

建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理
機制計畫
書面正式報告-本文

計畫編號：108A452

受託單位：業興環境科技股份有限公司

計畫執行期間：109年2月12日至109年12月31日

中華民國 109 年 12 月
行政院環境保護署編印

| |
|------|
| 圖書編號 |
|------|

| |
|--------------|
| EPA034109031 |
|--------------|

※本報告係受託單位或計畫主持人個人之意見，僅供本署施政之參考，不代表本署立場。

※本報告之著作財產權屬環保署所有，非經環保署同意，任何人均不得重製、仿製或其他之侵害。

建構富砷地下水及農地土壤 砷濃度預警管理機制計畫

受託單位：業興環境科技股份有限公司

計畫執行期間：109.02.12~109.12.31

計畫經費：NTD 9,330,000

計畫主持人：簡庭駿

計畫執行人員：王聖璋、林高弘、張元馨

林建文、李蕙君、陳雅雯

中華民國 109 年 12 月

「建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫」

報告基本資料表

| | | | |
|---|--|------|------------------|
| 委辦單位 | 行政院環境保護署 | | |
| 執行單位 | 業興環境科技股份有限公司 | | |
| 參與計畫人員姓名 | 王聖璋、林高弘、簡庭駿、張元馨、林建文、李蕙君、陳雅雯 | | |
| 年 度 | 109 | 計畫編號 | 108A452 |
| 研究性質 | <input type="checkbox"/> 基礎研究 <input checked="" type="checkbox"/> 應用研究 <input type="checkbox"/> 技術發展 | | |
| 研究領域 | 環境科學(含環保工程、環境管理) | | |
| 計畫屬性 | <input type="checkbox"/> 科技類 <input checked="" type="checkbox"/> 非科技類 | | |
| 全程期間 | 109年2月~109年12月 | | |
| 本期期間 | 109年2月~109年12月 | | |
| 本期經費 | 計畫經費 9,330.000 千元 | | |
| | 資本支出 | | 經常支出 |
| | 土地建築 | 0 千元 | 人事費 3,974.607 千元 |
| | 儀器設備 | 0 千元 | 業務費 5,316.971 千元 |
| | 其 他 | 0 千元 | 材料費 0 千元 |
| | | | 其 他 0 千元 |
| 摘要關鍵詞 (中英文各三則) | | | |
| 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬 (Development of response strategy for local EPB's Arsenic in rice incident reporting) | | | |
| 土壤砷污染判定流程修正 (Reversion of "the process for determining soil arsenic pollution") | | | |
| 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立 (Establishment of early warning mechanism for Arsenic in farmland soil across potential area of high Arsenic concentration) | | | |

行政院環境保護署計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫

二、英文計畫名稱：

Early warning management and mechanism development on Arsenic-rich groundwater and soil in farmlands

三、執行單位：

業興環境科技股份有限公司

四、計畫主持人（包括共同主持人）：

簡庭駿、王聖璋

五、執行開始時間：

109/02/12

六、執行結束時間：

109/12/31

七、報告完成日期：

109/12/24

八、報告總頁數：

353（不含附錄）

九、使用語文：

中文，英文

十、報告電子檔名稱：

108A452-建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫.doc

108A452-建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫.pdf

十一、報告電子檔格式：

WORD2013(DOC)，Acrobat(PDF)

十二、中文摘要關鍵詞：

土壤砷污染判定流程修正，高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立，縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

十三、英文摘要關鍵詞：

Development of response strategy for local EPB's Arsenic in rice incident reporting, Reversion of "the process for determining soil arsenic pollution", Establishment of early warning mechanism for Arsenic in farmland soil across potential area of high Arsenic concentration

十四、中文摘要

本計畫彙整近年稻米檢測資料，篩選稻米砷濃度偏高區域進行環境砷濃度流布探討，調查稻米砷濃度曾偏高區域之鄰近土壤與引灌水源之砷含量，進一步整合自「食品中污染物質及毒素衛生標準」實施以來，國內稻米砷超標農地案例，歸納其環境土壤與地下水砷濃度趨勢，並驗證相關應變程序可行性，作為縣市環保機關會調砷米超標通報事件之因應策略參照。

環保署為協助縣市環保機關辦理農地土壤砷濃度達污染管制標準之成因判定，雖已於民國 107 年 3 月 28 日公布土壤砷污染判定及處理原則，然而前述原則自發布以來時常發生無法判定或判定困難等問題，因此本計畫依據國內歷史土壤檢測數據篩選 3 處樣區，利用調查結果及歷年土壤砷污染判定案例，修正原有土壤砷污染判定流程。

長期引灌富砷地下水致使農地土壤砷逐漸累積，在我國主要農業區與地下水砷潛勢範圍重疊度高的條件下，倘若貿然限制地下水的使用對現今農地農地活化政策產生衝突，為此本計畫期建立農地土壤砷預警機制，以利未來縣市主管機關就轄下農地面臨風險之管理作為，同時確保推動示範之管理機制符合民意與實務需求，於本計畫辦理 3 場次培力學堂、1 場專諮會與 2 場座談會，收集實務運用之回饋意見供環保署參考。

十五、英文摘要

This project has aggregated rice testing data from Taiwan Agriculture Chemicals and Toxic Substances Research Institute(TACTRI), Council of Agriculture of Executive Yuan, screened and discussed Arsenic(As) environmental distribution in areas where high As concentration was found in rice outside the

potential area of high As concentration in groundwater in order to clarify heavy metals' concentrations such as As in soils and irrigating water in the adjacent area where high As concentration in rice was observed. Also, to provide a reporting strategy of As in rice incidents as a reference to local environmental protection bureaus(EPBs), this project has integrated historical domestic cases of inorganic As concentration in rice exceeded the limit value, summarized As concentration in soils and groundwaters, and verified the response protocol.

To reduce the cost of investigation, complete As exceedance determination efficiently through initial evaluation by local EPBs, and solve the difficulty and issue where As concentration exceedance in agriculture soils was occurred naturally, this project has completed a revised version of “the process for determining soil arsenic pollution” and amended an initial evaluation method by screening 3 sample areas over 28,880 historical domestic soil testing data, completing an investigation, and integrating historical As contamination in soil cases.

Long-term As-rich irrigating water from groundwater source discharged into farmlands may cause As accumulation in farmlands and increase the probability of farmland soil exceeding the standard. Moreover, the potential areas of high As in groundwater and main agricultural areas are highly overlapped, the conflicts between current farmland revitalization policy and sustainable use policy may occur if stricter groundwater use regulation was implemented. This project has established early warning mechanisms for As in farmland soil with long-term continuous monitoring, and developed soils, groundwaters, and crops safety management measures to facilitate local EPBs to evaluate agriculture land management and the necessity of remediation. Meanwhile, to demonstrate its management mechanism in both public opinion and practical needs, public participation was introduced in this investigation process by collecting the opinions of stakeholders in 3 meetings involving a total of 130 participant.

行政院環境保護署
建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫
書面正式報告

目 次

| | <u>頁碼</u> |
|---------------------------------|------------|
| 摘要 | 摘-1 |
| 第一章 計畫緣起、目標及工作項目 | 1-1 |
| 1.1 計畫緣起 | 1-1 |
| 1.2 計畫目標 | 1-2 |
| 1.3 工作項目及內容 | 1-3 |
| 1.4 執行進度 | 1-8 |
| 第二章 農地砷污染來源與管制現況 | 2-1 |
| 2.1 砷污染來源與污染成因 | 2-1 |
| 2.2 國內外砷法規標準管制現況 | 2-8 |
| 2.2.1 土壤砷法規標準管制現況 | 2-8 |
| 2.2.2 地下水砷法規標準管制現況 | 2-10 |
| 2.2.3 食用作物砷法規標準管制現況 | 2-12 |
| 2.3 國內砷土水潛勢區域及判定流程建立 | 2-14 |
| 2.3.1 地下水砷調查成果 | 2-14 |
| 2.3.2 土壤砷濃度資料 | 2-20 |
| 2.3.3 地下水潛勢地圖與判定流程 | 2-25 |
| 2.3.4 引灌富砷地下水之土壤影響地圖及判定流程 | 2-29 |
| 2.4 國內砷土水管理機制及處理方案 | 2-32 |
| 2.4.1 土壤砷植生復育法砷移除試驗 | 2-33 |
| 2.4.2 地下水砷移除試驗 | 2-35 |
| 2.5 富砷影響農地管理策略 | 2-36 |
| 2.5.1 國外富砷地下水影響管理策略 | 2-40 |
| 2.5.2 國內富砷地下水影響管理策略 | 2-50 |

| | | |
|------------|-------------------------------------|------------|
| 第三章 | 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬 | 3-1 |
| 3.1 | 調查樣區篩選..... | 3-1 |
| 3.1.1 | 歷年稻米砷濃度統計..... | 3-1 |
| 3.1.2 | 砷潛勢區外樣區篩選原則..... | 3-4 |
| 3.2 | 計畫樣區調查結果..... | 3-8 |
| 3.2.1 | 樣區一台中市大肚區調查結果..... | 3-8 |
| 3.2.2 | 樣區二彰化縣鹿港鎮調查結果..... | 3-20 |
| 3.2.3 | 樣區三苗栗縣西湖鄉調查結果..... | 3-30 |
| 3.2.4 | 國內歷年農地稻米砷濃度超標案例..... | 3-42 |
| 3.3 | 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬... .. | 3-44 |
| 3.3.1 | 農作物重金屬等污染監測管制作業程序..... | 3-44 |
| 3.3.2 | 稻米砷與環境影響因子之相關性..... | 3-46 |
| 3.3.3 | 縣市環保機關稻米砷超標通報事件因應策略研擬 | 3-50 |
| 3.4 | 小結..... | 3-55 |
| 第四章 | 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定 | 4-1 |
| 4.1 | 目標調查樣區篩選..... | 4-2 |
| 4.1.1 | 歷年土壤砷濃度統計..... | 4-2 |
| 4.1.2 | 潛勢範圍外樣區篩選原則與採樣規劃..... | 4-4 |
| 4.2 | 計畫樣區調查結果..... | 4-8 |
| 4.2.1 | 樣區一彰化縣大城鄉樣區調查結果..... | 4-8 |
| 4.2.2 | 樣區二雲林縣台西鄉調查結果..... | 4-21 |
| 4.2.3 | 樣區三雲林縣大埤鄉調查結果..... | 4-31 |
| 4.3 | 農地土壤砷濃度偏高來源判定及修正..... | 4-43 |
| 4.3.1 | 土壤砷來源判定流程..... | 4-43 |
| 4.3.2 | 土壤砷來源判定流程修正重點..... | 4-48 |
| 4.3.3 | 修正之土壤砷污染判定流程案例對照..... | 4-55 |
| 4.4 | 小結..... | 4-60 |
| 第五章 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立 | 5-1 |
| 5.1 | 樣區篩選與調查辦理成果..... | 5-2 |

| | |
|--|------------|
| 5.1.1 樣區篩選..... | 5-2 |
| 5.1.2 樣區一雲林縣大埤鄉佈點及調查結果 | 5-10 |
| 5.1.3 樣區二雲林縣四湖鄉佈點及調查結果 | 5-25 |
| 5.1.4 樣區三雲林縣水林鄉佈點及調查結果 | 5-38 |
| 5.2 農地砷預警機制建立規劃 | 5-51 |
| 5.2.1 彙整農業生產環境砷濃度傳輸模型理論及文獻 | 5-52 |
| 5.2.2 建立不同引灌行為農地砷預測統計模型 | 5-59 |
| 5.3 研擬灌溉水源、土壤與作物安全管理措施 | 5-65 |
| 5.3.1 環保單位管理策略研析 | 5-65 |
| 5.3.2 水利單位管理策略研析 | 5-66 |
| 5.3.3 農業單位管理策略研析 | 5-69 |
| 5.3.4 規劃食品安全平台跨部會合作事項 | 5-73 |
| 第六章 農地砷污染管理推廣作業 | 6-1 |
| 6.1 跨單位研商與專家諮詢會議 | 6-1 |
| 6.1.1 專家諮詢會議「土壤砷污染判定及處理原則修正」 辦理成果 | 6-2 |
| 6.1.2 本計畫成果交流分享座談會辦理成果 | 6-9 |
| 6.2 農業環境資源安全深耕培力課程 | 6-14 |
| 6.2.1 培力課程主軸架構 | 6-14 |
| 6.2.2 農業環境資源安全深耕培力課程辦理成果 | 6-18 |
| 第七章 行政作業與其他事項 | 7-1 |
| 7.1 相關工作檢討會議 | 7-1 |
| 7.2 其他行政配合工作 | 7-2 |
| 第八章 結論與建議 | 8-1 |
| 8.1 結論 | 8-1 |
| 8.2 建議事項 | 8-4 |
| 參考文獻 | 參-1 |

附件

- 附件一 歷次審查意見答覆說明
- 附件二 歷次工作會議紀錄
- 附件三 農田地主訪談紀錄表
- 附件四 農田地主同意書
- 附件五 農地土壤判定評分表
- 附件六 專諮會及座談分享會簽到表
- 附件七 培力課程簽到表與回饋問卷

