




行政院環境保護署

111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

環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

期末報告(定稿)

主辦單位： 行政院環境保護署
專案執行單位：淡江大學學校財團法人淡江大學／
水資源及環境工程學系
專案主持人：王聖璋 助理教授
專案執行期間：111年9月1日起至
112年8月31日止

中華民國 112 年 8 月 印製





專案基本資料表

專案性質		<input type="checkbox"/> 實驗性質 <input checked="" type="checkbox"/> 非實驗性質		專案類別(單選)		<input type="checkbox"/> 先導型 <input checked="" type="checkbox"/> 研究型 <input type="checkbox"/> 模場型	
研究主題		<input checked="" type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他					
申請機構系所		淡江大學學校財團法人淡江大學 水資源及環境工程學系					
機構地址		251301 新北市淡水區英專路151號					
專案主持人		王聖瑋		職等／職稱		助理教授	
協同主持人				職等／職稱			
專案 名稱	中文	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估					
	英文	Evaluating influence of environmental change on groundwater contamination potential					
	關鍵字	地下水,環境變遷,污染潛勢					
執行期程		自民國111年9月1日起至民國112年8月31日止					
專案主持人		姓名：王聖瑋		Email： wangsw@mail.tku.edu.tw		專線：(02)26215656#2716	
專兼任人員		姓名：陳嫻仔		Email： o902108008@tmu.edu.tw		專線： (02)26215656#55689	
經費 分析 總表		專 案 預 估 經 費		第一年 金額		第二年 金額	
		1. 人事費用		478,661		(1~5項相加之50%為限)	
		2. 貴重儀器使用含維護費		0		(與計畫實驗相關)	
		3. 消耗性器材與主要費用		26,833		(與計畫主體相關)	
		4. 其它研究相關費用		0		(含差旅與租賃費用)	
		5. 雜支費用		34,506		(1~6項相加之5%為限)	
		6. 行政管理費		60,000		(1~5項相加之10%為限)	
		7. 自籌款		0		(自行籌備款項)	
		申請補助金額(1~6項)		600,000		總金額：600,000	
		計畫總金額(1~7項)		600,000		總金額：600,000	

專案主持人（簽名及蓋章）：_____ 日期：_____



土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

111年度專案成果績效自評表

填表日期：112年8月25日

一、專案基本資料

專案性質	<input type="checkbox"/> 實驗性質 <input checked="" type="checkbox"/> 非實驗性質	專案類別	<input type="checkbox"/> 先導型 <input checked="" type="checkbox"/> 研究型 <input type="checkbox"/> 模場型
研究主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 其他		
執行機構	淡江大學學校財團法人淡江大學 水資源及環境工程學系	專案主持人	王聖璋
專案名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
專案執行期程	<input type="checkbox"/> 申請階段 <input type="checkbox"/> 期中 <input checked="" type="checkbox"/> 期末		

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

項目		目標達成程度	申請 預估數	期中 達成數	期末 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.國內投稿 (篇數)	(1)論文	0	0	0		
		(2)研討會論文	1	0	0		待規劃
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	0		待規劃
		(2)國際研討會 論文發表	1	0	1		AOGS2023 "Impacts of the environmental changes on the groundwater contamination potential"
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告	0	0	0		
		(2)研究報告	0	0	0		
	4.專著(本數)		0	0	0		
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會	0	0	0		
		(2)成果發表會	0	0	0		
		(3)論壇	0	0	0		
B 人 才 培 育	6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術	0	0	0		
		(2)技術平台	0	0	0		
	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	0	0	0		
		(2)博士	0	0	0		
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊	0	0	0		
		(2)跨機構團隊	0	0	0		
		(3)形成研究中 心	0	0	0		



目標達成程度		申請 預估數	期中 達成數	期末 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)
項目						
	(4)形成實驗室	0	0	0		
9.其他指標 (請自行命名)	(請自填)					

(二) 產業面

目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 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)
項目							
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	
		(2)品種/系(件數)		0	0	0	
C 產學研 合作	6.促成合作 研究	件數		0	0	0	
		金額(仟元)		0	0	0	
	7.促成投資	件數		0	0	0	
		投資金額(仟元)		0	0	0	
	8.促成取得	件數		0	0	0	



目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 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)
項目	業界科專	業界投資金額 (仟元)	0	0	0		
9.其他指標 (請自行命名)							

(三) 政策面

目標達成程度			申請預 估數	期中 達成數	期末 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)
項目							
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	次數	0	0	0		
		收入(仟元)	0	0	0		
B 政策 推動	3.協助政府推動 (件數)	(1)政策	1	0	1		提出地下水保護之相關建議
		(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)					

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)

本計畫預期效益包括歸納環境變遷之自然與人為因素的時空變化情形、建立多變量統計分析模型、評析土地利用情形造成地下水污染潛勢聚集改變區域、研擬水質特徵顯著變化區域之調適因應方案等，其執行成果已發表1篇至 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 20th Annual Meeting 國際研討會論文，發表題目為 Impacts of the environmental changes on the groundwater contamination potential，後續預計將投稿1篇國內研討會論文、1篇國外期刊論文。



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)

本計畫目的為建立環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估，其成果將有助於了解長期的氣候因素與人為活動對於地下水水質特性的影響，並無規劃與產業面進行鏈結。

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、污場址管理等政策及法規研訂之參考)

本計畫預計利用歷年區域性監測井水質監測數據，建立多變量統計分析模型，來探討降雨型態改變對於地下水污染潛勢之影響，並應用地理統計與空間自相關分析方法，評析土地利用情形造成地下水污染潛勢聚集改變區域，其結果除可建立地下水污染潛勢時空分布外，亦可針對水質劣化區域研提相關水質預警機制，提供政府單位做為環境變遷必要的地下水資源調適措施之參考。

四、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)	



行政院環境保護署「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	111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：王聖瑋 NO：B5
計畫名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
審查意見		執行單位回覆	
委員一		1. 感謝委員肯定。	
1. 本計劃利用環保署資料庫大量數據，來分析環境變遷地下水水質的影響，研究計劃可以提供施政的參考。		2. 感謝委員提醒，已於定稿中調整表 5.1-3,4,5,7,8、表 5.2-1 之有效位數為小數點後三位。	
2. 表 5-1-3,4,5,7,8 等表裡面的有效數字太多，建議可以適度縮減。		3. 感謝委員建議，已於定稿中將「有機物因子」調整為「背景因子」，以符合其論述內容，並引用參考文獻進行佐證。	
3. 因素分析中的各個因素命名，建議可以說明其命名原則，或引用文獻，例如有機物因子其實中間還有包括許多無機物以及碳酸鹽，建議可以再說明。		4. 本研究計算之地下水污染潛勢推估結果屬於相對概念，僅能評估監測井在 10 年前後之地下水污染潛勢變化情形，並無法定義超過某個數值以上屬於高潛勢，而低於則屬於低潛勢，因此，本研究在地理統計推估之後，再以 LISA 空間自相關進行分析，若網格屬於高-高潛勢者，則代表此網格與周遭網格同為高污染潛勢。	
4. 表 5.2-2 的污染潛勢推估結果，建議能定義數值大小代表的意義。目前是了解數字越小潛勢越低，但是何謂高？何謂低，建議可以說明一下。		5. 本研究所定義之農業用地亦有包含畜牧、養殖、溫室等用地。	
5. 請問農業用地中是否有包括畜牧用地，這類別也會影響多種污染物，例如氨氮、有機物。		6. 感謝委員建議，本研究是採用區域性監測井長期監測之背景與水質項目(9項)、一般項目(3項)、及重金屬項目(8項)評估地下水污染潛勢情形，主要是以整體地下水污染潛勢為考量，並非考慮單一污染物特性，故在資料驗證上，無法採用單一污染物結果進行驗證，故本研究採用環保署地下水污染場址資料做為驗證資料。	
6. 第 5-2 節中，工業區及污染場址的污染物類別，與被背景監測項目可能不同，這部分建議也可以補充說明一下。			



<p>委員二</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫利用長期資料進行地下水污染趨勢分析，資料數量運用包括時間、監測點、氣象水文資料，均相當龐大，有助於瞭解長期趨勢變化。 2. 本計畫在探討土地利用與地下水水質變化，分析方式以圖型與空間相關探討，此一部分若能納入統計迴歸模型(例如：空間迴歸)之探討，結果將更臻完善。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，本研究在後續撰寫論文期刊時，將評估納入空間迴歸分析模型(空間延遲模型(Spatial lag model, SLM))，以檢測鄰近效應的強度，證明空間相依性的存在。
<p>委員三</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 計畫進度符合原定目標。 2. 計畫執行工作項目及內容說明清楚。 3. P6-2 頁二「結論」文字內容為建議性質，請改為「建議」。 4. 論文期刊發表後，請於自評表備註欄註明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。 3. 感謝委員提醒，已於定稿中進行修正。 4. 感謝委員提醒，後續若有論文期刊發表，將會再提供更新後的自評表給環保署。
<p>委員四</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究結合水質、氣候、土地利用等 20 年之資料，以統計學及空間推估方法探討氣溫、雨量、土地利用類型等轉變下，對地下水污染潛勢分佈之影響。期末報告撰述大致完整，成果具體。 2. 11 項污染潛勢較高之項目均給予 2 倍權重是否合理?是否不同指標項目依土地利用類型分別訂定權重較為合理，未來請再評估。 3. 環境變遷對地下水質影響(5.3 節)，僅論述土地利用，是否較不週延? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 本研究將污染潛勢較高之項目均給予 2 倍權重，主要是考量環保署將其 11 項列為地下水污染管制標準之項目，故給予較高之權重，而其餘 8 項屬於背景與指標水質項目，並無列入地下水污染管制標準之項目，故給予較低之權重。此外，本研究計算之地下水污染潛勢推估結果屬於相對概念，僅能評估監測井在 10 年前後之地下水污染潛勢變化情形，並無法定義超過某個數值以上屬於高潛勢，而低於則屬於低潛勢，故本研究在地理統計推估之後，再以 LISA 空間自相關進行分析，若網格屬於高-高潛勢者，則代表此網格與周遭網格同為高污染潛勢。 3. 感謝委員建議，已於定稿中調整第 5.3 節之標題為「探討土地利用變化對地下水質影響」，主要是探討人為活動影響改變對於地下水質之影響。



委員五

1. 第六章(p.6-2)建議可補充說明本計畫對於本署未來政策推動之相關建議,另提醒結論涉及污染潛勢趨緩緣由宜留意敘述。

感謝委員建議，本研究已定稿中調整結論論述內容，另已補充對於環保署未來政策推動之相關建議。



行政院環境保護署「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	111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：王聖瑋 NO：B5
計畫名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 本研究擬使用大數據方式，分析環境變遷對於地下水質之影響。目前已完成資料降維分析、地理統計分評估等工作，計畫符合原規劃進度。 2. 目前只是分析出結果，但是相關討論部分，建議仍可以再詳加解析。 3. 有關本計畫應用性，例如調適的政策或是管理，建議可以加強說明。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，已於期末報告補充結果與討論之相關論述。 3. 感謝委員建議，已於期末報告補充未來建議調適與管理策略。	
委員二 1. 本研究已收集基本資料，並進行初步統計分析，合於期中報告進度要求。 2. 本研究地下水質資料為季資料，雨量資料為月資料，但分析豐水期或枯水期則採用年資料，是否允當，請再補充說明。 3. 本研究之分析論及空間相關，採用空間迴歸分析具有其必要性，此一部份期盼在期末報告中見到具體成果。		1. 感謝委員肯定。 2. 本研究藉由資料蒐集得知臺灣目前並無明確豐枯水年之定義，故參考經濟部水利署對於豐枯水年評估方式，將欲探討年度與歷年雨量資料進行分析，若該年度雨量高於歷年平均雨量則為豐水年，反之則為枯水年。此外，考量地下水水質資料雖原則上以季資料為主，然近年受到監測頻率調整，部分監測井僅以每半年或每年進行監測，此監測頻率調整造成資料分析具缺口，再加上氣候變遷議題屬於長時間影響所致，故本研究以年資料間隔做為豐枯水期之判別依據。 3. 感謝委員建議，本研究採用空間自相關結果已於期中報告找出污染潛勢高且周遭潛勢亦高之區域，並於期末報告計算每個網格之氮氮(水質指標項目)超過監測標準機率值與地下水污染場址發生之機率值，以做為本研究地理統計推估之驗證資料。此外，本研究亦針對污染潛勢在 10 年期間有逐漸劣化之區域，結合土地利用變化結果進行探討，並提出未來建議調適與管理策略。	



<p>委員三</p> <p>1. 本計畫以桃園、中壢台地為標的探討環境變遷對地下水污染潛勢的影響。計畫主要針對地下水水質、氣溫、雨量和土地利用等資料以因素分析及相關性分析等統計方式將結果應用於污染潛勢的空間分佈。計畫主持人長期投入地下水污染潛勢及水質管理等研究，故計畫之可行性佳，但期中報告內容應加強國內外文獻資料的蒐集以及因素分析中各因子命名、分類之學理依據並說明污染潛勢分析為何特別重視"土地利用"因子？</p>	<p>1. 感謝委員建議，已於期末報告補充有關地下水水質因素分析及地下水污染潛勢等國內外文獻資料，並強化土地利用與因素分析結果探討之相關文獻。</p>
<p>委員四</p> <p>1. 期中報告符合預定進度。</p> <p>2. 完成資料蒐集及前處理，並完成水質資料降維及相關性分析。</p> <p>3. 期末報告建議蒐集土地利用變遷之資料影響納入評估（如大樓興建地下室開挖抽水，降低地下水位）。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p> <p>3. 感謝委員建議，已於期末報告探討 2005 年及 2016 年土地利用變化與地下水水質之影響，然而有關大樓興建地下室開挖抽水情境，此情境造成地下水水質影響之關係較低，再加上此資料屬於內政部營建署故資料取得較為困難，因此本計畫於期末報告並無納入建築工地地下水之分析探討。</p>
<p>委員五</p> <p>1. 本案基礎資料蒐集完整，後續應用方式宜可於期末報告加強著墨如何結合政府地下水污染管理相關建議，有助於本署後續決策管理運用之參考。</p> <p>2. 所提期中報告(初稿)內容，均符合期中預定查核點之進度。</p>	<p>1. 感謝委員建議，已於期末報告補充未來建議調適與管理策略。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p>



行政院環境保護署「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	111年度	計畫類型	<input type="checkbox"/> 先導型 <input checked="" type="checkbox"/> 研究型 <input type="checkbox"/> 模場型
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 其他		主持人：王聖瑋
計畫名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
審查意見		執行單位回覆	
1. 經審閱階段成果報告,已完成基礎資料蒐集、初步釐清各項因子與水質關聯性分析。		感謝委員肯定。	
2. 確實依申請計畫書定稿本執行,符合預期執行進度(執行率達30%)。		感謝委員肯定。	



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■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	111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：王聖璋 NO：SD7	
計畫名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1. 本研究係使用長期地下水監測資料進行分析，擬建立長期地下水水質變遷模式，有助於建立地下水水質基線數據，做為決策參考用途。 2. 本研究係以現有資料分析而非另外進行實際測量，是否需較高經費支持，待考量。		1. 感謝委員肯定。 2. 本研究經費已由原申請 94 萬元調整為 60 萬元，相關費用亦已依委員建議進行調整。	
委員二 1. 本計畫擬探討氣候變遷對於地下水污染之影響，研究議題新，主題具有研究價值。 2. 除模式驗證及預測外，見建議應多著墨公部門在地下水污染及整治管理上的應用，以讓計畫成果更能發揮成效。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，本研究將於期末報告闡述有關本研究成果要如何應用在公部門管理上之建議事項。	
委員三 1. 有關本計畫未來性，透過收集近 20 年地下水質、氣溫、雨量及土地利用等數據，研析地下水水質污染潛勢之變化情形，後續可透過監測設備配合大數據分析，建立相關水質預警機制，提升我國土壤及地下水整治之智慧化發展。 2. 有關本計畫研究預期效益，其透過應用地理統計與空間自相關分析方法，建議宜納入土地利用變遷之不確定性，以及樹種分佈之變化加以考慮，進而瞭解桃園地區地下水污染潛勢分布概況，以利相關單位之參考。		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，本研究將參考委員建議，在使用土地利用變遷之空間自相關分析時，將以蒙地卡羅檢定確認資料結果是否具顯著性。另有關樹種分布的變化，由於該項已包含在土地利用變遷之資料當中，故本研究亦將此項目一併進行評估。	
委員四 研究主題符合土壤及地下水污染整治基金補助精神、探討課題新穎、整體研究架構明確方法可行、技術未來應用及推廣性應加強。		感謝委員肯定及提醒，本研究在技術未來應用及推廣方面，預計在期末報告闡述有關本研究成果要如何應用在公部門管理上之建議事項。	
委員五 1. 本案擬評估環境變遷對於地下水污染潛		1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員意見，本研究目的為探討整體	



<p>勢之衝擊。</p> <p>2. 環境變遷涉及時間參數，建議收集過去內壢 RCA 場址的檢測數據，以落實環境變遷的評估依據。</p> <p>3. 本案所探討的模式應應用於其他場域，建議進行評估。</p>	<p>地下水污染潛勢狀況，因此將優先以背景水質為目的之區域性監測井為主，而在地理統計推估之資料驗證階段，將納入桃園地區重要污染場址(包含 RCA 場址)之歷年相關資料，用以比對與地下水污染潛勢評估結果之關聯性。</p> <p>3. 感謝委員建議，本研究將於期末報告闡述有關本研究成果要如何應用在公部門管理上之建議事項。</p>
<p>委員六</p> <p>請具體補充說明本計畫對於地下水污染潛勢評估之方法論為何？其中對於評估結果之驗證，建議亦宜有相關規劃與說明。</p>	<p>有關地下水污染潛勢評估之方法論請參考修正稿-七、研究方法及步驟-3.地理統計推估。</p> <p>首先評估地下水水質監測值，若超過第一類地下水污染監測標準，因其污染潛勢極低，故本研究將此分數設定為0.01(極微小值)，而當水質監測值介於第一類及第二類之地下水污染監測標準時，代表可能有些許污染潛勢，故分數設定為0.5，而當水質項目高於第二類地下水污染監測標準時，即視為有污染潛勢，故分數設定為1。接著依據水質項目特性給予權重值，若屬地下水污染管制項目則給予2倍權重，若為背景與指標水質項目則給予1倍權重。以上述方式可計算出每口監測井污染潛勢合計值，再以半變異元分析及克利金法等地理統計方式進行空間推估，將單點之監測井污染潛勢資料轉換成空間面資料，即可推估出研究區域中，每一網格之地下水污染潛勢合計值。</p> <p>而在評估結果資料驗證方面，本研究參考委員建議，已於修正稿中補充驗證方式，主要是採用環保署地下水污染場址資料，藉由計算每個網格實際發生地下水污染事實之機率，若機率計算結果與地下水污染潛勢評估結果一致，意即當該網格地下水污染潛勢評估越高，則實際發生地下水污染機率越高時，則可驗證本研究地下水污染潛勢評估結果尚屬合理。</p>
<p>委員七</p> <p>下列意見請確認，並於計畫書修正稿中修正：</p> <p>1. 人事費佔比過高共計 58.5 個人月及 40 日臨時工，建議酌減。細項人事費用-保險費與退休金以人事費 10% 為限。</p>	<p>1. 由於本研究工作為歸納環境變遷之自然與人為因素的時空變化情形、建立多變量統計分析模型及地理統計分析方法，此等工作亟需大量專業人力進行資料清理與程式撰寫等工作，爰此，本計畫人事費佔比較高。本計畫參考委員建議，將人事費調降</p>



<p>2. 耗材費用：電腦周邊相關物品請以年度攤提或租賃編列。</p> <p>3. 雜項費用：年費、報名費、論文發表費等不予補助(僅補助本署之成果發表會)。</p>	<p>至 39 個人月及 5 日臨時工，並以人事費 10% 規劃人事費用-保險費與退休金。</p> <p>2. 電腦周邊相關物品若超過 2,000 元，依本校規定列為物品管理，參考委員建議以年度攤提或租賃編列，而低於 2,000 元，則直接以耗材方式直接單筆核銷。</p> <p>3. 已於修正稿刪除原雜項費用項下之年費、報名費、論文發表費等費用。</p>
--	--



行政院環境保護署「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	111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：王聖瑋	NO：D2
計畫名稱	環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估		
審查意見		執行單位回覆	
委員一 1.氣候變遷範疇甚寬泛，研究主軸待釐清。 2.關聯參數/關鍵參數未確立，以統計方法恐難提出具科學基礎之成果/申論。		1.感謝委員建議，本研究主要針對長期環境變遷情形，包括氣候變遷造成的降雨型態改變之自然因子、及產業轉型造成地表人為活動改變之人為因子，綜整以往20年之氣溫與雨量變化、土地利用轉變、及地下水水質參數等資料，評估環境變遷對於地下水水質特徵及污染潛勢分布之衝擊影響，並歸納地下水水質特徵之關鍵項目與主要變化區域。 2.感謝委員建議，由於水質監測項目眾多，本研究為簡化資料，以因素分析方式將資料進行維度縮減，以利釐清氣溫及雨量與哪些水質項目歸在同一因素之中，並探討豐、枯水年是否造成項目歸類結果之差異，另以相關係數及散佈圖等方式呈現因素間各項目之相關性。	
委員二 1.本案以中壢地區為案例，若能包括內壢RCA 場址附近，將有助於對 RCA 這個案例的瞭解。 2.本研究將涉及空間迴歸與時間序列迴歸分析，在這方面的使用期盼有更精進的分析。		1.感謝委員意見，本研究目的為探討整體地下水污染潛勢狀況，因此將優先以背景水質為目的之區域性監測井為主，俟研究結果再嘗試比對桃園地區重要污染場址空間分布與自然及人為環境變遷之關聯性。 2.空間與時間資料分析方法眾多，本研究將優先以本團隊熟悉之分析方法進行評析，過程中亦將持續收集國內外其他分析方法，並評估應用於本計畫之可行性，以確保執行成果符合預期目標。	
委員三 1.本計畫擬探討氣候變遷對於地下水污染之影響，研究中以桃園中壢台地為研究對象，收集資料應用模式模擬。氣候變遷是一項新的議題，主題有重要性。 2.模式如何驗證及後續預測部分，建議可以說明更清楚。		1.感謝委員肯定。 2.感謝委員建議，本研究主要針對歷年資料進行評估與分析，對於未來可能之氣候變遷情境與土地利用改變對於水質變化的影響，其中涉及複雜之物理化學反應，為免預測造成過度誤解，本研究將參酌委員建議，嘗試以定性方式探討未來情境可能造成的水質改變，此外，有關資料降維分析方面，本研究預計在因素分析後，針對不同因素進行水質	



	項目之相關性分析，並篩選出與氣溫或雨量相關性高之項目，將其實際數據繪製成散布圖，以驗證氣溫、雨量對於地下水水質特徵之影響。此外，在地理統計推估成果方面，本研究預計將地下水污染潛勢計算成果與該年度土地利用型態進行套疊，藉以驗證人為活動對於地下水水質特徵之影響。
委員四 1.有關專案新穎性，國際已有相關技術研究，建議可掌握其發展現況，作為後續技術突破之參考，有助於該技術未來可行性並強化我國處理地下水污染成熟度。	感謝委員建議，本研究在計畫執行期間，亦隨時掌握國內外相關的資料分析技術，期望對於各項環境變遷因子對地下水污染潛勢造成時空變化的機制與調適方式，能有更新穎的詮釋方式。
委員五 1.研究主題符合土壤及地下水污染整治基金補助精神、探討課題新穎、整體研究架構明確方法可行、技術未來應用及推廣性應加強，特別是針對不同特性污染物的統計分析。	感謝委員肯定，本研究針對不同水質項目進行統計分析結果，預計可回饋至現行地下水相關年報，以妥善運用長年背景水質監測資料，並提供業務單位對於地下水水質資料視覺化之參考建議。
委員六 1.氣候變遷影響以中壢地區為對象，是否也包含特定污染物的影響，如含氯有機物污染地下水的影響。	感謝委員建議，本研究目的為探討整體地下水污染潛勢狀況，因此將優先以背景水質為目的之區域性監測井為主，因此本研究首先採用地下水水質項目包括水溫、導電度、酸鹼值、氧化還原電位、溶氧、總硬度、總溶解固體物、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、鐵、錳、總酚、鈣、鎂、鈉、鉀、總鹼度、砷、汞、銅、鋅、鉛、鎘、鉻、鎳等共計29項，俟研究結果再嘗試比對桃園地區重要污染場址空間分布與自然及人為環境變遷之關聯性。
委員七 1.請補充說明本計畫擬探討環境變遷之影響議題，然對於時間及空間尺度之影響範疇，宜須先予以界定；此外，相關地下水水質參數之選定，亦須予以說明為佳。	感謝委員建議，本研究擬探討環境變遷造成地下水污染潛勢之議題，包括(1)建立多變量統計分析模型，探討降雨型態改變對於地下水污染潛勢之影響；(2)應用地理統計與空間自相關分析方法，評析土地利用情形造成地下水污染潛勢聚集改變區域。 在空間尺度上，本研究考量桃園地區對於地下水使用的壓力最為嚴峻，且產業型態從早期的農業、勞力密集之傳統產業漸轉型為高科技產業，較能評估人為活動變化造成之地下水污染潛勢變化情形，故以桃園中壢臺地地下水分區為研究範疇；而在時間尺度上，多變量統計分析模型為配合地下水水質監測資料區間，以2002~2021年之資料為範疇，



而地理統計與空間自相關分析則配合土地利用資料區間，以2005、2016年之資料為範疇。

有關本研究地下水水質參數之選定，在多變量統計分析模型選定方式為環保署定期監測之29項水質項目，包括水溫、導電度、酸鹼值、氧化還原電位、溶氧、總硬度、總溶解固體物、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、鐵、錳、總酚、鈣、鎂、鈉、鉀、總鹼度、砷、汞、銅、鋅、鉛、鎘、鉻、鎳等項目；而地理統計與空間自相關分析因需界定門檻值，故本研究選定方式為環保署定期監測且屬於第一類/第二類之地下水污染監測標準項目，共計20項，包括砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳、鋅、硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、氟鹽、鐵、錳、總硬度、總溶解固體物、氯鹽、氨氮、硫酸鹽、總有機碳、總酚等項目。





計畫中文摘要

近年因氣候變遷導致極端降雨情形，雨量減少已造成部分地區存在缺水危機，而抽取地下水做為備援用水為臺灣於枯旱時期重要水資源調配策略之一，然而因環境變遷而導致之極端氣候、產業開發、用水量增加、土地利用變化等，除造成部分區域發生地下水人為污染問題，亦可能造成地下水水質特徵與污染潛勢逐漸改變，因此本研究主要針對長期環境變遷情形，包括氣候變遷造成的降雨型態改變之自然因子、及產業轉型造成地表人為活動改變之人為因子，綜整以往20年之氣溫與雨量變化、土地利用轉變、及地下水水質參數等資料，評估環境變遷對於地下水水質特徵及污染潛勢分布之衝擊影響，並歸納地下水水質特徵之關鍵項目與主要變化區域，做為水質監測與用水調整之地下水保育的參考。

由於桃園地區產業、人口、經濟等發展已逐漸造成地下水水質負荷，故本研究優先針對桃園中壢臺地做為環境變遷對於地下水污染潛勢評估之研究區域，並蒐集長時間不同型態之地下水水質、氣溫、雨量等資料，將其區分為豐、枯、平水年後，以因素分析及相關性分析等統計方式進行時間序列之資料降維分析，接著應用地理統計方法建立污染潛勢空間分布，並以全域型空間自相關分析探討地下水污染潛勢分布與土地利用之聚集現象，其結果顯示桃園中壢臺地之高-高型態網格數量減少，代表地下水污染潛勢有逐漸趨緩情形，且多數監測井之地下水污染潛勢為下降或持平狀況。此外，本研究以不同年份(2005及2016年)之土地利用型態，並套疊地理統計推估結果進行探討，其土地利用變化情形大致符合桃園地區經濟發展情況，由早期農業、森林、水利、礦鹽等用地轉換成至今建築、交通、公共、遊憩等用地，並進一步分析區域型空間自相關屬於高-高型態之範圍，其結果顯示範圍內之整體面積增加之用地包括交通及建築用地等2種，而農用、水利、工業、其他等4種用地之面積減少，推測其可能是由早期農業、水利、工業、其他等用地轉換成至今經濟發展提高且生活較為便利之建築、交通等用地，故本研究建議未來在交通設施及建築建設階段，可加強相關地下水保護工作，包括(1)強化審查環評說明書與報告書之地下水保護內容、(2)持續監測在建設與營運過程對地下水質之影響、(3)加強管制周遭可能之高污染潛勢事業單位、(4)確保建築工地開挖地下水再利用之地下水品質，以做為在經濟發展過程時，提供必要的地下水資源調適措施之參考。

關鍵字：地下水、環境變遷、污染潛勢



計畫英文摘要

Due to climate change, extreme rainfall events have occurred in recent years, leading to reduced precipitation and water scarcity in certain regions. As a result, groundwater extraction has become a crucial strategy for Taiwan to secure water reserves during drought periods. However, various factors such as extreme climate conditions, industrial development, increased water demand, and land use changes have not only caused anthropogenic groundwater contamination in some areas but also gradually altered groundwater quality characteristics and pollution potential. This study aims to assess the impact of long-term environmental changes on the distribution of groundwater quality characteristics and contamination potential. Natural factors like changes in rainfall patterns caused by climate change and human-induced factors associated with alterations in surface activities due to industrial transformations are considered in this study. Data from the past 20 years on temperature and precipitation variations, land use changes, and groundwater quality parameters are integrated to achieve this. The research focuses on the Taoyuan area as it has experienced significant industrial growth, population expansion, and economic development, leading to increased pressure on groundwater quality. Long-term data on groundwater quality, temperature, precipitation, and other relevant factors are collected. The data is categorized into wet, dry, and average water years. Statistical techniques, including factor analysis and correlation analysis, are utilized to analyze the temporal trends and reduce the dimensionality of the data. Geostatistical methods are then applied to establish spatial distributions of pollution potential. Additionally, global spatial autocorrelation analysis is conducted to explore any clustering patterns between groundwater pollution potential and land use. The results indicate a decreasing number of high-high-type grid cells in the Taoyuan area, indicating a gradual reduction in groundwater pollution potential. Most monitored wells exhibit a decrease or stability in pollution potential. Furthermore, the research reflects the economic development trends of this area by examining land use changes between different years, such as the transition from agricultural and water resource areas to construction and transportation zones. The approaches for enhancing groundwater protection during transportation infrastructure and building construction phases



based on the results are proposed, including (1) strengthening the review of environmental impact assessment reports to ensure comprehensive groundwater protection measures, (2) continuous monitoring of the impact on groundwater quality during construction and operation, (3) stricter regulation of high pollution potential businesses in the vicinity, and (4) ensuring the quality of excavated groundwater for reuse at construction sites. These measures serve as valuable references for implementing necessary groundwater resource adjustment measures during the process of economic development.

