

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

高科技產業之重金屬排放及其影響-新竹科學園區為例

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-002-028-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：張尊國

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 2 月 18 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

高科技產業之重金屬排放及其影響

-新竹科學園區為例

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2211-E-002 -028

執行期間：91年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人：張尊國

共同主持人：

計畫參與人員：王藜穎、鄭百佑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學生物環境系統工程學系

中 華 民 國 93 年 2 月 18 日

摘要

新竹科學工業園區是在民國六十九年成立，以配合國家經濟發展提昇科技水準為宗旨，園區廠商在民國七十四年時入區家數只有 50 家，到民國九十年增至 312 家，年營業額更由 105 億餘元增至 9,300 億餘元，占國民生產毛額的比例約達 10% 左右。園區佔地六百公頃以半導體、電腦與周邊產品及通訊、光電等產業為主。本研究收集與分析園區放流承受水體客雅溪水質與底泥之重金屬含量，以了解新竹科學園區廢水與客雅溪水質及農地污染、魚貝類污染之關聯，並評估新竹科學工業園區重金屬排放對環境之影響。

關鍵詞：高科技業、重金屬、新竹科學園區

Abstract

The Hsin-chu Science-based Industrial Park (HSIP) was established in 1980, administered by the National Science Council, to provide an infrastructure that would facilitate and accelerate the processes of technological diffusion. From 1980 to 2001, the product value increased from 10.5 billions to 930 billions and its make up about 10% of GDP. In this study, Ker-ya Creek, the receiving water body of wastewater discharge from HSIP was monitoring about its heavy metals content both in water and sediments. Meanwhile, the environment impacts of heavy metals to nearby oyster beds and farmland was investigated.

Key words : high-tech industries, heavy metals, Hsin-chu Science-based Industrial Park

前言

新竹科學工業園區地跨新竹縣市，一、二期位於光復路以南與寶山丘陵間，三期位於關東橋與新竹縣寶山鄉大崎村間。新竹工業科學園區成立二十年了，它適時地將臺灣由勞力密集的產業，帶向經濟躍進和科技生根的發展之路。累計入區高科技公司約三百餘家，產業計分積體電路產業、電腦及週邊產業、通訊產業、光電產業、精密機械產業和生物技術產業等六類，年產已值近一兆新台幣。科學園區的開發及區內產業之蓬勃發展，造就傲人經濟奇蹟及高科技產業發展基礎。隨著產能的遽增，園區各產業所使用的化學原料、毒性化學物質以及有機溶劑更是與日俱增。由於工業科技迅速發展，工業廢水所含有之污染

物質亦日漸複雜，毒性物質包括微量有機污染物與重金屬。園區六類產業中以半導體工業最多且產值最高，其中涵蓋有原料製造業、設備製造業、光罩製造業、積體電路設計製造業、晶圓製造業及封裝製造業等六大類別，其中會產生重金屬物質排放者主要為積體電路製造業，製程中晶圓製成IC。在晶圓被研製成晶片的過程中，依產品功能要求須多次反覆進行氧化、化學氣相沉積、磊晶沉積及濕式蝕刻製程。在氧化、光罩、顯影、蝕刻等製程中使用鹽酸、硝酸等進行蝕刻，而在光罩、顯影後光阻劑、顯影液、蝕刻液的清洗及後續晶圓清洗等過程。高科技產業之各種重金屬排放如表1所示。

新竹科學園區所納管之廠商大多為有別於傳統工業之半導體業、通訊、光電、電腦及週邊產業等，其放流水中之重金屬污染物已列於放水標準之管制，但忽略排放總量對環境造成之影響。一個年產值以近兆計的園區，其廢水以客雅溪為其承受水體，遠超過環境涵容量，日積月累，背後潛藏無限之環境危機，而其下游為新竹農田水利會之灌溉系統取自客雅溪為其水源，因此灌溉區域之土壤與農作物是否被重金屬污染，客雅溪河口為台灣重要之溼地與養殖漁業區域，魚貝類產品之重金屬累積亦令人擔心。

