

計畫成果摘要（詳細版）

計畫名稱： 107 年度化學物質環境流布背景調查專案工作計畫
計畫編號： TCSB-107-EM02-02-A012
計畫執行單位： 國立成功大學
計畫主持人： 李俊璋特聘教授
計畫共同主持人： 田倩蓉教授
計畫協同主持人： 陳秀玲教授
計畫期程： 107 年 1 月 25 日起 107 年 12 月 15 日止
計畫經費： 新臺幣壹仟捌佰萬元整

摘 要

本計畫主要目的是要(1)進行關注化學物質於臺灣本島主要 15 條河川環境流布調查、(2)針對特定河川及特定化學物質流布途徑進行模擬研析與(3)化學物質環境流布管理決策分析平台建置。已完成淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等 15 條河川之底泥及魚體採樣及分析，檢測項目包括，六氯丁二烯(HCBD)、短鏈氯化石蠟(SCCPs)、壬基酚(NP)及雙酚 A (BPA)、鄰苯二甲酸酯類(PAEs)、多溴二苯醚類(PBDEs)及六溴聯苯類(HBBs)、多環芳香烴化合物(PAHs)、重金屬及甲基汞等 7 類 97 種檢測物質，獲得 16,005 筆樣本檢測數據。環境流布調查結果發現多項化學物質有降低趨勢，顯示列管後有助於降低環境濃度。

本計畫分別以實地採樣水體、地下水擴散模擬結果、空氣擴散模擬結果進行鹽水河流域之多介質與健康風險評估。魚體部份，大部份重金屬濃度推估值高於實測值；而底泥部份，大部份重金屬濃度實測值高於推估值。地下水擴散模擬之多介質與健康風險評估結果，以「魚類食入吸收」及「以地下水做為農作物灌溉用水，農作物吸收後人體食入吸收」為人體主要暴露途徑，致癌風險評估結果 95% UL=1.45×10⁻⁵，非致癌風險 95% UL HI=0.006。放流水源之健康風險評估結果，以「魚類食入吸收」為人體主要暴露途徑，致癌風險評估結果 95% UL=7.90×10⁻⁴；非致癌風險 95% UL HI=1.77。

攝入戴奧辛的危害指標(Hazard Index, HI), 男、女性族群均以雲嘉南地區較高(男性: 0.665, 女性: 0.610), 均以宜蘭地區最低(男性: 0.326, 女性: 0.272)。汞的危害指標男、女性族群均以高屏地區較高(男性: 0.401, 女性: 0.395), 男性以花東地區最低(男性: 0.134), 女性以竹苗地區最低(女性: 0.099)。臺灣各地區的男性與女性族群, 不論在吸入途徑或食入途徑, 因暴露戴奧辛及汞所致之 95% 非致癌風險上限值仍在可接受範圍內(即 $HI < 1$)。

The major aims of this project were to (1) investigate concerned chemicals in fifteen Taiwanese rivers, (2) simulated distribution patterns of particular chemicals in a specific river, and (3) established managing and decision-making platform regarding distribution of chemicals. Sediment and fish samples were collected from fifteen Taiwanese rivers (*i.e.*, Danshuei River, Sindian River, Dahan River, Keelung River, Dajia River, Jhuoshuei River, Bajhang River, Jishuei River, Shincheng River, Zengwun River, Gaoping River, Linbien River, Hualien River, Siouguluan River and Beinan River). Concentrations of hexachloro-1,3-butadiene (HCBd), short-chain chlorinated paraffins (SCCPs), nonylphenol (NP), bisphenol A (BPA), phthalate esters (PAEs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), hexabrominated biphenyls (HBBs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), heavy metal and methylmercury were determined in collected samples and 16,005 analyzed data were obtained. The concentrations of many analyzed chemicals in sediments decreased with time. The results indicated that the regulation to control usage of these chemicals is helpful to limit their releases into the environment.

This project has evaluated the multiple media transport and health risk assessment in the Yanshuei river basin by metal concentrations of water sampling, in groundwater from simulation and air dispersion based on air pollution diffusion models. The results revealed that the estimated concentrations by the multiple media transport in fish were higher than the real samplings, but the simulated levels in sediment were lower than the real sampling for most metals. As the results of health risk assessment based on wastewater pollution simulations, the main exposure route was “eat fish” and “eat crops with water irrigation”. The cancer risk of 95% UL was 1.45×10^{-5} ; non-cancer risk of 95% UL HI was 0.006. Summary of health risk assessment based on wastewater pollution simulations, the main exposure route was “eat fish”, and cancer risk of 95% UL was 7.90×10^{-4} ; non-cancer risk of 95% UL HI was 1.77.

Hazard index of oral intake on dioxin are highest in Yunjianan area in the male and female groups (male: 0.665, female: 0.610), and lowest in Yilan area (male: 0.326, female: 0.272). Hazard index of mercury are highest in Kaohsiung and Pingtung area in the male and female groups (male: 0.401, female: 0.395), lowest in the Huadong area in male (0.134), and lowest in female (0.099) in Hsinchu and Miaoli area. The non-carcinogenic risk due to exposure to dioxin and mercury is within the acceptable limits (ie $HI < 1$) in male and female groups in all regions of Taiwan.

