



東海大學環境科學與工程研究所

碩士論文

地下水污染物分佈與生物毒性分析-以台灣
中部沿海地區為例

Pollutants' spatial pattern and their bio-toxic in
groundwater - using the coastal area central Taiwan as
case study

研究生：黃琬婷

指導教授：陳鶴文 博士

中華民國 101 年 07 月

摘要

為了確保地下水在海水入侵或是意外導致洩漏的沿海地區使用的安全性，本研究利用微毒性測試量化地下水的生物毒性，並提出一個綜合數據分析程序，而這個程序由群集分析、主成份分析和冗餘分析來判定導致生物毒性的主要環境因子及毒性物質在地下水的空間分佈與關聯性。本研究結果發現，梧棲沿海地區可能已受到海水入侵而導致地下水源變質，而內陸地區則是受到有機污染物污染；而主要影響毒性的來源可能為氯離子濃度、導電度、五價砷濃度。最後，此結果可提供給環境保護者有更多幫助在於我國地下水品質管理。

關鍵字: 區域性空間分析、冗餘分析、地下水毒性

Abstract

To ensure the safety of groundwater usage in a seashore area where seawater incursion and unexpected leakage are taking place, this study utilizes the micro-toxicity test to quantify the biological toxicity of groundwater and proposes an integrated data analysis procedure based on hierarchical cluster analysis (HCA) , principal component analysis (PCA) and redundancy analysis (RDA) or determining the key environmental factors that may result in the biological toxicity, together with the spatial risk pattern associated with groundwater usage. The results present that Wuchi coastal areas may metamorphic of groundwater cause by seawater intrusion, the inland areas are contaminated by organic pollutants; major source of toxicity may cause by concentration of chloride, conductivity and arsenate. Finally, the results can be more useful for environmentalist in our national groundwater quality.

Keywords: Regional spatial analysis, Redundancy analysis, Groundwater toxicity

目錄

摘要	
Abstract	
第一章、前言	1
1-1、研究緣起	1
1-2、研究目的	3
第二章、文獻回顧	4
2-1、國內地下水使用現況	4
2-2、砷在環境中之毒性	5
2-3、消毒副產物之毒性及危害	9
2-4、實驗方法與測定	14
2-5、地理資訊系統運用於風險評估	16
第三章、研究方法	17
3-1、研究背景與架構	17
3-2、相關性分析	21
3-3、主成份分析	23
3-4、階層式集群分析	24
3-5、地理資訊系統(GIS)-Kriging	26
3-6、冗餘分析	28

第四章、結果與討論	32
4-1、地下水水質特性分析	32
4-2、環境參數篩選	36
4-3、參數縮減	38
4-4、毒性層級分類	39
4-5、空間分佈	42
4-6、因果關聯分析	49
4-7、風險潛在危害	55
第五章 結論與建議	57
5-1、結論	57
5-2、建議	59
第六章 參考文獻	60
附錄	

表目錄

表 2-2-1 飲用水中砷濃度標準	6
表 2-2-2 砷對人體各組織器官之影響	7
表 2-3-1 消毒副產物 THMs 之種類	10
表 2-3-2 消毒副產物 THMs 健康危害效應	10
表 2-3-3 消毒副產物 HAAs 之種類	11
表 2-3-4 含氯鹵乙酸物種與含溴鹵乙酸物種對人類動物健康 之危害	12
表 4-1-1 實驗期間地下水基本水質特性比較	35
表 4-1-2 實驗期間地下水基本水質特性比較	36
表 4-2-1 環境變數與毒性物質之相關性	38
表 4-3-1 主成分分析環境因子	39
表 5-5-1 分析工具及功能性	59

圖目錄

圖 3-1-1 研究架構流程圖	16
圖 3-1-2 研究區域及採樣點分佈位置	17
圖 3-6-1 RDA-依變數與樣方	29
圖 3-6-2 RDA-自變數與自變數	30
圖 3-6-3 RDA-自變數與依變數	30
圖 3-6-4 RDA-樣方與環境變量	31
圖 4-4-1 鹽化現象空間風險分佈	41
圖 4-4-2 有機污染物空間風險分佈	41
圖 4-4-3 集群間的環境因子與有毒物質	42
圖 4-5-1 DOC 分佈圖	44
圖 4-5-2 H.S.分佈圖	44
圖 4-5-3 Cl ⁻ 分佈圖	45
圖 4-5-4 導電度分佈圖	45
圖 4-5-5 DO 分佈圖	46
圖 4-5-6 濁度分佈圖	46
圖 4-5-7 As ³⁺ 分佈圖	47
圖 4-5-8 As ⁵⁺ 分佈圖	47
圖 4-5-9 THMs 分佈圖	48

圖 4-5-10 HAAs 分佈圖	49
圖 4-5-1 風險潛能分佈圖	49
圖 4-6-1 採樣點之環境因子與消毒副產物 THMs 雙軸圖	52
圖 4-6-2 採樣點之環境因子與消毒副產物 HAAs 雙軸圖	54
圖 4-7-1 THMs 之採樣點分群	56
圖 4-7-2 HAAs 之採樣點分群	57

第一章 前言

1-1 研究緣起

現今全球人類的生活及農工業的生產需求，使得地下水成為一項重要的水資源，另外地下水對於水文循環也有的關鍵作用 (Jin *et al.*, 2013)，台灣年平均降雨量達 2,500 公釐，雖雨量豐沛卻受地形、氣候影響及乾濕季分明等因素，使得北部多雨而南部少雨，又因河川坡度陡峭造成水土流失，導致地面儲水不易，對水資源衝擊大，因此地下水資源供應是十分重要的。

世界各地有數以萬計的人們受到淺層地下水砷的污染，使人類的健康受到危害，特別是在東南亞 (Wang *et al.*, 2011)，在印度、台灣、墨西哥、阿根廷、智利、日本、英國和匈牙利的一些流行病學研究報告也明確指出地下水砷和皮膚病及皮膚癌之關係 (Anawara *et al.*, 2002)。地下水因自然或人為活動引發質變而影響正常用途或危害人體健康 (Wang *et al.*, 2011)，一般地下水常見重金屬有砷、鎘、鉛、銅和汞，皆會對人體造成潛在風險性，例如國內台南地區砷中毒的烏腳病事件及彰化地區鎘米事件，皆為地下水遭受污染所造成的危害，其中重金屬砷屬於一級致癌物，是導致烏腳病與肝癌、肺癌、膀胱癌和皮膚癌的元凶 (經濟部水利署)。早期台灣對於飲用水中砷的標準是 50 μ g/L，而世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 於 1993

年建議將飲用水中砷濃度標準值降低至 $10\mu\text{g/L}$ (Smedley *et al.*, 2002)，我國也於2000年12月1日起將飲用水中砷標準改為 $10\mu\text{g/L}$ (行政院環保署，2001)。

另外地下水常見天然有機物-腐質物質，經加氯消毒後會產生消毒副產物 (Disinfection by-products, DBPs)，例如三鹵甲烷 (Trihalomethanes, THMs) 和鹵化乙酸 (Haloacetic acids, HAAs)，且文獻也證實三鹵甲烷對生殖危害之相關病變，包括子宮生長延遲、心臟缺損、懷孕週數不足、中樞神經缺損、口顎部缺損、胎兒體重不足、胎兒生長延遲、自然流產。鹵化乙酸亦可能引起肝毒性、基因毒性、神經毒性、胚胎毒性及生殖危害等多種毒性 (張氏，2001)。

台灣中南部地區已有部分因超量抽取地下水而導致地層下陷及鹽化現象，一旦地下水產生鹽化現象，地下水質特性將被改變，包括導電度、氯離子濃度及部分金屬濃度等上升，如作為飲用水、農業用水或工業用水，在淨水處理程序時恐使水質產生變動，尤其在加氯消毒氧化過程。本研究將針對中部沿海地區之地下水質特性及其毒性效應，利用統計分析方法探討其污染狀況。

1-2 研究目的

本研究目的是針對中部沿海地區之地下水水質特性及可能之毒性效應進行探討，首先針對沙鹿地區（SLGW）、龍井地區（LJGW）及梧棲地區（WCGW）地下水水質特性進行分析，再藉由模擬一般自來水廠加氯消毒程序，觀察地下水中天然有機物與氯進行反應，生成之消毒副產物；三鹵甲烷（THMs）及鹵化乙酸（HAAs）。

本研究將針對研究區域內之地下水體水質監測及其毒性數據，利用主成分分析（Principle Component Analysis, PCA）、地理資訊系統（Geographical Information Systems, GIS）及階層式集群分析（Hierarchical Cluster Analysis, HCA）等方法探討其污染狀況及污染來源，並運用冗餘分析（Redundancy Analysis, RDA）對照其上述結果是否正確，更進一步來確立環境因子與毒性物質之因果關係。

第二章 文獻回顧

2-1 國內地下水使用現況

台灣雖然年雨量達 2,500mm 以上，但因為地狹人稠、山坡陡峭、降雨不平均，使水資源無法有效的保存與利用，每到旱季總會造成地區性限水甚至停水，因此對於地下水的使用就更為依賴。地下水的使用以農業用最多（約占 45%），其次為養殖業用水（約占 32%），再來為工業用水（約占 14%），至於民生用水（約占 9%）。長期超抽地下水會造成地層下陷、海水倒灌等災害，因抽用量仍超過補注量，故大部分地區的地下水水位仍持續下降（經濟部水利署）。

台中地區地下水屬於淺層水井之地下水水質比深層地下水水質差，地下水中的 pH 值普遍介於 6~8 之間，地下水中重金屬鐵、錳、鋅及鉻含量較高，一般氨氮及總菌落數偏高（行政院環保署，2011）。於民國 97 年時亦發現舊社里地區及潭子地區地下水含有四氯乙烯及三氯乙烯等含氯有機物溶劑，三氯乙烯高達 0.155 mg/L（飲用水標準為 0.05mg/L），四氯乙烯也超過地下水污染控制標準。另在民國 100 年時台中市清水區因用焚化爐底渣，填平作為私人停車場，導致附近地下水鉛濃度高達 0.075 mg/L，已超過飲用水管制標準 0.050 mg/L，是否為焚化爐底渣所引起的還有待釐清，但該地區確實已受到重金屬鉛污染。

綜合上述得知台中地區地下水含有鐵、錳、鋅、鉻及鉛等重金屬，皆會對人體及環境造成危害或不良之影響，另針對三氯乙烯及四氯乙烯，三氯乙烯會抑制中樞神經，另會引起心律不整、呼吸道刺激及傷害、胃腸道症狀、皮膚或眼睛傷害；四氯乙烯會造成噁心、嘔吐、頭暈及昏迷等狀況，台中部分地區之地下水飲用可能潛在風險性(王氏，2012)。

2-2 砷在環境中之毒性

砷通常存在於自然環境岩石、海洋、土壤及河流中，砷在自然環境中之含量約為1.5~5mg/kg，且會對生物體造成累積性 (Stanic *et al.*, 2008)。砷的來源分為自然產生和人為污染，自然產生主要來自於環境中火山噴發或是岩石及土壤風化及溶解作用而使砷存在於自然水體中，而自然界中砷主要以硫化礦存在 (Jain and Ali, 2000；Stanic *et al.*, 2008)；主要地人為污染來自工廠排放或是農業上農藥的使用 (Sadler *et al.*, 1994)。

砷可分為有機砷、三價無機砷和五價無機砷等三種形態。無機砷通常被認為會對人類造成較大的毒性影響，有機砷的毒性則比無機砷低很多，而三價砷之毒性約為五價砷之毒性的十倍 (Nguyen *et al.*, 2009)。世界各地已經有數以萬計的人們受到淺層地下水砷污染所帶來的健康危害，尤其是在東南亞地區，而在在印度、台灣、墨西哥、

阿根廷、智利、日本、英國和匈牙利進行了一些流行病學研究報告也明確指出地下水中的砷和皮膚疾病和皮膚癌之間的關聯性，當使用受到砷污染的地下水於農業或水產養殖，將由食物鏈間接進入到人體，透過不同的途徑也危害人類的健康（Wang *et al.*, 2001；Anawar *et al.*, 2002）。

目前世界衛生組織（World Health Organization, WHO）訂定之飲用水中砷濃度的標準如表2-2-1，一般國家訂定之標準為10 μ g/L，只有加拿大的管制標準較寬鬆為25 μ g/L，而砷會對人體各組織產生健康危害效應，如表2-2-2。

表2-2-1 飲用水中砷濃度標準

國家/組織	砷管制濃度（ μ g/L）
世界衛生組織	10 μ g/L
美國環保署	10 μ g/L
台灣環保署	10 μ g/L
日本	10 μ g/L
歐盟	10 μ g/L
加拿大	25 μ g/L

表2-2-2 砷對人體各組織器官之影響 (WHO, 2011)

影響器官或組織	可能出現之症狀
腸胃道、肝臟、腎臟	胃穿孔、出血性腸胃炎、帶血腹瀉、非肝硬化引起的門脈高血壓、急性腎小管壞死、腎絲球壞死導致蛋白尿等
心血管系統	心肌病變、非典型多發性心電頻脈、烏腳病、血管纖維化、心肌肥大等
神經系統	周邊神經軸的傷害、肌肉無力、癱瘓、心智發育遲緩、癲癇等
皮膚系統	皮膚癌、皮膚色素沉澱、過度角質化
呼吸系統	呼吸道的黏膜發且潰瘍甚至鼻穿孔、肺癌
血液系統	骨髓造血功能被抑制、血球數目下降
生殖系統	造成流產或胎兒畸形

台灣地區在民國60年時，於西南沿海一帶及蘭陽平原的沿海居民因長期飲用含砷地下水，發生地下水砷中毒事件，大致分佈於嘉義縣布袋、台南縣北門以及學甲等西南沿海地區，另外在屏東縣、雲林縣、高雄縣等沿海地區也有烏腳病事件；宜蘭地區則以冬山鄉和五結鄉等沿海地區情形較為嚴重。且宜蘭地區砷濃度最高達到 0.33 mg/L（林氏，1999a），遠超出目前的飲用水水質標準0.01 mg/L，若民眾飲用其含砷地下水，將會對健康有重大危害。

台灣地區近年來地下水含砷問題，1994年也有陳等人研究指出在西南地區地下水井調查發現地下水中無機砷濃度約為 671 ± 149 $\mu\text{g/L}$ ，其中主要以高毒性 As^{3+} 為主，且 $\text{As}^{3+}/\text{As}^{5+}$ 比例約為2.6（Chen *et al.*, 1994）。早期西南部沿海鄉鎮所發生的烏腳病患者，所發現的皮膚癌、內臟癌，懷疑可能與飲用含砷地下水有關（曹氏，1996；鈕氏，1996）。

2-3 消毒副產物之毒性及危害

現今淨水廠通常以加氯消毒法來殺菌，當水中含有天然有機物質加氯消毒時恐產生消毒副產物 (DBPs)，消毒副產物主要成因是含氯或含溴離子與水中有機物質發生取代及氧化反應所造成，使含氯消毒劑與水中有機物質發生氧化反應後，生成含氯的消毒副產物 (楊氏，2008)。

依據美環保署 (United States Environmental Protection Agency, USEPA) 規範已設置安全飲用水法案，針對消毒副產物中的三鹵甲烷和鹵化乙酸規範污染標準，總三鹵甲烷為 80 $\mu\text{g/L}$ ，鹵化乙酸為 60 $\mu\text{g/L}$ (USEPA, 2001)。目前國內環保署的飲用水標準針對總三鹵甲烷為 80 $\mu\text{g/L}$ ，但鹵化乙酸卻沒有訂定標準 (台灣環保署，2011)。

早在1974年，發現氯會與水中有機物質反應產生消毒副產物 (DBPs) 如表2-3-1，其中最主要的為三鹵甲烷 (約占60%)，次要的為鹵化乙酸 (約占20%)。另外文獻也證實三鹵甲烷對人類健康有潛在威脅，尤其是致突變性、致畸形、致癌性等 (張氏，2001)。且根據美國環保署之致癌性分類：將三氯甲烷、一溴二氯甲烷、三溴甲烷列為Group B2，二溴一氯甲烷則為Group C，極可能人類致癌物，動物試驗致癌證據充足，其健康危害效應如表2-3-2 所示。

表 2-3-1 消毒副產物 THMs 之種類 (Shin *et al.*, 1999)

中文名稱	英文學名	百分比
三鹵甲烷	Trihalomethanes (THMs)	60%
鹵化乙酸	Haloacetic acids (HAAs)	20%
鹵乙腈	Haloacetonitriles (HANs)	12%
鹵化酮	Haloketones (HKs)	5%
氯化苦味素	Chloropicrin (CP)	3%

表 2-3-2 消毒副產物 THMs 健康危害效應

物種名稱	健康危害效應
三氯甲烷 (CHCl ₃)	濃度達200mg/L 對於受測動物及人類的肝臟，中樞神經系統有嚴重的損害
二氯一溴甲烷 (CHBrCl ₂)	與自發性流產增加之風險有最高的關聯性
一氯二溴甲烷 (CHBr ₂ Cl)	可能為人類致癌物，動物試驗致癌證據有限
三溴甲烷 (CHBr ₃)	具有高毒性，長期暴露會對人體肝臟造成傷害

相關研究指出鹵化乙酸可能具有致癌性與致突變性，且可能引起肝毒性、基因毒性、神經毒性、胚胎毒性及生殖危害等多種毒性，表2-3-3為鹵化乙酸之種類，另外表2-3-4為含氯的HAAs物種與含溴的HAAs物種對人類動物健康之危害。

表 2-3-3 消毒副產物 HAAs 之種類

中文名稱	英文學名
一氯乙酸	Monochloroacetic acid (MCAA)
一溴乙酸	Monobromoacetic acid (MBAA)
二氯乙酸	Dichloroacetic acid (DCAA)
三氯乙酸	Trichloroacetic acid (TCAA)
一溴一氯乙酸	Bromochloroacetic acid (BCAA)
一溴二氯乙酸	Bromodichloroacetic acid (BDCAA)
二溴乙酸	Dibromoacetic acid (DBAA)
三溴乙酸	Tribromoacetic acid (TBAA)
二溴一氯乙酸	Chlorodibromoacetic acid (CDBAA)