研究目的

新竹科學園區污水處理廠放流水主要是以傳統水質項目之檢測為主，如水溫、pH、懸浮固體物（SS）、生化需氧量（BOD）、化學需氧量（COD）、偶而對重金屬、揮發性有機物含量等處理放流水之生物毒性及基因毒性兩項進行初步之評估，以往採樣分析結果顯示園區污水廠放流水之急毒性甚低，所有重金屬項目均能符合放流水標準。但園區管理局有關環保經費預算不到二千萬元，要管理及防治園區工廠污染的花費，只是佔營業額的五萬分之一，工廠內之環保人力及環保設備兩者之投資嚴重不足，因之難以了解園區真實的污染程度。園區本來是實驗園區，污水處理廠的規模及處理量有沒有隨著園區改為量產導向而擴大規模，一個年產值以近兆計的園區，其放流水中之重金屬僅以傳統之放水標準之管制，忽略排放總量對環境造成之影響。背後潛藏無限之環境危機，而其河川水質與底泥之重金屬含量，下游灌溉農地之土壤與農作物是否被重金屬污染？河口之養殖魚貝類產品之重金屬含量是否安全？這些問題均值得探討。

表 1.高科技產業別與重金屬排放種類

重金屬種類	高科技產業別	重金屬種類	高科技產業別
砷 As	半導體製造業、 被動電子元件製造業、 光電材料及元件製造業、 電子及半導體生產設備製造修配業、 電腦設備製造業、 未分類其他電子零組件製造業	汞 Hg	被動電子元件製造業、 光電材料及元件製造業、 未分類其他電子零組件製造業
鎘 Cd	半導體製造業、 被動電子元件製造業、 光電材料及元件製造業、 電子及半導體生產設備製造修配業、 視聽電子產品製造業、 未分類其他電子零組件製造業	鎳 Ni	電子及半導體生產設備製造修配業、 視聽電子產品製造業、 半導體製造業、 被動電子元件製造業、 印刷電路板製造業、 光電材料及元件製造業、 未分類其他電子零組件製造業
鉻 Cr	電子及半導體生產設備製造修配業、 其他視聽電子產品製造業、 資料儲存媒體製達及複製業、 半導體製造業、 被動電子元件製造業、 印刷電路板製造業、 電子管製造業、 光電材料及元件製造業、 未分類其他電子零組件製造業	鉛 Pb	半導體製造業、 被動電子元件製造業、 印刷電路板製造業、 電子管製造業、 光電材料及元件製造業、 電子及半導體生產設備製造修配業、 未分類其他電子零組件製造業
銅 Cu	電子及半導體生產設備製造修配業、 半導體製造業、 被動電子元件製造業、 印刷電路板製造業、 光電材料及元件製造業、 未分類其他電子零組件製造業	鋅 Zn	被動電子元件製造業、 視聽電子產品製造業、 電子管製造業、 光電材料及元件製造業、 未分類其他電子零組件製造業

資料來源：本研究整理

文獻探討

客雅溪下游樹下里與浸水里一帶之灌溉農地，土壤重金屬污染五級地區已達 59 公頃，比例之高冠於全國，環保署土壤污染 319 公頃調查計畫之執行成果，亦顯示超過法規之管制標準而被公告為管制場址之面積，新竹市在全省中僅次於彰化縣共達 27.54 公頃如下表 2 所示。客雅溪河口香山地區魚貝類體內之重金屬含量與二仁溪河口同為台灣最嚴重地區，近年甚至有凌駕之勢，香山工業區或有責任但高科技業對環境所造成之影響絕對不容忽視。