前 言

隨著科技的發展，工業化程度急劇上升，為達成整體的社會及經濟目標，化學物質被大量而普遍地使用。然而，不適當地大量使用化學物質將會對人體健康、環境生態產生極大之影響。因此，如何認知、評估不適當地大量使用化學物質可能導致之風險，進而藉著適當之管理以降低暴露風險，是近年來學術界與行政部門努力的目標。

化學物質管制上的首要步驟在於建立國內現有化學物質之篩選原則，藉著科學性之篩選原則，可篩選出對人體健康或環境生態產生影響之化學物質。而在篩選過程中亟須瞭解化學物質之(1)物質辨識資料(2)製造方法、流程、使用之目的用途及其釋放量資料(3)物理化學特性資料(4)安全性及處理、處置方法資料(5)毒性/生理學效應資料(6)藥物動力學資料(7)環境流布資料(8)暴露標準及規定(9)偵測與分析方法等相關資料，並依各項資料針對不同物質需求，擬定妥適之管理策略與措施。在上述各項資料中以環境流布資料最為重要，亦最難取得。因此，如何建立化學物質環境流布資料成為極重要之課題。

化學物質管理係屬風險管理之一種。因此，欲擬定完善可行之管理策略及措施則必須先行對化學物質之運作進行相關暴露族群風險評估。然而，由過去研究顯示，由於在(1)污染源之基本資料(2)毒物在環境中之流布、傳輸及轉換之基本資料(3)實際量測資料(4)暴露族群相關資料(5)暴露評估標準程序及各項基礎參數(6)風險度評估模式等相關資料均呈現缺乏或不足之情形，導致風險評估之可行性不高。因此，加速建立化學物質之環境流布資料亦為刻不容緩之課題。

同時，在化學物質管制上另一項重要的課題係在於如何藉化學物質管制以減少其在環境中之濃度或含量。因此，欲瞭解化學物質管制之成效，除需積極建立化學物質之運作及釋放量資料外，亦亟須針對化學物質之環境流布進行調查並建立環境流布及暴露資料，依環境流布資料進行暴露評估及風險度推估，進而建立化學物質管制及減量策略與技術，提供給予主管機關及運作工廠進行管制及減量，以使化學物質之釋放量降至最低，亦是世界各國積極研究的方向。

截至目前為止，環保署已逐步進行上述各項工作，於民國 99 年 1 月修正公告「行政院環境保護署篩選認定毒性化學物質作業原則」，將毒性化學物質之篩選工作制度化，並陸續進行公告列管前置作業外，亦積極針對已列管之毒性化學物質進行釋放量之調查及建檔工作，希冀藉毒性化學物質之管理以減少其在環境中之濃度或含量，進而維護國民健康。然而，對於各項管理措施雖經事前詳細之評估，並預估其管理成效，但若無相關之環境流布

資料加以佐證，則無從瞭解及評估管理措施之管理成效。此外，由於定期之化學物質環境流布調查，有助於進一步管理措施之擬訂及評估，若缺乏此項資料，亦將無法評估應加嚴或放鬆各項管理措施，因而錯失適當的管理機會與時效，甚或造成嚴重之環境污染及危害人體健康。基於化學物質環境流布暴露調查分析與資料庫建立之重要性，環保署乃加速此項工作之進行。

執行方法

一、臺灣本島主要15條河川環境流布調查

(一) 調查河川及檢測項目

1. 完成15條河川採樣及樣本分析，每條河川按檢測物質環境流布特性，執行底泥及魚體樣本量測。
 - (1) 調查河川：淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪。
 - (2) 檢測物質：六氯-1,3-丁二烯、8種短鏈氯化石蠟(SCCPs)、壬基酚及雙酚A、9種鄰苯二甲酸酯類(PAEs)、25種多溴二苯醚類(PBDEs)及5種六溴聯苯類(PBBs)、26種多環芳香烴化合物(PAHs)、20種重金屬及甲基汞，上述共7類97種檢測物質。

(二) 調查河川採樣地點及採樣頻率

1. 以環保署監資處所設置之水質監測站或橋樑為採樣地點依據。
2. 每條河川按河段區分選擇3個採樣地點，1個採樣地點位於上游或中游河段，3個採樣地點位於下游河段。
3. 每條河川於枯水期（5月份以前）及豐水期（9月份以前）各進行乙次採樣。

(三) 環境樣本採樣及檢測分析方法

採樣及分析方法以環保署公告之標準參考分析方法為優先考量，其次再依序參考美國環保署或其他文獻方法。所有檢測項目均需通過能力測試並符合數據品質目標要求，始可進行樣品分析。

(四) 品保品管計畫

根據B級品保品管規劃要求，擬定本計畫之品保品管項目，並按規劃目標進行。

(五) 分析歷年化學物質環境流布調查資料成果

綜合歷年化學物質環境流布調查結果，製作各項調查物質歷年環境流布資料濃度分布圖，提具變化趨勢分析及化學物質管理策略與措施建議。

(六) 「化學物質環境流布調查成果手冊」編製

更新「化學物質環境流布調查成果手冊」資料至106年度調查成果，發行印製成果手冊電子書光碟片100份。

二、特定河川及特定化學物質流布途徑模擬研析

- (一) 擇一河川流域特定範圍，以本計畫採樣檢測之化學物質項目，比對環保署提供之周遭主要排放源3-5年行業別排放資料，擇定模擬分析之化學物質項目。
 1. 本計畫考量河川排放資料(排放量、重金屬排放總量)、運作量資料、水位流量相關測站資料，擇定鹽水溪為本計畫今年度流布途徑模擬研析之標的河川。
 2. 本計畫考量具放流水標準、國內已具備長期環境實測數據、於環境及生物體中具長期累積性、容易經由食物鏈由人類攝入、毒性特性、國人關切程度等因素，擇定重金屬為本計畫今年度流布途徑模擬之標的物質。
- (二) 增加執行該河川流域特定範圍之水體水質中擇定化學物質的採樣與檢測，至少完成100筆化學物質檢測數據。
 1. 納入該河川上、中、下游各段水體樣本，並分別於枯水期及豐水期二期進行水體之採樣，每期完成水質36個、底泥9個與魚體6個樣品濃度採樣分析，共完成至少100筆之水體樣本檢測分析，結果數據進行後續之放流水濃度擴散模擬及多介質評估與實測結果比較分析。
 2. 本計畫於107年5月與107年9月完成鹽水溪流流域枯水期及豐水期之採樣工作，枯水期水質36個、底泥11個、魚體7個，豐水期水質36個、底泥11個、魚體11個之多介質樣本採樣及重金屬濃度分析。
- (三) 依選定之化學物質項目，及最近3-5年對河川底泥與魚體檢測結果，與空氣、土壤及水體等其他環境介質之檢測結果進行分析，研提特定化學物質項目在環境之流布、傳輸與轉換資料
 1. 河川水文/水質模式模擬分析。
 - (1)河川水文水理模擬分析。
 - (2)河川水質/底泥模擬分析。
 - (3)地下水污染物質擴散模擬。
 2. 空氣品質模式模擬。
 - (1)空氣品質模式選用及參數設定。
 - (2)重金屬排放清冊資料。
 3. 多介質分析模式模擬。
 - (1)依據實地採樣水體分析結果進行多介質評估與健康風險評估。
 - (2)利用地下水污染物質擴散模擬結果進行多介質評估與健康風險評估。