表2-3-4 含氯HAAs物種與含溴HAAs物種對人類動物健康之危害（王氏，2011）

含溴/氯鹵化乙酸	人類或動物健康危害
一氯乙酸	引起沙門氏菌TA100的致突變性反應外，亦對存在於老鼠盲腸中的腸球菌具有毒性
一溴乙酸	引起沙門氏菌TA100的致突變性反應外，亦對存在於老鼠盲腸中的腸球菌具有毒性
二氯乙酸	<ol style="list-style-type: none"> 1.DCAA 對大腸菌PQ37 具有基因毒性也可能引起染色體的畸變 2.若在飲用中提供300~500 mg/DCAA/kg/day 之劑量，可引起老鼠因維他命B1 缺乏造成可逆性末梢神經病變 3.會對男性生殖造成危害，影響精子的活動與型態 4.對齧齒類動物具有肝致癌性，長期飲用可引發B6C3F1 雄性老鼠之肝細胞發生癌症及腺瘤
三氯乙酸	TCAA 具有胚胎毒性，其濃度為291mg/kg/Day 會引起老鼠胚胎細胞中心臟發育時畸變並增加implantation（移植轉移），且對肝臟具致癌性
二溴乙酸	<ol style="list-style-type: none"> 1.會影響雄性老鼠之生殖系統，使精子退化及萎縮 2.引起DNA的氧化傷害可能在慢性毒性效應上扮演很重要的角色
三溴乙酸	引起沙門氏菌TA100的致突變性反應外，亦對存在於老鼠盲腸中的腸球菌具有毒性

而影響加氯消毒副產物的生成因素很多，主要有包含有機前質、加氯劑量、pH 值、溫度、反應時間以及溴離子濃度等(劉氏，2002)。對於加氯量及餘氯量會影響水中DBPs生形成的速率及分佈，例如，高加氯量及餘氯量時，HAAs之形成較易於THMs，而含三個鹵素的HAAs也會比含兩個或是含一個鹵素的HAAs高，另外高加氯量時，三氯乙酸的濃度大於二氯乙酸，也會導致DPBs的含溴量減少(賴氏，2002)。

當水源接近海邊時，THMs濃度較高，其中三鹵甲烷的比例高於氯化三鹵甲烷，此外THMs的濃度及組成比例也受到季節的影響，春季THMs濃度較低，以氯化物為主；秋季THMs濃度較高，以溴化三鹵甲烷為主(許氏，2006)。一般認為水中腐植質是導致消毒副產物生成的主因，腐植質複雜的特性會隨季節及地域性而改變，可能影響淨水廠處理效能與加氯時消毒副產物前驅物的生成潛能。在淨水程序中pH值上升，對THMs生成量的影響很大，研究THMs形成在pH為4~9的範圍之間，THMs會隨著pH值上升而增加，但當pH值大於9以上，THMs則會有逐漸減少的趨勢。在溫度越高時反應速率越快，再一定加氯情形下，溫度越高，則THMs生成量就越大。有機物質含量是影響DBPs生成的因素之一，通常有機物濃度越高，可以生成的消毒副產物也就越大(吳氏，2000)。

2-4 實驗方法與測定

多變量分析應用範圍很廣，起初是由心理學出發，現在主要是處理變數之間的關係，在各大領域均可使用，包含人類學、物理學、經濟學、教育學、保育學等（陳耀茂，2001）。

當分析兩個屬量變數 X、Y 之間的相關性時，可以用簡單的相關分析，計算得到簡單相關係數，以判斷兩者之間的相關程度大小及方向（正相關或負相關）。當要分析多個屬量變數與一個特定屬量變數間的相關性時，可以利用複迴歸分析，將分析中所計算得到的判定係數（ R^2 ）開根號（得到 R），即可得到此一變數與另一組多個變數間的複相關係數（林師模、陳苑欽，2003）。

文獻指出，當所得到數據集的大小和複雜性，使整體評估困難，可運用多變量統計方法可以是有用的評估環境模式和污染的來源，最常使用的研究方法為主成分分析（Principle Component Analysis，PCA），使用多個水質成份之間的相關性，可有效減少變量的數目（Olsen *et al.*, 2012）。主成份分析有兩種主要功能，一個是精簡線性資料中的變數，即可以使用最精簡的主成份數來取得最大的解釋變異量，以簡化變項間分析的過程；另一個功能則是線性轉換，以解決迴歸變量間共線性的問題，當變項之間有高度相關的存在時，經過主成份分析就可使新的變項間成為零關係，然後進一步將各主成份對目

標變數作迴歸分析，即可得到個別主成份對應變數之預測能力(李氏，2012)，在本研究將利用主成份分析方法來減化環境因子數據，利用產生的新變量進行後續分析。

集群分析描述一組多元的方法和技巧來尋找資料分類、組成、類別等，可用於開發的分類或類型架構，為了探索數據複雜性的基本模式，並可以做為一種數據縮減的程序(Leonard *et al*, 2008)。集群分析是依樣本各類觀察值進行分析，將某些有共同特性的觀察值整合並分配到特定群組的一種分析方法。集群分析將觀測值依照相對距離的遠近，以群內差異最小、群間差異最大的性質作為分類通則，其分群結果顯示各集群內部的同質性與群間的差異性(羅氏，2010)，本研究將利用集群分析將研究區域之採樣點進行分群，並以主成份分析之結果作為觀測項目，將採樣點分群進行區域性探討。

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)，為一套整合各項相關地理資訊化作業，具有資料擷取、編修、更新、儲存、查詢、處理、分析及展示等功能。許多人利用利用 GIS 在研究區域，調查污染物的分佈情況，或是地理背景之介紹(Zhou *et al.*, 2007)，在本研究將利用 GIS 來繪製水質基本特性及毒性污染物質之濃度分佈圖，探討水質特性情形及污染物擴散範圍，用來探討空間區域之風險及危害。

冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) 在多變量分析的統計學教科書上冗餘分析通常是被忽視的。而冗餘分析是一種直接協調的線性方法，藉由排序分析來了解物種的分佈情形，找出影響群集分佈之相關環境因子，而此方法通常用於生態研究 (Ter Braak *et al.*, 1994)。另外有文獻利用冗餘分析分析螞蟻與環境因子之關聯，顯示 10cm 土壤濕度與螞蟻種類的分佈最為相關，是影響本區螞蟻種類在各樣區分佈性的重要環境因子 (涂氏, 2011)，本研究將利用 RDA 分析環境因子、毒性物質及採樣點之間的相關性，探討其因子間的影響大小及方向。

2-5 地理資訊系統運用於風險評估

GIS 是一個理想的工具，在污染風險評估的過程，空間的變化呈現數據，更可進一步利用地理信息系統 (GIS) 技術，原水監測方案制定協助進行操作和集水區的土地利用規劃 (Foster and McDonald, 2000)。

環境安全已日益成為焦點，危險化學品企業是首要關心和關注的焦點，因此利用地理信息系統，建立危險化學品環境風險，環境風險管理和應急管理提供技術工具 (Tanga *et al.*, 2011)，在本研究中，利用 GIS 呈現地下水質及毒性物質之分佈情形，來探討地區性的危害風險及潛在的危害。

第三章 研究方法

3-1 研究背景與架構

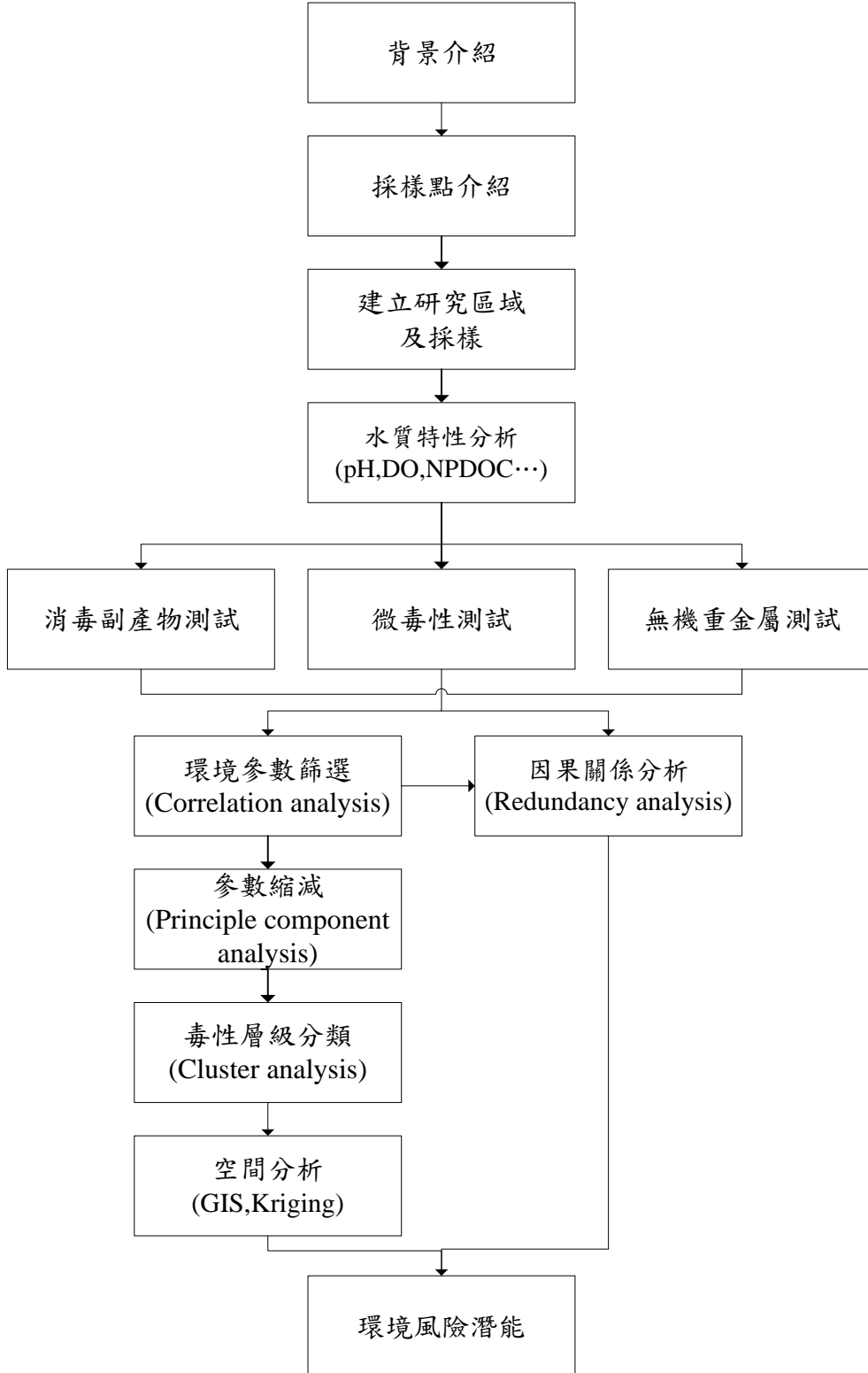


圖 3-3-1 研究架構流程圖

本研究以中部沿海地區之地下水水質特性及加氯前、後之毒性分析試驗為探討主軸，研究區分別為龍井地區（LJGW）、梧棲地區（WCGW）、沙鹿地區（SLGW）之地下水井，此區域為台中沿海地區，研究區域內有關連工業區及緊鄰台中火力發電廠，詳細採樣位置如圖3-1-2所示。首先針對地下原水之水質參數，分析其特性及差異性，再以一般自來水廠淨水程序加氯單元之操作條件，模擬分析消毒副產物THMs及HAAs之生成情形，實驗中並利用ICP/MS輔以HPLC對砷物種（ As^{3+} 和 As^{5+} ）進行分離及定量，最後以Microtox急毒性試驗，探討加氯前、後之地下原水毒性變化，同時應用統計工具分析毒性與各項水質參數之相關性。

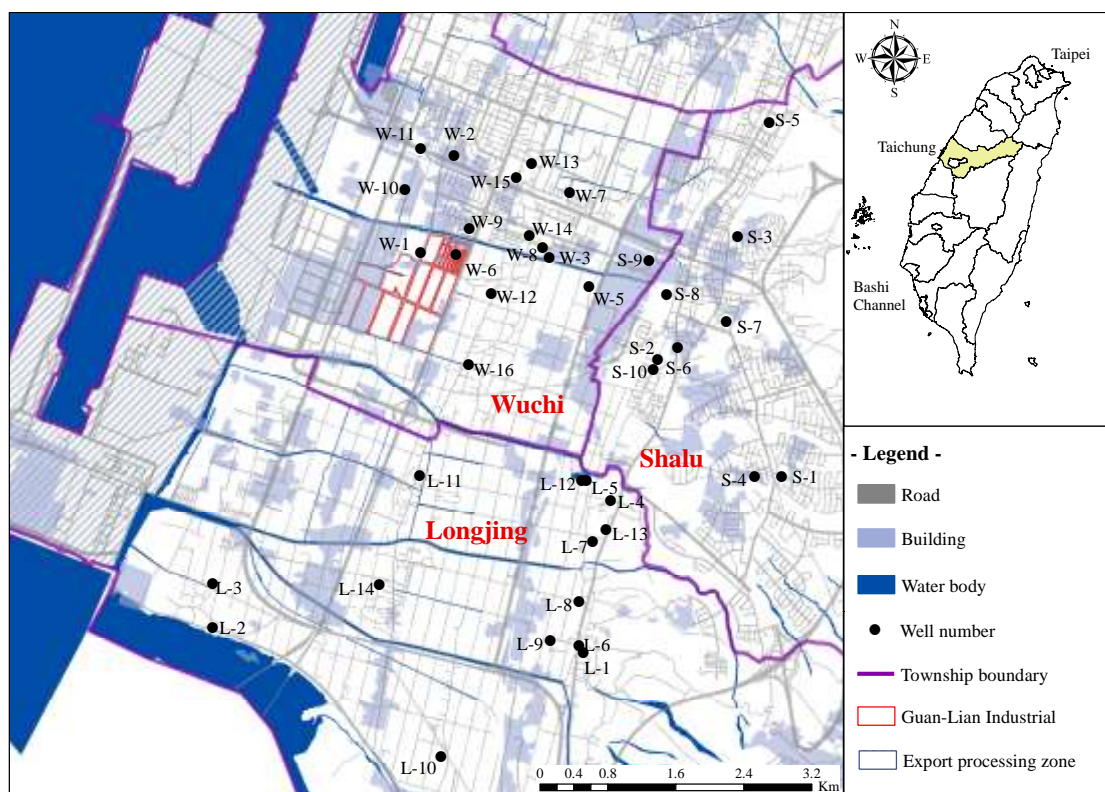


圖3-1-2 研究區域及採樣點分佈位置

研究架構如圖3-3-1所示，詳細敘述如下（實驗步驟（1）和（2）引用弘光大學之實驗分析）：

- (1) SLGW、LJGW、WCGW 地區地下水水質特性分析：分別採取 SLGW（10處）、LJGW（16處）、WCGW（14處）地下水，合計40 處地下水井，採樣點座標及井深資料如附錄一所示。水質分析項目：包括pH 值、溶氧（DO）、濁度（Turbidity）、導電度(Conductivity)、氯離子(Cl^-)、腐植質(Humic Substances, H.S.)及溶解有機碳（DOC），詳細數據資料如附錄二。
- (2) 另外針對西部沿海地下水中常檢測出之砷，本研究利用 ICP/MS-HPLC 設備將 As^{3+} 和 As^{5+} 物種分離並定量之，模擬地下水中 As^{3+} 和 As^{5+} 經淨水程序之加氯消毒單元，探討加氯前、後砷物種之氧化、還原情形，同時探討加氯後地下水中消毒副產物(DBPs)之主要物種；三鹵甲烷(THMs)及鹵化乙酸(HAAs)生成情形，利用Microtox急毒性試驗，針對地下原水及加氯後之毒性效應（以 EC_{50} 值表示）進行分析，詳細數據資料如附錄三。
- (3) 探討環境參數與毒性物質以及生物毒性間之相關性，環境參數包含：DOC、 Cl^- 、DO、Turbidity、Conductivity、H.S.、pH，毒性物質包含： As^{3+} 、 As^{5+} 、THMs、HAAs，生物毒性以加氯

消毒前後之毒性增加量 (Toxicity) 表示，可了解消毒副產物與環境參數間的正、負加成效應。

- (4) 主成份分析法將環境參數進行縮減，選出具有影響力的因子，而刪除不具影響力的因子，投入之環境參數包含：DOC、Cl⁻、DO、Turbidity、Conductivity、H.S.、pH。
- (5) 主成份分析之結果將採樣點進行階層式集群分析，環境參數特性相似的會歸類為一群，了解各群體的代表意義，並分析各群體的污染程度。
- (6) 地理資訊系統 (GIS) 可繪製出各環境參數之分佈情形及毒性物質污染分佈，可明顯看出污染物在空間上的分佈。
- (7) 冗餘分析方法 (RDA) 製作環境參數與毒性物質間之雙軸圖，從圖中可看出環境參數與毒性物質的相關性以及何者影響較大，另外也可看出採樣點與環境因子間的情形，更可以驗證其PCA、HCA 之結果。
- (8) 彙整上述結論，可得知中部沿海地區受污染情況，在空間上之風險分佈及危害。

3-2 相關性分析

多變量統計分析是協助研究人員從事科學研究的一種工具與方法。一般使用目的包括：

1. 資料結構縮減或簡化：在不犧牲有價值資料的同時，盡可能用最簡單的結構來表達，以利解釋。
2. 資料分類和分群：依據某些特性，將「相似」的事物集合為一群體。
3. 調查變數之間的相依關係：調查所有的變數之間是互相獨立或具有相依關係。
4. 預測（prediction）：建立資料變數之間的關係，並根據某些變數的觀察值來預測其他變數的數值。
5. 假設的建立與檢定：檢定特定的統計假設。

相關性分析是分析變數間關係的方向與關係程度大小的統計方法，可以從中瞭解變數之間的關係，並協助決策的進行。兩個變數之間的相關分析又稱為簡單相關分析，包含了相關係數的估計與統計推論。兩變數之間的相關方向及程度可利用相關係數來衡量，相關係數的公式如下：

$$\rho_{XY} = E\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X}\right)\left(\frac{Y - \mu_Y}{\sigma_Y}\right) = \frac{E(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

ρ_{XY} 為 X、Y 隨機變數的相關係數， μ_X 、 σ_X 為 X 的平均數與標準差，

μ_Y 、 σ_Y 為 Y 的平均數與標準差， σ_{XY} 為 X 與 Y 的共變數。

共變數 σ_{XY} 是用來衡量兩變數變動的方向及其程度，當 X 變大，Y 亦變大時，為正方向共變關係；當 Y 變小時，則為反方向共變關係。 ρ_{XY} 雖是衡量 X、Y 兩個隨機變數的相關的方向及程度，但需要注意的是 ρ_{XY} 所衡量的 X 與 Y 的相關僅指 X、Y 的線性關係。如果 X、Y 是非線性相關，則 ρ_{XY} 不一定能衡量出來。

ρ_{XY} 值介於-1 到+1 之間，當 $\rho_{XY}=0$ 時，代表 X、Y 之間無線性關係，但並不表示 X、Y 無關（獨立） 0 時，當 $\rho_{XY}=+1$ 表示完全正相關，

當 $\rho_{XY}=-1$ 表示完全負相關，若介於 0 和+1 之間代表有正相關性，若介於 0 和-1 之間代表有負相關性。

本研究利用相關分析於研究數據，為了解變數之間的關聯性，並篩選出適合的變數，以利後續分析之用。在此步驟輸入的變數包含 DOC、Cl⁻、DO、Turbidity、Conductivity、H.S.、pH、As³⁺、As⁵⁺、THMs、HAAs、Toxicity。從相關分析之結果來探討 Toxicity 與環境參數之間的關聯性，以及消毒副產物 THMs 和 HAAs 與環境參數之間的關聯性，從中篩選出適合的變數以利後續分析之用。

3-3 主成份分析

主成份分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是多變量分析方法的一種，主要原理是一種利用原有較多的變數資料，以產生少數新的變數的方法，而在產生新的變數的過程中，要同時顧及幾個目標：

1. 盡量保有原變數資料的資訊內涵
2. 新的變數之間需互為獨立
3. 變數個數已適當的縮減

主成份分析將所有解釋變數縮減成幾個互相為獨立的主成份，再利用這幾個主成份來進行其他分析，不僅保留原始變數的資訊內涵，又可以適當的解決變數間存在高度線性相關的問題。

主成份分析的主要目標就是將 p 個 X 變項給予不同的加權 (w) 以組合成 q 個 ($q \leq p$) 新的變項 (稱為主成份) C 。

$$C_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + w_{13}X_3 + \cdots + w_{1p}X_p$$

$$C_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + w_{23}X_3 + \cdots + w_{2p}X_p$$

...

$$C_q = w_{q1}X_1 + w_{q2}X_2 + w_{q3}X_3 + \cdots + w_{qp}X_p$$

註： C_i 是第 i 個主成份

w_{ij} 是第 j 個 X 變項 (X_j) 對第 i 個主成份 C_i 的加權係數

主成份分析要達到以下要求：

1. 所有主成份分析之間沒有相關

2. 第 1 個主成份的變易量最大，第 2 個次之.....

