎。



貳、研究目的

一、專案之背景與目的

隨著 2015 年聯合國推動「聯合國永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」，全球對永續發展的意識逐漸提高。政府機關、企業與各級學校針對不同環境問題，都在積極倡議和採取行動。根據 Kantar 凱度洞察&LifePoints 在 2022 年針對台灣及亞洲消費者的永續議題調查報告，顯示台灣消費者尤其關注水資源議題，排名第二和第三的議題分別是「乾淨，安全的水資源」和「水污染」。

台灣及亞洲消費者最關心的十個永續議題

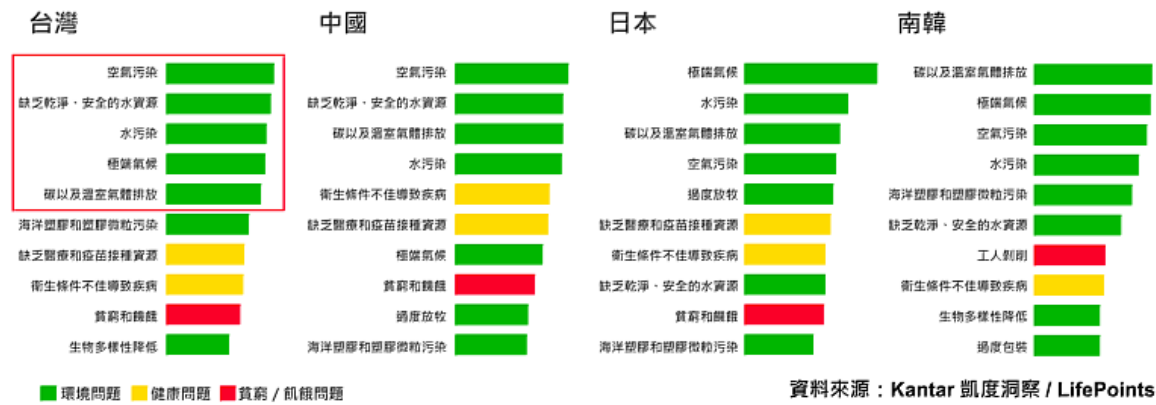


圖 2-1 Kantar 凱度洞察&LifePoints 《2022 年台灣消費者永續議題調查報告》

依據環境部 110 年的統計數據顯示，國內 25 條重要河川總長 2,257.8 公里，其中中度污染部分佔 20.3%，總計 458.7 公里；嚴重污染的河段則佔 3.6%，總長 82.1 公里。綜合國內河川整體情況觀察，過去兩年內河川污染程度呈現惡化趨勢，因此需要相關單位持續努力，以改善這一現象（圖 2-2）。

105年至110年重要河川污染指標概況

年別	河流 長度	未(稍)受污染 (RPI≤2.0)		輕度污染 (2.0<RPI≤3.0)		中度污染 (3.1≤RPI≤6.0)		嚴重污染 (RPI>6.0)	
		長度	百分比	長度	百分比	長度	百分比	長度	百分比
		公里	%	公里	%	公里	%	公里	%
105年	2,257.8	1,511.6	67.0	166.0	7.4	513.9	22.8	66.6	2.9
106年	2,257.8	1,651.9	73.2	170.2	7.5	363.1	16.1	73.0	3.2
107年	2,257.8	1,526.7	67.6	188.8	8.4	456.9	20.2	85.7	3.8
108年	2,257.8	1,559.4	69.1	175.2	7.8	467.7	20.7	55.6	2.5
109年	2,257.8	1,532.4	67.9	219.3	9.7	438.2	19.4	68.0	3.0
110年	2,257.8	1,481.3	65.6	236.3	10.5	458.7	20.3	82.1	3.6
較上年 增減數	-	-51.1	(-2.3)	17.0	(0.8)	20.5	(0.9)	14.1	(0.6)

資料來源：行政院環境保護署水質保護處、環境監測及資訊處。

圖 2-2 主計室發布台灣 105 年至 110 年重要河川污染指標概況 (112/03/10)。

各市縣政府110年度污水下水道用戶接管普及率

縣市	用戶接管普及率 (%)
臺北市	85.00
新北市	70.00
連江縣	62.00
高雄市	48.00
基隆市	38.00
金門縣	38.00
花蓮縣	38.00
宜蘭縣	35.00
臺中市	25.00
新竹縣	25.00
臺南市	25.00
苗栗縣	25.00
桃園市	20.00
新竹市	20.00
屏東縣	15.00
嘉義縣	8.00
南投縣	5.00
雲林縣	5.00
嘉義市	4.04
臺東縣	2.00
彰化縣	1.00
澎湖縣	0.04

此外，頭前溪水質水量保護區內的汙染情況已超出控制，不僅事業廢水和家庭汙水未能實現飲排分離與專管回收，導致生活與工業廢水直接排入河川，進一步威脅水質安全；垃圾山滲漏的廢水更是持續滲透，對水源構成長期汙染。而工業區與露營區的擴張與蔓延，日夜不停排放的廢水更加劇了保護區內的環境壓力，這些源源不絕的汙染排放，對水質保護區構成了嚴重的環境威脅，亟需更嚴格的管控與綜合措施來遏止情勢惡化（圖 2-4）。



4



2017 年，五位普通媽媽因家中自來水味道異常，自發前往頭前溪源頭進行調查，發現上游存在垃圾堆和工業廢水排放。隨後，她們開始積極宣導，動員民眾力量向監察院舉發，並啟動公投連署。監察院調查報告直言，「新竹縣政府輕忽該掩埋場位於頭前溪水系水質水量保護區，下游並設有自來水取水口，造成自來水取水之安全風險疑慮。」掩埋場早在 40 年前就被劃入頭前溪水的自來水保護區，2006 年 7 月停用後，新竹縣府卻以「暫置」名義繼續堆置垃圾。在輿論壓力下，縣政府耗時一年半移除了 6,382 噸垃圾。然而，事件關注度降低後，垃圾場卻再次擴大，垃圾量高達近 10,000 公噸。新竹縣是少數沒有焚化爐的地區，必須仰賴新竹市和苗栗縣進行垃圾焚燒，但新竹市的焚化爐自 2023 年 10 月起暫停運作 3 個月進行升級整備，這進一步提高了竹東地區垃圾污染物滲漏至頭前溪水質的潛在風險 (圖 2-5)。



自 2018 年起，全台過量垃圾無法進入焚化爐處理，只能露天堆放於清潔隊或掩埋場，導致至少形成 100 座垃圾暫置場。新竹縣的新豐和竹東兩處掩埋場尤為突出，其中新豐掩埋場是最大的垃圾山，五年內自燃火災發生了 71 次，周邊居民和下風處的新竹科學園區苦不堪言。新豐掩埋場鄰近水源保護區，竹東掩埋場雖在 2020 年初一度清除所有暫置垃圾，但隨後又有大量垃圾湧入，堆積至邊坡底部，宛如瀑布般傾瀉，嚴重影響環境衛生。每逢汛期或雨季，垃圾滲透液流入旁側溝渠，再匯入頭前溪水系的沙坑溪(如箭頭所示)，進一步加劇污染問題，凸顯出加強頭前溪環境監測與管理的急迫性(圖 2-6)。



圖 2-6 天下雜誌 806 期「全台最有錢里民喝黑水？生活廢棄物囤 7 年，新竹堆出第一高垃圾山」(劉光瑩/吳靜芳，圖片來源：王建棟攝，113/09/02)。位於水質水量保護區的竹東掩埋場，爆滿的垃圾流瀉山谷。

另外，監察院的調查中指出，依據自來水法，自來水水質水量保護區不得有污染性工廠，但頭前溪保護區內有六家，包括亞洲水泥、國產建材，科技業的矽格、旭磊科技、微矽電子，以及位於五華工業區內的封測廠台星科。五華工業區始建於民國六十年代，位於芎林鄉山窩地（頭前溪中游段），靠近新竹科學園區，主要承接相關衛星公司，尤以半導體台星科、工業材料和汽車零組件業者居多。各廠區沿著鹿寮坑溪建立，其工業廢水匯入鹿寮坑溪，逐漸流入頭前溪。在 2020 年，新竹縣政府提出「芎林鄉五華工業區設置編定變更計畫」，力爭中央補助，在鹿寮坑溪與頭前溪交匯處興建汙水處理廠。獲得經濟部工業局核准前瞻計畫補助款 2.9 億元，預計於 2021 年 12 月完工啟用。然而，後來新竹縣放棄了這筆經費，理由是認為該廠的整體效益不足，最終導致汙水處理廠的興建計畫被取消（圖 2-7）。



圖 2-7 五華工業區建於鹿寮坑溪沿線，其水系最終匯流於頭前溪；五華工業區汙水處理設施取消建廠 (左圖圖資取自新竹縣產業發展處，右圖為自由時報 (記者廖雪茹攝))。



顯而易見，儘管頭前溪議題成功連署成為全國首例地方公投，但許多問題仍然存在。最令人反思的是，官方資料指出頭前溪屬「未（稍）汙染程度」，在全國 26 條中央轄管河川排名名列前茅，是非常乾淨的河川(表 2-1)。然而，新竹市民卻廣泛地選擇購買山泉水或安裝濾水器來作為日常飲用水。環境部所使用的河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)，以生化需氧量、溶氧量、氨氮及懸浮固體等四項理化水質參數評估水質狀況，但是這些方法難以完全反映水質污染現況。對於河川內的重金屬、持久性有機污染物、多環芳香烴、環境荷爾蒙、塑膠微粒等污染物，甚至是大量的病原菌、抗生素和核廢物（放射醫學）含量和濃度，這些指標都無法真實地呈現河川水體的污染狀況及其對人體的影響。

表 2-1 110 年重要河川污染指標概況

河川別	河流 長度	未(稍)受污染 (RPI≤2.0)		輕度污染 (2.0<RPI≤3.0)		中度污染 (3.1≤RPI≤6.0)		嚴重污染 (RPI>6.0)	
		長度	百分比	長度	百分比	長度	百分比	長度	百分比
		公里	%	公里	%	公里	%	公里	%
淡水河系	323.4	221.6	68.5	19.0	5.9	66.3	20.5	16.5	5.1
蘭陽溪	73.1	73.1	100.0	—	—	—	—	—	—
鳳山溪	45.4	37.8	83.3	3.8	8.4	3.1	6.9	0.6	1.4
頭前溪	63.0	61.9	98.3	0.8	1.2	0.3	0.5	—	—
中港溪	54.1	47.4	87.6	1.1	1.9	4.6	8.4	1.1	2.1
後龍溪	58.0	49.8	85.9	6.2	10.7	2.0	3.4	—	—
大安溪	95.8	95.6	99.8	0.2	0.2	—	—	—	—
大甲溪	140.2	115.4	82.3	20.5	14.6	4.3	3.0	—	—
烏溪	116.8	90.6	77.5	18.7	16.0	6.0	5.2	1.6	1.3
濁水溪	186.4	153.4	82.3	32.5	17.4	0.5	0.3	—	—
北港溪	81.9	9.7	11.8	4.5	5.5	48.7	59.4	19.1	23.3
朴子溪	75.7	34.8	45.9	7.5	9.8	33.1	43.8	0.4	0.5
八掌溪	80.9	30.3	37.4	17.7	21.9	32.9	40.7	—	—
急水溪	65.1	29.8	45.7	10.7	16.5	18.0	27.7	6.6	10.1
曾文溪	138.5	78.5	56.6	28.1	20.3	32.0	23.1	—	—
鹽水溪	41.3	15.8	38.3	3.3	7.9	16.5	40.0	5.7	13.8
二仁溪	65.2	1.5	2.2	3.7	5.7	38.0	58.3	22.0	33.7
阿公店溪	29.7	8.2	27.6	6.7	22.4	10.3	34.6	4.6	15.4
高屏溪	170.9	64.2	37.6	8.5	5.0	95.0	55.6	3.2	1.9
東港溪	46.9	16.9	36.0	10.4	22.1	19.0	40.4	0.7	1.5
四重溪	31.9	26.5	83.2	2.8	8.7	2.6	8.1	—	—
卑南溪	84.4	84.4	100.0	—	—	—	—	—	—
秀姑巒溪	81.2	45.7	56.2	21.9	27.0	13.6	16.8	—	—
花蓮溪	57.3	37.7	65.7	7.7	13.5	11.9	20.8	—	—
和平溪	50.7	50.7	100.0	—	—	—	—	—	—

資料來源：行政院環境保護署水質保護處、環境監測及資訊處。

說明：1.RPI(River Pollution Index)係河川污染分類指標，由懸浮固體(SS)、生化需氧量(BOD5)、溶氧量(DO)及氨氮(NH3N)等4項水質參數組成。

2.細項和不等於100.00%，係小數點以下四捨五入所致。

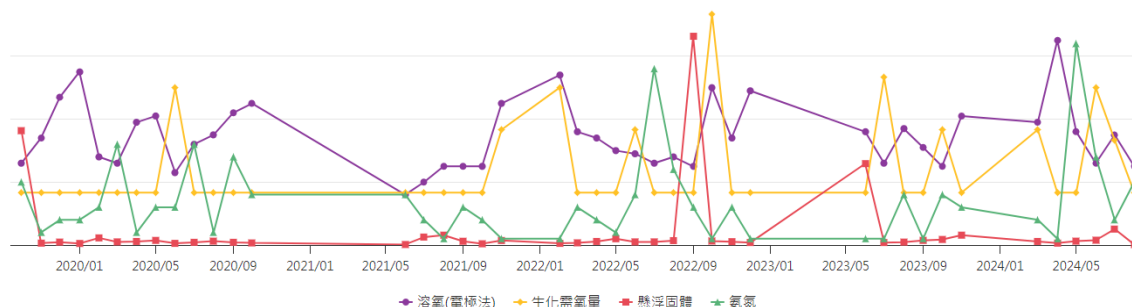


永續議題牽涉廣泛，需要多方利害關係人參與，釐清問題並提出全面解決方案。我們意識到學術界的基礎研究能量強大，但轉化為實際行動或國家政策的社會影響力卻相對有限。為了長期的水資源保護，我們團隊致力於研究河川底泥中累積污染物的生物毒性，提供環境預防醫學見解以形塑環境政策基礎，重新評估全國河川汙染與潛在危機。這能讓我們持續對家鄉和土地表達熱愛和關懷，同時擁有更廣闊視野和堅定決心，積極監督並參與改變。只有持續的投入，我們才能為未來的世代打造一個更安全、更美好的環境。

二、專案之重要性

環境部及新竹縣市環保局在頭前溪上下游設置了 8 個監測站，每月提供監測數據，以掌握河川水質的變化。圖 2-8 顯示竹東大橋測站自 2019 年 10 月至 2024 年 8 月間的河川污染指數（RPI）變化，呈現出水質波動劇烈。以溶氧（DO）為例，測值範圍從 2021 年 6 月的 7.6 mg/L 到 2024 年 4 月的 12.5 mg/L，長期處於過飽和狀態（25°C 下 >8.4 mg/L）。浦雅取水口測站的溶氧測值甚至曾達到 23.1 mg/L（2021 年 4 月），同時間的生化需氧量（BOD5）也達到 10.7 mg/L，顯示頭前溪水質變化大，且底泥可能是主要污染來源之一。

(A) 竹東大橋測站



(B) 浦雅取水口(取代溪洲大橋)測站

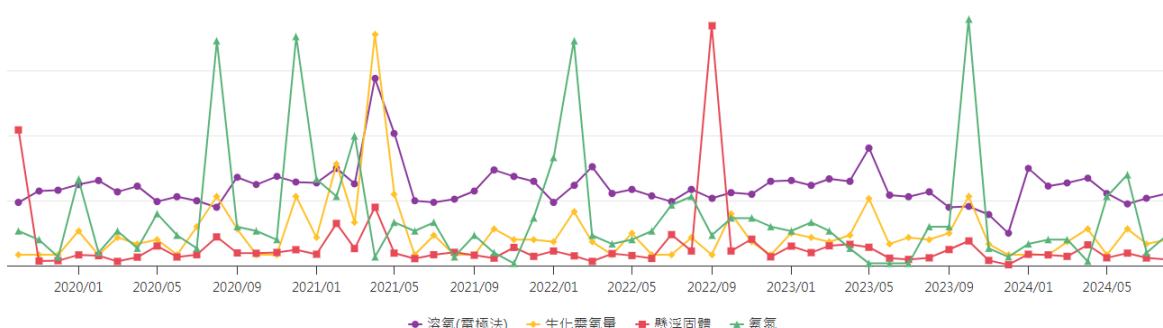


圖 2-8 2019/10~2024/08 歷年河川污染指數變化趨勢圖(圖資來源:環境部全國環境水質監測資訊網)



調查是環境復育的第一步，環境品質管制標準，往往先有空氣，水質，有害廢棄物及土壤污染，最後才輪到底泥品質規範。其主要原因是底泥污染源的追溯最為困難，其對環境的傷害也最不容易被察覺。隨著科技廢棄物日新月異，一一鑑定與評估各式特定新興污染物緩不濟急，真實環境更是同時存在各種管制與未知的有害物質，因此底泥是研究複合型環境累積污染。執行本計畫之目標效益敘述如下：

《必要性》

許多研究指出，雖然許多環境品質下降(degraded)地區的水質遵循水質污染管制標準，但棲息在底泥或鄰近底泥的生物明顯受到不良影響¹。在日常生活中，我們經常目睹大量魚蝦死亡，然而水質檢測結果仍然正常。儘管污染物質可能因水流沖刷而被稀釋，使得現地反映污染狀況變得複雜，但這也強調了目前檢測方法的不足之處。這樣的情況難免會引起公眾對政府的不信任，因為現行警示機制似乎無法捕捉到潛在的環境問題。

底泥是水生生物棲息地，同時也是污染物質的沉積處。底泥毒性分析結果不僅是水質預警指標，也可作為環境生態的健康指標。原因如下：

(1)沉降作用：來自家庭、工業或農業廢水中的污染物經由沉降作用後，會積聚在底泥中。

(2)親疏水性：底泥中的污染物由於其特性，傾向附著於底泥，尤其是多環芳香烴等有機污染物。

(3)吸附競爭關係：重金屬等污染物會透過吸附競爭作用積聚在底泥中。

河川污染物經由化學沉澱、吸附離子交換及化學錯合等反應沉積於底泥中，導致底泥積累大量多環芳香烴化合物、重金屬等。這些底泥污染物可能受環境因子變化的影響，脫附、溶出至水體，再度污染河川水質。預警的主要價值在於降低風險。底泥作為水質指標具有潛在價值，不同於水質檢測易受水流沖刷稀釋而產生誤差，底泥具有長期影響觀察的特性。因此，在環境監測和水質預警中，底泥毒性扮演著重要的角色。

世界衛生組織在 2016 年《通過健康環境預防疾病：對環境風險疾病負擔的全球評估（第二版）》報告指出全球因在不健康環境中生活或工作而死亡的人數，佔死亡總數近四分之一。心血管疾病是全球死亡的頭號殺手，然而值得關注的是，在台灣，癌症卻已連續 42 年位居十大死因之首。美國紐約州立大學石溪分校的癌症研究團隊於 2016 年利用計算機模型、人口數據和基因分析等多種方法，發表在頂尖期刊《Nature》上的研究結果顯示：「70%~



90%的癌症風險來自外在因素」² (圖 2-9)。

Summary

• Nature. Author manuscript; available in PMC: 2016 Jun 16.

Published in final edited form as: Nature. 2015 Dec 16;529(7584):43–47. doi:10.1038/nature16166

Substantial contribution of extrinsic risk factors to cancer development

Song Wu^{1,2}, Scott Powers^{2,3}, Wei Zhu^{1,2}, Yusuf A Hannun^{2,4}

• Author information • Article notes • Copyright and License information

PMCID: PMC4836858 NIHMSID: NIHMS733229 PMID: 26675728

Recent research has highlighted a strong correlation between tissue-specific cancer risk and the lifetime number of tissue-specific stem cell divisions. Whether such correlation implies a high unavoidable intrinsic cancer risk has become a key public health debate with dissemination of the 'bad luck' hypothesis. Here we provide evidence that intrinsic risk factors contribute only modestly (<10~30%) to cancer development. First, we demonstrate that the correlation between stem-cell division and cancer risk does not distinguish between the effects of intrinsic and extrinsic factors. Next, we show that intrinsic risk is better estimated by the lower bound risk controlling for total stem cell divisions. Finally, we show that the rates of endogenous mutation accumulation by intrinsic processes are not sufficient to account for the observed cancer risks. Collectively, we conclude that cancer risk is heavily influenced by extrinsic factors. These results carry immense consequences for strategizing cancer prevention, research, and public health.

圖 2-9 美國紐約州立大學石溪分校癌症研究中心 (Stony Brook Cancer Centre) 癌症風險研究結果。

在地球和人體受到毒素影響的陰影下，人類面臨生育危機。值得注意的是，美國中央情報局更新的 2022 年生育率預測報告顯示，在全球 227 個國家和地區中，台灣生育率持續位居倒數第一（生育率 1.09），這不僅凸顯國人健康危機，也是國家安全的問題（圖 2-10）。



圖 2-10 美國中央情報局資料預測，2023 年全球生育率排名台灣將排在最後一名。

根據世界衛生組織的報告，預計到 2040 年，慢性腎臟病（CKD）將成為全球第五大死因。美國腎臟登錄系統（USRDS）2018 年分析 2016 年全球數據顯示，台灣的腎臟病發生率和盛行率均位居全球第一，且連續多年蟬聯榜首，遠超發生率排名第二的美國和盛行率第二的日本，顯示台灣腎臟病問題的嚴峻性。2019 年，日本透析醫學會報告也指出台灣末期腎病的發生率為全球最高(圖 2-11)。2022 年，國際期刊《Nature Review Nephrology》再度分析 2018 年數據指出台灣的腎臟病發生率無論男女都是全球第一(圖 2-12)。台灣慢性腎臟病的盛行率達 11.9%，洗腎人數每年增長約 7%，洗腎人口密度居世界之首，導致花費國家衛生醫療照護費用也居首位，凸顯腎病與少子化都是台灣的重大公共衛生挑戰。

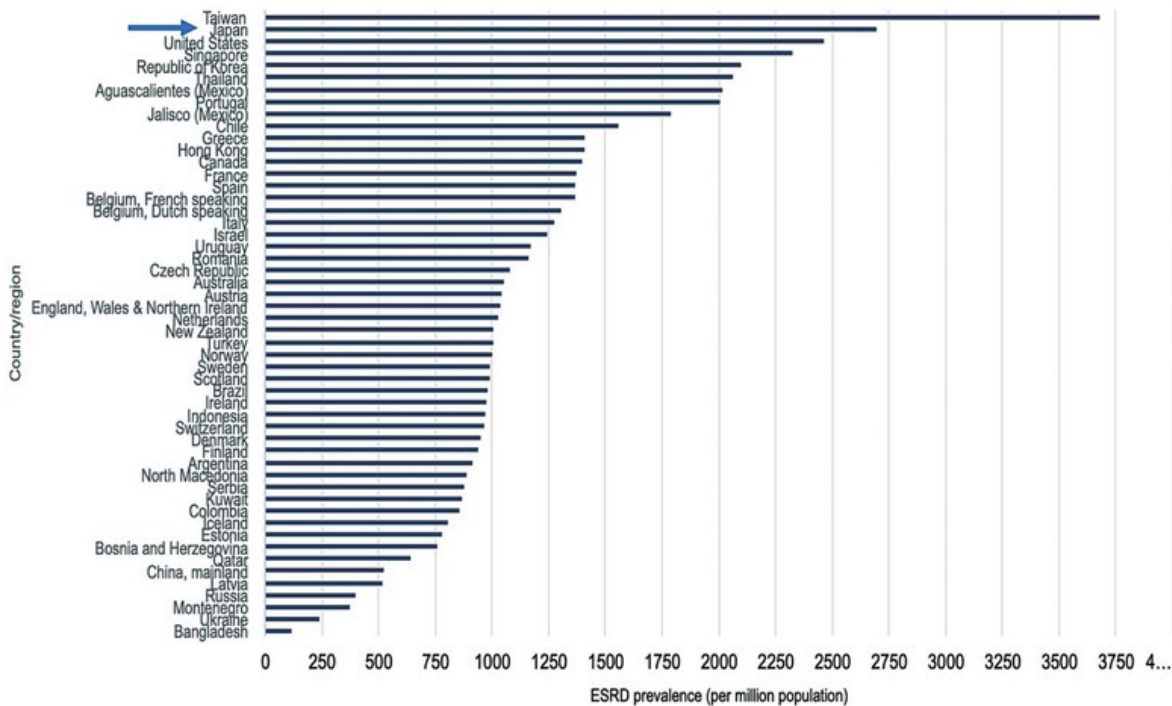


圖 12 末期腎不全有病率の國際比較

圖 2-11 末期腎臟病(ESRD)發病率的國際排名 (2019 年的調查結果) /日本透析醫會雜誌。

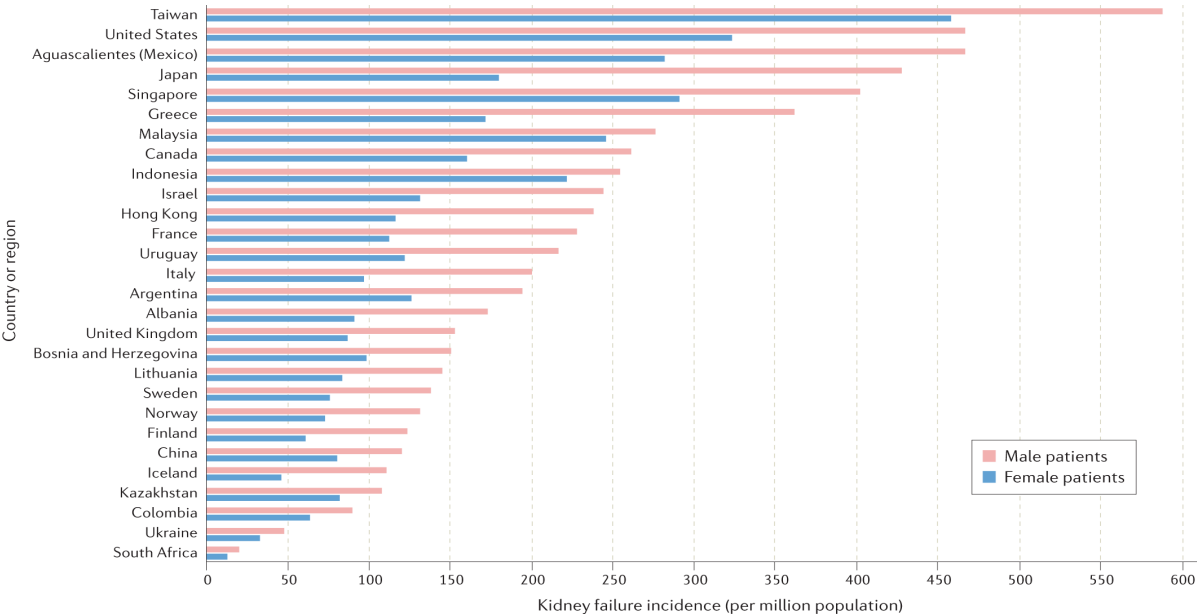


圖 2-12 根據《Nature Review Nephrology》2022 年的分析，台灣 2018 年腎臟病發生率不論男女，均位居全球第一。



底泥不僅反映複合型環境累積污染情形，其長期累積的污染物，可能再釋放到水中。不僅可能直接對水棲生物造成危害，甚至藉由食物鏈的生物累積效應形成人類健康的一大隱憂。所以，底泥污染程度與環境品質優劣和生物健康息息相關，檢測底泥生物毒性是一件重要的任務。

《可行性》

環境部的專案核心價值在於喚起民眾對土壤和其他水體底泥污染問題的環境認定與環境行動。目前關於底泥生物累積毒性的研究與致病機轉探討主要限於水棲生物或鳥禽類，因為醫學研究倫理的限制，目前以人類個體建立環境污染物和人類健康風險之間的因果關係幾乎不存在。然而，有時警示其他生物指標並不容易引起人們的共鳴，又因為不同生態區域存在不同的生物指標，導致警示標準多種多樣，缺乏統一性。所幸在執行人體健康評估的藥理和毒理研究時，通常以哺乳動物細胞系，特別是人體細胞，做為代理整個器官，甚至全個體的研究材料，以提供有價值的信息³。

在國科會研究經費的支持(建立人類細胞株平台以增進沉積污染物毒性分析的評估效益，106-2221-E-007-015-MY3)，我們的團隊在 4 年內成功完成新竹客雅溪底泥對人類細胞株的生物累積效應的首次分析。目前，我們已累積了 19 種人類細胞株一系列的生化實驗結果，包括細胞的存活率、增殖、附著與移動，還有基因與蛋白質表達等方面的測試，用來評估河川底泥中的污染物對所選擇的人類細胞株的生物毒性 (圖 1-13)。

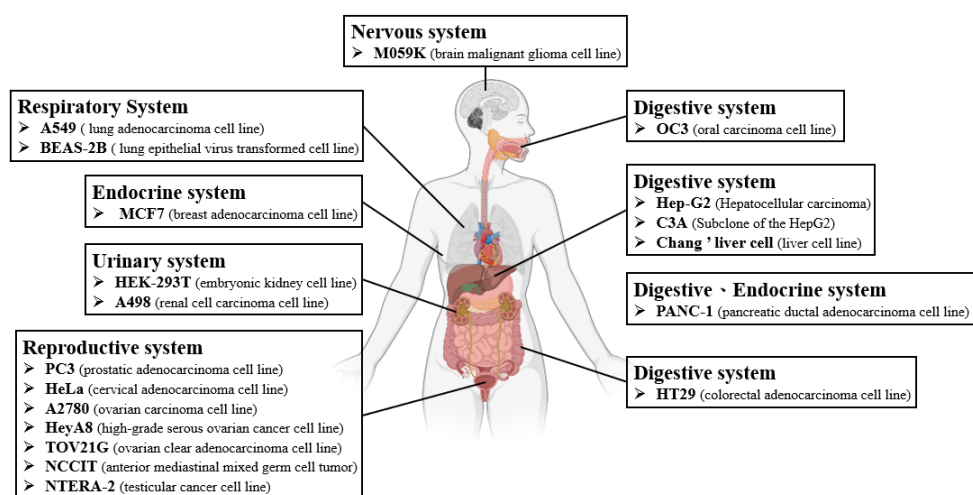


圖 1-13 新竹客雅溪底泥對人類細胞株的生物累積效應的分析。



目前正在執行的國科會研究經費補助(前瞻探索客雅溪底泥污染物的生殖風險：人類細胞系生殖毒性之多端點分析，112-2221-E-007-025-MY3)進一步深入探討環境污染物和人體生殖細胞彼此間的交互作用機制，以協助我們更全面地了解台灣河川底泥污染對人類健康的潛在危害。一系列的生化實驗與細胞功能結果，包括細胞的存活率、增殖、附著與移動，肝代謝，還有基因與蛋白質表達等方面的測試^{4,5,6}，都顯示客雅溪底泥的生物毒性在污染物集中的下游流域明顯嚴重。所以透過底泥污染危害監測的人類細胞檢測平台，我們能夠從底泥萃取物對人類細胞株的損傷程度，分析實際環境污染物濃度與人類健康的相關性。綜合上述分析結果得知，雖然許多物質檢測濃度都未達到環境部所制訂的上限標準，但這樣的含量就足以對細胞造成毒性傷害，因此環境部應從嚴擬定標準以維護國民健康。

隨著科技廢棄物不斷更新，底泥生物毒性更能成為複合型環境累積污染物的先進汙染鑑識方法。本計畫在新竹頭前溪建置清淨水質監測與預警平台的實驗場址。儘管頭前溪流域是新竹自來水系統的主要供給水源，近年卻屢次發生溪流汙染事件，地方政府對於公民的改善訴求則以水質良好進行官方回覆。根據監察院公布的《頭前溪水質案調查報告》，頭前溪中下游段的「隆恩堰」和「湳雅取水口」是供應新竹縣市超過 75 萬人口飲用水的主要取水點。然而，頭前溪中上游被劃設為「自來水水質水量保護區」，卻存在污染性工廠區和垃圾掩埋場，這是根據「自來水法」規範應禁止設置的。再加上公共汙下水道普及率與整體汙水處理率嚴重落後，新竹居民喝一口乾淨水好難（圖 2-3~圖 2-6）！

有必要強調的是，現行的水體檢測和河川汙染指標存在限制，無法全面評估毒化物和重金屬的問題。儘管頭前溪受到各種汙染源影響，但官方資料卻將其歸類為「未（稍）汙染程度」，並將其排名列為全國 26 條中央轄管河川的第 2 名，形容為極為乾淨的河流，那麼常常被宣稱好乾淨的頭前溪，到底是骯髒還是乾淨呢？

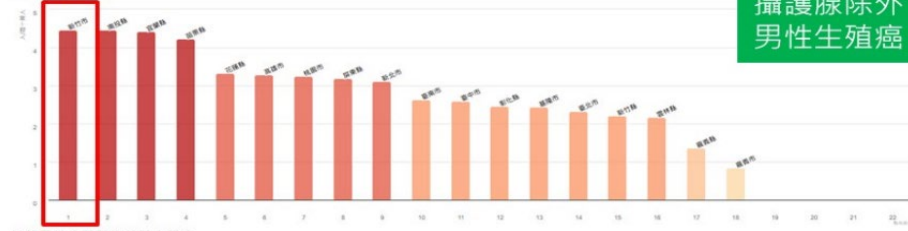
根據中研院地理資訊科學研究專題中心利用衛福部國健署 1979-2013 年的縣市癌症發生率資料製作的「台灣癌症發生率地圖」，發現新竹縣市男性睪丸癌、其他男性生殖器官癌和女性子宮體癌在全台 22 縣市的癌症發生率中名列前茅（圖 2-14）。



(A)

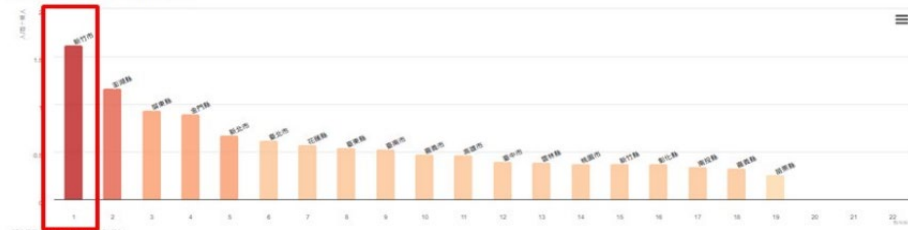
2020年臺閩地區

睪丸的縣市排名

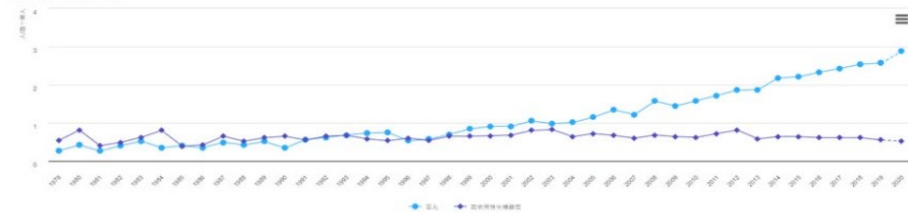


攝護腺除外
男性生殖癌

其他男性生殖器官的縣市排名



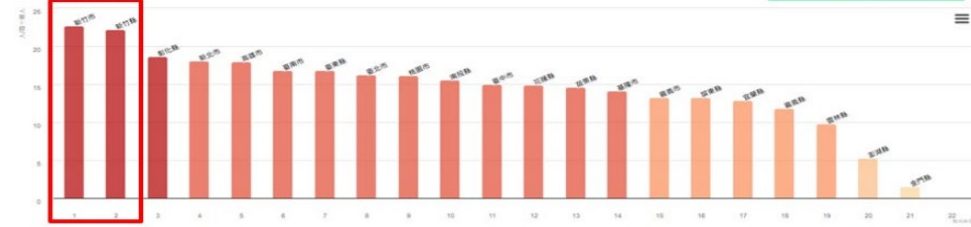
臺閩地區時間趨勢



(B)

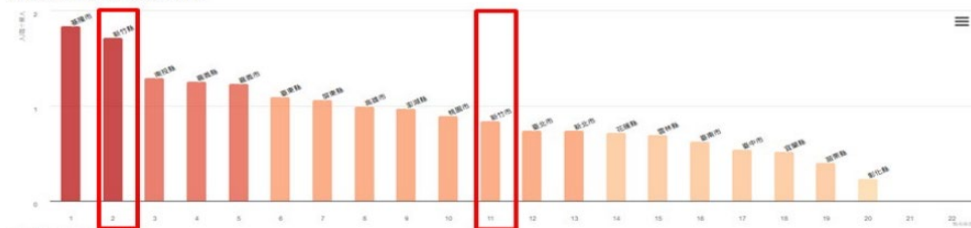
2020年臺閩地區

子宮體的縣市排名



女性生殖癌

其他女性生殖器官的縣市排名



臺閩地區時間趨勢

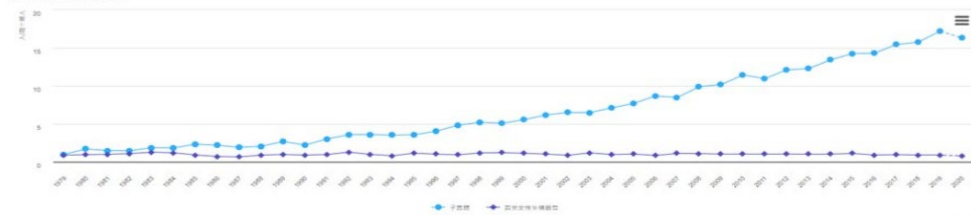


圖 2-14 衛福部國健署 1979-2013 年的縣市癌症發生率資料製作的「台灣癌症發生率地圖」，
男性睪丸癌、其他男性生殖器官癌(A)和女性子宮體癌(B)



此外，根據衛福部近年對全台 368 個鄉鎮區居民癌症死亡率的分析，發現各類癌症死亡率排名前 1/10 的鄉鎮城市大多位於河口附近，其中位於頭前溪出海口南側的新竹香山區也名列其中（圖 2-15）。這些殘酷的警訊，呼籲我們迅速採取行動，以先進的汙染鑑識方法回應這些禍延一代又一代的環境災難。

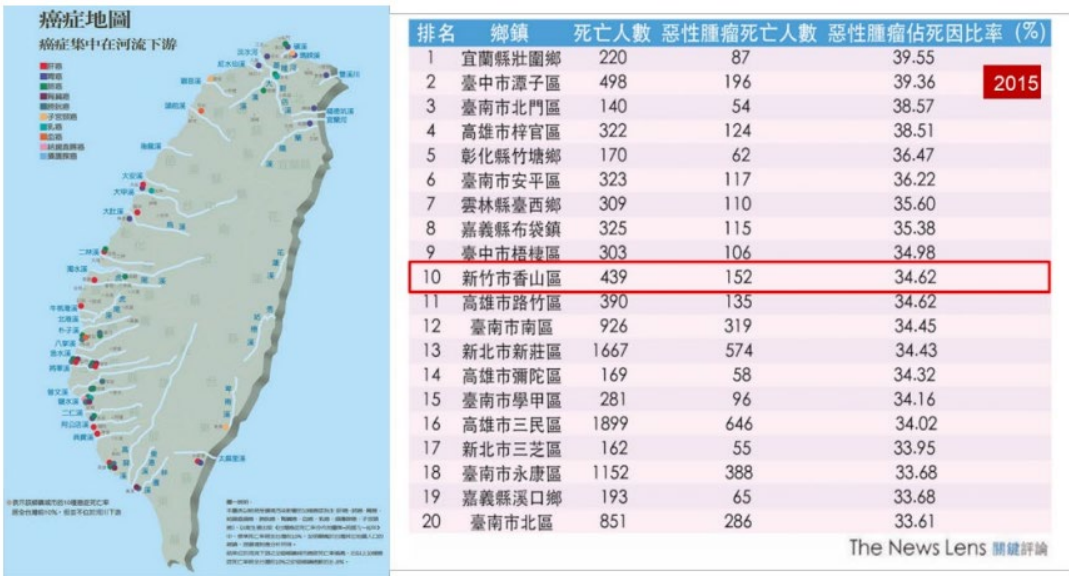


圖 2-15 衛福部「台灣癌症地圖」與全台鄉鎮區居民死於癌症的比率



參、 文獻探討

底泥是水生環境中重要的一環，為許多水棲生物提供棲息地，也是環境污染物的匯流處，所以針對底泥毒性監測，以及其中含有的持久性污染物質(重金屬和有機化合物等)分析，一直是環境風險評估的關鍵。在過去的二十年中，底泥毒性分析方法取得相當大的進步，不斷深入探討毒性的作用及合理闡釋研究結果。因而提供更大的環境相關性，也更了解不同物種對污染物的敏感性、生物體行為、暴露途徑以及提供相關暴露條件所需的設計考量。在水生環境中，大多數人為化學物質和廢物，包括有毒有機和無機化學物質，可以在底泥積聚，這反過來又可以成為生活在底泥上或底泥中的生物體的污染源。不過，雖然大家理解底泥污染物對水棲生物具有直接毒性，也可能成為食物鏈中生物累積的污染物來源。大部分文獻的底泥生物毒性分析仍以水棲生物毒性或是添加不同濃度化學品的沉積物進行毒性測試為主。進一步直接以人類個體探討底泥污染物對健康風險的研究因為醫學研究倫理的原因，幾乎是不存在的。但長期評估這些底棲生物以減少沉積物毒性的補救措施仍非常值得參考。以下面近年國外發表的重要參考文獻為例說明：

1. Jesus, Fátima, et al. (2022) A review on polycyclic aromatic hydrocarbons distribution in freshwater ecosystems and their toxicity to benthic fauna. *Science of the Total Environment* **820** : 153282⁷.