光碟附件

- 光碟附件一 土壤砷污染判定及處理原則
- 光碟附件二 土壤砷污染預警使用年限推估表
- 光碟附件三 品保規劃書
- 光碟附件四 現場調查採樣及檢測報告

圖目次

| | <u>頁碼</u> |
|----------|--|
| 圖 2.3-1 | 108 年地下水砷濃度超出監測標準之區域性監測井 2-15 |
| 圖 2.3-2 | 民國 99~102 年觀測井地下水砷濃度分布 2-17 |
| 圖 2.3-3 | 農試所調查中南部地下水砷濃度分布圖 2-19 |
| 圖 2.3-4 | 319 公頃高污染潛勢農地土壤砷含量分布 2-21 |
| 圖 2.3-5 | 環保署早期調查四大平原之土壤砷濃度分布 2-23 |
| 圖 2.3-6 | 地下水砷濃度潛勢分布 2-26 |
| 圖 2.3-7 | 地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程架構 2-27 |
| 圖 2.3-8 | 地下水砷污染來源判定流程 2-28 |
| 圖 2.3-9 | 引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖 2-31 |
| 圖 2.3-10 | 土壤砷污染判定及處理原則 2-32 |
| 圖 2.5-1 | 我國砷可能暴露途徑 2-38 |
| 圖 2.5-2 | 孟加拉地下水砷濃度分布 2-41 |
| 圖 2.5-3 | 孟加拉引灌富砷地下水之風險地圖 2-42 |
| 圖 3.1-1 | 縣市環保機關砷米通報事件因應策略研擬工作流程圖 . 3-2 |
| 圖 3.1-2 | 稻米總砷濃度高於 0.35 mg/kg 農地位置分布圖 3-6 |
| 圖 3.1-3 | 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬佈點規劃 3-8 |
| 圖 3.2-1 | 樣區一大肚區環域概況及採樣佈點規劃 3-10 |
| 圖 3.2-2 | 樣區一大肚區採樣現場工作情形 3-11 |
| 圖 3.2-3 | 樣區一大肚區鄰近地下水與河川監測站分布圖 3-15 |
| 圖 3.2-4 | 樣區一大肚區鄰近污染場址分布圖 3-16 |
| 圖 3.2-5 | 樣區一大肚區目標坵塊農地耕種歷史 3-17 |
| 圖 3.2-6 | 樣區一大肚區採樣現場工作情形 3-18 |
| 圖 3.2-7 | 樣區二鹿港鎮環域概況及採樣佈點規劃 3-21 |
| 圖 3.2-8 | 樣區二鹿港鎮採樣現場工作情形 3-23 |
| 圖 3.2-9 | 樣區二鹿港鎮鄰近污染場址分布圖 3-28 |
| 圖 3.2-10 | 樣區二鹿港鎮鄰近地下水與河川監測站分布圖 3-28 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|------|
| 圖 3.2-11 | 樣區三西湖鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 3-31 |
| 圖 3.2-12 | 樣區三西湖鄉採樣現場工作情形 | 3-33 |
| 圖 3.2-13 | 樣區三西湖鄉鄰近地下水與河川監測站分布圖 | 3-38 |
| 圖 3.2-14 | 全臺平地土壤母質種類分布圖 | 3-40 |
| 圖 3.2-15 | 計畫篩選 48 筆農地坵塊地下水快篩結果圖 | 3-43 |
| 圖 3.2-16 | 計畫篩選 48 筆農地坵塊土壤快篩結果圖 | 3-43 |
| 圖 3.3-1 | 浸水農地下砷循環過程 | 3-47 |
| 圖 3.3-2 | 土壤與作物砷濃度分布 | 3-49 |
| 圖 3.3-3 | 灌溉水與稻米總砷濃度相關性 | 3-49 |
| 圖 3.3-4 | 縣市環保機關稻米砷超標通報事件建議調查原則 | 3-53 |
| 圖 4.1-1 | 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定工作流程圖 | 4-1 |
| 圖 4.1-2 | 地下水砷潛勢區外土壤砷濃度超標農地分佈 | 4-5 |
| 圖 4.1-3 | 地下水砷潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定樣區篩選流程圖 | 4-6 |
| 圖 4.2-1 | 樣區一大城鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 4-10 |
| 圖 4.2-2 | 樣區一大城鄉採樣現場工作情形 | 4-12 |
| 圖 4.2-3 | 樣區一大城鄉土壤及地下水砷濃度關係圖 | 4-18 |
| 圖 4.2-4 | 樣區一大城鄉鄰近地下水與河川監測站分布圖 | 4-19 |
| 圖 4.2-5 | 樣區一大城鄉鄰近污染場址分布圖 | 4-20 |
| 圖 4.2-6 | 樣區二台西鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 4-23 |
| 圖 4.2-7 | 樣區二台西鄉採樣現場工作情形 | 4-25 |
| 圖 4.2-8 | 樣區二台西鄉土壤及地下水砷濃度關係圖 | 4-29 |
| 圖 4.2-9 | 樣區二台西鄉與地下水砷濃度潛勢範圍比對 | 4-30 |
| 圖 4.2-10 | 樣區三大埤鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 4-33 |
| 圖 4.2-11 | 樣區三大埤鄉採樣現場工作情形 | 4-34 |
| 圖 4.2-12 | 樣區三大埤鄉土壤及地下水砷濃度關係圖 | 4-38 |
| 圖 4.2-13 | 樣區三大埤鄉與地下水砷濃度潛勢範圍比對 | 4-39 |
| 圖 4.2-14 | 地下水砷濃度潛與地下水鐵相關性 | 4-41 |
| 圖 4.2-15 | 地下水砷濃度與地下水錳相關性 | 4-41 |

| | | |
|----------|--|------|
| 圖 4.2-16 | 地下水砷濃度與總有機碳相關性 | 4-42 |
| 圖 4.2-17 | 地下水砷濃度與酸鹼值相關性 | 4-42 |
| 圖 4.2-18 | 地下水砷濃度與氧化還原電位相關性 | 4-43 |
| 圖 4.3-1 | 土壤砷污染判定及處理原則 | 4-45 |
| 圖 4.3-2 | 經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流(修正).... | 4-51 |
| 圖 5.1-1 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立工作流程 | 5-1 |
| 圖 5.1-2 | 地下水砷潛勢區內農地民井地下水砷濃度超標(0.5mg/L) 分佈圖 | 5-3 |
| 圖 5.1-3 | 地下水砷潛勢區內農地土壤及地下水砷濃度超標分佈圖 | 5-4 |
| 圖 5.1-4 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區現勘圖 | 5-5 |
| 圖 5.1-5 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區篩選原則 . | 5-6 |
| 圖 5.1-6 | 農田稻作抽水量核算方式與做法 | 5-9 |
| 圖 5.1-7 | 智慧量水設備圖 | 5-9 |
| 圖 5.1-8 | 含砷水體現場篩測結果與實驗室分析數值相關性分布圖 | 5-9 |
| 圖 5.1-9 | 樣區一雲林縣大埤鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 5-10 |
| 圖 5.1-10 | 大埤鄉樣區現場採樣工作 | 5-18 |
| 圖 5.1-11 | 大埤鄉樣區 YLTP-03-001 數據分布圖 | 5-19 |
| 圖 5.1-12 | 大埤鄉樣區 YLTP-03-002 數據分布圖 | 5-20 |
| 圖 5.1-13 | 大埤鄉樣區 YLTP-03-003 數據分布圖 | 5-21 |
| 圖 5.1-14 | 大埤鄉樣區 YLTP-03-004 數據分布圖 | 5-22 |
| 圖 5.1-15 | 大埤鄉樣區地下水水量計量累積分布圖 | 5-23 |
| 圖 5.1-16 | 大埤鄉樣區地下水水量計量累積分布圖(續) | 5-24 |
| 圖 5.1-17 | 樣區二雲林縣四湖鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 5-25 |
| 圖 5.1-18 | 四湖鄉樣區現場採樣工作 | 5-33 |
| 圖 5.1-19 | 四湖鄉樣區 YLZH-03-001 數據分布圖 | 5-34 |
| 圖 5.1-20 | 四湖鄉樣區 YLZH-03-002 數據分布圖 | 5-35 |
| 圖 5.1-21 | 四湖鄉樣區 YLZH-03-003 數據分布圖 | 5-36 |
| 圖 5.1-22 | 四湖鄉樣區地下水水量計量累積分布圖 | 5-37 |

| | | |
|----------|---|------|
| 圖 5.1-23 | 樣區三雲林縣水林鄉環域概況及採樣佈點規劃 | 5-38 |
| 圖 5.1-24 | 四湖鄉樣區現場採樣工作 | 5-46 |
| 圖 5.1-25 | 水林鄉樣區 YLSL-03-001 數據分布圖 | 5-47 |
| 圖 5.1-26 | 水林鄉樣區 YLSL-03-002 數據分布圖 | 5-48 |
| 圖 5.1-27 | 水林鄉樣區 YLSL-03-003 數據分布圖 | 5-49 |
| 圖 5.1-28 | 水林鄉樣區地下水水量計量累積分布圖 | 5-50 |
| 圖 5.2-1 | 稻田水分管理對稻米砷濃度的影響 | 5-57 |
| 圖 5.2-2 | 農田浸水與未浸水對稻米砷濃度的影響 | 5-57 |
| 圖 5.2-3 | 孟加拉引灌富砷地下水之土壤砷濃度累積概算 | 5-60 |
| 圖 5.2-4 | 土壤砷污染預警使用年限紀錄表 | 5-63 |
| 圖 5.3-1 | 食米砷檢測調查及達檢測標準之跨單位工作流程 | 5-76 |
| 圖 5.3-2 | 農地土壤砷濃度超過「土壤污染管制標準」(自然成因)之跨 單位研商建議 | 5-77 |
| 圖 6.1-1 | 經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流程(修正) .. | 6-6 |
| 圖 6.1-2 | 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會辦理情況 .. | 6-8 |
| 圖 6.1-3 | 座談分享會上午場辦理情況 | 6-12 |
| 圖 6.1-4 | 座談分享會下午場辦理情況 | 6-13 |
| 圖 6.2-1 | 本計畫培力課程面向及主題示意 | 6-15 |
| 圖 6.2-2 | 108 年度曾協助水利署辦理培力學堂情況 | 6-17 |
| 圖 6.2-3 | 培力課程毅成海報示意圖(以口湖鄉場次為例) | 6-20 |
| 圖 6.2-4 | 培力課程計畫用橫幅布條示意圖 | 6-20 |
| 圖 6.2-5 | 培力課程計畫用課程調查問卷 | 6-21 |
| 圖 6.2-6 | 口湖鄉下崙村辦理培力學堂情況 | 6-23 |
| 圖 6.2-7 | 大埤鄉尚義村辦理培力學堂情況 | 6-24 |
| 圖 6.2-8 | 元長鄉西莊村辦理培力學堂情況 | 6-25 |
| 圖 7.2-1 | 科普知識宣傳漫畫製作圖 | 7-2 |
| 圖 7.2-2 | 土污法 20 周年特展現場展示圖 | 7-3 |
| 圖 7.2-3 | 聯合採樣計畫農地引灌水採樣圖 | 7-4 |

表目次

| | <u>頁碼</u> |
|---------|-------------------------------------|
| 表 1.4-1 | 本計畫預定進度及查核點 1-9 |
| 表 1.4-2 | 實際進度與預訂進度對照及查核點說明表 1-10 |
| 表 1.4-3 | 本計畫主要人員資歷與專長 1-11 |
| 表 1.4-4 | 本計畫各工作項目經費分配表 1-12 |
| 表 2.2-1 | 國內外土壤砷管制標準 2-9 |
| 表 2.2-2 | 我國與其他國家地下水砷之法規標準彙整表 2-12 |
| 表 2.2-3 | 國外在食用作物上對於砷之管制標準彙整表 2-13 |
| 表 2.2-4 | 國內土壤、底泥、地下水與食用作物砷濃度標準 2-14 |
| 表 2.3-1 | 民國 99~102 年觀測井砷濃度偏高數量及比例 2-16 |
| 表 2.3-2 | 農試所調查中南部民井地下水砷濃度偏高數量及比例 2-18 |
| 表 2.3-3 | 臺灣地區土壤重金屬含量及等級區分表 2-21 |
| 表 2.3-4 | 全臺灣農地重點計畫砷調查結果 2-24 |
| 表 2.4-1 | 生復育盆栽試驗與土壤砷移除現地試驗 2-34 |
| 表 2.4-2 | 地下水現地試驗方案可行性評估 2-35 |
| 表 2.5-1 | 各國家所產稻米之含砷物種及濃度 2-38 |
| 表 2.5-2 | 農民砷暴露風險計算 2-39 |
| 表 2.5-3 | 民眾因攝食不同砷濃度土壤種植之水稻造成之風險 ... 2-39 |
| 表 2.5-4 | 國內外富砷地下水影響農地工作執行現況 2-52 |
| 表 3.1-1 | 歷年稻米總砷檢測數據縣市與年份分佈統計表 3-3 |
| 表 3.1-2 | 縣市環保機關砷米通報事件因應策略研擬採樣規劃 3-4 |
| 表 3.1-3 | 稻米總砷濃度高於 0.35mg/kg 縣市統計表 3-7 |
| 表 3.2-1 | 樣區一大肚區調查坵塊樣品代號對照表 3-9 |
| 表 3.2-2 | 樣區一大肚區地表水採樣與快篩結果 3-12 |
| 表 3.2-3 | 樣區一大肚區土壤採樣 XRF 採樣分析結果 3-13 |
| 表 3.2-4 | 樣區一大肚區地表水水質實驗室分析結果 3-14 |
| 表 3.2-5 | 樣區一大肚區土壤實驗室分析結果 3-14 |
| 表 3.2-6 | 樣區一大肚區鄰近監測站砷濃度監測結果 3-16 |