3. $w_{i1}^2 + w_{i2}^2 + w_{i3}^2 + \dots + w_{ip}^2 = 1$, $i=1, \dots, q$

4. $w_{i1}w_{j1} + w_{i2}w_{j2} + w_{i3}w_{j3} + \dots + w_{ip}w_{jp} = 0$, $i \neq j$

本研究利用主成份分析法於研究數據的環境參數，輸入的變數包含 DOC、Cl⁻、DO、Turbidity、Conductivity、H.S.、pH，主成份分析之分群結果，篩選出重要的環境參數並縮減資料，另外探討其新成份之組成及因素，分群之結果可作為採樣點分群之觀測項目。

3-4 階層式集群分析

集群分析 (Cluster Analysis, CA) 是一種用來將屬量的觀測點分群或分類的分析方法。經過集群分析分群之後，在同一群內的觀測點針對某些特性而言會有一致性；而分屬不同群的觀測點，針對同樣的特性則會有顯著的不同。註：屬量資料又稱為量的資料 (quantitative data)，其大多依照計量的特性而劃分的，也就是說可以用尺度衡量的方法以數字表示出來。

集群分析方法主要有二種，分別為階層式集群分析法 (Hierarchical Cluster Analysis, HCA) 及非階層式集群分析法 (Non Hierarchical Cluster Analysis)。非階層式集群分析法最常使用者為 K 組平均法 (K-Means 集群分析法)，如果觀察值的個數較多或資料較為龐大 (200 個以上)，冰柱圖與樹狀圖二種判別圖形，呈現時會過於分散，不易解釋，故採用 K-Means 集群分析法較合適。如果觀察值樣本不

大，則採用階層式集群分析法較為適宜。

階層式集群分析法可分為兩類，分別為凝聚分層法 (Agglomerative Method, 或稱聚集法) 及分離分層法 (Divisive Method, 或稱分解法)。凝聚分層法是指在分群開始時，先將每一個觀測點視為一群 (若有 n 個樣本點，即有 n 群)，接著再逐步將接近的樣本點合為一群，使群數逐漸減少。此方法的特點是，各觀測點被歸入某一群後，將不會再被歸入其他群中。常用的凝聚分層法有單一聯結法 (Single linkage or nearest-neighbor method)、完全聯結法 (Complete linkage or furthest-neighbor method)、平均聯結法 (Average linkage method)、中心法 (Centroid method)，及華德法 (Ward's method)。

- 單一聯結法：兩群體間距離定義為，以兩群體各自群體內任一觀測點至另一群體中任一觀測點距離 (通常以歐幾里得距離平方代表；如果兩群體各有 n_1 及 n_2 個觀測點，則共有 $n_1 \times n_2$ 個距離) 中**最近者**，作為兩群體間之距離。
- 完全聯結法：兩群體間的距離，定義為兩群體各自群體內任一觀測點至另一群體中任一觀測點距離中**最遠者**，作為兩群體間之距離。
- 平均聯結法：兩群體間的距離，定義為兩群體各自群體內任一觀

測點至另一群體中任一觀測點所有距離的平均值，
作為兩群體間之距離。

- 中心法：兩群體之間距離定義為以兩群體中心點之間的距離，作為兩群體間之距離。
- 華德法：此一方法不以群體之間的距離來分群，而是在求所有群體之組內平方和最小的情況下，找到最適當的分群狀況。

本研究因樣本數不多選用階層式集群分析法，又因本研究之數據不想以群體之間的距離來做分群，故選用華德法來進行分群，利用採樣點特性進行系統性的分類，找出各集群之特性。

3-5 地理資訊系統 (GIS) - Kriging

地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 是為建立地理或空間相關資料，所設計一套資訊系統，具有空間描述資料庫與結合分析能力的系統，利用數位空間等技術，藉由電腦效率畫的資料蒐集、儲存、更新、處理、分析，在地理空間中呈現提供真是世界問題的解決策略。地理知識廣泛的被應用在各領域，只要與空間有關聯資料都可以用地理資訊系統進行分析，例如：都市計畫、工程區位、社會文化、交通運輸、土地管理、環境生態等，均可快速運算分析來提供決策支援。地理資訊系統由硬體、軟體、資料、人員所組成，其系

統架構包含資料蒐集與取得、輸入與處理、資料管理、資料轉換、操作與分析、成果輸出與展示等六部分，分述如下：

1. 蒐集與取得：資料的來源，除既存的圖形外，尚包含現場調查及航空攝影，且應一併紀錄相關的屬性資料。
2. 輸入與處理：可讀取各種影像及資料庫系統資料，以電腦的鍵盤和滑鼠、數位儀或掃描器等輸入設備，將所蒐集的圖形、屬性、向量等資料，輸入轉換並儲存於電腦資料庫。
3. 資料管理：提供清楚的圖資編輯工具，方便將輸入之資料賦予座標、屬性資料、文字說明等，並以統一格式儲存，供日後圖層編修、套疊分析使用。
4. 資料轉換：GIS 一般均具有多種投影功能，在資料分析前，可利用 GIS 投影轉換的功能，將圖層先轉換成相同的投影方式再予套疊，避免產生誤差。
5. 操作與分析：可擴充延伸分析工具，使用者可自行設計 GIS 分析功能，將欲處理的圖層及屬性資料，透過 GIS 空間資料分析、數值地形分析、網路分析等處理獲取空間資訊。
6. 成果輸出與展示：支援多種輸出格式，可將分析或模擬出來的結

果，以電腦螢幕輸出展示或是輸出至圖形顯示器、高解析度的印表機、繪圖機等輸出地圖。

本研究利用 ArcGIS10.0 軟體，繪製水質特性及污染物分佈情況，再從污染物的分佈情況探討污染物之流向及可能的來源，另外可以呈現污染物的空間分佈及污染之範圍。

3-6 冗餘分析

冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) 是多元迴歸分析的延伸，而「冗餘」代表解釋變異。冗餘分析和典型相關分析的差別類似於線性迴歸分析和線性相關分析，同時冗餘分析也可以是主成份分析的擴展，因為典型的座標向量是依變數 Y 的線性組合。冗餘分析可藉由排序分析以瞭解物種的分佈情況，尋找出影響群集分佈之相關因子。

如何透過多元迴歸分析和主成份分析來達到冗餘分析的特徵分析方程式，步驟有兩個：

1. 用相對應的自變數 X 與依變數 Y 經由迴歸分析得到一個計算的擬合值。
2. 進行主成分分析得到擬合值矩陣的特徵值以及特徵向量。

冗餘分析是約束化的主成份分析，約束性代表在特定梯度（排序軸）上探討物種的變化情形，而主成份分析和冗餘分析的目的都是在尋找新的變量作為最好的預測，來預測其應變量分佈，主要的差別在於冗餘分析的樣方顯示在排序圖中，而座標是環境因子的線性組合。

冗餘分析解釋方法：

1. Spc（依變數Y）與Sa（樣方）

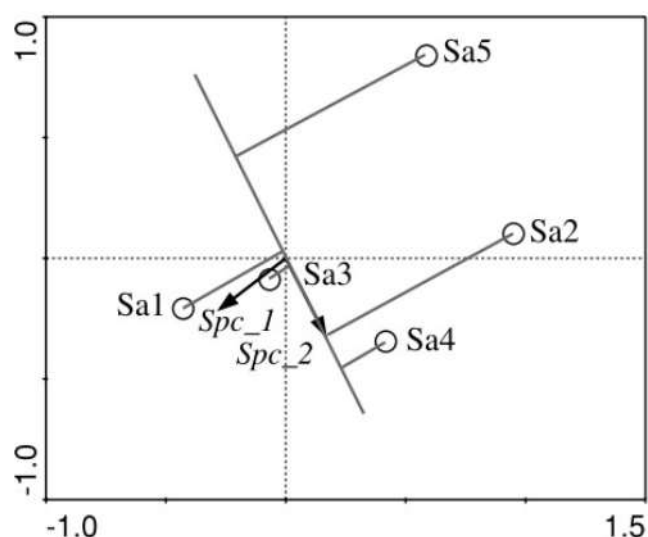


圖3-6-1 RDA-依變數與樣方

圖3-6-1中實心箭頭射線代表依變數Y，空心圓點代表樣方。將（Spc_2的射線延長，五個樣方均垂直投影到該射線上，以投影點到物種實心箭頭處相對距離為標準，沿著箭頭方向為增大，反之為減小，作用是用來說明相應樣方中物種2的多度值大小。

2. Spc_1和Spc_2

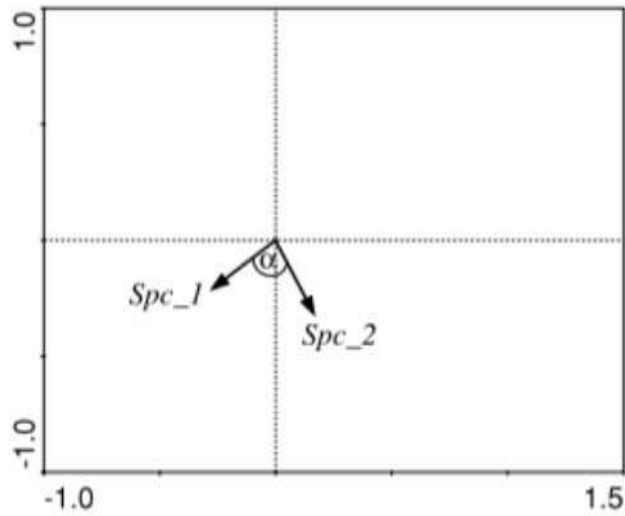


圖3-6-2 RDA-自變數與自變數

圖3-6-2中兩物種射線之間夾角代表其相關性，具體地說應該是夾角的余弦值在數值上等於兩者的相關係數，若兩物種的夾角接近於直角，所以認為兩者相關性較低。

3. Spc和環境變量（自變數X）

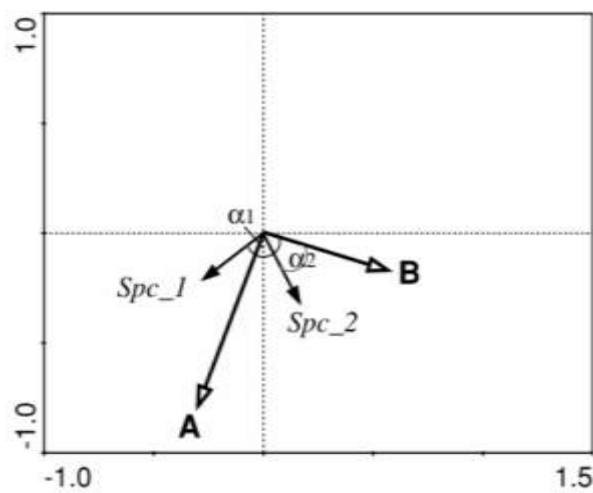


圖3-6-3 RDA-自變數與依變數

圖3-6-3中實心箭頭代表物種，空心箭頭代表環境變量。以環境變量B和兩物種之間的關係為例進行闡述：B和物種1、物種2 夾角分別為 α_1 ， α_2 ，前者是個鈍角，後者是個銳角，相應的餘弦值代表了之間的相關性，很明顯，環境變量B和物種2之間呈現較好正相關，與物種1呈現負相關。

4. 樣方和環境變量

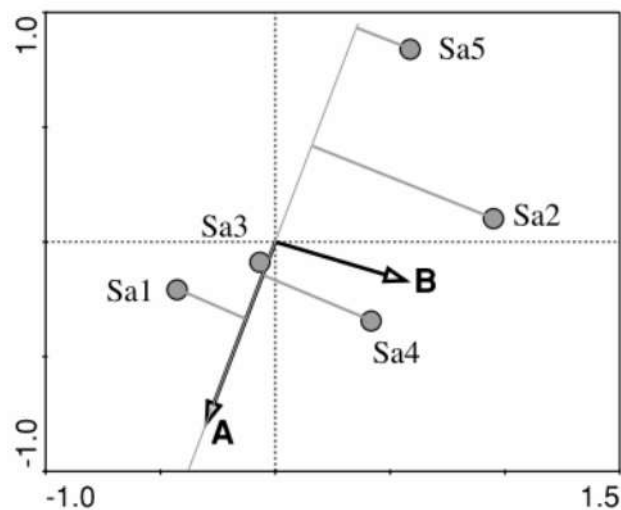


圖3-6-4 RDA-樣方與環境變量

圖3-6-4中將變量射線延長，樣方垂直投影於射線上，沿著變量箭頭方向環境變量值增大。

本研究利用 R-2.15.2 軟體(R 語言)，輸入之環境因子(自變數 X) 包含 DOC、Cl⁻、DO、Turbidity、Conductivity、H.S.、pH、Br⁻，輸入之毒性物質(依變數 Y) 包含 As³⁺、As⁵⁺、THMs、HAAs，利用 RDA 之雙軸圖，來分析環境因子與毒性物質間的關係、採樣點位置與毒性

物質間的關係、將採樣點分群比較，探討因子間的正負相關性及影響程度之大小。

第四章 結果與討論

4-1 地下水水質特性分析

本研究以中部沿海地區之地下水質為探討重點，採樣點分佈於龍井（LJGW）、梧棲（WCGW）及沙鹿（SLGW）地區，共有40口地下水井，此區域的地下水井主要用於民生、工業及灌溉用水，其中不少居民仍以該地下水為簡易飲用水。

採樣期間地下原水基本水質特性如下，首先將地下水基本水質特性分為三部分，第一部分為環境參數（X）：一般水質參數可直接從採樣步驟中測量得到，包含溶解性有機碳（Dissolved organic carbon, DOC）、氯離子（Cl⁻）、溶氧量（DO）、濁度（Turbidity）、導電度（Conductivity）、腐植質（Humic Substances, H.S.）、pH值；第二部分為毒性物質（Y）：將水質樣品帶回實驗室處理後所得到的有毒物質，包含三價砷（As³⁺）、五價砷（As⁵⁺）、三鹵甲烷（THMs）、鹵化乙酸（HAAs）；第三部分為生物毒性（Z）：經螢光菌反應所測得之毒性Toxicity（EC₅₀），如表4-1-1。另將消毒副產物THMs及HAAs之細部項目一併整理後如表4-1-2。

標準偏差（S）= $\sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ ， \bar{X} 為平均數，n為樣本大小，標準偏

差值越高代表數據的分散程度越大，從表4-1-1可以看出Cl與Conductivity的標準偏差較高，比照附錄二主要影響因子是在梧棲地

區有部份採樣點濃度偏高；另外比照附錄三，在梧棲地區有較高濃度的As³⁺與As⁵⁺，相較之下THMs在梧棲地區較高、其次為龍井地區度，而HAAs在梧棲地區濃度約為50-80µg/L，在龍井地區濃度偏低約為20-50µg/L；在生物毒性方面最高濃度出現在梧棲地區，而沙鹿和龍井地區的值約在0-2TU之間， $TU = \frac{100}{EC50}$ 。

從表4-1-2可以看出在THMs裡面的三溴甲烷（CHBr₃）的標準偏差較高，比照附錄四主要影響因子是在梧棲地區的W-4有較高濃度值；在HAAs裡面的一溴二氯乙酸（BDCAA）的標準偏差較高，主要影響因子也是在梧棲地區的W-4有較高濃度值。

從上述結論發現梧棲地區的W-4地下水樣本數值差異性極大，在統計分析過程中恐造成誤差，故以下數據分析將移除W-4地下水樣本，因此探討範圍只剩下39口地下水井。

表 4-1-1 實驗期間地下水基本水質特性比較

No.	Variable	Unit	Min	Max	Average	Standard Deviation
X	DOC	mg/L	0.26	9.03	1.61	1.61
	Cl ⁻	mg/L	8.20	500.00	51.71	95.52
	DO	mg/L	1.85	6.73	4.54	1.17
	Turbidity	NTU	0.28	10.00	1.44	2.14
	Conductivity	μs/cm	328.00	8607.00	839.05	1439.82
	H.S.	mg/L	0.09	2.40	0.55	0.49
	pH	-	5.72	8.07	7.06	0.72
Y	As ³⁺	mg/L	0.00	56.00	4.10	11.11
	As ⁵⁺	mg/L	0.13	270.40	19.07	49.83
	THMs	μg/L	21.70	120.40	50.13	27.13
	HAAs	μg/L	12.94	86.82	43.34	20.43
Z	Toxicity	-	0.00	6.74	0.60	1.38