多環芳香烴化合物 (PAHs) 是對生物體具有毒性及致癌性的有機化合物，當煤炭、燃油、瓦斯、垃圾或是其他有機物質燃燒不完全時就會形成，通常以混合物的形式在空氣、土壤、沉積物、和水當中普遍存在，並且表現出非常高的持久性。PAHs 的流動主要來自於水體的輸送，包括了工業和城市污水系統的排放，以及農田和其他產業地區的徑流進入到水生環境中。由於 PAHs 具有高疏水性而使其更容易在底泥當中累積，研究當中顯示，沉積物與水之間的分配係數與 PAHs 的疏水性呈正相關，且沉積物中的 PAHs 濃度比水中還要高 2 至 4 個數量級。所以底泥被認為是它們的最終的匯集處。然而，底泥同時也是許多水中生物的棲息地，因此引起了許多人開始關注 PAHs 對於生物體的毒性與影響。

2. Hu, Guangji, et al. (2020) Human health risk-based life cycle assessment of drinking water treatment for heavy metal (loids) removal. *Journal of cleaner production* **267**: 121980⁸.



重金屬 (HM)因為具有毒性、持久性和生物累積性，被認為是環境中的重要污染物質。隨著工業廢水和生活污水的排放，以及自然環境的一些變化，如：岩石風化、水土流失和地表徑流等，都會導致 HM 在河川當中遷移和沉積。然而，重金屬離子不僅會經由吸附和共沉澱等作用，大量的在沉積物當中累積，**同時也會隨著水體本身的 pH 質變化或是吸附於水中的微小物質，而再次釋放到河川當中**。因此 HM 污染將會對於水生生物的生存造成威脅，以及影響到人類的健康。砷、鎘和鉛已經被歸類為有毒且為致癌物質，即使在低濃度下，這些 HM 也可能透過長期的反覆接觸（例如每日飲水）在人體組織當中累積，並導致神經系統疾病和癌症。

3. Astatkie, H., Ambelu, A., & Mengistie, E. (2021) Contamination of stream sediment with heavy metals in the Awetu watershed of Southwestern Ethiopia. *Frontiers in Earth Science*, **9**: 658737⁹.

底泥沉積物當中的重金屬污染水平，會隨著重金屬種類的不同、採樣地點的條件的變化以及季節的差異性等，而有所改變，直接利用各種濃度指標來評估環境中的重金屬污染程度，並非那麼恰當。因此在研究當中採用不同的污染指數來計算與評估底泥的污染狀況，像是「污染因子」以及「污染負荷指數」等計算公式。「污染因子」 (Contamination factor, CF_i)，經常被用於監測各採樣點的重金屬污染水平， $CF_i = C_{\text{sample}} / C_{\text{background}}$ ， C_{sample} 為樣品中檢測到的重金屬濃度； $C_{\text{background}}$ 為重金屬濃度背景值，常選用檢測值最低的樣點作為背景值，當 CF_i 值小於 1 時，表示該金屬為低度污染；當 CF_i 值介於 1 到 3 之間時，表示該金屬為中度污染；當 CF_i 值高於 3 時，表示該金屬為重度污染。「污染負荷指數」 (Pollution load index, PLI)，經常被用於評估各採樣點底泥沉積物的綜合污染程度， $PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$ ， CF_n 為各採樣點之 CF_i 計算值； n 為所有樣品中檢測的重金屬總數，當 PLI 值小於 1 時，表示該採樣點未受污染；當 PLI 值大於 1 時，表示該採樣點有受到污染。

4. Standard Test Method for Measuring the Toxicity of Sediment-Associated Contaminants with Freshwater Invertebrates (2020) *ASTM international* E1706-20¹⁰.

為了建立化學品與生物反應之間的因果關係，常會將不同濃度的化學品混入底泥進行毒性測試，並以 LC50（中位數致死濃度）、EC50（中位數效應濃度）、IC50（抑制濃度）或 NOEC（未觀察到效應）或 LOEC（最低觀察到的效應濃度）等數據形式進行報告。然而，**這種加標的化學品可能無法完全代表現場底泥中存在的化學物質**。加標化學品的混合時間和化學形式會影響測試生物體對底泥的反



應。這些測試的目的在於確定底泥中的化學物質對底棲生物的潛在危害，以及是否會對其造成累積影響。這些測試可用於評估複雜化學混合物的交互毒性效應，包括：(1) 底泥污染物的化學分析；(2) 底泥毒性試驗；(3) 生物蓄積試驗；(4) 底棲群落結構調查；(5) 比較不同生物對沉積物污染的敏感度；(6) 沿著污染梯度評估沉積物污染程度與生物效應之間的關係；(7) 確定毒性作用和生物利用度之間的關係；(8) 研究化學品之間的相互作用；(9) 確定污染的空間和時間分佈。此外，進一步的分析有助於評估底泥污染物造成的風險，例如：(1) 評估疏浚材料的危害；(2) 作為產品許可或安全測試的一部分測量毒性，(3) 評估沉積物是否適合清除並放置在其他地點（例如疏浚物處置）；(4) 對清理區域進行排名，以及 (5) 協助制定補救行動的目標或管理實踐的有效性。

5. Saiki P., Mello-Andrade F., Gomes T., Rocha T. L. (2021) Sediment toxicity assessment using zebrafish (*Danio rerio*) as a model system: Historical review, research gaps and trends. *Review Sci Total Environ* **793**:148633¹¹.

斑馬魚已被廣泛視為評估淡水、河口和海洋沉積物，以及實驗室加標沉積物毒性的合適模型系統。自 1996 年開始，斑馬魚成為評估沉積物毒性的首選，主要使用回顧性方法。近年來，特別是自 2014 年至 2015 年以來，相關研究呈現出明顯增長的趨勢。鑑於斑馬魚 (*Danio rerio*) 在生態毒理學測試中的重要性日益凸顯，進行了科學計量和系統評價，以評估其在沉積物毒性評估中的應用性。本文對 97 篇相關論文進行了系統性分析和綜述。評估了歷史和地理分佈情況，並總結討論了實驗設計、沉積物毒性測試類型和方法（預測或回顧性）、污染物和壓力源、斑馬魚發育階段以及生物標記反應的相關數據。斑馬魚暴露於污染物沉積物後，表現出多種毒性效應，包括分子、生化、形態、生理和行為上的變化。斑馬魚與污染物結合的沉積物毒性似乎總體上受到污染物的物理化學性質、實驗設計、環境因素、發育階段以及有機天然物質存在的影響。綜合而言，**研究結果顯示斑馬魚的胚胎和幼蟲階段是評估沉積物相關污染物毒性的合適模型系統。**

6. Hiki K., Fischer F.C., Nishimori T., Endo S., Watanabe H. and Yamamoto H. (2023) Influence of water exchange rates on toxicity and bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in sediment toxicity tests. *Environmental Science: Processes & Impacts* **Issue 3**¹².

在標準化底泥毒性測試中，水從靜態到流動的變因，即使對相同的測試物種，在現場與實驗室之間也存在差異。這種差異可能導致不同的化學暴露，影響毒性和生物蓄積性的解釋。為解決此問題，本研究利用三種多環芳烴（PAH）的混合



物和淡水錶棲片足動物 *Hyalella azteca* 進行了沉積物毒性測試。實驗中應用了五種標準化的水交換方法：靜態、半靜態或流動條件。通過水樣本和直接浸入式固相微萃取方法分別測量 PAH 的總濃度 (C_{diss}) 和自由溶解濃度 (C_{free})，作者發現在不同水交換條件下，上層水中 C_{diss} 的差異高達 107 倍，而孔隙水中的 C_{diss} 和 C_{free} 差異不超過 2.6 倍。存活率、生長率和多環芳烴生物累積等相似的結果顯示，*H. azteca* 主要受到孔隙水的暴露，而非上層水。透過機械動力學模型模擬沉積物毒性測試中的時空濃度分佈，本文探討了水交換率對時間和空間暴露變異性的重要性。

7. Richard Osae, Daniel Nukpezah, Daniel Amoako Darko & Adelina Mensah (2023) Heavy metal mobility, bioavailability, and potential toxicity in sediments of the Korle lagoon in Ghana. *International Journal of Environmental Studies* **80**, Issue 6, 1556-1572¹³.

遷移性因子(mobility factor)描述了土壤中金屬的潛在遷移性，因為某些金屬形式與土壤成分的結合比某些金屬形式更強。高 MF 值是土壤中重金屬的責任性和生物有效性相對較高的症狀。影響其流動性的重要因素是 pH 值、吸附劑性質、有機和無機配體的存在和濃度，包括腐植酸和黃腐酸、根系分泌物和營養物質。PCA 用於確定 pH 值和有機質是控制沉積物中 HM 遷移率和生物利用度的最重要因素。砷、鉛、鋅和鐵被發現具有最高的遷移率。鉻、銅和鎳具有中等流動性。汞的遷移率低。大多數 HM 顯示出潛在的生物利用度和毒性。

8. Opeyemi A. Oyewo, Amos Adeniyi, Mokgadi F. Bopape, Maurice S. Onyango (2020) Heavy metal mobility in surface water and soil, climate change, and soil interactions. *Climate Change and Soil Interactions*, Chapter 4, 51-88¹⁴.

由於多種因素的影響，例如土壤和水的組成、氣候條件以及固相和液相中物質的流動性/分佈等，含重金屬的土壤和水的修復可能非常複雜。重金屬向土壤礦物質和水中的擴散取決於存在的金屬的濃度和溶解度。例如，海水比河水促進了更高的 Cd 和 Cu 釋放。然而，海水造成的鹽度並沒有顯著增強 Pb 的遷移率。這意味著 Cd 和 Cu 的遷移率會因鹽度不足而降低。

儘管銅、鎳和鋅在低濃度下是人類和植物的必需營養素，但根據聯合國全球監測計劃，所有這些元素都被歸類為危險元素 (Kaninga 等, 2019)。土壤 pH 值是影響土壤中重金屬遷移率的最重要參數之一。水解金屬的量隨著 pH 值的增加而增加，已知水解金屬比遊離金屬更有利於吸附反應 (Cappuyns 和 Swennen, 2008)。在不同 pH 值下形成的不同金屬複合物的化學特性 (包括溶解度和毒性) 可能有很大差異。例如，在鹼性條件下，金屬會以氫氧化物、氧化物、磷酸鹽和碳酸鹽的形式沉澱，這可能會降低其生物利用度。氧化還原電位受氧氣可利用性調節，對重金屬的遷移率有重大影響。決定土壤氧氣有效性的因素包括土壤濕度條件、微生物活動和化學需氧量。金屬的氧化條件決定了它們的溶解度、吸收動力學和形成錯合物的能力。由於高濃度的鈉，鹽度對土壤結構



有直接的物理影響，因此用鹽水灌溉的土壤的陽離子交換能力變得充滿鈉，形成鈉質土壤（Murray 和 Grant，2007）。此外，土壤中的有機物充當配體，提供電子，這些電子很容易被形成有機金屬絡合物的金屬所接受。土壤中存在的酚類、腐植酸和黃腐酸等有機物可以從土壤中調動金屬，形成穩定的水溶性有機金屬複合物（Tang 等人，2014；Rahman 和 Alam，2010）。有機金屬配合物形成了一個重要的載體，金屬可以透過它從土壤中浸出並轉移到地下水和地表水中（Chen 等，2010）。有機物的存在可以降低重金屬毒性的影響，即使在高金屬濃度下也是如此，因為有機配體與生物體上的結合位點競爭重金屬（Violante 等人，2010；Olaniran 等人，2013）。

然而，上述這些特性受到氣候變遷的強烈影響，無論是正面或負面。氣候變遷造成溫度和降雨量的變化，導致年度和季節性水文失衡，進而影響土壤水分含量（Karmakar 等，2016）。土壤溫度和濕度會影響微生物過程的動力學，從而決定土壤的有機含量（Karmakar 等，2016；Van Dijk 等，2009；Stigliani 等，1991）。土壤溫度升高的影響是增加微生物分解，導致土壤有機物含量減少。特此得出的結論是，**消除土壤和地表水中重金屬的遷移性和生物有效性**，以防止其對人類和環境產生不利影響，還需要進行長期和出色的研究。

9. Ajisafe Monday Peter, O. O. Ajayi, E. O. Abata1, Akinnawo Solomon and M. T. Oluwalope (2017) Chemical Fractionation of Heavy Metals in the Soil of Auto-Mechanic Workshops in Akure, Ondo State, Nigeria. *Chemical Science International Journal* **21**(2): 1-16¹⁵.

使用遷移因子對土壤樣本進行生態毒理學評估指數顯示以下順序：鉛（31.11%）>鋅（21.11%）>鎳（20.75%）>銅（12.24%）>鉻（10.73%）>鎘（0.80%）>鐵（0.09%）。污染指數評估顯示大部分金屬屬於「輕度污染」和「中度污染」範圍。

10. Zhifeng Huang, Chengyou Liu, Xingru Zhao, Jing Dong & Binghui Zheng (2020) Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Sciences Europe* **32**: 23¹⁶.

湘江是湖南省的重要飲用水水源，了解其底泥中重金屬的污染現狀、影響因素、生態風險及來源十分關鍵。本研究收集了湘江株洲河段表層底泥，分析了八種重金屬的濃度，發現其平均濃度從高到低依序為 Zn(257.17 mg kg⁻¹) > Pb(102.52 mg kg⁻¹) > As(98.38 mg kg⁻¹) > Cu(71.29 mg kg⁻¹) > -459. > Ni (36.29 mg kg⁻¹) > Cd (23.31 mg kg⁻¹) > Co (16.97 mg kg⁻¹)。這些重金屬的分佈和來源透過主成分分析（PCA）和皮爾森相關分析得以識別，顯示 As、Cu、Ni、Pb 和 Zn 代表性同系物主要來自工業廢水和礦物冶煉活動，而 Co、Cr 和 Ni 則來自自然源。冗餘分析（RDA）指出底泥中的有機質含量和粒徑對重金屬的富集有顯著影響。在調查的重金屬中，Zn、Pb 和 As 的濃度最高，而 Cd 和 Co 相對較低。然而，根據 Hakanson 的潛在生態風險指數（RI）和 Igeo 值，儘管 Cd 的含量較低，其潛在的生態風險卻較高，需引起特別關注。



11.Sonia Mahey, Rakesh Kumar, Manik Sharma,Vinod Kumar, Renu Bhardwaj (2020) A Critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies *SN Applied Sciences* 2:1279¹⁷.

重金屬透過增加活性氧的產生和降低抗氧化活性損害粒線體功能和造成細胞受損，glutathione 是金屬誘導的氧化壓力的關鍵參與者防禦。最常見的重金屬造成細胞損傷的方法是誘導氧化壓力。根據 ROS 產生潛力，生物活性金屬分為兩大類，即氧化還原活性金屬和非氧化還原活性金屬。氧化還原活性金屬（Co、Cr、Mn、Fe、Cu）是那些可以透過上調 Haber-Weiss 和 Fenton reactions 直接產生 ROS 方式損害細胞的金屬；非氧化還原活性金屬（鎘、鎳、汞、鋅和鋁）透過間接增加 ROS 水平來控制其亞細胞生命徵象，如透過 glutathione 消耗，抑制抗氧化酶，結合蛋白質的活性巰基並激活 ROS 產生酶，例如 NADPH 氧化酶。

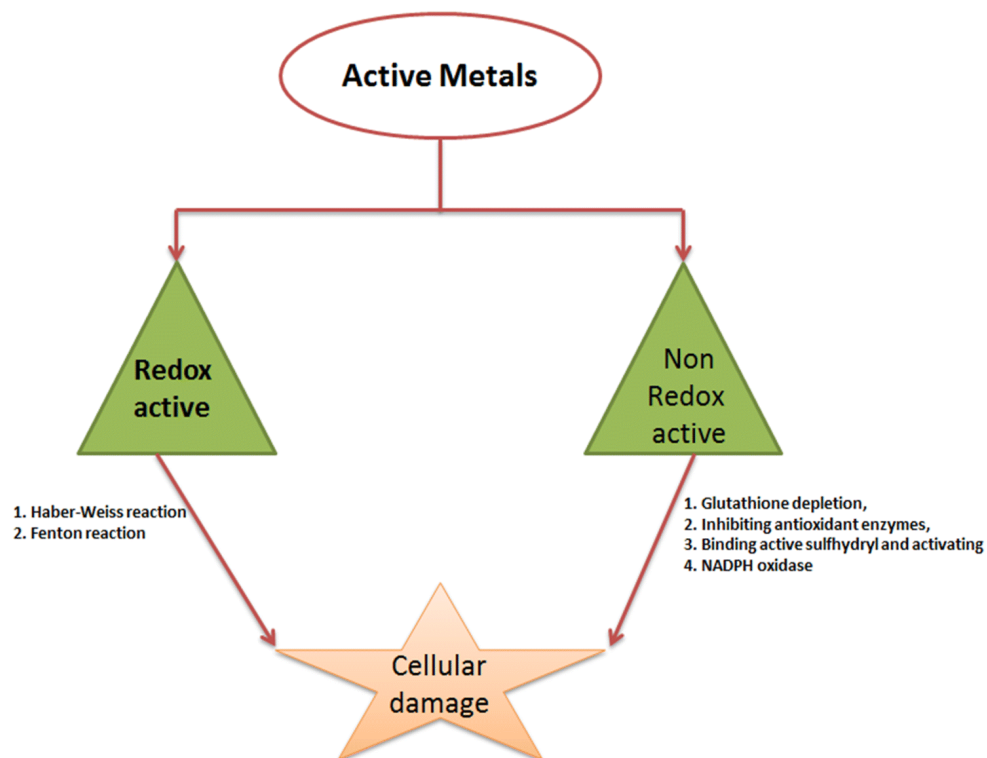


圖 3-1 氧化還原活性和非氧化還原活性金屬產生 ROS 及其細胞損傷模式。



肆、研究方法與過程

一、底泥樣品採樣地點

本計畫選定頭前溪為目標河川，分別於 2023 年 10 月 20 日採集豐水期底泥樣品，以及 2024 年 7 月 10 日採集枯水期底泥樣品。採樣前連續 10 天天氣晴朗，由上游往下游依序進行採樣工作（河川、湖泊及水庫水質採樣通則 NIEA W104.51C）。採樣地點除了上游油羅溪馬胎段處（圖 4-1 之①）、中下游段的「隆恩堰」（圖 4-1 之⑥）和「滿雅取水口」（圖 4-1 之⑦），也包括五華工業區-鹿寮坑溪匯入頭前溪處（圖 4-1 之②③④），竹東沿河工業區中興河道匯入頭前溪處（圖 4-1 之⑤）。兩次採樣選擇相同地點，豐水期樣品則是新增了頭前溪最下游處-舊港島（圖 4-1 之⑧）。

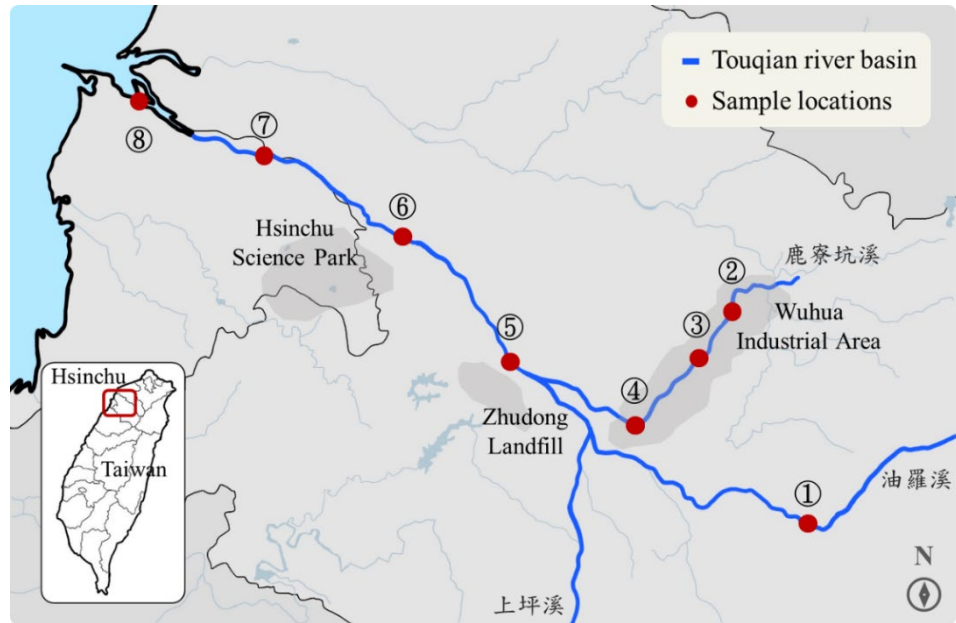


圖 4-1 頭前溪沿岸採樣點

二、底泥樣品處理

採樣當天回實驗室後，立即將新鮮濕土裝至在避光玻璃內，並以含鐵弗龍墊片之上蓋關緊後，再以 parafilm 密封。新鮮土樣寄送至上準環境科技公司檢測重金屬與有機物含量，間隙水與自然風乾土樣經萃取後由清華大學貴重儀器中心檢測重金屬含量。

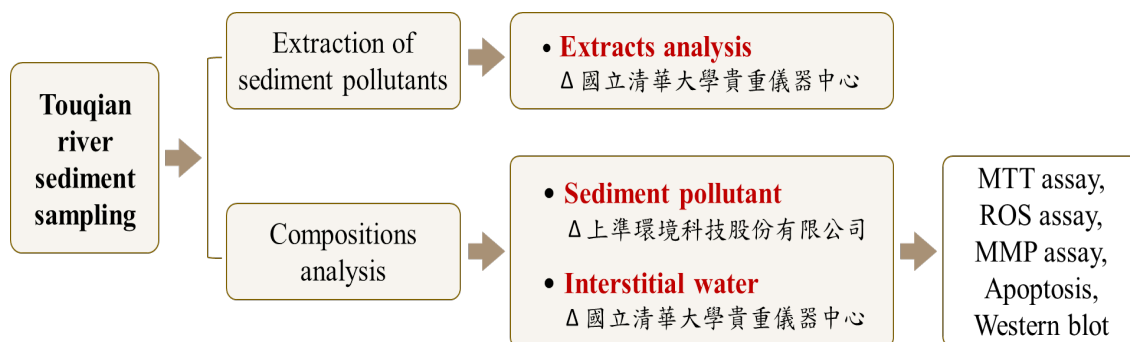


圖 4-2 頭前溪底泥樣品送檢流程



三、底泥樣品萃取方法

本實驗的底泥樣品萃取方法參考 Šrut (2011) 等人發表在 *Toxicology In Vitro* 的文章¹⁸。萃取步驟與流程如圖 4-3 所示。最終萃取後的底泥萃取樣品保存於 4 °C。於生物毒性實驗時，再以細胞培養液進一步稀釋此粗萃取物，最終的萃取物對應的 DMSO 最終濃度為 0.01 至 1 %。

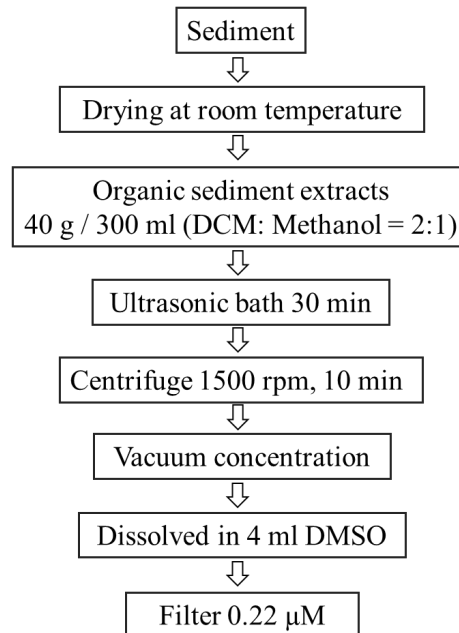


圖 4-3 頭前溪底泥樣品萃取流程

四、間隙水樣品處理方法

本實驗的間隙水樣品來自於底泥樣品離心後並且過濾。將未乾燥的底泥樣品以轉速 1500 rpm 離心 10 分鐘，蒐集上清液後以 0.45 μM 的過濾器過濾，並儲存於避光玻璃樣品瓶當中。

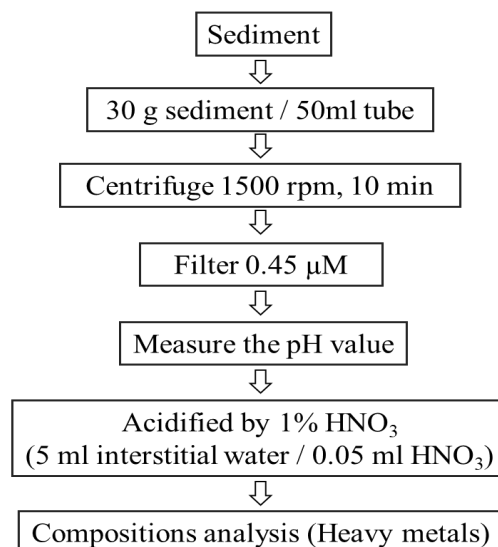


圖 4-4 頭前溪間隙水樣品處理流程



五、汙染物檢測方法

(1) 底泥(濕土樣)-上準環境科技公司

採樣當日立即將樣品分裝至避光玻璃瓶，並且密封後存放於冰箱中。隔日以冷藏運輸方式送至上準環境科技股份有限公司(歐陸檢驗)，進行汙染物檢測。底泥中汙染物質檢測方法如以下(表 4-1, 4-2)所示：

表 4-1 重金屬檢測方式

底泥品質指標	檢測方法	細項
總汞(Total Hg)	NIEA M317.04B	冷蒸氣原子吸收光譜法
鎘(Cd)	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	酸消化法 / 火焰式原子吸收光譜法
銅(Cu)		
鎳(Ni)		
鋅(Zn)		
鉛(Pb)		
鉻(Cr)		
砷(As)	NIEAS310.64B	砷化氫原子吸收光譜法

表 4-2 有機物檢測方式

底泥品質指標	檢測方法	細項
二苯(a,h)駢蒽 (Dibenzo(a,h)anthracene)	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	加壓流體萃取方法 / 半揮發性有機物檢測方法 —氣相層析質譜儀法
節(1,2,3-cd)芘 (Indeno(1,2,3-cd)pyrene)		
萘 (Naphthalene)		
蒽 (Chrysene)		
苯(a)駢蒽 (Benzo(a)anthracene)		
苯(a)駢芘 (Benzo(a)pyrene)		
苯(b)苯駢芘 (Benzo(b)fluoranthene)		
苯(k)苯駢芘 (Benzo(k)fluoranthene)		



(2) 間隙水與萃取液-清華大學貴儀中心

以 ICP-MS 檢測間隙水樣品中所含有的八大重金屬，上機前先以 HNO_3 將間隙水樣品稀釋 500 倍。取間隙水（萃取液）樣品 0.01 mL 放入經 20 % HNO_3 溶液浸泡清洗過的 15 mL 離心管中，加入 4.99 mL 1% (v/v) 超純 HNO_3 將體積定量至 5 mL，即完成樣品製備。

六、汙染物分析方法

(1) CF_i (汙染因子)

Contamination factor, CF_i (汙染因子)，經常被用於監測各採樣點的重金屬汙染水平，計算公式為： $\text{CF}_i = C_{\text{sample}} / C_{\text{background}}$ (C_{sample} ：樣品重金屬濃度； $C_{\text{background}}$ ：重金屬濃度背景值，常選用檢測值最低的樣點作為背景值)。當 CF_i 值小於 1 時，表示該金屬為低度汙染；當 CF_i 值介於 1 到 3 之間時，表示該金屬為中度汙染；當 CF_i 值高於 3 時，表示該金屬為重度汙染。

(2) PLI (汙染負荷指數)

Pollution load index, PLI (汙染負荷指數)，經常被用於評估各採樣點底泥沉積物所有重金屬的汙染程度，計算公式為： $\text{PLI} = (\text{CF}_1 \times \text{CF}_2 \times \text{CF}_3 \times \dots \times \text{CF}_n)^{1/n}$ (CF_n ：各採樣點之 CF 值)。當 PLI 值小於 1 時，表示該採樣點未受汙染；當 PLI 值大於 1 時，表示該採樣點有受到汙染。

七、細胞株與細胞培養

本實驗所選用的細胞株為 HEK-293T，為人類胚胎腎細胞，屬於上表皮細胞，其轉染了猿猴病毒 (SV40) 大 T 抗原。細胞培養使用 10 公分細胞培養皿並加入 8 毫升的培養基，置入細胞培養箱 (37°C ，5% CO_2 ，80% 濕度) 裡培養，視細胞生長情形進行繼代。繼代方式為先以 5 毫升磷酸鹽緩衝生理鹽水 (Phosphate buffered saline, PBS) 清洗細胞表面 2 次，接著加入 0.5 毫升 0.05% 胰蛋白酶 (Trypsin-EDTA)，使細胞從培養皿表面脫落。接著加入 0.5 毫升新鮮培養液將細胞沖下並蒐集，之後將其混和液以 4000 rpm 離心 5 分鐘，再依細胞液適當比例與新鮮培養液混和繼續培養。

八、細胞存活率測定 (MTT assay)

3-(4,5-cimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT) 為黃色化合物，在活細胞中粒線體琥珀酸脫氫酶 (Succinate dehydrogenase, SDH) 作用下，MTT 的四氮唑環會開裂生成藍紫色的甲臍結晶 (Purple formazan)，利用 DMSO 將甲臍溶解，再利用吸光度測定評估細胞存活率，當吸光值越高，表示細胞存活度越高。當細胞生長至 80% 至 90% 滿，加入 0.05% 胰蛋白酶 (Trypsin-EDTA) 並在 37°C 作用之下使細胞懸浮，接著使用血球計數器計算細胞顆數，再以 4,500 cells/well 種在 96 孔盤中。待細胞貼盤後，加入不同濃度的底泥萃取物作用 24 小時與 48 小時。移除培養液，加入 100 μL /well MTT (1 mg/mL) 於 37°C 培養箱作用 3 小時。移除上清液，加入 100 μL /well DMSO 將反應後的結晶紫產物溶解，利用 Microplate reader 以吸收波長 540 nm 偵測 96 孔盤中的吸收光數值。得到的數值須扣除背景值再進行運算 (圖 4-5)。

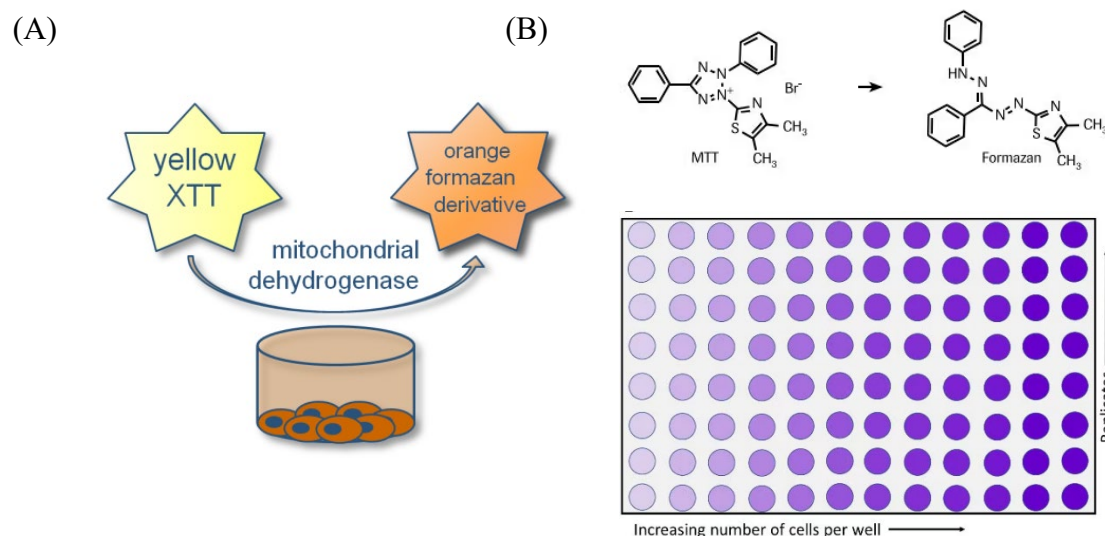


圖 4-5 MTT 作用原理示意圖，利用 O.D.540 nm 偵測細胞還原 MTT 的能力。

(摘錄自 (A)Eurofins company, (B)Sigma-Aldrich®)

九、活性氧螢光探針 (ROS assay)

已知重金屬與有機物為底泥汙染物中常見的物質¹⁹，過去文獻指出，重金屬如：汞(Hg)、鉛(Pb)、鉻(Cr)、鎘(Cd)、砷(As)、銅(Cu)、鐵(Fe)、鋅(Zn)與有機化合物如：鄰苯二甲酸二丁酯(di-n-butylphthalate, DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(butyl benzyl phthalate, BBP)等會誘發細胞產生氧化壓力²⁰，因此本計畫利用 DCFH-DA 來偵測細胞當中是否有活性氧類(Reactive oxygen species, ROS)產生。當 DCFH-DA 進入細胞後，會被細胞中的酯酶去乙酰化，變成沒有螢光的化合物，稱為 DCFH，之後如果 DCFH 遇到 ROS 時，就會被 ROS 氧化成 DCF，並產生綠色螢光，所以可以透過這樣來看細胞中是否有 ROS 的產生 (圖 4-6)。

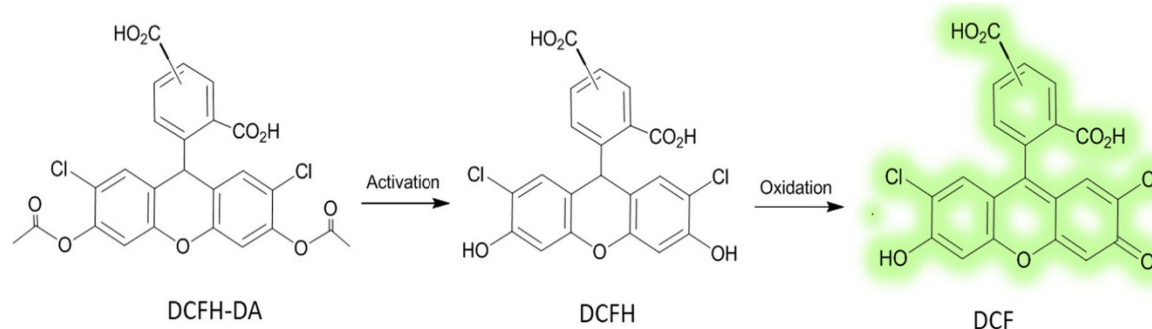


圖 4-6 DCFH-DA 化學結構與作用原理。(摘錄自 Bresolí-Obach, Roger, et al., 2018)²¹。

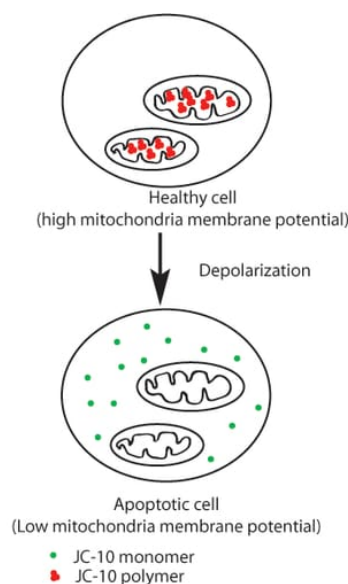
十、粒線體膜電位測定

粒線體在細胞內扮演著很重要的角色，除了供應能量之外，對於細胞訊息傳遞、代謝、凋亡等生理現象都具有影響性，目前已知粒線體膜電位異常時與許多疾病都有關聯。JC-10 染劑可以測量粒線體膜電位變化，當帶正電的 JC-10 染劑進入細胞後，會被粒線體膜上的負電性場所吸引，聚集成發紅色螢光的多聚體；若粒線體膜電位消失



時，JC-10 染劑無法被粒線體吸引，將以單體方式存在於細胞內，呈現綠色螢光。利用流式細胞儀 (flow cytometry) 偵測螢光顏色的變化，可以得知細胞粒線體的健康程度 (圖 4-7)。

圖 4-7 JC-10 染劑於健康細胞 (Healthy cell) 內發出紅色螢光；於凋亡細胞 (Apoptosis) 中發出綠色螢光。(摘錄自 G-Biosciences Company)



十一、西方點墨法

西方點墨法被廣泛用來比較蛋白質表現差異。將細胞以不同條件處理後，再以 PBS 清洗殘餘的細胞培養液，並添加適量 NP-40，經 13000 rpm，離心 30 分鐘後，上清液為我們所要的蛋白質液。將蛋白質樣品以 Bradford assay 定量後，加入 5 倍的 sample buffer，使用 95°C 乾熱槽加熱 20 分鐘使蛋白質構型呈現線狀。將蛋白質樣品置於 12% polyacrylamide 樣品槽中進行 SDS-PAGE，電泳結束後將膠片中的蛋白轉漬到 PVDF membrane 上，將 PVDF membrane 至於 5% 脫脂奶粉中 blocking 1 小時。將 membrane 裁切後加入特定的一級抗體(primary antibody)，依照依及抗體種類，置於 4°C 中搖晃 1 至 3 天後，再以 TBST 清洗 6 次，每次 10 分鐘，之後加入二級抗體(secondary antibody)辨識一級抗體，也是以 TBST 清洗 6 次，每次 10 分鐘。加入 ECL 試劑激發接在二級抗體上的冷光基團，以冷光儀偵測蛋白質表現，以 Image Lab 進行定量 (圖 4-8)。