| | | |
|----------|------------------------------------|------|
| 表 3.2-7 | 樣區一大肚區鄰近場址資料 | 3-17 |
| 表 3.2-8 | 樣區一大肚區地下水補充採樣分析結果 | 3-18 |
| 表 3.2-9 | 樣區一大肚區土壤補充採樣 XRF 採樣分析結果 | 3-19 |
| 表 3.2-10 | 樣區二鹿港鎮調查坵塊樣品代號對照表 | 3-20 |
| 表 3.2-11 | 樣區二鹿港鎮地下水採樣與快篩結果 | 3-24 |
| 表 3.2-12 | 樣區二鹿港鎮土壤採樣 XRF 採樣分析結果 | 3-25 |
| 表 3.2-13 | 樣區二鹿港鎮地下水水質實驗室分析結果 | 3-26 |
| 表 3.2-14 | 樣區二鹿港鎮土壤實驗室分析結果 | 3-27 |
| 表 3.2-15 | 樣區二鹿港鎮鄰近監測站砷濃度監測結果 | 3-29 |
| 表 3.2-16 | 樣區三西湖鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 3-30 |
| 表 3.2-17 | 樣區三西湖鄉地下水採樣與快篩結果 | 3-34 |
| 表 3.2-18 | 樣區三西湖鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果 | 3-35 |
| 表 3.2-19 | 樣區三西湖鄉地下水水質實驗室分析結果 | 3-36 |
| 表 3.2-20 | 樣區三西湖鄉土壤實驗室分析結果 | 3-37 |
| 表 3.2-21 | 樣區三西湖鄉鄰近監測站砷濃度監測結果 | 3-38 |
| 表 3.2-22 | 土壤母質砷濃度上限值 | 3-41 |
| 表 3.2-23 | 計畫篩選 48 筆農地坵塊 | 3-42 |
| 表 3.3-1 | 不同農地引灌水源建議查證與釐清項目 | 3-52 |
| 表 3.3-2 | 縣市環保機關稻米砷超標通報事件不同環境砷濃度因應策略研擬 | 3-55 |
| 表 4.1-1 | 土壤砷濃度縣市檢測年份分佈統計 | 4-3 |
| 表 4.1-2 | 土壤砷濃度縣市濃度分佈統計 | 4-4 |
| 表 4.1-3 | 地下水砷潛勢區外農地土壤砷濃度超標統計 | 4-5 |
| 表 4.1-4 | 地下水砷濃度潛勢範圍外稻米超標成因釐清採樣點數規劃表 | 4-8 |
| 表 4.2-1 | 樣區一大城鄉區調查坵塊樣品代號對照表 | 4-9 |
| 表 4.2-2 | 樣區一大城鄉地下水採樣與快篩結果 | 4-13 |
| 表 4.2-3 | 樣區一大城鄉地表水與底泥採樣分析結果 | 4-14 |
| 表 4.2-4 | 樣區一大城鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果 | 4-15 |
| 表 4.2-5 | 樣區一大城鄉灌溉水水質實驗室分析結果 | 4-17 |

| | | |
|----------|------------------------------------|------|
| 表 4.2-6 | 樣區一大城鄉土壤實驗室分析結果 | 4-18 |
| 表 4.2-7 | 樣區一大城鄉鄰近監測站砷濃度監測結果 | 4-20 |
| 表 4.2-8 | 樣區一大城鄉鄰近場址資料 | 4-20 |
| 表 4.2-9 | 樣區二台西鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 4-22 |
| 表 4.2-10 | 樣區二台西鄉地下水採樣與快篩結果 | 4-26 |
| 表 4.2-11 | 樣區二台西鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果 | 4-27 |
| 表 4.2-12 | 樣區二台西鄉地下水水質實驗室分析結果 | 4-28 |
| 表 4.2-13 | 樣區二台西鄉土壤實驗室分析結果 | 4-29 |
| 表 4.2-14 | 樣區三大埤鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 4-31 |
| 表 4.2-15 | 樣區三大埤鄉地下水採樣與快篩結果 | 4-35 |
| 表 4.2-16 | 樣區三大埤鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果 | 4-36 |
| 表 4.2-17 | 樣區三大埤鄉地下水水質實驗室分析結果 | 4-37 |
| 表 4.2-18 | 樣區三大埤鄉土壤實驗室分析結果 | 4-38 |
| 表 4.2-19 | 樣區三大埤鄉鄰近場址資料 | 4-40 |
| 表 4.3-1 | 土壤砷污染判定現勘紀錄表 | 4-45 |
| 表 4.3-2 | 土壤砷污染判定評分表 | 4-47 |
| 表 4.3-3 | 土壤砷污染判定評分表擬定修正原則 | 4-49 |
| 表 4.3-4 | 土壤砷污染判定流程初評表 | 4-51 |
| 表 4.3-5 | 土壤砷污染判定評分修正對照表 | 4-53 |
| 表 4.3-6 | 土壤砷污染判定評分表(修正) | 4-54 |
| 表 4.3-7 | 計畫土壤砷超標農地土壤砷污染判定初評表 | 4-56 |
| 表 4.3-8 | 彰化市案例農地土壤砷污染判定初評表 | 4-57 |
| 表 4.3-9 | 嘉義市案例農地土壤砷污染判定初評表 | 4-58 |
| 表 4.3-10 | 宜蘭縣案例農地土壤砷污染判定初評表 | 4-59 |
| 表 4.3-11 | 修正之土壤砷污染判定流程案例對照表 | 4-60 |
| 表 5.1-1 | 農地民井地下水砷濃度縣市分佈統計 | 5-2 |
| 表 5.1-2 | 地下水砷潛勢區內農地土水砷濃度超標統計 | 5-4 |
| 表 5.1-3 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區砷濃度快篩表 | 5-6 |
| 表 5.1-4 | 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區採樣點數規劃 | |

| | | |
|----------|----------------------------|------|
| | | 5-8 |
| 表 5.1-5 | 樣區一雲林縣大埤鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 5-10 |
| 表 5.1-6 | 雲林大埤鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果 | 5-13 |
| 表 5.1-7 | 雲林大埤鄉樣區土壤實驗室全量分析結果 | 5-14 |
| 表 5.1-8 | 雲林大埤鄉樣區土壤基本特性分析 | 5-14 |
| 表 5.1-9 | 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次) | 5-15 |
| 表 5.1-10 | 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次) | 5-16 |
| 表 5.1-11 | 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次) | 5-17 |
| 表 5.1-12 | 樣區二雲林縣四湖鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 5-25 |
| 表 5.1-13 | 雲林四湖鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果 | 5-28 |
| 表 5.1-14 | 雲林四湖鄉樣區土壤實驗室全量分析結果 | 5-29 |
| 表 5.1-15 | 雲林四湖樣區土壤基本特性分析 | 5-29 |
| 表 5.1-16 | 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次) | 5-30 |
| 表 5.1-17 | 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次) | 5-31 |
| 表 5.1-18 | 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次) | 5-32 |
| 表 5.1-19 | 樣區三雲林縣水林鄉調查坵塊樣品代號對照表 | 5-38 |
| 表 5.1-20 | 雲林水林鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果 | 5-41 |
| 表 5.1-21 | 雲林水林鄉樣區土壤實驗室全量分析結果 | 5-42 |
| 表 5.1-22 | 雲林水林鄉樣區土壤基本特性分析 | 5-42 |
| 表 5.1-23 | 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次) | 5-43 |
| 表 5.1-24 | 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次) | 5-44 |
| 表 5.1-25 | 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次) | 5-45 |
| 表 5.2-1 | 各國歷年稻米砷濃度檢測數據 | 5-56 |
| 表 5.2-2 | 稻米、糙米與白米的預估於機砷濃度 | 5-58 |
| 表 5.2-3 | 各國食用砷米罹患癌症風險評估 | 5-59 |
| 表 5.2-4 | 本計畫試算樣區內坵塊現場調查參數 | 5-64 |
| 表 5.2-5 | 本計畫試算樣區內坵塊土壤使用年限計算結果 | 5-64 |
| 表 6.1-1 | 土壤砷污染判定評分表擬定修正原則 | 6-3 |
| 表 6.1-2 | 土壤砷污染判定流程初評表 | 6-3 |
| 表 6.1-3 | 土壤砷污染判定評分表(修正) | 6-4 |

| | | |
|---------|------------------------------------|------|
| 表 6.1-4 | 修正之土壤砷污染判定流程案例對照表 | 6-7 |
| 表 6.1-5 | 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會議程表 | 6-7 |
| 表 6.1-6 | 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會專家邀請名單 | 6-8 |
| 表 6.1-7 | 成果交流分享座談會上午場議程表 | 6-10 |
| 表 6.1-8 | 成果交流分享座談會下午場議程表 | 6-10 |
| 表 6.1-9 | 成果交流分享座談會專家邀請名單 | 6-11 |
| 表 6.2-1 | 培力課程地點與日期排程表 | 6-19 |
| 表 6.2-2 | 培力課程主題與授課導師規劃表 | 6-22 |

行政院環境保護署

建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫 正式報告大綱

本報告大綱說明如下：

第一章 計畫緣起、目標及工作項目

說明本計畫緣起、計畫目標、工作項目及內容、工作執行進度。

第二章 農地砷污染來源與管制現況

臺灣地下水砷問題存在已久，國內已累積大量研究調查成果，本章節首先說明砷污染來源及成因，彙整國內外土壤、地下水及食用作物之砷相關法規管制標準現況，配合國內歷年土壤及地下水砷調查成果，包含引灌富砷地下水影響地圖、地下水砷潛勢範圍、土壤砷污染判定流程及現場地下水砷移除試驗等成果。

第三章 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

衛生福利部於民國 108 年 1 月 1 日正式實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」，訂定穀類無機砷限量標準，為配合前述標準，提供各縣市環保機關應對農地食米砷超標事件之應變作為，本章節收集歷年稻米砷抽測資料，篩選計畫調查樣區，說明本年度調查規劃與成果，研擬縣市環保機關於接獲食米砷超標通報事件之因應策略。

第四章 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定

國內土壤砷濃度偏高區域，多受區域水文地質條件及環境背景因素影響，為協助地方環保機關判定農地富砷成因，區別是否可歸屬自然環境存在，經引灌富砷水源，致使土壤砷濃度達污染管制標準之成因，已公布土壤砷污染判定及處理原則，本章節整合歷年土壤砷濃度調查資料，篩選本章試驗樣區，說明樣區調查規劃與成果，完成土壤砷污染判定流程修正建議。

第五章 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立

長期引灌富砷地下水會致使農地土壤砷逐漸累積，造成土壤超標機率大幅上升，且我國主要農業區與地下水高砷潛勢範圍重疊度高，貿然限制地下水的使用對現今農地活化與永續利用政策將會產生衝突，本章節篩選土壤及地下水高砷潛勢範圍內之樣區，進行農地土壤及地下水砷濃度監測，建立農地土壤砷預警機制，並研擬土壤、地下水與作物安全管理措施，以利未來縣市主管機關就轄下農地面臨風險之管理參考。

第六章 農地砷污染管理推廣作業

本章節綜整計畫調查成果，辦理 3 場次深耕培力課程、1 場專家諮詢會議與 2 場座談分享會，並說明課程與會議規劃及辦理成效。

第七章 行政作業與其他事項

本計畫除完成前述各章節之工作內容外，亦協助完成辦理科普宣傳推廣與土壤及地下水污染整治法 20 週年特展展區規劃等工作，臚列相關行政規劃方式與協助完成事項。

第八章 結論與建議

綜整本計畫各項議題之成果，總結說明本計畫之整體效益與貢獻，並提出後續調查規劃建議。

行政院環境保護署計畫成果摘要（詳細版）

計畫名稱：建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制
計畫

計畫執行單位：業興環境科技股份有限公司

計畫主持人（包括協同主持人）：簡庭駿、王聖瑋

計畫期程：109年02月12日起至109年12月31日止

計畫經費：9,330.000千元整

摘要

本計畫彙整近年稻米檢測資料，篩選稻米砷濃度偏高區域進行環境砷濃度流布探討，調查稻米砷濃度曾偏高區域之鄰近土壤與引灌水源之砷含量，進一步整合自「食品中污染物質及毒素衛生標準」實施以來，國內稻米砷超標農地案例，歸納其環境土壤與地下水砷濃度趨勢，並驗證相關應變程序可行性，作為縣市環保機關會調砷米超標通報事件之因應策略參照。

環保署為協助縣市環保機關辦理農地土壤砷濃度達污染管制標準之成因判定，雖已於民國107年3月28日公布土壤砷污染判定及處理原則，然而前述原則自發布以來時常發生無法判定或判定困難等問題，因此本計畫依據國內歷史土壤檢測數據篩選3處樣區，利用調查結果及歷年土壤砷污染判定案例，修正原有土壤砷污染判定流程。

長期引灌富砷地下水致使農地土壤砷逐漸累積，在我國主要農業區與地下水砷潛勢範圍重疊度高的條件下，倘若貿然限制地下水的使用對現今農地活化政策產生衝突，為此本計畫期建立農地土壤砷預警機制，以利未來縣市主管機關就轄下農地面臨

風險之管理作為，同時確保推動示範之管理機制符合民意與實務需求，於本計畫辦理 3 場次培力學堂、1 場專諮會與 2 場座談會，收集實務運用之回饋意見供環保署參考。

This project has aggregated rice testing data from Taiwan Agriculture Chemicals and Toxic Substances Research Institute(TACTRI), Council of Agriculture of Executive Yuan, screened and discussed Arsenic(As) environmental distribution in areas where high As concentration was found in rice outside the potential area of high As concentration in groundwater in order to clarify heavy metals' concentrations such as As in soils and irrigating water in the adjacent area where high As concentration in rice was observed. Also, to provide a reporting strategy of As in rice incidents as a reference to local environmental protection bureaus(EPBs), this project has integrated historical domestic cases of inorganic As concentration in rice exceeded the limit value, summarized As concentration in soils and groundwaters, and verified the response protocol.