表 4-1-2 實驗期間地下水基本水質特性比較

	Variable	Min	Max	Average	Standard Deviation
THMs ($\mu\text{g/L}$)	CHCl_3	7.10	78.70	28.61	18.31
	CHBrCl_2	0.00	96.20	12.46	15.31
	CHBr_2Cl	0.00	470.56	18.45	72.67
	CHBr_3	0.00	1528.20	43.06	237.86
HAAs ($\mu\text{g/L}$)	MCAA	1.78	33.10	11.40	7.09
	DCAA	1.13	184.60	16.00	28.80
	BCAA	1.01	14.52	3.44	2.51
	BDCAA	0.00	3528.38	100.35	549.05
	DBAA	0.00	5.71	1.35	1.16
	CDBAA	0.00	5.71	1.73	1.24
	TBAA	0.00	93.20	5.38	14.24

4-2 環境參數篩選

為了解毒性物質 (Y) 受到那些環境因子 (X) 的影響，而毒性物質 (Y) 增加時又導致生物毒性 (Z) 增加，針對環境因子 (X)、毒性物質 (Y)、生物毒性 (Z) 進行相關性分析結果如表 4-2-1，表中顯示生物毒性 (Z) 與 Cl^- 、Conductivity、 As^{5+} 有雙尾顯著相關 (two tailed significant correlation)，表示生物毒性與 Cl^- 、Conductivity、 As^{5+} 的濃度是有關聯性的，對於毒性最高之 As^{3+} 則沒有相關顯著，主因為本實驗選取之大部分水井並無 As^{3+} 物種所導致。另針對有機物部分則發現 DOC 值與消毒副產物 THMs 和 HAAs 有雙尾顯著相關，表示消毒副產物的產生與 DOC 有關連性。

表 4-2-1 環境變數與毒性物質之相關性

	DOC	Cl ⁻	DO	Tur.	Cond.	H.S.	pH	As ³⁺	As ⁵⁺	THMs	HAAs	Toxicity
DOC	1.000											
Cl ⁻	0.104	1.000										
DO	0.164	0.134	1.000									
Tur.	-0.023	0.560 ^{**}	-0.314	1.000								
Cond.	0.066	0.935 ^{**}	0.096	0.678 ^{**}	1.000							
H.S.	0.650 ^{**}	0.097	0.265	-0.056	0.102	1.000						
pH	0.262	0.172	0.270	0.104	0.190	0.345 [*]	1.000					
As ³⁺	0.028	0.083	-0.137	0.154	0.151	0.029	0.313	1.000				
As ⁵⁺	0.235	0.347 [*]	0.011	-0.047	0.116	0.395 [*]	0.342 [*]	-0.064	1.000			
THMs	0.813 ^{**}	0.201	0.235	-0.010	0.138	0.385 [*]	0.315	0.230	0.293	1.000		
HAAs	0.742 ^{**}	0.410 ^{**}	0.222	0.174	0.371 [*]	0.607 ^{**}	0.468 ^{**}	0.232	0.347 [*]	0.756 ^{**}	1.000	
Toxicity	0.035	0.852 ^{**}	0.071	0.371 [*]	0.684 ^{**}	0.046	0.230	0.224	0.575 ^{**}	0.191	0.343 [*]	1.000

**在顯著水準為 0.01 時（雙尾），相關顯著。

*在顯著水準為 0.05 時（雙尾），相關顯著。

Tur. = Turbidity, Cond. = Conductivity, H.S. = Humic Substances, THMs = Trihalomethanes = CHCl₃+CHBrCl₂+CHBr₂Cl+CHBr₃,

HAAs = Haloacetic acids=MACC+DCAA+BCAA+BDCAA+DBAA+CDBAA+TBAA

4-3 參數縮減

利用主成分分析來調查環境因子（也稱為變數）間的相關性，分析後的結果可縮減變數。如表 4-3-1 可得知利用組成成分分析將環境因子分成兩群，第一群包含 Cl^- 、Turbidity、Conductivity 歸納為鹽化現象；第二群包含 DOC、DO、H.S.歸納為有機污染物，而 pH 值數值無法明確界定為任一群，故此程序將 pH 值從變數中刪除。

表 4-3-1 主成分分析環境因子

	Component	
	Component1 (鹽化現象)	Component2 (有機物污染)
DOC	.311	.707
Cl^-	.902	-.205
DO	.153	.561
Turbidity	.702	-.483
Conductivity	.932	-.253
H.S.	.334	.771
pH	.409	.480
% of variance	36.769	28.282
Cumulative (%)	36.769	65.051

4-4 毒性層級分類

經主成份分析結果，將地下水樣本進行階層式集群分析變成一些集群，地下水樣本被歸類成兩群 C1 和 C2 依據表 4-3-1 的 Component1，如圖 4-4-1，集群 C2 只有 W-11，可能是因為海水入侵導致較高的鹽度和 Conductivity。再將 C1 進一步分析，地下水樣本被歸類為三群 G1、G2 和 G3 依據表 4-3-1 的 Component2，如圖 4-4-2，為了更進一步的探索有毒污染的來源及環境因子的影響，繪製雷達圖如圖 4-4-3。在 G1 的濁度高、毒性低，初步判定為非有機質污染；G2 的 THMs 和 HAAs 高、毒性中介於 G1 和 G3 之間，而 H.S.和 DOC 高，初步判定為有機質污染；G3 的 As^{3+} 高、毒性高，初步判定為無機質污染。

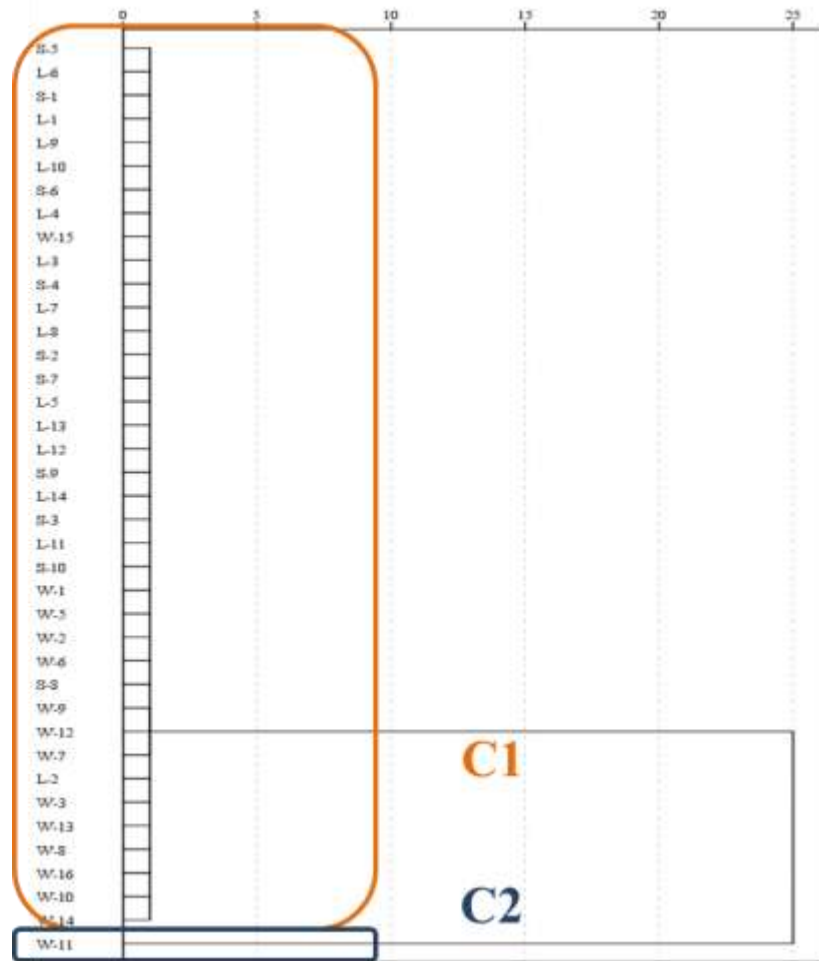


圖 4-4-1 鹽化現象空間風險分佈

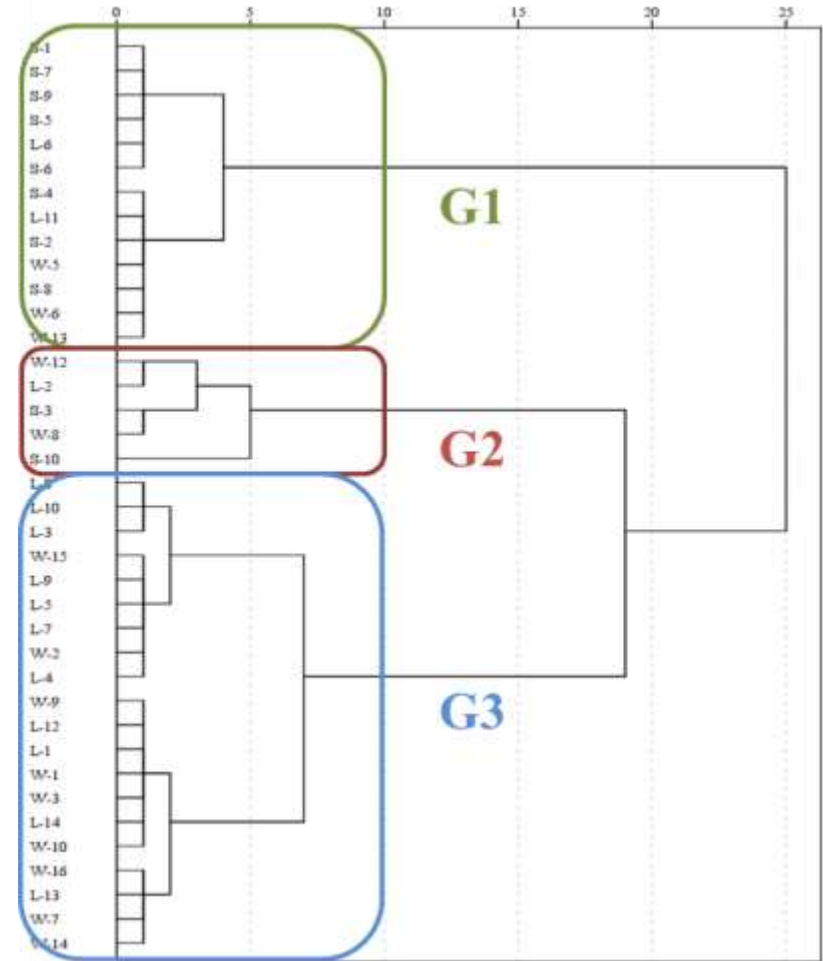


圖 4-4-2 有機污染物空間風險分佈

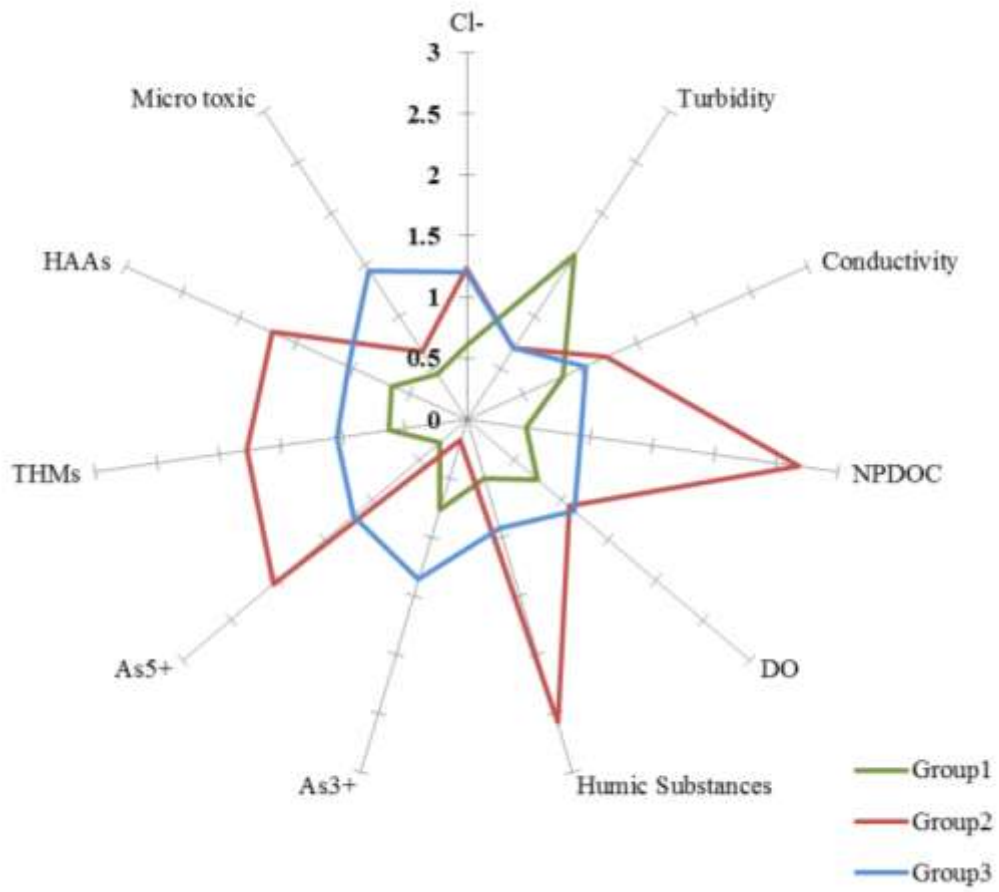


圖 4-4-3 集群間的環境因子與有毒物質

4-5 空間分佈

首先針對研究區域地下水之特性，利用 GIS 繪製濃度分佈圖，DOC 值和 H.S.分佈情況如圖 4-5-1、圖 4-5-2，可以發現 DOC 值較高的地區，H.S.相對也比較高，而沿海地區的 DOC 值也比內陸地區高，在梧棲地區靠近關連工業區其地下水井的 DOC 值及 H.S.值也相對較高，判定可能受到人為污染所造成之影響。

Cl 與 Conductivity 分佈情形如圖 4-5-3、圖 4-5-4，發現在梧棲靠近沿海地區的 Cl 比內陸高，推估為鹽化現象，一般而言純水之 Cl 必須小於 100 mg/L，Cl 界於 100~1000 mg/L 則為淡海水混合，Cl 大於 1000 mg/L 則為海水，Conductivity 也是靠近沿海地區比內陸高。

DO 與 Turbidity 分佈情如圖 4-5-5、圖 4-5-6，發現到 Turbidity 主要在梧棲和龍井沿海地區較高，而 DO 分佈情況較不平均，在梧棲、龍井、沙鹿都有部分地下水井是偏低的情形。

另針對含有毒性之砷物種分佈情形探討如圖4-5-7、圖4-5-8，毒性較高的As³⁺主要集中於梧棲地區之地下水，判定可能受到海水入侵累積於地下水土壤或岩層之砷物種釋放於水相及工業用含砷廢水污染所致。而As⁵⁺在梧棲的沿海地區及工業區附近有較高的濃度。

