

農地土壤污染篩選機制及資訊管理系統之建置

鄒倫¹、張尊國²、魏敏裕³、鄭百佑⁴

¹財團法人中技社環境技術發展中心 主任

²國立台灣大學生物環境系統工程學系 教授

³環興科技股份有限公司 總經理

⁴國立台灣大學生態工程研究中心 博士後研究員

一、前言

早期我國經濟活動以農業為主，至今仍有水稻田耕地約36萬公頃，約占全國土地10%。近30年來工業急速發展，創造令人稱羨的經濟奇蹟，然而，相關環境污染問題也隨之而生。雖然水污染防治法及空氣污染防治法自六十年代通過立法且已實施多年，但因土壤為各種污染物之最終承受體，空氣、水、廢棄物處理不當所導致之土壤與地下水污染問題終將陸續顯現。此外，土壤重金屬具累積特性，使農作物生產環境，特別是工廠附近及工業區周圍之農地遭受污染情形日益嚴重。受污染農地雖可因農作物剷除銷毀及農地停耕而得到補償，但土壤污染的整治為治標之工作而非治本之法。

因此，我國於民國71年開始進行台灣地區農地土壤重金屬含量調查，期望建立土壤污染基本資料，做為農地污染整治依據。針對多年來的努力調查與相關土壤污染基本資料之建立，政府已收集並彙整許多污染相關資訊，包括土壤污染的基本資料以及各式統計數據等。

然而，過去環保署對於農地的調查，主要採用網格法的方式，從全國的1600公頃大面積網格普查，逐漸針對可能污染之農地土壤區域縮小網格尺度，一步步逼近受污染農地區域。這樣的做法，雖然能夠有效找到受污染農地，但是在整體考量上，並未考量農田灌溉系統等影響因子，提供更為合理或與現今環境污染問題相關的結論。

因此，在這樣的情形下，本研究主要建議改變過去以網格的方式做為農地土壤調查之基準，而進一步配合土壤污染的特性與鍊結關係，鎖定全國農田水利會灌溉小組，做為最適合的管制單元，建立一套污染潛勢區域之篩選機制，期望能透過這樣的概念，找出歷年來環保署在全國土壤污染調查作業中，缺漏並未深入調查的區域。

二、土壤污染調查歷程與調查方法

(一)台灣土壤污染調查歷程

台灣農田以種植水稻為主，灌區內渠道縱橫，為了發揮灌溉效益，使灌溉用水

能回歸且重複利用，故均採用明渠系統。明渠自河川、野溪、湖沼、埤塘引水至田間，上流下接，此種灌溉方式，在農業時代相當發達。

然而，自六十年代起，工業起飛，都市社區逐漸往農村擴大，所造成的廢棄水亦增加，但公共建設供給不及、區域排水欠缺整體規劃，使得灌溉渠道時而變成工業廢水的排洩溝或城市社區之排放水道，並直接或間接將污染物輸送至所灌田間農地，是故台灣地區的土壤污染事件，絕大部分發生在水田。

民國71年，我國政府為了瞭解台灣地區土壤受重金屬污染的情形，故著手進行土壤污染防治工作，將食用農作物生長之農田土壤列為優先防治重點，主要調查土壤中砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八種重金屬的濃度。調查計畫針對全國116萬餘公頃農田土壤，以1,600公頃為單位網格，分4年進行大樣區概況調查，於民國75年底完成「台灣地區土壤重金屬含量調查總報告」。

此調查結果參考專家學者共同訂定之「台灣地區土壤重金屬含量及等級區分表」進行調查結果分級(如表1所示)，顯示全台約有30萬餘公頃農田土壤需進行後續細密調查，以瞭解污染情形與範圍。此調查結果為台灣地區土壤重金屬污染情況提供一個概略的描繪。

隨後，環保署為了更精確調查土壤污染的範圍，自76年起展開後續土壤污染調查，並以大樣區概況調查結果中可能污染

地區為主，分階段進行細密調查，其調查歷程如表2所示。

除了環保署針對台灣土壤進行全面性調查外，農業試驗所亦於民國51至67年分二階段進行「全省耕地土壤詳測調查」。此調查依據土壤性質規劃土地合理利用，藉收適地適栽，合理肥培管理，進而確保良田，以增加農業生產。此外，於民國81年起與全台各區改良場等單位合作進行農田土壤品質及生產力調查，至97年底已完成全省主要農田78萬公頃之土壤採樣。此調查以間隔250公尺進行土壤採樣調查，以提出農地品質現況具體資料，解決國人對農田土壤肥力、土壤劣化、污染之疑慮，並能防範未然。