表 2.台灣地區土壤重金屬含量列為第五級與列管農地統計表 面積單位：公頃

縣市別	八種重金屬面積	主要重金屬種類	面積 (扣除銅、 鋅)	超過土壤污 染管制標準 面積	地區特性	水利會 灌區
台北市	18	砷 3、汞 2、銅 3、鋅 12	4	0	為農地	非
高雄市	4	鉛 1、銅 2、鋅 1	1	0	為一般市街 地	高雄
基隆市	6	鉻 1、鉛 3、鋅 2	4	0	為非農地	非
台北縣	79	鉻 19、鉛 7、銅 40、鋅 55	26	1.62	農地及非農 地	桃園
桃園縣	121	鎳 3、鉻 9、鎳 1、鉛 5、銅 59、鋅 44	17	11.46	為農地	桃園 石門
新竹市	59	砷 1、鉻 22、汞 2、鎳 16、銅 28、 鉛 5、鋅 48	32	27.54	為農地	新竹
苗栗縣	7	鋅 7	0	0.55	為農地	苗栗
台中縣	33	鉻 6、鎳 2、銅 2、鋅 29	7	6.34	為農地	台中
台中市	11	鉻 6、鉛 3、銅 5、鋅 1	9	0.30	為農地	台中
彰化縣	546	鉻 142、鎳 60、鉛 4、銅 242、鋅 466	178	184	為農地	彰化
南投縣	6	鉛 5、鋅 1	5	0.39	為農地	南投
雲林縣	1	鎳 1、鋅 1	1	0	為農地	雲林
嘉義市	13	鉻 7、鋅 7	7	0	為農地	嘉南
台南縣	29	鉻 2、鉛 5、銅 1、鋅 25	7	5.33	為農地	嘉南
台南市	32	鉻 1、鎳 1、鉛 10、銅 10、鋅 25	11	1.86	為農地	嘉南
高雄縣	41	鉻 1、鉛 7、銅 2、鋅 38	8	6.02	為農地	高雄
屏東縣	16	鉻 1、鉛 1、銅 1、鋅 13	2	6.90	為農地	屏東
花蓮縣	1	鋅 1	0	0	為農地	非
台東縣	1	銅 1	0	0	為農地	非
合計	1024	砷 4、鉻 218、汞 4、鎳 80、 銅 415、鉛 57、鋅 785	319	252.45		

國立臺灣大學海洋研究所洪楚璋、林曉武教授「客雅河流域水體和沈積物中銅物種與形態的研究」、「新竹地區鄰近海域沈積物重金屬之空間分佈與垂直分佈」，研究結果顯示新竹地區鄰近臺灣最蓬勃發展之高科技園區，但鄰近海域養殖牡蠣生物近年來卻呈現高度重金屬污染，故該研究之主要研究目的在瞭解區域內沈積物之重金屬含量分佈。該研究採集分析新竹香山地區客雅河流域、三姓公河流域、鹽港河流域、沿岸及海域牡蠣養殖區內沈積物之金屬(Al、Fe、Mn、Zn、Cu、Pb、Cd)含量與顆粒大小組成，並計算金屬富集係數來瞭解研究區域金屬富集情形。研究結果顯示新竹地區河川與鄰近海域沈積物重金屬含量在空間分佈上與垂直分佈上均呈現大幅度的變化，且異常高濃度重金屬顯示區域內重金屬呈現高度污染狀況如表 3 所示。人為污染因素是控制沈積物內重金屬含量之重要因素，在客雅溪下游地區、三姓公溪下游地區及鹽港溪中游地區，均出現異常偏高之重金屬含量，此區域金屬富集係數亦異常偏高，故該區域鄰近之香山工業區及周遭工廠，極有可能為大量重金屬污染物之污染點源，正將重金屬大量輸入河川中，這些污染物造成新竹地區河川達到嚴重污染的程度，而此種高度之污染直接或間接影響到沿海養殖之生物，造成

病變或死亡。海域地區重金屬含量雖然隨著鋁含量增加而增加，但是由香山海堤向西至牡蠣養殖區，沈積物重金屬含量呈現逐漸增加之現象。在客雅溪及三姓公溪沈積物柱狀剖面中，發現重金屬含量在上層有大幅度增加之現象。可見近年來新竹地區河川受到重金屬污染呈現持續增加之現象，新竹科學工業園區雖有廢污水處理設備，但高濃度沈積物重金屬之出現顯示仍有大量之重金屬排放進入河川中(陳等 2000)。

台北醫學大學公衛學系(Han, 2000)評估台灣西岸之養殖環境與回顧比較 1991-1998 台灣生物體牡蠣之重金屬含量變化觀察到香山地區牡蠣中重金屬含量顯著增加並於 1991 年起超越二仁溪為台灣最嚴重地區採樣調查區與結果如圖 1。

由以上各文獻之研究當中均顯示科學園區下游之區域不論是農地、河口沉積物、魚貝類之重金屬含量皆反映環境承受極大之污染負荷與壓力。

表 3.客雅溪與其他流域沉積物重金屬含量之比較資料來源：王(2001)