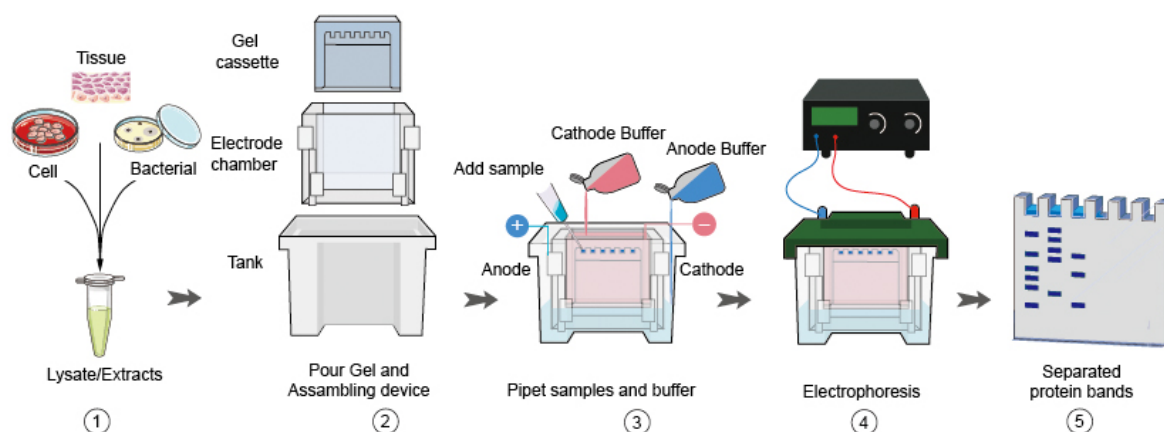


圖 4-8 西方點墨法流程示意圖。(摘錄自 Creative Diagnostics Company)

十二、統計分析

實驗結果進行了分析將透過雙尾學生 t-檢驗 (two-tailed student t-test) 進行跨樣品比較，並以 $p < 0.05$ 代表有統計的差異 (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; and ***, $p < 0.001$)。



十三、工作進度甘特圖

年月 工作項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備註
樣品送測結果之數據統整與分析													透過送測結果之數據分析，了解各採樣點之間的底泥成分差異性。
細胞存活率測定 (MTT assay)													
活性氧螢光探針 (ROS assay)						※							
粒線體膜電位測定 (MMP assay)													
西方墨點法 (Western blotting)												※	
工作進度估計百分比 (累積數)	5%	15%	25%	35%	45%	55%	65%	70%	75%	80%	85%	100%	
預定查核點	期中		(1) 完成 MTT assay，選定後續實驗所要使用的底泥萃取液濃度。 (2) 透過 ROS assay，檢測底泥萃取液中的污染物是否誘導細胞產生氧化壓力。										
	成果		(1) 完成 ROS assay，檢測底泥污染物誘導細胞氧化壓力的結果。 (2) 完成粒線體膜電位測定，得知細胞粒線體的健康程度。 (3) 利用 Western blotting，檢測底泥生物毒性的分子機轉。										
說明： 1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。 2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：(1)工作天數，(2)經費之分配，(3)工作量之比重，(4)擬達成目標之具體數字。 3、「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。 4、以 12 個月作規劃，其中期中報告書初稿提送要件需達計畫執行進度 50%以上，成果報告書初稿需於計畫結束前 1.5 個月提送。													



伍、 結果與討論

一、採樣點分組

將枯水期時於頭前溪流域七處採樣點採集回來的底泥樣品，以及豐水期時於頭前溪流域八處採樣點採集回來的底泥樣品，皆分成三個組別進行討論。表層樣品採集於水體之下 0-15 公分處的底泥，深層樣品採集於水體之下 45 公分以下的底泥。

第一組為表層樣品，採集於家庭污水區、工業廢水區以及取水口，此組別將針對不同水體下沉積的底泥進行分析與比較；第二組為表層與深層樣品，採集於竹東、隆恩堰以及湳雅取水口，豐水期則新增頭前溪下游之表層與深層樣品，此組別將針對不同深度的底泥進行分析與比較；第三組為鹿寮坑溪上、中、下游的表層樣品，此組別將針對頭前溪支流鹿寮坑溪沿岸工業廢水的污染情形進行分析與比較。

二、 不同季節之污染物成份分析比較

1. 底泥樣品重金屬分析：

首先，將底泥樣品進行八大重金屬污染物分析，檢測結果如下(表 5-1 左圖)所示。對照國內環境部所訂定的底泥指標，發現在枯水期樣品中檢測到銅、鎳、鋅、鉻檢測值超過規範下限值，尤其以竹東沿河工業區中興河道的底泥為最；其他四種重金屬汞、鎘、鉛、砷的檢測值皆低於規範的下限值或沒有檢測到。除了對照國內環境部所訂定的底泥指標之外，我們也利用美國國家環境保護局 (US EPA) 所制定的底泥規範進行重金屬檢測結果分析(表 5-1 右圖)。銅、鎳、鋅、鉻檢測值已達 US EPA 規範的重度污染之外，部分採樣點的砷也高於中度污染的規範值。由此可以得知國內環境部對於底泥污染物的規範較 US EPA 為寬鬆。

表 5-1 頭前溪全河段樣點八大重金屬檢測結果(枯水期)

Higher than the upper limit	Between upper and lower limits	Below the lower limit	ND
-----------------------------	--------------------------------	-----------------------	----



	EMA											
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		湳雅取水口		頭前溪下游	
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層
Hg					<0.100	<0.100						
Cd												
Cu		15.5	16.4	14.4	23.7	51.4	74.4	10.3	11	9.92	9.88	
Ni		30.4	28.6	75.9	68.1	15.9	51	26.5	28.1	25.5	24	
Zn		89.5	110	76	106	111	202	59.4	61.1	67.8	60.2	
Pb		19.4	14.4	11.1	14.2	27.1	14.7	12.6	13.6	13.1	12.1	
Cr		20.6	29.1	27.4	30.6	19.1	139	20.5	22.1	20.3	20.5	
As		4.25	2.52	2.08	2.26	3.16	2.06	4.5	3.07	2.7	3.42	

	US EPA											
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		湳雅取水口		頭前溪下游	
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層
Hg					<0.100	<0.100						
Cd												
Cu		15.5	16.4	14.4	23.7	51.4	74.4	10.3	11	9.92	9.88	
Ni		30.4	28.6	75.9	68.1	15.9	51	26.5	28.1	25.5	24	
Zn		89.5	110	76	106	111	202	59.4	61.1	67.8	60.2	
Pb		19.4	14.4	11.1	14.2	27.1	14.7	12.6	13.6	13.1	12.1	
Cr		20.6	29.1	27.4	30.6	19.1	139	20.5	22.1	20.3	20.5	
As		4.25	2.52	2.08	2.26	3.16	2.06	4.5	3.07	2.7	3.42	



豐水期時，當對照國內環境部所訂定的底泥指標，發現在豐水期樣品中檢測到鎳、鋅、鉛檢測值超過規範下限值，其中鎳的檢測值甚至高於規範的上限值；其他五種重金屬汞、鎘、銅、鉻、砷的檢測值皆低於規範的下限值或沒有檢測到(表 5-2 左圖)。而在美國國家環境保護局 (US EPA) 所制定的底泥規範重金屬檢測結果分析發現，除了鎳、鋅、鉛檢測值達 US EPA 規範的重度污染之外，部分採樣點的鎘、銅、鉻、砷也高於中度污染的規範值(表 5-2 右圖)。同樣由此得知不論是枯水期或是豐水期都觀察到國內環境部對於底泥污染物的規範較 US EPA 寬鬆。

表 5-2 頭前溪全河段樣點八大重金屬檢測結果(豐水期)

Higher than the upper limit	Between upper and lower limits	Below the lower limit	ND
-----------------------------	--------------------------------	-----------------------	----



EMA													
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		滿雅取水口		頭前溪下游		
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層	
Hg	<0.100				<0.100	0.139					<0.100	<0.101	
Cd					<0.500	<0.500							
Cu	15.7	16.6	32.3	25.6	27.6	36.4	11.9	11.2	9.76	40.6	35.9	28.2	
Ni	33.2	30.7	202	75.6	23.9	27.1	27.7	30.9	27.9	25.8	32.2	30.4	
Zn	92.1	81	108	110	317	163	68.1	66.2	56.9	55.7	103	87.4	
Pb	17.9	12.1	12.2	13	145	24.1	12.6	13.0	12.5	11.1	22.1	19.7	
Cr	25.6	31.9	38	25.5	29.6	28.0	25.0	23.2	19.5	16.1	30.9	27.6	
As	4.03	2.24	1.18	2.19	2.37	3.36	3.68	3.90	4.69	4.11	5.12	4.43	

US EPA													
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		滿雅取水口		頭前溪下游		
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層	
Hg	<0.100				<0.100	0.139					<0.100	<0.101	
Cd					<0.500	<0.500							
Cu	15.7	16.6	32.3	25.6	27.6	36.4	11.9	11.2	9.76	40.6	35.9	28.2	
Ni	33.2	30.7	202	75.6	23.9	27.1	27.7	30.9	27.9	25.8	32.2	30.4	
Zn	92.1	81	108	110	317	163	68.1	66.2	56.9	55.7	103	87.4	
Pb	17.9	12.1	12.2	13	145	24.1	12.6	13.0	12.5	11.1	22.1	19.7	
Cr	25.6	31.9	38	25.5	29.6	28.0	25.0	23.2	19.5	16.1	30.9	27.6	
As	4.03	2.24	1.18	2.19	2.37	3.36	3.68	3.90	4.69	4.11	5.12	4.43	

當我們比較不同季節的重金屬濃度時，從國內環境部所訂定的底泥指標，發現豐水期樣品中檢測到鎳、鋅、鉛高於枯水期，而銅、鉻的檢測值則是枯水期比較高(表 5-3)。

表 5-3 不同季節頭前溪全河段樣點八大重金屬的比較 (環境部規範)

Dry Season					Wet Season				
Heavy metals	Not polluted	Moderately polluted	Heavily polluted	Present study	Heavy metals	Not polluted	Moderately polluted	Heavily polluted	Present study
Hg	< 0.23	0.23 – 0.87	> 0.87	<0.1	Hg	< 0.23	0.23 – 0.87	> 0.87	< 0.1 – 0.139
Cd	< 0.65	0.65 – 2.49	> 2.49	ND	Cd	< 0.65	0.65 – 2.49	> 2.49	< 0.5
Cu	< 50	50 – 157	> 157	9.88 – 74.4	Cu	< 50	50 – 157	> 157	9.76 – 40.6
Ni	< 24	24 – 80	> 80	15.9 – 75.9	Ni	< 24	24 – 80	> 80	23.9 – 202
Zn	< 140	140 – 384	> 384	59.4 – 202	Zn	< 140	140 – 384	> 384	55.7 – 317
Pb	< 48	48 – 161	> 161	11.1 – 27.1	Pb	< 48	48 – 161	> 161	11.1 – 145
Cr	< 76	76 – 233	> 233	19.1 – 139	Cr	< 76	76 – 233	> 233	16.1 – 38.0
As	< 11	11 – 33	> 33	2.06 – 4.5	As	< 11	11 – 33	> 33	1.18 – 5.12



當然在美國國家環境保護局 (US EPA) 所制定的底泥規範重金屬檢測結果分析也有一樣的現象。此外，我們還發現有比較多樣點的汞、鎘含量會在豐水期被檢測出來(表 5-4)。一般而言，豐水期時頭前溪的底泥重金屬污染情形較枯水期嚴重(表 5-5)。

表 5-4 不同季節頭前溪全河段樣點八大重金屬的比較 (EPA 規範)

Dry Season					Wet Season				
Heavy metals	Not polluted	Moderately polluted	Heavily polluted	Present study	Heavy metals	Not polluted	Moderately polluted	Heavily polluted	Present study
Hg	< 1.8	-	-	<0.1	Hg	< 1.8	-	-	< 0.1 – 0.139
Cd	-	< 6	> 6	ND	Cd	-	< 6	> 6	< 0.5
Cu	< 25	25 - 50	> 50	9.88 – 74.4	Cu	< 25	25 - 50	> 50	9.76 – 40.6
Ni	< 20	20 – 50	> 50	15.9 – 75.9	Ni	< 20	20 – 50	> 50	23.9 – 202
Zn	< 90	90 – 200	> 200	59.4 – 202	Zn	< 90	90 – 200	> 200	55.7 – 317
Pb	< 40	40 – 60	> 60	11.1 – 27.1	Pb	< 40	40 – 60	> 60	11.1 – 145
Cr	< 25	25 – 75	> 75	19.1 – 139	Cr	< 25	25 – 75	> 75	16.1 – 38.0
As	< 3	3 - 8	> 8	2.06 - 4.5	As	< 3	3 - 8	> 8	1.18 – 5.12

表 5-5 不同季節頭前溪全河段樣點八大重金屬的比較 (數值資料)

													Larger value		Smaller value			
Dry Season																		
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		滿雅取水口		頭前溪下游							
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層						
Hg					<0.100	<0.100												
Cd																		
Cu	15.5	16.4	14.4	23.7	51.4	74.4	10.3	11	9.92	9.88								
Ni	30.4	28.6	75.9	68.1	15.9	51	26.5	28.1	25.5	24								
Zn	89.5	110	76	106	111	202	59.4	61.1	67.8	60.2								
Pb	19.4	14.4	11.1	14.2	27.1	14.7	12.6	13.6	13.1	12.1								
Cr	20.6	29.1	27.4	30.6	19.1	139	20.5	22.1	20.3	20.5								
As	4.25	2.52	2.08	2.26	3.16	2.06	4.5	3.07	2.7	3.42								

Wet Season																		
	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		滿雅取水口		頭前溪下游							
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層						
Hg	<0.100				<0.100	0.139							<0.100	<0.101				
Cd					<0.500	<0.500												
Cu	15.7	16.6	32.3	25.6	27.6	36.4	11.9	11.2	9.76	40.6	35.9	28.2						
Ni	33.2	30.7	202	75.6	23.9	27.1	27.7	30.9	27.9	25.8	32.2	30.4						
Zn	92.1	81	108	110	317	163	68.1	66.2	56.9	55.7	103	87.4						
Pb	17.9	12.1	12.2	13	145	24.1	12.6	13.0	12.5	11.1	22.1	19.7						
Cr	25.6	31.9	38	25.5	29.6	28.0	25.0	23.2	19.5	16.1	30.9	27.6						
As	4.03	2.24	1.18	2.19	2.37	3.36	3.68	3.90	4.69	4.11	5.12	4.43						

由於不同重金屬的毒性高低有所不同，檢測出的濃度值不一定能完全代表其污染程度，因此我們可以透過 CFI(污染因子) 與 PLI(污染負荷指數) 的計算，來評估各區域底泥重金屬的綜合污染程度。我們以 CFI 值計算各採樣點之 PLI 值，用於評估各個採樣點重金屬累加污染程度，當 PLI 值小於 1 時，表示該採樣點未受污染；當 PLI 值大於 1 時，表示該採樣點為污染區。在此分成三個組別進行說明。



第一組為表層樣品，由計算結果可以得知表層採樣點的汙染程度依序為：鹿寮坑溪或竹東>油羅溪馬胎段>隆恩堰>湳雅取水口，也就是複合型重金屬汙染程度是工業廢水>家庭汙水>取水口(圖 5-1)。其中，豐水期時竹東的 PLI 值上揚與下游樣點的高 PLI 值都值得注意。

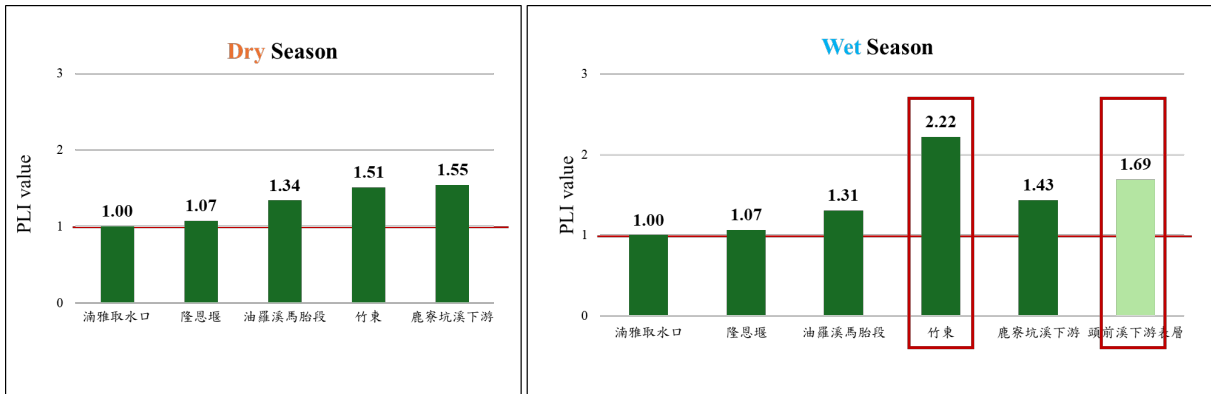


圖 5-1 表層樣品重金屬汙染程度：鹿寮坑溪下游 > 竹東 > 油羅溪馬胎段 > 隆恩堰 > 湳雅取水口（枯水期）；竹東 > 鹿寮坑溪下游 > 油羅溪馬胎段 > 隆恩堰 > 湳雅取水口（豐水期）

第二組為表層與深層樣品的比較，可以明顯看出枯水期在竹東的深層底泥樣品檢測到較多的八大重金屬，汙染情形嚴重；豐水期在竹東和下游樣點則是表層底泥汙染情形嚴重；而兩個取水口的表層與深層樣品差異不大(圖 5-2)。比較竹東和下游樣點的表層與深層底泥樣品中重金屬含量可以看出，枯水期時重金屬傾向沉積於深層底泥當中；豐水期則容易釋出於表層底泥(圖 5-3)。

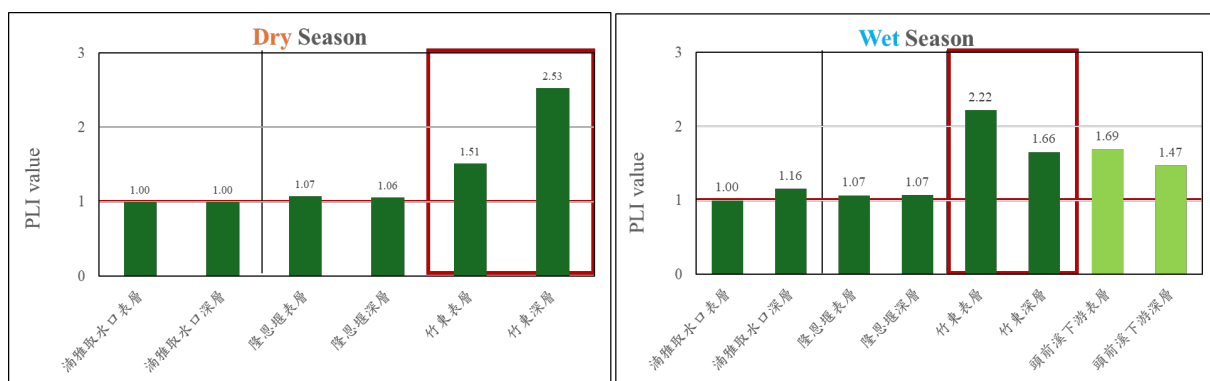


圖 5-2 表層與深層樣品重金屬汙染程度：湳雅表層 ≈ 湳雅深層；隆恩堰表層 ≈ 隆恩堰深層；竹東表層 < 竹東深層（枯水期）；湳雅表層 ≈ 湳雅深層；隆恩堰表層 ≈ 隆恩堰深層；竹東表層 > 竹東深層；頭前溪下游表層 > 頭前溪下游深層（豐水期）

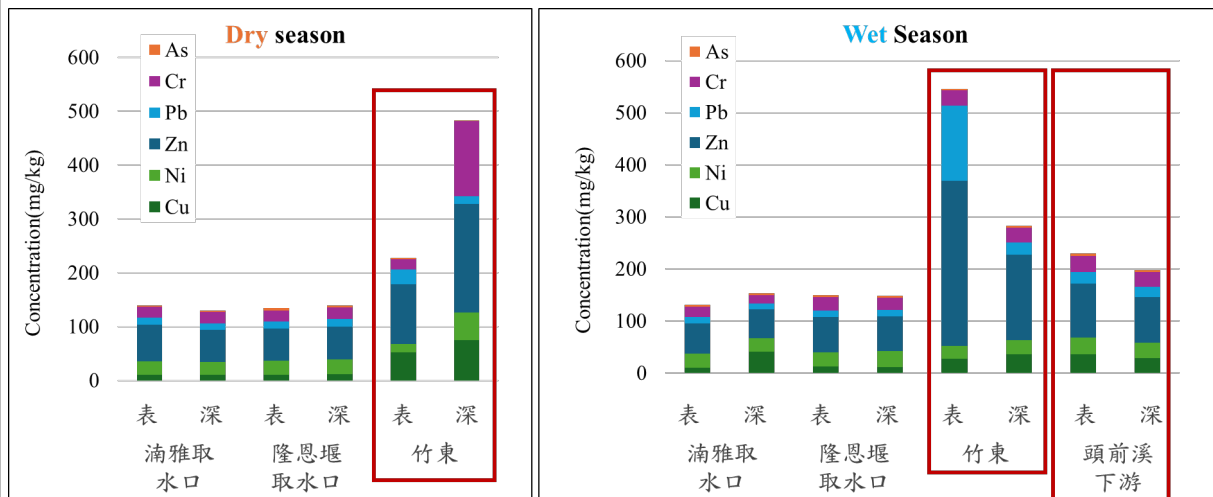


圖 5-3 表層與深層樣品重金屬總濃度：涌雅表層 ≈ 涌雅深層；隆恩堰表層 ≈ 隆恩堰深層；竹東表層 < 竹東深層（枯水期）；涌雅表層 ≈ 涌雅深層；隆恩堰表層 ≈ 隆恩堰深層；竹東表層 > 竹東深層；頭前溪下游表層 > 頭前溪下游深層（豐水期）

第三組為鹿寮坑溪上、中、下游的表層樣品。此組別將針對鹿寮坑溪沿岸，工業廢水的污染情形進行分析與比較。由結果可以得知鹿寮坑溪的污染程度在不同季節有所不同，枯水期依序為：下游>中游≈上游；豐水期依序為：中游>下游>上游(圖 5-4)。

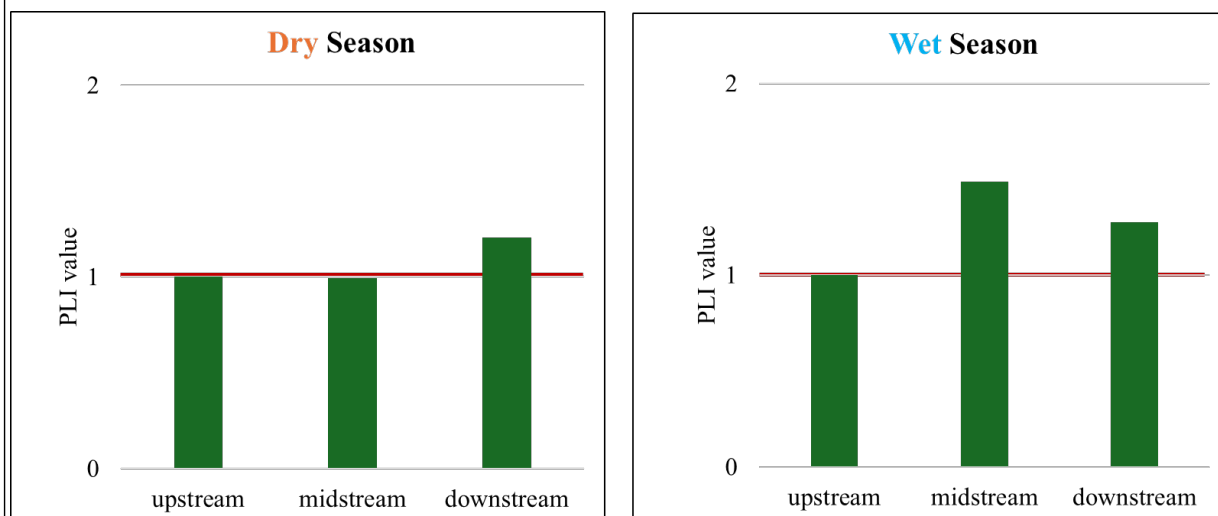


圖 5-4 鹿寮坑溪上、中、下游的表層樣品重金屬污染程度

2. 底泥樣品有機物分析：

比起重金屬，有機化合物向來不容易在水體或底泥被驗出。資料顯示枯水期時在竹東表層的樣品中檢測到比較多種類的有機物，其中苯的含量高於國內環境部底泥指標規範之下限值；豐水期時明顯比較多種類的有機物在更多頭前溪樣點被檢測出來，其中 DEHP 的含量不僅大幅增加，而且高於國內環境部底泥指標規範之下限值（表 5-6）。



表 5-6 不同季節頭前溪全河段樣點有機化合物的比較

Dry Season													Wet Season												
底泥品質指標項目	油羅 溪馬 胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		湳雅 取水口		頭前溪 下游		底泥品質指標項目	油羅 溪馬 胎段	鹿寮坑溪			竹東		隆恩堰		湳雅 取水口		頭前溪 下游	
		上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層			上游	中游	下游	表層	深層	表層	深層	表層	深層	表層	深層
多環芳烴化合物	二苯(a,h)駢萘												多環芳烴化合物	二苯(a,h)駢萘											
	蒽(1,2,3-cd)芘													蒽(1,2,3-cd)芘											
	茶	<0.02 0			0.16	<0.02 0								茶	<0.0 20			<0.0 20	0.041					<0.0 20	<0.0 20
	蒽	<0.02 0			<0.02 0									蒽	<0.0 20			<0.0 20						<0.0 20	<0.0 20
	苯(a)駢萘				<0.02 0									苯(a)駢萘				<0.0 20						<0.0 20	
	苯(a)駢芘													苯(a)駢芘				<0.0 20						<0.0 20	
	苯(b)苯駢萘				<0.02 0									苯(b)苯駢萘				<0.0 20		<0.0				<0.0 20	<0.0 20
塑化劑	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (DEHP)	<0.50 0			0.774	1.06							塑化劑	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (DEHP)	<0.5 00	<0.5 00	0.805	0.658	6.23	7.90	<0.5 00	<0.5 00	<0.5 00	0.992	0.758
	鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP)													鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP)				<0.5 00							
	鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP)													鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP)											
	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯 (BBP)													鄰苯二甲酸丁基苯甲酯 (BBP)											
Higher than the upper limit		Between upper and lower limits			Below the lower limit		ND																		

3. 間隙水樣品重金屬分析：

將底泥樣品離心後過濾，取得間隙水樣品，並進行重金屬含量分析，由檢測結果可以看出，間隙水中所含有的重金屬濃度非常低。由於國內環境部沒有制定間隙水汙染指標，所以我們直接與 US EPA 規範比較，結果顯示：雖然間隙水中的重金屬含量在不同季節都皆低於規範值，值得注意的是，豐水期重金屬含量明顯高於枯水期，而且下游是唯一驗出汞的樣點 (表 5-7)。

表 5-7 不同季節頭前溪間隙水重金屬檢測結果

Dry Season									Wet Season								
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb		Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
湳雅	2.764	3.305	4.605	16.88	3.709	0.057	ND	1.201	湳雅	5.447	5.453	10.17	54.35	4.587	0.138	ND	3.147
	2.123	1.342	3.299	15.11	1.175	0.058	ND	0.643		6.043	3.624	9.397	20.79	3.19	0.121	ND	2.423
隆恩堰	1.594	0.831	3.641	32.38	1.609	0.066	ND	0.751	隆恩堰	5.603	1.997	6.099	17.69	2.466	0.127	ND	1.784
	2.547	2.147	3.845	21.68	1.099	0.049	ND	0.872		5.085	14.75	7.982	27.06	9.043	0.04	ND	1.947
竹東	2.489	2.203	3.591	67.70	1.411	0.047	ND	1.054	竹東	5.719	3.661	5.98	14.46	4.242	0.104	ND	2.007
	2.647	1.252	5.101	123.7	1.246	0.219	ND	1.925		4.231	1.825	4.523	10.45	4.012	0.069	ND	1.347
五華	2.751	2.107	4.185	21.05	2.119	0.089	ND	1.182	五華	5.939	2.53	8.719	23.72	1.858	0.167	ND	2.284
	2.843	5.205	7.038	27.90	1.661	0.087	ND	0.910		6.185	24.59	65.09	25.74	3.075	0.588	ND	2.168
下游									下游	6.728	6.095	7.405	25.23	3.453	0.115	0.155	1.23
										9.445	3.984	4.975	14.11	5.015	0.173	0.086	1.487



4. 萃取液樣品重金屬分析：

為了進行細胞毒性測試，我們將河川底泥有機萃取。在油羅溪馬胎段和鹿寮坑溪的底泥萃取液中，皆有檢測到**鎘、銅、鎳、鋅、鉛和砷**；在湳雅取水口的底泥萃取液中檢測到**鉛和砷**；在隆恩堰的底泥萃取液中檢測到**銅和鉛**。由目前枯水期底泥萃取液的重金屬檢測結果可以看出，工業廢水萃取的重金屬種類最多且濃度最高，而取水口相對種類較少且濃度較低（表 5-8）。

表 5-8 萃取液中重金屬檢測結果（枯水期）

底泥品質指標項目	湳雅取水口	隆恩堰	油羅溪馬胎段	鹿寮坑溪
汞 (Hg)	ND	ND	ND	ND
鎘 (Cd)	ND	ND	0.0006	0.0036
銅 (Cu)	ND	0.0269	0.0040	0.0988
鎳 (Ni)	ND	ND	0.0148	0.1290
鋅 (Zn)	ND	ND	0.7683	0.0676
鉛 (Pb)	0.0052	0.0128	0.0273	0.1397
鉻 (Cr)	ND	ND	ND	ND
砷 (As)	0.0030	ND	0.0041	0.0042

(Unit : mg/l=ppm)

5. 萃取液中具有腎毒性的重金屬：

在先前國科會的研究計畫中，我們完成新竹客雅溪底泥對 19 種人類細胞株的生物累積效應分析。藉由細胞存活率實驗 (MTT assay) 結果發現，底泥污染物對於人體的生殖以及泌尿系統的細胞株影響最為顯著（圖 5-5），因此在本計畫我們將選用泌尿系統中的腎臟細胞進行後續的生物實驗與討論。

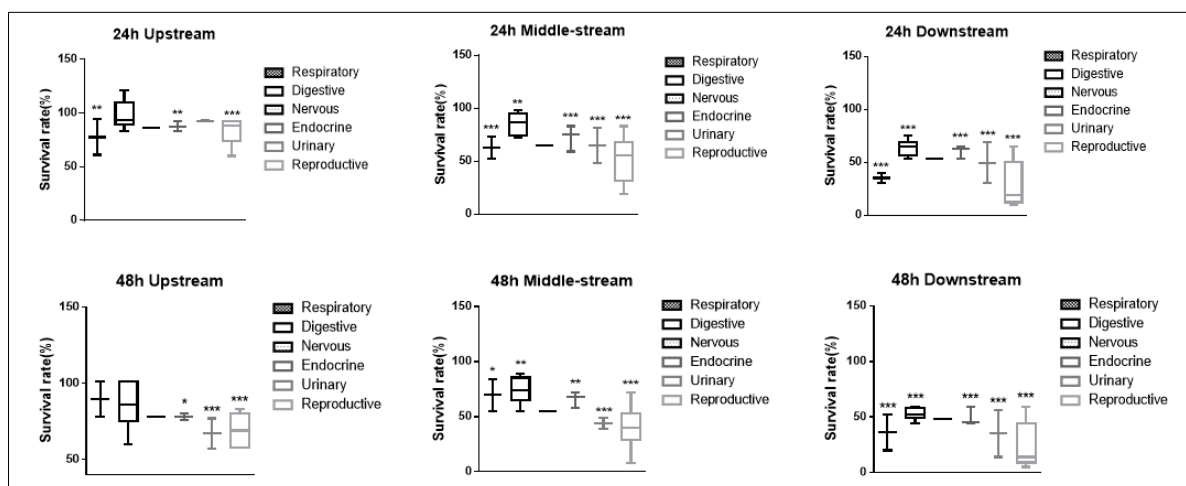


圖 5-5 新竹客雅溪底泥細胞存活率實驗結果 (N=3, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; and ***, $p < 0.001$)



此外，八大重金屬的汞、鎘、鉛和砷為具有較高腎毒性的四種金屬。因此我們在萃取液的重金屬檢測結果當中，挑選出此四種重金屬的檢測值，將其總濃度值繪製成柱狀圖（圖 5-6）。由此圖可以看出，四個表層樣品萃取液具腎毒性的重金屬含量依序為：鹿寮坑溪>油羅溪馬胎段>隆恩堰>湍雅取水口。

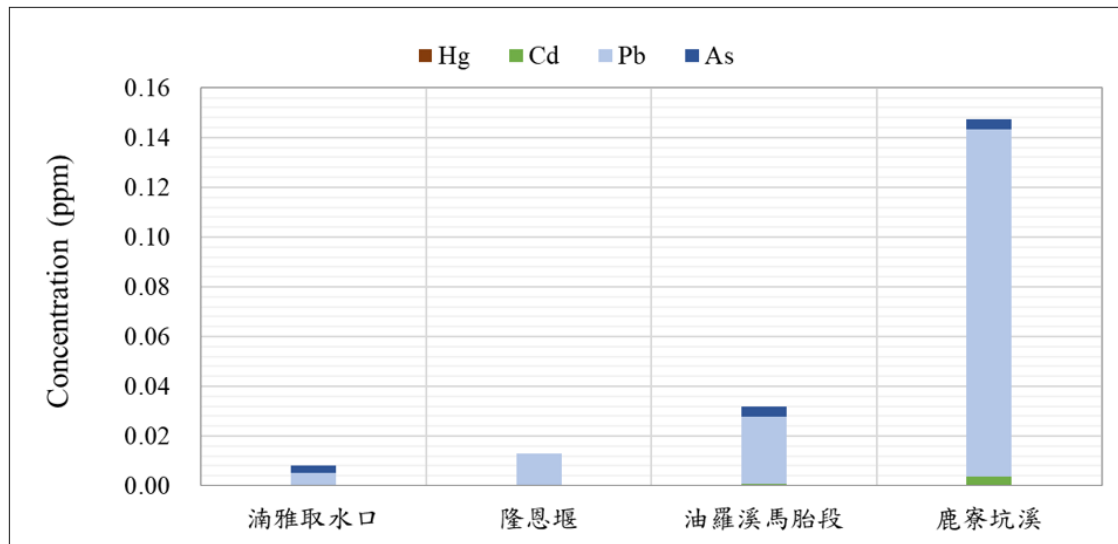


圖 5-6 表層樣品萃取液具腎毒性的重金屬總濃度

三、 枯水期表層樣品實驗結果

1. 表層樣品

四個表層樣品分別採集於上游油羅溪馬胎段處、鹿寮坑溪下游處、中下游段的「隆恩堰」和「湍雅取水口」（圖 5-7）。在上游油羅溪馬胎段處，匯集了來自於尖石鄉家庭所產生的污水，因此我們將此樣點定義為家庭污水區；鹿寮坑溪位於五華工業區內，在下游處匯集了整個工業區所產生的工業廢水，因此我們將此樣點定義為工業廢水區；中下游段的「隆恩堰」和「湍雅取水口」為新竹地區飲用水的取得處，因此我們將這兩個樣點定義為取水口 1 和取水口 2。

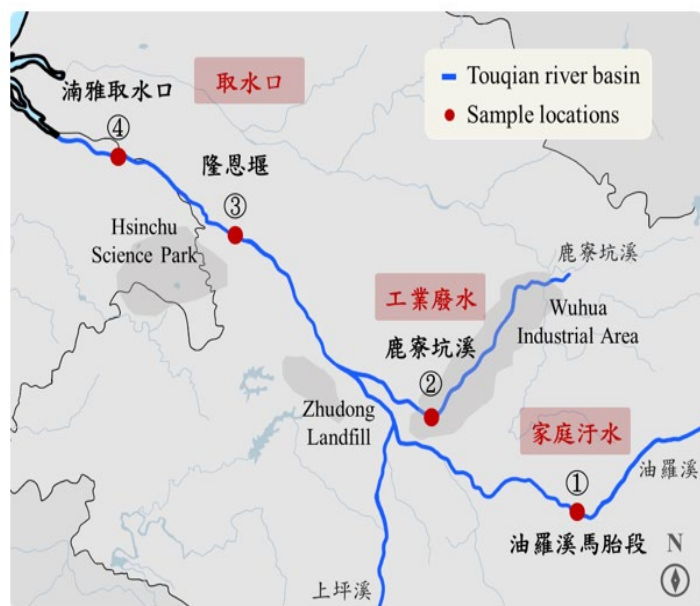


圖 5-7 四個表層樣品採集處



2. 重金屬污染物分析

以底泥樣品中的重金屬檢測結果計算 CF_i 值 (污染因子)，以評估四個表層底泥樣品中各重金屬的污染程度。當 CF_i 值小於 1 時，表示該金屬為低度污染；當 CF_i 值界於 1 到 3 之間時，表示該金屬為中度污染；當 CF_i 值高於 3 時，表示該金屬為重度污染。利用 US EPA 規範值作為背景值，所計算出的 CF_i 結果 (圖 5-8)，可以得知表層底泥樣品中重金屬的污染程度依序為：鎳>鋅≒鉻≒砷。

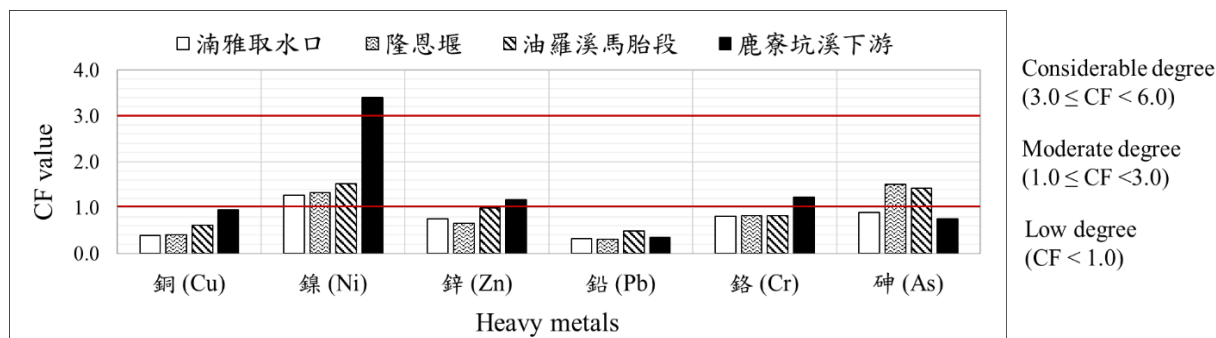


圖 5-8 表層樣品 CF_i 值

進一步以 CF_i 計算各採樣點之 PLI 值，用於評估各個採樣點的重金屬綜合污染程度，當 PLI 值小於 1 時，表示該採樣點未受污染；當 PLI 值大於 1 時，表示該採樣點有受到污染。由結果可以得知四個表層採樣點的污染程度高低依序為：鹿寮坑溪>油羅溪馬胎段>隆恩堰>滴雅取水口 (圖 5-9)，也就表示不同水體下沉積的底泥污染程度高低依序為：工業廢水區>家庭汙水區>取水口。