(二)土壤污染調查方法的改進

不論是環保署或農業試驗所對於全台農地土壤重金屬的調查方法，皆屬於系統性的採樣方式，如環保署是以大網格全面篩選農地受重金屬污染情形，再分割大網格為小網格，逐步逼近污染區，而農業試驗所則為全台間隔250公尺即進行採樣。這些調查方式的優點為系統性強，可有效篩檢出有問題的農地，但其缺點為完全無視污染潛勢，僅由現況調查結果提供資訊，並無納入其他環境因子考量，因而，對於具潛勢區的農地全面掌握需耗費龐大資源。

土壤重金屬污染監測調查工作困難度較高且成本昂貴，因此土壤污染監測調查數據極為珍貴，但如何對監測調查結果進行科學化的分析和研究是提高管理水準的重要基礎，因此經由各方資訊整合與善用

分析工具以補強監測資訊不足之處，是提高土壤污染防治工作的重要手段，也是現階段一個極為迫切的任務。

根據台灣農地土壤污染的途徑，經由農田水利會之灌溉系統，追查土壤重金屬污染範圍是一有效的作法。水利會工作站下轄小組約50~100公頃，使用相同之水源及灌溉系統，因此，若農地中重金屬污染大部份經由水體傳輸時，則污染潛勢與農田灌溉傳輸系統將呈現高度一致性。

若針對農地重金屬污染之屬性，分析全國環境資料，以既有資料尺度之整合、時程與資源的合理，提出以水利會轄管下各灌溉小組為一單元，篩選農地土壤污染區域，後續也可進行污染防治與管理，此做法有四大好處：

1. 與現行農田水利會管理單元一致，可精準掌握灌溉用水來源與傳輸網絡。
2. 整合運用小組內既有之水質監視點，並縮小範圍集中掌握當地事業特性。
3. 農地土壤污染之預警單元以60~130公頃(約為灌溉小組大小)為一單元大小適中。
4. 掌握污染相關性，當污染發生時可快速鎖定特定區域。

基於上述理由，不論發展任何污染潛勢評估方法，若以水利會灌溉小組為最小單元，進行分析比較，可以獲得較具有意義的分析結果。

(三)農地高污染潛勢區域之篩選機制

1.篩選機制之目的

(1)發展篩選方式及前期試辦調查，篩選

污染潛勢區域(歷年遺漏區域)以利後續管制。

(2)建立最有效之農地重金屬污染潛勢預警與整治管理系統。

(3)依據最適合臺灣地區的農地管理單元，進行資源整合及利用。

2.篩選機制之篩選程序

本研究蒐集歷年環保署與農業試驗所針對全國土壤調查資料進行農地污染潛勢分析。

篩選機制調查程序，首先以環保署歷史土壤調查資料100公頃網格為主，計算每個網格之綜合指標值P，依排名羅列出有問題的區域，再套疊農田灌溉小組單元，檢視過去有被發覺的灌溉小組及被忽略的灌溉小組(以受體端檢視)。其中，綜合指標值P為：

$$P = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_m}{C_{si}} \right)^2 + \left(\frac{C_m}{C_s} \right)^2 \right]}$$

其中，

$$\frac{C_m}{C_s} = \max \left(\frac{C_1}{C_{s1}}, \frac{C_2}{C_{s2}}, \dots \right)$$

此綜合指標值P會加重考慮污染程度最大污染值之指數，使最大污染指數對所得結果影響增大。

其次，以農試所資料為基礎，計算全國以工作站或以灌溉小組為單位之綜合指標值，依排名羅列出過去有被發覺的灌溉小組，與被忽略的灌溉小組(以受體端檢視)。

3.初步成果

(1)環保署土壤調查資料

套疊環保署資料污染潛勢指標P計算值與灌溉小組，進行分析比對，其結果如圖1所示，得到74個灌溉小組名單。亦即環保署以發覺這74個灌溉小組具有污染危害。

再依農地土壤重金屬污染綜合指標P試算調查資料，進行污染危害程度排名，列出前150名進行與水利會灌溉小組進行套疊(如圖2所示)，得到36個灌溉小組名單。亦即這36個灌溉小組在污染危害的排名是屬於前36名，理應具有較完整的調查與了解其污染來源及其風險。