Keywords: *Groundwater, Environmental changes, Contamination potential.*





目次

第一章 前言	1-1
第二章 研究目的	2-1
第三章 文獻探討	3-1
第四章 研究方法與過程	4-1
第五章 結果與討論	5-1
5.1 資料降維分析	5-1
5.2 地理統計推估	5-14
5.3 探討土地利用變化對地下水質影響	5-27
第六章 結論與建議	6-1
參考文獻	文獻-1



圖次

圖1-1、近年桃園市區域性監測井氮氮濃度平均值及趨勢圖(本研究彙整)	1-2
圖1-2、近10年各地區枯旱預警發生次數(本研究彙整)	1-3
圖1-3、歷年桃園市地下水監測數據視覺化呈現(本研究彙整)	1-3
圖1-4、歷年降雨量觀測資料與預估未來變化趨勢(以桃園市為例)	1-4
圖2-1、本研究之可行性、新穎性及未來性	2-1
圖4-1、本研究工作流程圖	4-1
圖5.1-1、桃園中壢臺地氣象站徐昇氏分區圖	5-2
圖5.1-2、歷年平均年降雨量趨勢圖	5-4
圖5.2-1、2004~2006年地下水污染潛勢半變異元分析成果	5-18
圖5.2-2、2015~2017年地下水污染潛勢半變異元分析成果	5-18
圖5.2-3、2004~2006年地下水污染潛勢克利金推估成果	5-19
圖5.2-4、2015~2017年地下水污染潛勢克利金推估成果	5-19
圖5.2-5、地下水水質前後10年期間之 Moran's I 計算結果	5-20
圖5.2-6、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關結果	5-21
圖5.2-7、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關結果	5-21
圖5.2-8、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關與地下水污染場址分布圖	5-23
圖5.2-9、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關與地下水污染場址網格化結 果分布圖	5-24
圖5.2-10、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關與地下水污染場址分布圖	5-24
圖5.2-11、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關與地下水污染場址網格化結 果分布圖	5-25
圖5.2-12、地下水污染場址潛勢機率與網格數量	5-26
圖5.2-13、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關與地下水污染場址與監測 井及工業區分布	5-26

**環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估**

圖5.3-1、農用用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-28
圖5.3-2、森林用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-29
圖5.3-3、交通用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-30
圖5.3-4、水利用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-31
圖5.3-5、建築用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-32
圖5.3-6、公共用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-33
圖5.3-7、工業用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-34
圖5.3-8、遊憩用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-35
圖5.3-9、鹽礦用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-36
圖5.3-10、其他用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年	5-37
圖5.3-11、本研究標註 LISA 自相關結果轉成高-高型態之區域(上)2004~2006年 (下)2015~2017年.....	5-41
圖5.3-12、水質劣化監測井之背景水質項目歷年變化趨勢圖	5-42



表次

表4-1、本研究已掌握資料集	4-2
表4-2、相關係數的範圍與代表意義	4-6
表4-3、本研究採用之地下水污染監測標準之項目及標準值	4-7
表4-4、區域型空間自相關(LISA)分析結果說明	4-10
表5.1-1、氣象站與區域性監測井之徐昇氏分區成果比對表	5-3
表5.1-2、歷年豐、枯、平水年份彙整表	5-4
表5.1-3、豐水年各項水質項目敘述統計彙整表	5-5
表5.1-4、枯水年各項水質項目敘述統計彙整表	5-6
表5.1-5、平水年各項水質項目敘述統計彙整表	5-7
表5.1-6、各項水質與雨量之相關性分析結果	5-11
表5.1-7、各項水質在豐、枯水年之成對樣本 T 檢定分析結果	5-12
表5.1-8、因素分析總變異量結果	5-13
表5.1-9、豐、枯、平水年之因素分析結果	5-14
表5.2-1、地下水水質經10年期間之成對樣本 T 檢定分析結果	5-16
表5.2-2、地下水水質經10年期間之地下水污染潛勢推估結果	5-17
表5.2-3、地下水水質經10年期間之半變異元分析結果	5-17
表5.2-4、地理統計推估網格之地下水污染潛勢值四分位數	5-22
表5.2-5、空間自相關分析結果之不同類別網格數統計	5-22
表5.2-6、地下水污染場址網格發生機率	5-25
表5.3-1、不同年份之土地利用型態彙整表	5-27
表5.3-2、不同年份之高污染潛勢土地利用型態面積彙整表	5-38



第一章 前言

地下水為重要的水資源之一，主要做為生活、農業、工業等用途使用，目前臺灣地下水使用量占總用水量約30%，然而區域地下水資源可能受到長期的環境變遷影響，而於數十年間產生水質特徵的改變，包括全球性的氣候變遷問題、及人為活動與土地利用的轉變等。近年因氣候變遷導致極端降雨情形，雨量減少已造成部分地區存在缺水危機，而臺灣於枯旱時期最常見的水資源調整策略包括強化用水調度、開發伏流水、建置抗旱水井、擴充海淡廠等，其中抽取地下水做為備援用水為重要水資源調配策略，然而近年因環境變遷而造成之極端氣候、產業開發、用水量增加、土地利用變化等，除造成部分區域發生地下水人為污染問題，亦可能造成地下水水質特徵與污染潛勢逐漸改變，因此本研究主要針對長期環境變遷情形，包括氣候變遷造成的降雨型態改變之自然因子、及產業轉型造成地表人為活動改變之人為因子，綜整以往20年之氣溫與雨量變化、土地利用轉變、及地下水水質參數等資料，評估環境變遷對於地下水水質特徵及污染潛勢分布之衝擊影響，並歸納地下水水質特徵之關鍵項目與主要變化區域，做為水質監測與用水調整之地下水保育的參考。

本研究首先盤點目前地下水污染列管場址數量，以桃園市數量最多(包含公告地下水受污染限制使用地區、控制場址、整治場址)，且依據區域性監測井水質監測結果顯示此區水質特性為氨氮濃度持續上升(圖1-1)，顯示桃園地區產業、人口、經濟等發展，已逐漸造成地下水水質負荷；此外，依據經濟部水利署近10年供水情勢，顯示桃園市及新北市林口區之限水次數最多(圖1-2)，其中以第2季4~5月最為嚴重，在2015、2021年甚至有達三階限水情形，顯示近年桃園地區對於地下水使用的壓力最為嚴峻，桃園地區自早期的農業、勞力密集之傳統產業漸轉型為高科技產業，致使桃園地區之水資源種類與應用方式多元，農業、民生及工業用水比例相較於其他區域較為均衡，再加上未來產業用水需求將成長15萬噸/日(為各縣市排行前五名)，故本研究優先選定桃園中壢臺地優先探討自然與人為之環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊影響，並可做為其他縣市評估之參考。

由於區域性監測井數量、水質檢測項目、監測期距等三者數量皆多，難以採用單一圖示表達大量且長時間之監測成果，因此本研究首先以點狀分布圖視覺化方式呈現桃園市28口區域性監測井，共計8年(2014~2021年)之29項水質檢測



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

數據，如圖1-3所示，其成果雖可呈現水質數據異常現象，然而卻難以看出數據異常的時間區間，例如后厝國小之氯鹽、導電度、總硬度、總溶解固體等在某2次之檢測數據值較高；此外，水質檢測項目及監測井數目過多，導致呈現二維矩陣過於龐大，難以建立水質項目之間的關聯性，例如背景水質項目之指標參數應具有相關性；再者，此成果呈現方式亦無法提供各監測井所在位置等空間資訊，故鄰近監測井彼此之間群聚現象及污染潛勢熱區尚待釐清。此外，為探討氣候變遷之降雨型態改變對於地下水水質特徵的影響，因此納入長期雨量及氣溫觀測資料，以桃園地區西南側為例，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>)已建立歷年降雨量與未來推估情境(圖1-4)，長期趨勢顯示平均雨量將逐漸增加，然而豐、枯水年的雨量差異亦將更為顯著，因此本研究首先將2001~2021年之間豐、枯水年之地下水水質、氣溫、雨量等進行區分並計算其平均值，再以因素分析進行歸類、以相關係數及散佈圖等方式呈現因素間各項目之相關性，以建立豐水年及枯水年之氣溫及雨量資料可能造成影響之重要水質項目。而為探討土地利用轉變所造成水質污染潛勢之衝擊影響，先設定各項水質項目之門檻值並以半變異元分析及克利金法等地理統計方式進行水質污染潛勢推估，目的是將污染潛勢點狀資料轉換成空間面資料，接著以空間自相關方法分析水質污染潛勢及土地利用類型之空間關聯性及群聚情形，以釐清土地利用轉變是否造成水質污染潛勢空間分布差異及群聚情形改變。

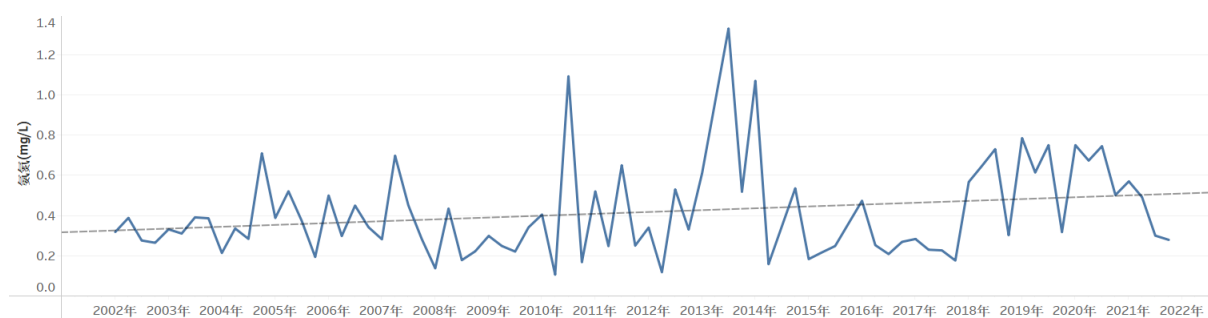


圖1-1、近年桃園市區域性監測井氨氮濃度平均值及趨勢圖(本研究彙整)



第一章 前言

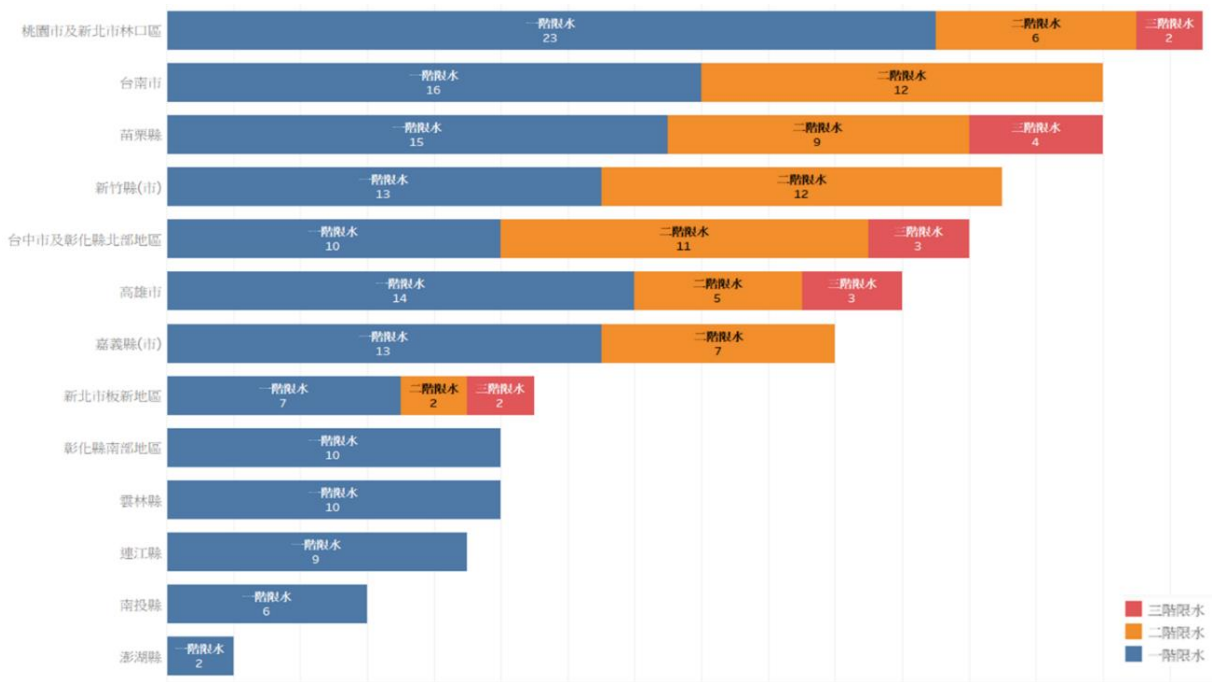


圖1-2、近10年各地區枯旱預警發生次數(本研究彙整)

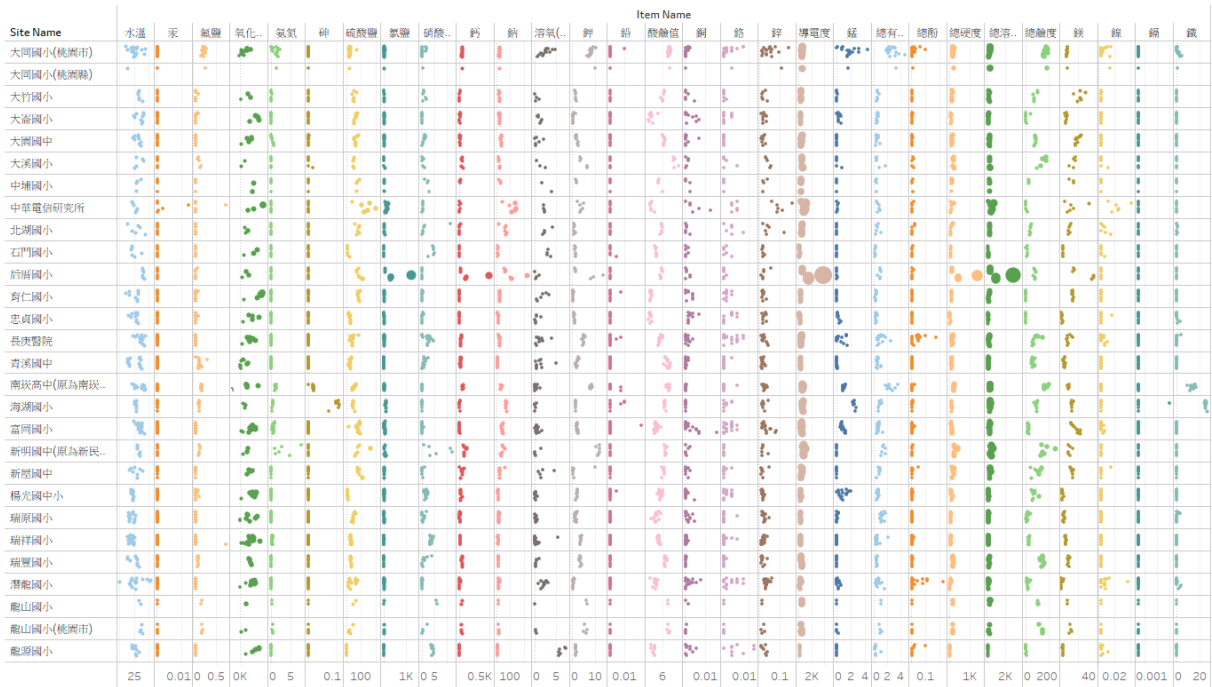


圖1-3、歷年桃園市地下水監測數據視覺化呈現(本研究彙整)



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

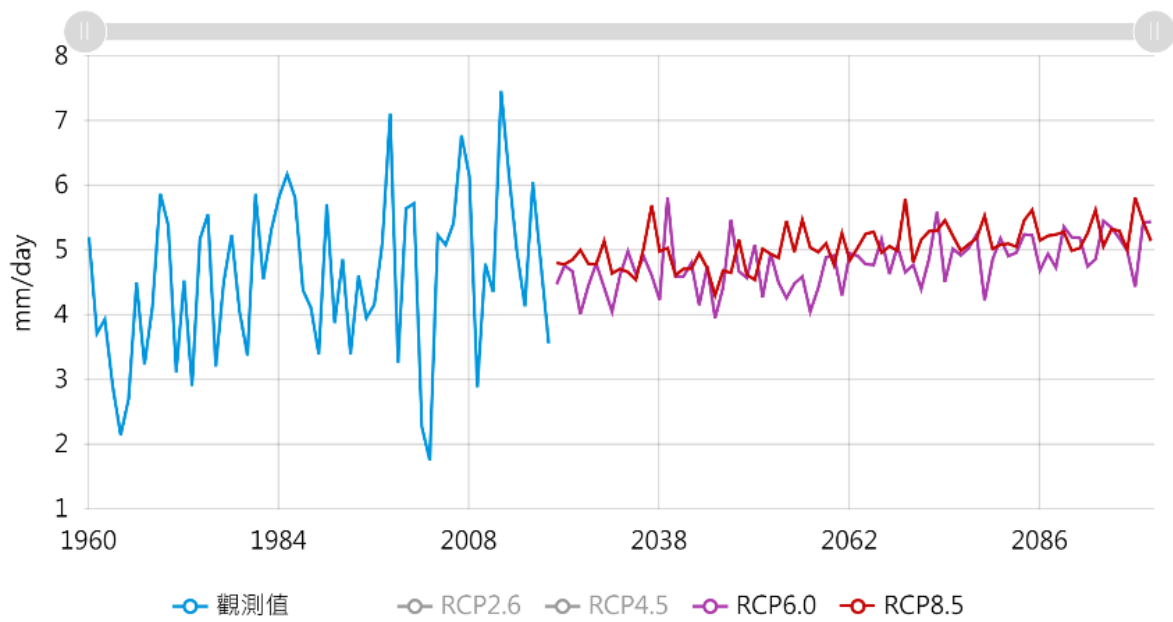
資料來源：<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>

圖1-4、歷年降雨量觀測資料與預估未來變化趨勢(以桃園市為例)



第二章 研究目的

本研究目的為歸納環境變遷之自然與人為因素的時空變化情形，包含氣候變遷之降雨型態及人為活動之土地利用，並建立多變量統計分析模型，探討降雨型態改變對於地下水污染潛勢之影響，以及應用地理統計與空間自相關分析方法，評析土地利用情形造成地下水污染潛勢聚集改變區域，最後研擬水質特徵顯著變化區域之調適因應方案。本研究彙整計畫執行之可行性、新穎性及未來性如圖2-1所示，說明如下。

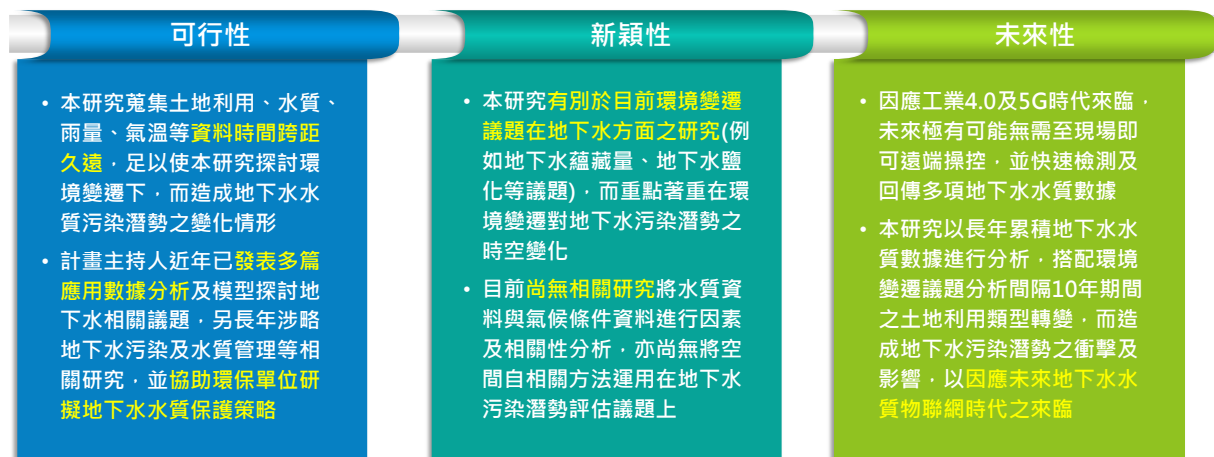


圖2-1、本研究之可行性、新穎性及未來性

一、可行性：為探討環境變遷對地下水污染潛勢之衝擊影響，本研究已初步彙整桃園地區長時間不同型態之資料，包括2005及2016年之土地利用類型、2001~2021年28口區域性監測井之20餘項水質數據、1995~2021年之29站雨量測站之氣溫及雨量數據等資料，資料時間跨距久遠，足以使本研究探討氣溫、雨量、土地利用等環境變遷下，而造成地下水水質污染潛勢之變化情形。此外，本計畫主持人近年已發表多篇應用數據分析及模型探討地下水相關議題，另已長年涉略地下水污染潛勢及水質管理等相關研究，並協助環保署及地方環保局研擬地下水水質保護策略，因此，本研究必定能妥善運用環保署長年累積地下水水質數據，建立地下水污染潛勢時空分布並研提相關水質預警機制。



二、新穎性：目前環境變遷議題在地下水方面之研究，大多著重在降雨時空分布不均及氣溫升高導致海平面上升等，所造成地下水蘊藏量下降及沿海地區地下水鹽化之探討，而本研究重點著重在環境變遷對地下水污染潛勢之時空變化，此研究方向在國際間較少被提及。此外，在早期多以傳統統計進行地下水污染程度之研究，例如多變量統計、相關性分析、及迴歸分析等，近年研究陸續採用因素分析、聚類分析、及機器學習模型等將地下水水質進行分群及預測，而目前尚無相關研究將水質資料與氣候條件資料進行因素及相關性分析，另亦尚無將空間自相關方法運用在地下水污染潛勢評估議題上，本研究將結合水質、氣候、土地利用等面向資料，以統計學及空間推估方法探討氣溫、雨量、土地利用類型等轉變下，對於地下水污染潛勢分布之時空變化。

三、未來性：目前地下水水質監測工作是以人工方式進行採樣及檢測工作，尚無發展成熟之物聯網設備取代現場採樣、檢測及傳輸工作，然因應工業4.0及5G 時代來臨，未來極有可能無需至現場即可遠端操控，並快速檢測及回傳多項地下水水質數據，在數據量遽增前提下，大數據分析工作實為未來重要課題之一。本研究以長年累積地下水水質數據進行分析，先行探討水質項目及監測井位置之相關性、污染潛勢分布、及群聚現象，搭配環境變遷議題分析間隔20年期間之土地利用類型轉變，而造成地下水污染潛勢之衝擊及影響，以因應未來地下水水質物聯網時代之來臨。



第三章 文獻探討

環保署背景水質監測井(以下簡稱區域性監測井)共計450餘口，已定期累積20年之水質監測數據，且監測項目共計20餘項(已排除增測之揮發性有機物)，然目前此龐大數據集每年度僅以年報方式公開呈現，內容僅以水質低於污染監測標準比率呈現不同年份及不同水質項目之地下水水質狀況。因此，行政院環境保護署(2017)為歸納歷年地下水水質數據，故利用因素分析計算十大地下水分區2013~2016年第4季之水質資料，並將16項水質項目歸納為5項因子，包括鹽化因子、沉積因子、有機物因子、水岩反應因子、環境狀態因子等，其中(1)鹽化因子以氯鹽、導電度、總溶解固體物、硫酸鹽等水質項目為主、(2)沉積因子以地層自然釋出因子為主，包括砷、鐵、錳、氨氮、總有機碳等水質項目、(3)有機物因子以總鹼度及總有機碳等水質項目為主、(4)水岩反應因子主要以鈣、鎂、鈉、鉀、鹼度、硫酸鹽等水質項目為主、(5)環境狀態因子與多項水質項目有關，臺灣地下水氧化還原電位大多在+300 mV 至-300 mV 之間，故影響之水質項目主要以鐵、錳、硝酸鹽氮、總鹼度為主。而為更進一步釐清水質優劣程度，行政院環境保護署(2019)採用兩種分種方法建立地下水背景水質參考指數，其一方法為採用臺灣地下水污染監測標準之背景與指標水質項目(共計9項)，做為研擬地下水背景水質參考指數之計算與分類依據，另一種方法則是以總溶解固體為基準進行飲用水合宜性分類。