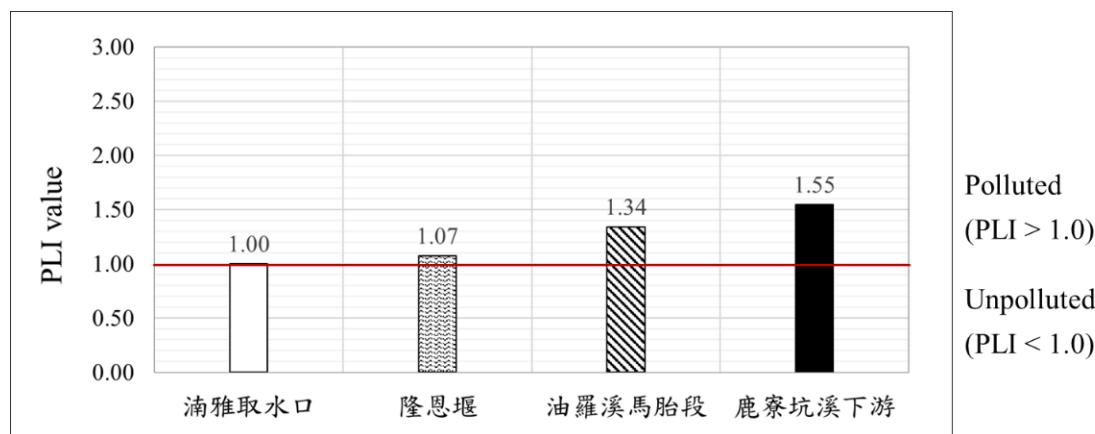


圖 5-9 表層樣品 PLI 值計算結果

3. 細胞存活率測定 (MTT assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層底泥萃取物 24 小時及 48 小時後，尤其在越高濃度處理時，其細胞存活率趨勢為：滴雅取水口>隆恩堰>油羅溪馬胎段>鹿寮坑溪下游 (圖 5-10)。選擇細胞存活率最接近 IC_{50} 的濃度，0.5% DMSO、0.5% 底泥萃取液濃度，以及反應時間 24 小時作為後續實驗條件。

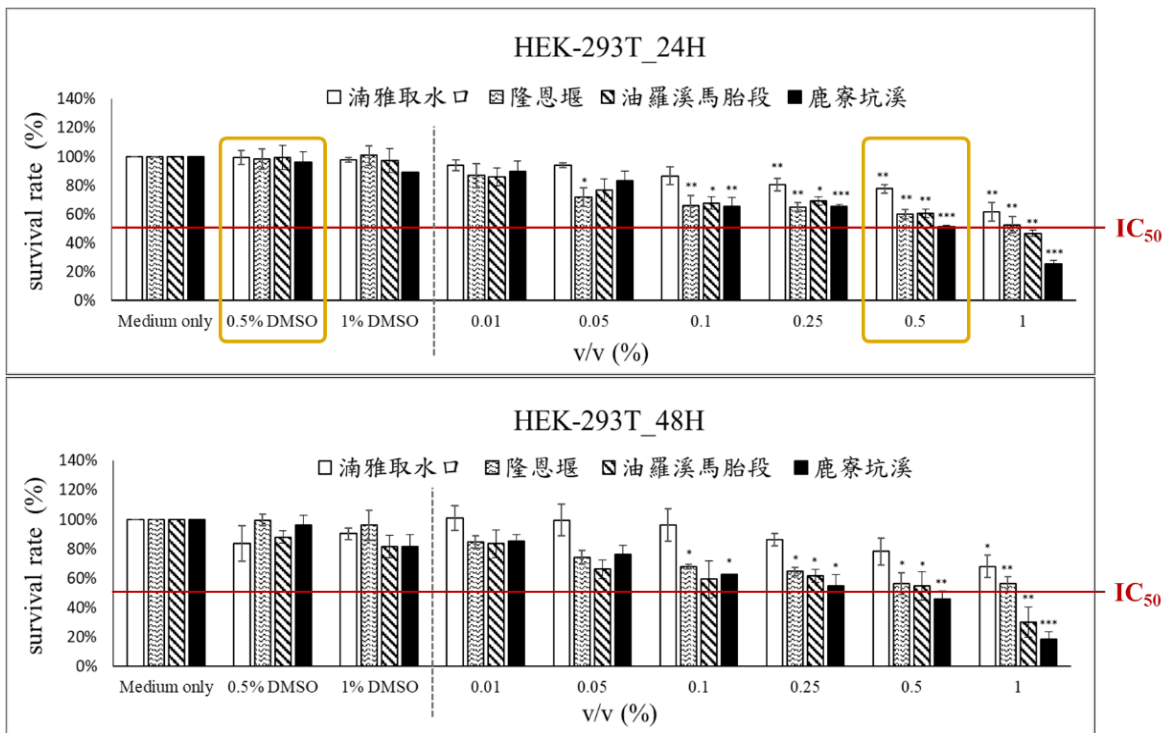


圖 5-10 表層樣品萃取液處理之腎臟細胞存活率 (N=3, *, p < 0.05; **, p < 0.01; and ***, p < 0.001)

4. 活性氧螢光探針 (ROS assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層底泥萃取物 24 小時後，所產生的活性氧類顯著增加，其高低依序為：鹿寮坑溪下游>油羅溪馬胎段>浦雅取水口>隆恩堰 (圖 5-11)。

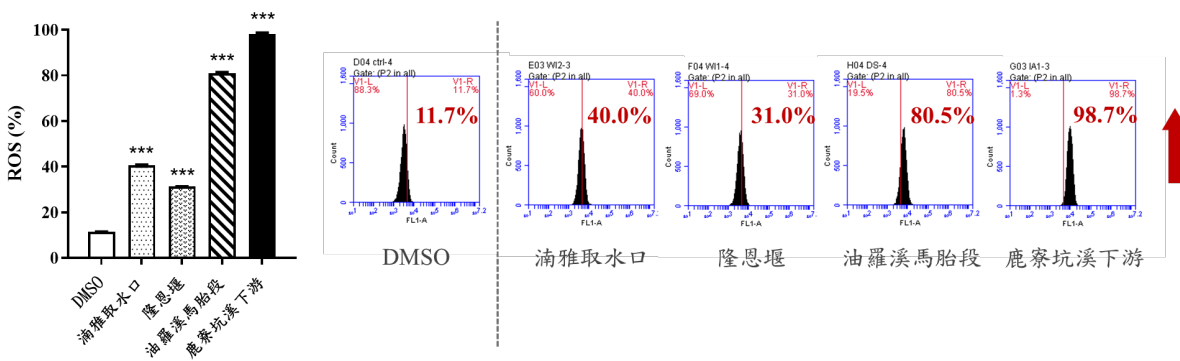


圖 5-11 暴露於表層樣品後產生的活性氧類比較 (N=3, ***, p < 0.001)



5. 粒線體膜電位測定 (MMP assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層底泥萃取物 24 小時後，細胞的粒線體膜電位顯著下降，其高低依序為：滿雅取水口>隆恩堰≡油羅溪馬胎段>鹿寮坑溪下游 (圖 5-12)。

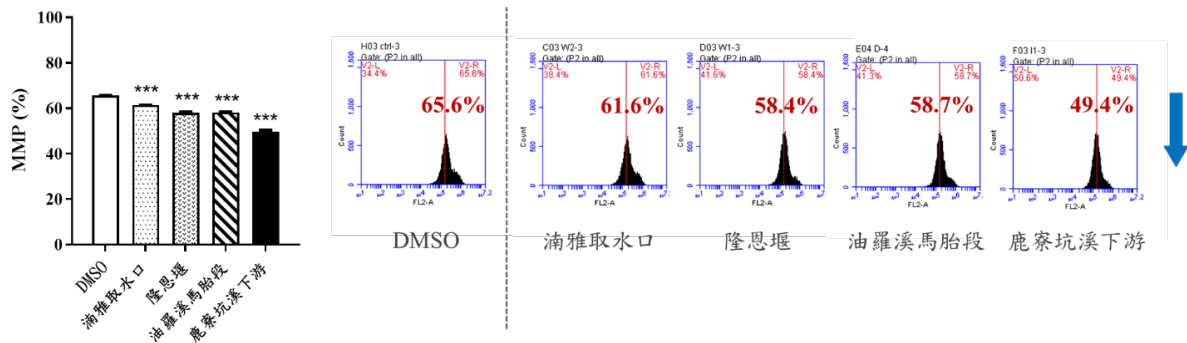


圖 5-12 暴露於表層樣品後的粒線體膜電位變化 (N=3, ***, $p < 0.001$)

6. 細胞凋亡 (Apoptosis assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層底泥萃取物 24 小時後，細胞凋亡現象顯著上升，其高低依序為：鹿寮坑溪下游>油羅溪馬胎段>滿雅取水口>隆恩堰 (圖 5-13)。

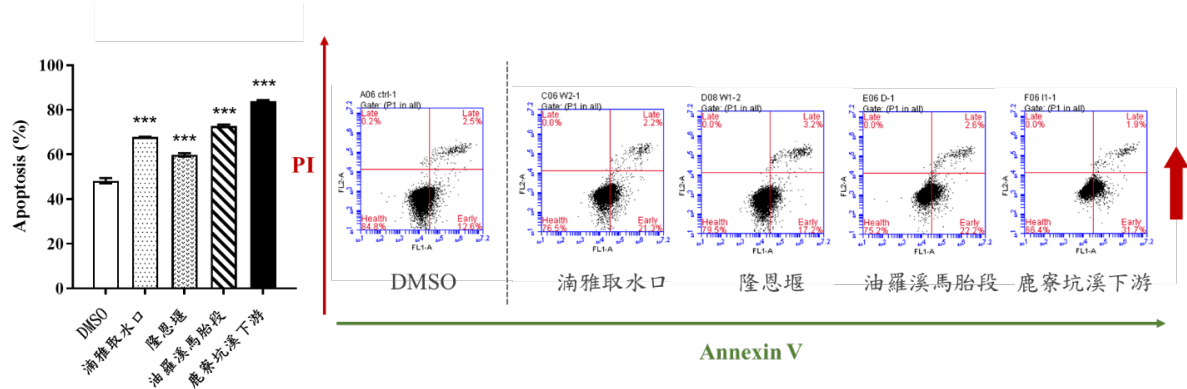


圖 5-13 暴露於表層樣品後的細胞凋亡現象 (N=3, ***, $p < 0.001$)

7. 西方墨點法 (Western Blot)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層底泥萃取物 24 小時後，以西方墨點法檢測不同路徑的蛋白質表現量。



甲、 抗氧化路徑 (Nrf2-Keap1 pathway)

當細胞內的活性氧物質過度累積時，會激發抗氧化路徑 (Nrf2-Keap1 pathway)，使得 Nrf2 進入到細胞核內，活化下游的抗氧化酶 HO-1 和 GPX4 等，以減少細胞內的氧化損傷。由下圖 5-14 可以看出，Nrf2, HO-1 和 GPX4 皆在鹿寮坑溪下游的表現量最高，與 ROS assay 實驗結果相符。

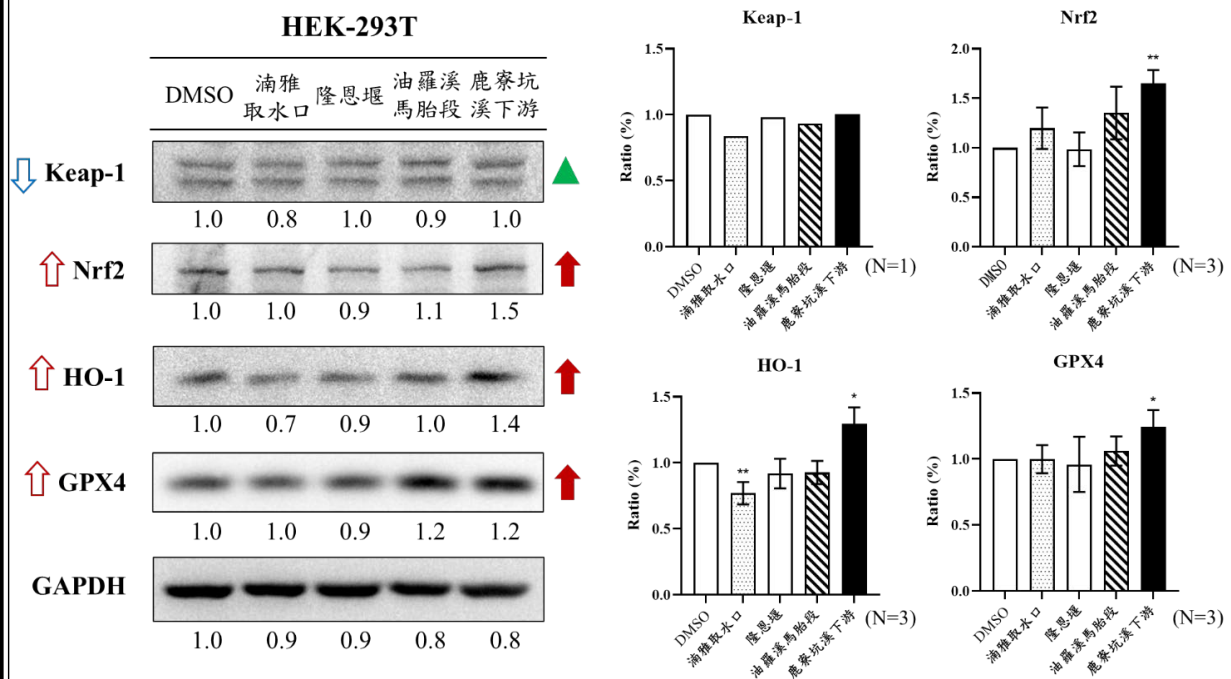


圖 5-14 暴露於表層樣品後的抗氧化路徑蛋白表現量 (*, $p < 0.05$; and **, $p < 0.01$)

乙、 腎損傷生物標記 (Kidney injury biomarkers)

與腎損傷相關的生物標記，可以做為腎臟病變的預警。在此研究中我們選擇了腎損傷分子 1 (KIM-1) 以及 β 2-微球蛋白 (β 2-M) 作為標記蛋白，當汙染物質進入到腎臟中，導致其功能障礙時，KIM-1 及 β 2-M 的表現量皆會上升。由實驗結果(圖 5-15)，可以看出鹿寮坑溪下游的腎損傷蛋白表現量皆較高，其中 **KIM-1** 的表現量有顯著差異。

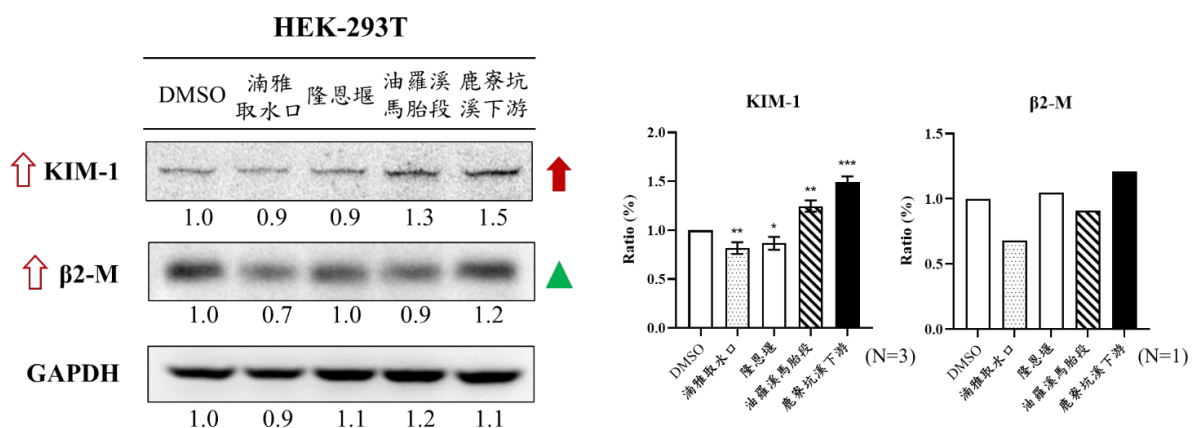


圖 5-15 暴露於表層樣品後的腎損傷蛋白表現量 (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; and ***, $P < 0.001$)



丙、 血糖運輸蛋白 (Glucose transporter)

腎臟為人體代謝及過濾的重要器官，其中血糖的再吸收為其主要的功能之一。葡萄糖轉運蛋白 SGLT2 以及 GLUT2 在腎臟中負責血糖的再吸收與運輸，以維持體內葡萄糖平衡。當 SGLT2 以及 GLUT2 表現量過高時，腎臟會再吸收過多的葡萄糖，進而導致人體內的血糖過高。由實驗結果(圖 5-16)，可以看出鹿寮坑溪下游的葡萄糖轉運蛋白表現量皆較高。

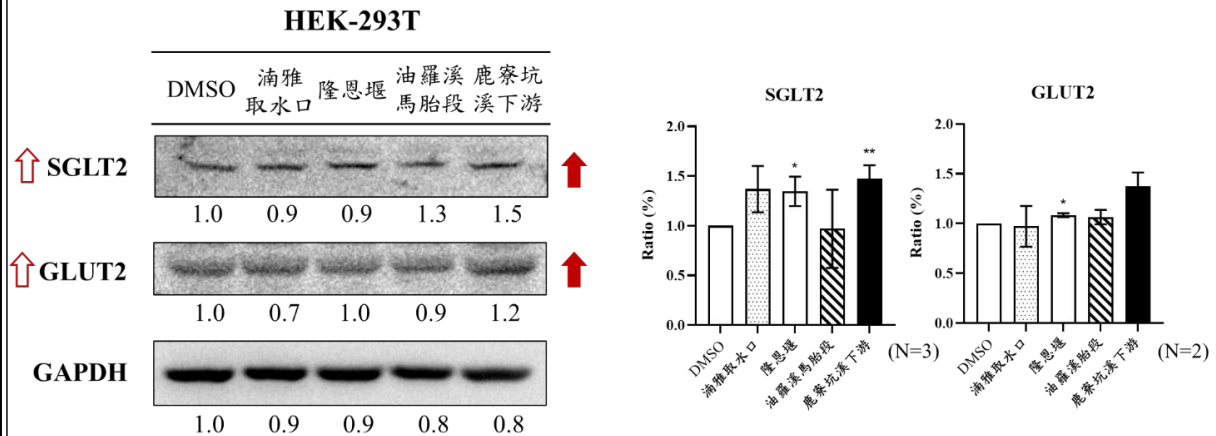


圖 5-16 暴露於表層樣品後的血糖運輸蛋白表現量 (*, $p < 0.05$; and **, $p < 0.01$)

四、枯水期表層與深層樣品實驗結果

1. 表層與深層樣品

因部分現場樣址無法深層取樣，目前分別採集於竹東沿河工業區-中興河道匯入頭前溪處以及中下游段的「隆恩堰」和「浦雅取水口」(圖 5-17)。在中興河道處，匯集了來自於鹿寮坑溪與竹東沿河工業區產生的工業廢水，因此我們將此樣點定義為工業廢水區。

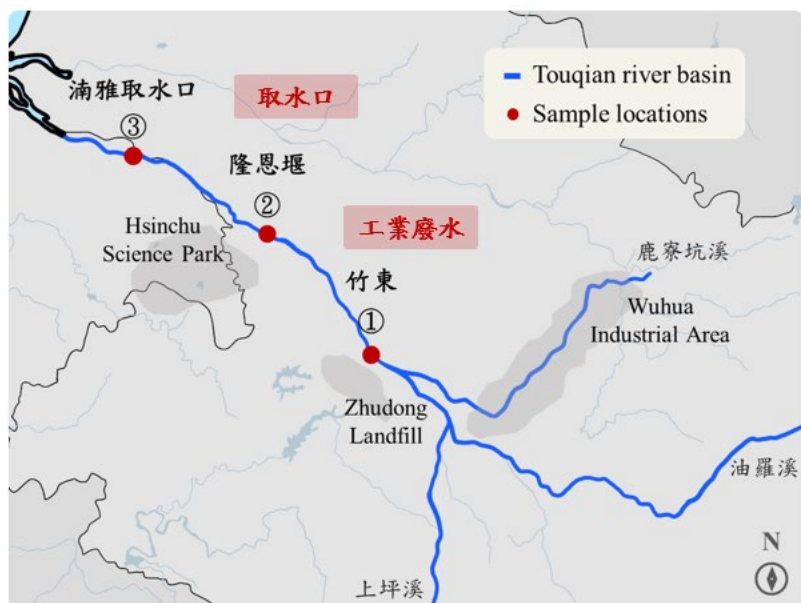


圖 5-17 表層與深層樣品的三個採集處



2. 汙染物分析

由表層與深層底泥的汙染物檢測結果可以發現，底泥當中的重金屬濃度遠大於有機物，且由竹東樣品汙染物累積圖可以看出，重金屬傾向累積於較深層的底泥當中，而有機物傾向累積於較表層的底泥當中。由此推測底泥的汙染程度為：深層>表層。

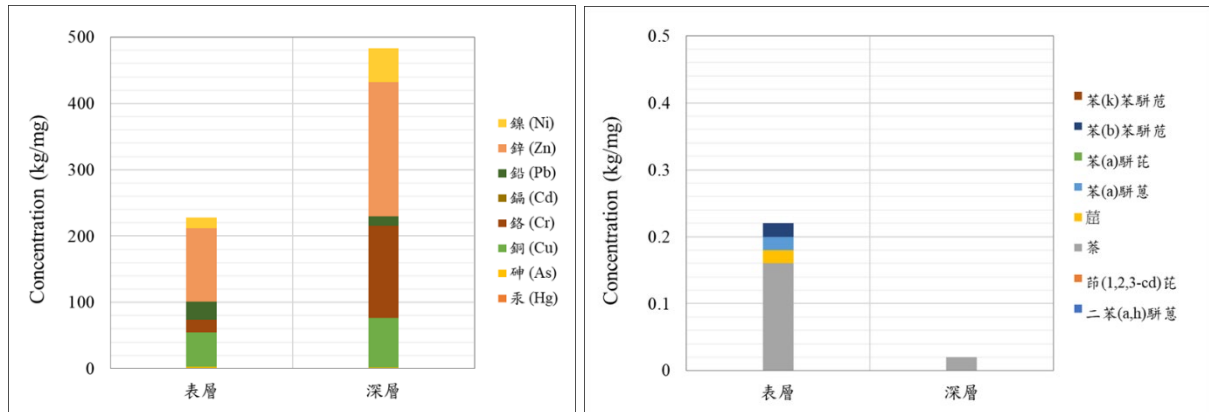


圖 5-18 竹東表層與深層的八大重金屬與多環芳香烴總濃度

3. 細胞存活率測定 (MTT assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於滿雅取水口、隆恩堰以及竹東之表層與深層底泥萃取物 24 小時及 48 小時後，分別在三個採樣點皆有看到細胞存活率表層>深層的現象，其中滿雅取水口以及竹東具有顯著差異 (圖 5-19, 5-20, 5-21)。選擇細胞存活率最接近 IC_{50} 的濃度，0.5% DMSO、0.5% 底泥萃取液濃度，以及反應時間 24 小時作為後續實驗條件。

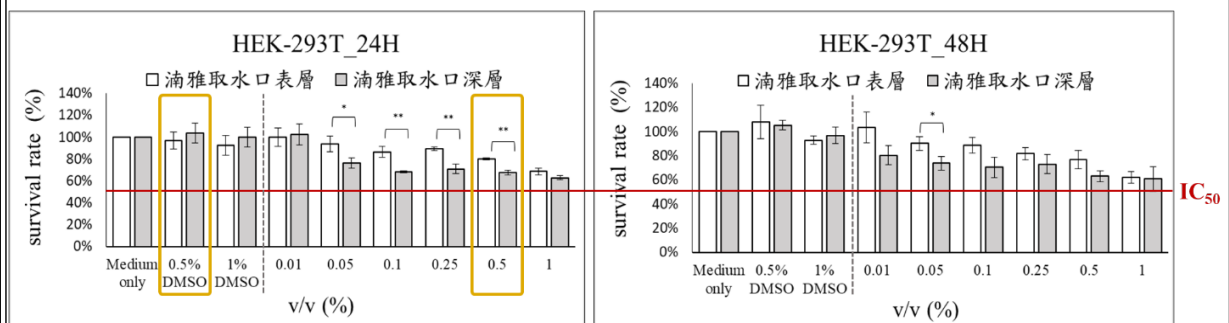


圖 5-19 滿雅取水口表層與深層樣品萃取液處理之腎臟細胞存活率 (N=3, *, $p < 0.05$; and **, $p < 0.01$)

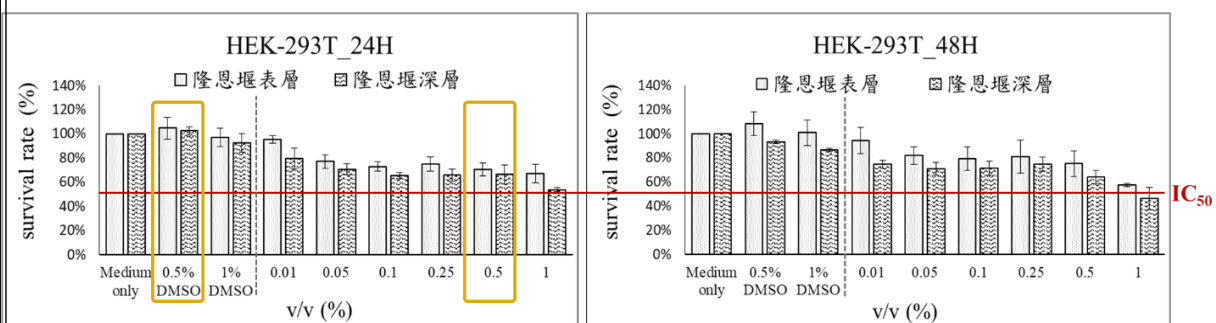


圖 5-20 隆恩堰表層與深層樣品萃取液處理之腎臟細胞存活率 (N=3)

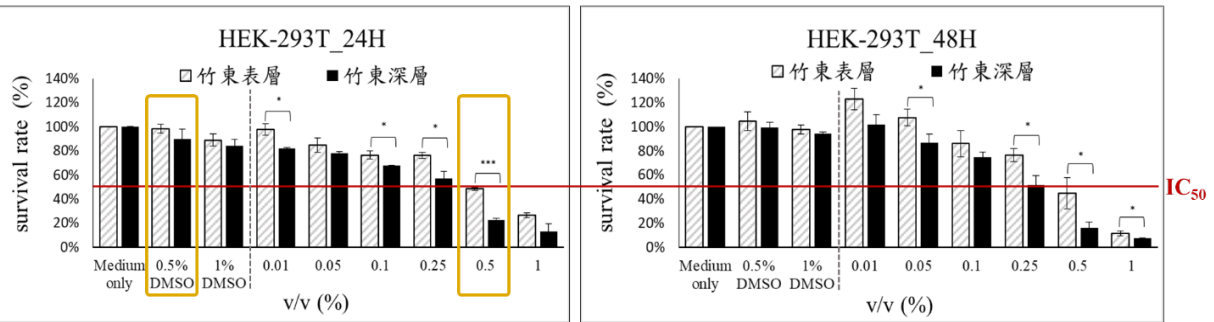


圖 5-21 竹東表層與深層樣品萃取液處理之腎臟細胞存活率 (N=3, *, $p < 0.05$; and ***, $p < 0.001$)

4. 活性氧螢光探針 (ROS assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層與深層底泥萃取物 24 小時後，所產生的活性氧類顯著增加，在湳雅取水口、隆恩堰以及竹東皆為：活性氧類深層>表層 (圖 5-22)。

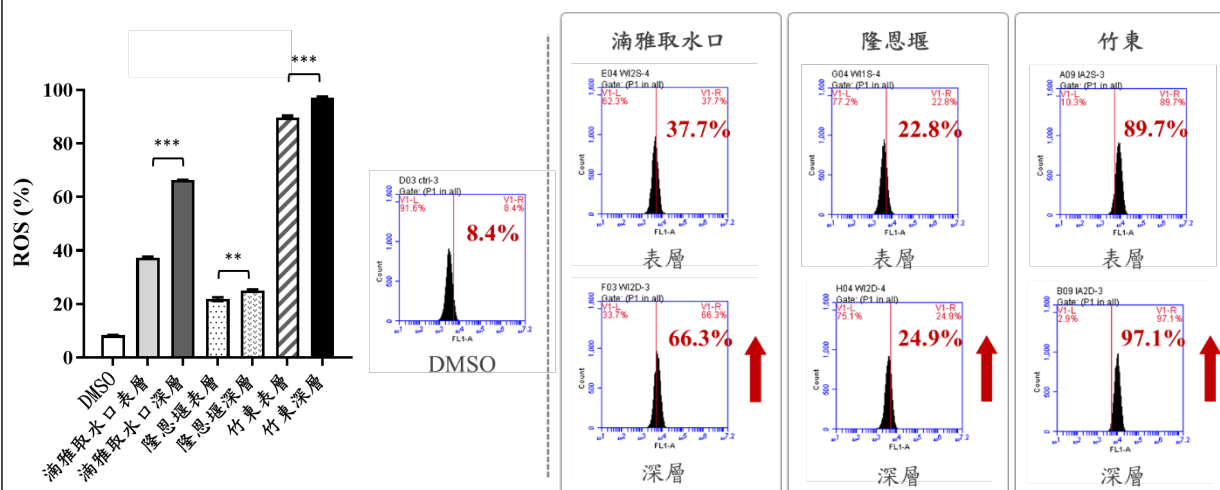


圖 5-22 暴露於表層與深層樣品後產生的活性氧類比較 (N=3, ***, $p < 0.001$)

5. 粒線體膜電位測定 (MMP assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層與深層底泥萃取物 24 小時後，暴露於深層底泥萃取物細胞的粒線體膜電位顯著下降，且在湳雅取水口、隆恩堰以及竹東皆為：膜電位表層>深層 (圖 5-23)。

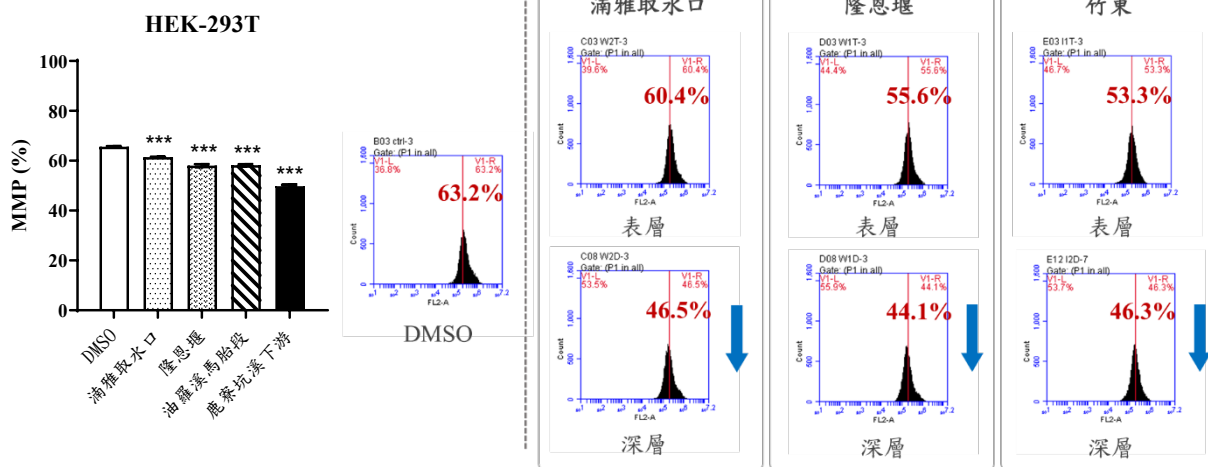


圖 5-23 暴露於表層與深層樣品後的粒線體膜電位變化 (N=3, **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$)

6. 細胞凋亡 (Apoptosis assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於表層與深層底泥萃取物 24 小時後，暴露於深層底泥萃取物的細胞凋亡現象顯著上升，且在涌雅取水口、隆恩堰以及竹東皆為：細胞凋亡深層>表層 (圖 5-24)。

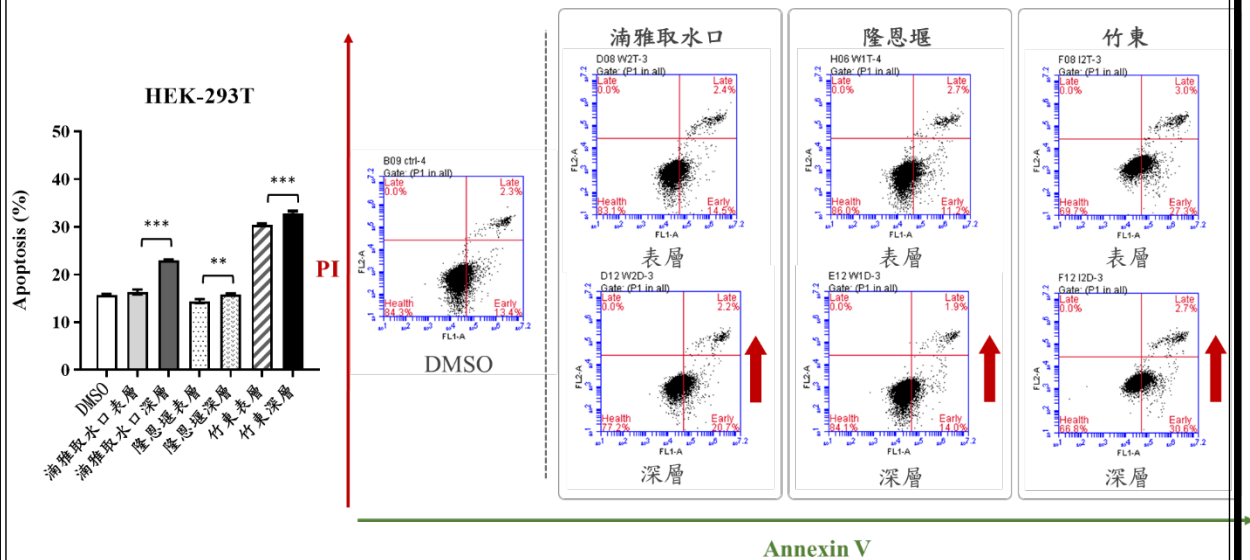


圖 5-24 暴露於表層與深層樣品後的細胞凋亡現象 (N=3, ***, $p < 0.001$)



五、 枯水期鹿寮坑溪樣品實驗結果

1. 鹿寮坑溪樣品

鹿寮坑溪是頭前溪中游段的支流，五華工業區各廠區沿著鹿寮坑溪建立，主要承接新竹科學園區相關衛星公司，以半導體台星科、工業材料和汽車零組件業者居多。其工業廢水直接排放鹿寮坑溪，再匯入頭前溪。鹿寮坑溪樣品採集於鹿寮坑溪的上游、中游和下游(圖 5-25)。

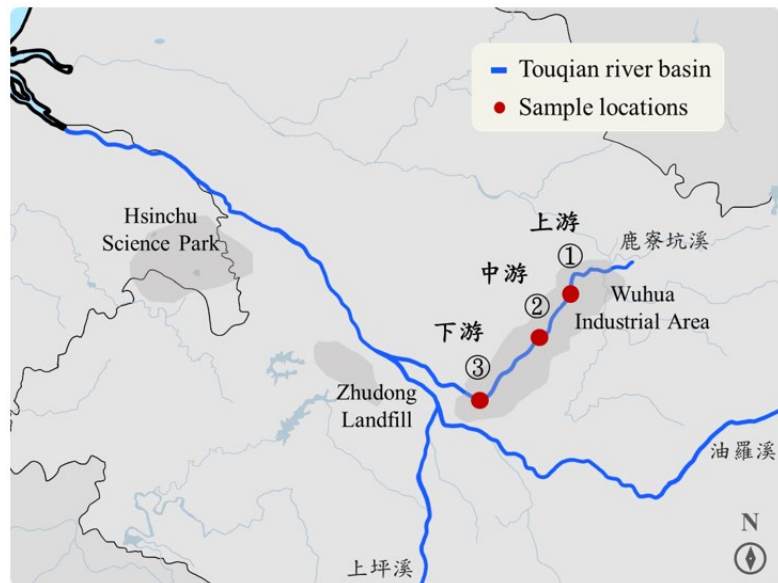


圖 5-25 鹿寮坑溪樣品採集處

2. 重金屬汙染物分析

以底泥樣品中的重金屬檢測結果計算 CF_i 值 (污染因子)，以評估鹿寮坑溪底泥中各重金屬的汙染程度。當 CF_i 值小於 1 時，表示該金屬為低度汙染；當 CF_i 值界於 1 到 3 之間時，表示該金屬為中度汙染；當 CF_i 值高於 3 時，表示該金屬為重度汙染。利用 US EPA 規範值作為背景值，所計算出的 CF_i 結果 (圖 5-26)，可以得知鹿寮坑溪中重金屬的汙染程度依序為：鎳>鋅≒鉻。

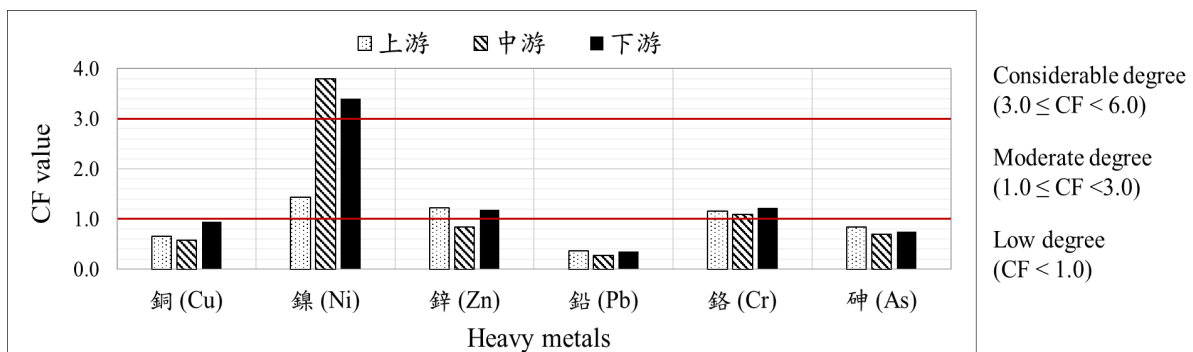


圖 5-26 鹿寮坑溪表層樣品 CF_i 值



再進一步以 CF_i 計算各採樣點之 PLI 值，用於評估各個採樣點的重金屬綜合汙染程度，當 PLI 值小於 1 時，表示該採樣點未受汙染；當 PLI 值大於 1 時，表示該採樣點有受到汙染。由結果可以得知鹿寮坑溪的汙染程度依序為：下游>中游≡上游（圖 5-27）。

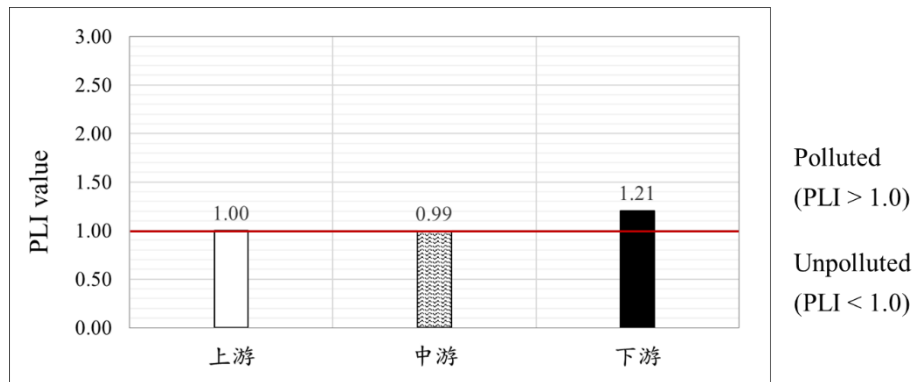


圖 5-27 鹿寮坑溪表層樣品 PLI 值計算結果

3. 細胞存活率測定 (MTT assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於鹿寮坑溪上、中、下游底泥萃取物 24 小時及 48 小時後，其細胞存活率依序都為：上游>中游>下游（圖 5-28）。選擇細胞存活率最接近 IC_{50} 的濃度，0.5% DMSO、0.5% 底泥萃取液濃度，以及反應時間 24 小時作為後續實驗條件。