利用污染潛勢指標分析出的36個灌溉小組，比對過去調查資訊(上述之74個灌溉小組)，其中有33個小組曾經被環保署調查過，有3個小組不曾被調查過。

(2)農試所土壤調查資料

以農試所資料為基礎，計算全國水利會以灌溉小組為單位之綜合指標值P。經計算結果，共有585個灌溉小組，污染指標大於1(即灌溉區內的農地重金屬含量，已受到若干程度干擾，非為背景值)，如圖3所示。

檢討其中最高之50名，有12個小組曾經被環保署調查過，有38個小組不曾被調查過。

(3)初步成果討論

從環保署與農試所的分析結果可

得知，透過污染潛勢指標的計算，並套疊灌溉水利小組資料，可更瞭解農地污染的範圍及趨勢，亦可找出有污染潛勢且需後續進行調查的區域。此外，環保署的調查資料以100公頃為調查基本單位，而農試所以250公尺進行採樣，但兩種調查資料的分析結果，其污染潛勢有相同的趨勢。

三、土壤調查資料整合與系統建置

為有效提供農地污染潛勢分析及後續整治管理之應用，本研究將利用GIS系統工具，進行資料庫系統之整合建置。基本上，將以環保署既有之基礎再進行空間資料及各項調查數據的蒐集工作，並且進一步將各項資料分門別類，彙整空間地理資料庫，除了提供篩選機制在資料應用上，能更具備整體性以及系統性外，更希望能夠透過資料庫的建立，開發「農地重金屬污染潛勢評量與預警管制系統」做為農地土壤污染管制查詢用平台。

因此，於系統整體架構規劃過程，將參照現行土壤及地下水污染整治法、水污染防治法、台灣省灌溉事業管理規則、台灣省灌溉用水水質標準、土壤污染監測基準與管制標準等相關法規及現行相關調查計畫與執行管理等作業之需求，蒐集包括「農地土壤調查資料」、「農田水利會灌溉系統資料」及「污染潛勢區內之可能污染源資料」等，並結合「環保單位歷年農地調查圖資」、「農試所土壤採樣區」、「試辦區之農田水利會灌區灌渠圖籍」、「試辦區地籍圖資料處理」以及「污染源及其他相關圖資」等地理資訊系統圖資進行整合。整體系統架構規畫如圖4所示。

(一)資料蒐集與前處理

針對系統整體架構，規劃透過資料庫的建置，彙整各方蒐集的資料，並與既有相關系統，建立資料連結模式。包括環保署本身「環境地理資料庫」、土污基管會所管理之「土壤及地下水污染場址資訊系統資料庫」，取得各項既有圖資與資料之間的界接，包括：污染源資料、基本工業區範圍圖資、電子地圖、航拍影像以及各項環保署設立之監測站位置與特定環境保護區域劃分狀況等；另一方面，也向農試所、農委會和農田水利會等農政單位，蒐集各項農地土壤調查資料、土壤質地、背景值數據以及相關區域灌排系統圖資、灌溉小組區域劃分、各地區農田間水工構造物位置與搭排戶等潛在污染源資訊等。

現階段配合環保署以及農政單位、水利單位等提供之資料，由於來源不同，相對的在資料的內容與格式上也有所出入。不同單位對於資料的需求目的不同，在資料建立上，本就會有不同方向，不論是土壤調查的項目、計量的方式或者是空間資料座標系統的不同，在資料的彙整上，都是一項必須優先解決的前處理工作。

為此，配合各單位提供之資源，我們也進一步以環保署土污基管會之空間資料為基礎，建構符合資料庫所需之各項標準，包括欄位、格式、數據單位以及座標系統等，配合系統未來整體需求以及導向，規劃專屬的空間地理資料庫。並將各單位彙整之資料，進行空間資料正規化的工作，包括GIS圖資的座標檢核、位向關係的整理，以及各式調查數據或相關伴隨

空間資料的屬性欄位，建立資料庫規範，重新將各項資料整合，透過資料彙整與資料庫完善之建立，做為整體應用系統之核心。

(二)資料庫規劃與建立

為達成系統建置目標與整體方向，透過訪談與各資料提供單位的拜會，初步針對篩選機制建立之所需，進行相關資料蒐集整理作業，並且初步劃分為調查資料、分析輔助以及基本地理背景資料等三大類。