(3)利用空氣擴散模擬結果進行多介質評估與健康風險評估。

(四)就模擬及勾稽結果，研析相關污染源之管制建議。

三、「化學物質環境流布調查資訊網站」維運

1. 更新網站環境流布檢測資料至107年度，依其關鍵字或條件設定產出趨勢分析圖表。
2. 維護網站與化學局或政府機關之環境監測系統資料介接，以及維護網站宣導專區資料，提供民眾或業者瞭解相關知識及訊息。
3. 配合環保署為確保網頁資訊安全，進行網站資安弱點掃描修正。

四、化學物質環境流布管理決策分析平台建置

擴大建立暴露濃度平台資料方面，本計畫今年自環保署環境資源資料庫、環保署空保處、環保署全國環境水質監測資訊網、食藥署歷年食品中戴奧辛及汞監測計畫、農委會歷年食品中戴奧辛及汞監測計畫擴大收集並集合整理戴奧辛及汞濃度資料，希冀能初步建立作為戴奧辛及汞進行整合性風險評估的資料庫資料。

結 果

一、臺灣本島主要15條河川環境流布調查

1. 本年度完成淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等 15 條河川底泥樣本及魚體樣本採樣及分析，分析項目包含六氯-1,3-丁二烯(HCBD)、8 種短鏈氯化石蠟(SCCPs) (包含氯含量 55.5% SCCPs 之 C₁₀₋₁₃及氯含量 63.0% SCCPs 之 C₁₀₋₁₃)、壬基酚及雙酚 A、9 種鄰苯二甲酸酯類(PAEs) (包含 DMP、DEP、DBP、DIBP、BBP、DEHP、DNOP、DINP、DIDP)、多溴二苯醚類 (25 種 PBDEs 同源物) 及六溴聯苯類 (5 種 HBBs 同源物)、26 種多環芳香烴化合物(PAHs)、20 種重金屬及甲基汞等 7 類 97 種物質分析，完成樣本分析檢測數據資料共計 16,005 筆。
2. 六氯-1,3-丁二烯分析結果：
 - (1) 所有底泥樣本濃度平均值及範圍為<0.05 (ND-0.193) µg/kg 乾重，枯水期有 7 個底泥有檢出，以林邊溪平均濃度 0.091 mg/kg 乾重為最高；豐水期則皆未檢出。
 - (2) 所有河川魚體樣本皆未檢出六氯丁二烯或低於定量範圍。
3. 短鏈氯化石蠟(SCCPs)分析結果：
 - (1) 底泥中氯含量 55.5% SCCPs 平均濃度及範圍，55.5% SCCPs C₁₀為

0.593 (<0.15-5.98) mg/kg 乾重，55.5% SCCPs C₁₁ 為 0.200 (ND-0.977) mg/kg 乾重，55.5% SCCPs C₁₂ 為 0.123 (ND-0.563) mg/kg 乾重，55.5% SCCPs C₁₃ 為 <0.15 (NE-0.535) mg/kg 乾重；氯含量 63% SCCPs 平均濃度及範圍，63% SCCPs C₁₀ 為 0.229 (ND-2.54) mg/kg 乾重，63% SCCPs C₁₁ 為 <0.05 (ND-0.265) mg/kg 乾重，63% SCCPs C₁₂ 為 <0.05 (ND-0.282) mg/kg 乾重，63% SCCPs C₁₃ 為 <0.05 (ND-0.174) mg/kg 乾重。本年度 15 條調查河川中，氯含量 55.5% SCCPs 總量以淡水河本流平均濃度 3.18 mg/kg 乾重為最高，急水溪 1.45 mg/kg 乾重次之；氯含量 63% SCCPs 總量以淡水河本流平均濃度 1.65 mg/kg 乾重為最高，大漢溪 0.641 mg/kg 乾重次之。

- (2) 魚體中氯含量 55.5% 及 63% 之 SCCPs 平均濃度及範圍分別為，55.5% SCCPs C₁₀ 為 <0.075 (<0.075-0.344) mg/kg 濕重，55.5% SCCPs C₁₁ 為 <0.075 (ND-0.266) mg/kg 濕重，55.5% SCCPs C₁₂ 為 <0.075 (ND-0.221) mg/kg 濕重，55.5% SCCPs C₁₃ 為 <0.075 (ND-0.192) mg/kg 濕重；其中以 55.5% SCCPs C₁₀ 檢出率為最高；63% SCCPs C₁₀ 為 <0.025 (ND-0.146) mg/kg 濕重，63% SCCPs C₁₁ 為 <0.025 (ND-0.082) mg/kg 濕重，63% SCCPs C₁₂ 為 <0.025 (ND-0.090) mg/kg 濕重，63% SCCPs C₁₃ 為 <0.025 (ND-0.122) mg/kg 濕重；其中以 63% SCCPs C₁₀ 檢出率為最高。

4. 壬基酚及雙酚 A 分析結果：

- (1) 壬基酚：底泥平均濃度及範圍為 78.9 (5.88-189) μ g/kg 乾重，以豐水期濃度較低；魚體平均濃度及範圍為 4.62 (ND-61.8) μ g/kg 濕重。
- (2) 雙酚 A：底泥平均濃度及範圍為 12.6 (ND-47.9) μ g/kg 乾重，以豐水期濃度較低；魚體平均濃度及範圍為 0.929 (ND-9.10) μ g/kg 濕重。