To reduce the cost of investigation, complete As exceedance determination efficiently through initial evaluation by local EPBs, and solve the difficulty and issue where As concentration exceedance in agriculture soils was occurred naturally, this project has completed a revised version of “the process for determining soil arsenic pollution” and amended an initial evaluation method by screening 3 sample areas over 28,880 historical domestic soil testing data, completing an investigation, and integrating historical As contamination in soil cases.

Long-term As-rich irrigating water from groundwater source

discharged into farmlands may cause As accumulation in farmlands and increase the probability of farmland soil exceeding the standard. Moreover, the potential areas of high As in groundwater and main agricultural areas are highly overlapped, the conflicts between current farmland revitalization policy and sustainable use policy may occur if stricter groundwater use regulation was implemented. This project has established early warning mechanisms for As in farmland soil with long-term continuous monitoring, and developed soils, groundwaters, and crops safety management measures to facilitate local EPBs to evaluate agriculture land management and the necessity of remediation. Meanwhile, to demonstrate its management mechanism in both public opinion and practical needs, public participation was introduced in this investigation process by collecting the opinions of stakeholders in 3 meetings involving a total of 130 participants.

前言

臺灣地下水富砷問題由來已久，又以西南沿海地區用水影響最鉅，依據國內外多年調查研究顯示，地下水富砷問題屬自然沉積環境中還原條件伴隨產生之現象，並與地質沉積年代、質地與氧化還原條件等環境背景因素有關，臺灣迄今雖已鮮少直接飲用富砷地下水之情形，然而臺灣西南沿海地區長期因農業用水供應不足，抽汲富砷地下水作為補充灌溉用水的現象頻傳，進而造成農地土壤砷濃度累積、甚而超過法規標準情形，行政院環境保護署(以下簡稱環保署)遂於民國 104 年執行「農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫」，選擇嘉義縣溪口鄉地區為案例樣區，歸納砷自地下水釋出至農地環境之流布與轉換機制，並依據土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)第 12 條第 9 項提出行政管制措施與管理方式。此外，環保署於民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」，延續前期

成果完成臺灣地下水富砷水區之農地影響地圖，並簡化土壤砷來源判釋流程，提供縣市環保機關依據土污法第 12 條第 9 項召開協商會議之參據。進一步，為尋求現地農地土壤與灌溉水井地下水砷移除技術，環保署於民國 106 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除技術試驗與發展計畫」，建立地下水砷移除及植生復育技術，另藉由地下水砷濃度感測技術之開發、測試及推廣，達到具大範圍且迅速掌握地下水砷濃度分布之功效。

目前臺灣砷相關之管制標準已包含飲用水、地面水、地下水、放流水、灌溉用水、土壤、底泥等範疇，衛生福利部(以下簡稱衛福部)更於民國 108 年 1 月 1 日正式實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」，訂定穀類(含米)中米(去殼)無機砷限量標準為 0.35 mg/kg，其他穀類總砷為 1 mg/kg，顯示國人對於環境保護與食品安全意識日漸提升，由於國內農地土壤及地下水富砷問題備受關注，環保署歷年來持續辦理各項調查工作，並建立土壤與地下水影響地圖之「污染預警」手段防範未然，輔以跨單位「研商合作」達到污染管理目標，然而部分區域尚無替代水源而持續使用富砷地下水做為灌溉用途、各單位辦理環境監測資源有限等情形皆為短期內難以克服之現實問題，因此應善用民氣可用之勢，導入並推廣「風險管理」概念，落實高砷潛勢範圍(地下水砷濃度潛勢範圍內)之農地土壤超標風險管理，以減緩或阻絕砷進入農業生產環境，建立土壤與作物超標熱區之快篩檢測與預警制度，以維護土壤品質與國人安全。

爰此，環保署於本(109)年度辦理「建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫」(以下簡稱本計畫)，主要執行高砷潛勢範圍之農地土壤與地下水砷濃度預警管理機制、釐清地下水砷濃度潛勢範圍外之污染成因，加強政策溝通與業務聯繫，俾利民眾瞭解砷污染之影響程度與預防方法，並提升政府機關資源整合與分工合作。本計畫依據歷年執行相關技術開發與應用工作經驗，歸納本計畫執行重點為砷污染預警管理之可行性，以雲林縣為例，於民國 102 年底前完成之水井申報納管數量高達 162,124 口，其中落於環保署公告之地下水砷濃度潛勢範圍內者更高達 3 萬餘口，面對如此龐大之用水需求，如何透過「污染預警」、「研

商合作」與「風險管理」概念，維護農作物生產安全為重要之關鍵，因此需仰賴歷年相關技術發展、現場工作經驗、農民需求與溝通、各權責單位分工協商等，建立農地土壤砷安全管理措施與應變流程，以利各單位執行因應策略之參考。

執行方法

本計畫各項工作內容，茲分述如下。

一、縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

- (一)比對歷年地下水水質檢測數據、農委會與環保署歷年農地土壤與食米檢測數據，擇定 3 處地下水壤砷潛勢範圍外，食米砷濃度偏高之範圍進行現地調查。
- (二)針對 3 處樣區總計進行 50 組樣品土壤採樣，20 組地下水樣品與 5 組灌溉水樣品進行檢測分析。
- (三)依據調查結果，彙整歷年案例，釐清食米砷濃度含量偏高之成因，研擬縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略。

二、地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定

- (一)蒐集彙整環保署與農業單位歷年農地土壤檢測數據，篩選 3 處土壤砷濃度偏高樣區，依土壤砷污染判定及處理原則辦理現勘訪談與調查工作。
- (二)針對 3 處樣區總計進行 100 組樣品土壤採樣、40 組地下水樣品、10 組灌溉水樣品與 10 組農地引灌渠道底泥進行檢測分析。
- (三)依據調查結果，彙整歷年案例，回饋土壤砷污染判定評分項目修正。

三、高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立

- (一)盤點 3 處地下水高砷潛勢範圍具農地土壤砷超標可能之樣區，針對 3 處樣區總計進行 50 組土壤樣品、200 組引

灌水樣品進行檢測分析，建立樣區一期作稻米土壤與地下水砷濃度變化。

- (二)利用地下水水量計量設備記錄各坵塊歷次用水水量，建立水稻種植過程總用水量。
- (三)依據調查結果，建立跨部會分工方式，包括推估灌溉水源與農地土壤砷濃度之累積、調配地面水與地下水使用方式、定期篩測或檢測方式、超標判定與配套措施。

四、農地砷污染管理推廣作業

- (一)邀請地下水與農地土壤管理、現場篩測設備、健康風險溝通等相關領域之專家學者、社區居民、農民、公部門以及民間團體，辦理 3 場次深耕培力課程，培力課程包括土水環境品質、農業生產環境、健康風險或產業與在地特色等相關領域。
- (二)邀集縣市環保、農業、水利等相關管理單位或專家，針對地下水與農地土壤砷濃度篩測與預警機制之執行內容，辦理 3 場次專諮會、研商會與座談會等。

結果

一、縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

- (一)本計畫依歷史資料篩選苗栗縣西湖鄉、彰化縣鹿港鎮與臺中市大肚區三處樣區，總計調查 31 筆坵塊，調查結果顯示，稻米砷濃度偏高區域其鄰近環境土壤與地下水無明顯砷濃度，均低於土壤砷濃度監測標準(30mg/kg) 與灌溉用水砷濃度標準(0.050mg/L)，為評估更多稻米砷濃度偏高案例之環境因素，本計畫續依 2707 筆稻米歷史資料篩選 48 筆稻米高風險坵塊，進行農地土壤及引灌水砷濃度快篩，篩測結果農地土壤平均砷濃度為 6.5mg/kg，僅 1 筆農地土壤砷高於監測標準，引灌水平均砷濃度為

0.019mg/L，且均低於灌溉用水標準，結果顯示稻米砷含量偏高農地其環境砷含量不一定偏高。

- (二)彙整歷年稻米砷濃度高於限量標準案例，檢測農地之候選標的乃針對環保機關公告污染控制場址鄰近農地、公告解除控制場址之管制或定期監測之高風險農地等區域，僅少數稻米砷濃度高於衛生標準，同時各縣市環保機關接獲農業單位通報後，立即針對疑似污染農地進行緊急應變查證，農地土壤與地下水砷含量均低於相關法規標準，農地土壤砷濃度亦無偏高之現象，趨近於我國土壤母質背景砷濃度，與調查結果趨勢相符。
- (三)在各縣市稻米砷濃度超標案例與計畫樣區環境調查，土壤砷濃度皆低於監測標準下，依據國內外研究文獻，除了環境土壤與地下水砷含量外，影響稻米砷吸收因子可分為五大項，分別為砷的型態、氧化還原條件、土壤 pH 值、有機物作用與水稻基因型，考量稻米砷吸收機制之複雜性，本計畫擬定縣市環保機關在接獲農業單位稻米砷超標通報事件，建議之農地調查方向，並依據不同土壤、引灌水與底泥砷濃度，擬定各情境，包含情境一人為污染之虞；情境二土壤砷濃度成因；情境三無法歸納為自然成因；情境四引灌富砷地下水成因；情境五水田環境成因，並依各情境研擬縣市環保機關因應策略。

二、地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定

- (一)本計畫自 28,880 筆歷史資料中篩選彰化縣大城鄉、雲林縣台西鄉與雲林縣大埤鄉 3 處樣區，總計調查 50 筆農地坵塊，調查結果顯示 3 處樣區地下水砷濃度均高於引灌用水水質標準 0.05mg/L，均具富砷地下水特性，同時 3 處樣區目標坵塊現今土壤砷濃度皆已低於監測標準，推斷土壤砷濃度差異大為歷史資料久遠、翻土、引灌水源與耕作習慣改變等，由此可知歷史資料有其參考價值，

惟在進行判識流程時，考量時空變化之可能性，需以農地現況環境砷濃度為判斷依據。

- (二)計畫綜整樣區案例與縣市環保機關土壤砷污染判定過程中，常見判定困難問題，根據環境介質調查，評估評分項目適宜性，修正土壤砷污染判定流程，修正原則包含增加初步判定辦法，簡化明顯自然成因判定程序，針對評分標準及分數級距、無法釐清與判定之項目進行修正。
- (三)修正後之土壤砷污染判定流程，依歷年案例帶入可提升原判定為自然之判定分數，並可藉由初評完成判定，反之原無法判定為自然之案例亦無法由初評完成判定，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，修訂後流程能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所需經費，惟無法合理解釋者，則仍需進行後續流程。

三、高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立

- (一)本計畫篩選歷年地下水砷濃度偏高區域為示範樣區，自民國 104 至 108 年累積民井砷濃度數據共 2,722 筆排序，對比地下水砷濃度潛勢範圍后擇定雲林縣為本次試辦縣市，其中地下水砷濃度達管制標準 0.5mg/L 與土壤砷濃度達監測標準 30mg/kg 主要集中於四湖鄉、口湖鄉、水林鄉、北港鎮與大埤鄉一帶，排除潛在人為因素鄉鎮后，依土壤及地下水砷濃度、質地、鄉鎮與稻作期程不同分為三處目標樣區共 10 處，採樣及檢測數量均全數完成。
- (二)為因本樣區土壤砷背景濃度偏高(已達監測標準)，雖未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依法未具整治必要及可行性，依規定建議地方環保機關可就所在地段或村里規劃定期監測土壤品質，必要時提醒民眾砷的環境風險，並配合農業主管機關進行農

藝輔導及環境管理。

- (三)本計畫已彙整結合國內於不同品種稻米砷吸收差異影響相關文獻、探討國內外不同灌溉浸水時間對稻米吸收砷差異、土壤吸附作用與稻米於人體內的生物有效性等，透過樣區案例的推估，記錄期作過程之水中砷濃度、用水量、土壤砷濃度，完成土壤砷濃度預警年限推估方式，建立以健康風險為導向之砷濃度傳輸分布模型。
- (四)因應國內部分地區農業生產環境尚存引灌富砷地下水(自然成因)之風險，為維護國內水土品質與食品安全，本計畫已彙整環保署、水利署及農委會等各司轄下管理策略及推動現況，研擬食安議題(砷米處置應變流程)協商及聯合調查討論規劃等政府橫向聯繫工作，並提出跨部會合作推動事宜。

四、農地砷污染管理推廣作業

- (一)以土壤砷污染判定及本計畫成果分享座談會為兩項主題，舉辦日期分別為12月3日及12月10日，邀集縣市環保、農業、水利等相關管理單位或專家辦理3場次會議，每場次邀請5位專家學者，目的係聽取專家學者及各級環保機關承辦業務人員所提出之建議與方向，並交流本計畫相關工作執行成果。
- (二)本計畫培力課程辦理地點納入地下水砷潛勢範圍、計畫示範樣區與成效性等條件，選定雲林縣口湖鄉下崙村、雲林縣大埤鄉尚義村與雲林縣元長鄉西莊村三處村里，此三處村里積極舉辦推廣課程，具有完善的活動推廣流程與良好學習意願。課程舉辦日期分別為9月22日口湖鄉下崙村、9月23日大埤鄉尚義村與9月24日元長鄉西莊村，每場次課程時間為4小時，三場合計為12小時，總參與人數達130人，透過完整的農業架構與環境探討，帶入現今國內農地砷發展現況，配合計畫執行進度