1. 調查圖資

針對歷年來各環保單位之農地調查資料，依據過去調查作業成果，在民國90年皆以不同網格大小進行大、中、小樣區之檢測結果以呈現相關資訊。資料內容初步規劃以1公頃、25公頃、100公頃及1600公頃範圍，作為資料網格大小規範。此外，包括91年度319公頃調查後，另建置土壤採樣檢測位置代表點之監測位置圖層，透過相關地理背景圖資、分析輔助資料及影像等，能夠確實顯示調查成果，將相關農地重金屬污染調查結果，於圖台上顯示。

2. 分析輔助

此部份主要作為系統應用管理分析或決策輔助等之相關圖資，包括如門牌、地籍、其他環境監測、環境管制等相關圖資，此部分圖資由於非本單位權責產製，因此大都由環保署其他單位或外部機構進行資料交換取得以確保資料之更新，因此對於環保署其他單位之資料可透過與環境地理資料庫之整合建置而取得並持續更新維護。

3.基本地理背景資料

此部份主要作為標的主題所在地理位置或空間區域現況之呈現，如行政區、道路、水系、地名、地標等電子地圖及地形高程、航拍或衛星空間影像等，其豐富度可決定呈現分析結果其所在之地理空間分佈狀況之明確程度。此部分資料目前電子地圖亦納入環境地理資料庫中可持續進行更新維護。另外，透過環保署環境地理資料庫，將農航所航照正射影相於系統中整合，進一步與相關調查資料套疊，提供使用者透過歷史影像之輔助，輔助農地周邊污染狀況之了解。相關資料整理如表3所示。

(三)後續發展

配合上述整體資料庫的建置作業，將持續進行資料彙整。未來配合推動方案規劃所需之輔助資源。此外，更希望能夠透過「農地重金屬高污染潛勢評量與預警管制系統」的建立，提供署內各業務單位使用者，透過系統功能查詢所需資料，或透過相關申請作業，取的資料庫內彙整之資源；各縣市環保局以及相關調查與需求單位，均能透過系統功能及權限之申請，查詢到所需農地土壤調查資料及各式輔助資訊。未來，更能透過該系統之各項功能，與權限設定，將土污基管會多年來針對農地土壤所做的各項努力與資訊整理，提供民眾瀏覽，以達到對國內各需求使用單位，資源共享以及資訊公開之目的。

四、結論

現階段已針對篩選機制建立之所需，彙整各部會相關全國性農地土壤調查圖資，包含環保署歷年農地土壤調查資料及

農試所全國性土壤調查資料，並且，透過既有已彙整之相關數據，進一步匯入篩選機制之演算法則中，進一步歸納出相對應之高污染潛勢區域。後續將針對篩選機制之建立，持續蒐集所需資料，並配合試辦區的調查計畫，驗證篩選機制的適宜性，以有效應用於未來農地土壤調查之規劃。

系統建置的部分，將優先建置完善之整體農地重金屬污染潛勢評量與預警管制系統資料庫。透過持續蒐集之各方資料，將其以地理資訊圖資(GIS)與屬性資料(MIS)的方式進行資料整理，建立資料庫內容，並透過WebGIS圖台展示，將彙整之圖資，有系統之分類方式，於圖台上展示。進一步將配合業務單位之訪談結果，針對需求規劃實際之功能標的，將既有規劃之查詢展示功能，以更符合使用者需求之角度進行開發與建置。

不論是篩選機制的建立，或是整合各部會相關資料以建立資料共享平台，其目的皆希望透過更有效的方法來進行土壤污染調查，並將相關土壤調查資料進行整合與管理，透過系統輔助管理作業，以期有效協助農地污染改善與防治作業的推動。

【作者簡介】



鄒倫教授於1985年在美國北卡羅來納州立大學(North Carolina State University)取得環境工程博士學位。曾任職於台北科技大

學、淡江大學、中國技術服務社環保科

技中心，現職為擔任財團法人中技社環境技術發展中心主任，並且兼任中央大學環境工程研究所副教授一職。其研究領域為空氣品質管理、水質及流域管理、事業廢棄物管理、環境資訊管理、毒性物質管理、環境影響評估、工業衛生及工業安