5. 鄰苯二甲酸酯類(PAEs)分析結果：

- (1) 底泥中 9 種 PAEs 以 DEHP 之檢出率及平均濃度為最高，其全年底泥中平均濃度及範圍為 0.42 (ND-3.34) mg/kg 乾重，檢出率 75.8%，多數底泥樣本未檢出其他 8 種 PAEs 物質。
- (2) 魚體中 9 種 PAEs 以 DEHP 之檢出率 31.1% 僅次於 DMP 33.3%，但其平均濃度為最高，魚體中 DEHP 平均濃度及範圍為 0.29 (ND-3.26) mg/kg 濕重。

6. 多溴二苯醚類(PBDEs)及六溴聯苯類(PBBs)分析結果：

- (1) 多溴二苯醚類(PBDEs)：底泥中 25 種 PBDEs 同源物總量平均濃度及範圍為 11,577 (170-168,410) ng/kg 乾重，以枯水期高於豐水期濃度；在同源物分布上，以十溴二苯醚含量最高，為底泥主要之同源

物。魚體中 25 種 PBDEs 同源物總量平均濃度及範圍為 1,992 (67.1-17,496) ng/kg 濕重。

(2) 六溴聯苯類(PBBs)：底泥中 5 種 PBBs 同源物總量平均濃度及範圍為 1.83 (0.143-22.6) ng/kg 乾重，枯、豐水期濃度接近；魚體中 5 種 PBBs 同源物總量平均濃度及範圍為 6.58 (0.056-49.9) ng/kg 濕重。

7. 多環芳香烴化合物(PAHs)分析結果：

(1) 底泥中 26 種 PAHs 以 Naphthalene 之檢出率 97% 為最高，檢出平均濃度則以 Pyrene 0.103 mg/kg 乾重為最高。

(2) 魚體中 26 種 PAHs 以 Benzo[c]fluorene 與 Cyclopenta[c,d]pyrene 檢出率 96% 為最高；檢出平均濃度則以 Benzo[g,h,i]perylene 0.260 mg/kg 濕重為最高。

8. 底泥中重金屬及甲基汞分析結果：

(1) 15 條河川中底泥之 Ag 及 MeHg 濃度均為 ND 值，代表濃度均低於偵測極限。

(2) 底泥樣本中重金屬的平均最高濃度，如枯水期 Hg 以南部河川之八掌溪 (2.77 mg/kg 乾重) 最高；枯水期 Cu 以北部河川大漢溪 (64.2 mg/kg 乾重) 最高；枯水期 Sn 及 Sr 則分別以東部河川卑南溪 (21.0 mg/kg 乾重) 及花蓮溪 (111 mg/kg 乾重) 最高。

9. 魚體中重金屬及甲基汞分析結果：

(1) 15 條河川中魚體之 Ag、Cr、Hg、Li 及 Sn 平均濃度均為 ND 或是低於檢量線最低點，代表濃度極低。

(2) 其他重金屬於魚體中平均最高濃度，如 Ga 以北部淡水河本流 (0.633 mg/kg 濕重) 最高；Cu 以中部濁水溪 (0.905 mg/kg 濕重) 最高；Mn (3.57 mg/kg 濕重) 及 Sr (0.725~8.51 mg/kg 濕重) 皆出現於南部林邊溪；Zn (10.0 mg/kg 濕重) 及 MeHg (0.078 mg/kg 濕重) 最高濃度則皆於東部花蓮溪中。

10. 完成「化學物質環境流布調查成果手冊 107 年版」資料更新至 106 年度調查結果，並印製光碟片電子書 100 份。

二、特定河川及特定化學物質流布途徑模擬研析

(一) 鹽水溪流域水質分析結果：

1. Ag、Sn 濃度為 ND ~<0.005 mg/L。

2. Cd、Co、Cr、Ga、Hg、Sn 大多為 ND 值，濃度極低。

3. Mn、Co、Ni、Zn、Pb 濃度以鹽水溪上游段最高。

4. Al、Fe、Cu、As 最高濃度位於中游段。

5. K、Li、Mg、Na、Sr 濃度為上游段<中游段<下游段。
6. 針對目前具有放流水標準之重金屬 Ag、As、Cd、Cr、Cu、Fe、Hg、Mn、Ni、Pb、Zn 等 11 項進行比較，結果顯示鹽水溪流域上游至下游水質重金屬濃度均遠低於放流水標準值，尚未發現有超標之情形。

(二)鹽水溪流域底泥分析結果：

1. Ag、Cd、MeHg 濃度均為 ND 值，濃度極低。
2. Pb、Sn 濃度主要集中於上游段。
3. Al、Co、Cr、Cu、Ni、Sr、Zn 濃度主要集中於中游段。
4. As、Hg、Mn、Na 濃度主要集中於下游段。
5. 針對目前具有底泥品質指標之重金屬 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 等 8 項進行比較，其中枯水期於上游段新灣橋之 Hg；中游段永安橋、溪頂寮大橋、永安橋之 Hg，北安橋之 As、Zn，鹽水溪橋之 As、Hg；下游段大港觀海橋之 As、Hg 之底泥濃度均已超過底泥品質指標上限值。豐水期之底泥僅汞濃度超過底泥品質指標下限值。

(三)鹽水溪流域魚體分析結果：

1. Ag、Cd、Co、Li、Ni、Pb 濃度均為 ND 值，濃度極低。
2. K、Sn 於中游有偏高情形。
3. As、Cr、Cu、Ga、Hg、Mn、Fe、Sr、Zn 於出海口處濃度較高。
4. 重金屬 As、Cd、Co、Ni、Pb，魚體中除 As 最高濃度落於下游四草大橋（1.63 mg/kg）外，其餘 Cd、Co、Ni、Pb 均為 ND 值。
5. 本計畫目前結果顯示 As(1.02 mg/kg 濕重)於日本環球海鯨濃度最高，其餘金屬均為 ND~<0.25 mg/kg 濕重。