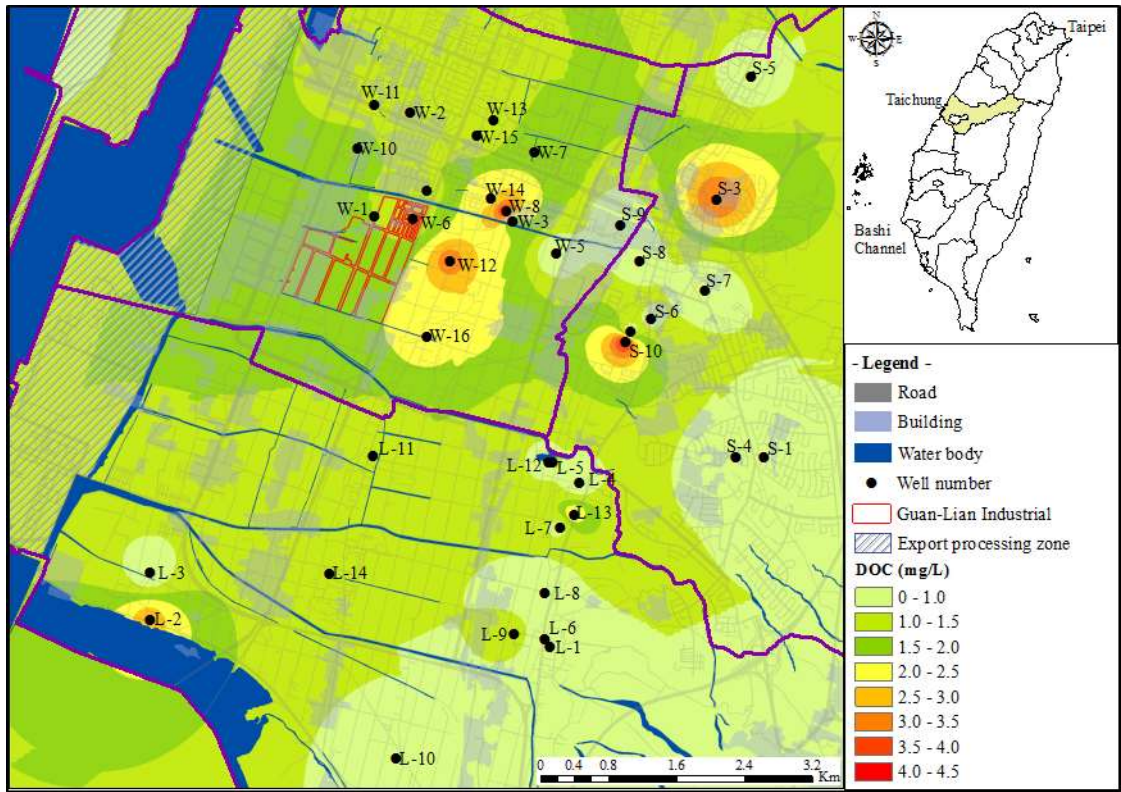


圖 4-5-1 DOC 分佈圖

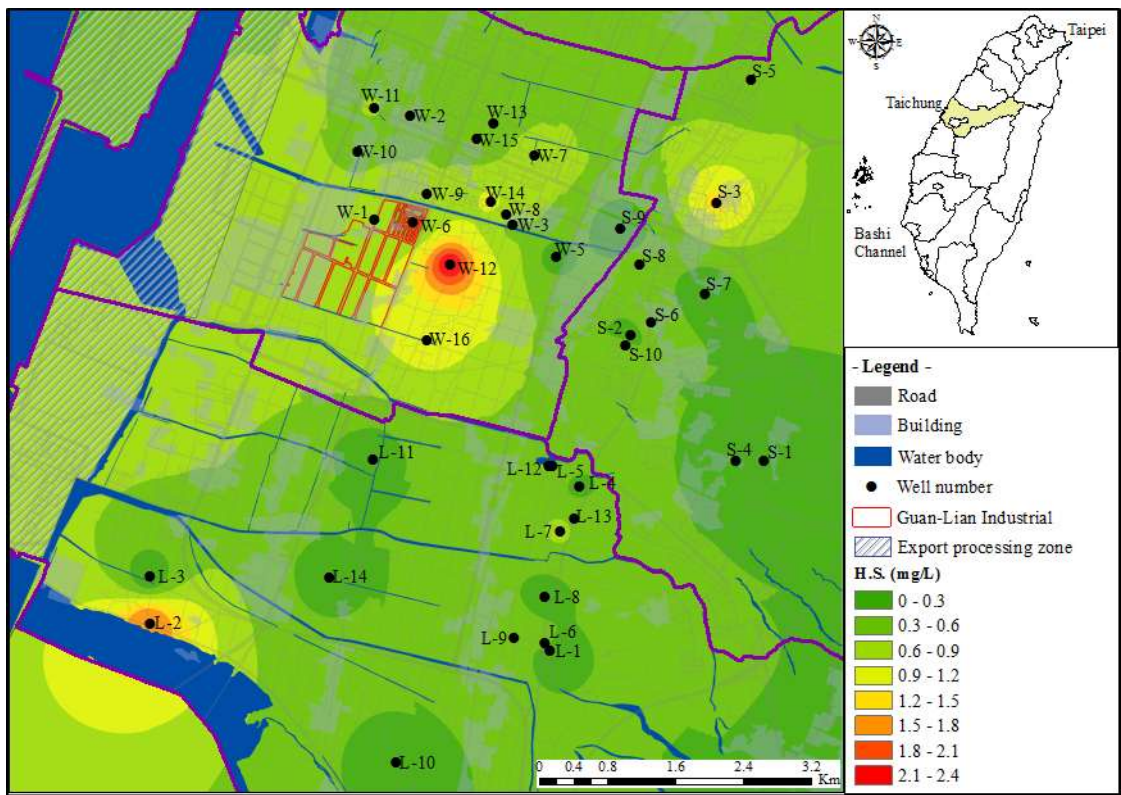


圖 4-5-2 H.S.分佈圖

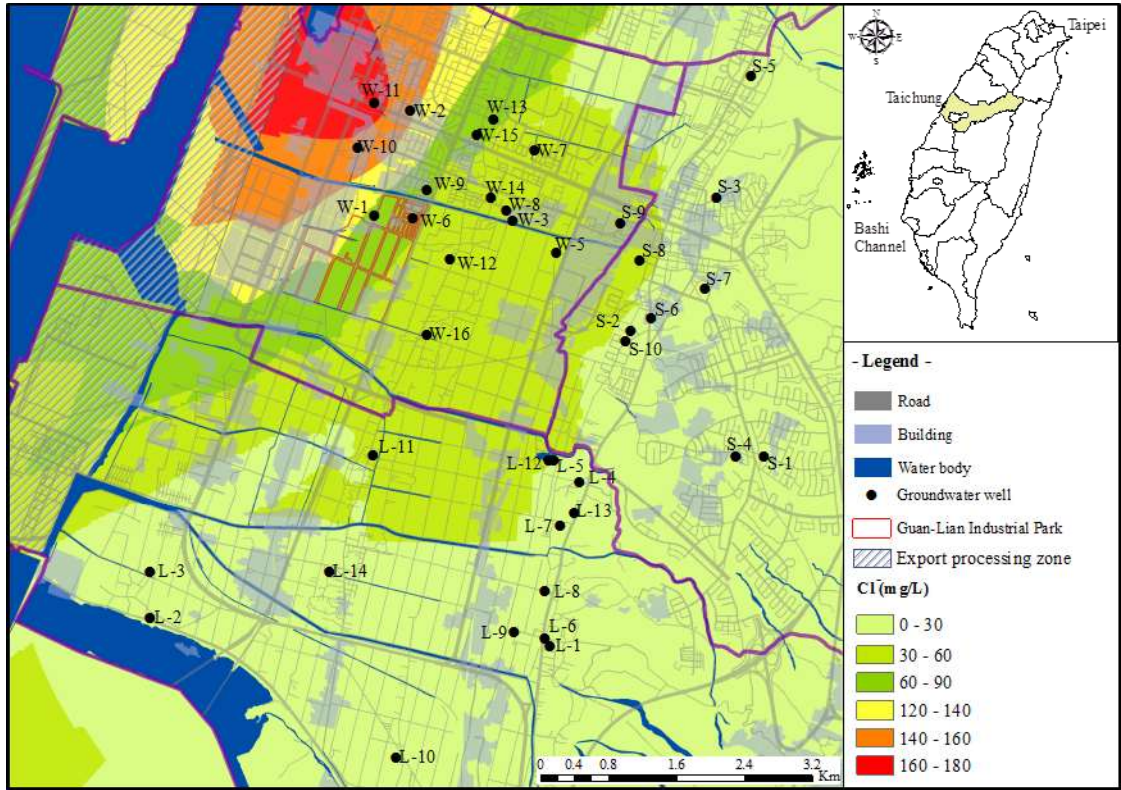


圖 4-5-3 CI 分佈圖

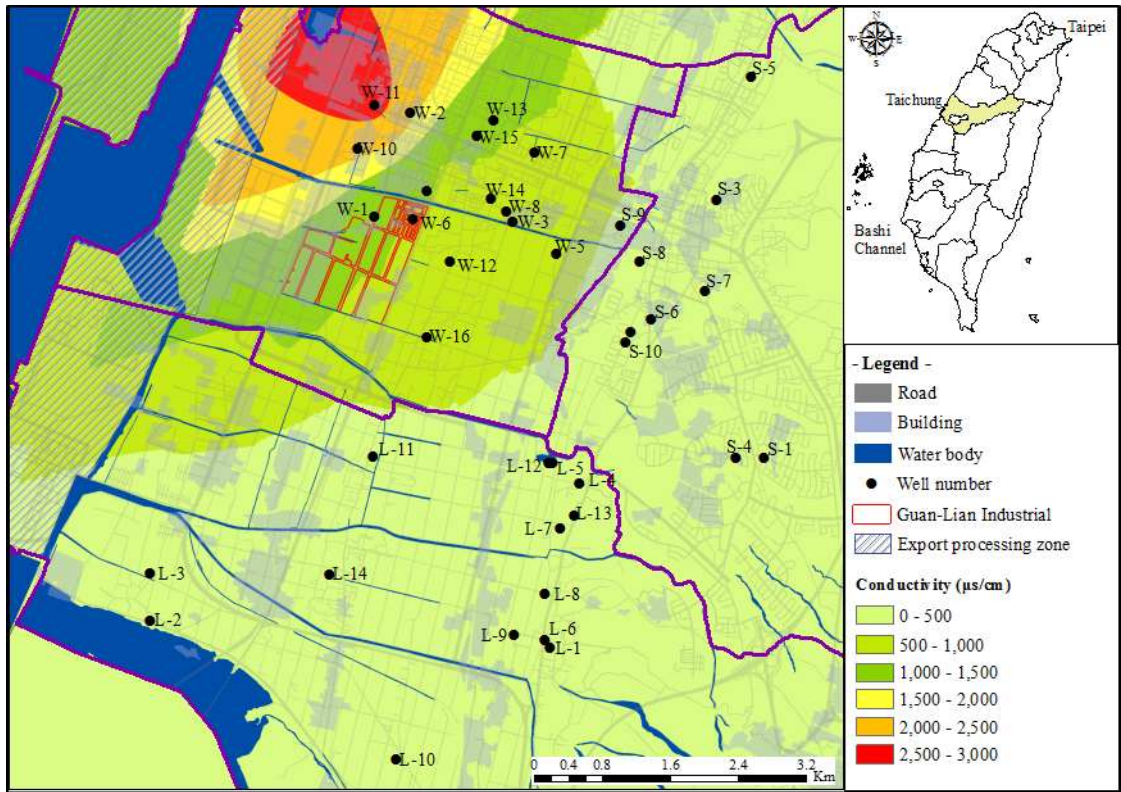


圖 4-5-4 導電度分佈圖

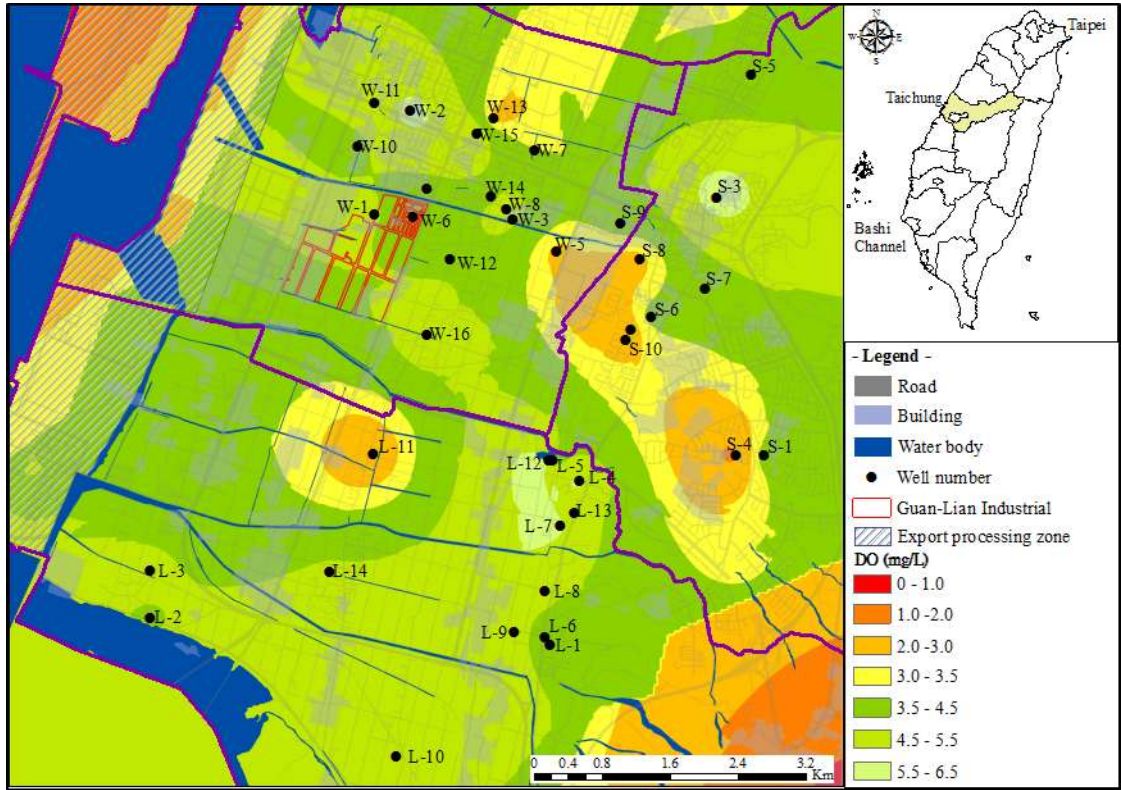


圖 4-5-5 DO 分佈圖

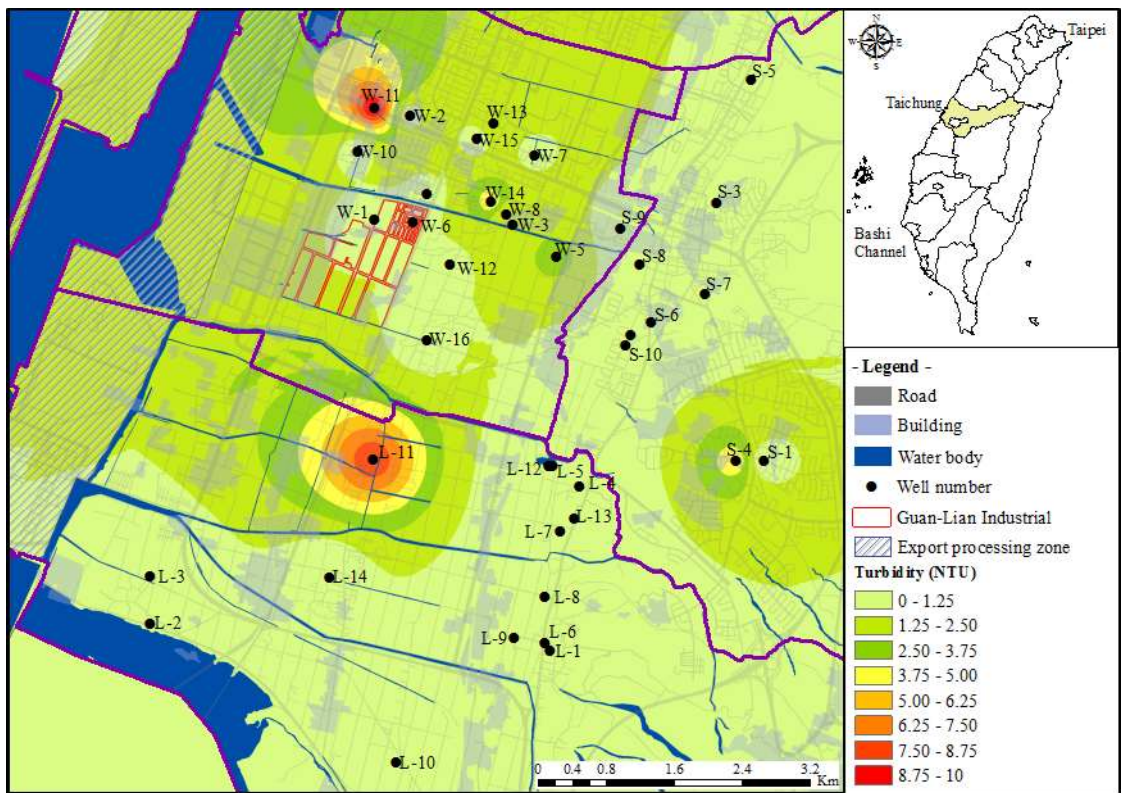


圖 4-5-6 濁度分佈圖

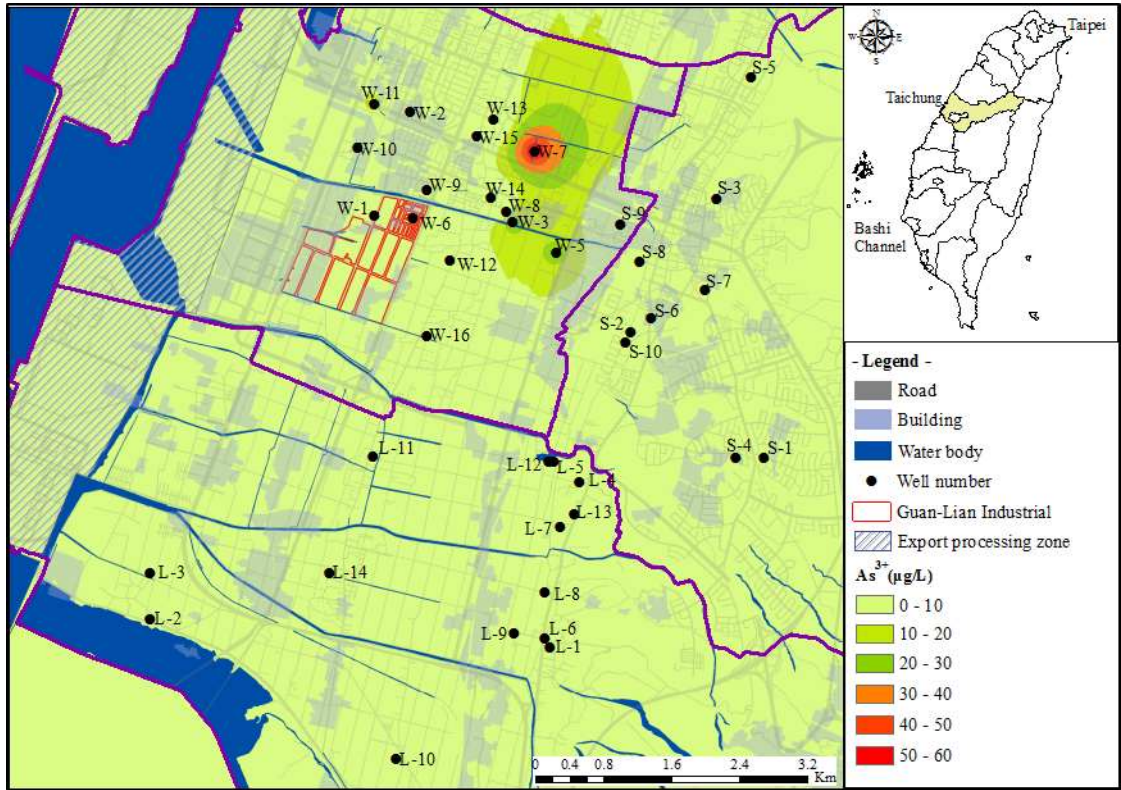


圖 4-5-7 As³⁺分佈圖

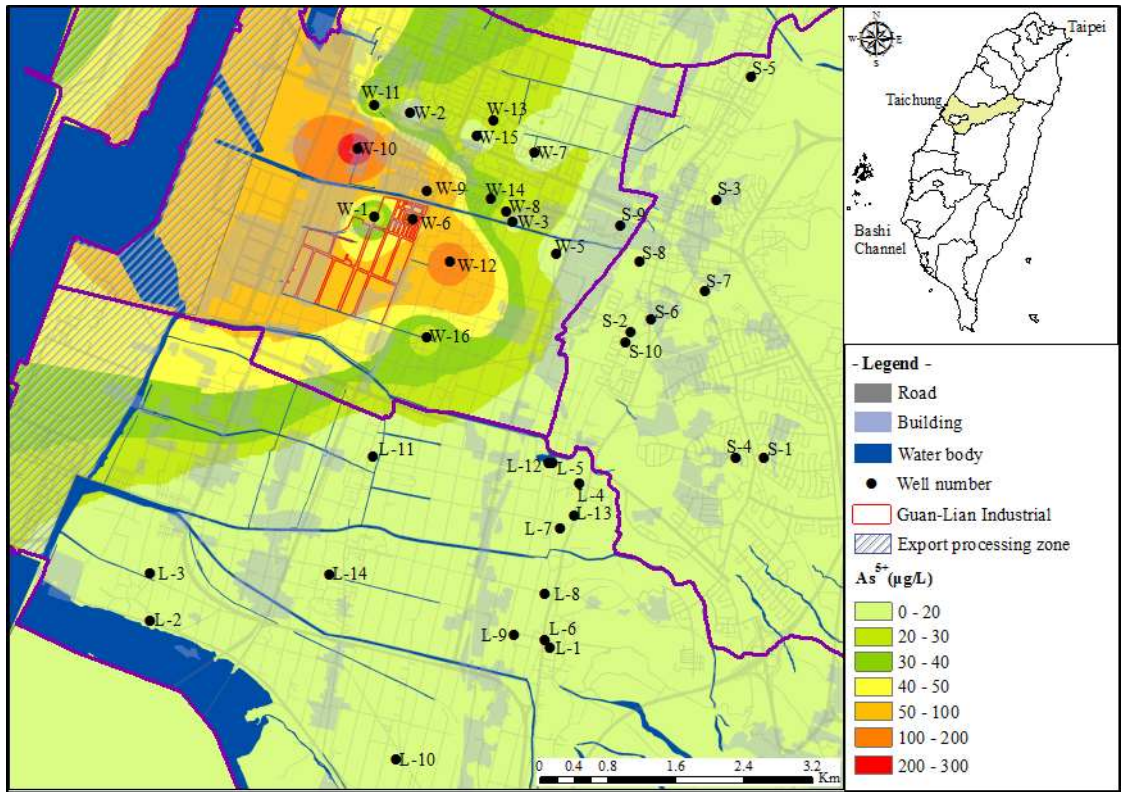


圖 4-5-8 As⁵⁺分佈圖

另外針對消毒副產物 THMs 和 HAAs 的分佈情況如圖 4-5-9、圖 4-5-10，THMs 在梧棲地區의 濃度較高，在內陸沙鹿有部分地区濃度特別高，而在龍井濃度偏低但在沿海地區有較高濃度的趨勢；HAAs 在沙鹿和梧棲地區的濃度都偏高，在龍井地區有較低的濃度但在沿海地區也是偏高的。