上述環保署研究成果大多以單口監測井、單一年度、或單一地區之水質成果進行呈現，然監測井數量多、分布範圍廣、且水質監測項目眾多，綜觀前人研究，以主成分分析(principal component analysis, PCA)及因素分析(factor analysis, FA)等方法可將多項水質項目歸納及維度縮減(降維)，Wang et al. (2015)為探討河川底泥重金屬污染，先將重金屬污染地區分為5個群集，再利用因素分析將水質項目區分成3個主要因素；Lee et al. (2021)應用 SOM 模型、主成分分析、階層式群聚分析等方法將水質資料區分為4個主要因素及3個群集，並將分類結果與土地利用類型進行探討；Liang et al. (2020)彙整屏東平原46口觀測井共計14種地下水水質參數，並以因素分析來評估地下水水質與土地利用之關係，其因素分析結果將地下水分為4個主要因素，包括海水鹽化(seawater salinization)、硝酸鹽氮污染(nitrate pollution)、砷污染(arsenic pollution)、鐵錳還原溶解(reductive dissolution of Mn^{2+} and Fe^{3+})等因素；而 Liang et al. (2022)更進一步綜合評估土地利用和水文地質特性對地下水水質的影響，主要是應用因素分析和聚類分析等多變量統計方法，探討土地利用和水文地質特性對臺灣地下水水質之影響，因



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

子分析與前述研究同樣區分為4種因素，其中「海水鹽化因素」是以養殖類型的土地利用為中度負荷特徵，而在沿海地區，該因素分數較高是受養殖業的過度抽水行為所致，故需提供土地利用管理措施以防止沿海地區海水入侵，而「硝酸鹽污染因素」則與果樹種植及非飽和層中的粗顆粒(砂或礫石)厚度有密切相關，該因素分數較高地區分布在嘉義與屏東地區之山區，故應對果農進行教育以減少化肥的使用，並推廣有機果樹種植，而土地利用和水文地質特性對「砷污染」和「鐵錳還原溶解因素」的影響則較小。

在地下水污染潛勢分析研究上，常以 DRASTIC 法評估與地下水相關之不同參數其分數及權重，藉以求得地下水環境脆弱度指標值，行政院環境保護署(2013)為了針對水文地質資料較缺乏之南投縣及基隆市辦理監測井補充設置工作，事先須釐清地下水環境污染潛勢狀況，故以地下水環境污染脆弱度指標當作監測井補充設置之基礎，選用因子包括地形坡度、土壤質地、土地利用、人口密度等4項因子；此外，行政院環境保護署(2020)為釐清濁水溪沖積扇之地下水受污染潛勢風險，選用脆弱度因子包括降雨量、土壤質地、非受壓含水層面積、地質敏感區面積等4項，及危害度因子包括土地利用及人口密度等2項，將其6項因子相加後，得到濁水溪沖積扇地下水區地下水受污染潛勢分布圖。

在自然狀態土壤及地下水水質污染均呈現相當程度的異質性，大部分現地採樣調查，往往受限於時間及經費上的考量，僅對數點或數十點進行試驗分析工作，因此使用稀少的觀測資料進行研究時，具有相當地不確定性(uncertainty)。地理統計方法係利用統計理論與方法，推估空間變數分佈及探討不確定性之科學，而指標克利金(indicator kriging)為地理統計中最常使用之無母數推估(non-parametric estimation)，設定一隨機變數門檻值，經指標變數轉換後分析其半變異元，以獲得指標變數空間變異結構，用以推估未知位置相對該門檻值發生之機率。因此，若要直接以地下水水質判斷地下水污染潛勢，則可以半變異元分析及指標克利金法進行地下水污染潛勢空間推估，得出每個網格之水質污染機率值，環保署公告地下水砷污染潛勢地圖即是採用此方法進行繪製(行政院環境保護署，2019)。

由於空間自相關方法可用來評估資料空間是否具相關性及其聚集程度，此方法較常運用在流行病學、社會學、經濟學等研究，林文苑(2013)以空間自相關分析各鄉鎮市區之社會經濟脆弱度之關聯性，並發現臺灣本島社會經濟脆弱度確有空間聚集之現象；張晏菁(2018)以區域型空間自相關證實 PM2.5濃度的冷熱



分布在不同季節中存有明顯差異，透過疊圖分析證明 PM2.5 濃度與地表溫度之間確實存有空間的關聯性。而近年已有研究應用空間自相關方法於水質議題探討，Mainali and Chang (2018) 以空間自相關分析在不同季節下，4 種水質項目之空間關聯性，並與水質趨勢、超標比率、土地利用之分布進行討論。

綜上所述，本研究預期降低水質項目之維度，以歸納可解釋的水質特徵，並納入以往 20 年間降雨量與土地利用資料，分別探討環境變遷之自然與人為因素對於地下水水質特徵的影響，其中降雨型態部分將有助於釐清雨量增加或減少時，地表污染藉由入滲作用造成地下水污染潛勢變化之關係；而不同年代之土地利用分布情形，將可驗證人為活動的空間群聚情形造成地下水水質負荷之論述，綜整本計畫結果，亦將可做為未來其他產業發展縣市之地下水資源保育的參考依據。





第四章 研究方法與過程

本研究計畫流程如圖4-1所示，各項研究方法包括資料前處理、資料降維分析(因素分析及相關性分析)、地理統計推估(半變異元分析及克利金法)、空間自相關分析(全域型及區域型)等，各項方法簡述如下。

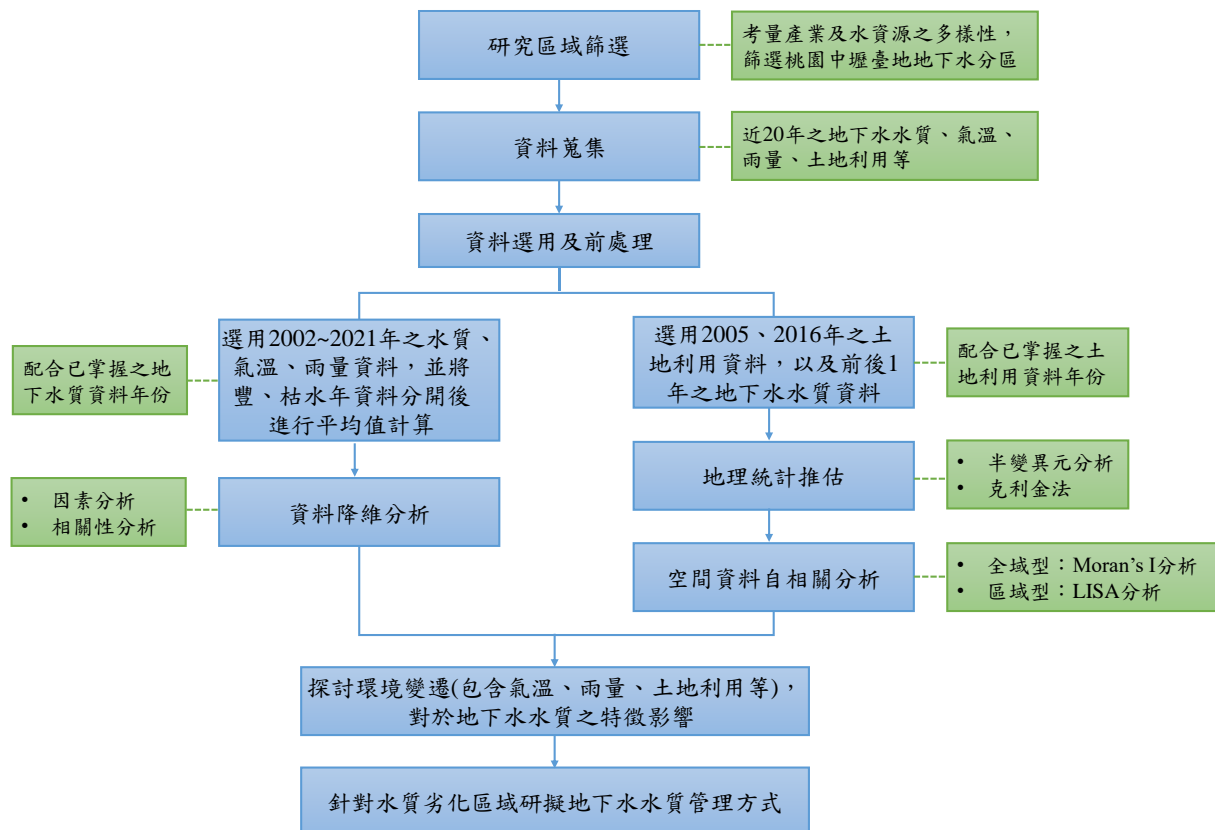


圖4-1、本研究工作流程圖

一、資料選用及前處理

本研究已掌握各項資料及來源如表4-1所示。由於地下水水質資料早期是以每季進行監測工作，且自2010年起部分測站已改為每半年或每年辦理監測工作，本研究為使資料時間尺度一致，故將地下水水質資料統一轉成年平均值；而雨量及氣溫資料則配合地下水資料尺度，將月資料統一轉換成年平均值。此外，在空間尺度方面，由於地下水水質監測站、氣象站及土地利用之空間位置不同，在因素分析時，將以氣象站為主，採用徐昇氏



多邊形法進行劃分，將劃分區域內之氣象站視為影響該口監測井之重要氣象測站；而在空間統計推估時，預計將研究區域(桃園中壢臺地)劃分為500公尺*500公尺之網格資料，土地利用資料以該網格占比最高的視為此網格之土地利用類型，而地下水水質監測站及氣象站之資料則是以空間統計推估方法，將歷年監測之點狀資料轉換成網格面資料。

表4-1、本研究已掌握資料集

資料	資料年份、尺度	資料來源
監測井基本資料	2022年、每站	行政院環境保護署
地下水水質資料	2002~2021年、每季	行政院環境保護署
測站基本資料	2022年、每站	交通部中央氣象局
雨量資料	1995~2021年、每月	交通部中央氣象局
氣溫資料	1995~2021年、每月	交通部中央氣象局
土地利用分布	2005、2016年、空間分布	內政部國土測繪中心

上述徐昇氏多邊形法可決定各氣象站之影響控制面積，徐昇氏多邊形法之執行方法說明如下(王如意、易任，2003)：

- (一) 將所有 n 個相鄰之監測站以直線兩兩相連，構成多個三角形。
- (二) 建構氣象站連線之垂直平分線，亦即做三角形各邊之垂直平分線，三邊之垂直平分線必交於一點，即三角形之外心。
- (三) 連接各三角形之外心，或以多個垂直平分線交會形成 n 個多邊形，即徐昇多邊形網。
- (四) 進行平均雨量/氣溫之計算時，假設此多邊形內之雨量/氣溫即等於該氣象站之量值，故每個氣象站所控制的範圍，即為該多邊形之面積。
- (五) 將各氣象站實測之雨量/氣溫紀錄，乘以各站之控制面積，然後求其總和，再以總地下水分區面積除之，即得地下水分區之平均雨量/氣溫結果。其計算公式可寫為：

$$\bar{P} = \frac{(\sum_{i=1}^N P_i A_i)}{(\sum_{i=1}^N A_i)}$$



式中， \bar{P} = 平均雨量/氣溫； A_i = 氣象站*i*所控制之徐昇多邊形位於範圍內之面積。

(六) 每個氣象站所控制的加權因子，即以該氣象站的徐昇多邊形在地下水分區內之面積計算：

$$W_i = \frac{A_i}{A}$$

式中， W_i = 加權因子，無因次； A = 地下水分區總面積。

(七) 地下水分區平均雨量/氣溫亦可以下式計算：

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^N W_i P_i$$

二、資料降維分析

(一) 因素分析

因素分析目的為資料簡化和摘要，前者是以計算因素得分達成，後者則是以少數幾個因素來說明一大群原有之變數，即是在複雜的多種變數中找尋相關性，其乃以「共變異數」為導向，不同於主成份分析是以「變異數」為導向。因素分析之目標為尋找原來變數的線性組合使其變異數最大，進而將多個具相關之變數簡化為少數幾個無相關之變數，若變數間皆不相關則無需利用此方法再簡化，屬一探索性資料分析方法。因素分析法與迴歸分析最大之差異為此法中每個變數皆視為同等，而迴歸分析為將變數分成自變數與應變數兩類，而因素分析最大的好處是能降低維度，即減少變數個數，只考慮幾個主因素而不計權重較小之因素，但缺點則是會損失少部分原始資料代表的訊息。本研究以相關矩陣計算分析，將每個變數均同等看待，無應變數與獨立變數。因素分析之分析步驟如下(羅積玉，1994；陳順宇，2004)：

1. 原始資料之標準化：由於各變數單位不同，故先將原始變量數(各檢測項目)與監測井水質樣本數所構成的原始數據矩陣予以標準化轉換，標



準化轉換後之數據矩陣，其平均值為0，變異數為1。

2. 相關矩陣之主成分分析：由上述過程所產生之相關矩陣求解其特徵值及其相對應的特徵向量，再由單位特徵向量矩陣與上述之標準化數據矩陣，可得一組由原始變量所重新組合且彼此互不相關的新變量矩陣，再進行標準化。
3. 確定主因子：由於因素分析法中各個變數皆為同等，故由上述兩步驟可得數個新因子，且其數量與原始變量數相同，此時必須對這些因子進行刪減，且保留重要主因子以簡化問題，而主因子選取的方式一般有四種，包括陡坡測試、保留特徵值大於1之因子、因子特徵值之解釋能力小於5%予以刪除，或採用前面數個變異量總和達總變異量80%~95%之因子。
4. 因子軸旋轉：為使各主因子與變數間關係更為清楚，須將上述過程中產生之因子負荷矩陣進行旋轉，使因子負荷趨向0或1兩極化靠近，達到結構簡化與主因子意義清楚之目的。而旋轉方式眾多，本議題使用最常見之變異最大旋轉法(varimax rotation)，使因子負荷矩陣中，各因子負荷的總變異量達到最大。
5. 計算因子得分：最後得到之主因子為原始變數之線性組合，故利用因子得分計算可由因子的角度解釋原始變量，並進行歸納。將轉置後的因子負荷矩陣、相關矩陣之逆矩陣與標準化後之數據矩陣三者相乘即為因子得分。

本研究配合已掌握之地下水質資料年份，預計選用2002~2021年之水質、氣溫、雨量資料，而為評估豐、枯水年所造成之影響，本研究以桃園中壢臺地10個氣象測站在2002~2021年之年降雨量平均值之95%信賴區間當作門檻值，若該年度雨量超過95%信賴區間上限則視該年度為豐水年，反之亦然。本研究依據上述豐、枯水年區分方式，將中央氣象局歷年之氣溫及雨量紀錄，以及環保署歷年監測之29項地下水水質項目(包括水溫、導電度、酸鹼值、氧化還原電位、溶氧、總硬度、總溶解固體物、總有機碳、硫酸鹽、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、鐵、錳、總酚、鈣、鎂、鈉、鉀、總鹼度、砷、汞、銅、鋅、鉛、鎘、鉻、鎳等項目)區分為豐、枯水年，並將



各年度監測值進行平均後，得到豐、枯水年各項監測數值，再以因素分析方法將其之29項水質、氣溫、雨量等項目進行維度縮減，以利釐清氣溫及雨量與哪些水質項目歸在同一因素之中，並探討豐、枯水年是否造成項目歸類結果之差異。

(二) 相關性分析

由於水質資料、氣溫、及雨量資料皆為連續數據，故本研究先採用散佈圖先觀察兩個變項之相關程度，並計算其相關係數(coefficient of correlation)，藉以描述兩個變項的配對觀察值的分佈，其運算必須考慮到兩個變項各自的集中與分散狀況，以及配對分數的集中與分散狀況，將所有觀察值的分佈情形納入考慮，以共變數的概念進行。相關係數是一個標準化的關聯係數，其原理是先計算出兩個變項的共變量，再除去兩個變項的不同分散情形與單位差異(即標準差)，加以標準化，得到的一個去除單位的標準化分數。

若有 n 組樣本： (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 \cdots 、 (X_n, Y_n) ，則相關係數公式如下：

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}$$

$$S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

其中， r_{XY} 為相關係數、 S_{XY} 為 X 與 Y 的樣本共變異數。



相關係數特質包括(1)隨著共變數的大小與正負向，相關係數可以分為正相關(完全正相關)、負相關(完全負相關)、零相關五種情形。(2)相關的大小需經顯著性檢定來證明是否顯著(是否有統計上的意義)。(3)相關係數介於-1至1之間。(4)相關情形的大小非與 r 係數大小成正比。(5)相關並不等於因果。(6)相關係數沒有單位，可以進行跨樣本的比較。相關係數的範圍與代表意義如表4-2所示。

表4-2、相關係數的範圍與代表意義

相關係數(絕對值)	變相關聯程度
1.00	完全相關
0.70~0.99	高度相關
0.40~0.69	中度相關
0.10~0.39	低度相關
<0.10	微弱或無相關

由於相關係數值的大小，僅能反應兩個變項關聯性的強弱，但是相關係數是否具有統計上的意義，則必須透過統計檢定來判斷。由樣本計算兩變項之相關係數，若要推論到母群 ρ ，必須經由統計檢定由考驗其統計意義，假設如下。

- 虛無假設 H_0 ：兩變項 X 與 Y 不相關(相關係數為0， $\rho = 0$)
- 對立假設 H_1 ：兩變項 X 與 Y 相關(相關係數不為0， $\rho \neq 0$)

當雙尾的機率 p 小於設定的顯著水準 α (一般為0.05)時，則否定虛無假設，即相關係數不為零，意即推斷兩變項具相關性。

三、地理統計推估

本研究為避免採用之年度資料單一性，故搭配土地利用取得年份(2005年及2016年)，分別選用該年度前、後1年之水質資料平均值進行分析(2004~2006年及2015~2017年)，並依據環保署公告第一類及第二類地下水污染監測標準及區域性監測井長年監測項目，篩選共計20項水質項目進行地下水污染潛勢評估(詳見表4-3所示)，當水質項目低於第一類地下水污染監測標準時，因其污染潛勢極低，故本研究將此分數設定為0.01(極微小值)，



而當水質項目介於第一類及第二類之地下水污染監測標準時，代表可能有些許污染潛勢，故分數設定為0.5，而當水質項目高於第二類地下水污染監測標準時，即視為有污染潛勢，故分數設定為1；而重金屬項目及一般水質項目屬於地下水污染管制項目，故本研究將此11項視為污染潛勢較高之項目，故給予2倍權重值，其餘9項背景與指標水質項目則視為污染潛勢較低之項目，故給予1倍權重值。而依據上述計算方式，可得出每口監測井污染潛勢合計值，計算公式如下。

$$\text{污染潛勢合計值} = \sum \text{分數 } r \times \text{權重 } w$$

表4-3、本研究採用之地下水污染監測標準之項目及標準值

地下水污染監測項目	監測標準值	
	第一類	第二類
重金屬		
砷(As)	0.025	0.25
鎘(Cd)	0.0025	0.025
鉻(Cr)	0.025	0.25
銅(Cu)	0.5	5
鉛(Pb)	0.005	0.05
汞(Hg)	0.001	0.01
鎳(Ni)	0.05	0.5
鋅(Zn)	2.5	25
一般項目		
硝酸鹽氮(以氮計) (Nitrate as N)	5	50
亞硝酸鹽氮(以氮計) (Nitrate as N)	0.5	5
氟鹽(以 F ⁻ 計) (Fluoride as F ⁻)	0.4	4
背景與指標水質項目		
鐵(Fe)	0.15	1.5
錳(Mn)	0.025	0.25
總硬度(以 CaCO ₃ 計)	150	750
總溶解固體物	250	1250
氯鹽	125	625
氨氮	0.05	0.25
硫酸鹽(以 SO ₄ ²⁻ 計)	125	625
總有機碳	2	10
總酚	0.014	0.14



接著以半變異元分析及克利金法等地理統計方式進行空間推估，目的為將單點之監測井污染潛勢資料轉換成空間面資料，即可推估出研究區域中，每一網格之地下水污染潛勢合計值，釐清整體地下水污染潛勢分布狀況，亦有助於後續空間自相關分析之應用，關半變異元分析、克利金法、及驗證方式說明如下。

(一) 半變異元分析

地理統計基本假設區域內隨機變數之期望值及變異數為常數，而空間內任意兩點之共變異數只與相對距離有關，然此假設條件通常過於嚴苛，因此若期望值及變異數與共變異數具有與相對距離有關之特性，即符合本質假設。上述兩項假設為區域化變數之理論基礎，分析空間變數分布之具有特定結構，並由此結構推估區域內變數分布特性(Delhomme, 1978)。實際應用時，通常先以各觀測點所測得之觀測值，以下列方程式建立試驗半變異元 $\gamma(h)$ (experimental semivariogram)。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i + h) - z(u_i)]^2 \right\}$$

其中 $N(h)$ 為配對數， $z(u_i)$ 為隨機變數， h 為間距。再以理論半變異元模式套配，求取最適模式，而理論模式包括指數、高斯、球型等三種，並決定模式中影響範圍(range, a)、臨界變異值(sill, c)、碎塊效應(nugget effect, c_0)等參數，說明如下。

1. 球型模式：

$$\begin{cases} \gamma(h) = c_0 + c \left[1.5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & , \quad h \leq a \\ \gamma(h) = c_0 + c & , \quad h > a \end{cases}$$

2. 指數模式：

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right]$$



3. 高斯模式：

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{3h}{a} \right)^2 \right) \right]$$

(二) 克利金法

克利金推估法乃是基於區域化變數理論，建立區域化變數於不同相對位置間的變異函數以做為推估之依據，發展出之推估系統方程式，在已知半變異元函數情況下，利用克利金系統方程式即可求得最佳估計權重，並可分別求得最佳不偏推估值及其對應的克利金變異數，若推估之克利金變異數越接近於零，則代表推估的結果較佳。

四、空間自相關分析

本研究以上述地下水污染潛勢分布及所蒐集到2005、2016年之土地利用類型進行空間自相關分析，而為統一空間資料型式，預計將土地利用資料以該網格占比最高的視為此網格之土地利用類型。空間自相關分析分為全域型(Global)及區域型(Local)兩種，前者僅能判斷空間是否存在聚集現象，後者則能判斷空間聚集現象位於哪些區域中，本研究全域型空間自相關將採用常用之 Moran' s I 公式進行分析，以利掌握污染潛勢分布及土地利用類型等是否有聚集現象；而區域型空間自相關則以 Moran' s I 為概念，以 Local indicators of spatial association (LISA)取得局部空間分布聚集狀況，故可掌握污染潛勢分布及土地利用類型之聚集位置分布。

(一) Moran's I 公式

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

其中，n 為資料數量； x_i 為每單位內變數之數值大小； \bar{x} 為單位內之變數平均值； w_{ij} 為相鄰單位間之權重大小；W 為所有權重之總和。



依照上述公式運算結果，當 $I = 0$ 該組資料屬隨機分布； $I > 0$ 該組資料趨近於聚集分布； $I < 0$ 該組資料趨近於離散分布。一般透過蒙地卡羅顯著性檢定(Monte Carlo significance test)，將 I 值轉換化成 Z -score 進行顯著性檢定時，在95%信心水準下， $p < 0.05$ 即為顯著，也就是在 $Z\text{-score} > 1.96$ 或 $Z\text{-score} < -1.96$ 時，代表這組數據有顯著的集中或是分散現象。

(二) Local indicators of spatial association (LISA)

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

其中， z_i, z_j 為不同位置之標準化的數值； w_{ij} 為相鄰單位間的權重大小。

此法是利用 Moran's I 的概念進行改良，計算特定空間單元本身屬性值與鄰近周邊屬性平均值之比較，會產生高-高、低-高、低-低、高-低高等四種型態，如表4-4所示。

表4-4、區域型空間自相關(LISA)分析結果說明

LISA 結果	本身	周遭	意義說明
高-高	高	高	本身屬性值高於周遭平均值
低-高	低	高	本身屬性值低於周遭的高屬性
低-低	低	低	本身屬性值低於周遭平均值
高-低	高	低	本身屬性值高於周遭的低屬性

(三) 驗證方式

由於本研究選用地下水污染潛勢評估之水質項目是以整體地下水污染潛勢為考量，並非考慮單一污染物特性，故在資料驗證上，採用環保署地下水污染場址資料做為本研究地下水污染潛勢評估之驗證資料，以上述地理統計推估建置之網格，計算每個網格實際發生地下水污染事實之機率，若機率計算結果與地下水污染潛勢評估結果一致，意即當該網格地下水污染潛勢評估越高，則實際發生地下水污染機率越高時，則可驗證本研究地下水污染潛勢評估結果尚屬合理。



五、工作進度甘特圖

<div>年月</div> <div>工作項目</div>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備註
監測井基本及水質資料、土地利用、用水量及產業變化等資料之前處理工作	■	■	■										
以因素分析方法將多項水質進行降維，並釐清各項水質間之相關性			■	■	■								
以地理統計推估方法分析每一網格之地下水污染潛勢合計值					■	■	■						
以空間自相關方法分析各項水質污染潛勢之空間關聯性及群聚情形								■	■	■			
研提環境變遷下不同土地利用類型之地下水污染潛勢因應方式											■	■	
研究結果分析及報告撰寫					■	■※					■	■※	
工作進度估計百分比 (累 積 數)	5 %	15 %	25 %	30 %	40 %	50 %	55 %	65 %	75 %	80 %	90 %	100 %	
預定查核點	期中		完成資料蒐集及前處理，並完成水質資料降維及相關性分析。										
	期末		完成污染潛勢計算及空間自相關分析，並研提環境變遷下不同土地利用類型之地下水污染潛勢因應方式。										
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，其中期中報告書提要要件需達計畫執行進度50%以上，期末報告書需於計畫結束前1.5個月提送。													





第五章 結果與討論

本研究依據前章節圖4-1流程圖執行工作，已於期中報告前已完成資料前處理(區域性監測井與氣象站整併、歷年豐枯平水年定義、及其各水年各水質項目之敘述統計)、資料降維分析(資料前處理、相關性分析、成對樣本 T 檢定分析、及各水年之因素分析)、地理統計推估(成對樣本 T 檢定分析、地下水污染潛勢推估、及空間自相關分析)，並已於期末報告依據上述成果，完成空間自相關分析驗證工作、探討環境變遷對地下水水質特徵之影響，並針對水質劣化區域研提地下水水質保護與管理方式。

5.1 資料降維分析

一、資料前處理

(一) 區域性監測井與氣象站整併

本研究區域為桃園中壢臺地地下水分區，研究區域內現有26口區域性監測井、10站中央氣象局所設之氣象站，由於監測井與氣象站設置位置不同，考量監測井水質數據眾多，而本研究僅需擷取氣象站之氣溫及雨量等兩種資料，為整併兩者資料，本研究以氣象站為主，採用徐昇氏多邊形法進行劃分，將劃分區域內之氣象站視為影響該口監測井之重要氣象測站，成果如圖5.1-1所示，而位在各氣象站區域內之監測井名單如表5.1-1所示，其中，大溪國小(H00024)、龍源國小(H00026)、石門國小(H00025)等3口監測井位在桃園中壢臺地地下水分區之外，故後續將不採用此3口監測井之資料進行分析。

(二) 歷年(近20年)豐枯平水年定義

本研究配合已掌握之地下水質資料年份，選用2002~2021年之地下水水質資料、及氣象站之氣溫與雨量資料，而為評估豐、枯水年所造成之影響，本研究以桃園中壢臺地10個氣象測站在2002~2021年之年降雨量平均值(2,004 mm)當作門檻值，而95%信賴區間則分別為1,750 mm 及2,258 mm，如圖5.1-2所示，若該年度平均雨量超過95%信賴區上限值(2,258 mm)則視該年