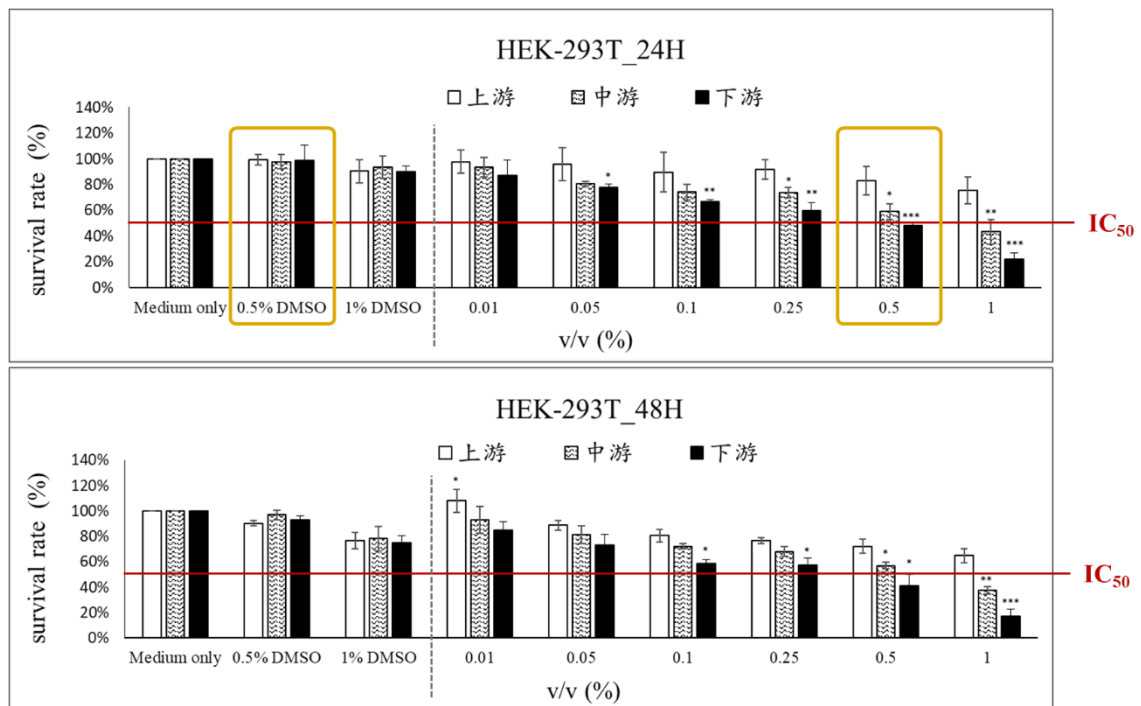


圖 5-28 鹿寮坑溪樣品萃取液處理之腎臟細胞存活率 (N=3, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; and ***, $p < 0.001$)



4. 活性氧螢光探針 (ROS assay)

將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於鹿寮坑溪上、中、下游底泥萃取物 24 小時後，所產生的活性氧類顯著增加，其高低依序為：活性氧類下游>中游≡上游 (圖 5-29)。

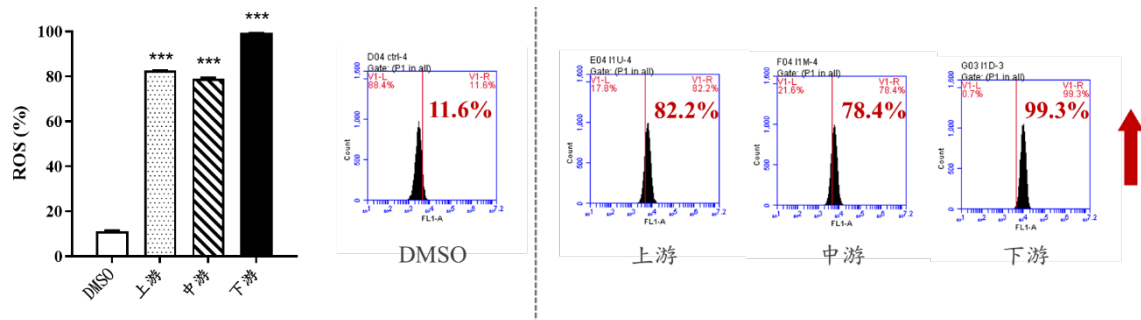


圖 5-29 暴露於鹿寮坑溪樣品後產生的活性氧類比較 (N=3, ***, $p < 0.001$)

六、結論與建議

底泥具有長期觀察複合型污染物的優勢。因此，在環境監測和水質預警中，底泥毒性扮演著重要的角色。底泥不僅反映複合型環境累積污染情形，其長期累積的污染物，可能再釋放到水中。不僅可能直接對水棲生物造成危害，甚至藉由食物鏈的生物累積效應形成人類健康的一大隱憂。所以，底泥污染程度與環境品質優劣和生物健康息息相關，檢測底泥生物毒性是一件重要的任務。在過去的二十年中，底泥毒性分析方法取得相當大的進步，不斷深入探討毒性的作用及合理闡釋研究結果。因而提供更大的環境相關性，也更了解不同物種對污染物的敏感性、生物體行為、暴露途徑以及提供相關暴露條件所需的設計考量。

我們將頭前溪流流域底泥樣品，分成三個組別進行討論。第一組為四個代表不同汙水源的表層樣品、第二組為三個表層與三個深層樣品(表層樣品採集於水體之下 0-15 公分處的底泥，深層樣品採集於水體之下 45 公分以下的底泥)。以及第三組為鹿寮坑溪上、中、下游的表層樣品。

I. 第一組汙染物分析實驗結果(枯水期):

1. 對照國內環境部公布的底泥八大重金屬指標，實驗結果顯示頭前溪不論是家庭汙水區、工業廢水區或取水口附近的表層土樣的**鎳**皆超過下限值，應增加檢測頻率。不過，若對照美國國家環境保護局(US EPA)底泥規範，**鎳**則已達重度汙染；**鋅、鉻和砷**屬於中度汙染。頭前溪八大重金屬的汙染程度：**鎳** > **鋅**≡**鉻**≡**砷**。

→ 由此可知，國內環境部對於底泥汙染物的規範較為寬鬆。

→ 此外，取水口附近所檢測到的重金屬濃度較低，表示取水口汙染程度較低，較為乾淨。



→ 由四個表層樣品之污染物分析可以得知，各重金屬的污染程度依序為：鎳>鋅≡鉻≡砷。其中鎳已經達到 US EPA 重度污染，與鋅、鉻一樣是在工業廢水區污染程度最嚴重，砷則是在家庭污水區和隆恩堰的污染程度較嚴重。經濟部水利署在 112 年 1 月的水質監測調查中提及，在沒有明確污染的情況下，底泥中鎳含量偏高可能來自於玄武岩母質層，因此在頭前河流域中所檢測到的鎳含量偏高，除了工業污染之外，也可能來自於地質影響。

2. 因為不同重金屬的毒性高低不同，檢測出的濃度值不一定能完全代表其污染程度，因此我們可以透過 CFI(污染因子)，來評估各樣區底泥的個別重金屬的污染程度。利用 USEPA 規範值作為背景值，所計算出的 CFI 結果可以得知各重金屬的污染程度依序為：鎳 > 鋅≡鉻≡砷。若利用滿雅取水口檢測值作為背景值(頭前河段重金屬總量最乾淨樣區)，所計算出的 CFI 結果，可以得知各重金屬在同一河川但不同採樣點的污染分佈。結果顯示：鎳、鋅、鉻都是工業廢水污染程度最嚴重。

3. 透過 PLI(污染負荷指數)，我們可以進一步評估各區域底泥重金屬的綜合污染程度。同樣利用滿雅取水口檢測值作為背景值，由計算結果可以得知此四個表層採樣點的污染程度依序為：鹿寮坑溪>油羅溪馬胎段>隆恩堰>滿雅取水口，也就是複合型重金屬污染程度是工業廢水>家庭污水>取水口。

4. 我們同時進行十二種有機化合物檢測(選擇目前 WHO 國際癌症研究機構 IARC 規範中致癌性最高的八種多環芳香烴化合物、四種塑化劑)。特別的是，只有在油羅溪馬胎段處(家庭污水區)的底泥樣品中檢測到少量的萘和蒽。

5. 由於國內環境部沒有訂定間隙水污染指標，所以我們直接以 US EPA 規範做為標準，結果顯示：間隙水中的重金屬含量皆低於規範值。由此可以驗證重金屬雖然有不同移動力(mobility)，但更傾向於待在底泥相，也就是底泥具重金屬吸附功能，在河川自淨扮演重要角色。

6. 為了進行細胞毒性測試，我們將河川底泥有機萃取。在油羅溪馬胎段和鹿寮坑溪的底泥萃取液中，皆有檢測到鎘、銅、鎳、鋅、鉛和砷；在滿雅取水口的底泥萃取液中檢測到鉛和砷；在隆恩堰的底泥萃取液中檢測到銅和鉛。由萃取液的重金屬檢測結果可以看出，工業廢水萃取的重金屬種類最多且濃度最高，而取水口相對種類較少且濃度較低。四個表層樣品萃取液具腎毒性的重金屬含量依序為：鹿寮坑溪>油羅溪馬胎段>隆恩堰>滿雅取水口。



II. 第一組污染物分析實驗結果(豐水期):

1. 對照國內環境部公布的底泥八大重金屬指標，與枯水期實驗結果一樣顯示頭前溪不論是家庭污水區、工業廢水區或取水口附近的表層土樣的**鎳**皆超過下限值，應增加檢測頻率。不過，若對照美國國家環境保護局(US EPA)底泥規範，**鎳**含量已達重度污染；**銅、鋅、鉻和砷**屬於中度污染。頭前溪八大重金屬在這四個不同污染源代表的污染程度：**鎳 > 銅 = 鋅 = 鉻 = 砷**。

→ 由此可知，國內環境部對於底泥污染物的規範較為寬鬆。

→ 此外，取水口附近所檢測到的重金屬濃度較低，表示取水口污染程度較低，較為乾淨。

2. 透過 PLI(污染負荷指數)，我們可以進一步評估各區域底泥重金屬的綜合污染程度。同樣利用浦雅取水口檢測值作為背景值，由計算結果可以得知豐水期此四個表層採樣點的污染程度依序為：鹿寮坑溪>油羅溪馬胎段>隆恩堰>浦雅取水口，也就是豐水期的複合型重金屬污染程度是**工業廢水>家庭污水>取水口**。

3. 我們同時進行十二種有機化合物檢測(選擇目前 WHO 國際癌症研究機構 IARC 規範中致癌性最高的八種多環芳香烴化合物、四種塑化劑)。特別的是，同樣在油羅溪馬胎段處(家庭污水區)的底泥樣品中檢測到四種多環芳香烴的有機污染物，包括**萘**，**蒽**，**苯(b)苯駢芘**與**苯(k)苯駢芘**，還有塑化劑**鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)**，另外三樣表層樣品也偵測到 DEHP。可見得家庭污水累積比較多有機污染物；而且比起枯水期，豐水期底泥有更多有機化合物被檢測到。

4. 雖然間隙水中的重金屬含量在不同季節都皆低於規範值，值得注意的是，豐水期重金屬含量明顯高於枯水期，也就是原本吸附在底泥的污染物會因豐沛水量冲刷脫附並釋放到水體造成環境污染。

5. 豐水期底泥萃取液檢測資料尚未完成。

III. 第二組污染物分析實驗結果(枯水期):

1. 因部分現場樣址無法深層取樣，目前分別採集到竹東沿河工業區-中興河道匯入頭前溪處以及中下游段的「隆恩堰」和「浦雅取水口」。由檢測結果可以觀察到，**部分重金屬傾向沉積於深層底泥當中**，竹東(中興河道)尤其明顯；而隆恩堰和浦雅取水口檢測到的重金屬濃度較低，表示取水口附近定期進行清淤是有效且重要的。此外，竹東表層檢測到的鉛與砷比深層檢測到的濃度還高，可以推論近期此採樣點附近有鉛與砷的污染。

2. 進行十二種有機化合物檢測時(八種多環芳香烴化合物、四種塑化劑)，我們發現在竹東表層的樣品中檢測到比較多種類的有機物，由此可以得知，有機物能是近期污染源或者更傾向沉積於表層底泥當中，而其中**萘**的含量甚至高於國內環境部底泥指



標規範之下限值，值得注意。

IV. 第二組污染物分析實驗結果(豐水期):

1. 不同於枯水期，重金屬總濃度在豐水期明顯傾向出現在表層底泥，竹東(中興河道)尤其明顯；甚至下游樣點也有一樣的現象。同時，我們發現在竹東深層的樣品中檢測到比較多種類的有機物。由此可以得知，水量對水質有顯著影響，隨著氣候變遷加劇，河川水質的管理和保護變得更加重要。

V. 第三組污染物分析實驗結果(枯水期與豐水期):

1. 對照國內環境部所訂定的底泥指標，發現在不同季節鹿寮坑溪的上、中、下游樣品中所檢測到的鎳檢測值皆高於規範的下限值。利用 US EPA 規範值作為背景值，所計算出的 CFI 結果，可以得知鹿寮坑溪各重金屬的污染程度依序為：鎳 > 鋅≡鉻，其中鎳已達重度污染；鋅、鉻屬於中度污染。由 PLI(污染負荷指數)結果可以得知鹿寮坑溪的污染程度在枯水期依序為：下游>中游≡上游，豐水期依序為：中游>下游≡上游。原因不明，但由於沿岸工廠密集，顯示溯源與即時監測的重要性。

2. 鎳、鋅以及鉻皆為常見的工業污染物，可能來自於鹿寮坑溪沿岸的金屬及電子產品製造業，其中鎳含量偏高也可能來自於新竹地區的玄武岩母質層。

VI. 底泥生物毒性實驗結果(枯水期):

1. 將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於不同底泥萃取物 24 小時及 48 小時後，在第一組表層土樣萃取物處理的細胞存活率依序為：浦雅取水口>隆恩堰>油羅溪馬胎段>鹿寮坑溪下游。在第二組表層與深層土樣萃取物處理的三個樣點的細胞存活率都是：表層樣品>深層樣品。在第三組鹿寮坑溪上、中、下游表層底泥萃取物處理後其細胞存活率依序皆為：上游>中游>下游。

→這些生物實驗結果與前述重金屬含量高度相關，顯現人類細胞平台可以有效協助環境污染鑑識，並更理解環境污染物對人體危害程度。

2. 將人體腎臟細胞 (HEK-293T) 暴露於第一組表層底泥萃取物 24 小時後，所產生的活性氧類(ROS)高低依序為：鹿寮坑溪下游>油羅溪馬胎段>浦雅取水口>隆恩堰。暴露於第二組表層與深層底泥萃取物 24 小時後，所產生的活性氧類高低依序為：深層>表層，且竹東>浦雅取水口>隆恩堰。第三組鹿寮坑溪上、中、下游表層底泥萃取物的案正在進行中。

→原則上，重金屬的 ROS 與生物毒性一樣是工業廢水>家庭污水>取水口。不過，浦雅取水口內對細胞造成損傷的 ROS 略高於隆恩堰，但其細胞存活率卻高於隆恩堰，值得進一步討論。

3. 以細胞存活率實驗 (MTT assay) 與活性氧螢光探針 (ROS assay)，證實受到重金屬污染較為嚴重的鹿寮坑溪下游底泥萃取物，會大幅降低細胞的存活率，以及使細胞內部產生過多的活性氧物質，後續也將會影響到細胞的生長，造成人體健康的危害



風險。

4. 綜合以上污染物分析與生物毒性實驗結果可知，鹿寮坑溪為頭前溪流域中的潛在污染源，當工業廢水匯集於下游並流入頭前溪後，將會影響到頭前溪下游取水口的水質安全，因此我們希望能有效**推動五華工業區的污水處理廠興建**，以及時處理廢水污染，保障新竹地區居民的飲用水安全。

5. 在後續的生物毒性實驗，一樣選用人體腎臟細胞 (HEK-293T) 作為細胞模型，粒線體膜電位測定 (MMP assay) 以及細胞凋亡 (Apoptosis assay)，證實受到重金屬污染較為嚴重的鹿寮坑溪下游底泥萃取物，會大幅降低細胞的存活率，以及使細胞內部產生過多的活性氧物質，進而造成粒線體膜電位下降，最後導致細胞凋亡。再以西方墨點法 (Western Blot) 檢驗不同路徑的蛋白質表現量，在暴露於污染較嚴重的底泥萃取物後，抗氧化路徑蛋白 (Nrf2, HO-1 和 GPX4) 表現量上升、腎損傷蛋白 (KIM-1) 表現量上升以及血糖運輸蛋白 (SGLT2 和 GLUT2) 表現量上升。

本計畫的實驗結果綜合整理分析如下：

<枯水期實驗結果>

- (1) 由污染物檢測結果可以得知，各採樣點底泥中所含有的重金屬含量遠大於有機物 (相差約 1000 倍)。因此頭前溪流域中的重金屬污染較為嚴重，且底泥毒性與重金屬污染程度有較高的關聯性。
- (2) 在頭前溪流域的底泥重金屬含量檢測結果中可以發現，普遍存在鎳含量過高的現象，此檢測結果與經濟部水利署在 112 年 1 月的水質監測調查報告相同。此現象是需要被特別關注的。
- (3) 由鹿寮坑溪上、中、下游的樣品成分分析及實驗結果可以得知，鹿寮坑溪的底泥確實有受到污染，且具有細胞毒性，其中以下游累積的污染最為嚴重，導致細胞存活率下降也最為明顯。而這些累積於鹿寮坑溪下游的污染物最終將被排放入頭前溪當中，隨著水流到達下游的隆恩堰以及湳雅取水口，使得這兩處的底泥也受到污染，且存在細胞毒性。若要徹底根除頭前溪的污染問題，從上游的污染源頭進行處理，是最直接且有效的方式。
- (4) 從結果發現到，深層底泥的重金屬污染程度與生物毒性皆大於表層，尤其是在工業污染區。此現象不僅說明了重金屬污染物會累積於深處，同時也表示此流域中持續存在著污染源，導致重金屬污染物的長期累積。

<枯水期與豐水期比較>

- (1) 枯水期時重金屬多累積於深層底泥當中，而在豐水期時重金屬多出現於表層底泥中。此現象顯示，降雨及河川水量會造成水體與底泥間的擾動，並將沉積於較深處的污染物重新帶到底泥表面，同時也導致豐水期的整體污染程度較高。
- (2) 由枯水期與豐水期的間隙水重金屬檢測 (表 5-7)，可以看出豐水期的污染物含量明顯高於枯水期。由此可知，豐水期的河川擾動，不僅會使得累積於底泥深層的重金屬回到表層，更會使其重新釋出到河川水體當中，成為頭前溪水質的一大污染源。



此外，重金屬與有機物於底泥當中分布不同的可能原因如下：

- (1) 被排放入河川當中的重金屬通常以吸附於懸浮顆粒物的方式，再經由沉降作用而累積於底泥當中。當重金屬與底泥中的礦物質結合而形成穩定的化合物後，便不易移動，而長期累積於底泥當中。因此在一個被長期汙染的環境，重金屬較傾向累積於深層的土質。這與目前其他發表的研究文獻結果相同。
- (2) 有機物(如多環芳香烴化合物)因為具有較高的疏水性質，所以相較於在水相當中，有機物更傾向待在底泥相當中，但是有機物並不容易藉由疏水作用而進入到深層底泥中。因此我們發現有機物多存在於表層土質。
- (3) 深層底泥的汙染程度顯著較高，這是根據目前對底泥樣品中重金屬和有機物濃度的檢測結果，以及細胞實驗的分析推論而得的。所有樣品中，檢測到的重金屬總濃度遠高於有機物（約相差1000倍），而生物毒性實驗結果進一步顯示，深層底泥具有明顯的腎毒性。由此可見，底泥汙染程度與重金屬的分布高度相關，推論累積較多重金屬的深層底泥汙染程度大於表層底泥。

而乾濕季造成表層與底層汙染物分布不同，可能原因為：

在乾季時，我們觀察到底泥中的重金屬分布呈現深層 > 表層，而在濕季時，分布則反轉為表層 > 深層。這一現象與河川水量的變化密切相關。濕季期間，由於降雨使河川水位顯著上升，水流的攪動強度也隨之增加，導致沉積於底部的重金屬顆粒被重新攪起並轉移至表層底泥。這種水體動力的影響不僅改變了重金屬在空間中的重新分布，還可能影響其生物可利用性與生態風險，顯示水文條件對河川底泥重金屬行為的重要調控作用。這與目前其他發表的研究文獻結果相同。

關於豐水期的汙染程度較枯水期高，我們認為有以下原因：

- (1) 豐水期的降雨導致河川水位上升，大量的擾動將長期穩定累積於深處的汙染物質重新釋出，進而導致檢測到的汙染程度較高。
- (2) 此外，豐水期間水質惡化也可能與新增或增加的工業汙染有關。在此期間，排放的汙染物尚未穩定轉化或沉降至底層，而是滯留於水體或表層底泥中，導致豐水期的整體汙染程度相對較高。

由研究成果與汙染物分析，可以明確的看出周遭工業排放源確實對此河川造成嚴重汙染除了推動五華工業區的汙水處理廠興建之外，提倡更嚴謹的廢水排放規定，或是針對特定汙染物進行二次檢測，如鎳、鋅及鉻金屬為檢測到汙染程度較高的重金屬，這些都是能更及時應對汙染源的相關措施。此外，在短期或即時性環境管理上，以下建議措施，將促使環境部以迅速改善水質及減少汙染風險，並為後續汙水處理廠的建設爭取更多時間與資源。

- (1) 加強汙染源的即時監測與控制：

建議在重點汙染區域和敏感水域設置”移動式水質監測站”，實施即時監測，涵蓋參數



如現有RPI及重金屬濃度等，並與中央監控系統連線，實現即時數據傳輸與預警，降低污染擴散風險。

(2)推動臨時污水應急處理設施:

在現有污水排放點附近增設”臨時應急污水處理設施”，如化學沉澱及過濾系統，以降低污染物的即時排放濃度，尤其是在雨季或汛期前後，降低因地表徑流造成的污染負荷。這類應急設施建置成本相對低，且可在短時間內見效，有效補充污水處理廠尚未建成前的空缺。

(3)加強社區與企業的污染防治宣導與執法:

推動”社區與企業的污染防治教育與輔導”，並加強對非法排放行為的執法與處罰，建立”舉報獎勵機制”，鼓勵公眾參與污染源舉報，並促使企業加強自我監控，減少污染源的隱蔽排放。

(4)鼓勵低影響開發（LID）措施的推廣:

推動企業和社區採用雨水花園、滯留池、透水鋪面等低影響開發措施，以減少地表徑流對水體的污染，還能提升城市雨水管理的韌性，減輕污水處理廠的負荷。

(5)加強水質數據的公開與透明化:

定期向民眾發布”水質監測數據”，並建立開放式數據平台，供民眾及專家即時查詢與分析，提升監測數據的透明度與公信力。目前環境部已建立該平台，也會進一步解釋水質數據以助於民眾了解和相信政府環境治理的信心。

(6)短期內優先修復受污染的河段或水體:

對於已知受污染嚴重的河段，環境部可推動”短期生態修復工程”，如投放生物過濾材料、設置人工濕地，或利用微生物修復技術加速污染降解，可在短期內顯著改善水質，減輕污染對生態系統的壓力。

本研究使用的CFi可分析單一污染物在不同採樣點的濃度分布，有助於辨識主要污染源，協助制定更精確的污染排放政策；而PLI則能綜合評估特定地點的整體污染情況，彌補政府長期監測中缺乏的重金屬含量標準，進一步提升水質監測的效率與嚴謹性。為增強污染評估的科學性，我們將CFi與PLI結合生物毒性測試結果，建立了全新的生物毒性評估平台。該平台基於實驗數據，可為環境政策提供可靠依據，尤其在應對重金屬與有機污染物的複合毒性時，能優化污染物排放限值與監測指標體系。此外，平台對於公共飲用水安全具有重要意義，透過高靈敏度的毒性評估，能及時預警污染威脅，降低水污染對健康的風險，並提升公眾的環保意識。未來，我們將持續完善平台數據庫，強化與政策制定及公共健康保護的聯繫，協助環境部實現可持續的環境治理目標。

綜而言之，

(1) 由目前的研究結果可以驗證，底泥具有長期觀察複合型污染物的優勢，適合作為一個環境監測的材料。因此除了水質的定期檢測之外，建議政府機關可以增加河川底泥相關監測項目的頻率，以更全面性的保障河川水質安全。

(2) 由實驗結果可以明確的看出，鹿寮坑溪周圍的工業廢水排放確實造成了河川水質的污染。因此建議可以制定更嚴謹的廢水排放規定，以即時解決污染問題的發生。



(3) 此外，在短期或即時性環境管理上，建議加強污染源的即時監測與控制，推動臨時污水應急處理設施與鼓勵低影響開發措施的推廣，將促使環境部以迅速改善水質及減少污染風險，並為後續污水處理廠的建設爭取更多時間與資源。



陸、 參考文獻

1. Chapman, P.M. Current approaches to developing sediment quality criteria. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* **8**: 589-599 (1989, review article).
2. Song Wu S., Scott Powers S., Zhu W., and Hannun Y.A. Substantial contribution of extrinsic risk factors to cancer development. *Nature* **529**(7584): 43–47 (2016).
3. MacGregor J.T., Collins J.M., Sugiyama Y., Tyson C.A., Dean J., Smith L. In vitro human tissue models in risk assessment: report of a consensus-building workshop. *Toxicol Sci* **59**:17–36 (2001, review article).
4. Lin M.W., Huang H.L., Yu X.R., Lin Y.X., Li X.A., Tsui L., Young S.S., Chan H.L., Chou HC. Urban sediment pollutants alternate human cell essential behaviour through promoting oxidative damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **229**: 113065 (2022).
5. Lin M.W., Yu X.R., Chen J.Y., Wei Y.S., Chen H.Y., Tsai Y.T., Lin L.H., Liao E.C., Kung H.Y., Young S.S., Chan H.L., Chou H.C. Sediment pollutant exposures caused hepatotoxicity and disturbed glycogenesis. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **251**: 114559 (2023).
6. Lin MW, Chen JY, Ye YX, Chen WY, Chan HL, Chou HC. Genotoxicity and cytotoxicity in male reproductive cells caused by sediment pollutants. *Science of the Total Environment* **940**, 173578 (2024).
7. Jesus, Fátima, et al. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons distribution in freshwater ecosystems and their toxicity to benthic fauna. *Science of the Total Environment* **820** : 153282(2022).
8. Hu, Guangji, et al. Human health risk-based life cycle assessment of drinking water treatment for heavy metal (oids) removal. *Journal of cleaner production* **267**: 121980 (2020).
9. Astatkie, H., Ambelu, A., & Mengistie, E. Contamination of stream sediment with heavy metals in the Awetu watershed of Southwestern Ethiopia. *Frontiers in Earth Science* **9**: 658737 (2021).
10. Standard Test Method for Measuring the Toxicity of Sediment-Associated Contaminants with Freshwater Invertebrates. *ASTM international* E1706-20. A (2020).



11. Saiki P., Mello-Andrade F., Gomes T., Rocha T. L. Sediment toxicity assessment using zebrafish (*Danio rerio*) as a model system: Historical review, research gaps and trends. *Sci Total Environ* **793**:148633. 9 (2021, review article).
12. Hiki K., Fischer F.C., Nishimori T., Endo S., Watanabe H. and Yamamoto H. Influence of water exchange rates on toxicity and bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in sediment toxicity tests. *Environmental Science: Processes & Impacts* **Issue 3**. (2023)
13. Richard Osae, Daniel Nukpezah, Daniel Amoako Darko & Adelina Mensah (2023) Heavy metal mobility, bioavailability, and potential toxicity in sediments of the Korle lagoon in Ghana. *International Journal of Environmental Studies* **80**, Issue 6, 1556-1572.
14. Opeyemi A. Oyewo, Amos Adeniyi, Mokgadi F. Bopape, Maurice S. Onyango (2020) Heavy metal mobility in surface water and soil, climate change, and soil interactions. *Climate Change and Soil Interactions*, Chapter 4, 51-88.
15. Ajisafe Monday Peter, O. O. Ajayi, E. O. Abata1, Akinnawo Solomon and M. T. Oluwalope (2017) Chemical Fractionation of Heavy Metals in the Soil of Auto-Mechanic Workshops in Akure, Ondo State, Nigeria. *Chemical Science International Journal* **21**(2): 1-16.
16. Zhifeng Huang, Chengyou Liu, Xingru Zhao, Jing Dong & Binghui Zheng (2020) Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Sciences Europe* **32**: 23.
17. Sonia Mahey, Rakesh Kumar, Manik Sharma, Vinod Kumar, Renu Bhardwaj (2020) A Critical review on toxicity of cobalt and its bioremediation strategies
SN Applied Sciences **2**:1279.
18. Srut, M. et al. Genotoxicity of marine sediments in the fish hepatoma cell line PLHC-1 as assessed by the Comet assay. *Toxicology in vitro : an international journal. published in association with BIBRA* **25**: 308-314 (2011).
19. Nriagu, J.O. Encyclopedia of environmental health. (Elsevier, 2019).
20. Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R. & Sadeghi, M. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in pharmacology* **12**:643972 (2021).
21. Bresolí-Obach, R., Busto-Moner, L., Muller, C., Reina, M., & Nonell, S. (2018). NanoDCFH-DA: A Silica-based Nanostructured Fluorogenic Probe for the Detection of Reactive Oxygen Species. *Photochemistry and Photobiology*, **94**(6), 1143-1150.



柒、專案成果績效自評表

利用人類細胞的生化數據開發環境污染評估指標，是項相當複雜且充滿挑戰性的工作。然而，這方法有望成為先進的污染辨識方式，提升環境污染鑑定效能，並構建潔淨水質監測與預警的平台。這計畫不僅具有重要的研究價值，更能協助及早發現潛在的環境危機，並採取適當措施。底泥生物毒性的測定可視為先進的環境積累污染物辨識的一種方式，並參考這些資料調整河段改善的優先順序，以達到有效監測、準確預警、提升國人健康的目標。本計畫目前推動順利，整體完成之工作項目及可能成果敘述如下。

(一)預期完成工作項目及成本效益:

如前所述，因應環境監測的預警是一個系統性循環，致力於監測、辨識和應對環境可能造成損害的事件。目前計畫書的工作目標集中在監測和辨識階段，其主要建設項目如下所述：

- (1) 統一採樣流程：流域沿岸採樣點，在氣候穩定，可以採到底泥的原則下，每個樣點將採集表層 (10 cm 以上)和深層底泥 (45 cm 以下)。
- (2) 標準化底泥萃取流程：新鮮底泥直接委託檢測重金屬及有機化合物，其餘自然風乾，待風乾後用篩子過篩，再進行有機萃取與減壓濃縮，最後以 DMSO 回溶。
- (3) 建立汙染物檢驗標準：參考本實驗室過去研究成果，固定底泥萃取物檢測濃度範圍。
- (4) 統一毒性分析項目與方法：檢測分析常見的潛在致癌物 12 種有機物和 8 大重金屬。
- (5) 建立敏感性細胞平台：目前以腎臟細胞(HEK-239T)為監測平台。
- (6) 建立生物毒性檢測流程：依本實驗室過去研究成果，以逐步完成低時間/人力/經費成本，高再現性的細胞毒性分析方法，例如：細胞存活率(MTT assay)，氧化壓力測試(ROS assay)。
- (7) 標準化河流汙染程度：我們希望透過以上步驟完成數據庫建置，並建立一個平台，這有助於驗證其他待整治的河流，更好辨識環境污染的潛在問題。

(二)預期所獲成果與貢獻:

《學術成就》

底泥汙染物對人體細胞的毒性研究才剛起步，相關之文獻報導並不多，其汙染物和人體細胞彼此間的交互作用機制、甚至相關的汙染物萃取方式和檢測方法都尚未標準化。本團隊成員之工作績效良好，五年間，研究成果除 SCI 論文超過 50 篇次外，亦有專利發表。先前底泥計畫研究成果已發表 2 篇文章於環境科學領域知名期刊 *Ecotoxicology and Environmental Safety* (SCI, IF= 6.8; Q1, Ranking 19/577 (3.3%) in Medicine - Public Health, Environmental and Occupational Health)^{4,5} 與 *Science of The Total*



Environment (SCI, IF= 9.8; Q1, Ranking 8/184 (4.3%) in Environmental Science - Environmental Engineering)⁶。目前，我們正致力於底泥女性生殖毒性相關研究的撰寫和修訂工作。

我們相信本計畫執行能夠帶來直接和間接的效益：

(1) 直接效益包括提供政府整治目標執行的建議以及優化河川整治。我們以分段多點的方式在同一流域進行採樣，也能夠了解同一河流在不同區段、不同季節，對人體和環境的毒性程度。這有助於在河川整治時有序地優先處理污染嚴重的區域，更有效地運用有限的資源。

(2) 在國民健康品質評估和監測方面，也具有潛在的效益。國民健康對我們來說至關重要，而根據衛福部的統計數據，2021 年台灣的經常性醫療保健支出（Current Health Expenditure, CHE）佔 GDP 的 6.6%，不斷增加。因此，我們希望將本計畫的研究成果擴展為全國河川水質的評估標準項目之一。透過建立清淨水質監測與預警平台，我們期望能降低因環境污染所導致的疾病發生率，進而減少健保支出。同時，這也將促進國民健康，實現經濟效益的目標。

Agenda

附件一

05.04,2024 (SAT.)		
Time	Presentations/Speakers	Moderator
09:30 ~ 09:30	[Opening Remarks]	Professor Liang-Yin Ke
09:30 ~ 10:10 (Including Q&A)	國衛院主秘 洪文俊教授 Role of low penetrance genes in tumorigenesis and precision treatment of pancreatic cancer	Professor Liang-Yin Ke
10:10 ~ 10:50 (Including Q&A)	比利時魯汶大學 連文慧副教授 To “Wnt” or not to “Wnt” – ROR2 in skin homeostasis and tumorigenesis	Professor Liang-Yin Ke
10:50 ~ 11:00	Coffee Break	
11:00 ~ 11:30 (Including Q&A)	成大醫技系 蔡佩珍教授 Safeguarding Gut Health Against Clostridioides difficile Infection and Colitis	Professor Liang-Yin Ke
11:30 ~ 12:00 (Including Q&A)	清大分析與環境科學研究所所長 周秀專教授 The distance between waste and life: Investigating How River Sediments Mirror Human Health	Professor Liang-Yin Ke
12:00 ~ 13:30	Lunch Break	
13:30 ~ 14:00 (Including Q&A)	長庚醫技系主任 沈家瑞教授 IL-17: Deciphering its Prognostic Value and Therapeutic Potential in Cancer	Professor Liang-Yin Ke
14:00 ~ 14:30 (Including Q&A)	成功大學微免所 萬書昶助理教授 Combining alum adjuvant with CpG boosts the protective immune response induced by a novel recombinant protein comprising dengue NS1/E/NS3.	Associate Professor Wan-Chi Tsai
14:30 ~ 15:00 (Including Q&A)	敏盛集團精準醫學中心 楊舜鈞副總經理 Application of Next-Generation Sequencing in Clinical Medicine	Associate Professor Wan-Chi Tsai
15:00 ~ 15:15	Coffee Break	
15:15 ~ 18:00 (Including Q&A)	Student Oral Presentation Competition	Judges
18:30 ~ 20:30	Welcome dinner	

Agenda

附件一

	05.05,2024 (SUN.)	
Time	Presentations/Speakers	Moderator
09:30 ~ 10:30 (Including Q&A)	陽明交通大學醫技系 張懿欣教授 以科學之眼看未盡之謎	Associate Professor Wan-Chi Tsai
10:30 ~ 10:50	Coffee Break	
10:50 ~ 11:20 (Including Q&A)	高雄市立空中大學 劉嘉茹校長 傑出女性科學家專題演講：知性與理性-女力及領導力	Professor Liang-Yin Ke
11:20 ~ 11:50 (Including Q&A)	比利時魯汶大學 連文慧副教授 傑出女性科學家專題演講：不設限，才会有無限可能	Professor Liang-Yin Ke
11:50 ~ 12:00	Awards / Closing Remarks	Professor Liang-Yin Ke



附件二

大學社會責任實踐論壇： USR的地方本位人才培育

113年6月18日 (星期二) 09:00 至 18:00

清華大學教育館1F承德空間 (新竹市光復路二段101號 教育館 1F)

指導單位



教育部

主辦單位



國立清華大學
NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY



國立暨南國際大學
National Chi Nan University



國立中山大學
National Sun Yat-sen University





The toxicity assessment study of sediment pollutants in human kidney cell lines

附件三

Sih-Yu Chiou ^a, Wei-Yi Chen ^a, Hong-Lin Chan ^{a,b}, Hsiu-Chuan Chou ^{a,*}

^a Institute of Analytical and Environmental Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

^b Institute of Bioinformatics and Structural Biology, Department of Medical Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

Abstract

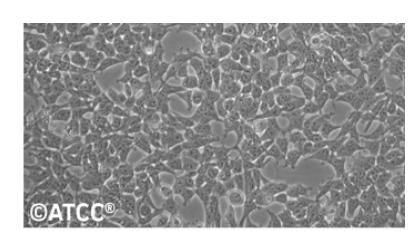
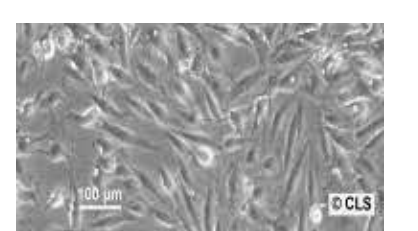
Our daily water often comes from rivers, in Hsinchu city, more than 90% of the water supply is from Touqian river, however, it has been contaminated by nearby industrial waste and garbage pollution. These pollutants not only harm aquatic ecosystems and may also contaminate our drinking water.

Sediments deposition at the bottom of water bodies, due to their properties, they often accumulate persistent organic pollutants (POPs) like heavy metals and PAHs. These contaminants cause direct harm to aquatic life and can indirectly harm human health through bioaccumulation and biomagnification. Furthermore, these pollutants will be released from the sediments back to the water when river conditions change.