全、環境工程實驗室管理及運作。

電話：(02)27049805 ext 60

傳真：(02)27059184

E-Mail：leontzou@email.ctci.org.tw

表 1 台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表

重金屬項目	第一級	第二級	第三級	第四級	第五級	
			(背景值)	(觀察值)	監測值	農地優先整治值
砷(As)		表土<4	4-9	10-60	>60	>60
		裡土<4	4-15	16-60	>60	>60
鎘(Cd)		<0.05	0.05-0.39	0.40-10*	>10	>10*
鉻(Cr)		<0.10	0.10-10	11-16	>16	>40
銅(Cu)	<1	1-11	12-20	21-100	>100	>180
汞(Hg)		<0.10	0.10-0.39	0.40-20*	>20	>20*
鎳(Ni)		<2	2-10	11-100	>100	>200
鉛(Pb)		<1	16-120	16-120	>120	>200
鋅(Zn)	<1.5	1.5-10	11-25	26-80	>80	>300
備註：						
(1) 單位為 mg/kg						
(2) As 及 Hg 為全量，Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 及 Zn 為 0.1N 鹽酸抽出量。						
(3) 「*」栽種稻米之農地土壤，其鎘與汞含量大於 1mg/kg 時，應比照第五級地區，進行監測與整治事宜。						

表 2 台灣地區農地土壤系統性調查歷程

階段	期程	總調查面積 (公頃)	採樣單位 (公頃)	調查結果
一 (概況調查)	民國 71~75	116 萬餘	1,600	30 餘萬公頃達第五級標準以上
二 (中樣區調查)	民國 76~79	30 萬餘	100 與 25	約 5 萬公頃達第四級標準以上，約 790 公頃達第五級標準
	民國 81~88	5 萬餘	25 與 1	交由各縣市環保局定期監測並追查污染源
三 (細密調查)	民國 81~90	針對中樣區調查結果之重金屬含量偏高地區	1	1,024 公頃達第五級標準，扣除銅、鋅為 319 公頃
四 (319 公頃調查計畫)	民國 91~92	319	地籍地號/坵塊	達土壤污染管制標準農地約 282.64 公頃
備註：土壤重金屬含量屬第一級或第二級視為無土壤重金屬污染情形，屬第三級定義為土壤中重金屬之背景濃度，屬第四級或第五級則認定土壤遭受重金屬污染，應加強土壤污染監測並考慮污染改善工作之進行。				

表 3 資料蒐集內容表

編號	項目	分類	內容	資料格式	來源單位	範圍
1	農試所歷年土壤調查資料	調查圖資	0-15cm 土壤調查 (250*250m 網格點)	點圖層, shapefile 檔	農試所	全國
2		調查圖資	15-30cm 土壤調查 (250*250m 網格點)	點圖層, shapefile 檔	農試所	全國
3	EPA 歷年土壤調查圖資	調查圖資	農地土壤污染調查區塊_1 公頃	網格面, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
4		調查圖資	農地土壤污染調查區塊_25 公頃	網格面, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
5		調查圖資	農地土壤污染調查區塊_100 公頃	網格面, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
6		調查圖資	農地土壤污染調查區塊_1600 公頃	網格面, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
7		調查圖資	土壤 319 公頃_調查區 1 公頃	面圖層, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
8		調查圖資	土壤 319 公頃_調查採樣點	點圖層, shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
9		調查圖資	93_彰化縣農地土壤重金屬監測計畫 調查結果	點圖層, shapefile 檔	報告書	彰化
10		調查圖資	96_彰化縣土壤重金屬污染範圍擴大 調查結果	點圖層, shapefile 檔	土壤及地下水污染場 址資訊系統資料庫	彰化
11	94 年底泥採樣調查資料	調查圖資	94_中興大學灌溉水及灌溉渠道底泥 對農地污染之影響 計畫調查結果	資料數據	報告書	全國
12	96 年土壤重金屬調查計畫 資料	調查圖資	96_康城 灌溉水監測網路系統之重金 屬檢測 計畫調查結果	資料數據	報告書	全國
13	近年來縣市環保局土壤調查	調查圖資	目前土基會建置已彙整近四年來環保 局調查之土壤資料	資料數據	土壤及地下水污染場 址資訊系統資料庫	全國
14	污染場址整治後驗證調查	調查圖資	整治後土壤調查資料	資料數據	報告書	全國
15	農地列管場址	調查圖資	農地列管場址資料, 包括列管地籍、 項目等資料	資料數據	土壤及地下水污染場 址資訊系統資料庫	全國
19	土壤質地	分析輔助	土系等土壤質地圖資	面圖層, shapefile 檔	農試所	全國
20	全國農田水利會小組	分析輔助	小組範圍	面圖層, shapefile 檔	農委會	全國