度為豐水年，而若該年度平均雨量低於95%信賴區下限值(1,750 mm)則視該年度為枯水年，若本該年度平均雨量介於兩者之間則視該年度為平水年，本研究所定義研究區域之豐、枯、平水年彙整表如表5.1-2所示。

(三) 各水年各水質項目之敘述統計

本研究依據上述豐、枯、平水年之區分方式，將中央氣象局歷年之氣溫及雨量紀錄，以及環保署歷年監測之29項地下水水質項目區分為豐、枯、平水年，並將各水年之各測站數值進行敘述統計分析後，得到豐、枯、平水年之各項監測數值，包括最小值、最大值、平均數、標準差、變異數等(如表5.1-3~5所示)，為使後續辦理之因素分析及地理統計分析更具代表性，故本研究將敘述統計結果變異數為0之項目優先進行排除、不納入後續分析，不論是豐、枯、平水年，其變異數為0之項目包括汞、砷、總酚、鉛、鉻、銅、鋅、鎘、鎳等9項水質項目。

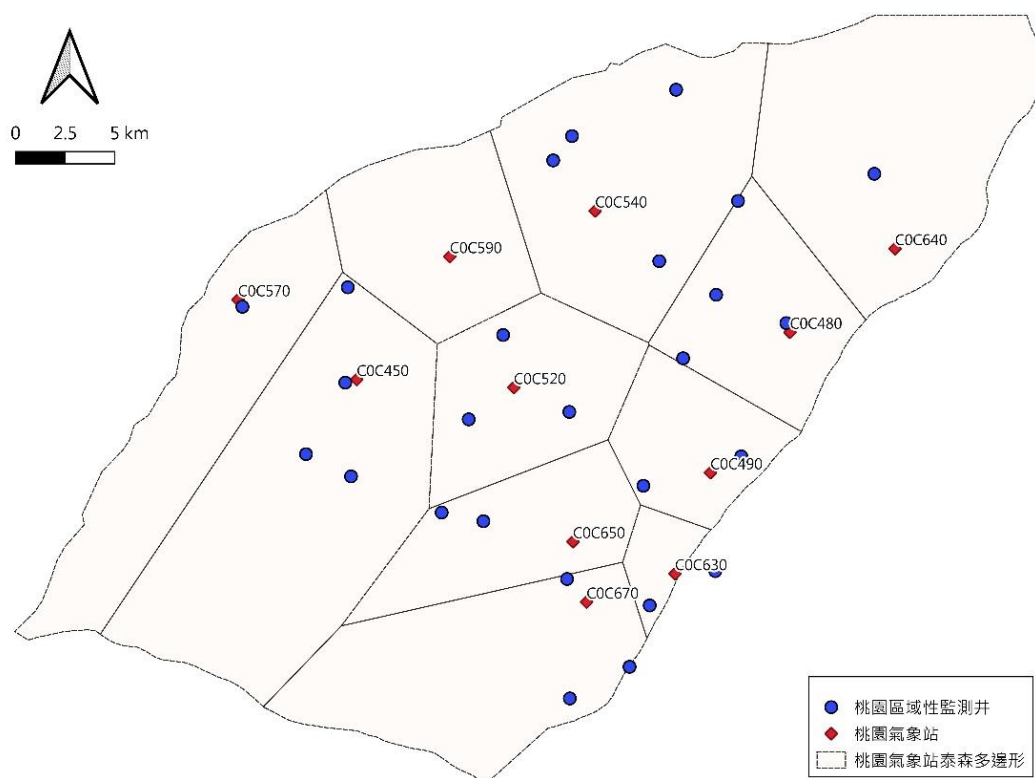


圖5.1-1、桃園中壢臺地氣象站徐昇氏分區圖



表5.1-1、氣象站與區域性監測井之徐昇氏分區成果比對表

氣象站站號	氣象站站名	區域性監測井號	區域性監測井站名
C0C490	八德	H00017	瑞豐國小
		H00019	忠貞國小
C0C540	大園	H00001	海湖國小
		H00002	后厝國小
		H00005	大園國中
		H00006	大竹國小
C0C630	大溪	H00875	瑞祥國小
		H00024	大溪國小
C0C520	中壢	H00010	大崙國小
		H00014	中華電信研究所
		H00015	新明國中
C0C650	平鎮	H00021	大同國小(桃園縣)
		H00023	楊光國中小(94設)
C0C480	桃園	H00008	中埔國小
		H00011	青溪國中
		H00013	龍山國小
		H01060	南崁高中(105設)
C0C450	新屋	H00007	育仁國小
		H00012	新屋國中
		H00016	富岡國小
		H00020	瑞原國小
C0C570	新屋-衛星	H00009	北湖國小
C0C670	龍潭	H00022	潛龍國小
		H00026	龍源國小
		H00025	石門國小
C0C640	龜山	H00004	長庚醫院



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

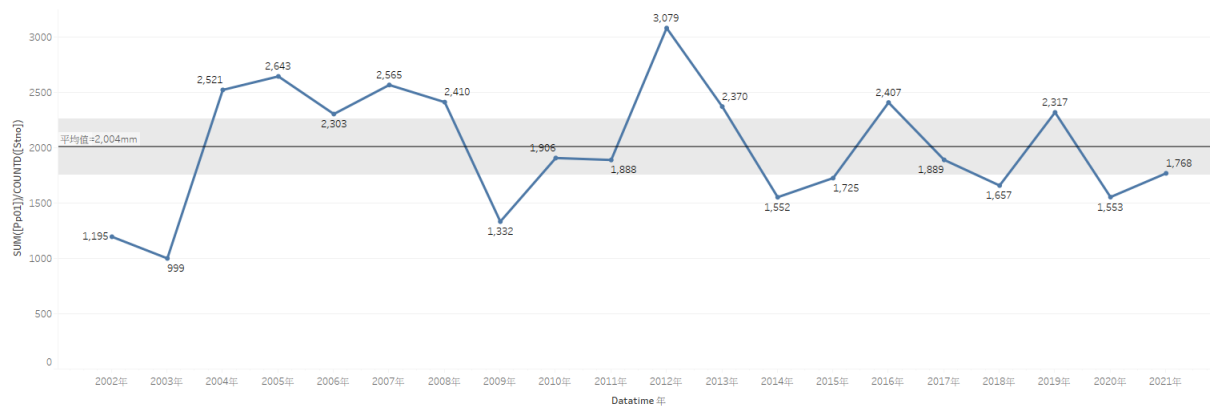


圖5.1-2、歷年平均年降雨量趨勢圖

表5.1-2、歷年豐、枯、平水年份彙整表

類型	年份
豐水年 (共9個年度)	2004、2005、2006、2007、2008、2012、2013、2016、2019
平水年 (共4個年度)	2010、2011、2017、2021
枯水年 (共7個年度)	2002、2003、2009、2014、2015、2018、2020



表5.1-3、豐水年各項水質項目敘述統計彙整表

項目	最小值	最大值	平均數	標準差	變異數
年雨量	1953.00	2850.00	2349.217	239.484	57352.542
氣溫	21.39	22.70	22.092	0.357	0.128
導電度	137.27	942.67	397.894	182.939	33466.821
氟鹽	0.00	0.37	0.072	0.102	0.010
氧化還原電位	-74.70	254.00	123.217	83.793	7021.240
氨氮	0.01	2.42	0.350	0.578	0.334
氯鹽	9.55	122.18	38.041	27.803	773.017
水溫	23.90	26.49	25.159	0.742	0.550
汞	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
溶氧(電極法)	0.14	3.30	1.147	1.029	1.059
砷	0.00	0.03	0.002	0.007	0.000
硝酸鹽氮	0.03	9.54	1.447	2.041	4.165
硫酸鹽	8.46	88.30	53.074	22.817	520.608
總有機碳	0.62	4.42	1.765	0.922	0.851
總溶解固體物	81.06	593.29	249.545	111.296	12386.727
總硬度	21.59	272.75	110.672	61.339	3762.424
總酚	0.00	0.04	0.004	0.010	0.000
總鹼度	1.94	215.00	69.300	61.997	3843.629
酸鹼值	4.80	6.56	5.712	0.536	0.288
鈉	8.98	71.82	28.615	17.149	294.089
鈣	4.68	87.11	25.720	21.078	444.287
鉀	0.39	17.46	3.375	3.870	14.978
鉛	0.00	0.01	0.003	0.002	0.000
鉻	0.00	0.00	0.001	0.001	0.000
銅	0.00	0.01	0.003	0.003	0.000
鋅	0.01	0.10	0.051	0.026	0.000
錳	0.00	2.91	0.526	0.781	0.611
鎂	2.02	21.22	10.404	5.117	26.182
鎘	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
鎳	0.00	0.02	0.002	0.005	0.000
鐵	0.03	25.34	1.719	5.308	28.173

註：粗體代表變異性為0之水質項目。



表5.1-4、枯水年各項水質項目敘述統計彙整表

項目	最小值	最大值	平均數	標準差	變異數
年雨量	1001.00	1762.00	1289.565	231.526	53604.257
氣溫	21.45	23.23	22.593	0.568	0.323
導電度	136.50	735.50	395.860	164.018	26901.892
氟鹽	0.00	0.24	0.059	0.076	0.006
氧化還原電位	-117.63	242.00	110.468	91.172	8312.295
氨氮	0.01	1.80	0.330	0.475	0.226
氯鹽	11.98	148.21	43.461	33.982	1154.767
水溫	24.07	26.58	25.363	0.717	0.514
汞	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
溶氧(電極法)	0.15	2.20	0.910	0.775	0.601
砷	0.00	0.03	0.002	0.007	0.000
硝酸鹽氮	0.09	4.59	1.247	1.168	1.364
硫酸鹽	9.57	79.31	49.963	20.327	413.190
總有機碳	0.42	3.55	1.389	0.846	0.715
總溶解固體物	84.22	506.94	260.684	106.490	11340.106
總硬度	24.62	221.63	109.484	53.524	2864.799
總酚	0.00	0.02	0.004	0.005	0.000
總鹼度	1.44	174.89	68.666	53.874	2902.407
酸鹼值	4.89	6.61	5.770	0.518	0.268
鈉	8.86	87.35	31.569	21.880	478.747
鈣	4.67	116.62	31.489	26.904	723.834
鉀	0.39	12.33	3.458	2.988	8.928
鉛	0.00	0.02	0.009	0.004	0.000
鉻	0.00	0.01	0.005	0.002	0.000
銅	0.00	0.01	0.006	0.003	0.000
鋅	0.02	0.11	0.048	0.025	0.001
錳	0.02	2.45	0.519	0.638	0.407
鎂	2.22	23.77	10.640	5.660	32.033
鎘	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
鎳	0.00	0.02	0.002	0.004	0.000
鐵	0.02	25.89	3.757	6.749	45.549

註：粗體代表變異性為0之水質項目。



表5.1-5、平水年各項水質項目敘述統計彙整表

項目	最小值	最大值	平均數	標準差	變異數
年雨量	1381.50	2089.50	1743.096	165.648	27439.310
氣溫	21.21	22.93	22.168	0.565	0.319
導電度	114.29	849.00	406.579	163.718	26803.484
氟鹽	0.00	0.23	0.059	0.076	0.006
氧化還原電位	-107.05	348.33	146.600	112.586	12675.578
氨氮	0.00	1.00	0.232	0.324	0.105
氯鹽	11.33	171.00	40.824	35.892	1288.270
水溫	24.18	27.33	25.721	0.872	0.761
汞	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
溶氧(電極法)	0.10	3.67	1.173	1.068	1.140
砷	0.00	0.04	0.002	0.007	0.000
硝酸鹽氮	0.00	3.91	0.942	1.039	1.080
硫酸鹽	8.83	98.22	54.913	23.890	570.728
總有機碳	0.28	2.76	0.948	0.631	0.398
總溶解固體物	68.07	472.00	251.813	93.626	8765.766
總硬度	20.26	184.00	109.720	47.731	2278.213
總酚	0.00	0.07	0.009	0.018	0.000
總鹼度	1.47	158.67	66.498	52.042	2708.369
酸鹼值	4.83	6.56	5.796	0.561	0.315
鈉	9.22	104.98	31.816	23.489	551.734
鈣	4.37	58.00	26.176	17.497	306.156
鉀	0.39	10.12	3.080	2.655	7.050
鉛	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
鉻	0.00	0.00	0.001	0.001	0.000
銅	0.00	0.01	0.001	0.001	0.000
鋅	0.01	0.11	0.018	0.021	0.000
錳	0.00	2.37	0.462	0.637	0.406
鎂	1.88	22.47	10.277	5.347	28.592
鎘	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
鎳	0.00	0.03	0.002	0.006	0.000
鐵	0.02	25.63	1.793	5.465	29.867

註：粗體代表變異性為0之水質項目。



二、 相關性分析

本研究將上述水質變異數為0的9項水質項目刪除後，將剩餘20項水質項目、雨量、及氣溫等共計22項進行 Pearson 相關性分析，結果如表5.1-6所示，顯示雨量與氣溫、導電度、氯鹽、水溫、總溶解固體物、酸鹼值、鈉、鎂、鐵等9項水質項目具有顯著負相關性；而雨量與氧化還原電位則具有顯著正相關性，此結果將結合因素分析結果進行探討。

三、 成對樣本 T 檢定分析

本研究為釐清豐水年與枯水年之水質項目是否具有差異性，故先將各監測井監測資料之區分成不同水年，並計算每個水質測站在不同水年之歷年監測平均值，其資料以成對樣本 T 檢定進行分析，結果如表5.1-7所示，顯示雨量、氣溫、水溫、總有機碳、酸鹼值、鐵等6項在豐水年及枯水年具有顯著差異，此結果將結合因素分析結果進行探討。

四、 因素分析

本研究分別將針對豐、枯、平水年之20項水質項目、雨量、及氣溫等共計22項進行因素分析，以釐清氣溫、雨量分別被歸類在哪一種因素當中，並同時確認上述成對樣本 T 檢定有顯著差異的6項水質項目，被歸類在哪一種因素當中，豐、枯、平水年經因素分析轉軸平方和後所得之特徵值與解說總變異量如表5.1-8所示，考量因素分析原則為因素之選擇不宜太多，故本計畫選出特徵值大於1的主要因素，做為豐、枯、平水年之主要特徵，累積變異量分別為87.609 %、87.150 %、82.720 %，以平水年之累積變異量及因素數量最小。

本研究選取各因子負荷量絕對值大於0.5之值，進行因素命名及分類探討，定義為背景因子、沉積因子、鹽化因子、氣候因子等因子，部分因子只包含單項水質項目，故不予以分類命名探討，各水年之因素分析之水質特性彙整如表5.1-9所示，以下將詳述各主要因素的水質特性。



(一) 背景因子

此因子主要以總鹼度、總有機碳、總硬度、酸鹼值、氨氮、鈣、鉀為主，另由成對樣本 T 檢定分析顯示總有機碳、酸鹼值等2項具有顯著差異性，由於有機物在還原環境經礦化作用或降解作用會與厭氧菌催化，使有機物質分解成相對較小分子之腐植物質，同時會釋出大量之碳酸鹽、碳酸氫鹽等，造成水體中總鹼度升高(歐東坤，2005；陳冠宇，2007)。在豐水年時，此項因子包含部分鹽化因子，包括總溶解固體物及導電度等，由於導電度代表水導電性質，通常導電度大者其電解質含量較多，主要是因為大部分鹽類都可電離，導電度也可表示水中總溶解固體的多寡；而在枯水年及平水年時，此項因子包含氧化還原電位及氟鹽等，其原因與降雨量減少易造成地下水偏向還原條件，而還原環境易造成脫氮作用而消耗水中的硝酸鹽氮並產生氨氮(Nickson et al., 2000)。

(二) 沉積因子

此因子主要以鐵、錳等項目為主，其中鐵在成對樣本 T 檢定分析結果具有顯著差異性，由於鐵、錳為地層自然存在物質，一般而言，地下水大多屬於還原環境，在長期厭氧狀態下，地殼中以非溶解性氧化態存在的鐵及錳，會還原成溶解態離子(Goren, 2009)，在豐水年時，此因子包含硝酸鹽氮，Chen and Liu (2003)指出硝酸鹽氮在氧化的環境下才較容易形成，故說明在還原環境易造成脫氮作用而消耗水中的硝酸鹽氮。

(三) 鹽化因子

此因子主要以氯鹽、鈉、硫酸鹽、鎂等項目為主，本研究之主要鹽化因子與前人研究之鹽化指標相符(行政院環境保護署，2017)，由於鎂、鈉等鹼金屬、以及總溶解固體、硫酸鹽、氯鹽等在海水中之含量相當豐富，故亦與地下水鹽化具有相關性。在枯水年及平水年時，此因子包含總溶解固體物、導電度等項目，此結果與上述相關性分析結果相符，意即在雨量減少狀況下，其導電度、氯鹽、總溶解固體物、鎂、鈉等項目之濃度將隨之增加，彼此之間呈現顯著負相關性。



(四) 氣候因子

此因子主要以雨量及氣溫為主，其結果與成對樣本 T 檢定分析相符，顯示不論是在豐水年或枯水年，雨量及氣溫皆有顯著差異且被歸類在同一因素當中，在豐水年時，此因子包含氧化還原電位，且與雨量同為負相關，此結果與上述相關性分析結果相符，說明雨量增加亦同時造成地下水偏向氧化條件，而在枯水年時，此因子包含部分鹽化因子，例如硫酸鹽、鎂等，此原因與前人研究相符，經濟部水資源局(2001)指出在枯水期因雨量少，常以抽取地下水來補足地面水之不足，可能導致地下水位下降進而引發海水入侵。



表5.1-6、各項水質與雨量之相關性分析結果

項目		雨量	項目		雨量
雨量	Pearson 相關	1	總有機碳	Pearson 相關	0.012
	顯著性(單尾)	—		顯著性(單尾)	0.416
	個數	334		個數	334
氣溫	Pearson 相關	-0.329**	總溶解固體物	Pearson 相關	-0.119*
	顯著性(單尾)	0.000		顯著性(單尾)	0.015
	個數	261		個數	334
導電度	Pearson 相關	-0.099*	總硬度	Pearson 相關	-0.039
	顯著性(單尾)	0.036		顯著性(單尾)	0.237
	個數	334		個數	334
氟鹽	Pearson 相關	0.001	總鹼度	Pearson 相關	-0.042
	顯著性(單尾)	0.494		顯著性(單尾)	0.242
	個數	113		個數	282
氧化還原電位	Pearson 相關	0.234*	酸鹼值	Pearson 相關	-0.112*
	顯著性(單尾)	0.016		顯著性(單尾)	0.020
	個數	85		個數	334
氨氮	Pearson 相關	0.027	鈉	Pearson 相關	-0.192**
	顯著性(單尾)	0.315		顯著性(單尾)	0.001
	個數	334		個數	282
氯鹽	Pearson 相關	-0.112*	鈣	Pearson 相關	-0.052
	顯著性(單尾)	0.021		顯著性(單尾)	0.194
	個數	334		個數	282
水溫	Pearson 相關	-0.219**	鉀	Pearson 相關	0.038
	顯著性(單尾)	0.000		顯著性(單尾)	0.264
	個數	334		個數	282
溶氧(電極法)	Pearson 相關	0.124	錳	Pearson 相關	-0.048
	顯著性(單尾)	0.130		顯著性(單尾)	0.191
	個數	85		個數	334
硝酸鹽氮	Pearson 相關	0.077	鎂	Pearson 相關	-0.190**
	顯著性(單尾)	0.080		顯著性(單尾)	0.001
	個數	334		個數	282
硫酸鹽	Pearson 相關	-0.039	鐵	Pearson 相關	-0.129**
	顯著性(單尾)	0.236		顯著性(單尾)	0.009
	個數	334		個數	334

** . 在顯著水準為0.01時(單尾)，相關顯著。

* . 在顯著水準為0.05時(單尾)，相關顯著。



表5.1-7、各項水質在豐、枯水年之成對樣本 T 檢定分析結果

項目	成對變數差異					顯著性 (單尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間		
				下界	上界	
雨量	-1059.652	161.144	33.601	-1129.336	-989.968	0.000
氣溫	0.501	0.377	0.079	0.339	0.664	0.000
導電度	-2.034	80.761	16.840	-36.957	32.890	0.452
氟鹽	-0.013	0.083	0.017	-0.048	0.023	0.233
氧化還原電位	-8.304	49.985	10.657	-30.467	13.858	0.222
氨氮	-0.020	0.151	0.032	-0.086	0.045	0.263
氯鹽	5.420	20.050	4.181	-3.250	14.090	0.104
水溫	0.204	0.465	0.097	0.003	0.405	0.023
溶氧(電極法)	-0.206	0.647	0.138	-0.493	0.081	0.075
硝酸鹽氮	-0.200	1.104	0.230	-0.678	0.277	0.197
硫酸鹽	-3.111	11.215	2.339	-7.961	1.739	0.099
總有機碳	-0.377	0.301	0.063	-0.507	-0.246	0.000
總溶解固體物	11.139	55.032	11.475	-12.659	34.936	0.171
總硬度	-1.188	28.383	5.918	-13.462	11.085	0.421
總鹼度	-0.634	18.101	3.774	-8.462	7.193	0.434
酸鹼值	0.058	0.111	0.023	0.010	0.106	0.010
鈉	2.954	13.032	2.717	-2.681	8.590	0.144
鈣	5.769	19.770	4.122	-2.780	14.318	0.088
鉀	0.083	1.342	0.280	-0.498	0.663	0.385
錳	-0.007	0.285	0.059	-0.130	0.116	0.453
鎂	0.236	2.164	0.451	-0.700	1.172	0.303
鐵	2.038	5.614	1.171	-0.390	4.466	0.047

註：粗體代表 $p < 0.05$ 具有顯著性。



表5.1-8、因素分析總變異量結果

因素	轉軸平方和負荷量		
	總數	變異數的 %	累積%
豐水年			
1	7.482	34.009	34.009
2	3.613	16.425	50.434
3	2.665	12.112	62.545
4	2.352	10.690	73.236
5	1.832	8.327	81.562
6	1.330	6.047	87.609
枯水年			
1	6.823	31.011	31.011
2	3.658	16.628	47.639
3	3.457	15.715	63.354
4	2.167	9.848	73.202
5	1.664	7.565	80.767
6	1.404	6.383	87.150
平水年			
1	6.493	29.516	29.516
2	4.938	22.446	51.962
3	2.948	13.398	65.360
4	2.549	11.584	76.944
5	1.271	5.776	82.720



表5.1-9、豐、枯、平水年之因素分析結果

水年類型	因素1	因素2	因素3	因素4
豐水年	<u>背景因子</u> 鈣、總鹼度、 鉀、總硬度、 氨氮、總有機 碳、酸鹼值、 總溶解固體 物、導電度	<u>鹽化因子</u> 氯鹽、鈉、硫 酸鹽、水溫、 鎂、氟鹽	<u>沉積因子</u> 錳、鐵、硝酸 鹽氮	<u>氣候因子</u> 雨量、氧化還 原電位、氣溫
枯水年	<u>背景因子</u> 總鹼度、酸鹼 值、氟鹽、總 有機碳、總硬 度、氧化還原 電位、鉀、氨 氮、鈣	<u>氣候因子</u> 硫酸鹽、鎂、 水溫、雨量、 氣溫	<u>鹽化因子</u> 氯鹽、鈉、總 溶解固體物、 導電度	<u>沉積因子</u> 鐵、錳
平水年	<u>背景因子</u> 鈣、總鹼度、 總硬度、鉀、 總有機碳、氟 鹽、酸鹼值、 氨氮、氧化還 原電位	<u>鹽化因子</u> 氯鹽、鈉、導 電度、總溶解 固體物、硫酸 鹽、鎂	<u>沉積因子</u> 錳、鐵	<u>氣候因子</u> 氣溫、雨量

5.2 地理統計推估

一、資料前處理與篩選

本研究彙整環保署歷年地下水水質監測項目共計29項，為評估桃園中壢臺地地下水分區之地下水水質污染潛勢，本研究參考前人研究，以地下水監測結果是否超過地下水水質監測標準值做為基準進行計算(Wu et al., 2016)，因此，本研究優先排除目前尚無地下水水質監測標準之項目，包括導電度、氧化還原電位、水溫、溶氧、總鹼度、酸鹼值、鈣、鎂、鈉、



鉀等10項水質項目，此外，由於氟鹽、汞、總酚、鎳等4項是在民國100年之後才增加之檢測項目，故早期並無相關監測資料，本研究亦先排除之。綜上所述，本研究在地理統計推估所採用的水質項目共計15項，包括地下水水質監測項目：總有機碳、總溶解固體物、總硬度、氨氮、氯鹽、硫酸鹽、錳、鐵等8項，以及地下水水質管制項目：硝酸鹽氮、砷、鉛、鉻、銅、鋅、鎘等7項。

由第5.1節資料前處理，說明桃園中壢臺地現存地下水監測井共計23口(已扣除3口位於桃園市但非位於桃園中壢臺地之監測井)，其中南崁高中(H01060)及瑞祥國小(H00875)為近5年內設置之監測井，早期並無監測資料，因此本研究在地理統計推估所採用的地下水監測井共計21口，包括大同國小(H00021)、大竹國小(H00006)、大崙國小(H00010)、大園國中(H00005)、中埔國小(H00008)、中華電信研究所(H00014)、北湖國小(H00009)、后厝國小(H00002)、育仁國小(H00007)、忠貞國小(H00019)、長庚醫院(H00004)、青溪國中(H00011)、海湖國小(H00001)、富岡國小(H00016)、新明國中(H00015)、新屋國中(H00012)、楊光國中小(H00023)、瑞原國小(H00020)、瑞豐國小(H00017)、潛龍國小(H00022)、龍山國小(H00013)等21口。

由於本研究地理統計推估結果將與2005年及2016年之土地利用結果進行討論，然而在資料彙整過程發現此兩年度之土地利用在定義上有部分改變，例如2005年的森林用地(林業)是歸類在農用用地當中，而2016年則是將森林用地獨立列為一種類別；2005年的公共用地是歸類在建築用地當中，而2016年則是將公共用地獨立列為一種類別；2005年的工業用地為獨立類別，而在2016年則將工業用地歸類在建築用地當中；2005年的軍事用地為獨立類別，而在2016年則將軍事用地歸類在其他用地當中。因此，本研究整合2005年及2016年之土地利用類別，將以農用用地、森林用地、交通用地、水利用地、建築用地、公共用地、工業用地、遊憩用地、礦鹽用地、其他用地等10種土地利用類別，進行前後10年地下水污染潛勢變化之探討。

二、成對樣本 T 檢定分析

考量本研究土地利用取得年份分別為2005年及2016年，為避免水質採用之年度資料過於單一性，故選用該年度前、後1年之水質資料平均值進行分析(2004~2006年及2015~2017年)，並以成對樣本 T 檢定分析2004~2006年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

及2015~2017年之各項水質項目是否具有差異性，表5.2-1顯示地下水水質經過10年期間具有差異性之項目為氨氮、總有機碳、鉛、銅、鋅等5項，其結果將與後續地理統計推估成果進行探討。

表5.2-1、地下水水質經10年期間之成對樣本 T 檢定分析結果

水質項目	成對變數差異					顯著性 (單尾)
	平均數	標準差	平均數的 標準誤	差異的 95% 信賴區間		
				下界	上界	
氨氮	0.133	0.297	0.065	-0.001	0.268	0.026
氯鹽	-1.374	33.446	7.298	-16.598	13.851	0.426
砷	-0.001	0.006	0.001	-0.004	0.001	0.165
硝酸鹽氮	0.472	1.385	0.302	-0.158	1.102	0.067
硫酸鹽	0.094	40.592	8.858	-18.383	18.572	0.496
總有機碳	1.854	0.983	0.214	1.407	2.301	0.000
總溶解固體物	0.984	119.379	26.051	-53.356	55.325	0.485
總硬度	-0.206	51.213	11.176	-23.517	23.106	0.493
鉛	0.005	0.004	0.001	0.004	0.007	0.000
鉻	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.183
銅	0.004	0.007	0.002	0.000	0.007	0.015
鋅	0.064	0.062	0.014	0.036	0.093	0.000
錳	0.099	0.476	0.104	-0.118	0.315	0.177
鎘	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.081
鐵	0.204	1.054	0.230	-0.276	0.683	0.193