(四)多介質分析模式模擬結果

1. 依據實地採樣之水體分析結果與多介質評估結果進行濃度比較
 - (1)魚體：大部分推估出之重金屬濃度結果均偏高，僅少部分重金屬(Cr、Ga、Hg、K、Mg、Pb)實地採樣結果濃度高於推估值。
 - (2)底泥：上游處之 Cu 及 Pb，中游端之 Pb，下游端之 Hg 所推估出之底泥濃度與實地採樣之底泥分析結果較為相近。大部分採樣分析濃度均偏高，僅少部分為推估值濃度高於採樣分析結果值(上游及中游之 Cd 及 Hg)。
2. 利用空氣源與放流水源所進行健康風險評估
 - (1)重金屬中 Cd、Pb 及 As，經多介質評估 13 種不同途徑加總致癌風險結果如下：
 - 推估值結果：95% UL = 3.11×10^{-5} ，屬可接受範圍，貢獻量最高為 Cd (2.82×10^{-5} ，90.65%)，其次為 As (2.70×10^{-6} ，8.7%)；

- 實測值結果：95% UL = 8.21×10^{-4} ，貢獻量最高為 As (5.52×10^{-4} ，67.26%)，其次為 Cd (2.68×10^{-4} ，32.67%)；
- 當地水體污染來源結果：95% UL = 7.90×10^{-4} ，貢獻量最高為 As (5.50×10^{-4} ，69.56%)，其次為 Cd (2.40×10^{-4} ，30.39%)。

(2)非致癌風險結果：

- 推估值結果：95% HI = 0.568，HI<1，代表暴露濃度低於會產生健康危害效應之閾值，貢獻量最高為 Hg (0.506，89.06%)，其次為 Pb (0.0488，8.58%)；
- 實測值結果：95% HI = 2.34，HI>1，代表暴露濃度已高於會產生健康危害效應之閾值。貢獻量最高為 As (1.23，52.43%)，其次為 Hg (0.91，38.92%)；
- 當地水體污染來源結果：95% HI = 1.77，HI>1，代表暴露濃度已高於會產生健康危害效應之閾值。貢獻量最高為 As (1.22，68.95%)，其次為 Hg (0.404，22.83%)。

(3)空氣源佔總評估區域致癌風險來源 3.79%，非致癌風險則佔比約 24%。

三、「化學物質環境流布調查資訊網站」維運

1. 完成「化學物質環境流布調查資訊網站」例行性維護及資料更新。
2. 完成 7 次網站資安相關之弱點掃描修正，並出席化學局業務網站評核作業說明會及填報評核網站資訊調查表。
3. 完成歷年化學物質環境流布調查結果介接至化學雲系統。

四、化學物質環境流布管理決策分析平台建置

1. 戴奧辛濃度資料共收集 2008 年至 2018 年空氣品質監測站戴奧辛濃度數據共 908 筆，食品中戴奧辛濃度 2004 年至 2017 年共 2,444 筆。農作物中戴奧辛濃度近五年數據共 30 筆。
2. 汞濃度資料部分共收集，2008 至 2016 年空氣氣態汞及粒狀汞濃度資料共 216 筆，食品中汞濃度資料共 1,939 筆，食品中甲基汞濃度數據共 239 筆，2016 年主要飲用水取水口水質重金屬調查汞濃度資料共 15 筆，2016 年至 2018 年自來水水質抽驗汞濃度資料共 23,237 筆。
3. 吸入戴奧辛終生平均日暴露劑量男、女性族群均以雲嘉南地區較高（男性：0.014 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.012 pg-TEQ/kg bw/day），花東地區最低（男性：0.003 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.003 pg-TEQ/kg bw/day）。
4. 口服攝入戴奧辛的終生平均日暴露劑量男、女性族群均以雲嘉南地區較高（男性：0.360 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.323 pg-TEQ/kg bw/day），

男性以宜蘭地區最低，女性以花東地區最低（男性：0.210 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.170 pg-TEQ/kg bw/day）。

5. 合併吸入與口服攝入戴奧辛的終生平均日暴露劑量男、女性族群均以雲嘉南地區較高（男性：0.374 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.335 pg-TEQ/kg bw/day），男性以宜蘭地區最低，女性以花東地區最低（男性：0.214 pg-TEQ/kg bw/day，女性：0.173 pg-TEQ/kg bw/day）均低於世界衛生組織建議之 1-4 pg-TEQ/kg bw/day。
6. 吸入氣態汞終生平均日暴露劑量男、女性族群均以高屏地區較高（男性：0.878 ng/kg bw/day，女性：0.739 ng/kg bw/day），花東地區最低（男性：0.656 ng/kg bw/day，女性：0.552 ng/kg bw/day）。
7. 吸入粒狀汞終生平均日暴露劑量男、女性族群均以高屏地區較高（男性：28.9 pg/kg bw/day，女性：24.3 pg/kg bw/day），宜蘭地區最低（男性：18.4 pg/kg bw/day，女性：15.5 pg/kg bw/day）。
8. 口服攝入總汞的終生平均日暴露劑量男性族群以中彰投地區及高屏地區較高均為 0.051 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ 。女性族群以高屏地區較高為 0.049 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ ，竹苗地區最低（男性：0.020 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ ，女性：0.014 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ ）。
9. 汞的危害指標男、女性族群均以高屏地區較高（男性：0.401，女性：0.395），男性以花東地區最低（男性：0.134），女性以竹苗地區最低（女性：0.099）。

結 論

一、臺灣本島主要 15 條河川環境流布調查

1. 河川底泥及魚體中六氯丁二烯含量及檢出率均低，只有 7 個枯水期底泥有檢出，豐水期底泥及魚體皆未檢出。
2. 短鏈氯化石蠟調查結果顯示，國內河川底泥以氯含量 55.5% SCCPs 高於氯含量 63% SCCPs，且皆以其 C₁₀濃度為最高。以目前累積 25 條河川調查資料顯示，以淡水河本流底泥中氯含量 55.5% 及 63% 之 SCCPs 濃度為最高，東港溪及急水溪底泥中氯含量 55.5% 之 SCCPs 較其他河川高，但其氯含量 63% 較其他河川低。
3. 本計畫之 30 條調查河川，每條河川至今已累積 3 至 4 次壬基酚調查資料，其中測值較其他河川高之河川，包括淡水河本流、大漢溪、南崁溪、將軍溪及典寶溪等皆有逐年下降趨勢，新店溪、基隆河、客雅溪、鹽水溪及二仁溪等雖非逐年遞減，但相較於歷年調查初期已有明