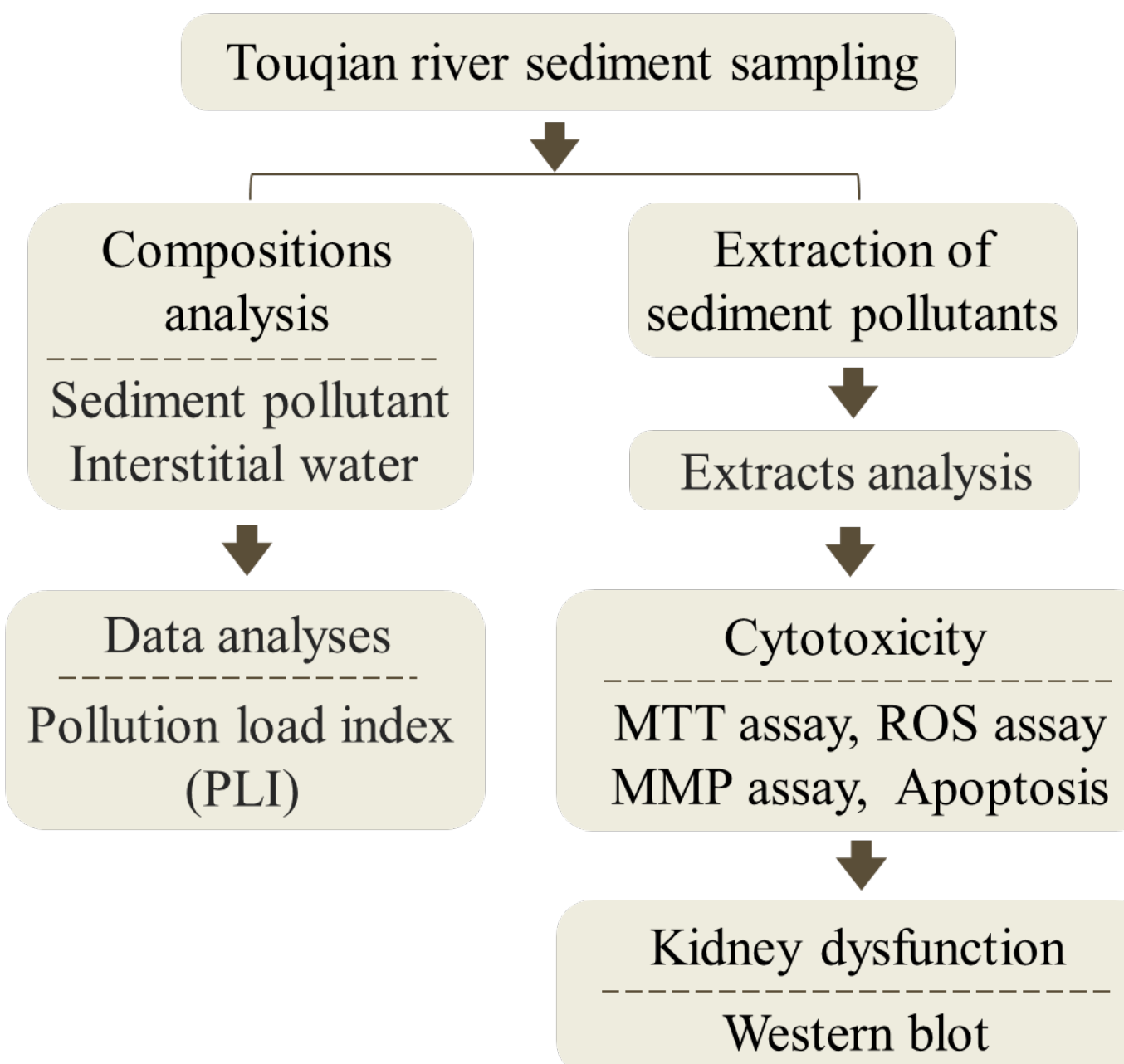
In this study, we collected sediment samples from five locations in Touqian river basin, and use HEK-293T and A498 as cell models. The compositions analysis revealed that heavy metals in sediment are significantly higher than in interstitial water and the sediment from industrial area had the highest PLI value. The results of MTT assay indicated that the industrial area sediment extract significantly decreased cell viability, and the deep sediment samples affect more than top sediment samples. Additionally, the results of ROS assay, MMP assay, Apoptosis assay, and Western blot showed a significant impact of industrial area sediments on kidney cell lines.

Materials and Methods

Cell lines

Cell name	HEK-293T	A498
Type	Embryonic kidney cell, Human	Kidney cell carcinoma, Human
		

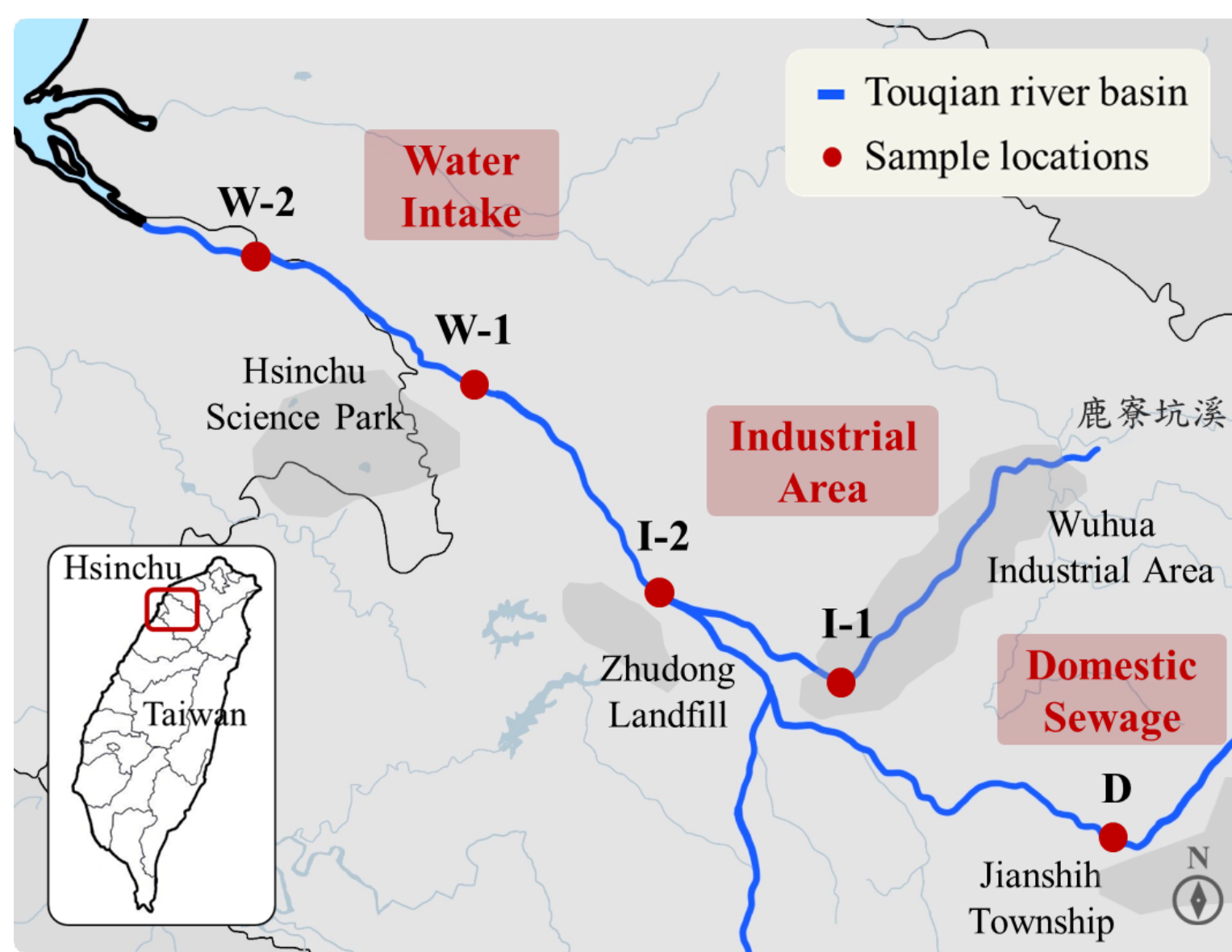
Flow chart



Sampling locations

Group I. Top sediments (W-2, W-1, I-1, D)

Group II. Top and deep sediments (W-2, W-1, I-2)



(Top : Between 0-15 cm ; Deep : Deeper than 45 cm)

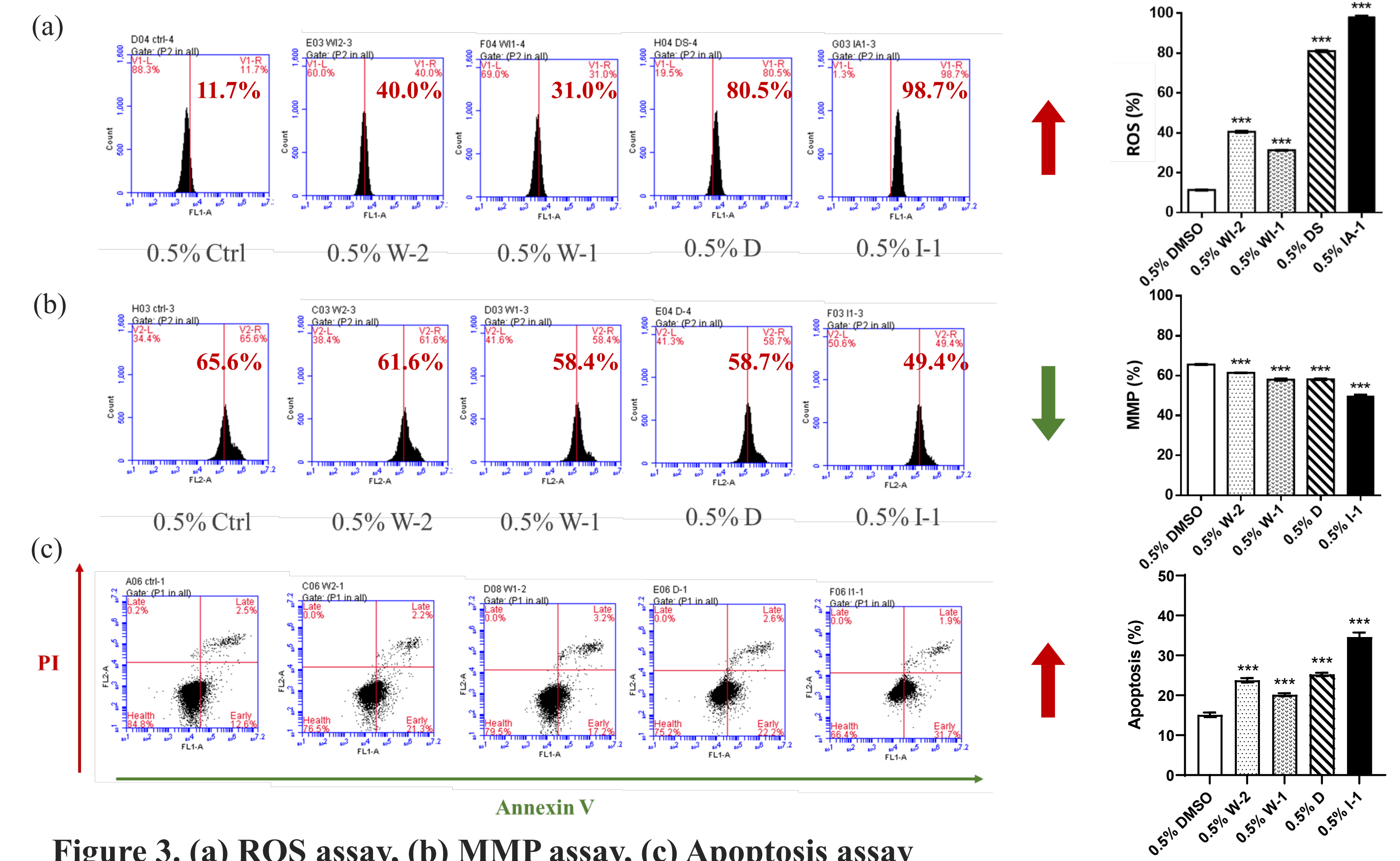


Figure 3. (a) ROS assay, (b) MMP assay, (c) Apoptosis assay

After HEK-293T treat with 0.5% DMSO and 0.5% sediment extracts for 24 H, the cell line exposed to industrial area sediments exhibited a significant increase of oxidative stress (a) and apoptosis (c), a significant decrease of the mitochondrial membrane potential (b). (n=3, ***p-value ≤ 0.001).

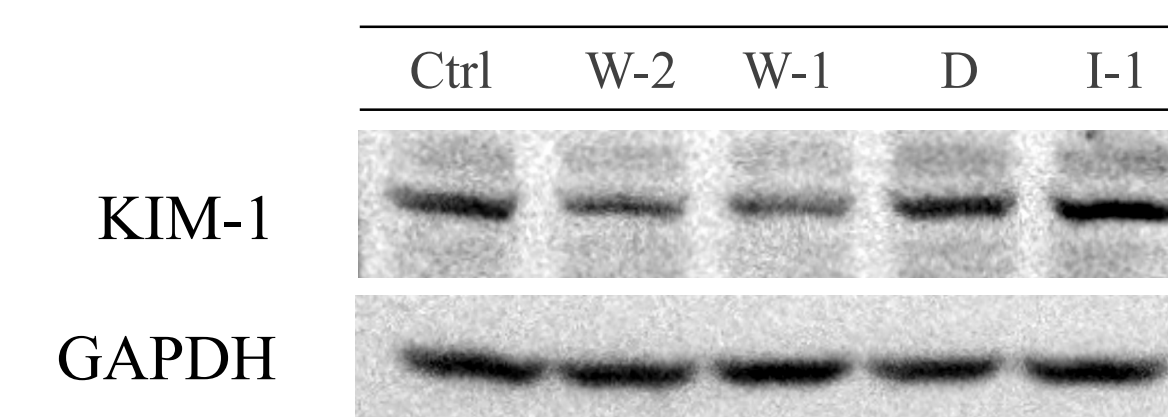


Figure 4. Western Blot

Western blot analysis of nephrotoxicity biomarker (KIM-1), after exposed to 0.5% sediment extracts for 24H. GAPDH was used as loading control.

Group II. Top and deep sediments

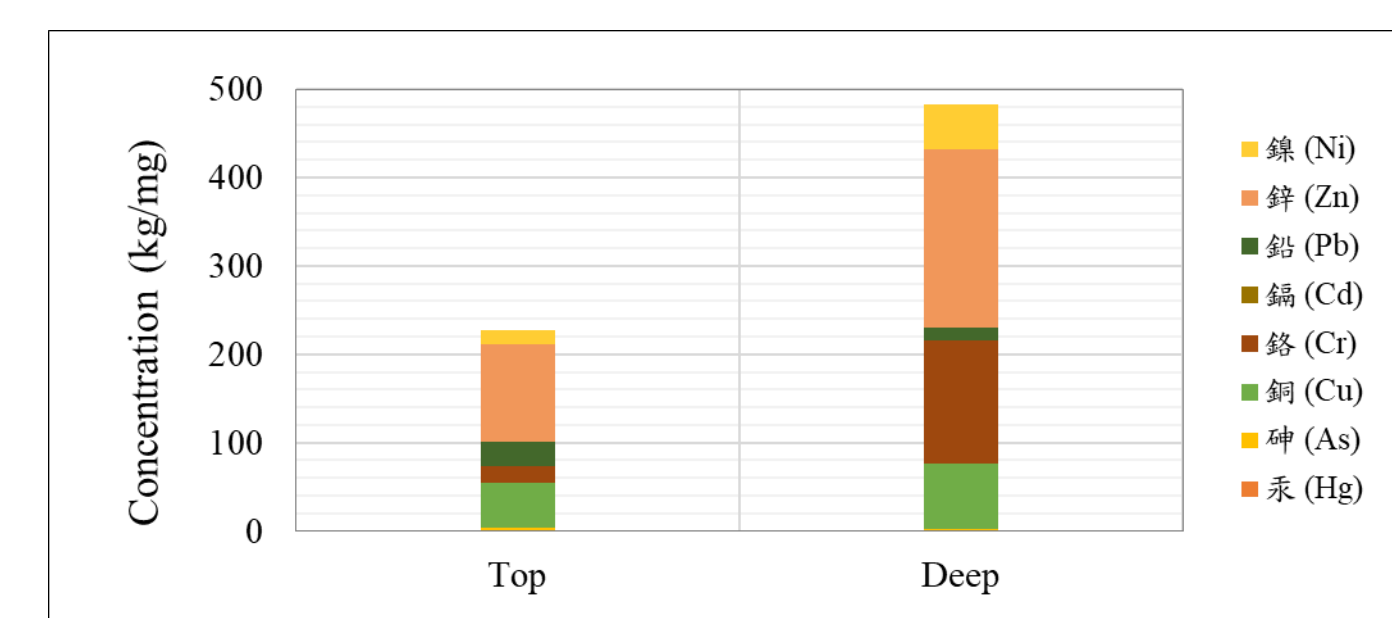


Figure 5. Heavy metals concentration

The total concentration of eight heavy metals in top and deep sediment samples. According to the figure, heavy metals tend to stay in deep sediment.

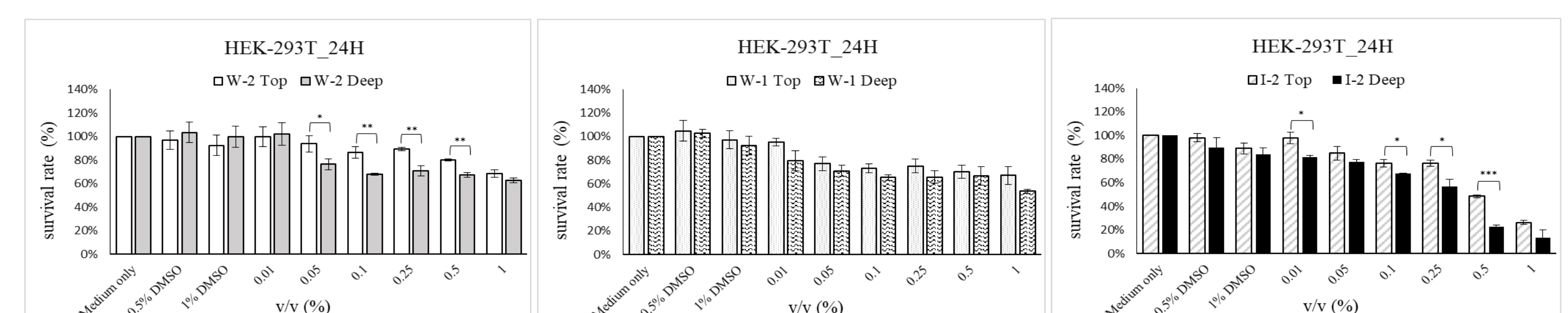


Figure 6. MTT assay

After 24 H of sediment extracts treating, the survival rate of HEK-293T exposed to the deep sediment extracts exhibited a significant decrease. Reaction for 48 H had the same results. (n=3, *p-value ≤ 0.05, **p-value ≤ 0.01, and ***p-value ≤ 0.001).

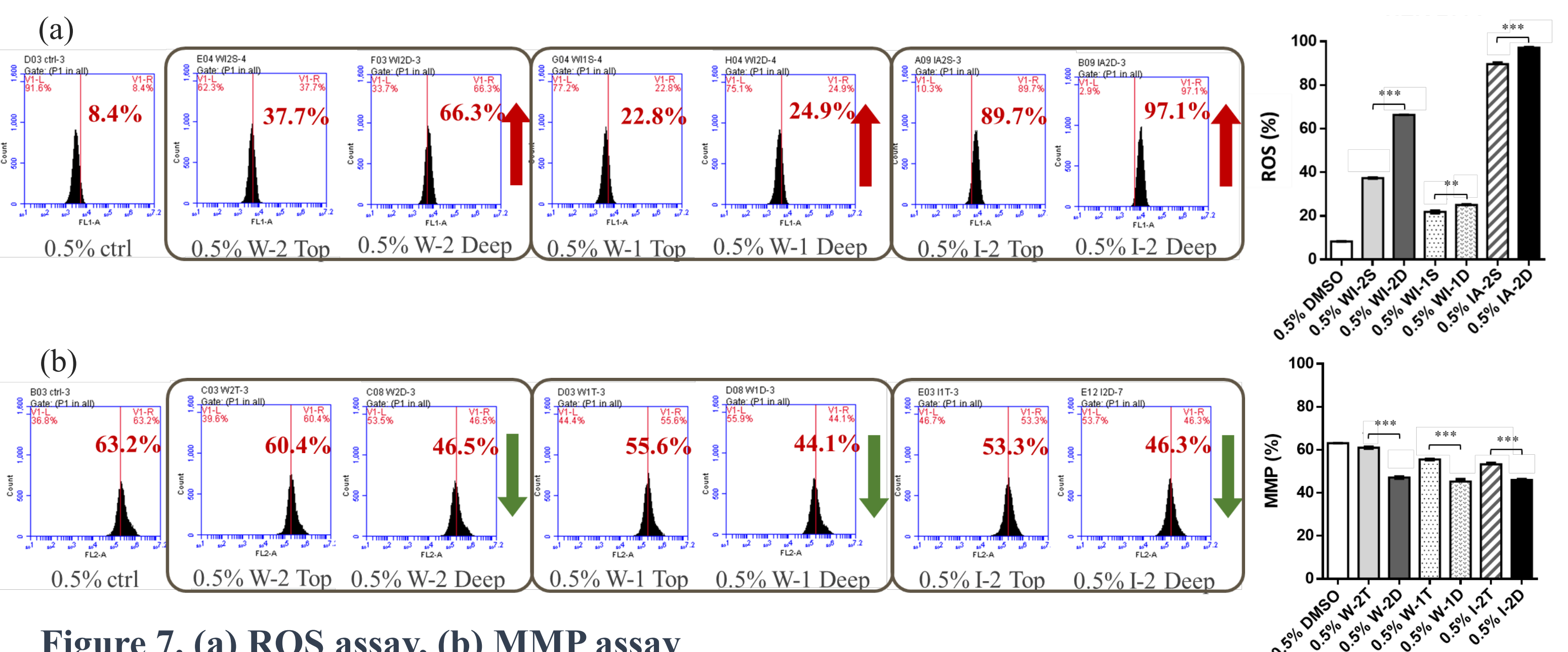
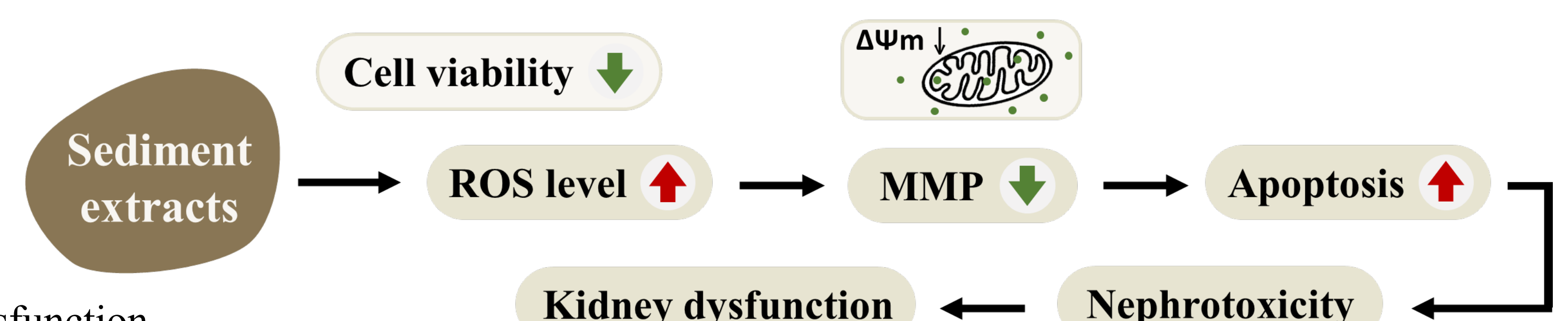


Figure 7. (a) ROS assay, (b) MMP assay

After HEK-293T treat with 0.5% DMSO and 0.5% sediment extracts for 24 H, the cell line exposed to deep sediments exhibited a significant increase of oxidative stress (a) and a significant decrease of the mitochondrial membrane potential (b). (n=3, ***p-value ≤ 0.001).

Conclusion

- Heavy metals tend to accumulate more in sediments than in the water phase.
- Deeper sediments contain higher concentrations of heavy metals.
- By the pollution load index, the contamination degree in industrial area is the highest.
- Pollutants extracted from the sediments have been shown to cause damage to kidney cells.
- Future research will focus on identifying the pathways leading to cell damage and kidney dysfunction.
- More stringent sediment quality indices need to be developed to ensure the safety of our drinking water.



Effect of Industrial Pollutant in Kidney Cell

Kai-Lun Chang ^a, Sih-Yu Chiou ^a, Wei-Yi Chen ^a, Hong-Lin Chan ^{a,b}, **Hsiu-Chuan Chou ^{a,*}**

^a Institute of Analysis and Environmental Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan
^b Institute of Bioinformatics and Structural Biology, Department of Medical Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

Abstract

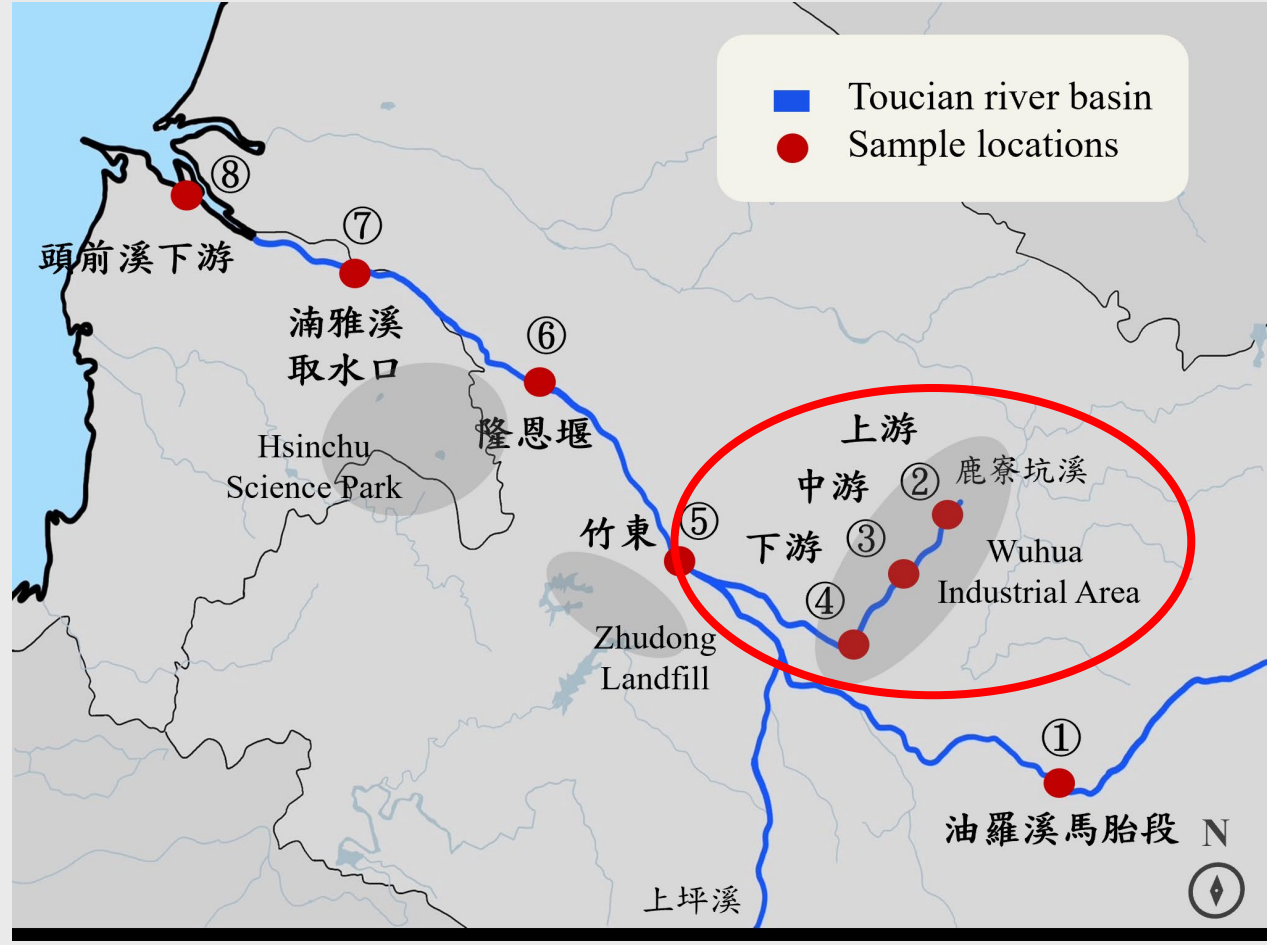
Technological and scientific advancements have generally improved the quality of life, but they also introduce new, potentially harmful pollutants into the environment. This study focuses on the tributary of the Touqian River, the Luliaokeng River, that flows through Wuhua Industrial Park. The Touqian River is the main source of drinking water in Hsinchu. However, the Touqian River upstream has industrial pollution and domestic wastewater. The companies in Wuhua Industrial Park claim to treat their wastewater before discharging it.

Our research indicates that the Luliaokeng River remains significantly contaminated sediment. Pollution in sediment may be released back into the water by disturbances from weather or human factors. This ongoing pollution raises concerns about the effectiveness of current wastewater and sediment treatment practices and the potential long-term environmental and health impacts on their surrounding area. The persistence of pollutants in the river ecosystem can lead to biomagnification and bioaccumulation, potentially affecting human health through the food chain.

Of particular concern are the liver and kidneys, the primary organs responsible for detoxification in the human body. Toxic substances, including heavy metals and organic compounds present in the polluted water and sediment, may accumulate in these organs, potentially causing liver or kidney dysfunction. This study underscores the urgent need for improved polluted water and sediment management practices and highlights the potential health risks.

Material and Methods

Sample location



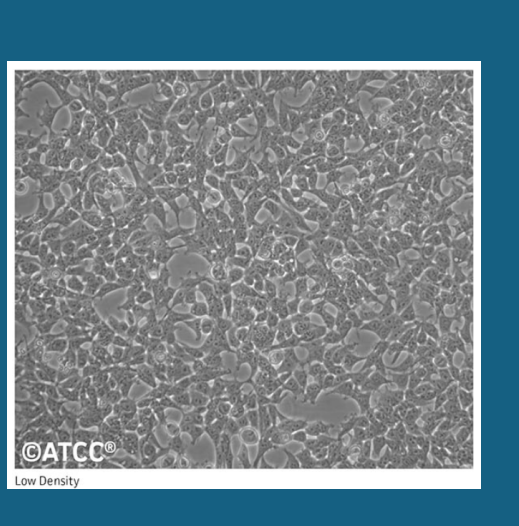
Flow Chart

Extraction of sediment pollutants

MTT assay

Cell line

HEK-293T



Product category

Human cells

Organism

Homo sapiens, human

Morphology

Epithelial

Tissue

Kidney; Embryo

Introduction

Sediment is the material deposited at the bottom of the river by gravity. It is composed of various substances, including sand, clay, loam, and other materials. High-quality sediment plays a crucial role in supporting the self-purification functions of rivers, contributing to a healthier and more diverse aquatic ecosystem. However, due to technological and scientific advancements, coupled with inadequate regulations, new pollutants are increasingly released into rivers from various sources, such as urban runoff, wastewater treatment plants, industrial activities, and agricultural practices. When these pollutants enter the river system, they contaminate both the water and the sediment (Fig.1).

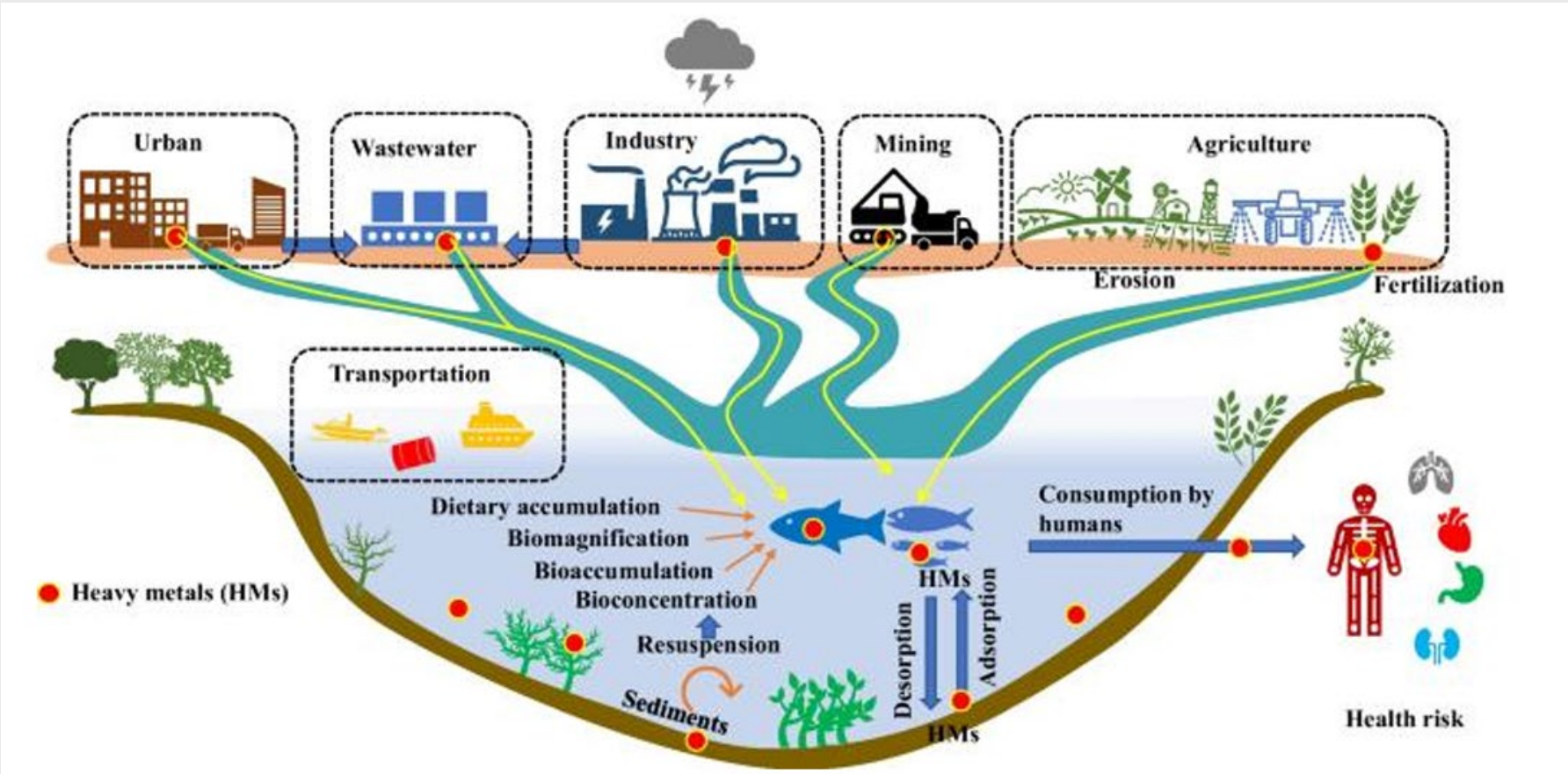


Fig. 1 Sediment pollution sources and biological accumulation.

Contamination of sediment can have far-reaching consequences. If aquatic plants and fish absorb these pollutants, they can lead to biological toxicity and pose significant risks to human health. The processes of biomagnification and bioaccumulation amplify these risks throughout the food chain (Fig.1). As a result, humans, being at the top of the food chain, may bear the brunt of toxic accumulation, regardless of whether the pollutants originate from terrestrial or aquatic ecosystems (Ding et al., 2022).

Taiwan's Ministry of Environment established sediment quality standards in 2012 that encompass 8 heavy metals and 20 organic pollutants. The regulated heavy metals include mercury, arsenic, copper, chromium, cadmium, lead, zinc, and nickel. The organic pollutants consist of 16 polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) compounds and 4 plasticizers. However, these standards do not yet address an emerging class of contaminants known as per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). PFAS are characterized by their hydrophobic and oleophobic properties, as well as their environmental persistence. These compounds are extensively used in various industries, including technology manufacturing and food packaging. Given the vast array of PFAS compounds and their widespread use, it is crucial to investigate the biological toxicity they may cause. This research is necessary to inform future regulatory decisions and to better understand the potential environmental and health impacts of these persistent chemicals.

Result

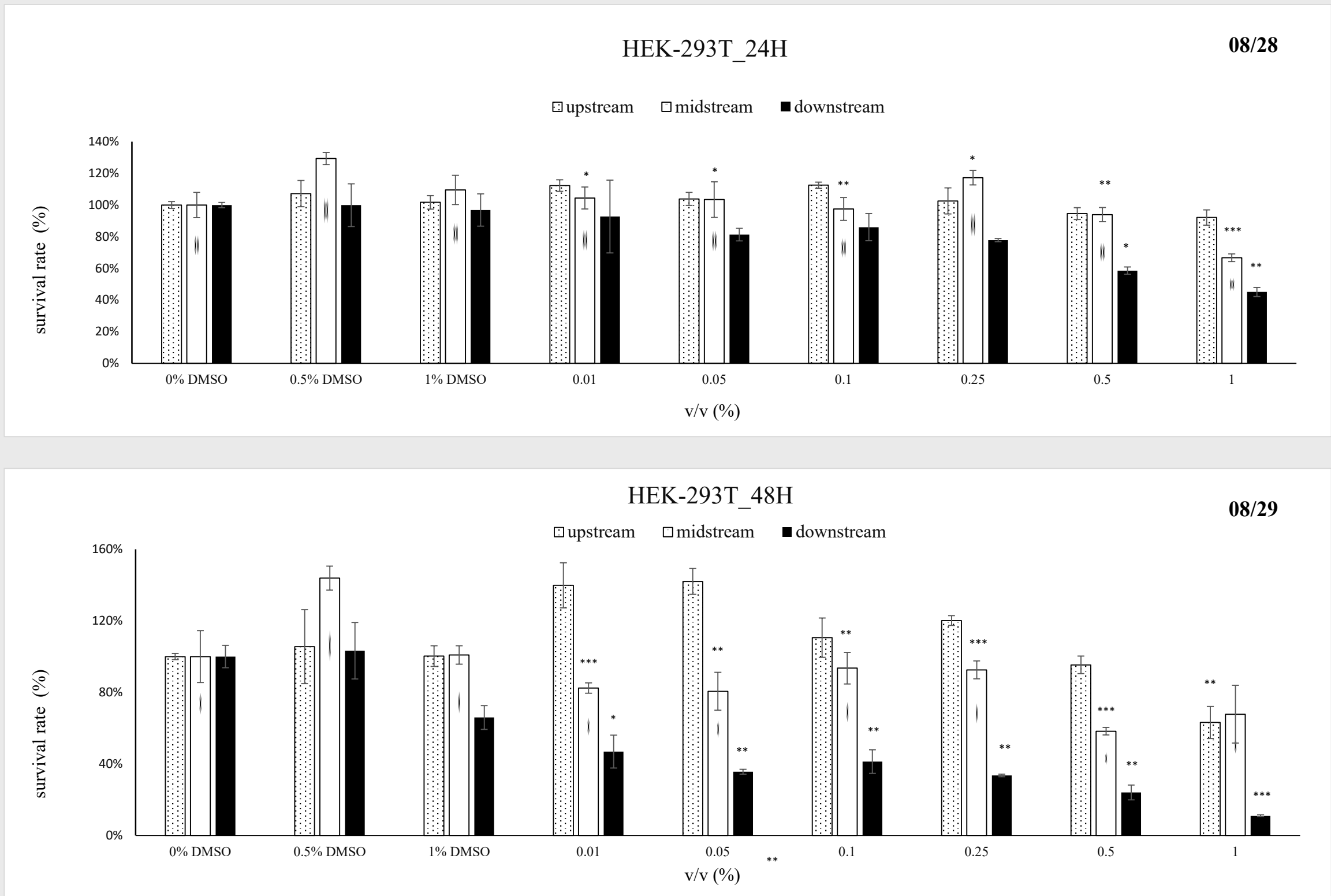


Fig. 2 MTT of Luliaokeng River upstream, midstream and downstream for 24 and 48 hours.

*p-value ≤ 0.05, **p-value ≤ 0.01, and ***p-value ≤ 0.001 (n=1)

Discussion and Conclusion

In conclusion, our MTT assay results demonstrate that HEK-293T cells exhibit increased damage when exposed to downstream sediment which is heavily polluted with industrial wastage. This suggests that the downstream sediment may contain compounds with cumulative toxic effects on human embryonic kidney cells. These findings highlight the potential environmental and health risks associated with prolonged exposure to these sediments. Further research is needed to identify the specific compounds responsible for this toxicity and to investigate the effects on other cell types and organisms. Additionally, this study underscores the importance of considering exposure duration in environmental toxicity assessments. For farther research, we will indicate the pathway of the cell damage, then provide environmental friendly remediation method for the polluted sediment.