註：粗體代表 $p < 0.05$ 具有顯著性。

三、地下水污染潛勢推估

本研究依據第四章計算方式，計算桃園中壢臺地前後10年期間之每口監測井污染潛勢合計值，如表5.2-2所示，說明10年前(2004~2006年)之地下水污染潛勢值較高，平均值為2.779，而10年後(2015~2017年)之地下水污染潛勢值較低，平均值為1.567。由於上述地下水污染潛勢值屬於單點資料，故本研究以半變異元分析及克利金法等地理統計方式進行空間推估，目的為將單點之監測井污染潛勢資料轉換成空間面資料，即可推估出研究區域中，每一網格之地下水污染潛勢合計值，本研究網格設定為500公尺*500公尺之正方形，桃園中壢臺地前後10年期間半變異元分析之理論模式、各項參數、評估指數等成果如表5.2-3所示，半變異元分析圖如圖5.3-1~2所示，



而克利金法推估成果如圖5.2-3~4所示，顯示經10年期間地下水污染潛勢範圍在中間地區略有不同。

表5.2-2、地下水水質經10年期間之地下水污染潛勢推估結果

井號	站名	鄉鎮市區	2004~2006 年	2015~2017 年
H00015	新明國中	中壢區	6.013	4.015
H00001	海湖國小	蘆竹區	5.514	4.516
H00021	大同國小(桃園縣)	楊梅區	5.014	4.016
H00023	楊光國中小(94 設)	楊梅區	5.014	1.021
H00010	大崙國小	中壢區	3.517	1.021
H00016	富岡國小	楊梅區	3.516	2.519
H00004	長庚醫院	龜山區	3.017	1.52
H00013	龍山國小	桃園區	3.017	0.521
H00009	北湖國小	新屋區	3.016	2.018
H00019	忠貞國小	平鎮區	2.518	1.02
H00011	青溪國中	桃園區	2.518	0.521
H00006	大竹國小	蘆竹區	2.517	1.02
H00012	新屋國中	新屋區	2.517	1.02
H00022	潛龍國小	龍潭區	2.018	1.02
H00005	大園國中	大園區	1.519	1.52
H00014	中華電信研究所	楊梅區	1.519	2.018
H00002	后厝國小	大園區	1.519	0.521
H00017	瑞豐國小	八德區	1.519	1.02
H00008	中埔國小	桃園區	1.02	0.521
H00020	瑞原國小	楊梅區	1.02	1.02
H00007	育仁國小	觀音區	0.521	0.521

表5.2-3、地下水水質經10年期間之半變異元分析結果

半變異元分析結果	2004~2006 年	2015~2017 年
理論模式	高斯模式 (Gaussian)	球型模式 (Spherical)
影響範圍(a)	6576.686	6255.632
臨界變異值(c)	3.021	1.611
碎塊效應(c ₀)	0.000	0.000
評估指數 RMSE	0.385	0.006
評估指數 R ²	0.854	0.974



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

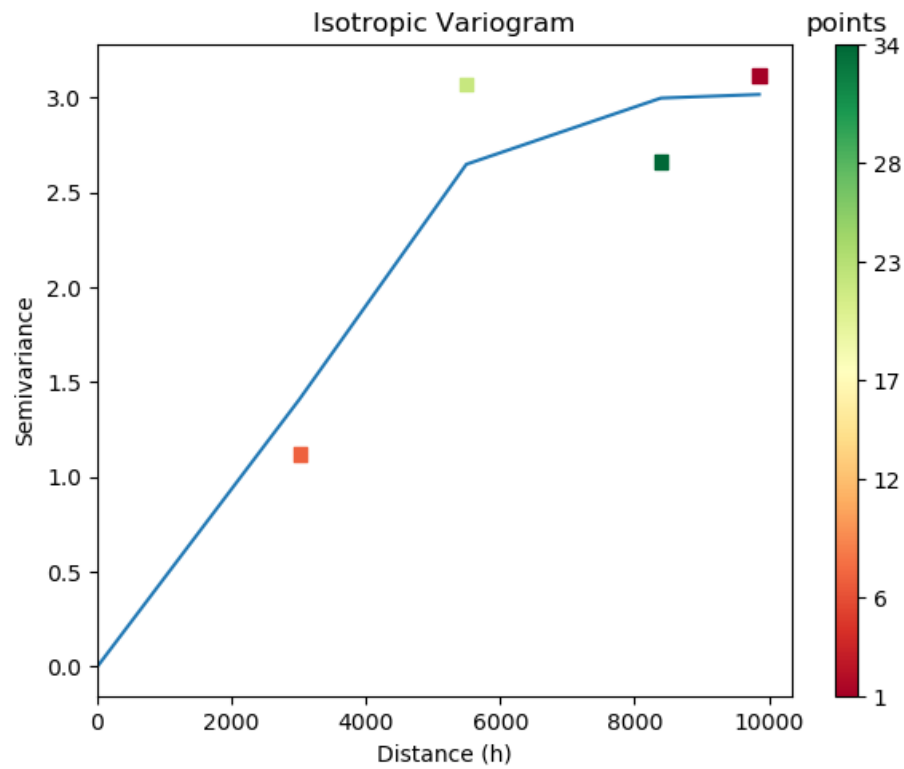


圖5.2-1、2004~2006年地下水污染潛勢半變異元分析成果

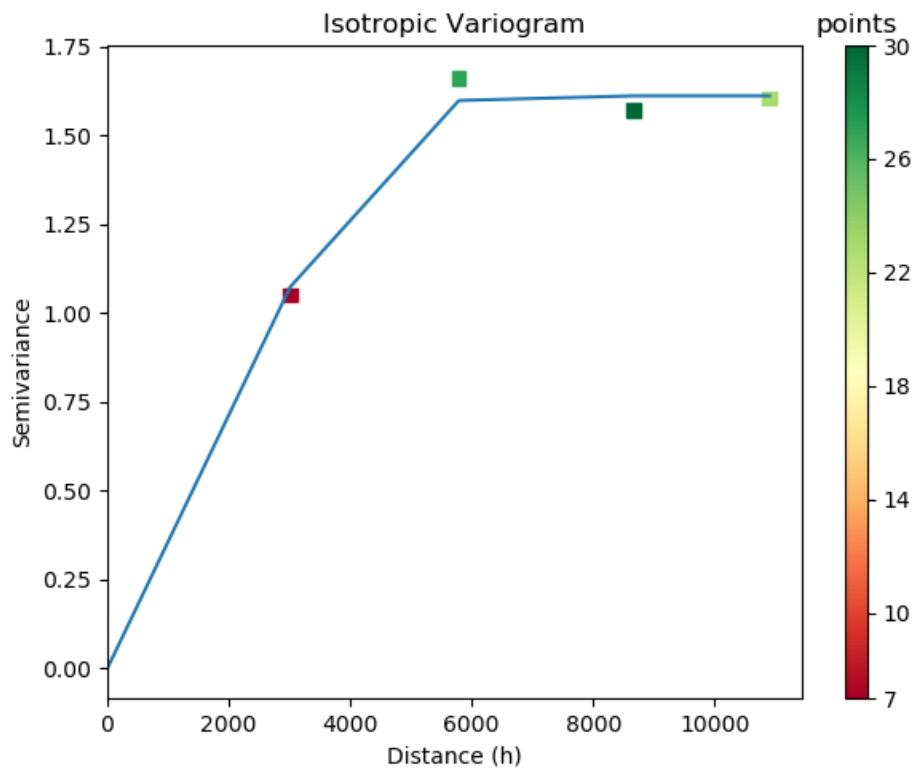


圖5.2-2、2015~2017年地下水污染潛勢半變異元分析成果



第五章 結果與討論

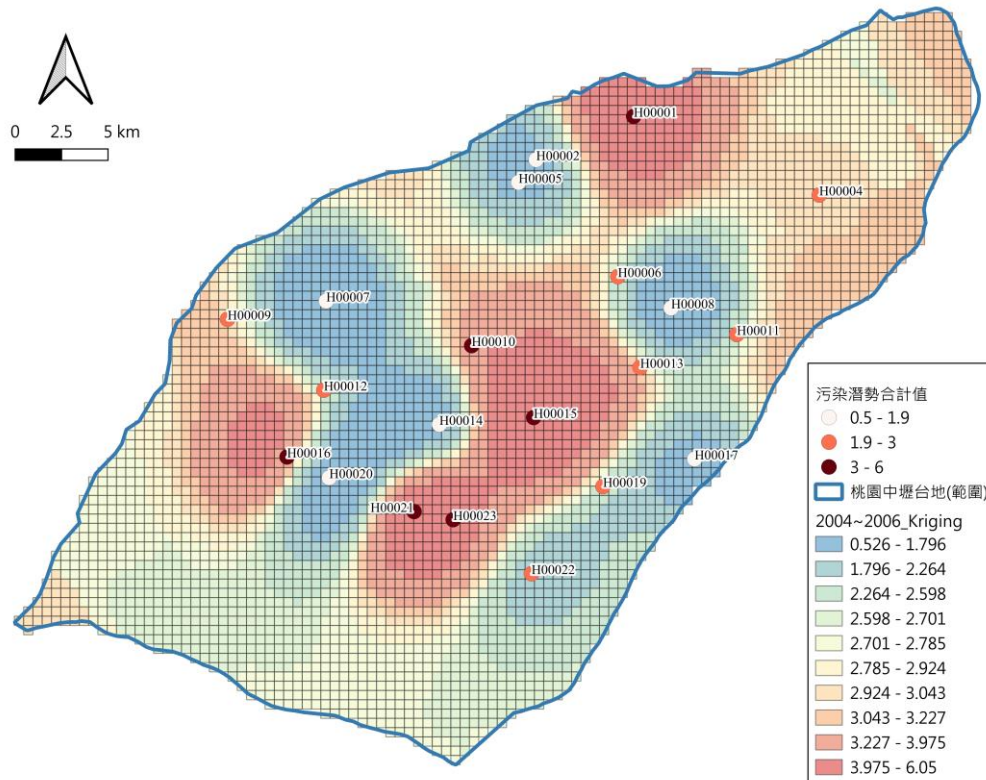


圖5.2-3、2004~2006年地下水污染潛勢克利金推估成果

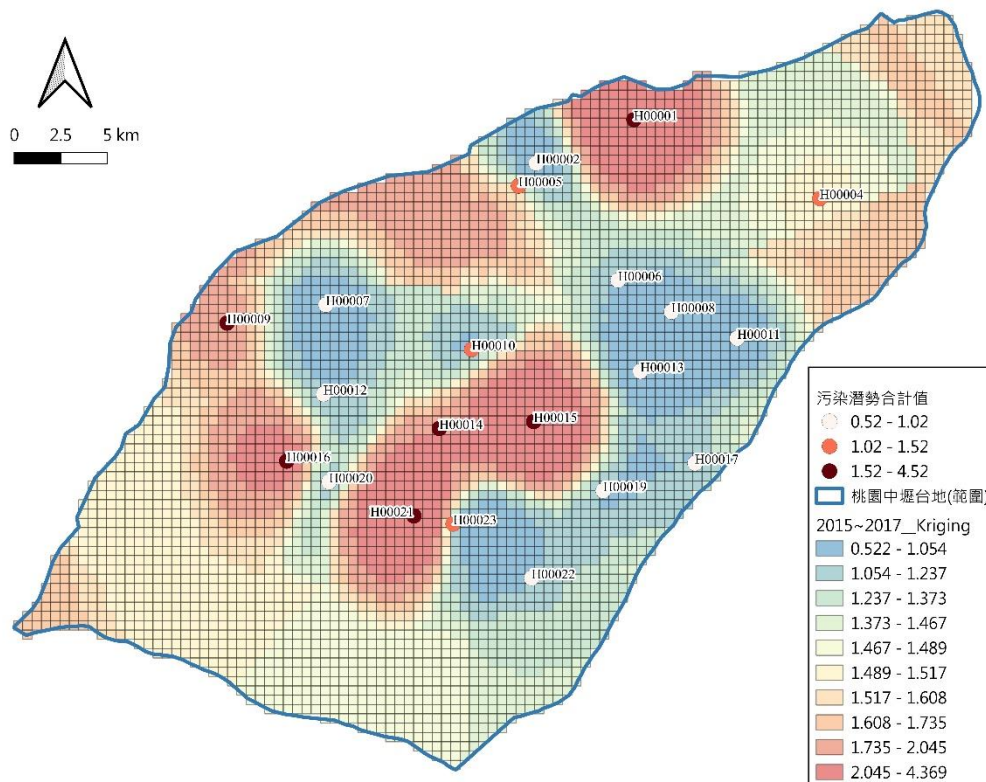


圖5.2-4、2015~2017年地下水污染潛勢克利金推估成果



四、空間自相關分析及驗證

(一) 空間自相關分析

由於前述半變異元分析及克利金法等所推估之桃園中壢臺地地下水污染潛勢結果，僅能看出潛勢大致分布範圍，無法明確框定出潛勢高與潛勢低之範圍，故本研究以全域型空間自相關分析先確認污染潛勢網格是否具有群集現象，再以區域型空間自相關分析確認污染潛勢高與潛勢低之範圍。由圖5.2-5顯示不論是2004~2006年或是2015~2017年之地下水污染潛勢資料，其 Moran's I 皆大於0，意即兩組資料皆是趨近於聚集分布，另由蒙地卡羅檢定顯示在95%信心水準下， $p \text{ value} < 0.05$ 即為顯著性，而兩組之 Z-score 皆大於1.96，代表此兩組資料有顯著的集中現象。此外，圖5.2-6、圖5.2-7分別為2004~2006年及2015~2017年之 LISA 分布結果，另表5.2-4則為地下水污染潛勢值四分位數統計值、表5.2-5為空間自相關分析結果之不同類別網格數統計結果，顯示高-高網格數量減少，由早期759個網格下降至602個網格，而低-低網格數量增加，由早期969個網格上升至1,013個網格，說明在桃園中壢臺地之地下水污染潛勢情形，歷經10年期間地下水污染潛勢有逐漸趨緩情形。

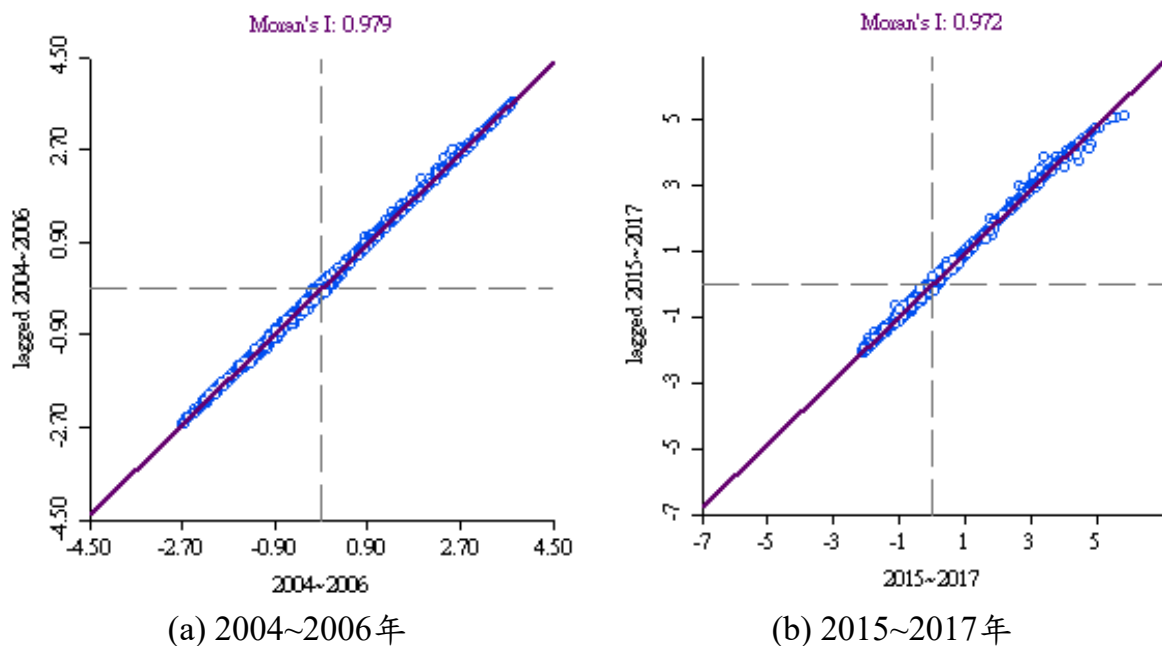


圖5.2-5、地下水水質前後10年期間之 Moran's I 計算結果



第五章 結果與討論

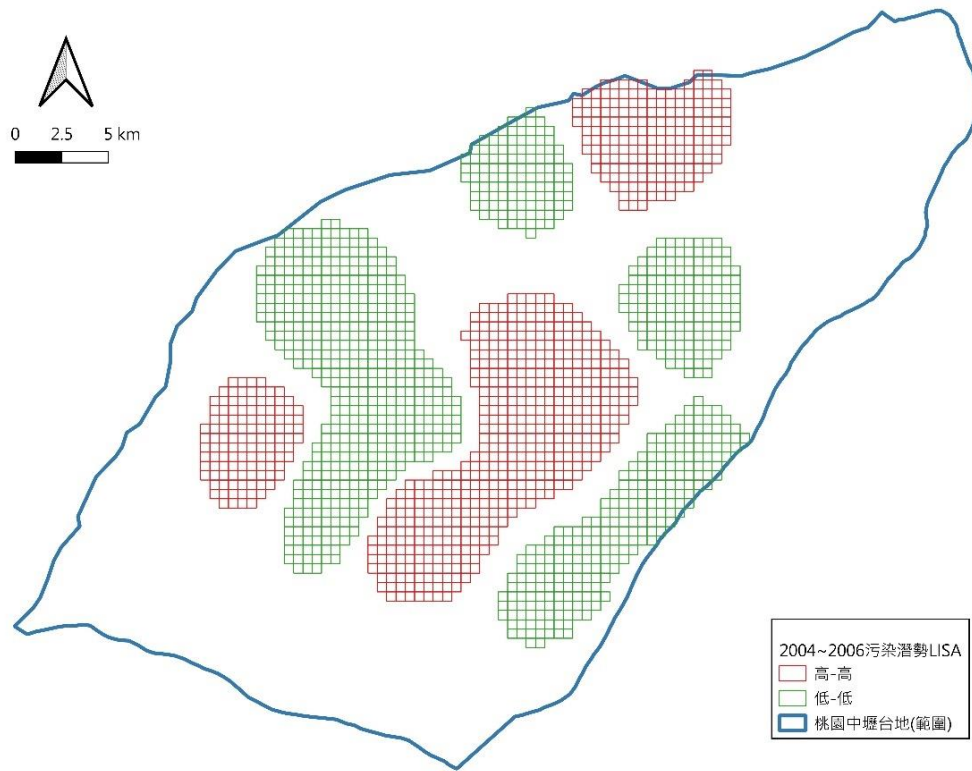


圖5.2-6、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關結果



圖5.2-7、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關結果



表5.2-4、地理統計推估網格之地下水污染潛勢值四分位數

四分位數	網格污染潛勢值	
	2004~2006年	2015~2017年
最小值	0.526	0.522
第一四分位數(Q1)	2.441	1.312
第二四分位數(Q2)(中位數)	2.785	1.489
第三四分位數(Q3)	3.107	1.658
最大值	6.050	4.369

表5.2-5、空間自相關分析結果之不同類別網格數統計

LISA 空間自相關	網格數量	
	2004~2006年	2015~2017年
低-低	969	1,013
高-高	759	602
其他(低-高 或 高-低)	2,564	2,677

(二) 空間自相關驗證

由於本研究選用地下水污染潛勢評估之水質項目是以整體地下水污染潛勢為考量，並非考慮單一污染物特性，故在資料驗證上，本研究蒐集環保署土壤及地下水資訊管理系統當中，在研究區域內歷年曾有被列為地下水污染場址資料，並以地理統計推估建置之網格，計算每個網格實際發生地下水污染事實之機率，因此，本研究將2004~2006年及2015~2017年之LISA 空間自相關結果與地下水污染場址分布進行比對，地下水污染場址分布及網格化結果如圖5.2-8~圖5.2-11所示，並將污染場址發生機率與LISA 空間自相關分析結果進行比對如表5.2-6及圖5.2-12所示，顯示在2004~2006年污染場址發生機率越高亦屬於高-高潛勢聚集區，其結果較符合實際情況，另由2015~2017年污染場址發生機率以低-低潛勢自相關結果最高，其與實際狀況不符，故本研究更進一步將監測井及工業區圖層進行套疊(圖5.2-13)，顯示在觀音、大園、中壢、龜山等4處工業區，曾有地下水污染場址且網格數量較多，然而在2015~2017年 LISA 空間自相關結果屬於低-低潛勢聚集區，可能原因有二，(1)由於本研究是採用在2022年之前曾有地下水污染場址公



告就將其列為曾有地下水污染場址而納入分析之中，然而在上述4處工業區周遭之地下水污染場址可能是2017年之後才公告或是在此之前就已解列者，故造成本研究將地下水污染場址納入做為2015~2017年驗證資料有差異；(2) 由於區域性監測井分布較廣，在進行地理統計推估時仍存在不確定性，再加上區域性監測井之設置目的是用來監測背景水質，故無法事先得知工業區等高污染潛勢區域之水質狀況，因此在使用地下水污染場址做為驗證資料時，仍在高污染潛勢區域發現與本研究地下水污染潛勢自相關具有差異。

綜上所述，本研究針對地下水污染潛勢之 LISA 空間自相關分析，在整體上仍符合實際污染趨勢，意即在高污染潛勢仍有較高機率發現地下水污染場址，惟在不同年度受到工業區範圍影響而表現結果不一，因此，本研究再更進一步以不同年度之土地利用變化結果，來評估環境變遷對桃園中壢臺地地下水水質之影響，說明如後。