依據階層式集群分析的結果，利用 GIS 繪製研究地區的風險潛能圖如圖 4-5-11 所示，說明 C2 為鹽化現象的地區，C1 分為 G1、G2、G3 代表污染情況沿海地區較為嚴重而越往內陸污染趨勢有較為減緩。

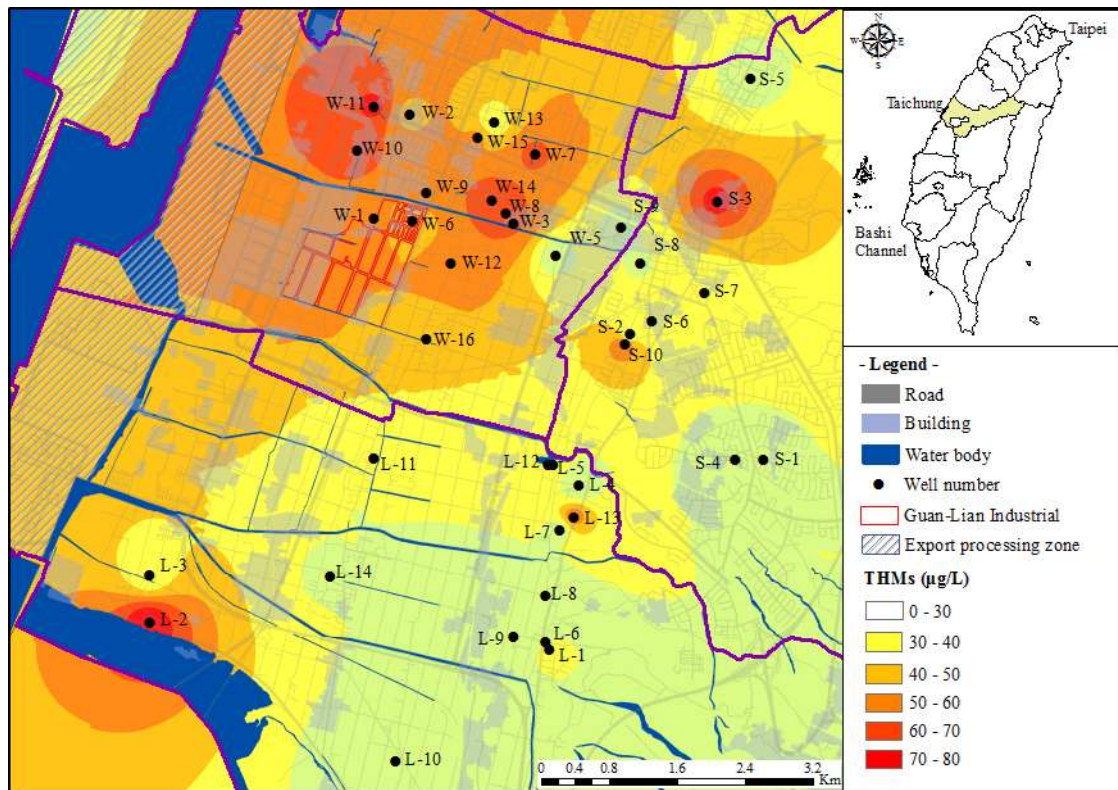


圖 4-5-9 THMs 分佈圖

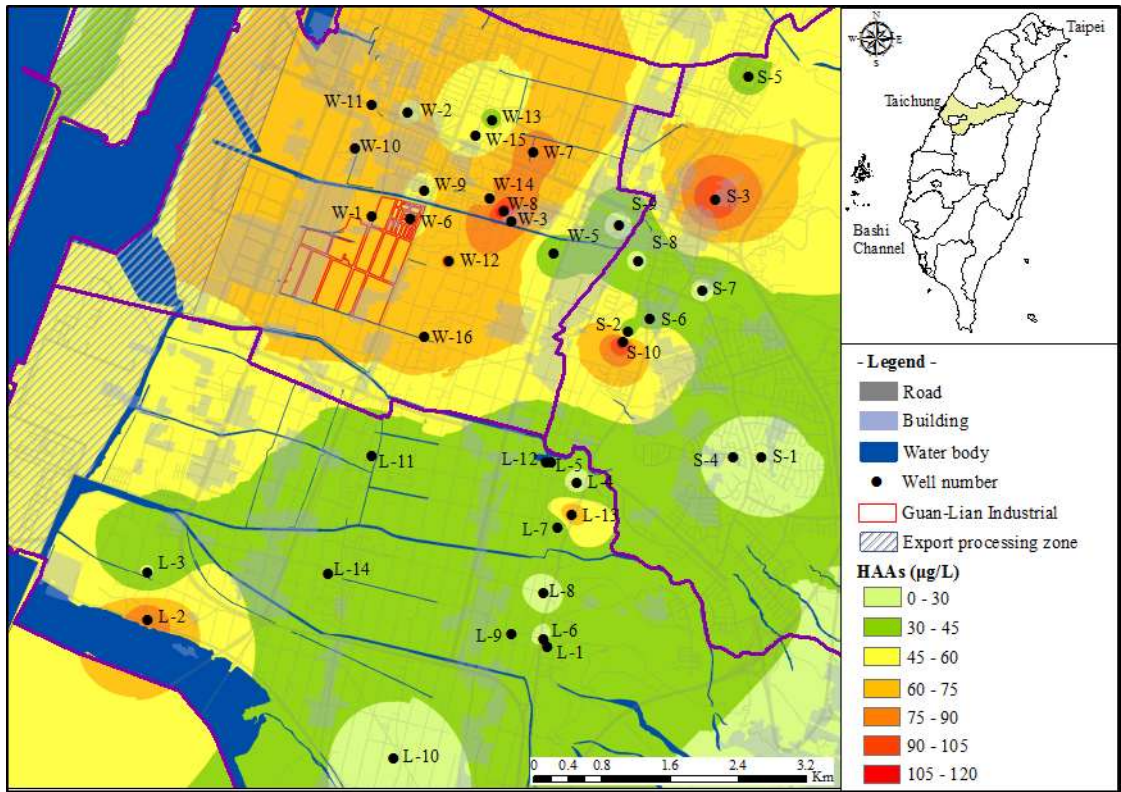


圖 4-5-10 HAA_s 分佈圖

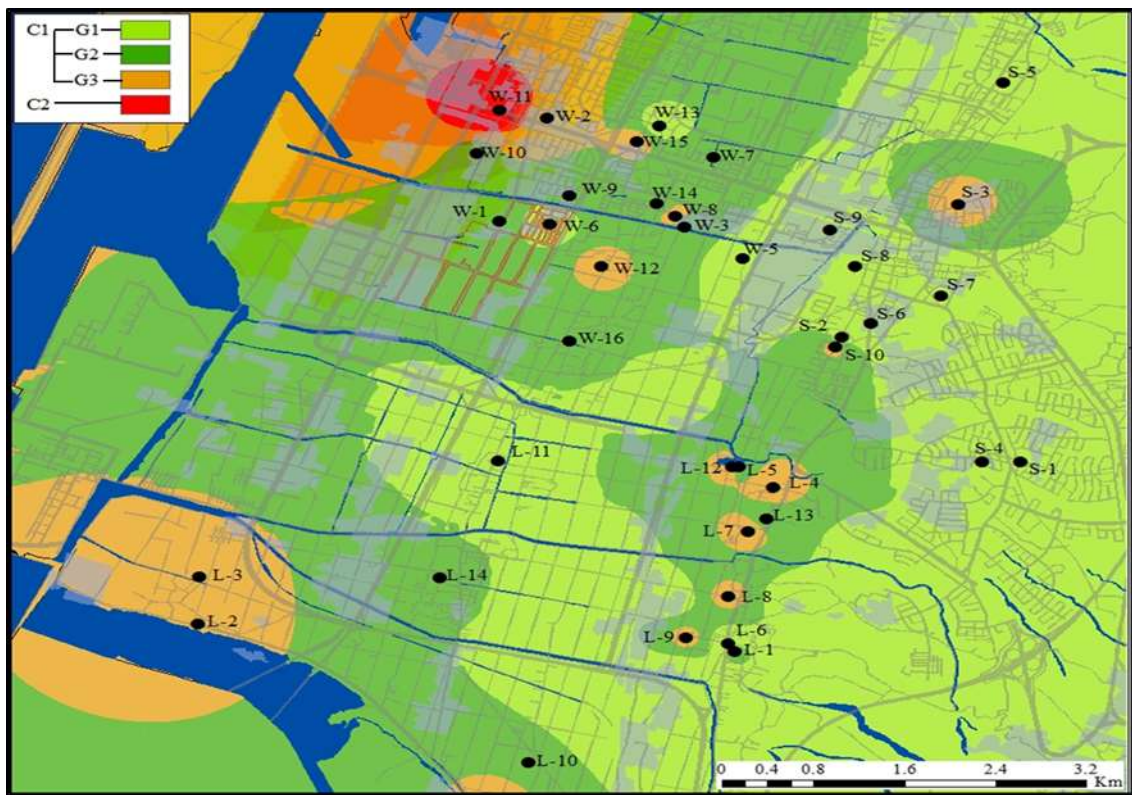


圖 4-5-11 風險潛能分佈圖

4-6 因果關聯分析

從上述結論來看，雖然毒性最高的為 As^{3+} ，但在風險潛能圖看來卻不是最嚴重的區塊，而最嚴重的區塊是 As^{5+} 存在的地區，所以無法知道質與量之間的關連性，因為THMs和HAAs都是含溴的鹵化物，因此從原本的40個地下水井以環狀採樣選出12個地下水井測量 Br^- 濃度，用冗餘分析來驗證主成分分析和階層式集群分析的結果。

利用冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) 來鑑別環境參數與消毒副產物THMs之間的影響，以環境因子(DOC, Cl^- , pH, DO, Turbidity, Conductivity, H.S., Br^-) 作為X，以消毒副產物THMs含氯及含溴 (THMs-Cl、THMs-Br) 作為Y軸，結果如圖4-6-1。

從圖4-6-1可得知：

- 1.從環境參數與消毒副產物之間的關係來看，將THMs-Br直線延伸至原點，從各環境參數垂線至THMs-Br的延伸線到原點的距離，可以相關性的大小為： $Br^- > DOC > H.S. > Conductivity > Cl^-$ ，而與Turbidity、pH因為夾角大於直角90度，因此沒有很大的相關性；將THMs-Cl直線延伸至原點，從各環境參數垂線至THMs-Cl的延伸線到原點的距離，可以相關性的大小為： $DOC > H.S. > pH > Conductivity > Cl^-$ ，而與Turbidity、 Br^- 因為夾角大於直角90度，因此沒有很大的相關性。
- 2.從採樣點位置與消毒副產物之間的關係來看，將THMs-Br直線延伸

至原點，從各採樣點位置投影於延伸線上，採樣點位置受到消毒副產物影響的程度為： $S-10 > W-14 > S-3 > W-10 > W-2 > S-5$ ；將THMs-Cl直線延伸至原點，從各採樣點位置投影於延伸線上，採樣點位置受到消毒副產物影響的程度為： $W-16 > L-2 > L-11 > W-6$ 。

3.從分群來看大致可分為四小群，第一群（紫色虛線）： $S-3$ 、 $S-10$ 分為一群，因受到DOC的影響，而這兩個位置又擁有最高的DOC值；第二群（紅色虛線）： $W-2$ 、 $W-6$ 、 $W-10$ 、 $W-14$ 、 $S-5$ 分為一群，因受到 Br^- 、 Cl^- 、Conductivity的影響，其中受到 Br^- 的影響較大，因此這些位置有較高的 Br^- 值；第三群（綠色虛線）： $L-4$ 、 $L-6$ 分為一群，因受到濁度的影響，但因為濁度射線長度不長，採樣點位置延伸垂線位置不在射線上，因此會造成此群不受到濁度的影響，而這兩個位置的濁度是偏低的；第四群（橘色虛線）： $L-2$ 、 $L-11$ 、 $W-16$ 分為一群，因受到pH值的影響。

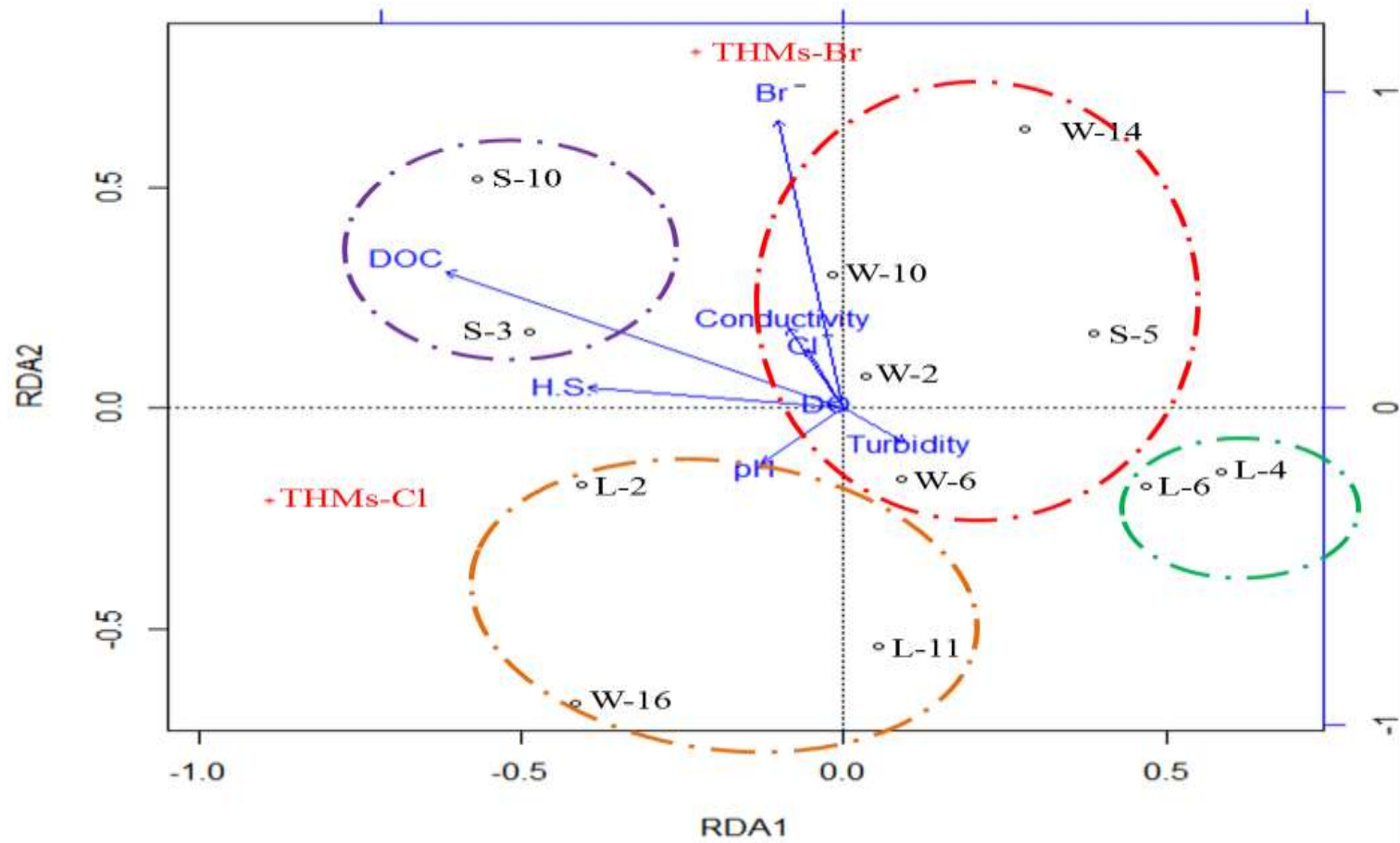


圖4-6-1 採樣點之環境因子與消毒副產物THMs雙軸圖

接著利用冗餘分析 (Redundancy Analysis, RDA) 來鑑別環境參數與消毒副產物HAAs之間的影響，以環境因子 (DOC, Cl⁻, pH, DO, Turbidity, Conductivity, H.S., Br⁻) 作為X，以消毒副產物HAAs含氯及含溴 (HAAs-Cl、HAAs-Br) 作為Y軸，結果如圖4-6-2。