金屬元素	平均地殼	平均頁岩	砂岩	二仁溪	淡水河	基隆河	客雅溪
Zn (ppm)	75	95	30	360±510 (38~3200)	170±47	140±100	188±244 (28~949)
Cu (ppm)	50	45	30	210±280 (2.9-1900)	69±31	4. ±38	135±287 (5~1127)
Pb (ppm)	14	20	10	67±69 (10-300)	41±9.2	35±39	49±47 (7~96)
Cd (ppm)	0.11	0.22	0.05	0.47±0.35 (0.12-0.82)	0.04±0.01	0.2±0.2	0.5±0.6 (0.03~1.8)

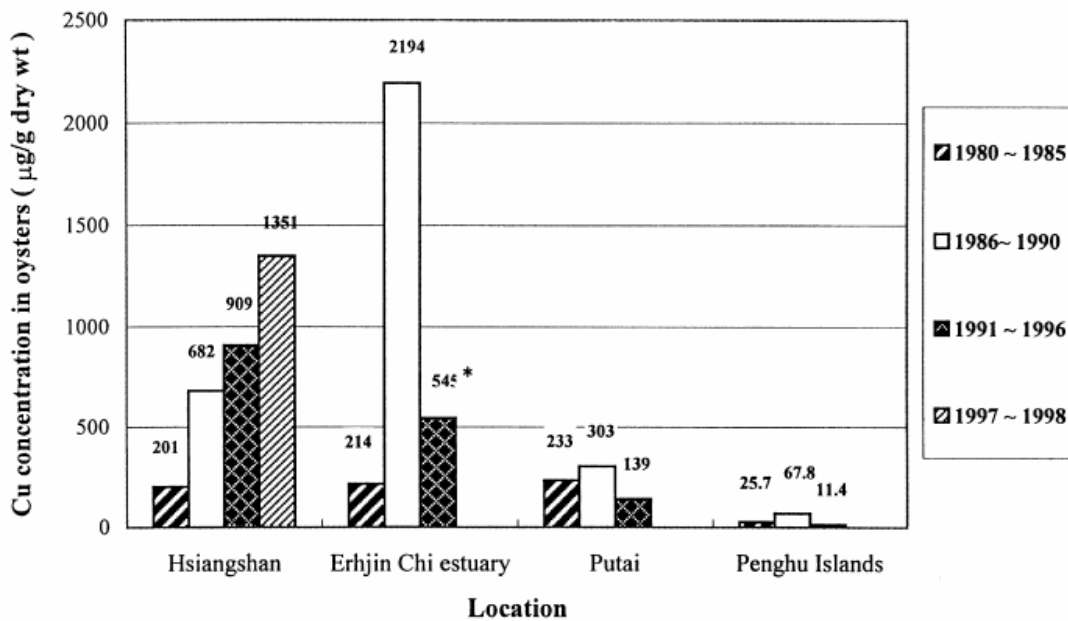


圖 1. 在不同時間與地點牡蠣中銅之平均濃度分布(Han, 2000)

研究方法

針對新竹科學園區放流口之承受水體客雅溪，對河川水質與底泥以往之監測資料進行收集分析，並補充污染調查與採樣分析工作，以了解新竹科學園區廢水與客雅溪污染之相關性，以作為評估高科技業重金屬排放對環境之影響。