結合健康風險，傳達國內歷年砷計畫研究成果，讓參與學員能透過課程進而瞭解生活的土與農地環境。

結論

本計畫執行期間，已依工作進度及查核點要求完成樣區調查及預警機制建立等相關工作，如以下所列：

- 一、本計畫調查稻米砷濃度較高農地，彙整歷年稻米砷超標案例，調查結果顯示稻米砷含量偏高農地其環境砷含量不一定偏高，需考量稻米砷吸收機制之複雜性，依據上述結果，擬定縣市環保機關在接獲農業單位稻米砷超標通報事件，建議之農地調查方向，並依據不同土壤、引灌水與底泥砷濃度下，各情境縣市環保機關因應策略。
- 二、計畫 3 處歷史土壤濃度達管制標準樣區，調查結果土壤砷濃度皆低於監測標準，惟其均具有富砷地下水，可知歷史資料有其參考價值，惟在進行判識流程時，考量時空變化之可能性，需以農地現況環境砷濃度為判斷依據。同時依據計畫案例及歷年案例，修正土壤砷污染判定流程，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，修訂後流程能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所需經費。
- 三、依土壤及地下水砷濃度、質地、鄉鎮與稻作期程不同分為三處目標樣區共 10 處，採樣及檢測數量均全數完成，因本議題部分樣區土壤砷背景濃度偏高(已達監測標準)，雖未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依法未具整治必要及可行性，依規定建議地方環保機關可就所在地段或村里規劃定期監測土壤品質，必要時提醒民眾砷的環境風險，並配合農業主管機關進行農藝輔導及環境管理。
- 四、以土壤砷污染判定及本計畫成果分享座談會為兩項主題，每場次邀請 5 位專家學者，共完成辦理 1 場次專家會議與 2 場

次座談會；培力課程共 3 場每次課程時間為 4 小時合計 12 小時，總參與人數達 130 人，透過完整的農業架構與環境探討，帶入現今國內農地砷發展現況，配合計畫執行進度結合健康風險，傳達國內歷年砷計畫研究成果，讓參與學員能透過課程進而瞭解生活的土與農地環境。

建議事項

- 一、國內地下水砷問題多屬自然成因，依歷年調查結果顯示，地下水砷濃度潛勢範圍主要分佈於濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原及蘭陽平原，在我國地下水高砷潛勢範圍與主要農業區高度重疊下，如何控管含砷地下水為一重要關鍵，根據計畫第四章樣區調查發現，相同區域之地下水井，其地下水砷濃度會依據不同井深而有巨大差異，如雲林縣台西鄉樣區最高地下水砷濃度為 0.441mg/L，其相鄰 20 公尺內鄰近農地地下水砷濃度僅檢出 0.015mg/L，差異甚大。爰此，為確保潛勢區內用水安全，地下水砷潛勢範圍內用水區域，若無替代水源及相關替代方案下，建議可針對該區域灌溉水井、生活用抽水井等進行各別砷濃度篩測。
- 二、地下水砷問題牽扯甚廣，在安全管理作為上需仰賴各單位合作，為加強政府部門間橫向業務聯繫，本計畫已彙整各單位等各司轄下管理政策及推動現況，提出跨部會合作推動事宜，建議未來針對富砷潛勢區域涵蓋縣市，盡速推動跨局處合作工作、召開食安平台資訊交流會議，廣納各單位建議，研討目前部門政策走向與調查重點，達橫向聯繫之污染源頭阻絕目標，確保國內推動之成效。
- 三、環保署公告之地下水砷濃度潛勢範圍內水井申報納管高達 3 萬餘口，面對如此龐大之用水需求，如何針對民眾進行宣導防範亦為重要之關鍵，本計畫於調查說明過程導入公民參與元素，辦理 3 場次建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管

理機制培力學堂，總參與人數達 130 人，成效良好，建議後續針對高砷潛勢範圍重點區域，結合村里既有定期活動如產銷班、里民宣導課程等，傳達國內歷年研究成果與預防機制達實務之運用。

- 四、本次培力課程以較靜態的研究成果辦理，後續建議可結合現地除砷技術及相關農業栽培技術發展成果，辦理現地示範推廣課程，落實環境砷風險預防概念。培力課程除深入鄉村進行第一線的觀念扎根外，對於地方上致力推廣農業教育的產學界，可規劃以短期工作坊結合既有課程或演講，提升以農業為志業的民眾對於環境危害的相關觀念，目標培養在地種子人才。

第一章 計畫緣起、目標及工作項目

1.1 計畫緣起

臺灣地下水富砷問題由來已久，又以西南沿海地區用水影響最鉅，依據國內外多年調查研究顯示，地下水富砷問題屬自然沉積環境還原反應伴隨產生之現象，並與地質沉積年代、質地、氧化還原條件等因素有關，迄今雖已鮮少直接飲用富砷地下水之情形，然而抽用富砷地下水進行農業灌溉卻為臺灣西南沿海地區普遍行為，進而造成農地土壤砷濃度累積、甚而超過法規標準情形，行政院環境保護署(以下簡稱環保署)遂於民國 104 年執行「農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫」，選擇嘉義縣溪口鄉地區為案例樣區，歸納砷自地下水至農地環境之流布與轉換機制，並依據土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)第 12 條第 9 項提出行政管制措施與管理方式。此外，環保署於民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」，延續前期成果完成臺灣地下水富砷水區之農地影響地圖，並簡化土壤砷來源判釋流程，提供縣市環保機關依據土污法第 12 條第 9 項召開協商會議之參據。進一步，為儲備現地農地土壤與灌溉水井地下水砷移除技術，環保署於 106 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除技術試驗與發展計畫」，建立地下水砷移除及植生復育技術，另也藉由地下水砷濃度感測技術之開發、測試及推廣，達到具大範圍且迅速掌握地下水砷濃度分布之功效。

目前臺灣砷相關之管制標準已包含飲用水、地面水、地下水、放流水、灌溉用水、土壤、底泥等範疇，衛生福利部(以下簡稱衛福部)更於民國 108 年 1 月 1 日正式實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」，訂定穀類(含米)中米(去殼)無機砷限量標準為 0.35 mg/kg，其他穀類總砷為 1 mg/kg，因此國人對於環境保護與食品安全意識提升，現今國內農地土壤及地下水富砷問題備受關注，環

保署歷年陸續辦理各項調查工作，並建立土壤與地下水影響地圖之「污染預警」手段防範未然，輔以跨單位「研商合作」達到污染管理目標，然而部分區域尚無替代水源而持續使用富砷地下水做為灌溉用途、各單位辦理環境監測資源有限等情形皆為短期內難以克服之現實問題，因此應善用民氣可用之勢，導入並推廣「風險管理」概念，落實高砷潛勢範圍(地下水砷濃度潛勢範圍內)之農地土壤超標風險管理，以減緩或阻絕砷進入農業生產環境，建立土壤與作物超標熱區之快篩檢測與預警制度，以維護土壤品質與國人安全。

爰此，環保署於本(109)年度辦理「建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫」(以下簡稱本計畫)，主要執行高砷潛勢範圍之農地土壤與地下水砷濃度預警管理機制、釐清地下水砷濃度潛勢範圍外之污染成因，加強政策溝通與業務聯繫，俾利民眾瞭解砷污染之影響程度與預防方法，並提升政府機關資源整合與分工合作。本計畫依據歷年執行相關技術開發與應用工作經驗，歸納本計畫執行重點為砷污染預警管理之可行性，以雲林縣為例，於民國 102 年底前完成之水井申報納管數量高達 162,124 口，其中落於環保署公告之地下水砷濃度潛勢範圍內者更高達 3 萬餘口，面對如此龐大之用水需求，如何透過「污染預警」與「風險管理」概念，維護農作物生產安全為重要之關鍵，因此需仰賴歷年相關技術發展、現場工作經驗、農民需求與溝通、各權責單位分工協商等，建立農地土壤砷安全管理措施與應變流程，以利各單位執行因應策略之參考。

1.2 計畫目標

根據投標須知，本計畫目標如下。

- 一. 綜整我國環保與農業單位歷年辦理地下水與農地土壤、食米等砷濃度監測成果，辦理至少 3 處低砷潛勢區環境介質調查與流布探討，歸納食米砷超標成因，驗證檢討縣市環保主管機關針對食米砷超標不同型態其因應與應變方式之

適宜性。

- 二. 針對地下水地下水砷濃度潛勢範圍外，比對環保署與農業單位歷年農地土壤調查成果，篩選至少 3 處土壤砷濃度偏高之樣區，完成地下水與土壤砷之人為與自然來源判定工作，並評估農地土壤整治之必要性。
- 三. 盤點地下水高砷潛勢範圍具農地土壤超標可能之樣區，擇定至少 3 處區域，運用地下水與土壤砷濃度現地快篩技術，建立不同引灌行為之污染傳輸概念模型，並研擬農地土壤超標機率評估方式，做為未來環保與農業主管機關推動污染預防工作之參據。
- 四. 規劃辦理至少 3 場次農業環境資源安全之深耕培力課程，加強民眾溝通與意見反饋；配合政府跨單位研商會議與專家諮詢會議，強化橫向與垂向業務聯繫，確立污染風險管理之具體做法。

1.3 工作項目及內容

本章節說明本計畫各項工作內容，茲分述如下。

- 一. 綜整我國環保與農業單位歷年辦理地下水與農地土壤、食米等砷濃度監測成果，辦理至少 3 處低砷潛勢區環境介質調查與流布探討，歸納食米砷超標成因，驗證檢討縣市環保主管機關針對食米砷超標不同型態其因應與應變方式之適宜性。
 - (一) 比對水利署與環保署歷年地下水水質檢測數據、農委會與環保署歷年農地土壤與食米檢測數據，擇定至少 3 處在現行環保署建立之富砷地下水與土壤砷潛勢範圍灌區外，食米砷濃度偏高之範圍進行現地調查，釐清食米砷濃度含量偏高之成因。
 - (二) 針對前述現地調查區域辦理土壤砷濃度之 XRF 篩測工作，預估 50 組樣品，並篩選 10 組樣品送實驗室分析

重金屬(砷、鐵、錳)全量。

- (三) 針對前述現地調查區域辦理地下水或灌溉水質之砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式可選用水質離子測試包、化學試紙或試片等電化學方法，預估採 20 組地下水樣品與 5 組灌溉水質樣品進行水中砷濃度快篩分析，並篩選 4 組地下水樣品與 1 組灌溉水質樣品送實驗室分析，分析項目包含重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)。
- (四) 依前述調查結果歸納砷污染成因，評估驗證農作物砷超標不同樣態之應變程序，並結合農政單位之土壤與作物累積研究成果，研擬土水與作物安全管理措施，以及評估農作物砷快篩技術之可行性。
- (五) 上述地下水砷濃度快篩分析成果回饋至環保署地下水砷濃度潛勢範圍修正劃定參考。

二. 針對地下水砷濃度潛勢範圍外，比對環保署與農業單位歷年農地土壤調查成果，篩選至少 3 處土壤砷濃度偏高之樣區，完成地下水與土壤砷之人為與自然來源判定工作，並評估農地土壤整治之必要性。

- (一) 針對地下水砷濃度潛勢範圍外，蒐集彙整環保署與農業單位歷年農地土壤檢測數據，篩選出土壤砷濃度偏高之調查範圍，依土壤砷污染判定及處理原則辦理現勘訪談工作，蒐集周邊人為污染相關資料、耕作方式、水稻品種、使用農業資材、耕種面積與預估產量、引灌水源型態、灌溉頻率與方式、地下水井設置深度、置換/填土等資料，做為後續調查結果之分析判定基礎。
- (二) 針對土壤、地下水、渠道底泥及灌溉水質進行環境介質調查，並蒐集相關歷史調查資料，可評估作為分析判定依據。

- (三) 根據土壤樣品以 XRF 進行重金屬篩測，預估 100 組樣品，並篩選 20 組樣品送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量。
- (四) 地下水或灌溉水質樣品進行砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式可選用水質離子測試包、化學試紙或試片等電化學方法，預估採 40 組地下水樣品與 10 組灌溉水質樣品進行水中砷濃度快篩分析，並篩選 8 組地下水樣品與 2 組灌溉水質樣品送實驗室分析，分析項目包含重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)。
- (五) 渠道底泥預估採 10 組樣品送實驗室分析重金屬(砷)。
- (六) 依前述現勘訪談與環境介質調查成果，回饋土壤砷污染判定評分項目修正參考。

三. 盤點地下水高砷潛勢範圍具農地土壤超標可能之樣區，擇定至少 3 處區域，運用地下水與土壤砷濃度現地快篩技術，建立不同引灌行為之污染傳輸概念模型，並研擬農地土壤超標機率評估方式，做為未來環保與農業主管機關推動污染預防工作之參據。

- (一) 彙整環保署建立之地下水與土壤砷潛勢範圍資料，並盤點地下水高砷潛勢範圍具農地土壤砷超標可能之樣區 3 處，辦理背景土壤砷濃度之 XRF 篩測工作，預估 50 組樣品，並篩選 10 組送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量與土壤基本特性(pH、ORP、導電度、CEC、交換性鹽基、粒徑分析、有機質、有效性磷)。
- (二) 針對挑選區域，進行水稻栽培期間歷次引灌水源之砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式可選用水質離子測試包、化學試紙或試片等電化學方法，預估 200 組樣品，並篩選 40 組樣品送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全

量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，將篩測結果與實驗室分析結果進行比對，以建立快篩設備之實用性與可靠性。

- (三) 利用地下水水量計量設備記錄各坵塊歷次用水水量，並建立水稻種植過程之砷濃度推估與檢核方式，做為後續研擬砷濃度預警機制之標準作業參考。
- (四) 蒐集彙整農業生產環境砷濃度傳輸模型之理論研究及相關文獻，包括不同作物型態、種植方式、土壤吸附作用、砷於水稻之生物有效性等情境，完成推估稻米砷濃度及評估人體健康風險。
- (五) 研擬灌溉水源、土壤、食米砷濃度預警機制，建立跨部會分工方式，包括推估灌溉水源與農地土壤砷濃度之累積、調配地面水與地下水使用方式、定期篩測或檢測方式、超標判定與配套措施等，以維護我國土水品質與食品安全。
- (六) 依據前述選定地下水高砷潛勢範圍樣區之調查成果，配合土壤及地下水污染整治法第十二條第十項：「直轄市、縣(市)主管機關得對環境影響與健康風險、技術及經濟效益等進行評估，認為具整治必要性及可行性者，與擬訂計畫報中央主管機關核定後為之。」，進行整治管理評估及後續因應作為。
- (七) 規劃未來食安平台討論事項，建立跨單位協商及聯合調查討論平台。