21		分析輔助	灌溉渠道，至小給水路	線圖層，shapefile 檔	台中農田水利會	台中水利會轄區
22	水利會灌溉渠資料(彰化、桃園、石門、台中、新竹、宜蘭等)	分析輔助	排水渠道，至小排	線圖層，shapefile 檔	台中農田水利會	台中水利會轄區
23		分析輔助	工作站	點圖層，shapefile 檔	台中農田水利會	台中水利會轄區
24		分析輔助	小組，或輪區範圍	面圖層，shapefile 檔	台中農田水利會	台中水利會轄區
25	水質監測資料	分析輔助	檢測資料(圖資 or MIS 數據)	數據	農委會	全國
26		分析輔助	檢測點位	點圖層，shapefile 檔	農委會	全國
27		分析輔助	土壤及地下水污染場址位置圖	點圖層，shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
28	EPA 水質監測井圖資	分析輔助	區域性地下水水質測站	點圖層，shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
29		分析輔助	場置性地下水水質測井	點圖層，shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
30		分析輔助	灌溉水水質監視點位置圖	點圖層，shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
31	EPA 污染源圖資	分析輔助	工業區範圍	面圖層，shapefile 檔	EPA 環境地理資料庫	全國
32		分析輔助	加油站	點圖層，shapefile 檔	土壤及地下水污染場址資訊系統資料庫	全國
33		分析輔助	列管工廠或場所	點圖層，shapefile 檔	EMS 環境保護許可 管理系統	全國
34	地籍圖資料蒐集(試辦區內資料處理)	分析輔助	地籍圖資料蒐集(試辦區 1000 公頃範圍)	面圖層，shapefile 檔	土壤及地下水污染場址資訊系統資料庫	試辦區
35	農糧署水稻田調查農地地塊圖	分析輔助	試辦區農地地塊圖(試辦區 1000 公頃範圍)	面圖層，shapefile 檔	農糧署	試辦區
36	食米監測調查數據	分析輔助	圖資 OR 數據	數據	農糧署	全國
37	基本底圖	基本底圖	台灣地區電子地圖(含澎湖群島)	Cache Map	EPA 環境地理資料庫	全國
38	影像	基本底圖	農航所全台航拍影像	Cache Map	EPA 環境地理資料庫	全國