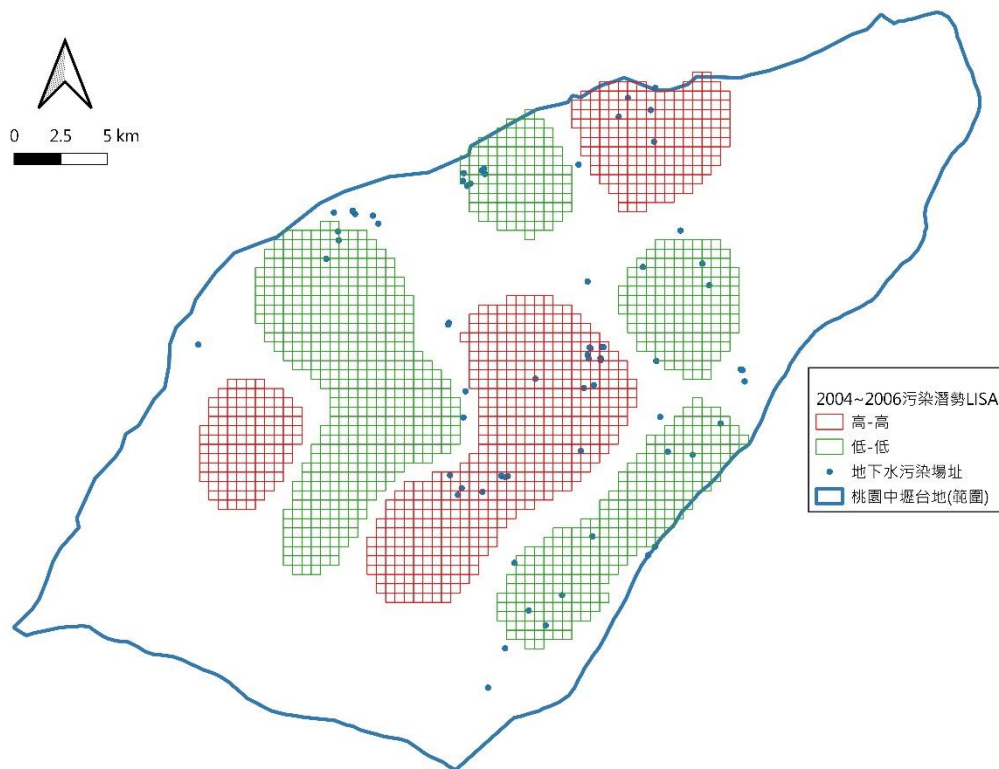


圖5.2-8、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關
與地下水污染場址分布圖



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

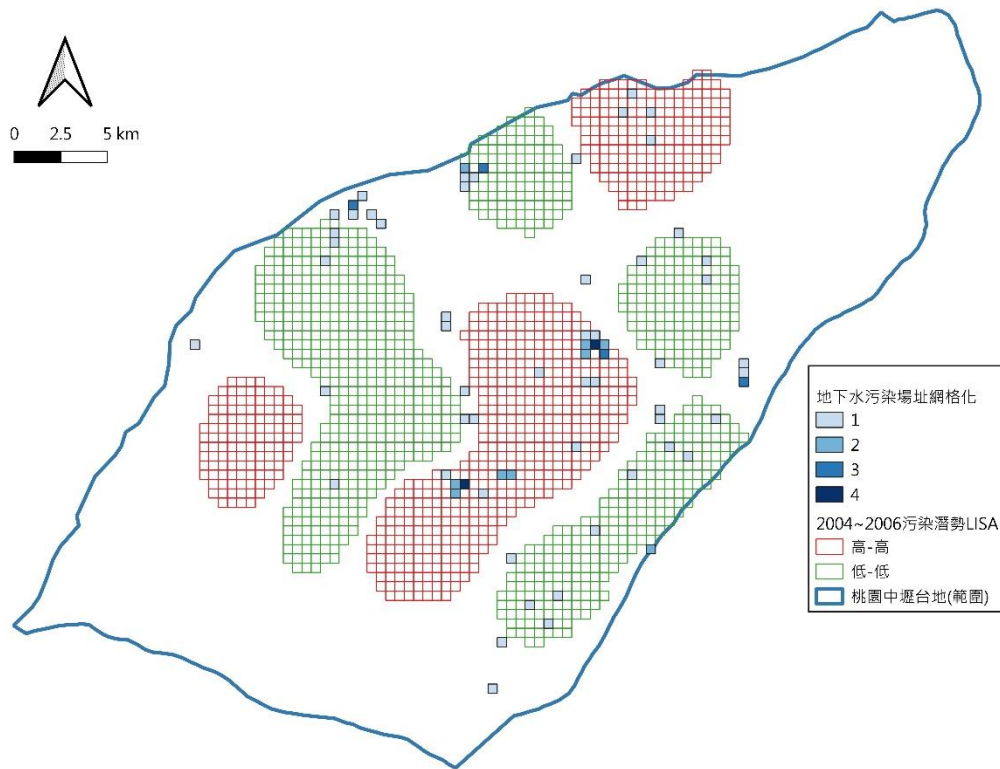


圖5.2-9、地下水水質2004~2006年 LISA 空間自相關
與地下水污染場址網格化結果分布圖

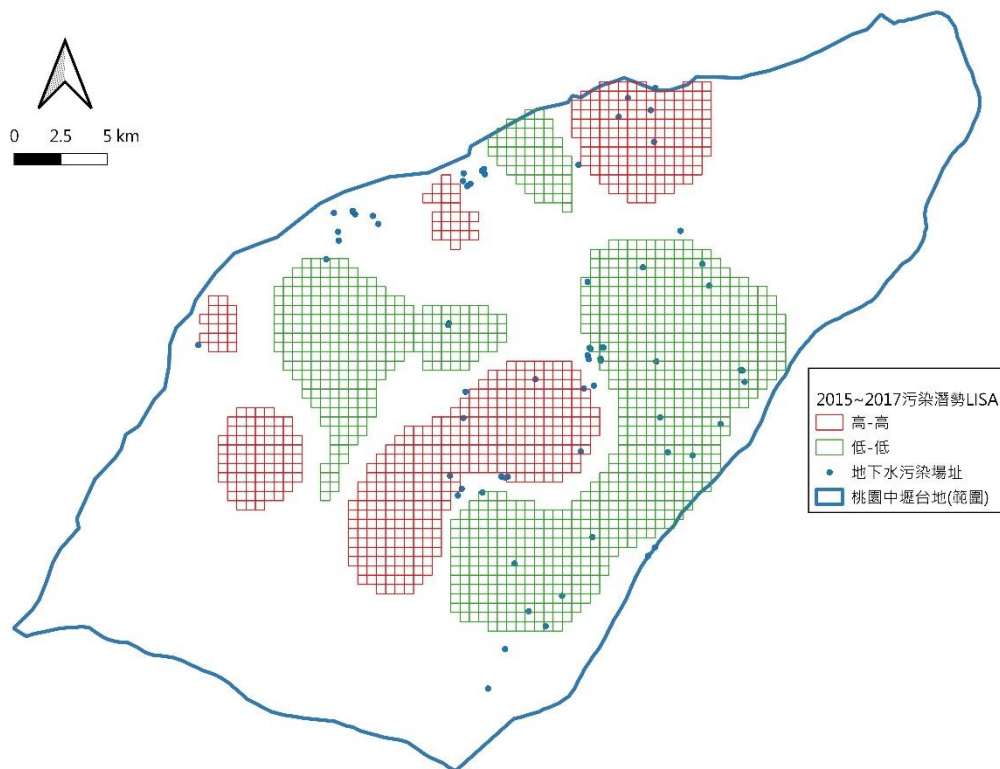


圖5.2-10、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關
與地下水污染場址分布圖

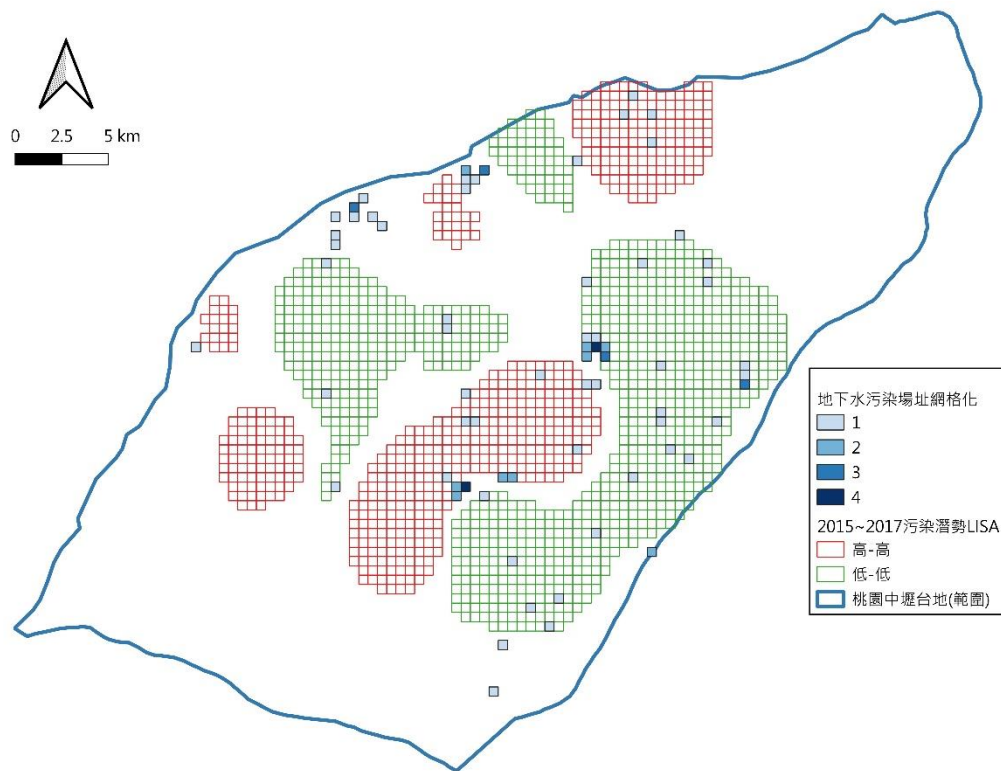


圖5.2-11、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關
與地下水污染場址網格化結果分布圖

表5.2-6、地下水污染場址網格發生機率

污染潛勢分類	污染場址網格數量		污染場址發生機率	
	2004~2006年	2015~2017年	2004~2006年	2015~2017年
低-高 或 高-低	30	35	1.17%	1.37%
低-低	23	31	2.37%	3.20%
高-高	26	13	3.43%	1.71%



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

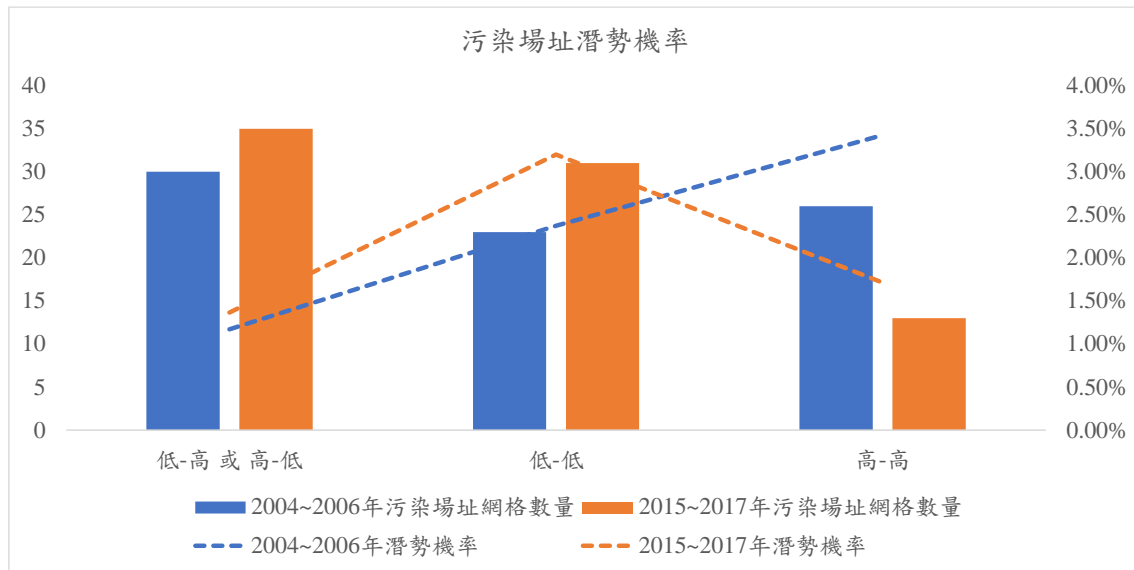


圖5.2-12、地下水污染場址潛勢機率與網格數量

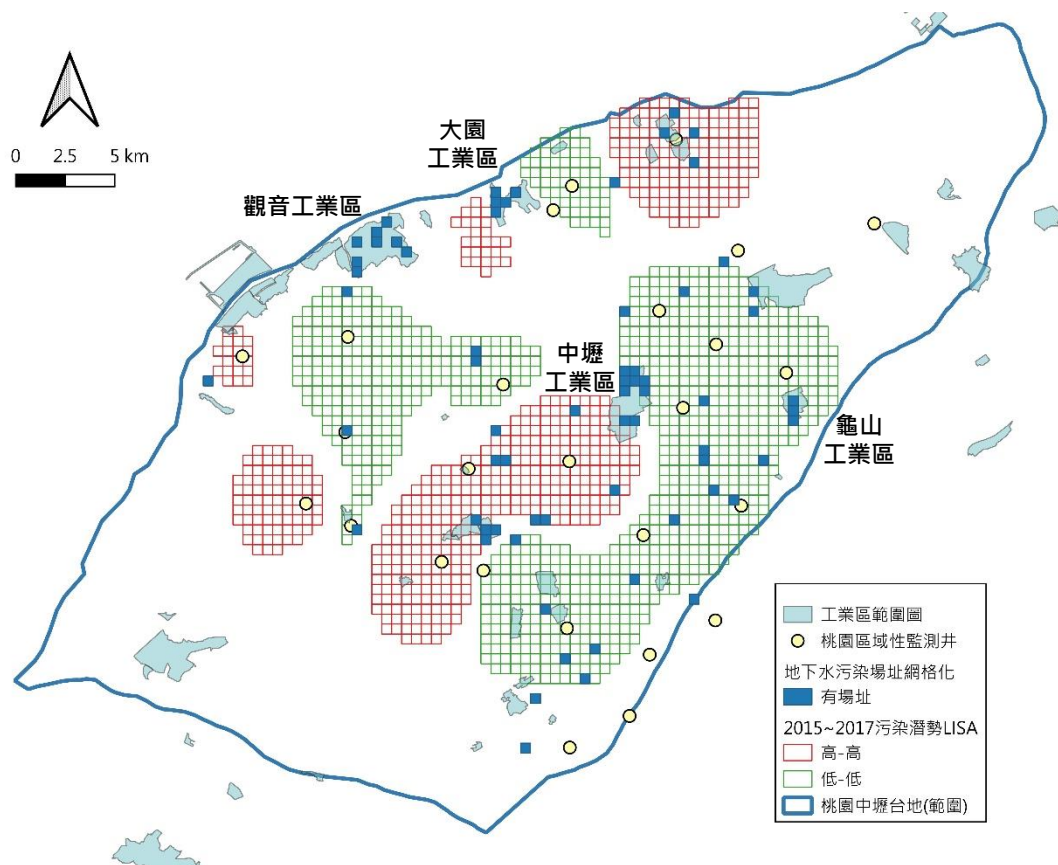


圖5.2-13、地下水水質2015~2017年 LISA 空間自相關與地下水污染場址與監測井及工業區分布



5.3 探討土地利用變化對地下水水質影響

一、土地利用與地下水水質之變化與關聯

為釐清環境變遷對地下水水質特徵之影響，本研究除前述氣候變遷之影響因素之外，亦彙整2005及2016年之土地利用類型變化(如表5.3-1所示)，嘗試由土地利用變化評估地下水污染潛勢變化情形，然由於土地利用型態歷經10年期間在分類上有進行調整，例如森林用地及公共用地在2005年是分別包含在農用用地及建築用地之中，而在2016年則單獨成一類別，此外，軍事用地及工業用地在2005年是單獨類別，而在2016年則分別納入其他用地及建築用地之中，故本研究整合2005及2016年之土地利用類型，探討研究區域之土地利用變化包括農用、森林、交通、水利、建築、公共、工業、遊憩、礦鹽、其他等10種型態用地，說明如下。

表5.3-1、不同年份之土地利用型態彙整表

年份	土地利用型態
2005 (9種)	農用用地(包含林業)、交通用地、水利用地、建築用地(包含公共)、遊憩用地、礦業用地、其他用地、工業用地、軍事用地
2016 (9種)	農用用地、森林用地、交通用地、水利用地、建築用地(包含工業)、公共用地、遊憩用地、礦鹽用地、其他用地(包含軍事)
本研究 整合(10種)	農用用地、森林用地、交通用地、水利用地、建築用地、公共用地、工業用地、遊憩用地、礦鹽用地、其他用地

上述10種土地利用型態在2005及2016年之分布如圖5.3-1~圖5.3-10，顯示在研究區域範圍內，其面積減少之用地包括農用用地、森林用地、水利用地、工業用地、礦鹽用地、其他用地等6種，而面積增加之用地則包括交通用地、建築用地、公共用地、遊憩用地等4種，其土地利用變化情形大致符合桃園地區經濟發展情況，由早期農業、森林、水利、礦鹽等用地轉換成至今建築、交通、公共、遊憩等用地，其中僅工業用地較不符合實際情況，可能原因為2016年之工業用地隸屬於建築用地之下(代碼0503)，而建築用地之中包括住宅用地(代碼0502)，其中若是屬於「兼工業使用住宅(代碼050202)」及「兼其他使用住宅(代碼050204)」，雖實際上有工業使用，但在歸類時皆被歸類至住宅用地，進而造成工業用地之面積有下降情形。