四. 規劃辦理至少 3 場次農業環境資源安全之深耕培力課程，加強民眾溝通與意見反饋；配合政府跨單位研商會議與專家諮詢會議，強化橫向與垂向業務聯繫，確立污染風險管理之具體做法。

- (一) 邀集縣市環保、農業、水利等相關管理單位或專家，針

對地下水與農地土壤砷濃度篩測與預警機制之執行內容，辦理 3 場次研商會、座談會或專家諮詢會等會議，至少邀集 5 位專家學者，每場次以半天為原則，預估 15 人/場次，須提供茶水、便當、會議資料，總參加人數低於預估總人數之 60% 將扣減相關費用。

- (二) 邀請地下水與農地土壤管理、現場篩測設備、健康風險溝通等相關領域之專家學者、社區居民、農民、公部門以及民間團體，辦理 3 場次深耕培力課程，預估 30 人/場次，培力課程應包括土水環境品質、農業生產環境、健康風險或產業與在地特色等相關領域，共計 12 小時，以建立政府單位與地方意見領袖之跨界推廣與意見反饋的夥伴關係，須提供茶水、便當、會議資料，總參加人數低於預估總人數之 60% 將扣減相關費用。

五. 其他與本計畫相關之配合事項。

- (一) 本計畫辦理實地調查工作採單價計價法以實作數量計價，依據附表之工作項目估列單價(含稅金)以辦理計價，並依契約付款方式進行撥款。各項工作之預估數量及金額，依據實地調查工作費用之經費額度內調整支應。
- (二) 本計畫於服務建議書之服務經費分析表中詳列技術支援工作費用及實地調查工作費用。
- (三) 本計畫之執行單位應於本計畫簽約後 21 天內提出「環保署委託計畫品保規劃書」送貴署審查。
- (四) 本計畫採樣及檢測應委由中央主管機關許可之檢測機構辦理，方法應依中央主管機關公告之方法及貴署相關規範辦理，貴署公告檢驗方法如經更改，將於公告後配合完成檢驗方法修正。若無中央主管機關公告之分析方法，得採美國環保署或其他先進國家公告之分析方法，經貴署同意後實施。

- (五) 於服務建議書中提供本計畫土壤及地下水採樣與檢測等協力合作廠商合作協議書。非經貴署審核同意，不得於計畫執行期間更換協力合作廠商。
- (六) 本計畫土壤及地下水之檢測結果，依貴署要求格式匯入「土壤及地下水污染場址資訊系統」，並負責資料輸入之品保品管作業。

1.4 執行進度

根據本計畫契約書規定，本計畫執行期間自民國 109 年 2 月 12 日起至 109 年 12 月 31 日止完成，預定工作進度及查核點詳見表 1.4-1。本計畫正式簽約展開後，即積極辦理計畫相關工作，已確實依工作進度及查核點要求完成查核點之提送工作，詳表 1.4-2，本計畫主要人員資歷與專長及工作項目對應經費分配如表 1.4-3 與表 1.4-4。

表 1.4-1 本計畫預定進度及查核點

| 工作項目及內容 | 109年度各月份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|----------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| ※公告、評選徵價 | | | | | | | | | | | | | |
| ※簽約、工作範疇界定 | | | | | | | | | | | | | |
| 一、調查至少3處低神潛勢範圍食米超標案例之環境介質，歸納食米神超標成因與評估水土應變程序 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 綜整各單位歷年辦理地下水與農地土壤、食米等神濃度監測成果 | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 辦理至少3處低神潛勢區環境介質調查與流布探討 | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 歸納食米神超標成因 | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 驗證檢討縣市環保主管機關針對食米神超標各型態之應變適宜性 | | | | | | | | | | | | | |
| 二、釐清至少3處低神潛勢範圍土壤神濃度偏高之污染源，評估管制方式與整治必要性 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 針對低神潛勢範圍比對本署與農業單位歷年農地土壤調查成果 | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 篩選至少3處土壤神濃度偏高之樣區 | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 判定地下水與土壤神之人為與自然來源可能途徑 | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 評估管制方式與農地土壤整治之必要性 | | | | | | | | | | | | | |
| 三、運用地下水與土壤神濃度現地快篩技術，篩選至少3處樣區，建立不同引灌行為之監測評估方案，預防高神潛勢區土壤超標 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 盤點地下水高神潛勢範圍具農地土壤超標可能之樣區 | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 擇定至少3處區域以現地神濃度快篩技術建立引灌污染傳輸模型 | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 研擬農地土壤超標機率評估方案供環保與農業主管機關參考 | | | | | | | | | | | | | |
| 四、規劃至少3場次深耕培力課程，並辦理研商會、座談會或專家諮詢會議至少3場次，強化農地品質保護政策溝通與業務聯繫 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 辦理3場次研商會、座談會或專家諮詢會等會議 | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 辦理3場次深耕培力課程 | | | | | | | | | | | | | |
| 五、提供其他與本案相關之配合事項 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 其他相關行政工作及技術諮詢 | | | | | | | | | | | | | |
| 六、報告提送 | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 品保規劃書 | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 第一次工作進度報告暨採樣規劃書 | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 期中報告書 | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 期末報告書初稿 | | | | | | | | | | | | | |
| 預定進度累積百分比(%) | | | 5 | 10 | 20 | 35 | 48 | 60 | 75 | 90 | 95 | 98 | 100 |

表 1.4-2 實際進度與預訂進度對照及查核點說明表

| 契約書之預定進度累積百分比(%) | | 100 | | 實際執行進度(%) | 100 | |
|--|--------|------------------|----|----------------------|---------|----------|
| 工作內容項目 | 實際執行情形 | 差異分析(打√) | | 進度落後原因 | 困難檢討及對策 | 預定改善完成日期 |
| | | 符合 | 落後 | | | |
| 第一次工作進度報告 | | | | | | |
| 提送「環保署委託計畫檢驗數據品保規劃書」 | 已完成 | √ | | — | — | — |
| 完成環保與農業單位歷年地下水與農地土壤、食米等砷濃度監測數據之背景資料蒐集與彙整 | 已完成 | √ | | — | — | — |
| 完成盤點及規劃引灌富砷地下水潛勢區內、外調查標的，並擬定採樣規劃書 | 已完成 | √ | | — | — | — |
| 期中報告 | | | | | | |
| 完成 3 處地下水砷濃度潛勢範圍外稻米砷濃度偏高樣區規劃及調查作業 | 已完成。 | √ | | — | — | — |
| 完成 3 處地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高樣區規劃及調查作業 | 已完成。 | √ | | — | — | — |
| 完成 3 處高砷潛勢範圍農地土壤樣區規劃及快篩作業 | 已完成。 | √ | | — | — | — |
| 期末報告 | | | | | | |
| 完成並提送本計畫各項工作成果及結論與建議 | 已完成。 | √ | | — | — | — |
| 查核點 | | 預定完成時間 | | 查核點內容說明 | | |
| 1. 第一次工作進度報告 | | 109 年 03 月 31 日前 | | 完成計畫樣區篩選與採樣規劃 | | |
| 2. 期中工作報告 | | 109 年 07 月 15 日前 | | 完成高砷潛勢區域土壤及地下水快篩作業 | | |
| 3. 期末報告初稿 | | 109 年 10 月 15 日前 | | 完成本計畫所有工作，並提送期末報告書初稿 | | |

表 1.4-3 本計畫主要人員資歷與專長

| 任務分組 | 姓名 | 主要經歷及專長 | 學歷 | 負責章節 |
|------------------|-----|--|--------------|---------------------|
| 計畫督導人 | 劉志忠 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司副總經理 ▪ 環境工程技師 ▪ 土壤及地下水污染調查評估與整治規劃 ▪ 地下水監測井網規劃設計 | 中央大學 環工博士 | 全 |
| 計畫主持人 | 簡庭駿 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司環境技術部技術經理 ▪ 土壤污染評估調查人員 ▪ 地理資訊系統規劃與應用 | 臺灣大學 生工碩士 | 全 |
| 計畫協同主持人 | 王聖璋 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司環境技術部經理 ▪ 土壤及地下水污染調查評估 ▪ 水文地質化學分析 ▪ 地下水資源規劃管理 ▪ 地球化學模式模擬 | 臺灣大學 生工博士 | 全 |
| 計畫顧問 | 林高弘 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 國立成功大學永續環境實驗所研究員 ▪ 土壤及地下水污染調查評估 ▪ 分析化學與風險溝通 | 臺灣大學 生工博士 | 第三章、 第四章 |
| 專案經理 | 林建文 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 土壤及地下水污染調查評估及整治規劃 ▪ 地理資訊系統規劃與應用 | 中央大學 地質碩士 | 全 |
| 樣區篩選與現場 調查組 | 張元馨 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 土壤污染評估調查人員 ▪ 土壤及地下水污染調查評估及整治規劃 | 臺灣大學 生工碩士 | 第三章、 第五章、 第六章 |
| 樣區篩選與現場 調查組 | 陳雅雯 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 土壤及地下水污染調查及分析 ▪ 地下水污染及傳輸分析 | 中原大學 環工碩士 | 全 |
| 文獻蒐集與管理 策略研析組 | 王宸倚 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 底泥生物毒性 ▪ 土壤及地下水污染調查評估 | 屏東科大 環工碩士 | 第二章、 第三章 |
| 文獻蒐集與管理 策略研析組 | 郭奕妤 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 土壤污染評估調查人員 ▪ 土壤及地下水污染調查及分析 | 中興大學 環工碩士 | 第二章、 第四章 |
| 文獻蒐集與管理 策略研析組 | 李蕙君 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 業興公司工程師 ▪ 土壤污染評估調查人員 ▪ 土壤及地下水污染調查評估 | 宜蘭大學 環工碩士 | 第二章、 第五章 |

表 1.4-4 本計畫各工作項目經費分配表

| 工作項目 | 對應章節 | 經費分配 |
|------------------------|------|-------|
| 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬 | 第二章 | 17.6% |
| | 第三章 | |
| 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定 | 第二章 | 24.1% |
| | 第四章 | |
| 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立 | 第二章 | 54.4% |
| | 第五章 | |
| 農地砷污染管理推廣作業 | 第二章 | 3.9% |
| | 第六章 | |

註：計畫總經費新台幣 9,330,000 元整，以上經費分配以實作數量計算

第二章 農地砷污染來源與管制現況

臺灣地下水砷污染問題存在已久，國內外文獻研究顯示，地下水砷濃度多為自然背景成因所致，國內地下水砷濃度偏高區域，多受區域水文地質條件及環境背景因素影響，詳如 2.1 節。由於農業生產需要大量的水源，過去在地面水供應量不足時，許多農戶便開發地下水做為引灌水源，然而大量使用含砷濃度偏高的地下水後，造成土壤中砷濃度累積與食用作物遭受砷污染風險上升等。環保署與衛福部分別在維護環境安全與確保食品安全的目標下，訂定砷相關法規標準，詳如 2.2 節；環保署利用歷年累積的農地土壤與地下水調查數據，結合農業單位歷年土壤分析調查成果，完成國內地下水砷污染潛勢地圖以及土壤與地下水砷污染來源判定及處理原則等，詳如 2.3 節；為強化行政管理效能，針對管理策略、砷移除方案等面向進行試驗探討，詳如 2.4 節；國內外富砷農地影響管理政策，詳如 2.5 節。

2.1 砷污染來源與污染成因

自然界的砷含量主要來自於火山噴發，形成之含砷礦物經長期風化，導致砷含量大多存在地層沉積物中，自然條件下，地殼中砷平均含量為 1.5 mg/kg、火成岩約為 1.5 mg/kg、變質岩約為 5 mg/kg、沉積岩約為 5~10 mg/kg，而沉積物平均約為 3~10 mg/kg，其中，泥土與黏土的砷濃度會高於砂土(Smedley and Kinniburgh, 2002)。砷最常受到地化條件的影響而出現於地下水中，許多地區抽取地下水用於民生、灌溉、養殖等標的，即造成人體健康及環境危害最主要的途徑。國內外相關研究顯示，地下水中砷含量主要源自於地層沉積物受到還原環境影響而釋出，土壤砷濃度則受地面水、地下水、空氣污染、廢棄物及肥料等影響，藉由吸附或共沉澱等方式累積於土壤中，如圖 2.1-1 所示，分別詳述如后。