1. 調查範圍

調查範圍包括客雅溪河川底泥分園區上游、匯入點附近與下游共五處；涵蓋河川之上、中、下游。

2. 背景資料蒐集與核對

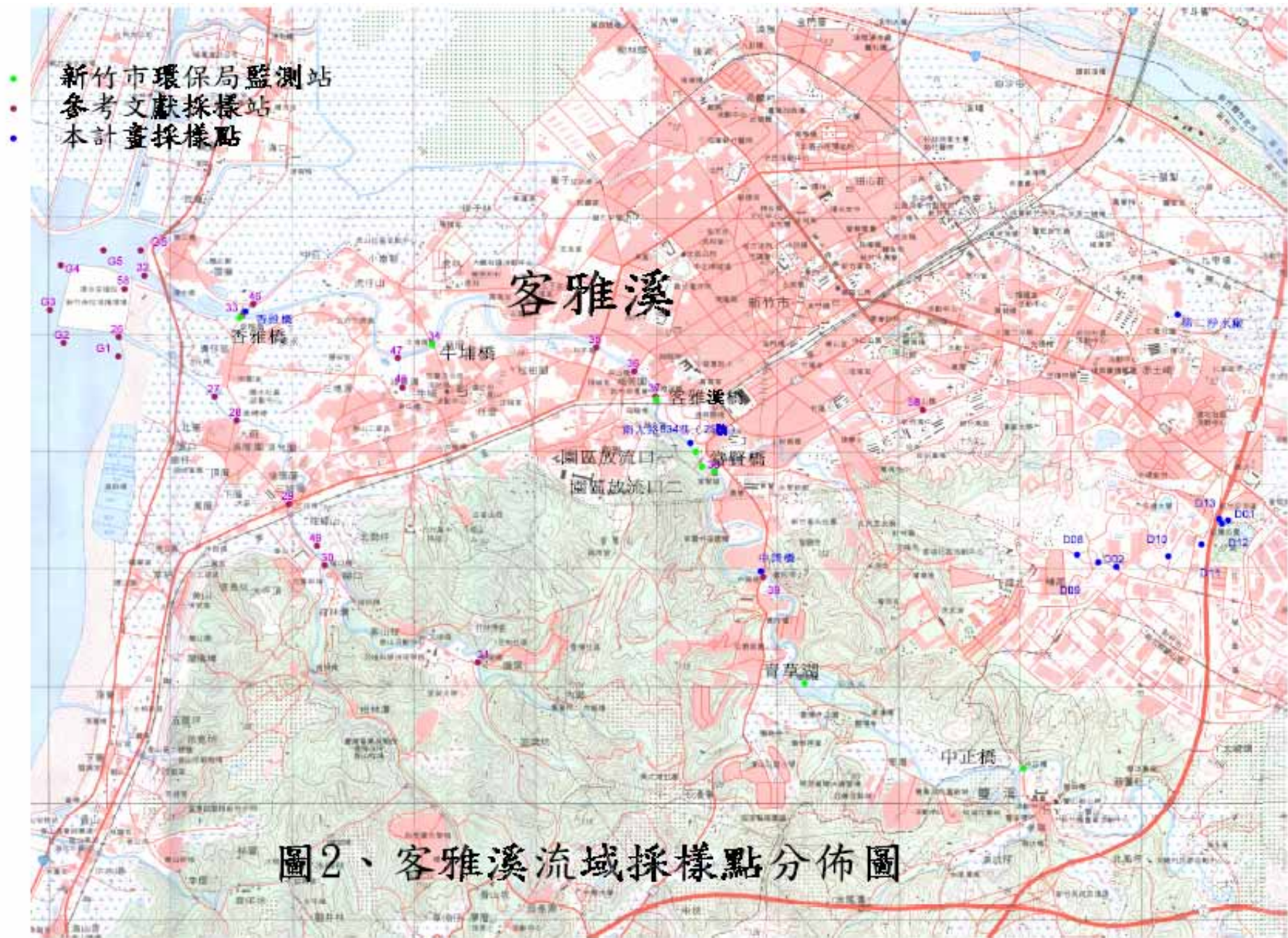
蒐集新竹科學園區高科技業之類別製程與排放之污染質種類，新竹科學園區廢水處理場操作狀況，蒐集歷年河川與相關研究之水質底泥與其他監測資料。

3. 綜合其他相關單位之監測數據，如河口貝類與沿岸底泥重金屬含量，探討該等地河川污染之影響。

這些監測站之相關空間位置標示於圖2。

結果與討論

客雅溪水質變遷探討:在諸多之水質項目中最能顯示科學園區對河川溪流之影響項目為電導度(EC)，由於水質監測受限於經費與人力，項目與頻率往往有限，且大多是隨機方式採樣，必須以較長期之資料分析才能顯現意義。重金屬之管制向為嚴格，而排放有時屬於批次性排放，變化較大，所以並不能反映在每一次之採樣結果之中。電導度(EC)為一綜合性之指標可反映水質當中所有溶解性之陰、陽離子，EC 愈高溶解固體愈高。圖 3.中顯示兩者之鄉關性極高，客雅溪在竹科建廠前 EC 之背景值約在 $450 \mu\text{S/cm}$ 左右，現在增加到 $2000 \mu\text{S/cm}$ 左右，顯示水中溶解固體大幅增加，已經超過灌溉水質標準限值之 $750 \mu\text{S/cm}$ ，表示客雅溪水源已經不適宜作為灌溉用水，近年來新竹水利會之客雅溪灌區作物受害減產頻傳，灌區農地重金含量偏高皆肇因於此。本計畫採樣對水質與底泥之採樣分析結果列於表 4.與表 5.之中，由結果顯示位於匯入點下游之測站其水質與底泥中重金屬含量較高，尤其是砷與鎳，這些主要都是半導體製造業排放之主要污染物質，顯然來至竹科。另由新竹市環保局對客雅溪之監測調查結果彙整於表 6.，亦顯示相同之趨勢。由資料之分析可得竹科對環境造成之影響有以下幾點：(1)客雅溪水質劣化；(2)客雅溪灌區農地受重金屬污染；