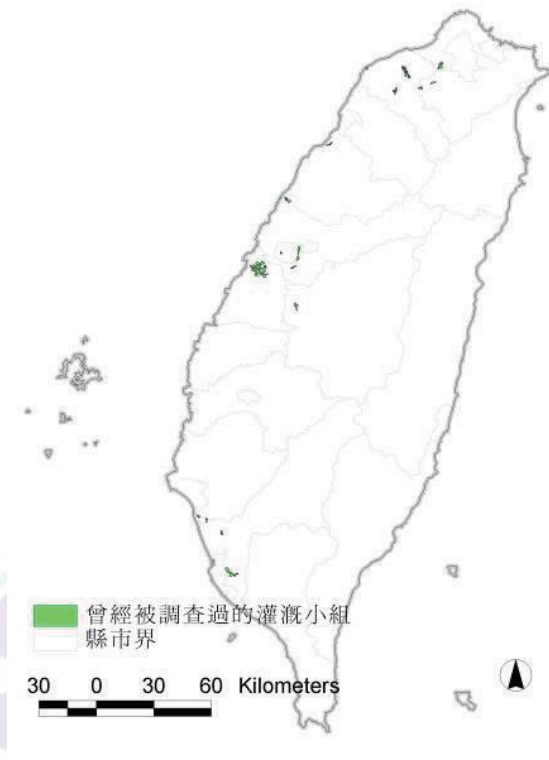


圖 1 曾經被環保署調查過的小組位置



圖 2 環保署資料污染潛勢指標 P 排名前 150 名灌溉小組

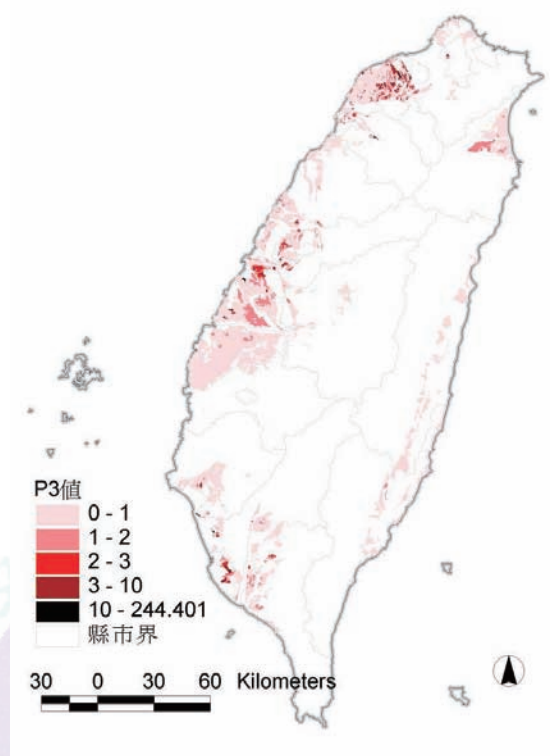


圖 3 農試所資料污染潛勢指標結果

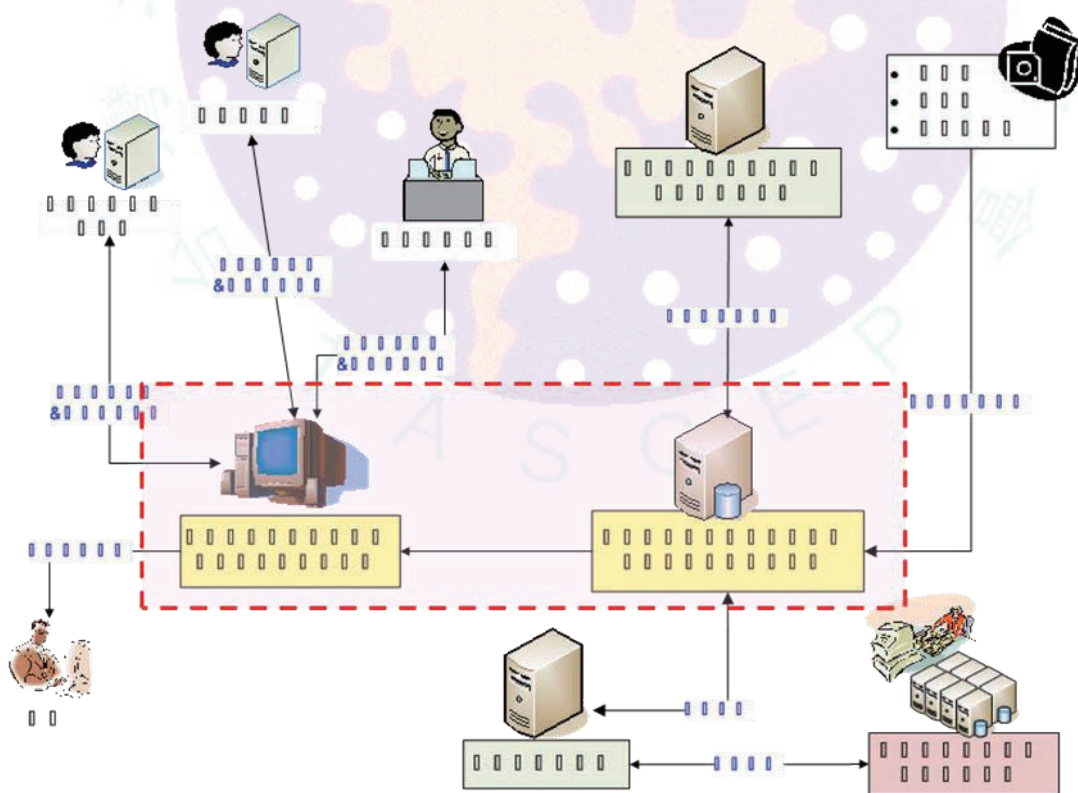


圖 4 系統整體架構運作規劃