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

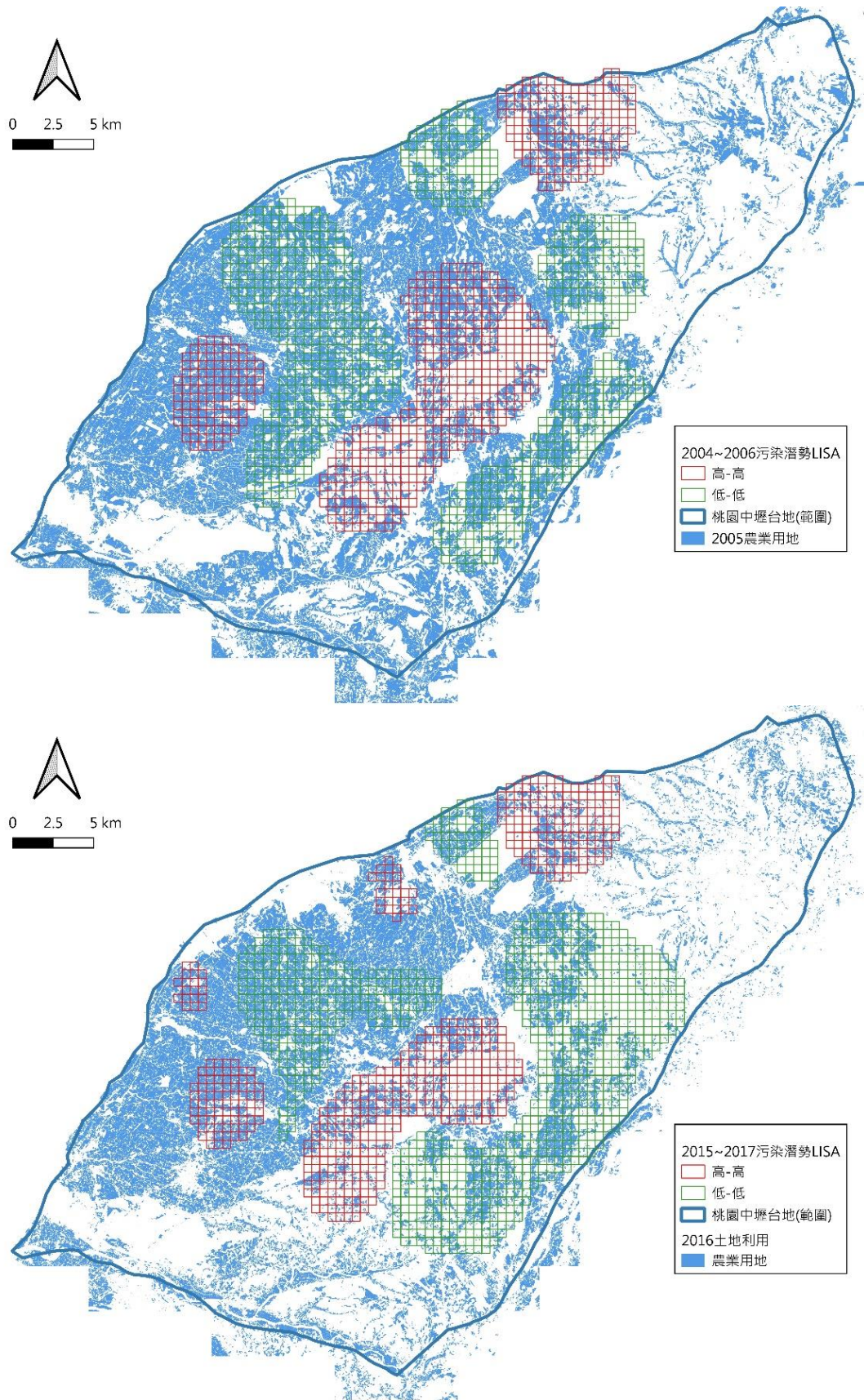


圖5.3-1、農用用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



第五章 結果與討論

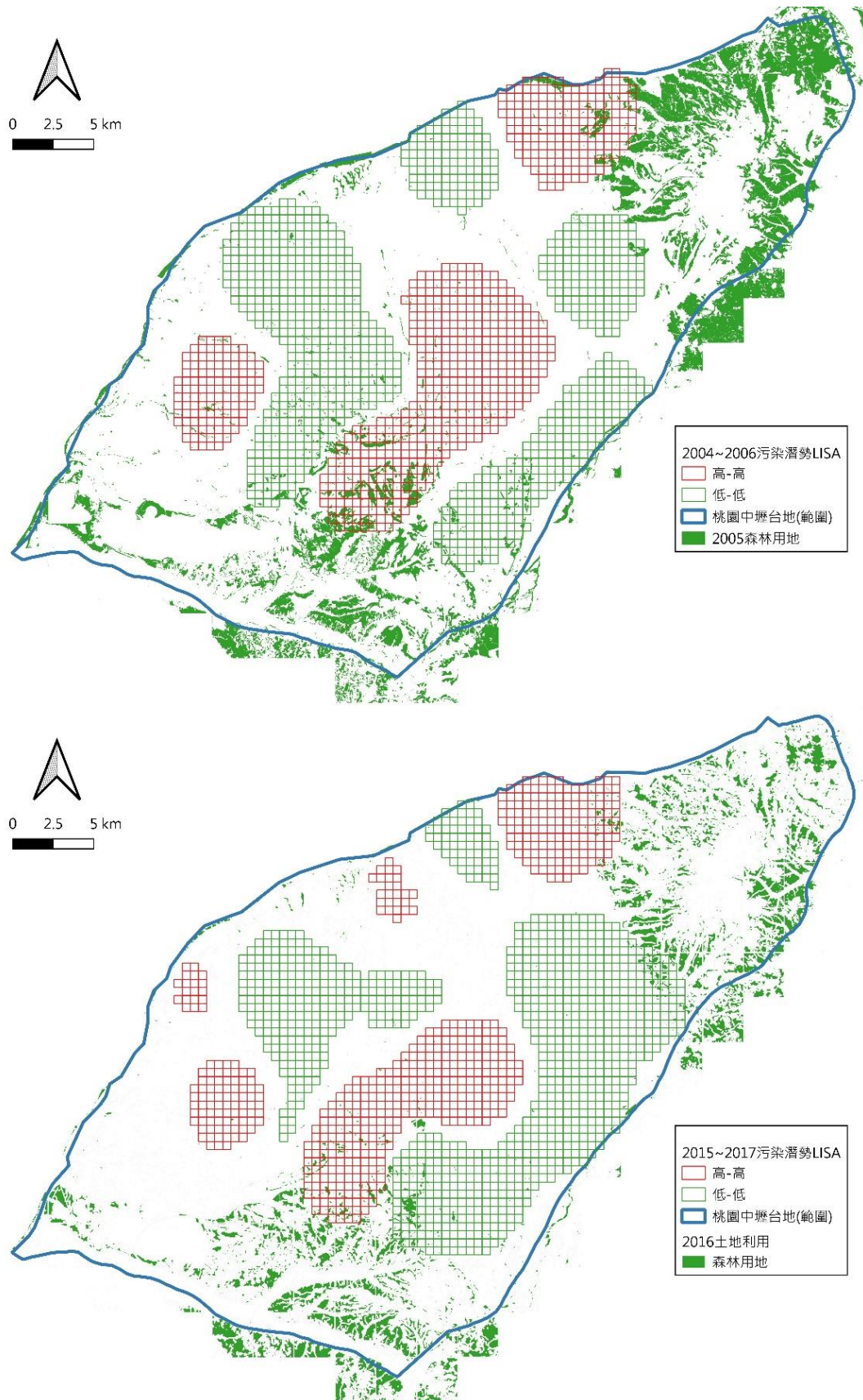


圖5.3-2、森林用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

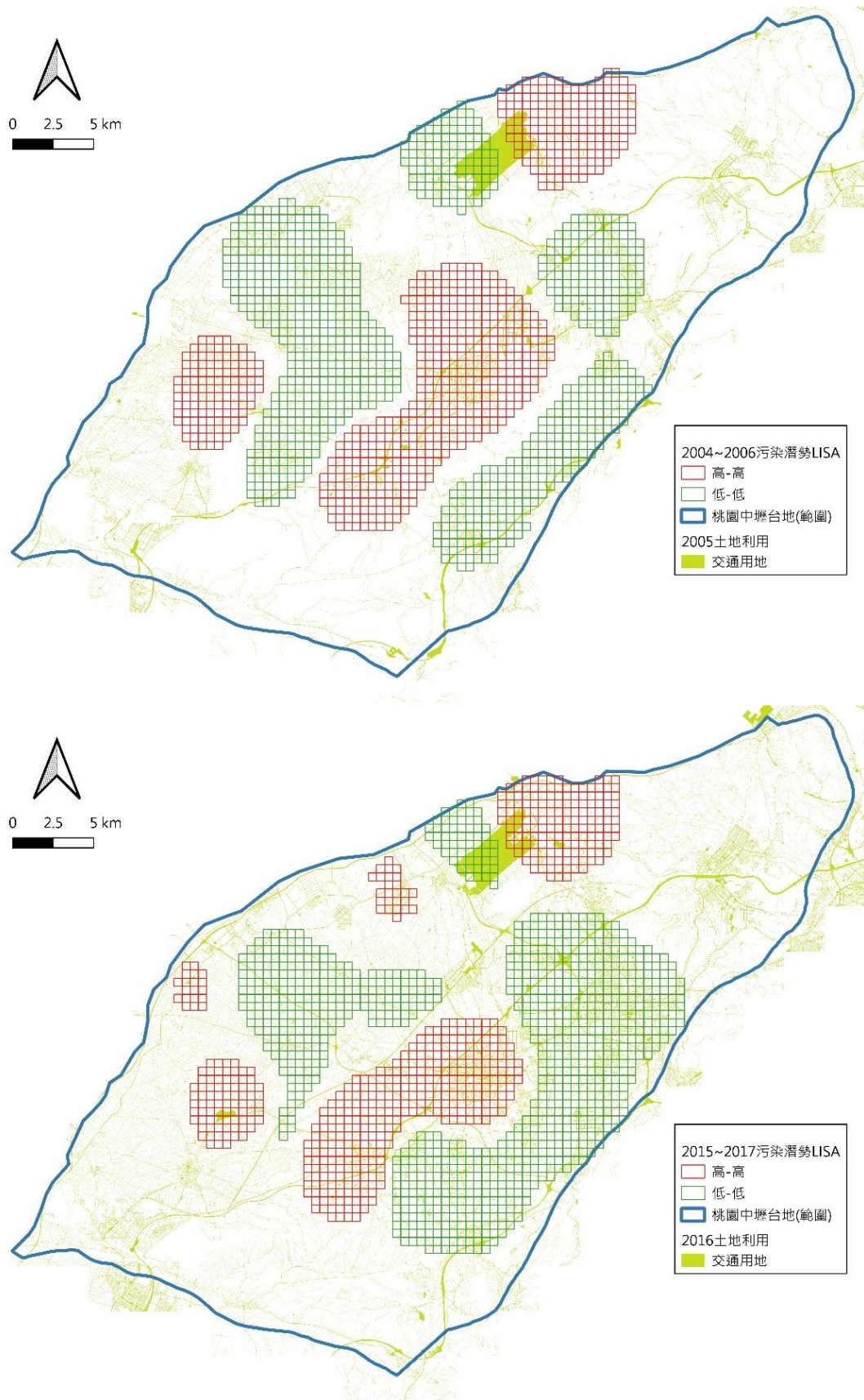


圖5.3-3、交通用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



第五章 結果與討論

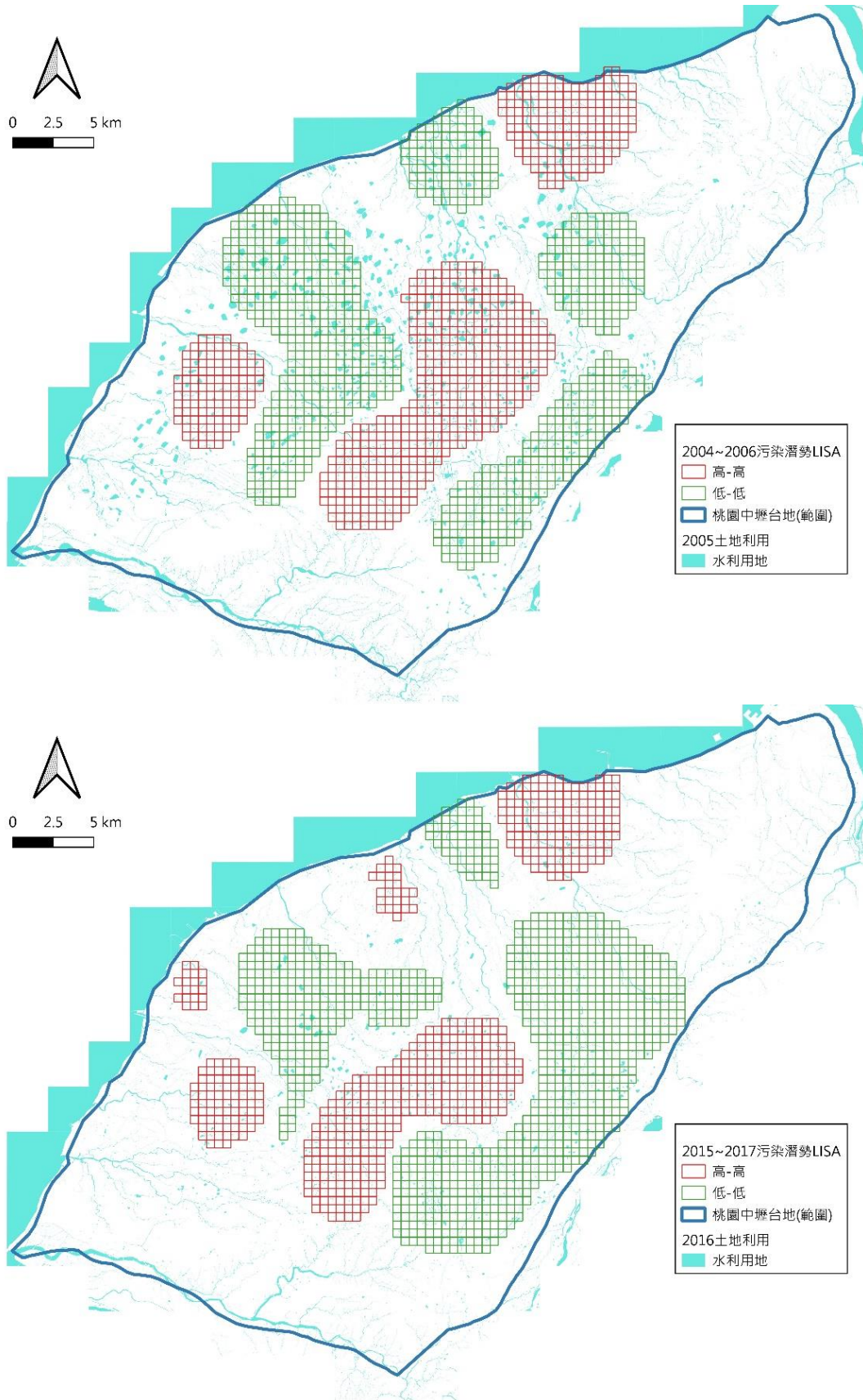


圖5.3-4、水利用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

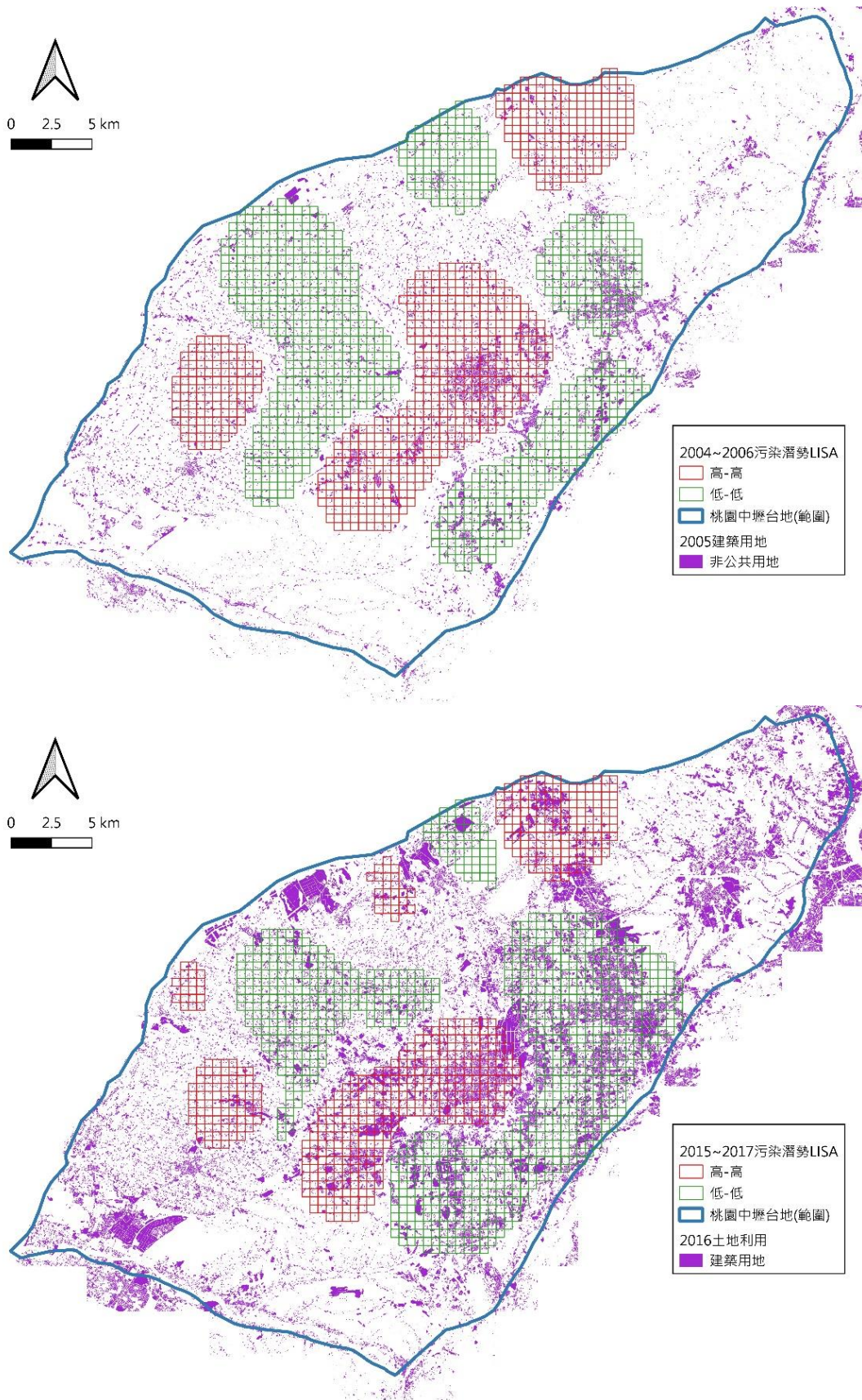


圖5.3-5、建築用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



第五章 結果與討論

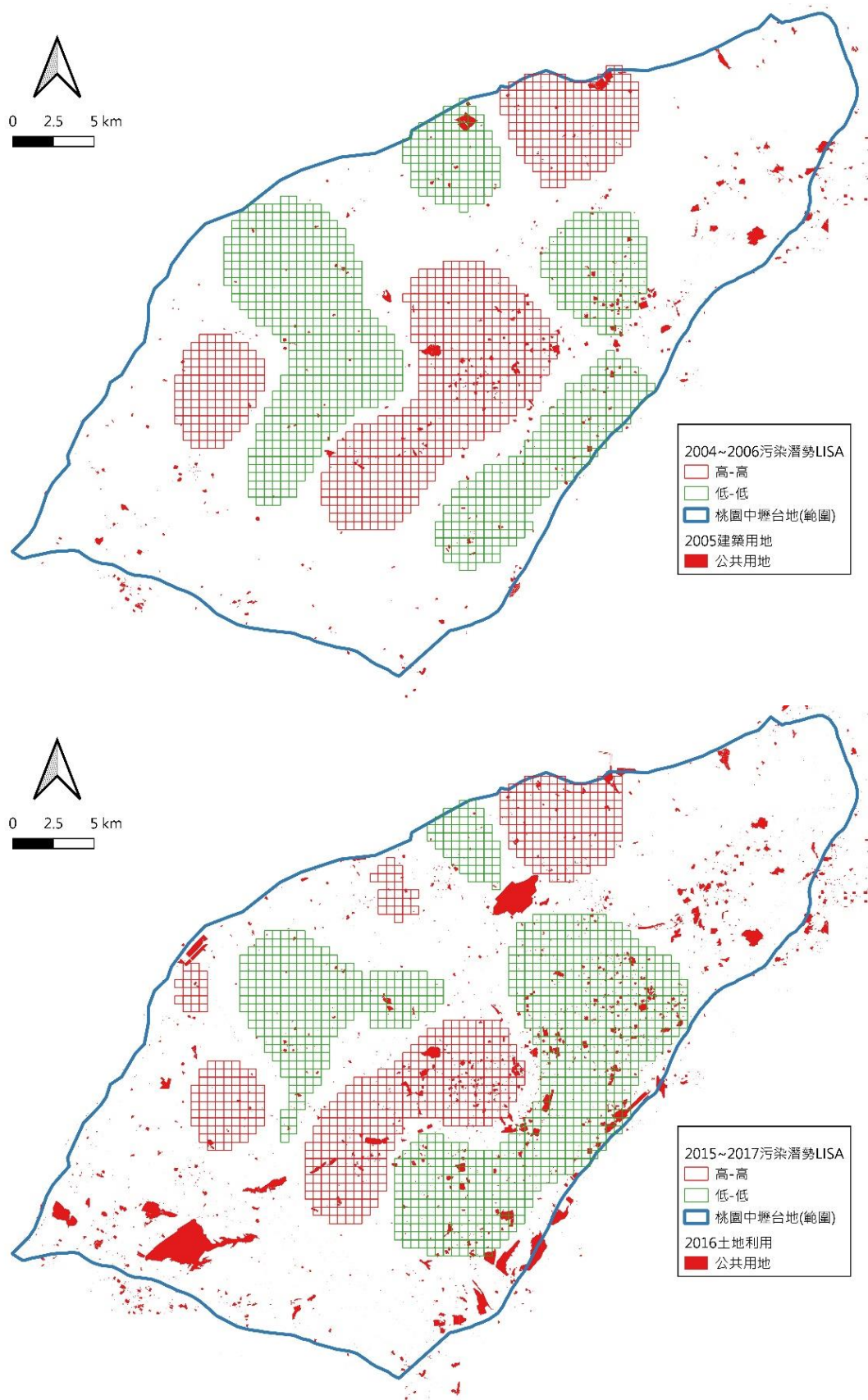


圖5.3-6、公共用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

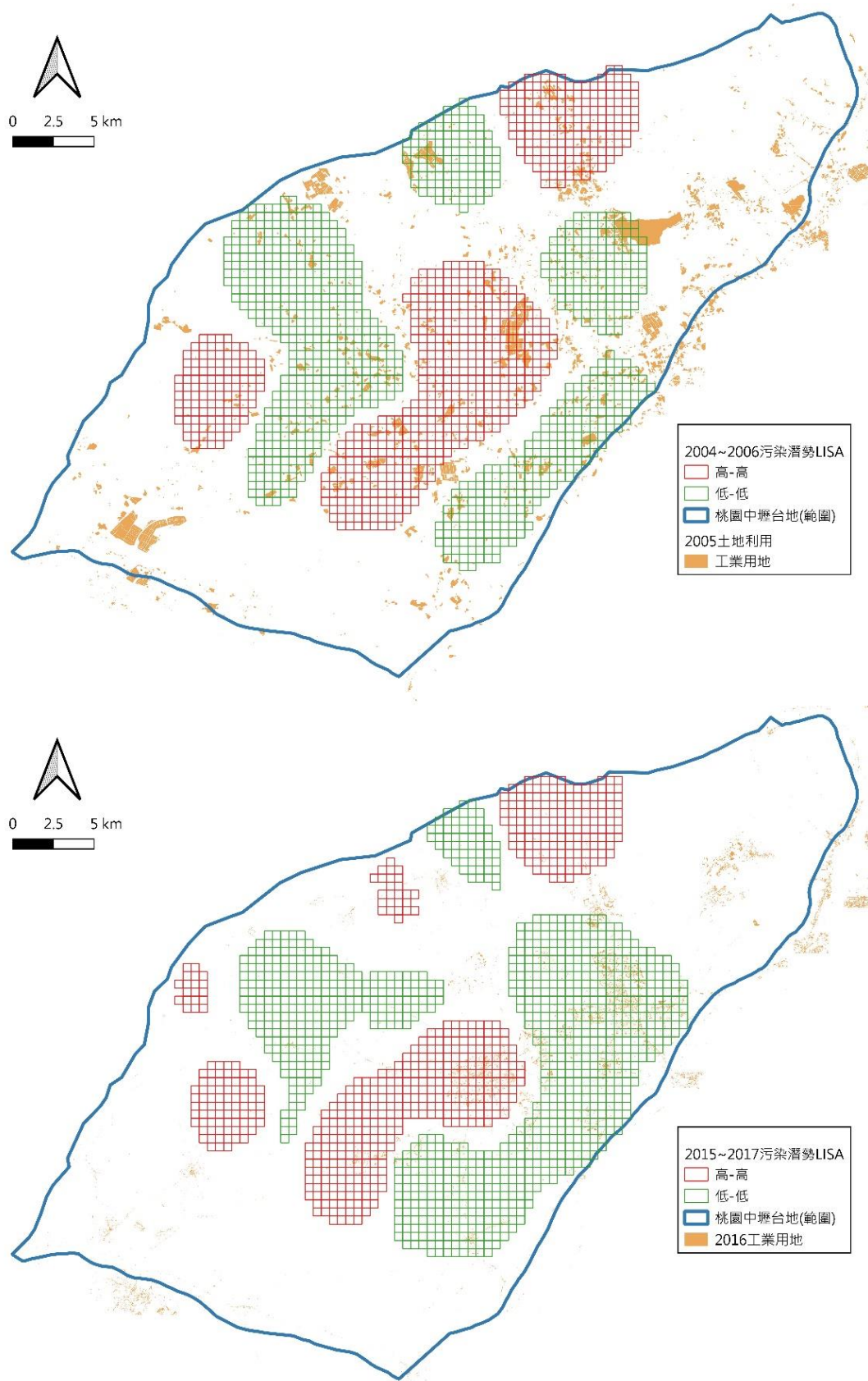


圖5.3-7、工業用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



第五章 結果與討論

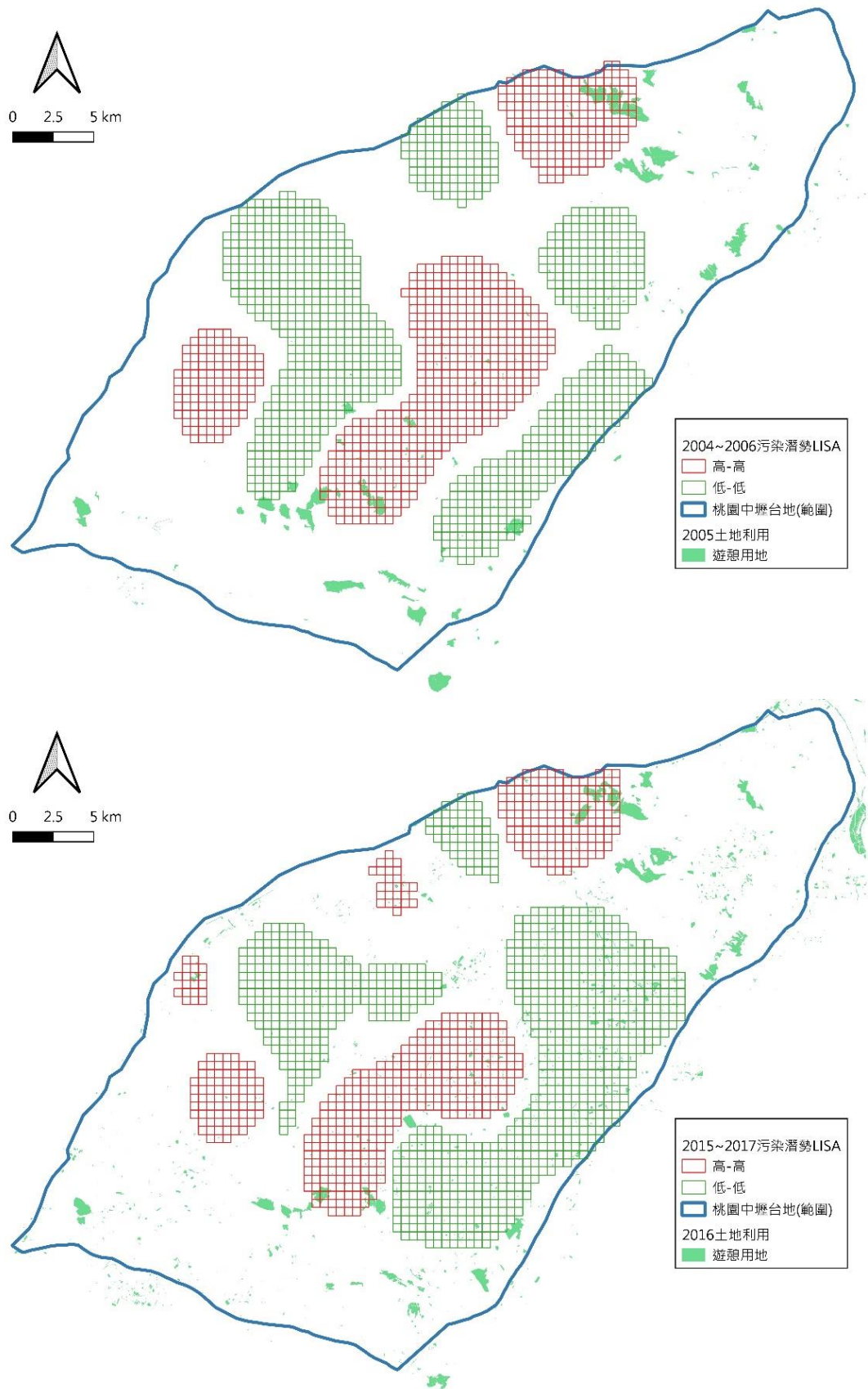


圖5.3-8、遊憩用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

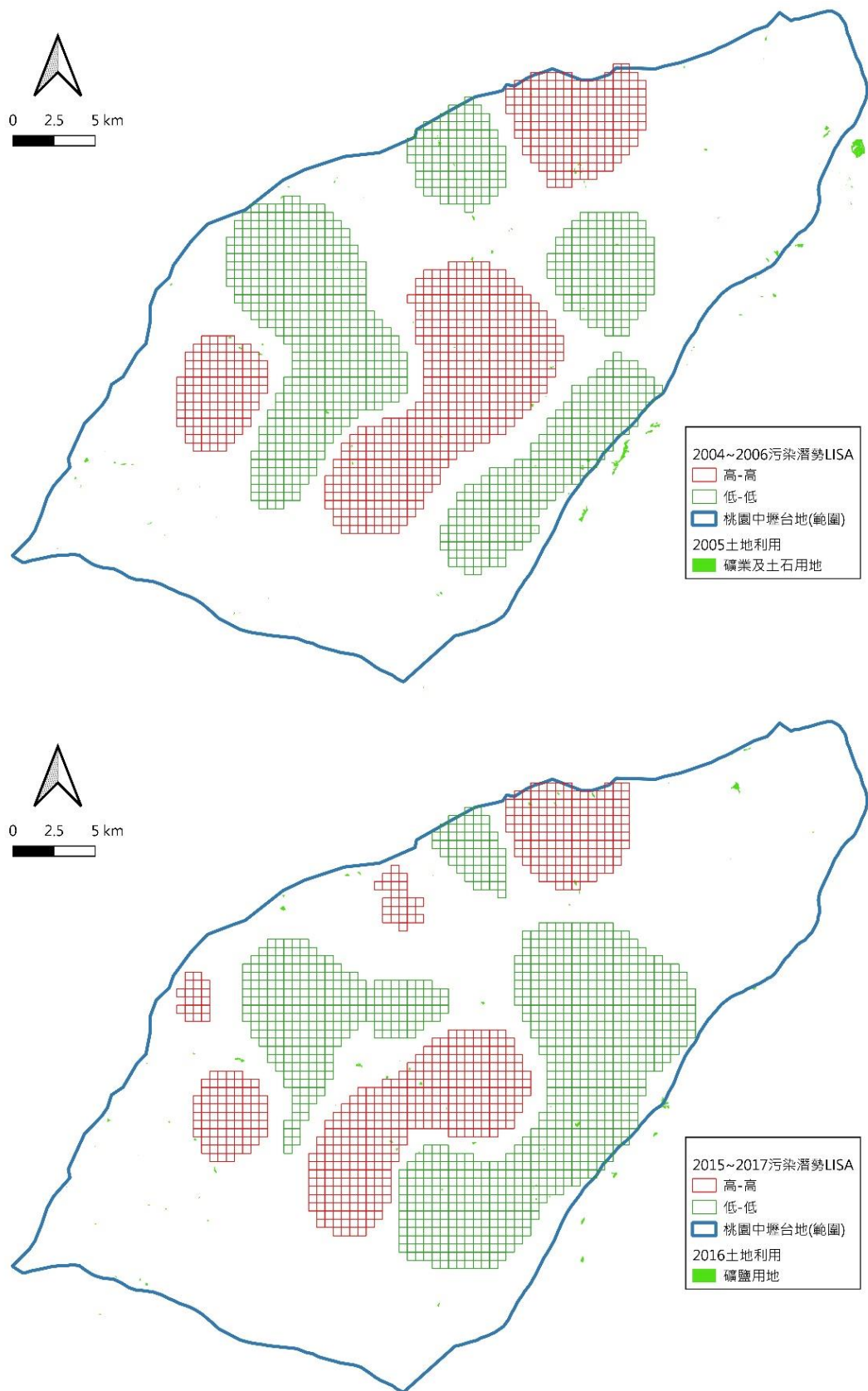


圖5.3-9、鹽礦用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



第五章 結果與討論

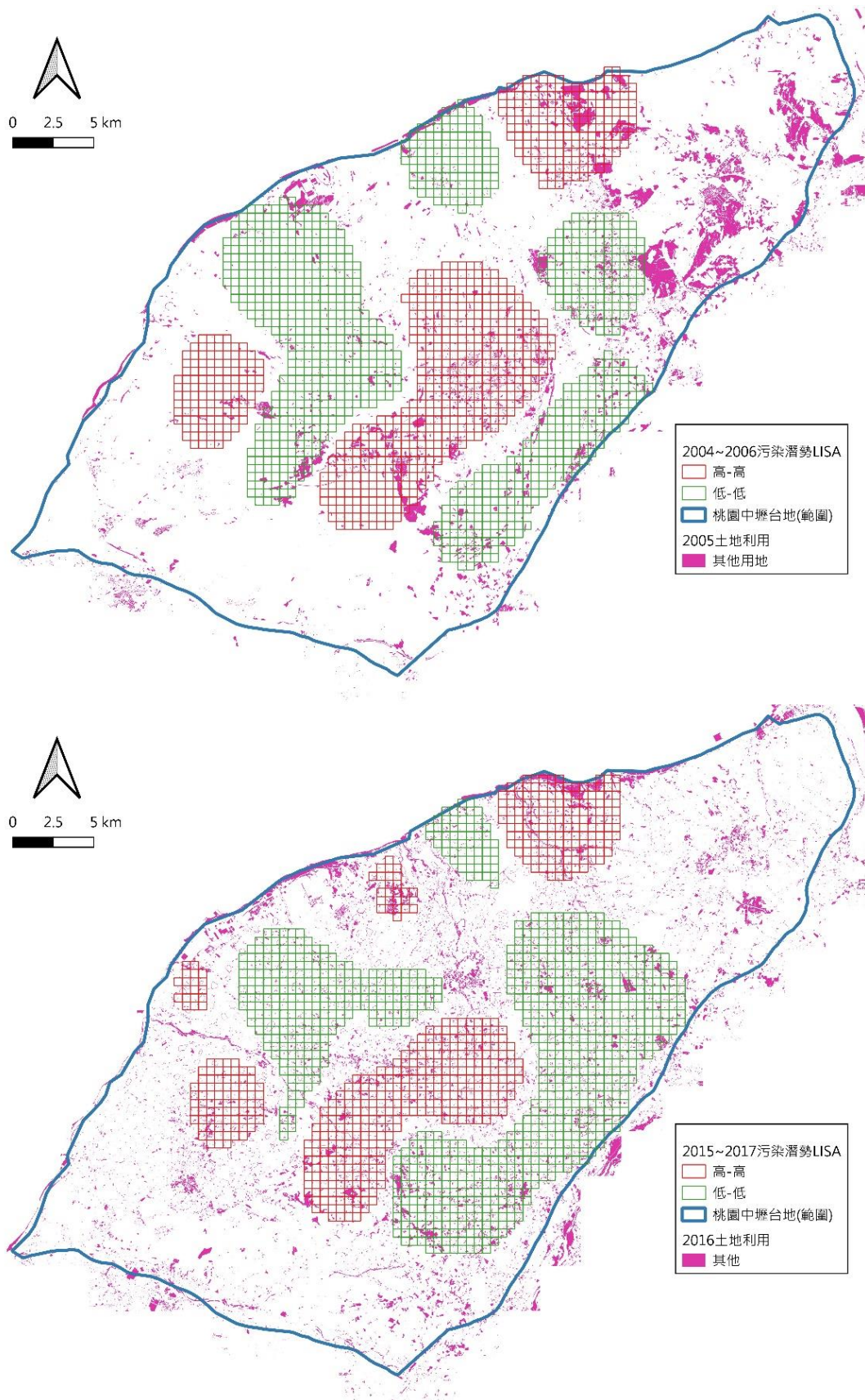


圖5.3-10、其他用地變化情形(上)2004~2006年(下)2015~2017年



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

為更進一步確認土地利用與地下水污染潛勢之關聯，本研究將2005及2016年之土地利用與地下水污染潛勢 LISA 空間自相關結果(高-高型態)進行套疊，分別計算不同年份之高污染潛勢土地利用型態所占面積，如表5.3-2所示，顯示面積持平之用地包括森林用地、公共用地、遊憩用地、礦鹽用地等4種，本研究判斷此4類土地利用型態與地下水污染潛勢可能較無關；而面積減少之用地包括農用用地、水利用地、工業用地、其他用地等4種，其結果與整體研究區域一致，且與地下水污染潛勢情況相同，意即上述4種土地利用面積減少，其地下水污染潛勢亦降低；而面積增加之用地包括交通用地、建築用地等2種，則與地下水污染潛勢情況相異。上述不同土地利用面積變化可能是由早期農業、水利、工業、其他等用地轉換成至今經濟發展提高且生活較為便利之建築、交通等用地，並由地下水污染潛勢結果亦得出高-高型態之網格數量及面積皆有下降情形發生，代表整體地下水污染潛勢有逐漸趨緩情形，且多數監測井之地下水污染潛勢亦屬於下降或持平狀況。

表5.3-2、不同年份之高污染潛勢土地利用型態面積彙整表

土地利用型態	年份	面積 (平方公尺)	面積 (平方公里)	備註
農業用地	2005	82,816,639.58	82.82	代碼 0(排除 002)
	2016	52,304,371.41	52.30	代碼 01
森林用地	2005	12,920,964.29	12.92	代碼 002
	2016	12,989,369.17	12.99	代碼 02
交通用地	2005	14,578,595.82	14.58	代碼 1(100~103)
	2016	17,286,022.14	17.29	代碼 03
水利用地	2005	13,201,091.35	13.20	代碼 2
	2016	5,420,004.52	5.42	代碼 04
建築用地	2005	17,769,118.42	17.77	代碼 3(301~302、305、308、312~314)
	2016	32,078,717.28	32.08	代碼 05(排除 0503)
公共用地	2005	4,383,389.92	4.38	代碼 3(303~304、306~307、309~311)
	2016	5,626,499.54	5.63	代碼 06



土地利用型態	年份	面積 (平方公尺)	面積 (平方公里)	備註
工業用地	2005	11,425,622.21	11.43	代碼 401
	2016	2,046,685.31	2.05	代碼 0503
遊憩用地	2005	5,901,073.53	5.90	代碼 5
	2016	4,917,694.08	4.92	代碼 07
礦鹽用地	2005	209,959.83	0.21	代碼 7
	2016	186,275.98	0.19	代碼 08
其他用地	2005	19,472,426.75	19.47	代碼 8、9
	2016	14,430,593.68	14.43	代碼 09

二、綜合評析土地利用變化對地下水水質之影響

本研究經由地理統計推估得出在歷經10年期間，研究區域之地下水污染潛勢整體趨勢有下降情形，然而由 LISA 自相關結果顯示在部分地區於2005年並非高-高型態者，在2016年反而為高-高型態，如圖5.3-11之圓圈處所示，主要是受 H00005、H00009、H00014等3口監測井影響所致，再進一步比對前述地下水污染潛勢推估結果(表5.2-2)，顯示僅 H00005及 H00014等2口監測井之地下水污染潛勢有增加情形，其餘監測井污染潛勢則皆為下降或持平狀況。

綜上所述，本研究欲探討此2口監測井水質劣化因素，首先彙整周遭工業區分布，顯示 H00005位於大園工業區周遭、而 H00014則位於太平洋電線電纜股份有限公司楊梅工廠，並蒐集此二處工業區之歷年燈號分級結果，顯示大園工業區歷年皆為橘燈、而太平洋電線電纜股份有限公司楊梅工廠歷年皆為綠燈。為更進一步釐清地下水質狀況，本研究彙整上述 H00005及 H00014等2口監測井之歷年水質項目，包括總有機碳、總溶解固體物、總硬度、氨氮、氯鹽、硫酸鹽、錳、鐵等共計8項背景水質監測項目，以及1項地下水污染管制項目硝酸鹽氮，如圖5.3-12所示，顯示 H00005僅氨氮增加趨勢較明顯，而 H00014則是總溶解固體物、總硬度、氯鹽、硫酸鹽、錳等5項皆有明顯增加趨勢。



爰此，本研究建議未來應加強關注大園國中(H00005)周遭大園工業區之地下水水質情形，並釐清氨氮項目逐年增加之可能來源，另建議探討中華電信研究所(H00014)之地下水逐年鹽化項目增加之可能原因。此外，本研究亦建議針對前述土地利用亦屬於逐年增加型態者，例如交通用地、建築用地等2種土地利用型態，建議在交通設施及建築建設階段，可加強相關地下水保護工作，建議如下。