顯地降低。近 3 年（105 年至 107 年）以二仁溪及南崁溪測值較其他河川高，平均濃度超過 120 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重；濁水溪、典寶溪、鹽水溪及客雅溪次高，平均濃度超過 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重，其他河川平均濃度皆在 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重以下。

4. 本計畫之 30 條調查河川，每條河川至今已累積 3 至 4 次雙酚 A 調查資料，除八掌溪、急水溪及鹽水溪有上升之趨勢外，其他河川相較於歷年調查之平均濃度皆有降低，且淡水河本流及典寶溪有逐年遞減。近 3 年（105 年至 107 年）以二仁溪測值較其他河川高，平均濃度超過 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重，南崁溪、八掌溪、鹽水溪及典寶溪次之，平均濃度超過 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重，其他河川平均濃度皆在 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 乾重以下。
5. 本計畫自 90 年開始進行國內河川 PAEs 環境流布調查，歷年 9 種 PAEs 皆以 DEHP 檢出率為最高，其他八種 PAEs 濃度相對較低。其中測值較整體調查河川高之南崁溪有逐年下降趨勢，大漢溪、新店溪、典寶溪、東港溪等自 100 年後有逐年下降趨勢，淡水河本流、鹽水溪、基隆河及林邊溪等則於近兩年才有再降低。101 年至 105 年淡水河、大漢溪、基隆河及林邊溪 DEHP 平均濃度皆曾高於底泥品質指標下限值，由本計畫之 30 條調查河川於 105 年至 107 年最近一次調查結果顯示，河川底泥中 DEHP 平均濃度皆已下降至低於底泥品質指標下限值。
6. 本計畫之 30 條調查河川，每條河川至今已累積至少 3 次 PBDEs 調查資料，歷年測值較整體調查河川高之河川，包括淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河及將軍溪皆有下降趨勢。近 3 年（105 年至 107 年）30 條河川底泥中 PBDEs 總量平均濃度介於 436-53,654 ng/kg 乾重，其中大漢溪、南崁溪及典寶溪平均濃度高於 40,000 ng/kg 乾重，為 30 條河川中前三高之河川。
7. 過去 PBBs 測值較其他河川高之河川，包括新店溪、基隆河、大甲溪及將軍溪等皆有下降趨勢；而淡水河本流及大漢溪則較前次調查結果測值上升。近 3 年（105 年至 107 年）以二仁溪及朴子溪測值較其他河川高，底泥平均濃度超過 50 ng/kg 乾重，其他河川底泥中 PBBs 總量平均濃度皆在 10 ng/kg 乾重以下。
8. 15 條河川 26 種 PAHs 總量在底泥的平均濃度介於 0.057-3.386 mg/kg 乾重，其中以基隆河、淡水河本流與大漢溪濃度最高；在魚體之平均濃度介於 0.543-5.119 mg/kg 乾重（0.118-1.073 mg/kg 濕重），其中以淡水河本流、大漢溪與新店溪濃度最高。
9. 在 26 種 PAHs 中底泥是以 Naphthalene 檢出率最高，Phenanthrene 與

Fluoranthene 次之；檢出平均濃度是以 Pyrene 最高，其次是 Cyclopenta[c,d]pyrene。而魚體是以 Benzo[c]fluorene 與 Cyclopenta[c,d]pyrene 檢出率最高，Benzo[g,h,i]perylene 次之；檢出平均濃度是以 Benzo[g,h,i]perylene 最高，其次是 Cyclopenta[c,d]pyrene。

10. 15 條河川底泥樣本中重金屬除 Ag、Cd 及 MeHg 濃度為 ND 或是低於檢量線最低點外，而 As、Cd、Co、Ni、Pb 之最高濃度分別落於枯水期八掌溪、林邊溪及豐水期淡水河本流之底泥。

11. 15 條河川魚體樣本中之 Ag、Cr、Hg、Li、Sn、As、Cd、Co、Ni、Pb，除 As 最高濃度落於林邊溪之魚體，其餘重金屬平均濃度均為 ND 或低於檢量線最低點。

二、特定河川及特定化學物質流布途徑模擬研析

(一)鹽水溪流域水質、底泥、魚體分析結果

1. 鹽水溪水質樣本中重金屬濃度呈現枯水期高於豐水期之趨勢，而重金屬 As、Cd、Co、Ni、Pb 之最高濃度均落於鹽水溪上游（新灣橋、豐化橋）及中游處（柴頭港橋、永安橋）。

2. 鹽水溪底泥樣本中，枯水期中上游（新灣橋）、中游（永安橋、溪頂寮橋、北安橋、鹽水溪橋）及下游處（大港觀海橋、四草大橋）之重金屬 As、Hg 或 Zn 濃度高於底泥品質指標上限值之情況；豐水期僅有 Hg 濃度高於底泥品質指標下限值之情況。由於國內近年剛開始進行河川底泥中重金屬含量調查，本計畫將提供本報告相關調查成果予土基會參考。

(二)河川水文/水質模式模擬分析

1. 大洲排水分區因水質八項重金屬濃度低於永康分區及新化歸仁分區，其污染程度較永康分區及新化歸仁分區範圍小，另以永康分區污染程度為最大。為預防排放點源影響地下水水質狀況，參照鹽水溪流域鄰近區域性監測井水質資料評估，目前計畫區域鄰近地下水質八項重金屬皆無超過管制標準。