從圖4-6-2可得知：

1. 從環境參數與消毒副產物之間的關係來看，將HAAs-Br直線延伸至原點，從各環境參數垂線至HAAs-Br的延伸線到原點的距離，可以相關性的大小為：Br⁻ > DOC > H.S. > Cl⁻ > Conductivity > pH，而與Turbidity因為夾角大於直角90度，因此沒有很大的相關性；將HAAs-Cl直線延伸至原點，從各環境參數垂線至HAAs-Cl的延伸線到原點的距離，可以相關性的大小為：H.S. > DOC > Conductivity > pH。
2. 從採樣點位置與消毒副產物之間的關係來看，將HAAs-Br直線延伸至原點，從各採樣點位置投影於延伸線上，採樣點位置受到消毒副產物影響的程度為：W-10 > S-3 > S-10 > W-14；將HAAs-Cl直線延伸至原點，從各採樣點位置投影於延伸線上，採樣點位置受到消毒副產物影響的程度為：W-10 > S-10 > S-3 > W-14。
3. 從分群來看大致可分為三小群，第一群 (紅虛線)：L-2、S-3、S-10、W-10、W-14分為一群，因受到DOC、Br⁻、H.S.的影響；第二群 (綠色虛線)：W-16、L-11分為一群，因受到濁度的影響，但因為濁度

射線長度不長，採樣點位置延伸垂線位置不在射線上，因此會造成此群不受到濁度的影響；第三群（橘色虛線）：W-2、W-6、L-4、L-6、S-5分為一群，此區域較不受到任何環境參數的影響。

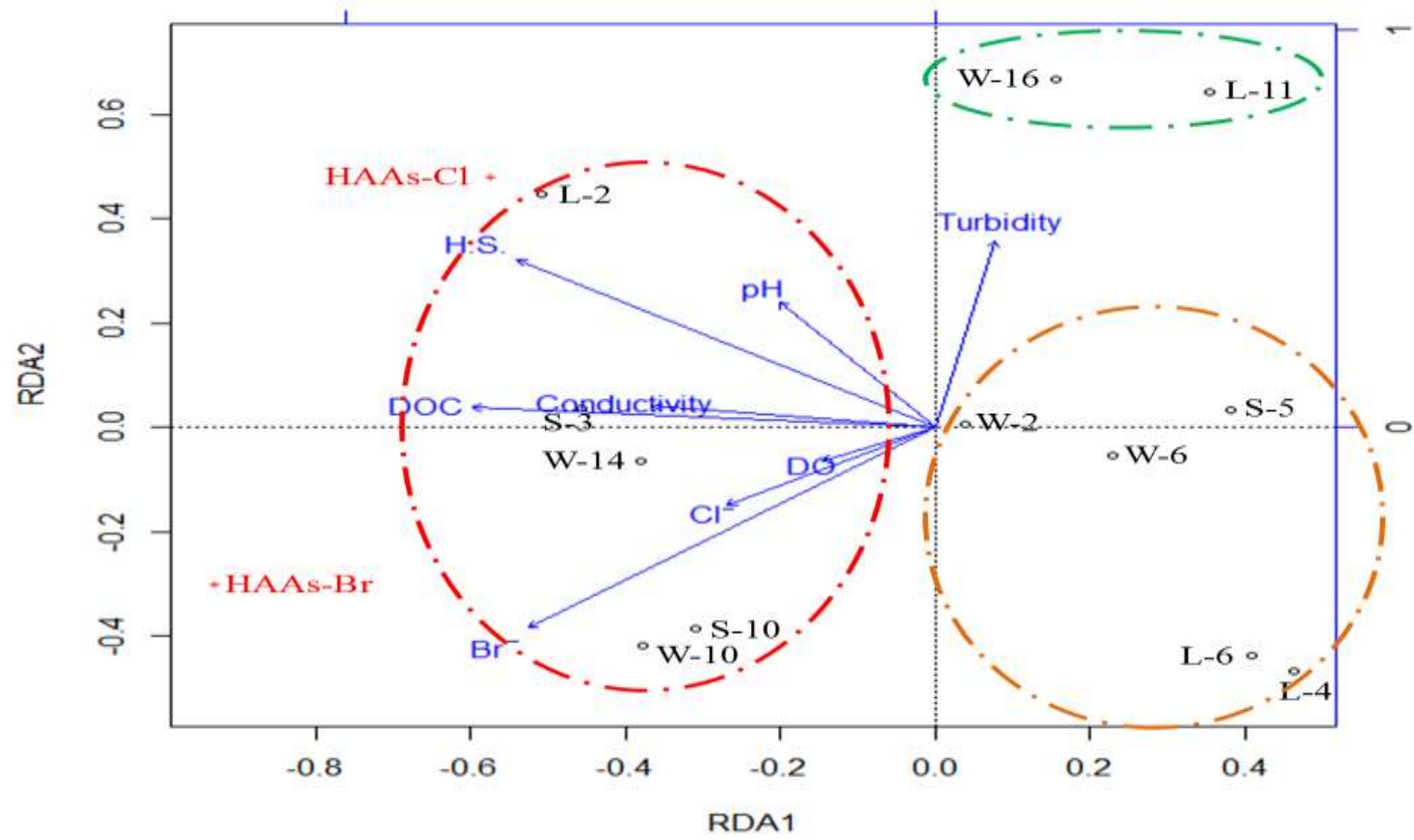


圖4-6-2 採樣點之環境因子與消毒副產物HAAs雙軸圖

4-7 風險潛在危害

結合 RDA 之結果於 GIS 呈現，如圖 4-7-1 所示，此圖為 THMs 含氯含溴之 RDA 結果，圖中紅色區塊代表受到消毒副產物 THMs 含溴物質的影響較高，使得此區域（梧棲沿海地區）之污染較為嚴重。而沙鹿和龍井內陸地區受到的污染比較小，橘色區塊則是受到消毒副產物 THMs 含氯物質的影響。

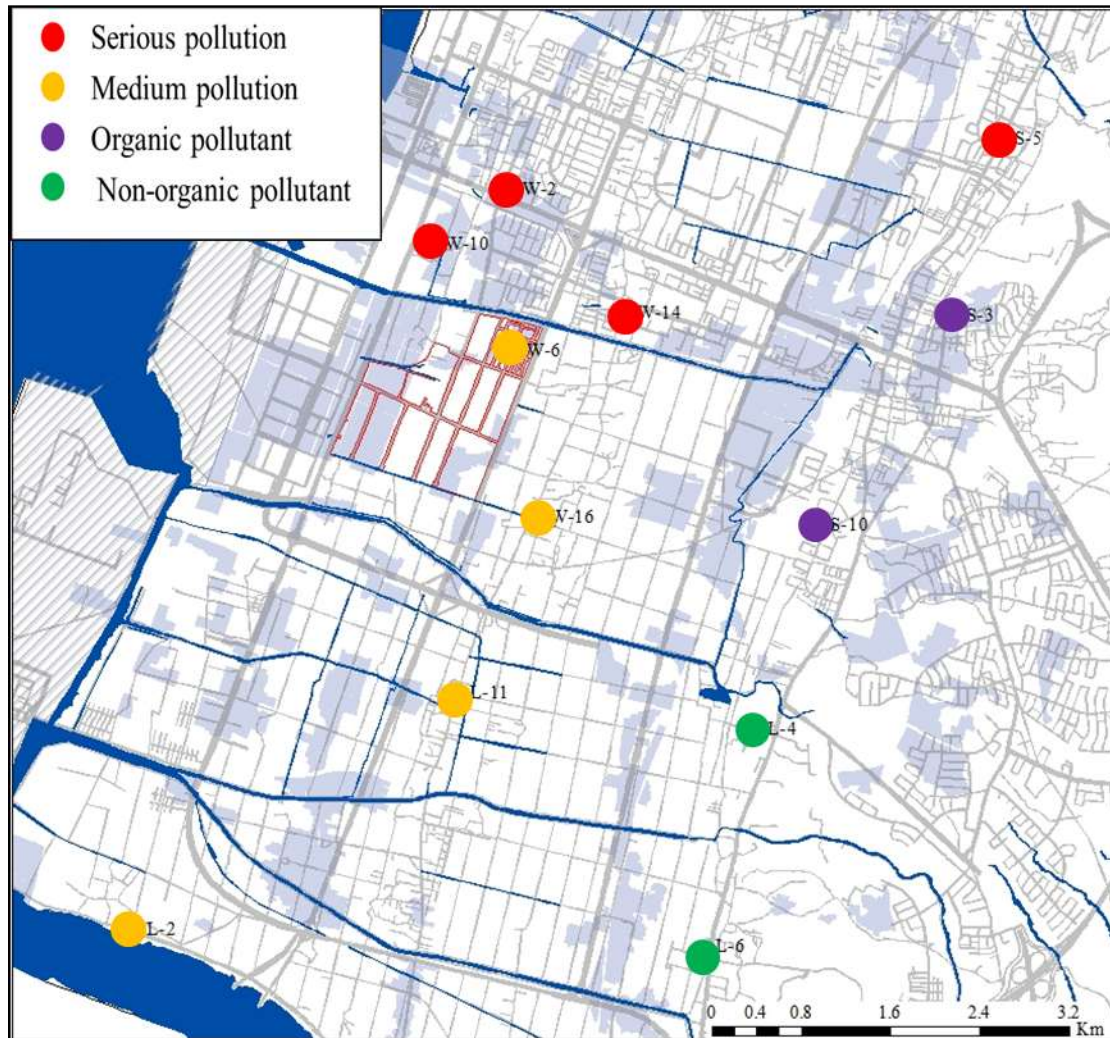


圖 4-7-1 THMs 之採樣點分群

結合RDA之結果於GIS呈現，如圖4-7-2所示，此圖為HAAs含氯含溴之RDA結果，圖中紅色點代表受到消毒副產物HAAs含溴和含氯物質的影響，而其他位置受到濁度與其他因子的影響，紅色點包含梧棲靠河流區域及沙鹿內陸地區以及龍井沿海地區，此區為受污染的區域。

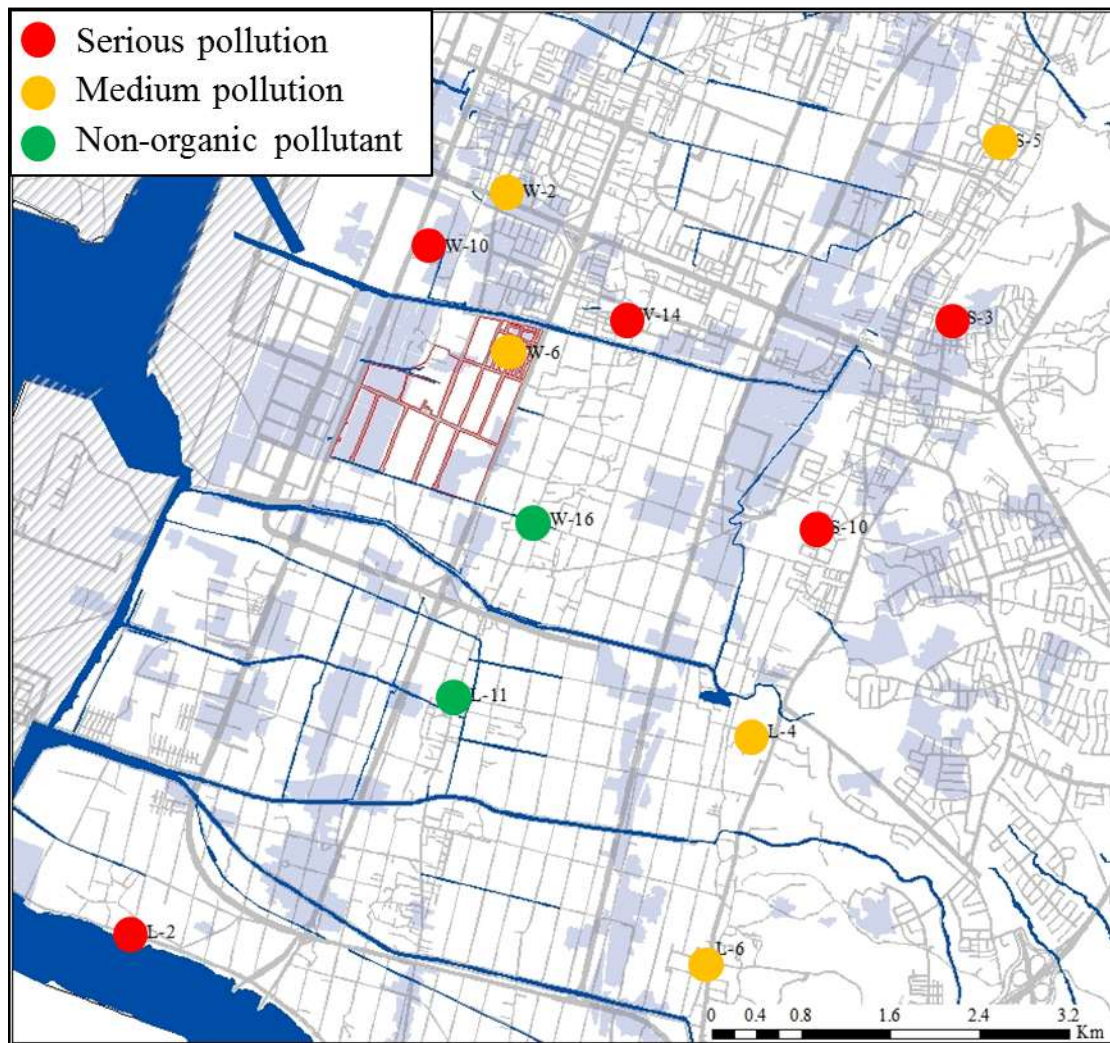


圖 4-7-2 HAAs 之採樣點分群

第五章 結論與建議

5-1 結論

1. 本研究針對中部沿海地區地下水之特性分析，發現主要影響毒性來源的因子可能為氯離子、導電度、 As^{5+} ，而造成這些因子濃度偏高的結果可能為工廠污染或是海水入侵。
2. 從階層式集群分析之結果，可得知梧棲沿海地區是受到海水入侵之影響，而內陸地區可能是受到有機污染物的影響，而以毒性分類又分為高、中、低。
3. 從風險潛能分佈情形，可得知梧棲沿海地區可能因海水入侵而導致為污染較嚴重之區域，而越往內陸有減緩的趨勢，但在龍井沿海地區也是有受到污染的。
4. 將實驗分析工具及功能性彙整，如表 5-1-1 所示，運用這些方法來做實驗數據的分析是非常便利的，以統計分析方法來做現況的模擬及呈現。

經由冗餘分析得知環境因子與消毒副產物間的關係，發現 THMs 含溴影響 THMs 之分佈，分佈於梧棲沿海地區，此區域受到海水入侵或工廠污染導致水中含有溴離子；發現 HAAs 含溴影響 HAAs 之分佈，分佈於梧棲靠河流區域及沙鹿內陸地區以及龍井沿海地區，梧棲河流旁緊連關連工業區，可能受到工廠污染。

表 5-5-1 分析工具及功能性

分析工具	功能
相關性分析	分析變數間關係的方向與關係程度大小的統計方法，可以從中瞭解變數之間的關係，並協助決策的進行。
主成份分析	主成份分析將所有解釋變數縮減成幾個互相為獨立的主成份，再利用這幾個主成份來進行其他分析，不僅保留原始變數的資訊內涵，又可以適當的解決變數間存在高度線性相關的問題。
階層式集群分析	集群分析描述一組多元的方法和技巧來尋找資料分類、組成、類別等，可用於開發的分類或類型架構，為了探索數據複雜性的基本模式，並可以做為一種數據縮減的程序。
地理資訊系統	一套整合各項相關地理資訊化作業，具有資料擷取、編修、更新等功能，在地理空間中呈現提供真是世界問題的解決策略。
冗餘分析	冗餘分析是一種直接協調的線性方法，藉由排序分析來了解物種的分佈情形，找出影響群集分佈之相關環境因子，而此方法通常用於生態研究。

5-2 建議

本研究發現若地下水受到海水入侵或工廠污染，導致地下水體之特性改變，經淨水廠加氯消毒之過程恐與水中有機物質發生反應產生消毒副產物。因此在使用中部沿海地區之地下水源，必須規範此區域之污染源情形。

第六章 參考文獻

- World Health Organization，網址：<http://www.who.int/en/>。
- 行政院環境保護署，2011，網址：<http://www.epa.gov.tw/>。
- 經濟部水利署，網址：<http://www.wra.gov.tw/>。
- 張哲誠，2001，台灣地區飲用水中致癌性化合物暴露之評估及其與癌症死亡率相關性，碩士論文，中山醫學院毒理學所，台中。
- 王耀明，2011，地下原水加氯消毒程序對水中毒性效應影響之研究，碩士論文，弘光科技大學環境工程研究所，台中。
- 許新昌，2006，溴離子濃度對三鹵甲烷生成量之探討—以東部沿海淨水場為例，碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系，屏東。
- 吳家興，2000，臺灣地區水庫水源特性分佈及消毒副產物生成潛能之探討，碩士論文，東海大學環境科學系，台中。
- 劉彭譽，2002，臭氧結合傳統淨水程序控制鳳山水庫原水消毒副產物生成之研究，碩士論文，逢甲大學環境工程與科學研究所，台中。
- 林財富，1999a，供飲用地下水簡易除砷方法之發展，行政院環保署88年度研究計畫。
- 曹守仁，1996，中國大陸無機砷污染調查及研究現況，中華衛生雜誌，第15卷，第3期。
- 鈕式如，1996，中國大陸慢性砷中毒及其防治現況，中華衛生雜誌，

第 15 卷，第 3 期。

楊家瑜，2008，高級淨水程序消毒副產物之生成研究，碩士論文，國立中山大學環境工程所，台中。

陳耀茂，2001，多變量解析方法與應用，五南圖書，初版，台北。

林師模、陳苑欽，2003，多變量分析管理上的應用，雙葉書廊，初版，台北。

李慶忠，2012，地理資訊系統應用於海域案件空間分析-以台中港為例，碩士論文，國立高雄海洋科技大學海事資訊科技研究所，高雄。

羅婉瑞，2010，以集群分析探討航空公司營運績效，學位論文，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士，基隆。

涂冬員，2011，以螞蟻作為湖山水庫鄰近地區棲地復育試驗之森林生態系指標(膜翅目：蟻科)，碩士論文，國立彰化師範大學生物學系，彰化。

賴文亮，2002，各種淨水程序對生物可分解有機質及消毒副產物之控制，博士論文，國立成功大學環境工程學系，台南。

Anawar, H. M., et al. (2002). "Arsenic poisoning in groundwater - Health risk and geochemical sources in Bangladesh." Environment International **27**(7): 597-604.