(3)客雅溪河口沉積物重金屬含量偏高；(4) 客雅溪河口貝類重金屬含量偏高。對於問題之對策首應管制這些污染疑似區域禁止耕作與養殖，並合理補償與輔導農漁民；其次應就環境涵容能力與總量管制精神訂定更嚴格之排放標準，並嚴格執行監控。

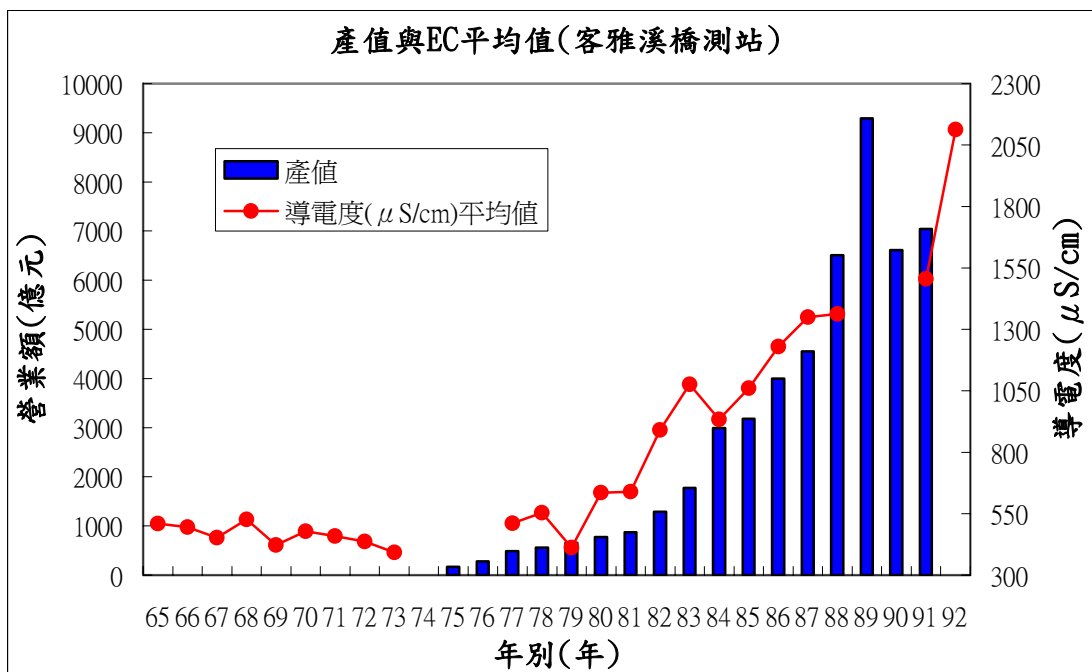
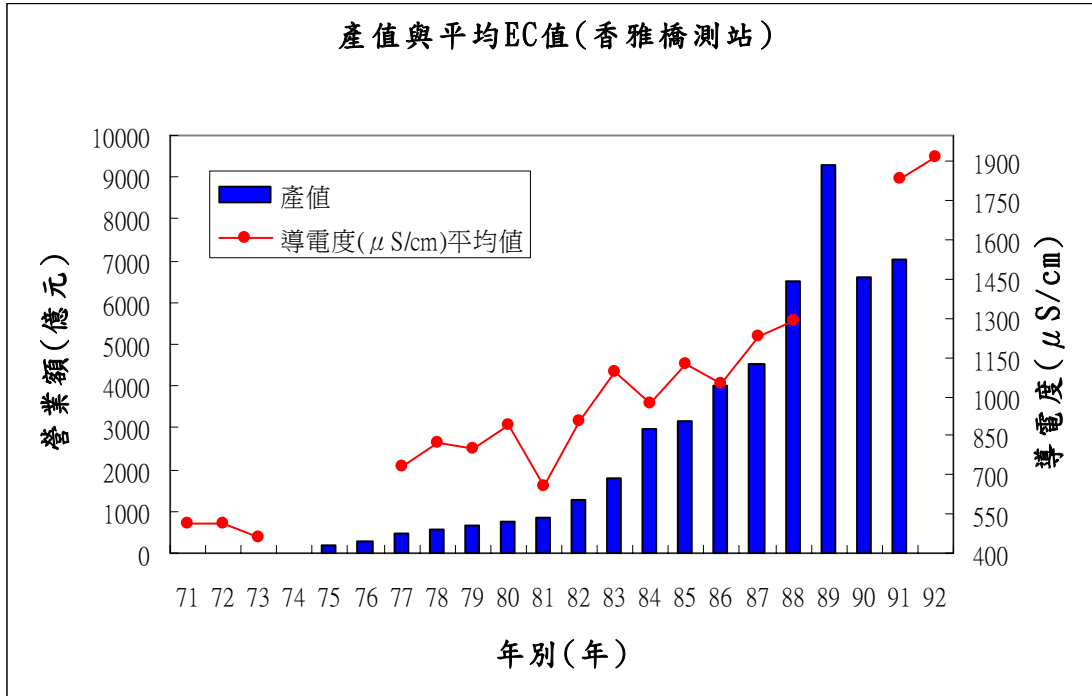