(三)空氣品質模式模擬

1. 依據本次模擬評估結果，鹽水溪流域內點源排放重金屬 Pb、Cd、Hg、As 之影響比例約介於 32%~84%，顯示點源仍為污染來源大宗。

2. 鹽水溪流域內點源排放 Pb 及 Cd 的主要污染源推測為鋼鐵業及金屬冶煉業；點源中排放 Hg 的主要污染源推測為鋼鐵業；點源中排放 As 的污染源推測以科技業、金屬冶煉業、燃煤鍋爐、鋼鐵業為大宗。

(四)多介質分析模式模擬

1. 依據鹽水溪豐、枯水期實地採樣之水體分析濃度，進行魚體濃度推估，結果顯示上游 Cr、Li、Na，中游 Li 及 Na，下游 Cd 及 Zn 所推估之結果與採樣濃度較為相近；其餘重金屬如 Cr、Ga、Hg、K、Mg、Pb 之採樣分析值高於推估值；除上述外之重金屬則為推估值高於實測值。
2. 底泥推估結果顯示，上游處 Cu 及 Pb，中游 Pb，下游 Hg 所推估出之結果與採樣濃度較為相近。大部分採樣分析結果偏高，僅少部分重金屬（上游及中游之 Cd, Hg）為推估值高於採樣分析值。
3. 僅考慮地下水使用狀況，依據地下水污染物質之擴散模擬進行介質評估，分析之八項重金屬結果顯示「魚類食入吸收」及「做為農作物灌溉用水，農作物吸收後人體食入吸收」為主要暴露途徑。致癌風險 95% UL=1.45×10⁻⁵，屬可接受範圍；非致癌風險 95% UL HI=0.006，HI<1，代表暴露濃度低於會產生健康危害效應之閾值。
4. 利用重金屬排放清冊，模擬空氣污染物擴散之情況，進行多介質評估，並區分為（1）空氣源；（2）空氣源加放流水源；（3）放流水源。以放流水源結果顯示，評估之四項重金屬均以「魚類食入吸收」為主要之暴露途徑；致癌風險 95% UL=7.90×10⁻⁴；非致癌風險 95% UL HI=1.77，HI>1，代表暴露濃度已高於會產生健康危害效應（Pb 及 Cd 為腎臟危害；As 為皮膚色素沉著、角化病、血管併發症；Hg 為神經系統影響）之閾值。其中空氣源佔總評估區域致癌風險來源 3.79%，非致癌風險則佔比約 24%。而依據「健康風險評估技術規範」對於「危害指數(Hazard index, HI)」之說明：如果小於 1，預期將不會造成損害，因為暴露低於會產生不良反應的閾值；如果危害指數大於 1，表示可能會超過此閾值而產生毒性。然以上結果為相對保守之估算，本計畫魚類攝食來源設定 100%全部來自鹽水溪所產，然鹽水溪流域已多處禁釣，魚類攝取比例相對較低，故健康風險為高估之結果。

三、「化學物質環境流布調查資訊網站」維運

1. 完成「化學物質環境流布調查資訊網站」例行性維護及資料更新。
2. 完成 7 次網站資安相關之弱點掃描修正，並出席化學局業務網站評核作業說明會及填報評核網站資訊調查表。
3. 完成歷年化學物質環境流布調查結果介接至化學雲系統。

四、化學物質環境流布管理決策分析平台建置

1. 臺灣各地區的男性與女性族群戴奧辛 LADD 的 95% 上限值皆小於世界衛生組織之戴奧辛建議每日耐受攝入值。臺灣各地區的男性與女性族群，不論在吸入途徑或食入途徑，因暴露戴奧辛所致之 95% 非

致癌風險上限值仍在可接受範圍內（即 $HI < 1$ ）。

2. 臺灣各地區的男性與女性族群的汞暴露 95% 上限 LADD 值均低於 JECFA 及 EFSA 的每週建議值，汞的危害指標男、女性族群均以高屏地區較高（男性：0.401，女性：0.395），男性以花東地區最低（男性：0.134），女性以竹苗地區最低（女性：0.099），意即因暴露汞所致之 95% 非致癌風險上限值仍在可接受範圍內（即 $HI < 1$ ）。

建議事項

一、臺灣本島主要 15 條河川環境流布調查

1. 根據本年度首度開始執行之六氯丁二烯調查結果，河川底泥及魚體濃度及檢出率均低，建議持續完成其他河川調查，建立本土環境流布背景資料後即可暫緩調查，亦無須進行管制作為。
2. 根據河川底泥中短鏈氯化石蠟調查結果顯示，國內河川底泥以氯含量 55.5% SCCPs 高於氯含量 63% SCCPs，且皆以低碳數(C_{10})濃度高於其他碳數(C_{11-13})。由於碳鏈長度及氯含量皆有可能影響短鏈氯化石蠟在環境中的降解及半衰期，低碳數濃度較高，有可能代表過去使用的 SCCPs 經長時間降解作用累積而來，但亦可能代表國內使用的 SCCPs 產品以低碳數較多，惟目前尚未有國內 SCCPs 使用情形之統計資料作為佐證。建議持續完成其他河川底泥 SCCPs 含量調查，除建立國內河川 POPs 背景資料，未來 SCCPs 在國內納入列管後建立使用申報資料，同時亦可評估進行 SCCPs 排放量監測及管理策略，再與環境流布濃度資料進行比對解析。
3. 國內河川環境壬基酚及雙酚 A 含量較過去調查結果有降低趨勢，顯示列管後有助於降低環境濃度，但仍有部分河川底泥中壬基酚測值較國內其他河川偏高許多，或有雙酚 A 測值升高之情形。目前國內雙酚 A 列為未禁限用之第四類毒化物，壬基酚則僅禁用於製造家庭清潔劑，未禁限用於工業用清潔劑、界面活性劑，根據壬基酚 106 年運作量（製造量+輸入量-輸出量）達 6 千多公噸，雙酚 A 達 40 幾萬公噸，工業用量不容小覷。此外國內、外皆有相關文獻指出廢水經污水處理廠處理後仍含有雙酚 A、壬基酚及其相關化合物，以及放流水對環境介質濃度貢獻極具有相關性，顯示國內工業使用及處置情形有必要進一步釐清與檢討。環保署已於 104 年 12 月 31 日公告修正壬基酚及壬基酚聚乙氧基醇之管制濃度為百分之五，建議應持續監測觀察其環境流布之趨勢，對於歷年測值較其他地點高的採樣地點追蹤其可能污染源，以