- (一) 強化審查環評說明書與報告書之地下水保護內容
- (二) 持續監測在建設與營運過程對地下水質之影響
- (三) 加強管制周遭可能之高污染潛勢事業單位
- (四) 確保建築工地開挖地下水再利用之地下水品質



第五章 結果與討論

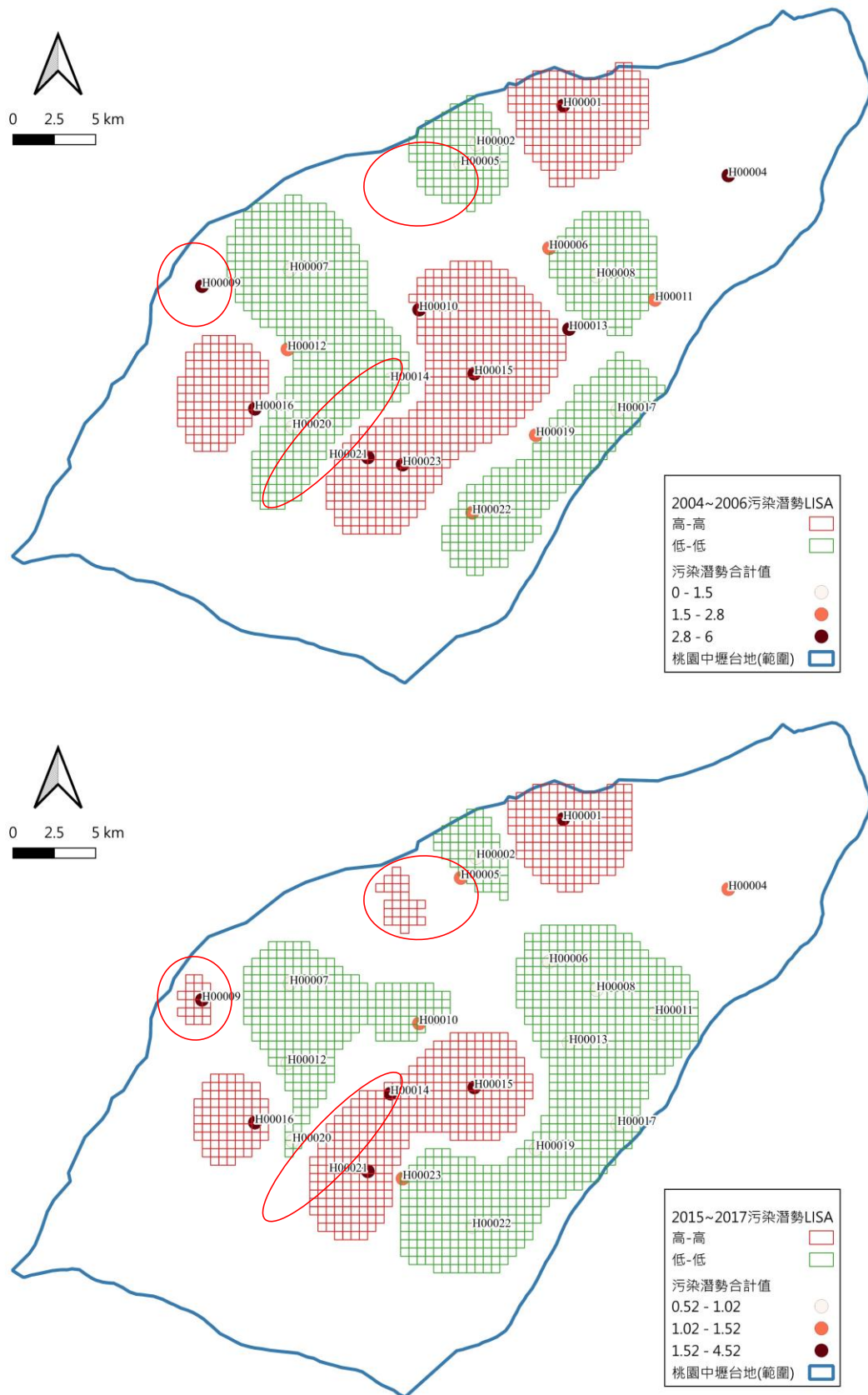
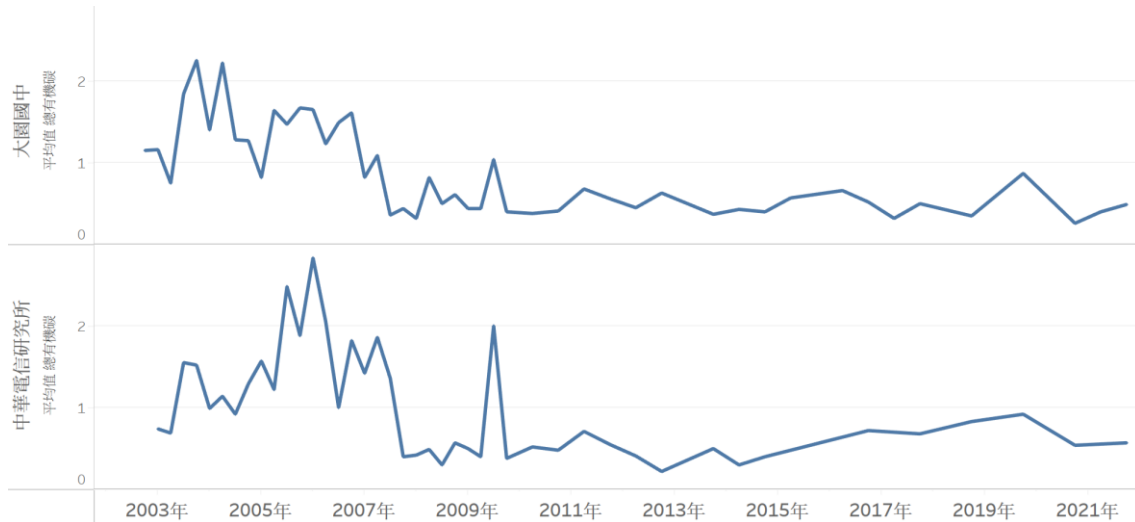


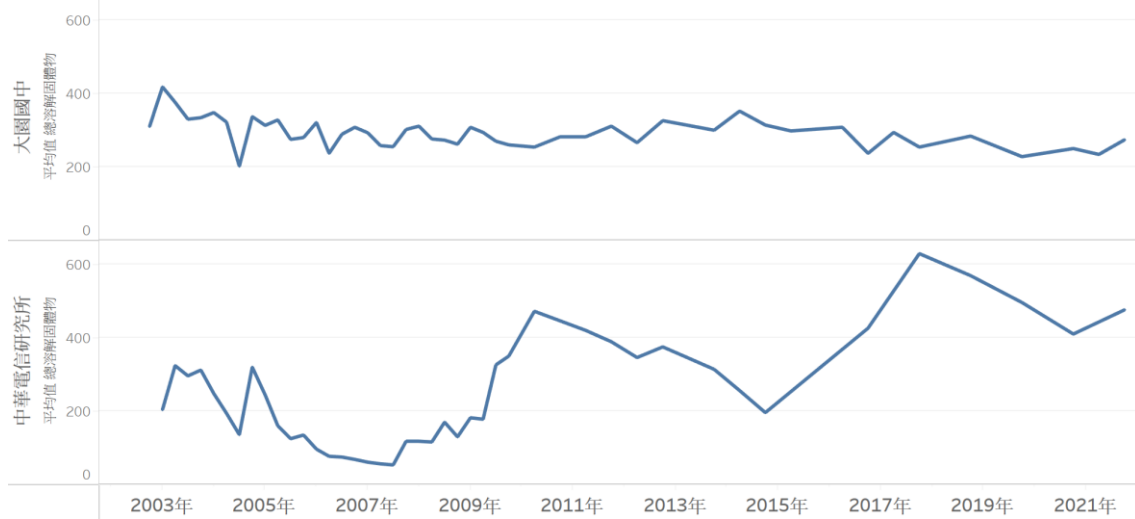
圖5.3-11、本研究標註 LISA 自相關結果轉成高-高型態之區域
(上)2004~2006年(下)2015~2017年



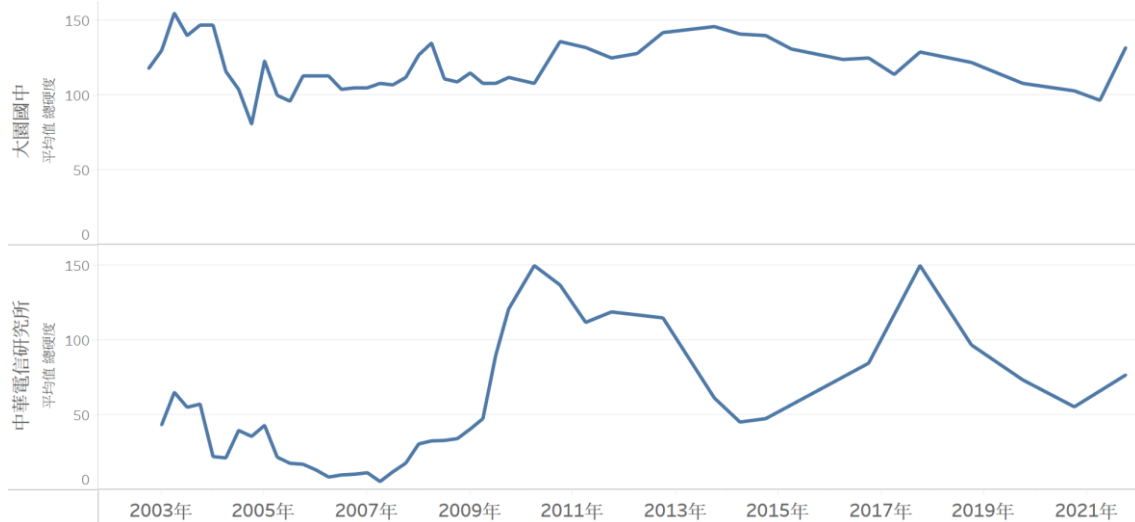
環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估



(a)總有機碳



(b)總溶解固體物



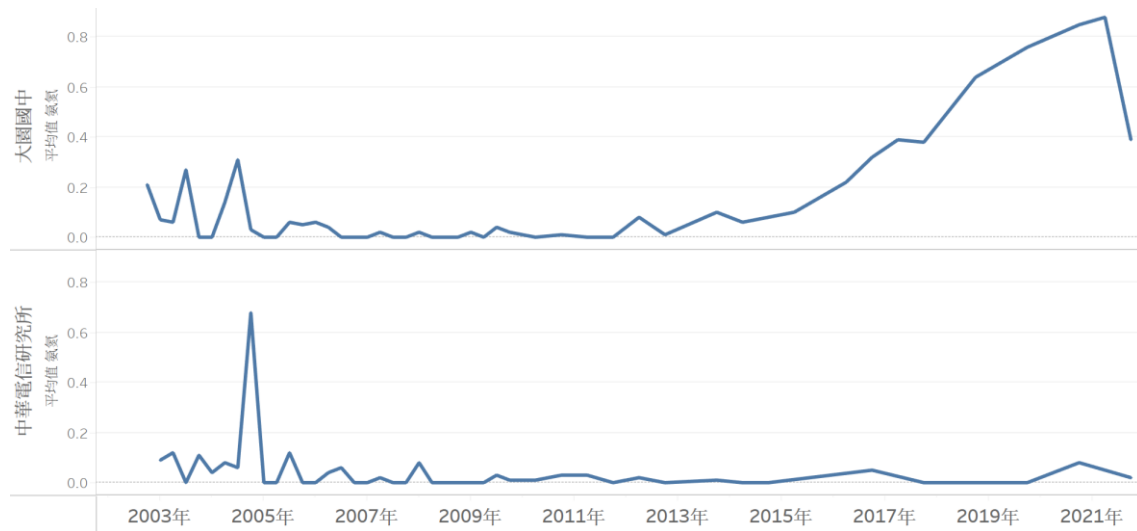
(c)總硬度

註：(上)大園國中(H00005)、(下)中華電信研究所(H00014)

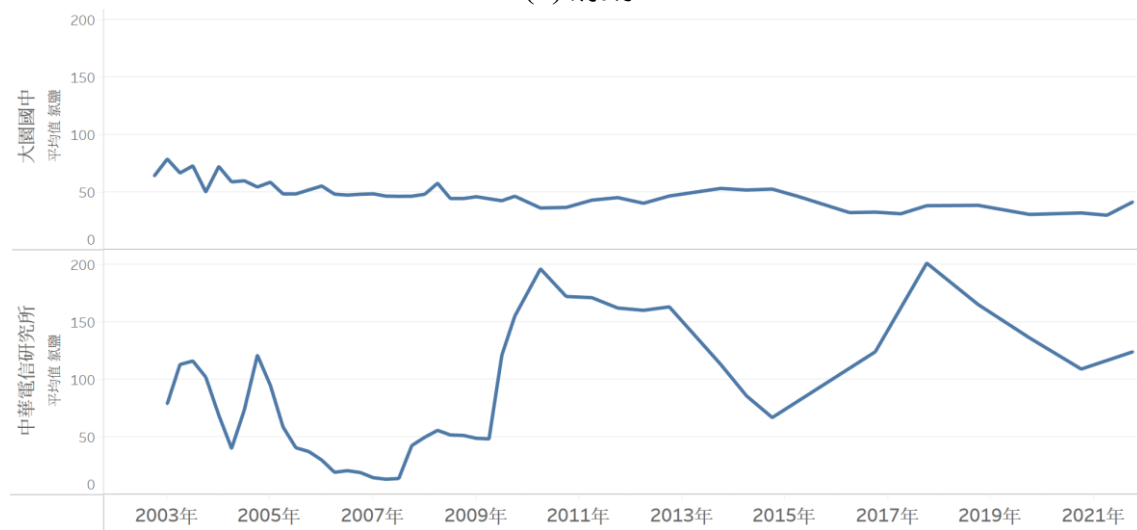
圖5.3-12、水質劣化監測井之背景水質項目歷年變化趨勢圖



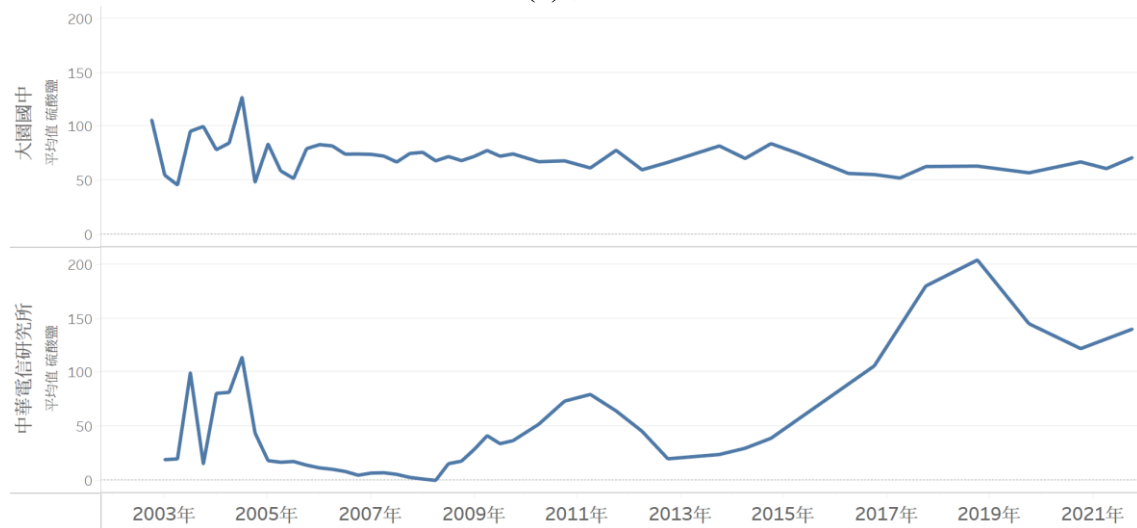
第五章 結果與討論



(d) 氨氮



(e) 氯鹽



(f) 硫酸鹽

註：(上)大園國中(H00005)、(下)中華電信研究所(H00014)

圖5.3-12、水質劣化監測井之背景水質項目歷年變化趨勢圖(續1)



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估

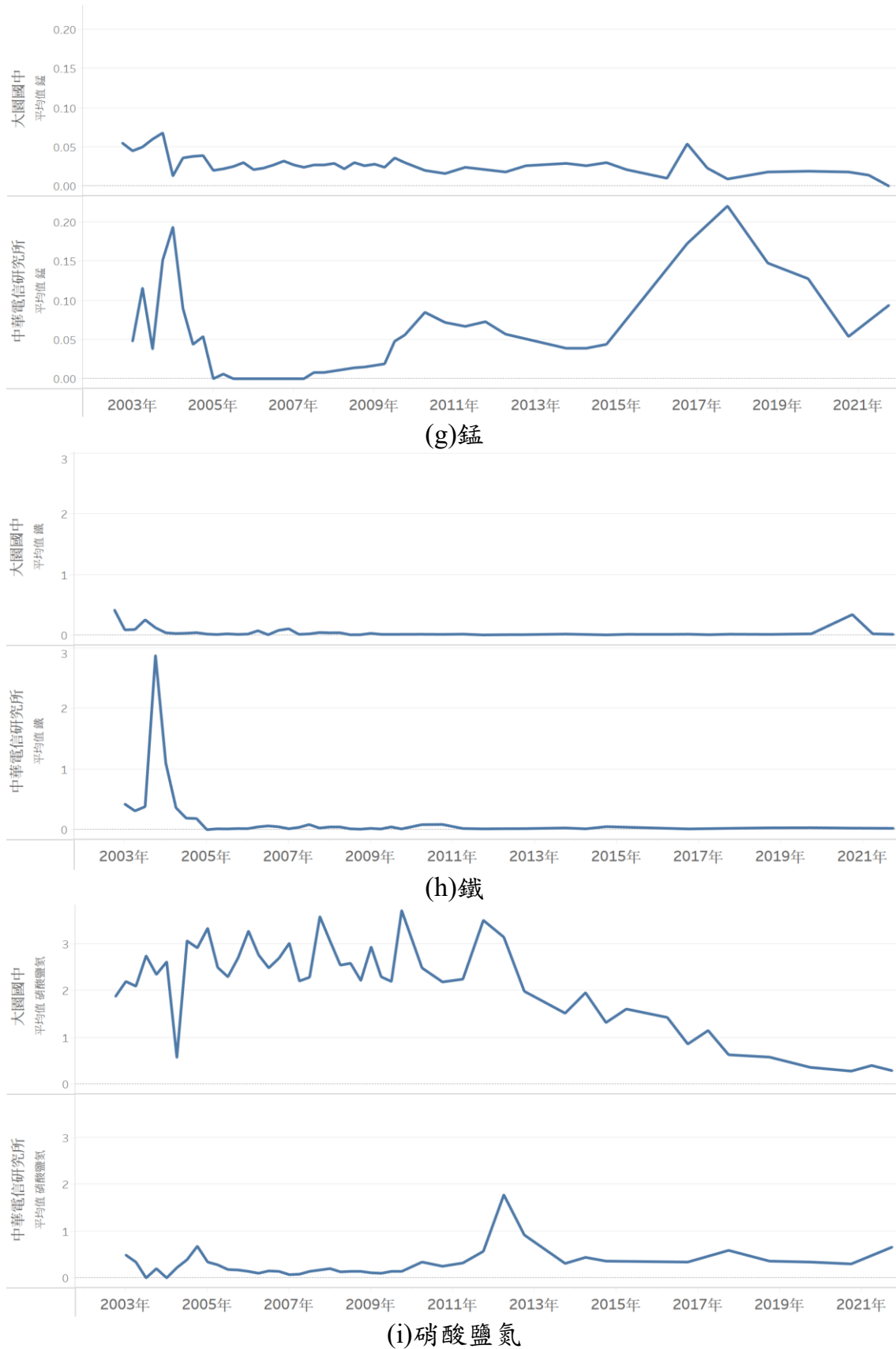


圖5.3-12、水質劣化監測井之背景水質項目歷年變化趨勢圖(續2)



第六章 結論與建議

一、結論

(一) 自然環境因子(雨量及氣溫)

本研究將桃園中壢臺地歷年之氣溫、雨量、及29項地下水水質項目區分為豐、枯、平水年後進行統計分析，結果顯示雨量與氣溫、導電度、氯鹽、水溫、總溶解固體物、酸鹼值、鈉、鎂、鐵等9項水質項目具有顯著負相關性，而與氧化還原電位則具有顯著正相關性，此結果與因素分析結果一致，尤其在枯水年及平水年時，鹽化因子還包含總溶解固體物、導電度等項目，意即在雨量減少狀況下，其導電度、氯鹽、總溶解固體物、鎂、鈉等項目之濃度將隨之增加，彼此之間呈現顯著負相關性；另由氣候因子結果顯示不論是在豐水年或枯水年，雨量及氣溫皆有顯著差異且被歸類在同一因素當中，在豐水年時，此因子包含氧化還原電位，且與雨量同為負相關，此結果與相關性分析結果相符，說明雨量增加亦同時造成地下水偏向氧化條件，而在枯水年時，此因子包含部分鹽化因子，例如硫酸鹽、鎂等，可能是由於枯水期時雨量較少，常以抽取地下水來補足地面水之不足，故導致地下水位下降進而引發海水入侵導致地下水鹽化情形發生。

(二) 人為影響因子(土地利用)

依據本研究地下水污染潛勢計算及空間推估與自相關結果，顯示桃園中壢臺地之高-高型態網格數量減少，由早期759個網格下降至602個網格，而低-低型態網格數量增加，由早期969個網格上升至1,013個網格，多數監測井之地下水污染潛勢為下降或持平狀況，僅大園國中(H00005)之氨氮增加趨勢較明顯，以及中華電信研究所(H00014)之總溶解固體物、總硬度、氯鹽、硫酸鹽、錳等5項皆有明顯增加趨勢。此外，本研究亦彙整2005年及2016年之土地利用型態，土地利用變化情形大致符合桃園地區經濟發展情況，由早期農業、森林、水利、礦鹽等用地轉換成至今建築、交通、公共、遊憩等用地，另進一步分析污染潛勢屬於高-高型態之範圍，其結果顯示範圍內之整體面積增加之用地包括交通用地、建築用地等2種土地利用型態，而農用用地、水利用地、工業用地、其他用地等4種土地利用型態則屬面積減少，故本研究推測其可能是由早期農業、水利、工業、其他等



用地轉換成至今經濟發展提高且生活較為便利之建築、交通等用地。

二、建議

- (一) 建議未來應加強關注大園國中(H00005)周遭大園工業區之地下水水質情形，並釐清氨氮項目逐年增加之可能來源，並可探討中華電信研究所(H00014)之地下水逐年鹽化項目增加之可能原因。
- (二) 在交通設施及建築建設階段，可加強相關地下水保護工作，包括(1)強化審查環評說明書與報告書之地下水保護內容、(2)持續監測在建設與營運過程對地下水質之影響、(3)加強管制周遭可能之高污染潛勢事業單位、(4)確保建築工地開挖地下水再利用之地下水品質。
- (三) 本研究優先以桃園中壢臺地為例，評估其環境變遷對於地下水污染潛勢之影響，建議未來環保署可針對全臺450餘口之區域性監測井進行全面評估，以釐清地下水監測井在不同地下水分區受到自然(氣候)及人為(土地利用型態)改變，而造成地下水水質變化情形。



參考文獻

1. Chen, W.-F.; Liu, T.-K. Dissolved Oxygen and Nitrate of Groundwater in Choshui Fan-Delta, Western Taiwan. *Environmental Geology* 2003, 44 (6), 731–737. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0823-0>.
2. Delhomme, J. P. Kriging in the Hydrosiences. *Advances in Water Resources* 1978, 1 (5), 251–266. [https://doi.org/10.1016/0309-1708\(78\)90039-8](https://doi.org/10.1016/0309-1708(78)90039-8).
3. Goren, O. Geochemical Evolution and Manganese Mobilization in Organic Enriched Water Recharging a Calcareous-Sandstone Aquifer; Clues from the Shafdan Sewage Treatment Plant; 2009.
4. Lee, C.-M.; Choi, H.; Kim, Y.; Kim, M.; Kim, H.; Hamm, S.-Y. Characterizing Land Use Effect on Shallow Groundwater Contamination by Using Self-Organizing Map and Buffer Zone. *Science of The Total Environment* 2021, 800, 149632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149632>.
5. Liang, C.-P.; Wang, C.-H.; Wang, S.-W.; Chang, T.-W.; Chen, J.-S. Application of Factor Analysis for Characterizing the Relationships between Groundwater Quality and Land Use in Taiwan's Pingtung Plain. *Sustainability* 2020, 12 (24), 10608. <https://doi.org/10.3390/su122410608>.
6. Liang, C.-P.; Lin, T.-C.; Suk, H.; Wang, C.-H.; Liu, C.-W.; Chang, T.-W.; Chen, J.-S. Comprehensive Assessment of the Impact of Land Use and Hydrogeological Properties on the Groundwater Quality in Taiwan Using Factor and Cluster Analyses. *Science of The Total Environment* 2022, 851, 158135. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158135>.
7. Mainali, J.; Chang, H. Landscape and Anthropogenic Factors Affecting Spatial Patterns of Water Quality Trends in a Large River Basin, South Korea. *Journal of Hydrology* 2018, 564, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.074>.
8. Nickson, R. T.; McArthur, J. M.; Ravenscroft, P.; Burgess, W. G.; Ahmed, K. M. Mechanism of Arsenic Release to Groundwater, Bangladesh and West Bengal. *Applied Geochemistry* 2000, 15 (4), 403–413. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00086-4).



9. Wang, Y.-B.; Liu, C.-W.; Wang, S.-W. Characterization of Heavy-Metal-Contaminated Sediment by Using Unsupervised Multivariate Techniques and Health Risk Assessment. *Ecotoxicol Environ Saf* 2015, 113, 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.036>.
10. Wu, S.-C.; Ke, K.-Y.; Lin, H.-T.; Tan, Y.-C. Optimization of Groundwater Quality Monitoring Network Using Risk Assessment and Geostatistic Approach. *Water Resour Manage* 2017, 31 (1), 515–530. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1545-x>.
11. 王如意、易任(2003)，應用水文學，國立編譯館。
12. 林文苑(2013)，全國性統計資料於災害社經脆弱度空間自相關分析之應用，銘傳大學都市規劃與防災學系，計畫編號：NSC 101-2410-H-130-064。
13. 張晏菁(2018)，應用空間回歸模式探討都市綠地、PM2.5與地表深度之關聯，逢甲大學景觀與遊憩碩士學位學程研究論文。
14. 陳冠宇(2007)，台灣西南海岸平原地下水砷之遷移與富集，國立台灣大學地質科學研究所博士論文。
15. 陳順宇(2004)，多變量分析，華泰文化。
16. 歐東坤(2005)，嘉南地區地下水砷濃度之研究，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。
17. 羅積玉(1994)，多元統計分析：方法與應用，科技圖書。
18. 行政院環境保護署(2013)，103年全國地下水監測評析及管理規劃計畫，業興環境科技股份有限公司。計畫編號：EPA-103-GA12-03-A242。
19. 行政院環境保護署(2017)，全國地下水管理與整合計畫，業興環境科技股份有限公司。計畫編號：EPA-105-GA01-03-A019。
20. 行政院環境保護署(2019)，全國地下水水質巨量分析與管理推動計畫，業興環境科技股份有限公司。計畫編號：EPA-107-GA11-03-A103。
21. 行政院環境保護署(2020)，地下水污染源管理策略推動計畫，霖昌工程有限公司。



22. 經濟部水資源局(2001)，加強養殖漁業生產區循環用水研究與推廣，雲林科技大學水土資源及防災科技研究中心。



環境變遷對於地下水污染潛勢之衝擊評估