圖 3. 客雅溪之香雅橋與客雅溪橋測站 EC 平均值與科學園區產值變化圖

表 4. 本研究於客雅溪之水質採樣結果

檢驗項目	單位	冷水坑溪	第二淨水廠	香雅橋	南大路	中興橋
pH		7.7	8.05	7.8	7.6	7.8
導電度	µmho/cm	440.5	319.5	2085	1930	483
砷	mg/L	0.0018	0.0007	0.0226	0.02375	0.00915
鎘	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND
銅	mg/L	ND	0.03	ND	ND	ND
鉻	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND
總汞	mg/L	ND	0.00025	ND	ND	ND
鎳	mg/L	ND	0.03	0.01	0.065	ND
鉛	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND
鋅	mg/L	0.06	0.08	0.025	0.02	0.025

表 5. 本研究於客雅溪之底泥採樣結果

檢驗項目	單位	冷水坑溪	第二淨水廠	香雅橋	南大路	中興橋
總砷	mg/kg	4.38	3.26	12.4	3.80	2.92
總汞	mg/kg	2.23	0.065	0.190	0.682	0.685
總有機碳	%	0.31	0.01	1.93	1.54	0.50
鉛	mg/kg	17.1	15.3	29.1	1070	9.69
銅	mg/kg	33.8	80.4	51.5	61.2	6.38
鉻	mg/kg	27.7	28.9	54.5	56.6	9.59
鋅	mg/kg	75.4	117	124	93.4	45.9
鎳	mg/kg	22.9	27.7	37.6	58.0	11.7
鎘	mg/kg	0.30	0.29	NA	0.48	NA

計畫成果自評

本計畫經由資料收集分析與自行採樣調查，發覺新竹科學園區之重金屬排放確實對客雅溪之水質造成極為嚴重之影響，許多水資源之正常用途受到傷害，農地、作物、貝類養殖是最直接之受害者，政府應予重視謀求改善之道。而台灣各地方興未艾之科學園區建設開發必須記取教訓顧及環境之涵容量，否則歷史終將在南科及其他高科技園區重複上演。