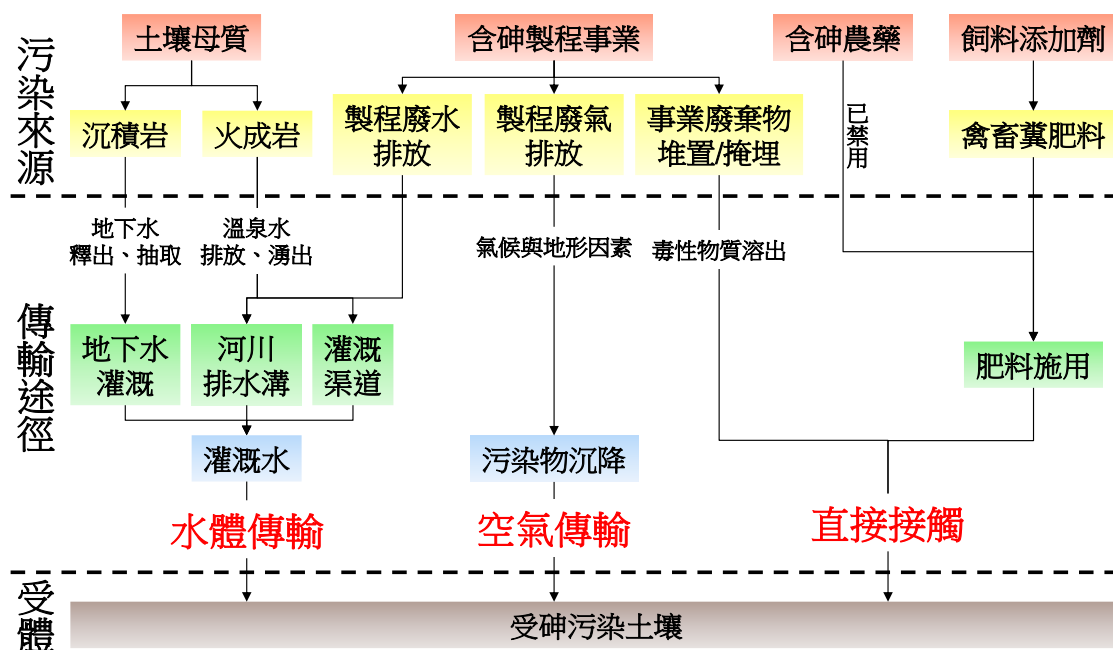


圖 2.1-1 農地砷與汞污染傳輸途徑

一、地下水砷濃度多為環境背景因素所致

臺灣地下水砷污染問題存在已久，自 60 年代烏腳病疫情爆發以來，國內已有大量研究調查成果，研究層面涵蓋環境化學、地質化學、毒理學、流行病學、分子生物學等，而臺灣地下水中砷濃度偏高之成因主要源自地層中，當含水層的地球化學環境合適砷富集的情況下，將導致地下水中砷濃度較高，而有利於砷富集之水環境特徵如下所述(劉振宇，2009)。

(一) pH 值條件

由於砷在地下水中(pH=4~9)主要以砷酸根和亞砷酸根兩種型式存在，因此，地下水中的五價砷易被帶正電的物質吸附，如鐵、鋁氧化物等。隨著地下水 pH 值升高，膠體和黏土礦物表面帶更多負電荷，降低對以陰離子型式存在的之砷酸根($H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$)吸附，有利於砷的釋出，又或者高 pH 值影響砷的吸附行為，進而導致地下水中砷富集(Park et al., 2006)。

(二) 氧化還原環境

於氧化條件時，地下水中砷化合物會被膠體、鐵錳氧化物或氫氧化物吸附，當環境轉變為還原條件時，膠體變得不穩定，或對砷有高吸附能力的鐵(錳)氧化物或氫氧化物被還原，生成溶解度較大的亞鐵(錳)離子，吸附於表面的砷也隨之被釋出至地下水中，於此類地下水，高砷含量常伴隨著高鐵、高錳、低溶氧濃度，且硫酸根的濃亦較低，因此，此類地下水中砷與硫酸根之濃度多呈負相關(Smedley and Kinniburgh, 2002)。

此外，於氧化環境中，含砷礦物(如黃鐵礦等)的氧化作用也可導致砷的釋出(Robertson, 1989)，於此條件下，砷化合物主要以五價砷型式存在，而於還原環境中，則主要以三價砷型式存在，因此，氧化還原環境改變可導致砷之吸附或釋出行為改變(Ahmed et al., 2004)。

(三) 有機質

許多有機酸，如醋酸、甲酸及腐植酸等，能促使金屬元素在地下水中的遷移，部分元素可直接與有機酸結合，並與其一起遷移。此外，由於某些有機酸具有還原能力和膠體性質，有機酸的還原作用可促使五價砷轉變為溶解度較高之三價砷。Redman 學者等人(2001)提出在微鹼性條件下(pH=7~8)，當有機物含量增加時，赤鐵礦上之砷吸附量減少，有利於砷釋出。

依據國內歷年地下水調查成果，地下水砷濃度偏高多集中於濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原與蘭陽平原四大地下水分區，綜合而言，臺灣地區地下水高砷含量多出自海相地層，海相中含有大量生物沉積，有機碳含量較高，而可能釋出機制主要為含砷之鐵氫氧化物在還原條件及微生物作用下溶解釋出所致，而嘉南平原地下水還原環境較強，部分礦化之砷硫鐵礦物，可經微生物催化之氧化反應將砷離子釋出(劉振宇, 2009)

。環保署「地下水有害物質環境傳輸調查及管制標準檢討計畫(第一期)」即針對地下水富砷議題，研擬非因外來因素所致之判釋流程，並劃定地下水背景砷濃度潛勢區域，供各事業單位主管機關參考，如需使用含砷地下水，須依各類地下水用水標的，配合相關水質標準或用水需求，研擬合宜之水質淨化處理方式與地下水抽取深度、用水量等。

二、土壤砷濃度受人為活動影響

(一) 抽取含砷地下水做為灌溉用水

自然條件下，土壤砷背景濃度約 5~10 mg/kg(Smedley and Kinniburgh, 2002)，依據國內歷年土壤調查成果，部分農地土壤砷濃度偏高，如宜蘭縣、臺北市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣市、臺南市、高雄及屏東沿海地區，與前述地下水砷濃度偏高區域一致，經環保署專案現場勘查與調查結果顯示，主要透過當地農民大量引灌富砷地下水至水田，地下水中豐富的還原性砷、鐵、鋁、錳等物質，與空氣中之氧接觸後發生氧化反應，以至於進入土壤後形成大量鐵、鋁、錳水合氧化物質，砷也因此類水合氧化物質之表面化學特性而大量吸附，另也形成砷酸鐵類型沉澱。而土壤砷濃度異常偏高之點位大多靠近灌溉用抽水井，出水口附近具紅棕色結晶物及沉積物，而鄰近溝渠之底泥亦有紅棕色物質，其砷含量均有偏高情形。嘉義縣環保局於 97~101 年調查結果顯示，民雄鄉頭橋段、江厝店段興中小段、江厝店段、崙子頂段等地段之多筆農地地號查出土壤砷濃度超過監測標準及管制標準，即肇因於當地農民抽取農地周邊含砷地下水灌溉所致。

(二) 地表含砷溫泉水做為灌溉用水

部分地區受到地熱循環，造成溫泉水中含有砷含量並匯入河川之中，引灌此類水體亦將造成砷含量進入農地系統。臺北市環保局於民國 93 年調查發現部分關渡平原農地土壤砷濃度異常，於民國 93 年與 94 年分別委由國立台北

科技大學與東南技術學院針對關渡平原特定農地土壤進行砷濃度檢測工作，臺大生態工程研究中心執行 95 年度「臺北市農地土壤砷含量調查及查證計畫」檢視 93 年度與 94 年度相關土壤檢測分析報告時發現，此一污染成因為上游地區地熱谷溫泉富含各類化學物質，包括砷、鉛、鐵、鉻及硫酸鹽等，並湧出於地面後存在於河川水體中，甚至於北投溪河床形成砷鉛鐵礬與北投石等礦物結晶，早期七星水利會於薇閣國小附近取水，並以礮水上圳與礮水下圳引灌至關渡平原北投小組農地，水中含溶解態與顆粒狀之各種重金屬於農田中吸附、沉澱並隨灌溉系統擴散，經百餘年造成如今之異常現象。

本區土壤砷含量異常區域為七星農田水利會之北投小組灌區，目前灌溉水源已於大業路建設後，改由水磨坑溪供應，阻絕農田灌溉水之砷污染來源。

(三) 使用肥料與農藥造成砷物種轉換與累積

農業活動所使用的含砷資材可能也為土壤砷濃度偏高原因之一，如國內早期部分農藥含有砷成分，然目前已受農藥管理法限制使用，此外，部分地區常使用家禽糞便作為肥料，包含新鮮雞糞與曝曬腐熟之堆肥，此類肥料中的砷濃度來源為飼料添加劑。

洛克沙砷 (4-Hydroxy-3-nitrobenzenearsonic acid, Roxarsone) 屬於有機砷劑，可有效控制家禽腸道內球蟲病 (Coccidiosis)，且促進家禽生長、提升飼料效率、增加蛋雞產量，且飼料中添加推薦劑量為 22.7~45.5 g/ton (林清傑，2009)。由於家禽餵食洛克沙砷後大部分隨糞便排出且其化學型態大部份未被改變，導致雞糞中普遍含砷，以水萃取新鮮雞糞之萃取液中以洛克沙砷為主，且同時存在雙甲基砷酸 (Dimethylarsonic acid, DMA) 和五價砷。由於家禽糞便中含有大量氮、磷等植物所需營養源，因此，通常被就近

及重複性施用於家禽畜養場附近的農田，臺灣近幾年來積極推廣水稻有機栽培也將雞糞堆肥列為有機肥料之一。

堆肥中的砷含量可能藉由肥料施用而造成當地土壤及地下水污染，由於家禽餵食洛克沙砷導致於其糞便中普遍含砷，含砷雞糞長期施用於農田可能提升土壤中砷含量而導致作物砷累積，尤其水稻吸收及累積砷的能力大於其他穀類作物，若長期攝食受到砷污染稻米將可能提高人體砷暴露的潛在風險(林清傑，2009)。

國內學術及農業試驗單位分析臺灣地區市售有機堆肥中重金屬含量，其總砷含量為 ND~113 mg/kg，許桂榮等(2004)於雲林縣及嘉義縣收集 26 個豬糞樣本、25 個雞糞樣本及 5 個肥樣本進行總砷及砷物種分析，所有樣本總砷平均值 26.7 mg/kg，而雞糞樣本的總砷含量之平均值為 29.31 mg/kg，所有樣本的洛克沙砷含量之平均值為 19.24 mg/kg，而雞糞樣本的洛克沙砷含量之平均值為 21.77 mg/kg，即雞糞樣本之總砷含量中平均約 74.29%為洛克沙砷(林清傑，2009)。

而宜蘭縣環保局於 2012 至 2013 年亦曾調查蘭陽溪上游地區因農民長期於河川地使用生雞糞施肥種植蔬菜，因雞糞中含有銅、鋅與砷等重金屬成分，可能會造成土壤重金屬累積之污染問題。環保署「農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫」則於民國 104 年辦理國內 11 家堆肥場的現勘、產品與農地土壤調查，農地土壤砷濃度累積現象尚不明顯(<15 mg/kg) (環保署，2015a)。

(四) 含砷製程之事業排放污染

工業活動也為環境中砷可能污染源之一，砷與含砷金屬的開採、冶煉，或利用砷或其化合物作為原料之玻璃、顏料、原藥、紙張生產、煤燃燒等過程，都可能產生含砷廢水、廢氣和廢渣，若處理不當可能對環境造成污染。因

此，若關切之農地區域鄰近具晶圓製造及半導體製藥業、光電材料及元件製造業、金屬精煉廠、玻璃製造業、染料業、製革廠、紡織業、陶瓷製造業等產業，宜特別留意與評估其污染潛勢。

人為產生的砷每年釋放量高於自然釋放的 3 倍(NRC, 2001)，各類來源的砷含量可能被釋放於大氣中，估計全球每年自然界的砷釋放大氣中的量約 8,000 公噸，此外包括礦業、精練業、木材防腐業及電子業等，而農業行為亦造成砷污染，包括殺蟲劑及肥料。以國內曾發生之案例而言，原臺灣金屬鑛業股份有限公司(以下簡稱台金公司)停工後未妥善處理廢棄物，因而造成濂洞煉銅廠及其所屬三條廢煙道受重金屬污染，且污染物已隨土壤沖蝕及地表逕流而有散佈之現象，周邊土壤砷污染濃度最高達 104,000 mg/kg，地下水砷污染濃度最高為 0.657 mg/L，均超過土壤及地下水污染管制標準，雖然此場址周邊較無大規模農業耕作行為，但仍有影響人體健康之虞，而持續辦理環境監測。

此外，依據環保署「環境保護許可管理資訊系統(EMS)」所列管之可能含砷事業，發現於民國 79 年基隆市環保局曾調查該市安樂區之興業金屬股份有限公司，該廠主要回收國內廢鉛蓄電池，並大量進口國外廢鉛蓄電池從事鉛廢料冶煉回收作業，而造成該公司長期排放高濃度的鉛及其他化合物污染附近環境，包括河川水、空氣、土壤、沉積物，該局於 94 年調查發現土壤中重金屬鉛、砷超過管制標準及監測標準，並推估因其附近具有谷地地形，易受冬、夏季盛行季風影響，產生沉降氣流及渦旋，而造成含砷、鉛污染空氣之沉降。

2.2 國內外砷法規標準管制現況

多數國家為了保護環境安全，會考慮不同因素制定各類管制標準，而不同國家間標準值的不同，亦反映其對於管制標準值考量的因子差異所致。本節針對國內外土壤(詳 2.2.1 節)、地下水(詳 2.2.2 節)和食用作物(詳 2.2.3 節)三方面的法規面現況說明如下。

2.2.1 土壤砷法規標準管制現況

各國對於土壤的管制標準如表 2.2-1，從現今各國的法規中，並無特別考量砷在不同型態及價數的毒理因子而制訂不同標準，可能受限於砷的型態容易受環境因子所影響。然而，針對不同土地利用型態、人體或環境生態風險等因素，多數國家皆訂定不同的土壤管制標準。以國內來說，環保署為掌握國內土壤可能受污染情形，自民國 71 年起以種植食用農作物之農田土壤為優先，著手進行全國土壤重金屬含量調查工作。民國 89 年「土壤及地下水污染整治法」(以下簡稱土污法)公告施行，依據污染「預防」與「管制」之概念，對於土壤重金屬標準分為「土壤污染監測標準」與「土壤污染管制標準」，針對部分重金屬於既有法規架構下另訂食用作物農地標準。目前國內對於砷的限值，在土壤污染監測標準的部分訂為 30 mg/kg，土壤污染管制標準的部分為 60 mg/kg。環保署依照調查結果公布「土壤及地下水污染整治法公布施行後過渡時期執行要點」，法規中規範所在地主管機關應依「環保機關執行台灣地區土壤重金屬含量等級區分表工作內容說明」辦理相關土壤調查、監測與整治工作。