Chen, S. W., et al. (1994). "Arsenic Species in Groundwater of the Blackfoot Disease Area, Taiwan." Environmental Science and Technology **28**(5) : 877-881.

Foster, J. A. and A. T. McDonald (2000). "Assessing pollution risks to water supply intakes using geographical information systems (GIS)."

- Environmental Modelling & Software **15**(3): 225-234.
- Jin, S. and Feng, G. (2013). " Large-scale variations of global groundwater from satellite gravimetry and hydrological models, 2002–2012." Global and Planetary Change **106**: 20-30.
- Habuda-Stanic, M., et al. (2008). "Arsenite and arsenate sorption by hydrous ferric oxide/polymeric material." Desalination **229**(1-3): 1-9.
- Nguyen, V. A., et al. (2009). "Contamination of groundwater and risk assessment for arsenic exposure in Ha Nam province, Vietnam." Environment International **35**(3): 466-472.
- Olsen, R. L., et al. (2012). "Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis - literature review and Illinois River watershed case study." Water Research **46**(9): 3110-3122.
- Sadler, R., et al. (1994). "Soil and Water Contamination by Arsenic from a Tannery Waste." Water Air and Soil Pollution **78**(1-2): 189-198.
- Shin, D., et al. (1999). "Assessment of disinfection by-products in drinking water in Korea." Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology **9**(3): 192-199.
- Smedley, P. L. and D. G. Kinniburgh (2002). "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters." Applied Geochemistry **17**(5): 517-568.
- Tanga, R., et al. (2011). " Research on GIS Application System of Environmental Risk for Hazardous Chemicals Enterprises." Environmental Sciences **10**(PartB): 1011-1016.
- Ter Braak, C. J. F. (1994). "Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods." Ecoscience **1**(2): 127-140.
- USEPA, National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts: Final Rule, Federal Register, Dec. 16, Washington DC, 63(241)(1998) 69390-69476.
- Wang, S. W., et al. (2011). "Influence of hydrological and hydrogeochemical parameters on arsenic variation in shallow groundwater of southwestern Taiwan." Journal of Hydrology **408**(3-4): 286-295.
- Zhou, F., et al. (2007). "Identification and spatial patterns of coastal water pollution sources based on GIS and chemometric approach." Journal of Environmental Sciences-China **19**(7): 805-810.

Leonard, S. T. and M. Droege (2008). "The uses and benefits of cluster analysis in pharmacy research." Research in Social & Administrative Pharmacy 4(1): 1-11.

附錄

附錄一、地下水採樣點座標及井深資料

SLGW 採樣點座標及井深資料

井位編號	深度(m)	2D 座標(X)	2D 座標(Y)
S-1	25	206521.709	2679023.772
S-2	20	204946.377	2680505.403
S-3	25	205966.875	2682071.209
S-4	25	206183.133	2679024.814
S-5	20	206366.250	2683515.927
S-6	25	205200.769	2680658.422
S-7	25	205822.476	2680994.885
S-8	30	205061.857	2681335.691
S-9	25	204837.549	2681767.113
S-10	35	204889.562	2680382.524

LJGW 採樣點座標及井深資料

井位編號	深度(m)	2D 座標(X)	2D 座標(Y)
L-1	20	204003.323	2676785.876
L-2	80	199291.802	2677109.569
L-3	30	199293.780	2677663.333
L-4	30	204348.187	2678722.950
L-5	25	203982.185	2678970.252
L-6	35	203947.184	2676878.353
L-7	30	204120.773	2678200.680
L-8	25	203948.980	2677432.115
L-9	25	203580.537	2676941.076
L-10	30	202192.840	2675468.965
L-11	40	201922.706	2679038.611
L-12	30	204038.615	2678970.069
L-13	20	204290.567	2678353.957
L-14	35	201410.100	2677655.932

WCGW 採樣點座標及井深資料

井位編號	深度(m)	2D 座標(X)	2D 座標(Y)
W-1	25	201932.302	2681868.965
W-2	20	202359.578	2683098.127
W-3	45	203568.231	2681801.980
W-4	40	201767.446	2683161.662
W-5	25	204074.801	2681431.149
W-6	30	202383.545	2681836.677
W-7	25	203824.822	2682631.798
W-8	20	203484.007	2681925.317
W-9	20	202553.934	2682174.521
W-10	30	201737.563	2682669.521
W-11	30	201936.790	2683191.851
W-12	20	202833.255	2681342.932
W-13	20	203346.508	2683002.547
W-14	35	203315.260	2682079.697
W-15	25	203148.450	2682818.610
W-16	30	202548.167	2680451.696

附錄二、地下水水質監測數據

SLGW 地下水水質監測數據

Site	NPDOC (mg/L)	Cl- (mg/L)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (μ s/cm)	H.S. (mg/L)	pH -
S-1	0.48	12.70	4.10	0.37	351.00	0.09	7.40
S-2	0.37	11.40	2.68	0.29	405.00	0.16	6.24
S-3	3.67	18.20	6.36	0.37	412.00	1.26	6.93
S-4	0.51	18.00	1.85	4.60	371.00	0.17	5.90
S-5	0.80	23.60	3.87	0.97	352.00	0.51	6.09
S-6	0.84	22.50	4.06	0.37	380.00	0.50	6.43
S-7	0.45	8.20	4.10	1.10	401.00	0.12	7.39
S-8	0.67	52.70	2.89	0.33	512.00	0.34	6.00
S-9	0.26	20.70	4.13	0.50	417.00	0.10	6.26
S-10	4.78	20.60	2.86	1.05	451.00	0.38	6.19

LJGW 地下水水質監測數據

Site	NPDOC (mg/L)	Cl- (mg/L)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (μ s/cm)	H.S. (mg/L)	pH -
L-1	1.04	18.67	4.34	0.37	328.00	0.13	6.18
L-2	2.85	33.47	4.71	0.72	611.00	1.81	7.52
L-3	0.66	11.97	4.90	0.49	376.00	0.10	7.41
L-4	0.55	19.50	6.05	0.32	389.00	0.16	7.19
L-5	0.83	28.00	6.21	0.48	423.00	0.62	6.78
L-6	0.68	21.49	3.85	0.28	351.00	0.38	6.14
L-7	0.84	26.29	6.04	0.39	401.00	0.66	6.21
L-8	0.71	25.77	5.20	0.44	405.00	0.16	5.72
L-9	1.20	15.51	5.65	0.64	332.00	0.55	7.35
L-10	0.69	20.26	5.43	0.31	337.00	0.21	6.41
L-11	1.10	14.08	2.34	8.27	427.00	0.14	6.79
L-12	1.14	39.70	4.30	0.46	420.00	0.57	5.99
L-13	2.61	29.24	5.01	0.48	417.00	0.58	6.56
L-14	1.30	22.31	4.94	0.30	421.00	0.22	7.06

WCGW 地下水水質監測數據

Site	NPDOC (mg/L)	Cl- (mg/L)	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	Conductivity (μ s/cm)	H.S. (mg/L)	pH -
W-1	1.56	13.24	5.03	0.48	512.00	0.63	7.95
W-2	1.02	20.50	6.18	0.59	482.00	0.31	8.07
W-3	1.43	36.70	4.93	2.29	577.00	0.44	7.93
W-4	9.03	350.00	6.73	4.43	4910.00	1.55	8.60
W-5	0.37	13.24	2.98	3.11	513.00	0.17	7.71
W-6	1.03	15.76	3.50	0.95	495.00	0.40	7.78
W-7	2.00	12.30	3.70	0.80	611.00	0.78	7.69
W-8	4.40	109.29	5.58	1.12	1101.00	0.85	7.92
W-9	1.27	38.30	4.38	0.72	643.00	0.70	7.95
W-10	1.75	243.04	4.57	0.35	1320.00	0.57	7.57
W-11	1.29	500.00	5.11	10.00	8607.00	0.61	7.47
W-12	3.44	15.80	4.63	0.67	652.00	2.40	7.85
W-13	1.28	15.52	2.96	2.42	795.00	0.34	7.69
W-14	2.42	55.40	4.43	4.88	1263.00	0.99	7.57
W-15	1.01	13.12	5.69	0.51	379.00	0.34	7.29
W-16	2.23	81.21	5.37	0.38	1012.00	0.94	7.92

附錄三、毒性物質監測數據

SLGW 毒性物質監測數據

Site	As ³⁺ (µg/L)	As ⁵⁺ (µg/L)	THMs (µg/L)	HAAs (µg/L)	Toxicity 加氣前 (TU)	Toxicity 加氣後 (TU)
S-1	0.00	0.91	22.40	31.75	-	-
S-2	0.00	0.97	24.20	29.04	0.32	0.92
S-3	0.10	0.70	102.70	80.28	-	-
S-4	0.00	2.01	24.70	21.44	0.5	1.21
S-5	0.00	0.66	42.90	26.95	-	-
S-6	0.00	0.79	40.80	33.45	-	-
S-7	0.00	1.66	26.90	28.39	-	-
S-8	0.12	0.59	26.90	29.72	-	-
S-9	0.00	0.95	24.20	25.30	-	-
S-10	0.00	1.25	118.40	68.48	-	-

LJGW 毒性物質監測數據

Site	As ³⁺ (µg/L)	As ⁵⁺ (µg/L)	THMs (µg/L)	HAAs (µg/L)	TU 值 (TU)	TU 值+氯後 (TU)
L-1	0.00	1.50	84.90	44.42	-	-
L-2	0.00	2.02	28.60	86.82	0.98	1.72
L-3	0.21	0.98	21.70	33.19	-	-
L-4	0.00	0.13	63.10	18.55	0.32	1.29
L-5	0.00	0.60	35.20	37.70	-	-
L-6	0.00	0.17	23.90	22.15	-	-
L-7	0.00	0.72	30.30	25.64	-	-
L-8	0.00	0.53	25.20	21.15	-	-
L-9	0.00	0.65	39.10	12.94	0.41	1.32
L-10	0.00	0.60	22.90	20.65	-	-
L-11	0.00	1.16	36.20	33.23	-	-
L-12	0.13	0.20	33.00	36.72	-	-
L-13	0.00	0.30	23.06	40.89	-	-
L-14	0.73	1.76	11.36	20.01	0.62	1.67

WCGW 毒性物質監測數據

Site	As ³⁺ (µg/L)	As ⁵⁺ (µg/L)	THMs (µg/L)	HAAs (µg/L)	Toxicity 加氯前 (TU)	Toxicity 加氯後 (TU)
W-1	2.30	15.55	72.70	61.43	-	-
W-2	0.00	0.92	58.20	48.72	-	-
W-3	26.36	6.10	74.20	65.94	1.59	2.79
W-4	32.50	25.10	3858.98	2131.21	3.7	4.8
W-5	21.80	6.40	29.50	22.30	1.3	1.84
W-6	9.22	35.74	50.80	36.16	0.82	1.56
W-7	56.00	4.18	86.70	68.94	1.44	2.84
W-8	2.61	26.00	120.40	74.71	1.24	1.98
W-9	0.00	93.90	56.10	64.21	-	-
W-10	0.00	270.40	73.00	72.12	2.1	8.84
W-11	12.30	19.02	67.10	79.98	4.57	10.47
W-12	0.00	163.55	74.90	60.89	-	-
W-13	0.00	18.60	38.50	31.15	-	-
W-14	0.00	31.98	68.10	74.89	-	-
W-15	0.00	0.73	50.70	56.23	-	-
W-16	0.00	22.80	38.90	45.95	1.12	1.81

附錄四、毒性物質監測數據

消毒副產物 THMs 細部項目

Site	CHCl ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	CHBr ₃
S-1	10.0	7.7	2.1	2.6
S-2	9.9	8.7	5.6	0.0
S-3	58.5	17.2	16.7	10.3
S-4	10.4	7.8	4.2	2.3
S-5	15.0	13.3	9.8	4.8
S-6	15.1	12.2	10.4	3.1
S-7	10.0	8.6	6.3	2.0
S-8	11.3	7.8	4.8	3.0
S-9	10.1	6.1	5.1	2.9
S-10	57.7	25.9	22.7	12.1
W-1	37.4	26.9	3.1	5.3
W-2	29.0	17.2	9.0	3.0
W-3	29.6	20.7	10.5	13.4
W-4	36.2	96.2	470.6	1528.2
W-5	10.1	10.2	6.3	2.9
W-6	30.1	6.2	9.4	5.1
W-7	29.7	18.6	23.2	15.2
W-8	67.6	25.3	15.2	12.3
W-9	23.4	14.3	13.1	5.3
W-10	32.2	18.2	12.3	10.3
W-11	30.2	15.1	10.4	11.4
W-12	35.0	9.9	13.6	16.4
W-13	25.0	8.0	2.3	3.2
W-14	13.5	18.2	20.0	16.4
W-15	19.0	16.4	7.2	8.1
W-16	63.1	0.0	0.0	0.0
L-1	38.9	0.0	0.0	0.0
L-2	59.8	11.6	5.5	8.0
L-3	14.8	8.1	3.5	2.2
L-4	7.8	9.5	2.1	2.3
L-5	35.2	0.0	0.0	0.0
L-6	12.9	6.5	2.1	2.4
L-7	11.3	9.5	6.0	3.5
L-8	15.1	6.0	2.0	2.1
L-9	39.1	0.0	0.0	0.0
L-10	7.1	10.5	3.1	2.2
L-11	36.2	0.0	0.0	0.0
L-12	33.0	0.0	0.0	0.0
L-13	78.7	0.0	0.0	0.0
L-14	35.5	0.0	0.0	0.0

消毒副產物 HAAs 細部項目-1

Site	MCAA	MBAA	DCAA	TCAA
S-1	6.99	0.00	4.32	0.00
S-2	5.82	0.00	5.50	0.00
S-3	22.48	0.00	15.35	0.00
S-4	4.02	0.00	3.34	0.00
S-5	6.36	0.00	11.62	0.00
S-6	8.33	0.00	2.71	0.00
S-7	7.54	0.00	2.28	0.00
S-8	8.49	0.00	1.72	0.00
S-9	5.21	0.00	1.49	0.00
S-10	19.64	0.00	6.46	0.00
W-1	16.08	0.00	8.79	0.00
W-2	9.80	0.00	15.59	0.00
W-3	12.81	0.00	3.96	0.00
W-4	33.13	0.00	184.58	0.00
W-5	3.85	0.00	4.13	0.00
W-6	8.20	0.00	11.64	0.00
W-7	18.45	0.00	6.39	0.00
W-8	24.76	0.00	5.74	0.00
W-9	16.07	0.00	7.86	0.00
W-10	22.88	0.00	3.87	0.00
W-11	7.65	0.00	22.99	0.00
W-12	20.23	0.00	6.13	0.00
W-13	3.13	0.00	8.85	0.00
W-14	6.25	0.00	27.90	0.00
W-15	15.61	0.00	26.18	0.00
W-16	10.20	0.00	25.97	0.00
L-1	12.39	0.00	28.35	0.00
L-2	10.42	0.00	36.93	0.00
L-3	13.66	0.00	2.77	0.00
L-4	1.78	0.00	4.35	0.00
L-5	14.23	0.00	20.72	0.00
L-6	2.85	0.00	5.13	0.00
L-7	7.18	0.00	8.15	0.00
L-8	5.85	0.00	1.13	0.00
L-9	3.85	0.00	6.66	0.00
L-10	4.85	0.00	2.13	0.00
L-11	10.34	0.00	20.58	0.00
L-12	10.06	0.00	23.38	0.00
L-13	23.06	0.00	37.74	0.00
L-14	11.36	0.00	16.68	0.00

消毒副產物 HAAs 細部項目-2

Site	BCAA	BDCAA	DBAA	CDBAA	TBAA
S-1	2.97	9.83	1.63	2.63	3.38
S-2	2.12	8.15	0.98	2.38	4.09
S-3	2.71	29.07	3.09	3.09	4.49
S-4	1.91	7.21	0.92	1.42	2.62
S-5	3.57	1.02	0.80	0.60	2.98
S-6	2.18	13.82	1.36	1.86	3.19
S-7	2.64	10.22	1.20	1.90	2.61
S-8	1.01	13.67	0.88	1.28	2.67
S-9	2.66	10.20	0.93	2.13	2.68
S-10	7.73	26.61	1.13	2.13	4.78
W-1	3.44	22.64	1.45	2.95	6.08
W-2	5.02	7.16	1.59	2.59	6.97
W-3	2.65	38.72	1.65	2.65	3.50
W-4	8.25	3528.38	5.71	5.71	93.22
W-5	2.43	6.66	0.85	2.05	2.33
W-6	3.07	4.73	1.64	2.24	4.64
W-7	3.18	32.06	0.86	2.16	5.84
W-8	2.99	32.61	1.25	2.05	5.31
W-9	4.95	24.54	1.75	2.75	6.29
W-10	2.87	36.41	0.97	2.17	2.95
W-11	2.62	38.08	2.00	2.22	4.42
W-12	3.11	22.71	1.97	2.05	4.69
W-13	1.43	11.66	1.70	2.05	2.33
W-14	3.53	28.05	2.45	2.29	4.42
W-15	2.76	4.20	1.91	1.79	3.78
W-16	9.78	0.00	0.00	0.00	0.00
L-1	3.68	0.00	0.00	0.00	0.00
L-2	14.52	6.57	4.67	4.71	9.00
L-3	1.91	8.17	1.78	1.97	2.93
L-4	1.17	7.16	1.62	1.32	1.15
L-5	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00
L-6	2.43	2.66	1.70	1.05	6.33
L-7	1.09	5.90	0.62	0.99	1.71
L-8	1.43	8.66	1.70	1.05	1.33
L-9	2.43	0.00	0.00	0.00	0.00
L-10	2.43	6.66	1.20	1.05	2.33
L-11	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00
L-12	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00
L-13	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00
L-14	3.33	0.00	0.00	0.00	0.00