Reference

- [1] M-W. Lin, et al., 2022. Urban sediment pollutants alternate human cell essential behaviour through promoting oxidative damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 229 (2022) 113065
- [2] Ding, C., Biological toxicity of heavy metal (loid) s in natural environments: From microbes to humans. *Frontiers in Environmental Science* 2022, 681



The effectiveness evaluation in toxicity assessment of sediment pollutants in reproductive systems

Yan-Ting Feng^a, Yu-Xuan Ye^a, Sih-Yu Chiou^a, Hsiu-Chuan Chou^{a*}
^a Institute of Analytical and Environmental Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

Introduction

Ke-Ya stream is one of the main watersheds in Hsinchu. It is adjacent to the Hsinchu Science Park. Many semiconductor industries and emerging industries around it will discharge industrial wastewater, and some surrounding household sewage will also be discharged into the stream, causing pollution to the sediment in Keya Creek. , and the sediment is the habitat and source of nutrients for many aquatic organisms. Many persistent organic pollutants (POPs) will continue to be deposited in the sediment. When too many pollutants accumulate in the sediment, May have negative impacts on aquatic life and water quality. Eventually, it is likely to enter the human body through the food chain and accumulate harmful substances in the body, causing health hazards.

Among them, after extracting the contaminated sediment and treating 18 cell lines, it was found that among the cell lines treated with the sediment extract, the cytotoxicity of germ cells was the most severe, indicating that germ cells are more toxic than other cells. , are more sensitive, and the reproductive system is an important organ for human beings to continue their offspring.

In previous experiments, ROS and apoptosis tests were conducted using sediment extracts from the upper, middle and lower reaches of Ke-Ya stream and two germ cell lines (ovarian cancer cell A2780 and testicular cancer cell NCCIT). The results showed that the ROS produced downstream was more severe and leading to cell death. The Touqian River watershed is the largest watershed in the Hsinchu area, and it also supplies water for people's livelihood in the Hsinchu area.

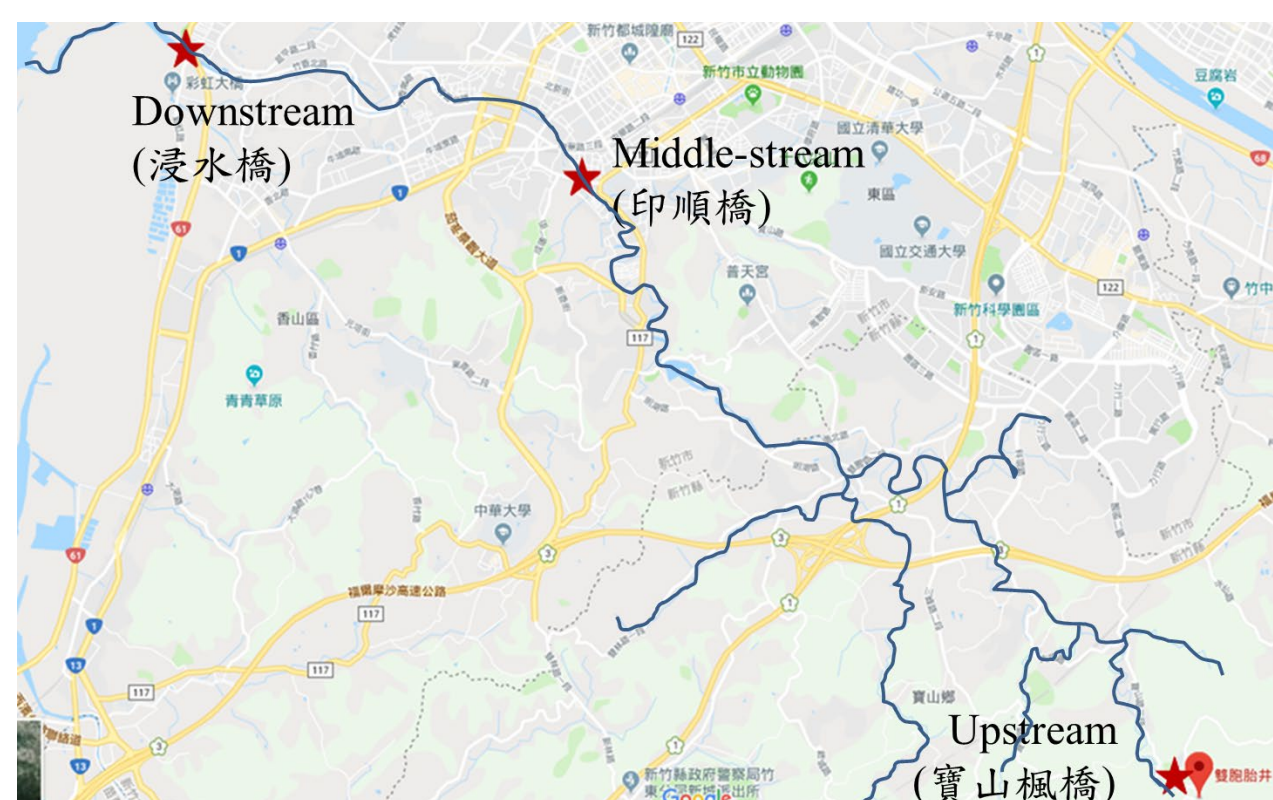
This study aims to further investigate whether the discharge of domestic sewage and industrial wastewater flowing through upstream and midstream areas, as well as the nearby landfill, affects the health of our drinking water at the two downstream water intake points.

Therefore, in this study, we collected 10 sampling points and divided them into three groups, namely surface sediment, surface and deep sediment, and compared the upper, middle and lower reaches of Luliao River, and conducted MTT toxicity effect assessment. The results It was shown that the sediment extract from the water intake had a better effect on cell survival than the sediment from the adjacent industrial area. Further analysis found that the poisonous effect of deep sediment on cells was significantly higher than that of surface sediment, and the toxicity of sediment pollution in the lower reaches of Luliao River was more serious than that in the upper and middle reaches. In the future, oxidative stress and cell apoptosis experiments will be conducted to explore the specific toxicity mechanism of sediment pollutants on cells, as well as to study changes in gene expression.

Materials and Methods

Sampling Locations

◆ Ke-Ya Stream



◆ Tonqian river



Cell lines

Testis cells		Reproductive cell		Ovary cells	
Cell name	NCCIT		Cell name	A2780	
Species	Homo sapiens, Human		Species	Homo sapiens, Human	
Tissue	anterior mediastinal mixed germ cell tumor		Tissue	Ovarian endometrioid adenocarcinoma	

Results

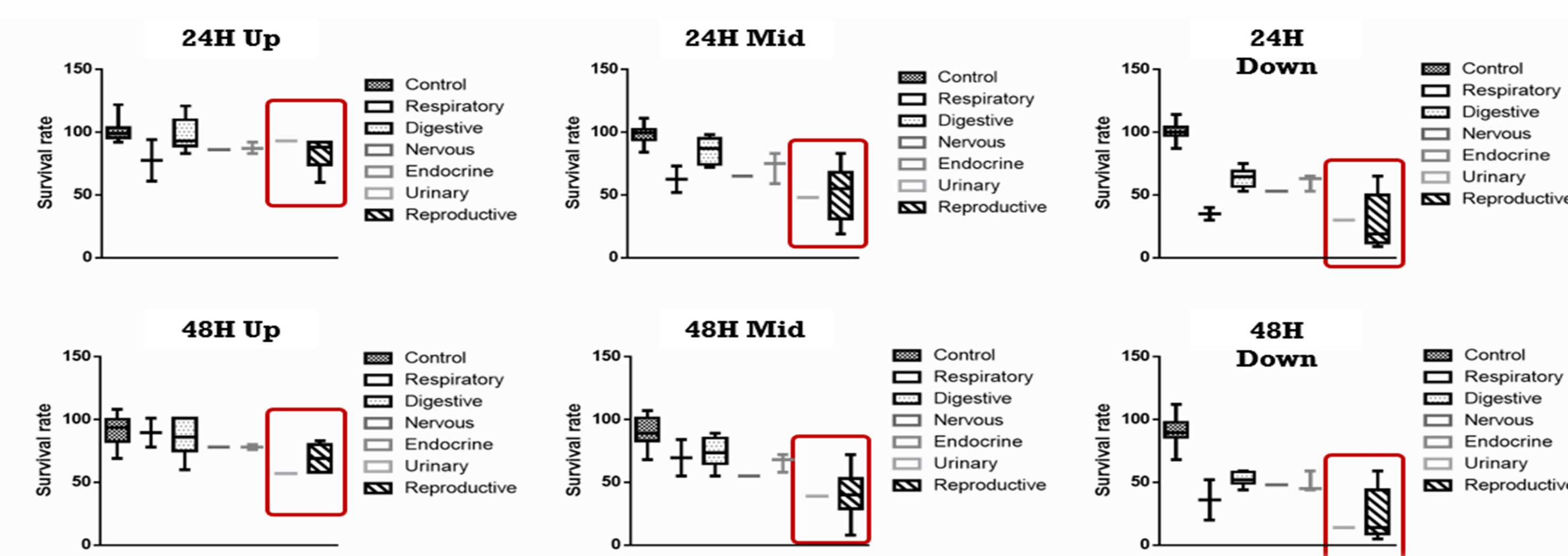


Figure 1 Comparing cell viability between different systems in the human body. After sediment extract treatment, the cell viability of reproductive system is lower than other systems in human body. Data were tested by MITT assay and presented as mean+ SEM. 1% DMSO was used as the control group.

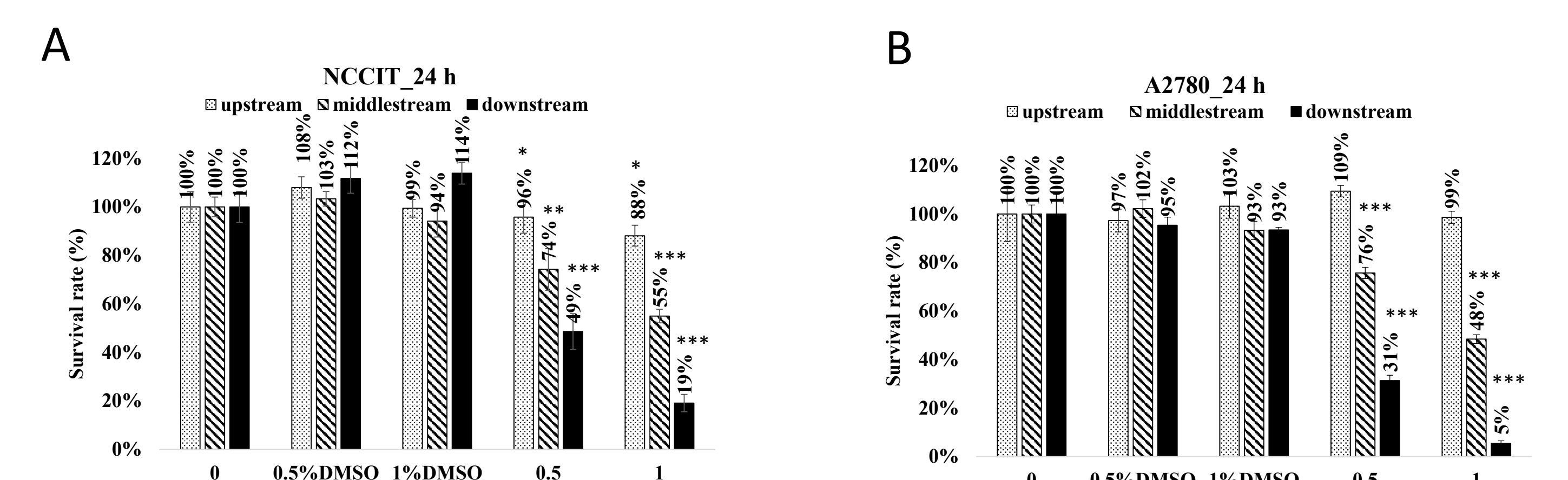


Figure 2. MTT assay.

NCCIT (A) and A2780 (B) cells were exposed to organic extracts from Ke-Ya Stream sediments for 24 hours, with DMSO treatment serving as a control. The results indicated that the cells were significantly impacted by the organic extracts from downstream sediments, exhibiting a notable decrease in viability compared to other organic sediment extracts, and the effects were also dose-dependent. (p-value < 0.05)

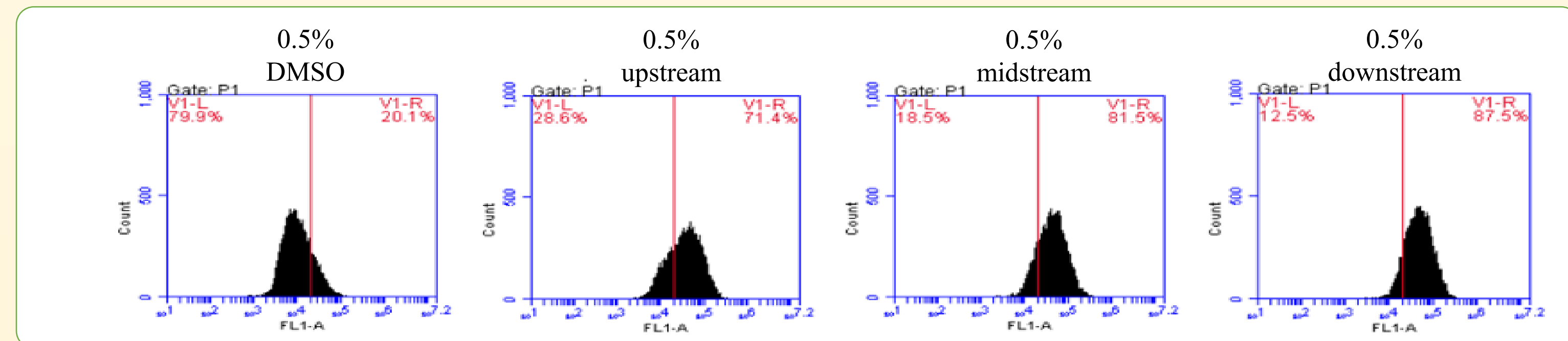


Figure 3. ROS assay

Changes of intracellular ROS (iROS) induced by sediment extraction. NCCIT was treated with organic extractions from sediments for 24 h. According to the results, the iROS are significantly increased after exposure to sediment extraction.

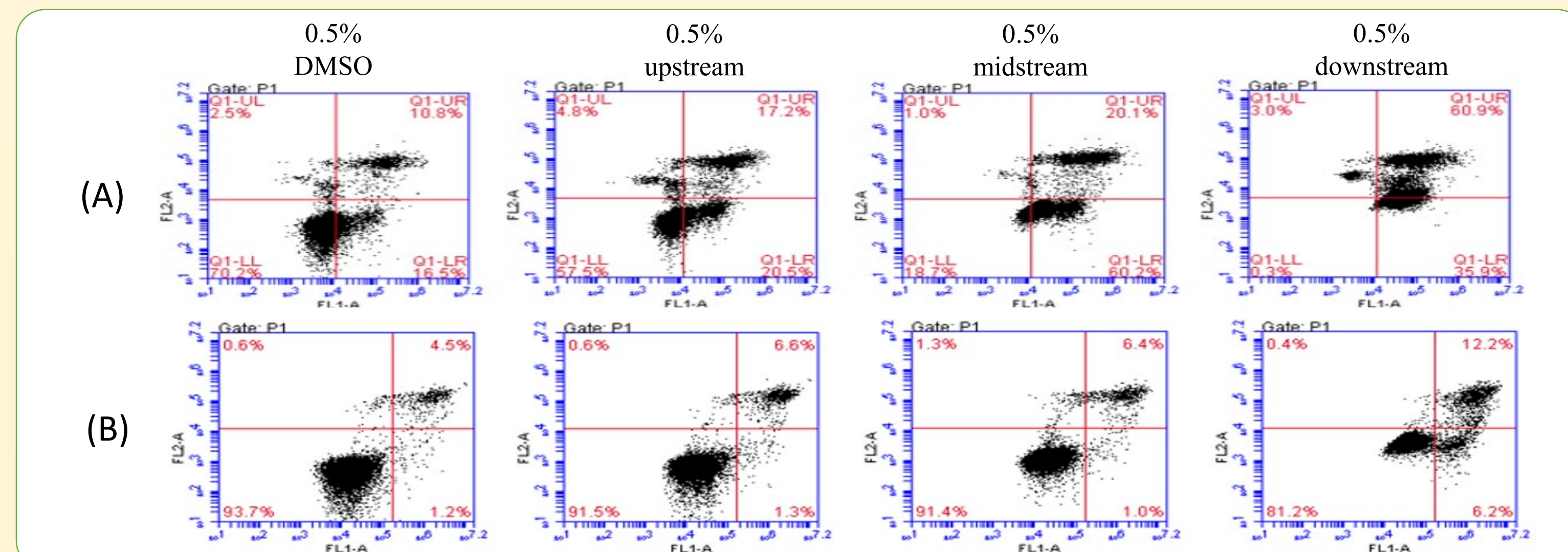


Figure 4. Apoptosis assay

NCCIT (A) and A2780 (B) was treated with organic extractions from sediments for 24 h. According to the results, the organic extractions from downstream sediments stimulates cell apoptosis compared with upstream and middle stream sediments in NCCIT, it increased from 10.8% to 60.9% after treated with downstream sediments.

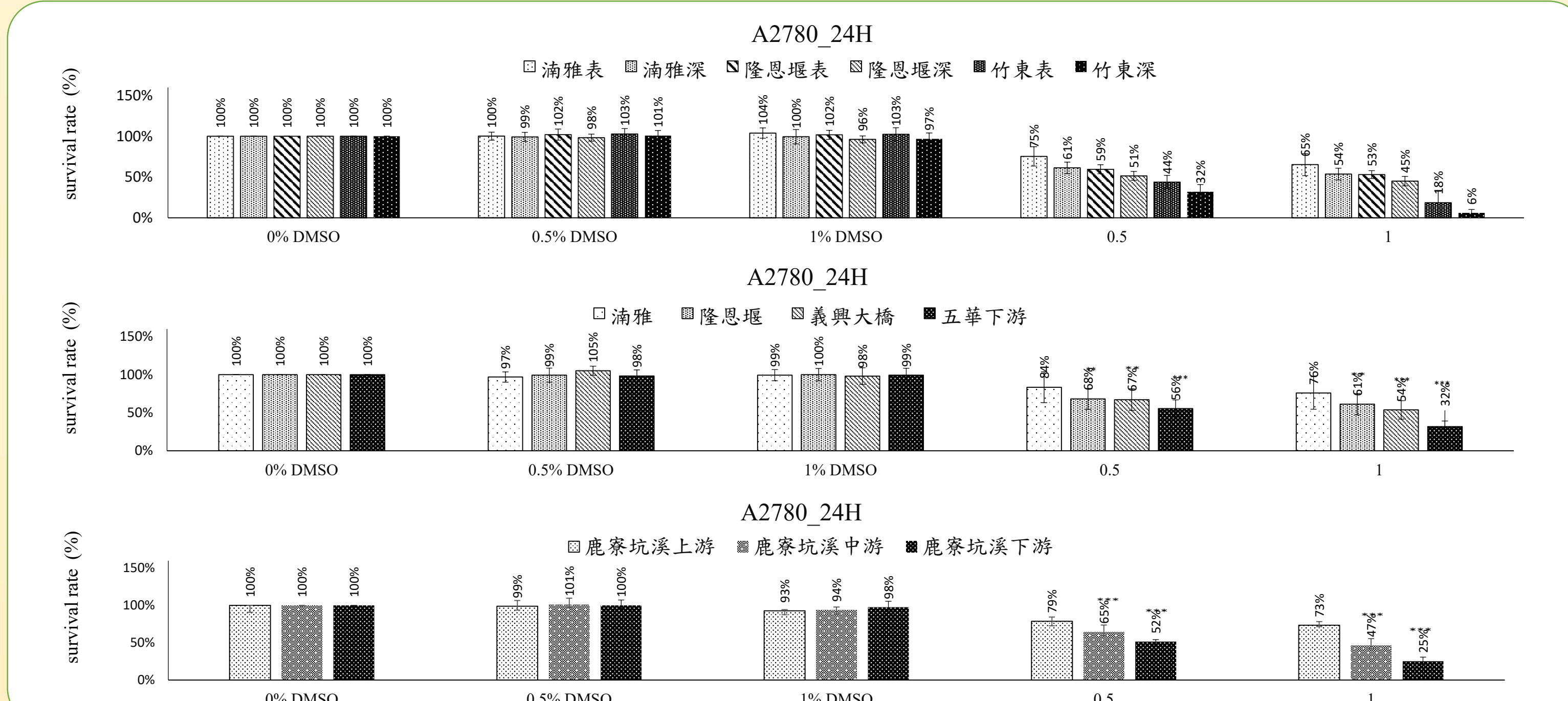


Figure 5. MTT assay.

A2780 cells was exposed to organic extracts from Touqian river sediments for 24 hours, with DMSO treatment as a control. The results indicate that (A) the toxic effect of deep sediment on cells is significantly higher than that of surface sediment. (B) The cell viability in the extraction from the sediment at the water intake is higher compared to that of the industrial area surface sediment extraction. (C) The cell viability significantly decreases in the organic extracts from downstream sediments compared to other organic sediment extracts.(p-value < 0.05)

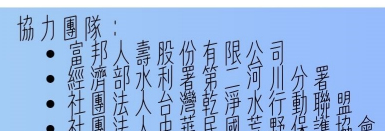
Conclusion

- The deep sediment of Touqian river accumulates more pollutants, and the cell toxicity produced is higher than that of the surface sediment.
- Compared with the industrial area, the water intake has a significantly higher cell survival rate, indicating that the water intake is cleaner.
- Future work: ROS, Apoptosis, cell cycle, Mitochondrial membrane potential will be performed.

2024新竹生活科技節x預見科技桃花源 短講議程

時間	主題	流程
09:30-10:00	參展單位簽到	
10:00-10:15	開場、來賓介紹、流程介紹、合影	
10:15-10:30	貴賓致詞	1.清大史欽泰講座教授&預見科技桃花源創辦人 2.工研院羅達賢特聘專家
10:30-10:40	桃花源成果說明 & 展覽區域介紹	演講人：王俊程教授 TechThy預見科技桃花源服務及成果介紹
10:40-10:50	本次活動主題介紹 淨零碳排分享	演講人：OSCAR 淨零排放韌性供應鏈聯盟 陳鼎元秘書長
10:50-11:10	展區導覽	
11:10-11:50	再生能源科技與ESG	11:10-11:20 井井咖啡 太極風雅文創事業
		11:20-11:28 虹彩光電
		11:28-11:36 大畏創新股份有限公司
		11:36-11:44 永續頭前溪，建構頭前溪行動平台
		11:44-11:52 台灣玩具圖書館協會
11:50-12:30	新竹在地美食遊園	茶裡相逢(竹東)、豐禾子(竹北)、馬武督咖啡(關西)、裕大仙草凍(關西) 橄欖先生(寶山)、新城風糖(寶山)、ST有善農園(橫山)
12:30-13:30	新竹在地美食遊園（午餐）	
13:30-13:45	運動x未來科技	AI 運動情蒐分析／紐因科技
13:45-14:05	半導體產業博物館	13:45-13:55 以科技力守護現在打造未來：半導體科研青年論壇 『青研論壇』創辦人江政龍
		13:55-14:05 國科會A世代前瞻半導體專案計畫
14:05-14:33	未來科技體驗區	14:05-14:15 iLink計畫
		14:15-14:23 TerraTrack
		14:23-14:33 自主移動機器人聯盟AMRA
14:33-15:03	智慧農業體驗區	14:33-14:43 來農場 種希望 -科技務農成為生活實踐的選擇：李文權博士
		14:43-14:53 福萊爾無人機AI數位-UAV無人機運用與發展
		14:53-15:03 大平窩農場環境感測應用：國立清華大學資訊工程系特聘教授黃能富教授團隊
15:03-15:15	農業氣味科技	15:03-15:15 江明錦助理教授 茶文化事業經營管理系
15:15-15:35	熟齡生活實驗室	15:15-15:25 聯新加速器計畫：打造醫院延伸到社區的數位健康照顧生態系
		15:25-15:35 USR HUB計畫：在清大建立跨世代交流／專案負責學生丘昱萱
15:35-15:50	結語 開放交流	
15:50	新竹在地美食遊園（下午茶）	

日期：2024年12月6日下午 05:15





附件五

躍進

連動。串聯

促進城鄉均衡發展

與在地結緣的延伸

森川。嶼林

鄰鄰

11/27(三)-12/4(三)

成果展

旺宏館1F川堂

X

11/27(三)

ESG 論壇

旺宏館國際會議廳

Truss示意

指導單位 | 教育部

主辦單位 | 區域創新中心

執行單位 | REAL+新竹區域產業與文化支持系統 計畫

協辦單位 | USR | (縮減六字簡短名稱)
Hub | (縮減六字簡短名稱)



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Genotoxicity and cytotoxicity in male reproductive cells caused by sediment pollutants

Meng-Wei Lin^a, Jai-Yu Chen^b, Yu-Xuan Ye^b, Wei-Yi Chen^b, Hong-Lin Chan^{a,c,*}, Hsiu-Chuan Chou^{b,**}

^a Institute of Bioinformatics and Structural Biology, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

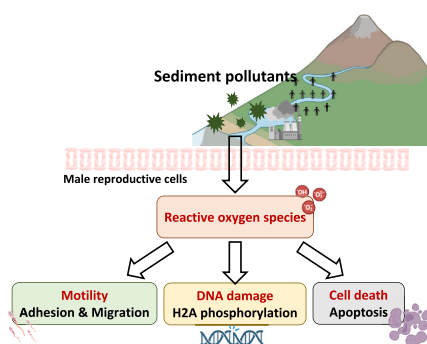
^b Institute of Analytical and Environmental Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

^c Department of Medical Science and Institute of Bioinformatics and Structural Biology, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan

HIGHLIGHTS

- The first in vitro evidence of sediment contaminants linked to human male germ cells.
- Sediment pollutants caused genetic toxicity to the human male germline.
- Oxidative stress from sediment contaminants damaged human testicular embryonic cells.
- Toxicity signatures include disrupting key cellular functions and inducing apoptosis.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Editor: Henner Hollert

Keywords:

Sediment
Environmental pollution
Apoptosis
Male reproductive system
Reactive oxygen species

ABSTRACT

In recent years, mounting evidence has highlighted a global decline in male semen quality, paralleling an increase in male infertility problems. Such developments in the male reproductive system are likely due to a range of environmental factors, which could negatively affect the outcomes of pregnancy, reproductive health, and the well-being of fetuses. Different environmental contaminants ultimately accumulate in riverbed sediments due to gravity, so these sediments are frequently considered hotspots for pollutants. Therefore, understanding the detrimental effects of river sediment pollution on human reproductive health is crucial. This study indicates male germ cells' high vulnerability to environmental contaminants. There is a strong positive correlation between the concentration of complex accumulated pollutants from human activities and the reproductive toxicity observed in human testicular embryonic cell lines NCCIT and NTERA-2. This toxicity is characterized by increased levels of reactive oxygen species, disruption of critical cellular functions, genotoxic impacts, and the induction of cell

Abbreviations: BSA, Bovine serum albumin; DCF, 2',7'-Dichlorofluorescein; DCFH-DA, 2',7'-Dichlorodihydrofluorescein diacetate; DCM, Dichloromethane; DMEM, Dulbecco's modified Eagle's medium; DMSO, Dimethyl sulfoxide; FBS, Fetal bovine serum; HRP, Horseradish peroxidase; HSP, Hsinchu Science Park; PVDF, Polyvinylidene difluoride; ROS, Reactive oxygen species; RPMI, Roswell Park Memorial Institute; SDS-PAGE, Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis; SEM, Standard error of the mean.

* Correspondence to: H.-L. Chan, Institute of Bioinformatics and Structural Biology, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan.

** Corresponding author.

E-mail addresses: lmw1018@nycu.edu.tw (M.-W. Lin), hlchan@life.nthu.edu.tw (H.-L. Chan), chouhc@mx.nthu.edu.tw (H.-C. Chou).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173578>

Received 6 February 2024; Received in revised form 22 April 2024; Accepted 25 May 2024

Available online 27 May 2024

0048-9697/© 2024 Elsevier B.V. All rights reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

associated with DNA mutation and damage. Apoptosis is often a subsequent response to DNA damage (Wang, 2001). The results of this study indicate that exposure to higher concentrations of household/industrial sediment contaminants results in greater DNA damage and cell apoptosis in the male germline.

To summarize, toxins found in household/industrial sediments induce heightened oxidative stress, impede cell adhesion and migration, escalate H2A phosphorylation, and lead to apoptosis in male germ cells. There are some potential limitations of this study, the scientific value of results obtained from cell lines may not fully reflect the intricacies of human physiology. Considering these factors in translating in vitro results to potential impacts on human health indicates the need for further investigations including studies on animal models and clinical observations on humans to validate and fully understand the implications of the results considering potential limitations in the direct applicability of the results to humans. However, this study represents the first of its kind to employ a bed-to-bench methodology for evaluating the action mechanisms of overall environmental pollutants on male germ cells, thereby offering definitive scientific proof of reproductive stress induced by environmental factors.

5. Conclusion

Anthropogenic pollutants encompass a broad spectrum of heavy metals and diverse organic compounds, which are distributed across the environment, typically in low concentrations. However, the cumulative impact of these low-dose, long-term exposures to environmental contaminants is markedly significant on the male germline. Experimental findings indicate a reduction in the viability of male germ cells, impairment of fundamental cellular functions, acceleration of DNA damage, and eventually culminating in the demise of these cells. The insights gained from this study are crucial for comprehending the influence of total environmental pollutants on human health and the decreasing birthrate. This knowledge is instrumental in meticulously devising strategies to regulate and mitigate the effects of these detrimental components.

CRedit authorship contribution statement

Meng-Wei Lin: Conceptualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Jai-Yu Chen:** Conceptualization, Investigation. **Yu-Xuan Ye:** Investigation, Writing – original draft. **Wei-Yi Chen:** Writing – review & editing. **Hong-Lin Chan:** Conceptualization, Supervision, Writing – review & editing. **Hsiu-Chuan Chou:** Conceptualization, Supervision, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data availability

Data will be made available on request.

Acknowledgments

This work received support from two grants in Taiwan: NSTC 112-2221-E-007-025-MY3 from National Science and Technology Council and 112GA0034 from Environmental Management Administration, Ministry of Environment.

References

- Aitken, R.J., Baker, M.A., 2002. Reactive oxygen species generation by human spermatozoa: a continuing enigma. *Int. J. Androl.* 25 (4), 191–194.
- Aitken, R.J., Marshall Graves, J.A., 2002. Human spermatozoa: the future of sex. *Nature* 415 (6875), 963.
- Amelar, R.D., Dubin, L., Schoenfeld, C., 1980. Sperm motility. *Fertil. Steril.* 34 (3), 197–215.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Taherghorabi, Z., Khazdair, M.R., Sadeghi, M., 2021. Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front. Pharmacol.* 12, 643972.
- Bergamo, P., Volpe, M.G., Lorenzetti, S., Mantovani, A., Notari, T., Cocca, E., et al., 2016. Human semen as an early, sensitive biomarker of highly polluted living environment in healthy men: A pilot biomonitoring study on trace elements in blood and semen and their relationship with sperm quality and RedOx status. *Reprod. Toxicol.* 66, 1–9.
- Brack, W., Dulio, V., Agerstrand, M., Allan, I., Altenburger, R., Brinkmann, M., et al., 2017. Towards the review of the European Union Water Framework Directive: Recommendations for more efficient assessment and management of chemical contamination in European surface water resources. *Sci. Total. Environ.* 576, 720–737.
- Canipari, R., De Santis, L., Cecconi, S., 2020. Female fertility and environmental pollution. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17 (23), 8802.
- Chen, F., Lin, J., Qian, B., Wu, Z., Huang, P., Chen, K., et al., 2018. Geochemical assessment and spatial analysis of heavy metals in the surface sediments in the eastern Beibu Gulf: A reflection on the industrial development of the south China coast. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15(3), 496.
- Cheng, L., Li, J., Cheng, J., Wu, Z., 2019. Dibutyl phthalate-induced activation of ROS and ERK1/2 causes hepatic and renal damage in Kunming mice. *Hum. Exp. Toxicol.* 38 (8), 938–950.
- Cho, Y.J., Park, S.B., Han, M., 2015. Di-(2-ethylhexyl)-phthalate induces oxidative stress in human endometrial stromal cells in vitro. *Mol. Cell. Endocrinol.* 407, 9–17.
- Creasy, D.M., Chapin, R.E., 2013. Male reproductive system. *Haschek and Rousseaux's handbook of Toxicologic Pathology* 2493–2598.
- Dayananda, N.R., Liyanage, J.A., 2021. Quest to Assess Potentially Nephrotoxic Heavy Metal Contaminants in Edible Wild and Commercial Inland Fish Species and Associated Reservoir Sediments; a Study in a CKDu Prevalent Area, Sri Lanka. *Expo. Health.* 13, 567–581.
- Ferrero, G., Festa, R., Folli, L., Lettieri, G., Tarallo, S., Notari, T., et al., 2024. Small noncoding RNAs and sperm nuclear basic proteins reflect the environmental impact on germ cells. *Mol. Med.* 30 (1), 12.
- Foster, E.R., Downs, J.A., 2005. Histone H2A phosphorylation in DNA double-strand break repair. *The FEBS journal* 272, 3231–3240.
- Gao, X., Li, G., Pan, X., Xia, J., Yan, D., Xu, Y., et al., 2023. Environmental and occupational exposure to cadmium associated with male reproductive health risk: a systematic review and meta-analysis based on epidemiological evidence. *Environ. Geochem. Health* 45 (11), 7491–7517.
- Garcia-Rodriguez, A., Gosalvez, J., Agarwal, A., Roy, R., Johnston, S., 2018. DNA damage and repair in human reproductive cells. *Int. J. Mol. Sci.* 20 (1), 31.
- Gashi, F., Francisković-Bilinski, S., Bilinski, H., Kika, L., 2016. Assessment of the effects of urban and industrial development on water and sediment quality of the Drenica River in Kosovo. *Environ. Earth Sci.* 75 (9), 1–10.
- Guo, D., Wu, W., Tang, Q., Qiao, S., Chen, Y., Chen, M., et al., 2017. The impact of BMI on sperm parameters and the metabolite changes of seminal plasma concomitantly. *Oncotarget* 8 (30), 48619–48634.
- Heffner, L.J., Schust, D.J., 2010. The reproductive system at a glance. *John Wiley & Sons* Vol. 23.
- Jamal, F., Haque, Q.S., Singh, S., Rastogi, S.K., 2016. The influence of organophosphate and carbamate on sperm chromatin and reproductive hormones among pesticide sprayers. *Toxicol. Ind. Health* 32 (8), 1527–1536.
- Johansson, H.K.L., Damdimopoulou, P., van Duursen, M.B.M., Boberg, J., Franssen, D., de Cock, M., et al., 2020. Putative adverse outcome pathways for female reproductive disorders to improve testing and regulation of chemicals. *Arch. Toxicol.* 94 (10), 3359–3379.
- Jomova, K., Valko, M., 2011. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology* 283 (2–3), 65–87.
- Kawauchi, T., 2012. Cell adhesion and its endocytic regulation in cell migration during neural development and cancer metastasis. *Int. J. Mol. Sci.* 13 (4), 4564–4590.
- Kumar, N., Singh, A.K., 2022. Impact of environmental factors on human semen quality and male fertility: a narrative review. *Environ. Sci. Eur.* 34, 1–13.
- Kwack, S.J., Lee, B.M., 2015. Comparative cytotoxicity and sperm motility using a computer-aided sperm analysis system (CASA) for isomers of phthalic acid, a common final metabolite of phthalates. *J. Toxicol. Environ. Health A* 78 (16), 1038–1050.
- Lettieri, G., D'Agostino, G., Mele, E., Cardito, C., Esposito, R., Cimmino, A., et al., 2020a. Discovery of the involvement in DNA oxidative damage of human sperm nuclear basic proteins of healthy young men living in polluted areas. *Int. J. Mol. Sci.* 21 (12), 4198.
- Lettieri, G., Marra, F., Moriello, C., Prisco, M., Notari, T., Trifuoggi, M., et al., 2020b. Molecular alterations in spermatozoa of a family case living in the Land of Fires. A first look at possible transgenerational effects of pollutants. *Int. J. Mol. Sci.* 21 (18), 6710.
- Levine, H., Jørgensen, N., Martino-Andrade, A., Mendiola, J., Weksler-Derri, D., Jolles, M., et al., 2023. Temporal trends in sperm count: a systematic review and meta-regression analysis of samples collected globally in the 20th and 21st centuries. *Hum. Reprod. Update* 29, 157–176.