表 6.新竹市環保局之客雅溪監測彙總表

檢測項目	放流口(一)	放流口(二)	客雅溪橋	牛埔橋	當賢橋	中正橋	青草湖	客雅溪出海口
pH	7.1±0.26 (6.4~7.6)	7.3±0.32 (6.3~7.9)	5.8±0.28 (6.5~7.64)	7.8±0.29 (6.56~8.12)	7.8±0.41 (6.2~8.2)	7.3±0.53 (6.2~8.09)	7.5±0.6 (6.35~8.4)	7.5±0.33 (6.56~8)
鎳 mg/l	0.00083±0.003 (N.D.~0.015)	0.00205±0.006 (N.D.~0.026)	0.0008±0.004 (N.D.~0.02)	0.001±0.004 (N.D.~0.02)	0.001±0.004 (N.D.~0.02)	0.0005±0.0002 (N.D.~0.001)	0.0001±0.0005 (N.D.~0.002)	N.D (N.D)
鉛 mg/l	0.03±0.07 (N.D.~0.32)	0.04±0.06 (N.D.~0.19)	0.04±0.08 (N.D.~0.36)	0.04±0.06 (N.D.~0.31)	0.06±0.2 (N.D.~1.33)	0.04±0.07 (N.D.~0.28)	0.03±0.06 (N.D.~0.2)	0.02±0.05 (N.D.~0.14)
鉻 mg/l	0.0002±0.0009 (N.D.~0.006)	0.0009±0.005 (N.D.~0.03)	0.005±0.03 (N.D.~0.19)	0.0002±0.001 (N.D.~0.006)	0.001±0.005 (N.D.~0.03)	0.002±0.007 (N.D.~0.03)	0.002±0.007 (N.D.~0.03)	N.D (N.D)
汞 ug/l	0.08±0.5 (N.D.~2.93)	0.08±0.5 (N.D.~2.86)	0.8±5.8 (N.D.~31.12)	0.1±0.6 (N.D.~3.9)	0.1±0.6 (N.D.~3.69)	0.9±2.9 (N.D.~11.5)	0.5±1.6 (N.D.~6.28)	0.9±2.9 (N.D~12.05)
銅 mg/l	0.01±0.02 (N.D.~0.06)	0.02±0.03 (N.D.~0.14)	0.02±0.05 (N.D.~0.22)	0.02±0.05 (N.D.~0.32)	0.008±0.02 (N.D.~0.07)	0.02±0.02 (N.D.~0.07)	0.02±0.04 (N.D.~0.1)	0.02±0.04 (N.D~0.17)
鋅 mg/l	0.1±0.09 (N.D.~0.46)	0.12±0.1 (N.D.~0.45)	0.07±0.08 (N.D.~0.3)	0.12±0.1 (N.D.~0.43)	0.08±0.07 (N.D.~0.32)	0.05±0.04 (N.D.~0.13)	0.1±0.2 (N.D.~0.8)	0.07±0.11 (N.D~0.4)
導電度 μ S/cm	2378.2±1182 (790~5000) (3~160)	2311.5±1436.4 (390~5380) (4.2~350)	2037.2±1657.3 (964~9190) (4.6~250)	2114.9±1006.4 (226~4430) (4~130)	771±840.5 (4.5~5590) (2.4~260)	1145.4±1665.9 (466~7780) (9.1~284.5)	718.8±214.3 (433~1129) (8.71~84.6)	2510.3±732.9 (1147~3950) (3~23.4)
鎳 mg/l	0.02±0.03 (N.D.~0.11)	0.03±0.04 (N.D.~0.17)	0.02±0.04 (N.D.~0.13)	0.02±0.03 (N.D.~0.13)	0.005±0.01 (N.D.~0.06)	0.004±0.02 (N.D.~0.07)	0.007±0.02 (N.D.~0.06)	0.025±0.04 (N.D.~0.1)
砷 ug/l	2.0±7.3 (N.D.~34.81)	3.7±12.3 (N.D.~58.43)	3.7±11.8 (N.D.~47.53)	3.5±14.2 (N.D.~70.12)	1.5±5.6 (N.D.~27.27)	3.2±8.4 (N.D.~33.25)	3.02±7.27 (N.D.~25.72)	2.5±7.3 (N.D.~27.81)

參考文獻

1. M.S. Jeng W.L. Jeng, T.C. Hung, C.Y. Yeh, R.J. Tseng, P.J. Meng, Han, B.C., (2000) Mussel Watch: A review of Cu and other metals in various organisms of Taiwan, 1991-1998. Environ.Pollut.110
2. 王金聲，2001，新竹地區河川與鄰近海域沈積物重金屬之空間分佈與垂直分佈。
3. 丘福龍，1999，客雅溪流流域水體和沈積物中銅物種與形態的研究。
4. 莊文菁，2003，遮蔽的高科技產業污染-以新竹科學園區為例。
5. 陳勝一、邱應志、林志高，2000，高科技工業園區承受水體微量污染物之調查研究。
6. 新竹市環保局網站 <http://www.hcceptb.gov.tw/Business/>