助於管理策略調整。

4. 國內河川中鄰苯二甲酸酯類物質含量較過去調查結果有降低趨勢，近3年（105年至107年）調查結果，除二仁溪底泥中DEHP平均濃度接近底泥品質指標下限值，其他河川平均濃度皆低於底泥品質指標下限值，顯示列管後有助於降低環境濃度。對於國內目前列管的26種鄰苯二甲酸酯類物質中以DEHP及DINP運作量為最高，其運作量（製造量+輸入量-輸出量）皆達幾萬公噸以上，至106年DINP運作量3萬多公噸已高於運作量近2萬公噸之DEHP，顯示國內業者已逐年減少DEHP使用，改以DINP替代，應持續觀察其在環境流布趨勢。
5. 淡水河本流、基隆河與將軍溪部分底泥中有些PAHs濃度超過「底泥品質指標之分類管理及用途限制辦法」底泥品質指標下限值，但低於上限值，本計畫將提供本報告相關調查成果予土基會參考。
6. Naphthalene (IARC: 2B)與Cyclopenta[c,d]pyrene (IARC: 2A)檢出濃度偏高，此2種化合物為可能人類致癌物，因此需要持續監測其在底泥與魚體之濃度變化，以利建立適當之管理策略，以免造成生態與人體健康之危害。
7. 依據15條河川之底泥及魚體樣本檢測結果，其中重金屬As、Co、Ni、Pb最高濃度落於八掌溪、林邊溪及淡水河本流3條河川中，建議針對上述河川及金屬持續進行監測。
8. 針對歷年調查結果呈現環境中濃度未顯著下降之檢測項目（例如多溴二苯醚類），建議未來可優先選擇排放源資料充足之河川及化學物質，進行環境流布與傳輸途徑之深入探討，提供管理層面之參考。
9. 本計畫經歷年累積之環境流布數據資料，建議以風險評估應用的角度建立數據資料庫，以作為加值運用之基礎。
10. 因應國家成立毒物及化學物質局擴展國內化學物質管理範疇，針對本計畫建立之毒性化學物質環境流布調查規劃篩選流程及機制，亦應配合調整擴充調查化學物質對象，未來在非局限於列管毒性化學物質下，擴大蒐集化學物質清單，依照國際關注、國內使用量高、可能對環境生態及人體造成危害等篩選機制進行評估。

二、特定河川及特定化學物質流布途徑模擬研析

1. 鹽水溪水質樣本中重金屬濃度以下游處（四草大橋）之Li、Sr濃度最高，惟目前放流水標準檢測項目未納入Li、Sr，未來於本計畫內可對此二種重金屬持續監測。

2. As、Hg 及 Zn 濃度於鹽水溪下游之枯水期底泥樣本中有出現高於底泥品質指標上限值之情況，下游區為嘉南大圳三大集水區匯流處，雖 As 及 Zn 金屬二者於豐水期濃度下降，但建議仍可對上述金屬進行持續監測。由於近年剛開始進行河川底泥中重金屬含量調查，本計畫將提供本報告相關調查成果予土基會參考。
3. 本次進行河川水質模擬，主要皆依據水理模式進行水理演算後結果，提供河川水質模式模擬重金屬濃度分布，惟經濟部水利署於鹽水溪流流域流量站較缺乏，建議於不同區域增設流量站，提供水理模式演算，以提高水質模式模擬之精確性。
4. As、Cu、Ni、Zn 之水質模擬結果與枯水期實際採樣值於 95% 信賴區間有呈現重疊，表示未來若有不利實際採樣等因素時，建議可利用模擬值取代實際採樣值進行後續評估，惟仍須考量其中不確定因素。
5. 本次模擬評估考量計畫執行期限及計算機運算資源不足，故採簡化面源及線源方式設定，顯示在大範圍模擬評估上仍有其困難，未來若有充足運算資源，建議可改為面源設定進行模擬評估，以貼近實際排放情形。
6. 國內於油品改善工作上，環保署自民國 76 年起即開始推動無鉛汽油的使用，逐步降低汽油中含鉛量，並於民國 89 年 1 月全面供應無鉛汽油。惟本次取得之 105 年重金屬排放資料中，線源之 Pb 排放量仍為大宗，建議未來評估時考量線源 Pb 排放量高估之可能。
7. 分析底泥推估值與實際採樣結果之差異，應來自於底泥層深度及底泥濃度之不均勻性極高，擴散不易，上中下游各段濃度之變異度大，利用推估值代表存在極高不確定性。建議底泥濃度仍應採用當地實際採樣濃度為主，以降低其變異度大不確定性。
8. 依據風險評估結果，建議未來可針對放流水 Ni 及 As，管道排放 As 及 Cd 之相關排放廠商進行排放監控、減量排放或加強其防治設備、污水處理設備等，以降低空氣及水中重金屬濃度。

三、化學物質環境流布管理決策分析平台建置

1. 戴奧辛風險評估結果非致癌風險上限值均在可接受範圍內，建議未來持續跨部會收集環境監測及食物調查等本土化數據資料，並將數據納入本計畫已建立之決策分析平台提供局內參考。
2. 由於針對高屏地區食物中汞濃度目前納入本計畫計算的分析數據仍然較少，建議未來針對食物中主要汞攝入來源之魚類繼續進行本土數據收集後，再作推估與結論。

3. 由於本計畫目前收集到花東地區及竹苗地區的總汞及甲基汞濃度資料較少，因此對於整體臺灣地區汞暴露情況的全盤了解仍有不足，建議未來仍應繼續針對這些地區繼續蒐集總汞及甲基汞之調查數據資料。