29 May UTS Workshop Agenda

Time (UTC+10) Sydney	Time (UTC+8) Hsinchu				
10:30-10:45 (15mins)	08:30-08:45 (15mins)	Registration			
10:45-10:55 (10mins)	08:45-08:55 (10mins)	Opening Prof. Ta-Jen Yen (Vice President for Global Affairs, NTHU) Mr. Iain Watt (Deputy Vice Chancellor and Vice President, UTS) Prof. Shawn S. H. Hsu (Dean of the College of EECS, NTHU)			
		Venue: Delta R302	Venue: Delta R304		Online Virtual Session
11:00-12:30 (90mins)	09:00-10:30 (90mins)	Artificial Intelligence for biomedical and health applications UTS Co-Chair Dr. YK Wang & Dr. Howe Zhu (online) NTHU Co-Chair Prof. Chih-Chun (Jeremy) Lee	Wireless communications UTS Co-Chair Prof. Xiaojing Huang (online) NTHU Co-Chair Prof. Kuang-Hao Liu		Multimedia Signal Processing UTS Co-Chair Prof. Jian Zhang (online) NTHU Co-Chair Prof. Chia-Wen Lin
11:00-11:15	09:00-09:15	Presentation title: Integrating neuromodulation chips with an AIoT system for advancing brain research and bio-electronic medicine NTHU Speaker: Prof. Hsin Chen	Presentation title: Advancing Research Inspired by 3GPP Satellite Communication Standards NTHU Speaker: Prof. Shin-Lin Shieh		Presentation title: Adversarial Purification Strategy for Speech Emotion Recognition NTHU Speaker: Dr. Bo-Hau Su (online)
11:15-11:30	09:15-09:30	Presentation title: "Neuroadaptive Brain-Computer Interface" UTS Speaker: Dr. Avinash Singh (online)	Presentation title: Integrating Radio Sensing into Next-Generation Communication systems UTS Speaker: Prof. Andrew Zhang		Presentation title: Mastering Segmentation with Scarce Data: The Few-Shot Learning Approach UTS Speaker: Wenbo Xu (online)
11:30-11:45	09:30-09:45	Presentation title: Toward Equity: Reducing Algorithmic Bias in AI-Based Medical Imaging NTHU Speaker: Asst. Prof. Po-Chih Kuo	Presentation title: New BP Decoder Scheme for Quantum Codes NTHU Speaker: Tzu-Hsuan Huang (Prof. Ueng, Yeong-Luh's PhD Student)		Presentation title: Graph-based Referring Expression Comprehension NTHU Speaker: Dr. Jingcheng Ke (online)
11:45-12:00	09:45-10:00	Presentation title: Series Game for Better Healthcare UTS Speaker: Dr. Jaime Garcia Marin (online)	Presentation title: Modern Antenna Technology Empowered Future Wireless Communication" UTS Speaker: Can Ding (online) Can Ding and A/Prof. Peiyuan Qin (online)		Presentation title: DSENET: An Object-wise Density-informed Coarse-to-Fine Object Detector for Aerial Image UTS Speaker: Haoran Jiang (online)

			UTS Speaker: A/Prof. Diep Nguyen																	
16:45-17:00	14:45-15:00	Presentation title: All-optical nanoscale temperature sensing on microelectronics using diamond color centers UTS Speaker: Dr. Trong Toan Tran (online)	Presentation title: On Poisoning Attacks and Defenses for LSTM Time Series Prediction Models: Speed Prediction as an Example NTHU Speaker: Prof. Shun-Ren Yang																	
17:00-17:15	15:00-15:15	Presentation title: Neuromorphic Intelligent Vision System-on-Chip NTHU Speaker: Prof.Kea-Tiong (Samuel) Tang	Presentation title: “Security and Privacy in Blockchain and AI” UTS Speaker: Dr X. Wang																	
17:15-17:30	15:15-15:30	Presentation title: 3D Printing Antenna in Package for mmWave and Sub-Terahertz Communications and Sensing UTS Speaker: A/Prof. Yang Yang (online)	Presentation title: Constant-round Blind Classical Verification of Quantum Sampling NTHU Speaker: Prof. Han-Hsuan Lin																	
17:30-18:00 (30mins)	15:30-16:00 (30mins)	Break	<table><tr><td>Sydney</td><td>Hsinchu</td><td>Venue: BMES301</td></tr><tr><td>17:40-19:10 (90mins)</td><td>15:40-17:10 (90mins)</td><td>Low Carbon Water Purification Technologies UTS Co-Chair Prof. Long Nghiem (online) NTHU Co-Chair Prof. Ruey-An Doong</td></tr><tr><td>17:40-17:55</td><td>15:40-15:55</td><td>Presentation title: A Novel, Membrane-free Microfluidic Electrochemical Separation/Water Purification Platform NTHU Speaker: Prof. Chi-Chang Hu</td></tr><tr><td>17:55-18:10</td><td>15:55-16:10</td><td>Presentation title: Nanobubble technologies for low carbon water/wastewater treatment UTS Speaker: Dr Ashley Ansari (online)</td></tr><tr><td>18:10-18:25</td><td>16:10-16:25</td><td>Presentation title: Investigating How River Sediments Mirror Human Health NTHU Speaker: Prof. and Director Hsiu-Chuan Chou</td></tr></table>			Sydney	Hsinchu	Venue: BMES301	17:40-19:10 (90mins)	15:40-17:10 (90mins)	Low Carbon Water Purification Technologies UTS Co-Chair Prof. Long Nghiem (online) NTHU Co-Chair Prof. Ruey-An Doong	17:40-17:55	15:40-15:55	Presentation title: A Novel, Membrane-free Microfluidic Electrochemical Separation/Water Purification Platform NTHU Speaker: Prof. Chi-Chang Hu	17:55-18:10	15:55-16:10	Presentation title: Nanobubble technologies for low carbon water/wastewater treatment UTS Speaker: Dr Ashley Ansari (online)	18:10-18:25	16:10-16:25	Presentation title: Investigating How River Sediments Mirror Human Health NTHU Speaker: Prof. and Director Hsiu-Chuan Chou
Sydney	Hsinchu	Venue: BMES301																		
17:40-19:10 (90mins)	15:40-17:10 (90mins)	Low Carbon Water Purification Technologies UTS Co-Chair Prof. Long Nghiem (online) NTHU Co-Chair Prof. Ruey-An Doong																		
17:40-17:55	15:40-15:55	Presentation title: A Novel, Membrane-free Microfluidic Electrochemical Separation/Water Purification Platform NTHU Speaker: Prof. Chi-Chang Hu																		
17:55-18:10	15:55-16:10	Presentation title: Nanobubble technologies for low carbon water/wastewater treatment UTS Speaker: Dr Ashley Ansari (online)																		
18:10-18:25	16:10-16:25	Presentation title: Investigating How River Sediments Mirror Human Health NTHU Speaker: Prof. and Director Hsiu-Chuan Chou																		
		Venue: Delta R302																		
18:00-19:30 (90mins)	16:00-17:30 (90mins)	Electric power and energy systems UTS Co-Chair Prof. Dylan NTHU Co-Chair Prof. Chia-Chi Chu																		
18:00-18:15	16:00-16:15	Presentation title: Motor Drives Applied to Microgrids and Electric Vehicles NTHU Speaker: Prof. Yuan-Chih Chang																		
18:15-18:30	16:15-16:30	Presentation title: Developing High-Efficiency High-Power-Density Electric Motor Drives for Electric Vehicles UTS Speaker: Prof. Youguang Guo																		



(ATINER)

*ATHENS INSTITUTE FOR EDUCATION AND RESEARCH**A World Association of Academics and Researchers**9 Chalko Kondili Str., 10677 Athens, Greece.**Tel.: 210-36.34.210 Fax: 210-36.34.209 Email: info@atiner.gr URL: www.atiner.gr*

(ATINER)

Athens, 28 December 2023

Hsiu-Chuan Chou

Professor

National Tsing Hua University

Taiwan

Our Ref: BIO2024/0701003

Dear Dr. Chou,

I would like to inform you that the selection academic committee has decided to invite you to speak at our 10th Annual International Conference on Biology, as part of the Annual Academic Meetings of the Natural Sciences Unit, 22-25 July 2024, Athens, Greece on the topic of:

Effect of Sediment Pollutants on Human Health

Please be prepared for an oral presentation in English only of 15-20 minutes including discussion. During your presentation you may use PowerPoint. If this is your first presentation at one of ATINER's small academic events, please read carefully our policy available at <https://www.atiner.gr/policy>.

More information can be found at the conference website <https://www.atiner.gr/biology>.

Confirm your participation by completing the registration before 31 January 2024 at: <https://www.atiner.gr/product/registration>.

If you want to book your hotel accommodation with ATINER, please fill the form at <https://www.atiner.gr/hotel-reservation> and our administration will respond to your request asap. Reservations should be made as soon as possible as the offer only stands as long as rooms are available. If you need more information on the accommodation, please send us an email to atiner@atiner.gr.

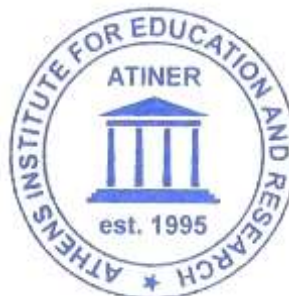
The conference's social program is available on <https://www.atiner.gr/social-program>. These are academic events which give the opportunity to our conference participants to further discuss the issues developed during the formal sessions and establish academic collaborations with other scholars from many different countries.

If you want your paper to be considered (peer reviewed) for publication and only then, please submit your manuscript by 24 June 2024 using our website <https://www.athensjournals.gr/paper-submission> following the paper guidelines stated there. For more information, please see point 3 of our policy on <https://www.atiner.gr/policy>. Please do not submit your paper if you do not want it to be published by ATINER.

I look forward to meeting you in Athens.

Yours Sincerely,

Dr. Gregory T. Papanikos
President



Bilateral exchange meeting between Chula Uni and NTHU

Date: 2024/05/10 (Fri)

Location: NTHU Biomedical Engineering and Environmental Sciences Building,
R418

Time	Content	Remark
9:00-9:10	Prof. Jenyuk Lohwacharin arrival	Room 418
9:10-9:20	To begin with welcome speech	Host: Prof. Hsiu-Chuan Chou
9:20-9:40	Speech by Prof. Jenyuk Lohwacharin (Title TBD)	Reporter: Prof. Jenyuk Lohwacharin
9:40-9:50	Discussion	
9:50-10:10	The evaluation of sediment toxicity in human kidney cell lines.	Reporter: Wei-Yi Chen
10:10-10:30	Discussion	
10:30-10:50	Effects of particulate matter in macrophages under the influence of four seasons.	Reporter: Yung-Jui Chen
10:50-11:10	Discussion	
11:40-13:00	Lunch Time	Chou Lab members
13:20-15:00	Visit the Instrumentation Center at AES, NTHU	
15:20-17:00	Visit the “Brain Research Center” at NTHU	
17:20-18:30	Dinner Time	
	Farewell	



國立清華大學永續棧

水清木華 | 環境科學與永續流域生活圈

揭牌典禮暨研究成果發表

辦理時間 | 113年6月5日 (三) 13:00-17:30

辦理地點 | 清華名人堂 (新竹市東區光復路二段101號)



論壇報名

指導單位 | 教育部、**環境部**、國家科學及技術委員會

主辦單位 | 國立清華大學

共同主辦 | 經濟部水利署、富邦人壽保險股份有限公司

協辦單位 | 經濟部水利署第二河川分署

新竹市政府、新竹縣政府



活動議程

開幕式
貴賓致詞
13:30-13:50

國立清華大學
〈小清水華：環境科學與永續流域生活圖〉
永續發揚牌典禮
13:50-13:55

主題演講
〈臺灣社會的永續圖像〉
〈國立清華大學永續行動〉
13:55-14:30

高為元 校長／國立清華大學
林敏聰 召集人／臺灣永續發
賴建信 署長／經濟部水利署

臺灣永續發展圖騰
國立清華大學師長暨研究團隊

林敏聰 召集人／臺灣永續發
戴念華 資深副校長／國立清華大學

改善水質－階段性成果發表
〈頭前溪底泥檢測與生物毒性研究〉

擴大參與－行動策略說明
〈鳳山溪流域科技行動網絡平台〉

綜合座談與交流
16:30-17:30

守護環境－階段性成果發表
〈頭前溪河川廢棄物即時監測模型〉
〈河川廢棄物處理的公私協力〉
14:40-15:35

永續教育－行動策略說明
〈一所學校守護一條溪流〉
15:50-16:30

主持人
林惠真 特聘教授／東海大學研發長／生命科學系
與談人

周秀壽 所長／國立清華大學分析與環境科學研究所
黃能富 特聘教授／國立清華大學資訊工程學系
楊人愷 分署長／經濟部水利署第二河川分署

主講人：王俊程 教授／國立清華大學服務科學研究所
與談人：羅功奇 理事長／新竹縣關西鎮環境守護協會
主講人：王志文 協同主講人／頭前溪流域行動平台
與談人：劉桂枝 理事長／台灣乾淨水行動聯盟
劉月梅 協理理事長／社團法人中華民國荒野保護協會

周秀壽 所長／國立清華大學分析與環境科學研究所
黃能富 特聘教授／國立清華大學資訊工程學系
楊人愷 分署長／經濟部水利署第二河川分署
王俊程 教授／國立清華大學服務科學研究所
羅功奇 理事長／新竹縣關西鎮環境守護協會
王志文 協同主講人／頭前溪流域行動平台
劉桂枝 理事長／台灣乾淨水行動聯盟
劉月梅 協理理事長／社團法人中華民國荒野保護協會



日期	時間	課程	學分	地點	講師
5/3	14:00-14:30	開訓	0	新竹分會 樓	
5/3	14:30-17:00	頭前溪的前世今生	3	新竹分會二樓	黎許傳老師
5/10	9:30-12:00	筏子溪的現在與未來 --想想能為頭前溪做什麼?	3	新竹分會二樓	謝國發老師
5/17	9:30-12:00	頭前溪的環境現況簡介	3	新竹分會二樓	陳葦庭老師
5/24	9:30-12:00	川廢調查及對河川守護	3	新竹分會二樓	周秀專老師
5/24	15:00-17:00	走走頭前溪 興隆大橋段	3	興隆大橋之 壘球場	培訓團隊
5/31	9:30-12:00	走讀竹東圳取水口及電燈圳	3	手心翻轉農場	黎許傳老師
6/7	9:30-12:00	透過生態博物館的視角凝視 頭前溪與舊港島	3	新竹分會二樓	林宗儒校長 王志仁老師
6/7	16:00-18:00	走讀舊港島	2	舊港賞夕平台	蔡松根里長
6/14	9:30-12:00	維護河川生物廊道的魚道工程	3	新竹分會二樓	曾晴賢老師
6/21	9:30-12:00	教案討論	2	新竹分會二樓	培訓團隊

	單元/主題	講師/學習活動	週末活動
08 30	新竹人都騎貢丸上學嗎？-你在哪裏？	韓中梅/竹東高中（頭前溪說－你的新竹/城鎮/竹東跟我的不一樣）	
09 06	新竹怎麼了？-新竹人拿什麼換護國神山？	王肝臟/台灣乾淨水行動聯盟 監事（ 太新竹流域河去河從 ）	附件十二
09 13	很奧妙的頭前溪	劉月梅/荒野保護協會理事長（ 頭前溪流域的發展與現況 ）	
09 20	不再擺尾的頭前溪-頭前溪的水利管理	劉振隆/水利署第二河川分署規劃科（ 頭前溪的防洪治理策略與實踐 ）	
09 27	南寮漁港很難聊？ -承受的舊港島，被遺忘的舊港島	王志仁/竹塹社大島港豐巢團隊專案管理師（新竹有一個島？！）	舊港島走讀？9/29（六） 島上散步+橫渡頭前溪 
10 04	竹東的水、土、人＝頭前溪與竹東鎮	韓中梅/竹東高中（新竹人、頭前溪人與舊港島）	
10 11	洗衫坑、挑水崎到全聯旗艦店 -莫名而且奇妙的中興河道	竹東鎮民代表 葉日嘉 竹東河畔水文化（中興河道） 	10/12,9:30~12:00徐天任  竹東的農業、市場與水
10 18	竹東市場紅什麼？-竹東菜市場學校	客家鬼怪株式會社！池力奇先生aka竹東市場小當家 客家大鎮？全台大鎮？放火Louis的故鄉？虐死重案多？ 跟市場長大的帶路人一起走訪竹東！	10/19池力奇9:30~12:00  竹東的人、食與竹東市場 DIY捏紅板+50年代攝影棚拍照
10 25	竹東高中與竹東的交織	黎許傳老師/國家文化記憶庫(竹東高中與頭前溪-竹東圳、軟橋、資源庄..)	
11 01	竹東人喝的水是高級水？	韓中梅/竹東高中（新竹人是次等公民？）	
	(運動會)		
11 15	新竹人愛裝濾水器？ -頭前溪的水質議題初探	周秀專教授/清華大學分析與環境科學研究所所長 (新竹雙冠王-全台最高睪丸癌、子宮癌)	
11 22	竹東被針對了！！-頭前溪水資源與垃圾	韓中梅/竹東高中（你喝的水哪裡來？）	
	段考(V)		
12 06	台灣新百岳-竹東垃圾山	韓中梅/竹東高中（竹東有個台灣新百岳！）	
12 13	新竹人的驚戰-頭前溪倡議的現況與發展	彭桂枝/乾淨水聯盟理事長（走讀台灣新百岳-神奇的竹東垃圾山） 	
12 20	頭前溪是垃圾河？！	劉月梅/荒野保護協會理事長（ 體檢頭前溪川廢問題 ）	
12 27	你各位的垃圾去哪兒了？	韓中梅/竹東高中（頭前溪川廢調查分析+學校的垃圾分析）	
01 03	成果發表準備	新竹學研究者aka修課同學-我的新竹學	

Taiwan Sustainability Hub @NTHU for Sustainable Sphere:
Environmental Science and Watershed Homerange



環境科學與永續流域生活圈



水清木華



生物化學研究論文獎 Biochemistry Thesis Award

傑出獎 Outstanding Award

Paper No

Paper Title

C07 (A0029)

Cytotoxicity and human health risk evaluated by whole sediment extraction

Meng Wei Lin, National Tsing Hua University

原子科學院2024專題研究海報競賽獲獎名單

附件十五

碩士生優勝名單如下

組別	姓名	編號	指導教授	系別	專題研究海報題目	共同作者
A. 低碳綠能與環境科學	吳映臻	AM-06	朱鵬維	工科系 ESS	Microstructure of Electrodeposited Magnesium on Pure Magnesium and AZ31 Negative Electrodes after Discharge/Charge Cycles for Rechargeable Magnesium Battery	
A. 低碳綠能與環境科學	謝宜庭	AM-10	周子勤	分環所 AES	The effects of interfacial water on product selectivity in electrochemical CO ₂ reduction	黃子茵
A. 低碳綠能與環境科學	邱思瑜	AM-17	周秀專	分環所 AES	The toxicity assessment study of sediment pollutants in human kidney cell lines.	陳維憶

三、碩博士生組最佳人氣獎

參賽者互投，各組得票數最高者獲獎狀一紙

組別	姓名	編號	指導教授	系別	專題研究海報題目
A. 低碳綠能與環境科學	邱思瑜	AM-17	周秀專	分環所 AES	The toxicity assessment study of sediment pollutants in human kidney cell lines.
B. 光電半導體應用	郭秉鈞	BM-03	歐陽汎怡	工科系 ESS	Development of high-strength nanotwinned Ag films on SiC substrate for advanced packaging technology
C. 核能與輻射應用	洪苑熾	CM-02	許榮鈞	核工所 NES	以絕對計測法建立放射源活度原級標準



主旨 **【錄取通知】恭喜貴計畫通過2024清華大學USR-Hub計畫審查!**

寄件者 區域創新中心 <ric@gapp.nthu.edu.tw>

收件者 原科院永續長_周秀專 (分環所所長) <chouhc@mx.nthu.edu.tw>, Chen Jun-Ming陳俊銘 <chenjunming@gapp.nthu.edu.tw>, 王志文 <a921a2003@gmail.com>, 黃能富 <nfhuang1219@gmail.com>, 陳維憶 <cwi8977@gmail.com>

日期 2024-03-26 22:29

NTHU-mail

附件十六

- USR-Hub經費申請表_請改成計畫名稱.doc(~79 KB)
- 頭前溪永續流域生活圈(評審建議).pdf(~176 KB)

敬愛的伙伴團隊好：

很開心通知您，貴計畫通過2024清華大學USR-Hub計畫審查!
評審委員建議彙整如附件，請您參考。

在此向您說明作業流程，以及相關附件：

1. 「頭前溪永續流域生活圈」通過2024清華大學USR-Hub計畫審查
2. 核定經費為30萬元
3. 請依照評審建議及核定經費，調整計畫書及經費使用(請依照經費申請表填寫)
4. 請於4/19(二)回傳修正計畫書(docx檔、pdf檔各一)及經費申請表(電子檔即可，含主持人簽名)

衷心感謝

林珍慧 敬上
國立清華大學區域創新中心

ric@gapp.nthu.edu.tw

03-5715131#33317
0920-814813

檔 號：
保存年限：

附件十七

國立清華大學 函

地址：新竹市光復路2段101號

承辦人：楊琬琳

電話：03-5715131#35522

傳真：

電子信箱：yangwanlin@mx.nthu.edu.tw

裝 受文者：如正副本

發文日期：中華民國113年9月13日

發文字號：清分環字第1139007439號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：產學合作合約書1份、收據1紙

訂 主旨：檢送本校分析與環境科學研究所周秀專教授執行貴公司
「與新竹河好2024：頭前溪河川教育」計畫請款收據1
紙、清華大學產學合作合約書(2024)正本1份，請查收惠
撥。

說明：依據本校與貴公司簽署之產學合作合約書(2024)第八條辦
理，請將款項共計新臺幣38萬元整，撥入「臺灣銀行新竹
分行，帳號：015036070041，戶名：「國立清華大學
401專戶」。

正本：富邦人壽保險股份有限公司

副本：本校分析與環境科學研究所

校 長

高為元

線 本案依分層負責規定授權單位主管決行

出席者

檔 號：

保存年限：

經濟部水利署第二河川分署 開會通知單 附件十八

300044

新竹市東區光復路2段101號

受文者：國立清華大學(原子科學院
分析與環境科學研究所)

發文日期：中華民國113年4月19日

發文字號：水二規字第11303010390號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：議程

開會事由：研商擴大守護頭前溪環境公私協力會議

開會時間：113年4月26日（星期五）上午10時0分

開會地點：本分署竹北桃竹苗區域水情中心二樓會議室

主持人：劉正工程司兼科長振隆

聯絡人及電話：林哲宏 03-6578866#2310



出席者：國立清華大學(原子科學院分析與環境科學研究所)、社團法人中華民國荒野保護協會新竹分會、社團法人新竹市竹塹社教服務協會、本分署工務科、本分署管理科、本分署秘書室

列席者：本分署規劃科

副本：

備註：

- 一、本次會議請與會人員攜帶會議資料與會。
- 二、各會議室不供應水杯，亦不提供紙杯，請與會人員自行攜帶準備。

經濟部水利署第二河川分署



檔 號：

保存年限：

環境部環境管理署 開會通知單

附件十九

受文者：如行文單位

發文日期：中華民國113年6月25日
發文字號：環管土字第1137118381 號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：會議說明及議程attch1

開會事由：召開「新竹頭前溪水質與底泥品質管理方向」研商會議

開會時間：113年7月2日(星期二)上午10時00分

開會地點：新竹縣政府環境保護局2樓第1會議室（新竹縣竹北市光明五街62號）

主持人：王禎副執行秘書

聯絡人及電話：張良麗特約環境技術師兼副分組長(02)2383-2389#59303

出席者：國立清華大學(分析與環境科學研究所周秀專所長)、新竹縣政府環境保護局、
新竹市環境保護局、經濟部水利署第二河川分署、環境部水質保護司
列席者：本署土壤及地下水污染整治基金管理會基金管理分組、瑞昶科技股份有限公司
副本：電子公文
備註：

一、請派與本會議事由暨討論事項有關之業務主管（辦）人員出席。另請於本(113)年7月1日前以線上雲端填報方式回覆出席人員名單（<https://reurl.cc/bVbO0y>），俾利掌握會議出席情況。

二、本次會議簡報資料將於會議前3日放置雲端網址（<https://reurl.cc/9vAKlv>），再請逕至雲端網址下載參閱。

——批核軌跡及意見——





新竹市政府
Hsinchu City Government

新竹市政府聘書

府授環綜字第 1130068040 號

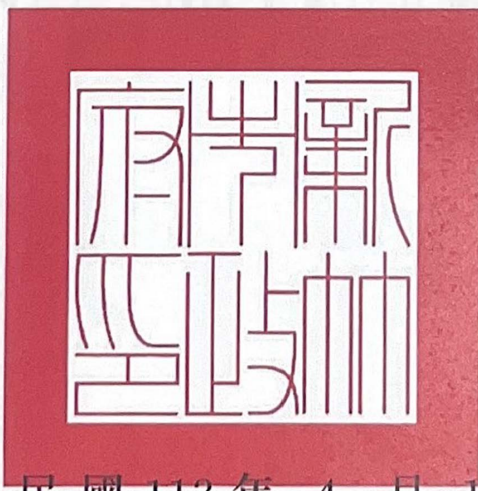
茲敦聘 **周秀專** 教授為本市環境教育
審議會委員。

聘任期間：自民國 113 年 4 月 18 日起

至民國 115 年 4 月 17 日止

此 聘

市長 高虹安



中 華 民 國 113 年 4 月 18 日



附錄一 (枯水期)

樣品檢測報告

委託單位：國立清華大學
計畫名稱：沉積污染物毒性分析
採樣單位：國立清華大學(周秀專老師實驗室)
採樣地點：新竹頭前溪沿岸

專案編號： ERSD112S2175

報告編號： R1122175S11

採樣時間： 112 年 10 月 20 日 - 時 - 分
至 - 年 - 月 - 日 - 時 - 分

收樣時間： 112 年 10 月 24 日 10 時 25 分

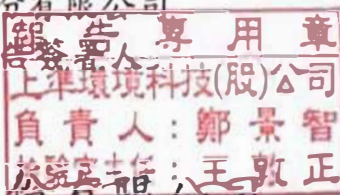
報告日期： 112 年 11 月 14 日

本報告經本檢驗室簽發，結果如附頁，本報告含封面 1 頁，樣品檢驗報告 6 頁，備註 1 頁，共計 8 頁，報告分離使用無效，並不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

王敦正

上準環境科技股份有限公司

檢驗室主管/報告簽署人

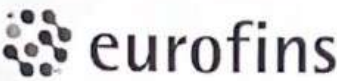


上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

台中市西屯區工業36路41號

聯絡電話：(04)2358-2525 聯絡人：劉子華



上準環境科技股份有限公司

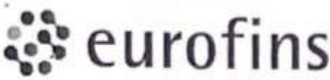
Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 負責人：鄭景智 檢驗室主任：王敦正		
	取水口(1)表層 周邊土壤	取水口(1)深層 周邊土壤	取水口(2)表層 周邊土壤	取水口(2)深層 周邊土壤			
	-	-	-	-			
	-	-	-	-			
	S1121024A	S1121024B	S1121024C	S1121024D			
檢 測 值							
汞	ND	ND	ND	ND	NIEA M317.04B	mg/kg	MDL=0.034
砷	2.70	3.42	4.50	3.07	NIEA S310.64B	mg/kg	
銅	9.92	9.88	10.3	11.0	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鉻	20.3	20.5	20.5	22.1	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎘	ND	ND	ND	ND	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	MDL=0.168
鉛	13.1	12.1	12.6	13.6	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鋅	67.8	60.2	59.4	61.1	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎳	25.5	24.0	26.5	28.1	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
以下空白							



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 檢測方法：單位：備註 負責人：鄭景智 實驗室主任：王敦正		
	竹東深層 周邊土壤	義興大橋 周邊土壤	-	-			
	-	-	-	-			
	-	-	-	-			
	S1121024I	S1121024J	-	-			
檢 測 值							
汞	<0.100	ND	-	-	NIEA M317.04B	mg/kg	MDL=0.034
砷	2.06	4.25	-	-	NIEA S310.64B	mg/kg	
銅	74.4	15.5	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎘	139	26.0	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎘	ND	ND	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	MDL=0.168
鉛	14.7	19.4	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鋅	202	89.5	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎳	51.0	30.4	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
以下空白							



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 檢測方法: 土壤 負責人: 鄭景智 檢驗室主任: 王敦正	備註
	取水口(1)表層 周邊土壤	取水口(1)深層 周邊土壤	取水口(2)表層 周邊土壤	取水口(2)深層 周邊土壤		
	-	-	-	-		
	-	-	-	-		
	S1121024K	S1121024L	S1121024M	S1121024N		
檢 測 值						
二苯(a, h)聯萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
鈾(1, 2, 3-cd)鈾	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
茶	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(a)聯萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
苯(a)聯鈾	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(b)苯聯萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(k)苯聯萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.170
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.152
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.126
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.124
以下空白						



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 檢測方法 單位 備註 負責人：鄭景智 實驗室主任：王敦正		
	工業區上游 周邊土壤	工業區中游 周邊土壤	工業區下游 周邊土壤	竹東表層 周邊土壤			
	-	-	-	-			
	-	-	-	-			
	S1121024O	S1121024F	S1121024Q	S1121024R			
檢 測 值							
二苯(a,h)駢萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.006
鉅(1,2,3-cd)芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
蒽	ND	ND	ND	0.160	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
蒽	ND	ND	ND	<0.020	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
苯(a)駢萘	ND	ND	ND	<0.020	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.006
苯(a)駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
苯(b)苯駢芘	ND	ND	ND	<0.020	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
苯(k)苯駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.007
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	ND	ND	ND	0.774	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.170
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.152
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.126
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.124
以下空白							



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 負責人：鄭景智 檢驗室主任：王敦正	單位 備註
	竹東深層 周邊土壤	義興大橋 周邊土壤	-	-		
	-	-	-	-		
	-	-	-	-		
	S1121024S	S1121024T	-	-		
檢 測 值						
二苯(a, h)聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
節(1, 2, 3-cd)萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
萘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
蒽	ND	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(a)聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
苯(a)聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(b)苯聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
苯(k)苯聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.007
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	1.06	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.170
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.152
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.126
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.124
以下空白						



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD112S2175

報告編號：R1122175S11

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以“ND”表示，並註明其方法偵測極限值及單位(MDL)。
2. 檢測值低於檢量線最低濃度而高於MDL濃度時，以“<”檢量線最低濃度值表示。
3. 本樣品由委託單位自行送樣，採樣時間、採樣地點、採樣單位及檢測項目均由委託單位提供，本報告不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

報告專用章
上準環境科技(股)公司
負責人：鄭景智
實驗室主任：王敦正

清華大學貴儀中心 (ICP-MS)分析服務報告書

使用者姓名：邱思瑜

服務單位： 清華大學

編號：

分析日期

113/1/24

A) 樣品分析

[illegible]

清華大學貴儀中心 (ICP-MS)分析服務報告書

使用者姓名： 邱思瑜

服務單位： 清華大學

編號：

分析日期

113/3/14

A) 様品分析

[illegible]

清華大學貴儀中心 (ICP-MS)分析服務報告書

使用者姓名：邱思瑜

服務單位： 清華大學

編號：

分析日期

113/2/1

A) 樣品分析

[illegible]



附錄二 (豐水期)

樣品檢測報告

委託單位：國立清華大學
計畫名稱：沉積污染物毒性分析
採樣單位：國立清華大學(周秀專老師實驗室)
採樣地點：新竹頭前溪沿岸

專案編號： ERSD113S1485

報告編號： R1131485S11

採樣時間： 113 年 07 月 10 日 - 時 - 分
至 - 年 - 月 - 日 - 時 - 分

收樣時間： 113 年 07 月 12 日 11 時 15 分

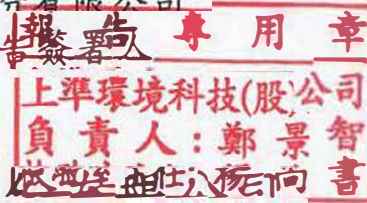
報告日期： 113 年 08 月 02 日

本報告經本檢驗室簽發，結果如附頁，本報告含封面 1 頁，樣品檢驗報告 7 頁，備註 1 頁，共計 9 頁，報告分離使用無效，並不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

楊尚書

上準環境科技股份有限公司

檢驗室主管/報告簽署人



上準環境科技

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

台中市西屯區工業36路41號

聯絡電話：(04)2358-2525 聯絡人：劉子華

樣品檢測報告

報告編號：R1131485S11

第2頁(共9頁)

樣品檢測報告

報告編號：R1131485S11

第3頁(共9頁)

樣品檢測報告

報告編號：R1131485S11

第4頁(共9頁)



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD113S1485

報告編號：R1131485S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 備註 檢測方法：單位 負責人：鄭景智 檢驗室主任：楊尚書		
	取水口(1)表層 周邊土壤	取水口(1)深層 周邊土壤	取水口(2)表層 周邊土壤	取水口(2)深層 周邊土壤			
	-	-	-	-			
	-	-	-	-			
	S1130712K	S1130712L	S1130712M	S1130712N			
	檢 測 值						
二苯(a, h)駢萸	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
節(1, 2, 3-cd)芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
蒽	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
蒾	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(a)駢萸	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(a)駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(b)苯駢芘	ND	ND	<0.020	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.006
苯(k)苯駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.117
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.123
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.119
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.109
以下空白							



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD113S1485

報告編號：R1131485S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 檢測方法：單位：備註 負責人：鄭景智 檢驗室主任：楊尚書	註
	工業區上游 周邊土壤	工業區中游 周邊土壤	工業區下游 周邊土壤	竹東表層 周邊土壤		
	-	-	-	-		
	-	-	-	-		
	S1130712O	S1130712P	S1130712Q	S1130712R		
檢 測 值						
二苯(a,h)駢萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
節(1,2,3-cd)芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
萘	ND	ND	ND	<0.020	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
蒽	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(a)駢萘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(a)駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(b)苯駢芘	ND	ND	ND	<0.020	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
苯(k)苯駢芘	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	<0.500	0.805	0.658	6.23	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.117
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.123
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.119
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	ND	ND	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.109
以下空白						



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD113S1485

報告編號：R1131485S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公備 負責人：鄭景智 檢驗室主任：楊尚書	註
	竹東深層 周邊土壤	義興大橋 周邊土壤	-	-		
	-	-	-	-		
	-	-	-	-		
	S1130712S	S1130712T	-	-		
檢 測 值						
二苯(a,h)聯萘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
蒽(1,2,3-cd)芘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯	0.041	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
萘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(a)聯萘	<0.020	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(a)聯芘	<0.020	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
苯(b)苯聯芘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.006
苯(k)苯聯芘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.005
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	7.90	<0.500	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.117
鄰苯二甲酸二丁酯	<0.500	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.123
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.119
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg MDL=0.109
以下空白						



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD113S1485

報告編號：R1131485S11

檢測項目	樣品名稱/採樣位置(座標)/採樣時間/樣品編號				報告專用章 上準環境科技(股)公司 檢測方法 單位 備註 負責人：鄭景智 檢驗室主任：楊尚書		
	頭前溪下游表層 周邊土壤	頭前溪下游深層 周邊土壤	-	-			
	-	-	-	-			
	-	-	-	-			
	S1130712U	S1130712V	-	-			
檢 測 值							
汞	<0.100	<0.100	-	-	NIEA M317.04B	mg/kg	MDL=0.031
砷	5.12	4.43	-	-	NIEA S310.64B	mg/kg	
銅	35.9	28.2	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鉻	30.9	27.6	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎘	ND	ND	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	MDL=0.169
鉛	22.1	19.7	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鋅	103	87.4	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
鎳	32.2	30.4	-	-	NIEA M353.02C NIEA M111.01C	mg/kg	
二苯(a, h)駢萸	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
節(1, 2, 3-cd)芘	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
蒽	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(a)駢萸	<0.020	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(a)駢芘	<0.020	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
苯(b)苯駢芘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.006
苯(k)苯駢芘	<0.020	<0.020	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.005
鄰苯二甲酸二(2-乙基 己基)酯	0.992	0.758	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	
鄰苯二甲酸二丁酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.123
鄰苯二甲酸二乙酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.119
鄰苯二甲酸丁酯苯甲 酯	ND	ND	-	-	NIEA M189.01C NIEA M731.02C	mg/kg	MDL=0.109



上準環境科技股份有限公司

Eurofins Sun Dream Environmental Technical Corporation

樣品檢測報告

專案編號：ERSD113S1485

報告編號：R1131485S11

備註：

1. 檢測值低於方法偵測極限之測定以“ND”表示，並註明其方法偵測極限值(MDL)及單位。
2. 檢測值低於檢量線最低濃度而高於MDL濃度時，以“<”檢量線最低濃度值表示。
3. 本樣品由委託單位自行送樣，採樣時間、採樣地點、採樣單位及檢測項目均由委託單位提供，本報告僅對該樣品負責，不得隨意複製及作為宣傳廣告之用。

報告專用章
上準環境科技(股)公司
負責人：鄭景智
檢驗室主任：楊尚書

清華大學貴儀中心 (ICP-MS)分析服務報告書

服務單位： 清華大學

編號：

分析日期

113/9/3

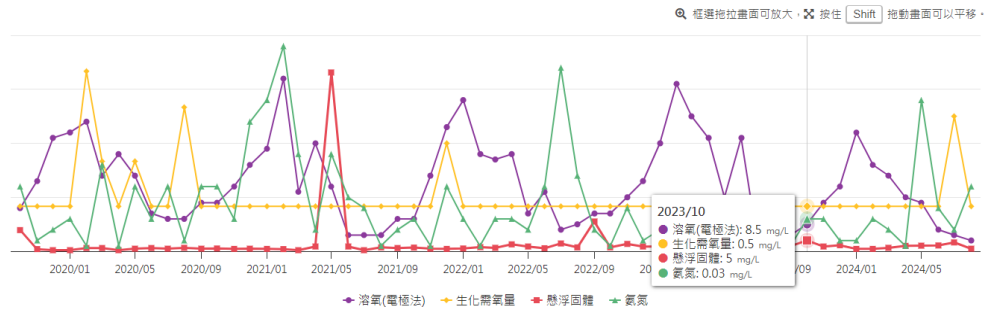
A) 樣品分析

[illegible]

枯水期

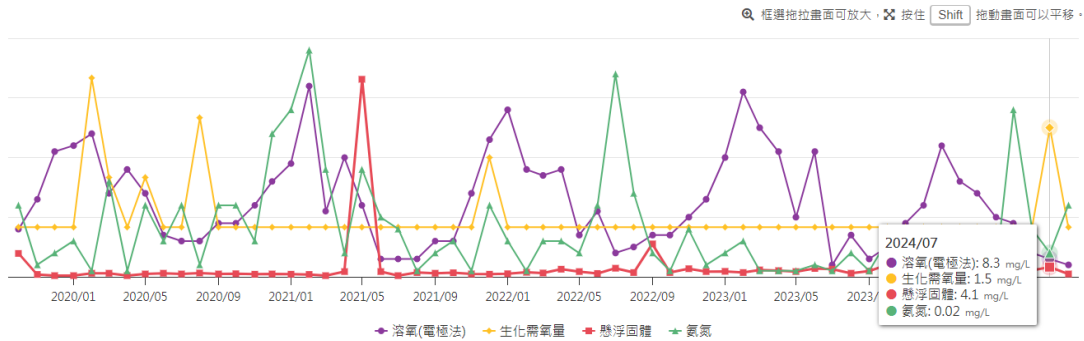
上游

內灣吊橋測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)



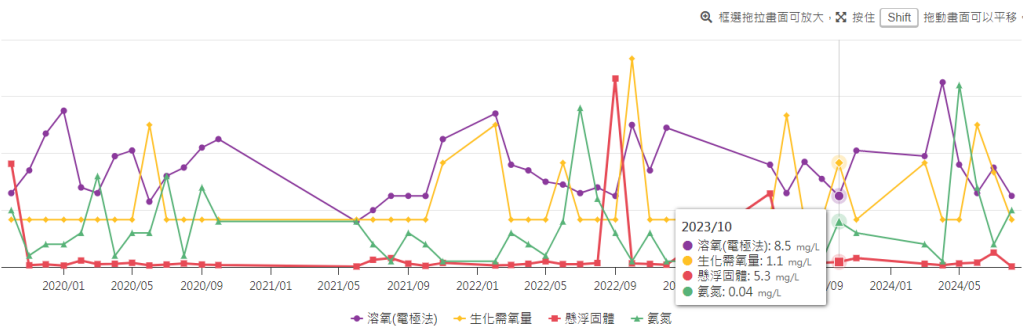
豐水期

內灣吊橋測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)

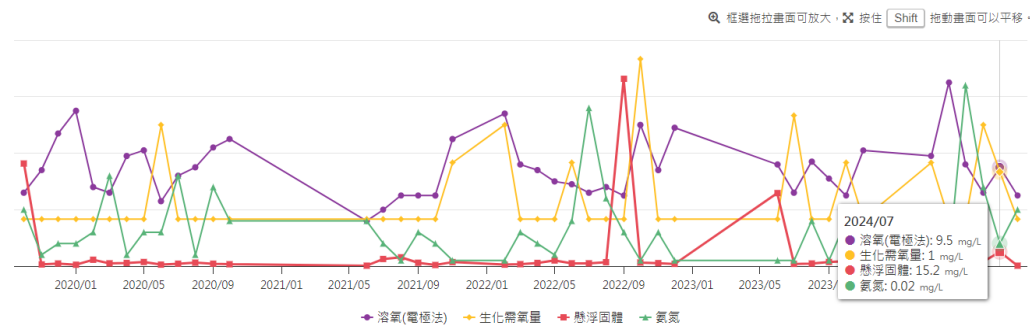


中游

竹東大橋測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)

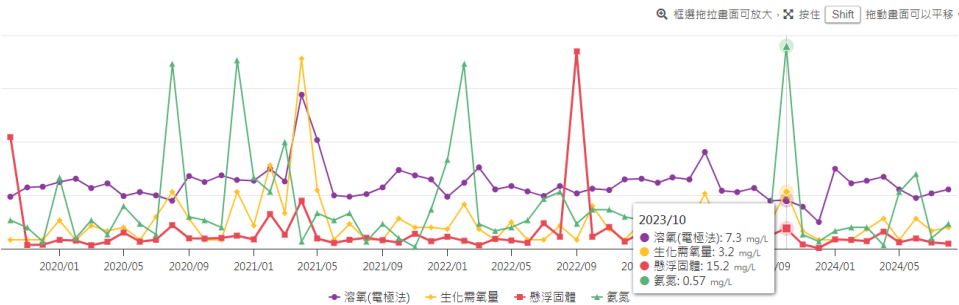


竹東大橋測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)



下游

滿雅取水口(取代溪洲大橋)測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)



滿雅取水口(取代溪洲大橋)測站 歷年河川污染指數 (RPI) 項目趨勢圖 (2019/10~2024/08)