此外，依據國內現勘與調查結果歸納，大多數農地土壤砷含量偏高狀況，主因為農耕行為大量引灌富砷地下水至水田所致，依現行土污法第 12 條第 9 項規定，若污染物係自然環境存在經沖刷、流布、沉積、引灌致場址之污染物濃度超出土壤或地下水污染管制標準者，應將檢測結果通知相關目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關事宜，必要時，並得準用第 15 條規定。若前述場址

經環境影響與健康風險、技術及經濟效益等進行評估，認為具整治必要性及可行性者，可依土污法第 12 條第 10 項規定，擬訂計畫報中央主管機關核定後為之。為掌握可能發生農地土壤砷含量累積之區域與範圍，環保署於民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」，初步建立引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖(以下簡稱富砷水田土壤影響地圖)，詳 2.3.4 節說明。

表 2.2-1 國內外土壤砷管制標準

| 項次 | 各國土壤管制標準 | | 砷 (mg/kg) |
|----|----------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 台灣 | 不分區 | 60 |
| 2 | 中國 | 不分區 | 15 |
| 3 | 比利時 | 工業區 | 300 |
| | | 自然區/農業區 | 45 |
| | | 住宅區 | 110 |
| | | 遊憩區 | 200 |
| 4 | 加拿大 | 農業區、住宅區、公園區、商業區、工業區 (考量人體健康風險) | 12 |
| | | 農業區、住宅區、公園區(考量環境生態風險) | 17 |
| | | 商業區、工業區(考量環境生態風險) | 26 |
| 5 | 澳洲 | 住宅區(庭院) | 100 |
| | | 住宅區(大樓) | 400 |
| | | 商業區、工業區 | 500 |
| | | 遊憩區、學校區 | 200 |
| 6 | 法國 | 公園區、運動區(敏感區) | 37 |
| | | 住宅區、商業區、工業區(非敏感區) | 120 |
| 7 | 義大利 | 一般區、住宅區 | 20 |
| | | 商業區、工業區 | 50 |
| 8 | 荷蘭 | 不分區(目標值) | 29 |
| | | 不分區(介入值) | 55 |
| 9 | 芬蘭 | 不分區(臨界值) | 5 |
| | | 不分區(參考基準低值) | 50 |
| | | 不分區(參考基準高值) | 100 |
| 10 | 美國 | SSL 住宅區 | 0.4 |
| | | SSL 商業區、工業區 | 2 |
| 11 | 捷克 | 一般區 | 55 |
| | | 工業區 | 140 |
| | | 自然區/農業區 | 65 |
| | | 住宅區 | 70 |
| | | 遊憩區 | 100 |
| 12 | 奧地利 | 農業區 | 20 |
| | | 住宅區、遊憩區、運動區(啟動值) | 20 |
| | | 住宅區、遊憩區、運動區(介入值) | 50 |

表 2.2-1 國內外土壤砷管制標準(續)

| 項次 | 各國土壤管制標準 | | 砷 (mg/kg) |
|----|----------|---|---|
| 13 | 瑞典 | 住宅區/地下水保護區(敏感區) 商業區、工業區(非敏感區) | 15 40 |
| 14 | 德國 | 工業區 公園區、遊憩區 住宅區 運動區 | 140 125 50 25 |
| 15 | 波蘭 | 工業區 A(表土厚度 2~15cm, K_s 超過 10^{-7}) 工業區 B(表土厚度 0.2cm) 工業區 C(表土厚度 2~15cm, K_s 低於 10^{-7}) 自然區 表土厚度 0 ~15cm, K_s 超過 10^{-7} 表土厚度 0.3~15cm, K_s 低於 10^{-7} 表土厚度大於 15cm, K_s 超過 10^{-7} 表土厚度大於 15cm, K_s 低於 10^{-7} | 25 80 100 20 20 25 25 55 |
| 17 | 日本 | 水稻田 土壤成分標準(風險來自直接攝入) | 15 150 |
| 18 | 丹麥 | 土壤保護標準值 | 10 |
| 19 | 立陶宛 | 最大容許值 | 10 |
| 20 | 英國* | 住宅區 農業區 商業區 | 32 43 640 |
| 21 | 紐西蘭 | 農業區 住宅區 高密度住宅區 娛樂場所 商業區/工業區 | 20 24 50 100 70 |
| 22 | 斯洛伐克 | 農業區(沙) 農業區(砂土) 農業區(黏土) 農業區(不分土質) 非農業區(允許值) 非農業區(改善值) | 0.15 0.5 0.75 0.4 30 50 |

註：1. K_s 為飽和水力傳導度(cm/sec)

2. 美國 SSL 標準乃場址進行初步評估調查時所採用之篩選標準建議值

3. * 表示該國所訂定之砷標準為無機砷標準

資料來源：農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫(環保署，2015)

2.2.2 地下水砷法規標準管制現況

目前國內外地下水砷品質管制相關標準彙整如表 2.2-2，多數國家獨立劃定地下水區標準，僅少數國家無特別分區，如立陶宛與加拿大。甚至有些國家在地下水區，再依不同用途而設定不同的標準，如韓國依生活用水、農漁業或工業用水，分別訂定所屬標準。我國亦屬獨立劃定地下水區標準型態，並界定若位在飲用水水源

水質保護區內為第一類，否之為第二類。砷之地下水限值，第一類污染管制標準為 0.05 mg/L，第二類則為 0.5 mg/L，而第一類污染監測標準為 0.025 mg/L，第二類則為 0.25 mg/L。以我國地下水砷的第一類管制標準來看，相較比利時、德國、奧地利、波蘭、日本等國來說較為寬鬆。

從目前國內外地下水體分類管制現況來看，不論是否獨立劃定地下水區，或依用途設定管制標準，皆是以是否具人體直接或間接暴露風險的考量，如法國若位在種植蔬菜的住宅用地，因屬食用作物與人體居住之暴露風險較高，相較於若只限於工業用地的地下水標準嚴格。加拿大更進一步導入生態風險保育概念，在淡水及海水的水生生物品質之管制標準，皆較農業灌溉或家畜用水來得高。

縱使目前各國已依不同用途設定水體標準，許多相關研究均指出地下水中砷污染多來自地層環境，而非人為因素所致，以國內來說，統計各單位歷年地下水水質監測成果，臺灣部分地區的地下水砷背景含量偏高，甚至超過地下水污染管制標準；由相關研究指出地下水中之砷背景含量大多源自背景環境成因(環保署 2012、2013、2015)，並非人為因素所致，台灣地下水砷含量偏高區域，集中於蘭陽平原、濁水溪沖積扇平原、嘉南平原及屏東平原，可能受該地區地質特性影響，而具較高的水中砷濃度分布現況。然而，國內土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)第十二條第九項明文規定，「污染物係自然環境存在經沖刷、流布、沉積、引灌致場址之污染物濃度達第二項規定情形者，直轄市、縣(市)主管機關應將檢測結果通知相關目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關事宜。必要時，並得準用第十五條規定。」同時環保署於民國 102 年也發布地下水污染管制標準之附件「地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程」，做為各地環保局針對非外來污染砷問題之應變調查參考，詳 2.3.3 節說明。

表 2.2-2 我國與其他國家地下水砷之法規標準彙整表

| 項次 | 各國地下水品質管制標準 | | 砷 (µg/L) |
|----|-------------|--|------------------------------|
| 1 | 台灣 | 第一類管制標準 第二類管制標準 | 50(0.05mg/L) 500(0.5mg/L) |
| 2 | 比利時 | 地下水-不分土地利用型態 | 20 |
| 3 | 荷蘭 | 地下水-住宅用地 | 60 |
| 4 | 德國 | 地下水-監測標準 | 10 |
| 5 | 法國 | 地下水-種植蔬菜的住宅用地 地下水-只限於工業用地 | 50 250 |
| 6 | 瑞典 | 地下水-限於加油站或飲用水質地區 | 50 |
| 7 | 奧地利 | - | 6 (啟動值) 10 (介入值) |
| 8 | 波蘭 | - | 10 |
| 9 | 義大利 | - | 10 |
| 10 | 愛爾蘭 | - | 10 |
| 11 | 美國 | - | 10 |
| 12 | 日本 | - | 10 |
| 13 | 韓國 | 地下水-生活用水 地下水-農業/漁業用水 地下水-工業用水 | 50 50 100 |
| 14 | 立陶宛 | 飲用水/非飲用水之最大容許值 | 50 |
| 15 | 澳大利亞 | 地下水 | 13 |
| 16 | 加拿大 | 淡水(保護水生生物的水品質) 海水(保護水生生物的水品質) 灌溉用水(保護農業的水品質) 家畜用水(保護農業的水品質) | 5 12.5 100 25 |
| 17 | 斯洛伐克 | - | 10 |

資料來源：農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫(環保署，2015)

2.2.3 食用作物砷法規標準管制現況

當農地土壤受引灌富砷地下水影響，就可能進而影響到耕地之食用作物安全，可見三者為息息相關，因此在制訂標準值時皆須納入考量。有鑑於目前食品衛生標準種類項目繁多，針對食品衛生標準的整合可提高相關標準查詢閱覽之方便性，為加強管理食品之衛生安全，依據食品安全衛生管理法第十七條規定：「販賣之食品、食品用洗潔劑及其器具、容器或包裝，應符合衛生安全及品質之標準，衛福部自民國 107 年 5 月 8 日發布修定「食品中污染物質及毒素衛生標準」，整合各項衛生標準中有關重金屬、真菌毒素及其他特定污染物質之規範，自民國 108 年 1 月 1 日起實施。

為使食品管制標準與土壤重金屬污染管制標準相符，於管制值

訂定上即考量各類重金屬在土壤與食用作物植體間的生物有效性，然而隨著土壤組成之變異性增大，且食用作物植體吸收能力不同，因此在制訂標準時，除考量土壤組成外，亦須依照食用作物的差異，訂定不同標準。食品中食米穀類在污染物質及毒素衛生標準其砷含量限值說明如下：去殼米如糙米與胚芽米其無機砷含量不得高於 0.35mg/kg；白米無機砷含量不得高於 0.2 mg/kg；供為製造嬰幼兒食品之原料米無機砷含量不得高於 0.1 mg/kg；其他穀類總砷含量限量為 1 mg/kg，對比國內外農地土壤砷所訂定之管制標準如表 2.2-3。綜合上述國內土壤、地下水與食用作物限量標準如下表 2.2-4。

表 2.2-3 國外食用作物上對於砷之管制標準彙整表

| 國家 | 管制項目 | 砷管制標準值 |
|-----------|---------|------------------|
| 澳洲 | 穀類 | 1 mg/kg FW |
| 紐西蘭 | 穀類 | 1 mg/kg FW |
| 德國 | 穀類 | 1 mg/kg FW |
| 荷蘭 | 穀類 | 1 mg/kg FW |
| 印度 | 穀類 | 1.1 mg/kg FW |
| 加拿大 | 食用作物 | 1 mg/kg FW |
| 英國 | 食物(商業性) | 1 mg/kg FW |
| 瑞士 | 食用作物 | 4 mg/kg DW |
| 中國大陸 | 稻米與米製品 | 0.15 mg/kg (無機砷) |
| 中國大陸 | 蔬菜/水果 | 0.5 mg/kg FW |
| 阿根廷 | 稻米 | 0.3 mg/kg |
| 巴西 | 稻米 | 0.3 mg/kg |
| 巴拉圭 | 稻米 | 0.3 mg/kg |
| 烏拉圭 | 稻米 | 0.3 mg/kg |
| 新加坡 | 稻米 | 1 mg/kg |
| CODEX | 白米 | 0.2 mg/kg (無機砷) |
| | 食用鹽 | 0.5 mg/kg |
| | 食用油脂 | 0.1 mg/kg |
| 歐盟(建議值) | 生米 | 0.3 mg/kg (無機砷) |
| | 白米 | 0.2 mg/kg (無機砷) |
| WHO (建議值) | 食物 | 0.25 mg/kg FW |

註：FW：fresh weight /鮮重、DW：dry weight /乾重

資料來源：農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫(環保署，2015)

表 2.2-4 國內土壤、底泥、地下水與食用作物砷濃度標準

| 標準 | 土壤 (mg/kg) | 底泥 (mg/kg) | | 地下水(mg/L) | | 食用作物(mg/kg) | | |
|----|---------------|---------------|---------|-----------|------|-------------|------------|---------|
| | | | | 第一類 | 第二類 | 糙米 | 白米 | 其他穀類 |
| 監測 | 30 | 上限 值 | 下限 值 | 0.025 | 0.25 | 無機砷 0.35 | 無機砷 0.2 | 總砷 1 |
| 管制 | 60 | 33 | 11 | 0.05 | 0.5 | | | |

2.3 國內砷土水潛勢區域及判定流程建立

環保署於民國 102 年發布地下水污染管制標準之附件「地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程」，做為各地環保局針對非外來污染砷問題之應變調查參考，附件中臚列地下水砷濃度潛勢範圍共 81 個鄉鎮，集中於濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原等四區。因應農民長期引灌含砷地下水所造成的土壤砷濃度累積，各單位持續針對引灌富砷地下水之土壤進行調查，已累積大量農地土壤與地下水調查數據，茲就地下水(2.3.1 節)及土壤(2.3.2 節)調查成果說明如下。

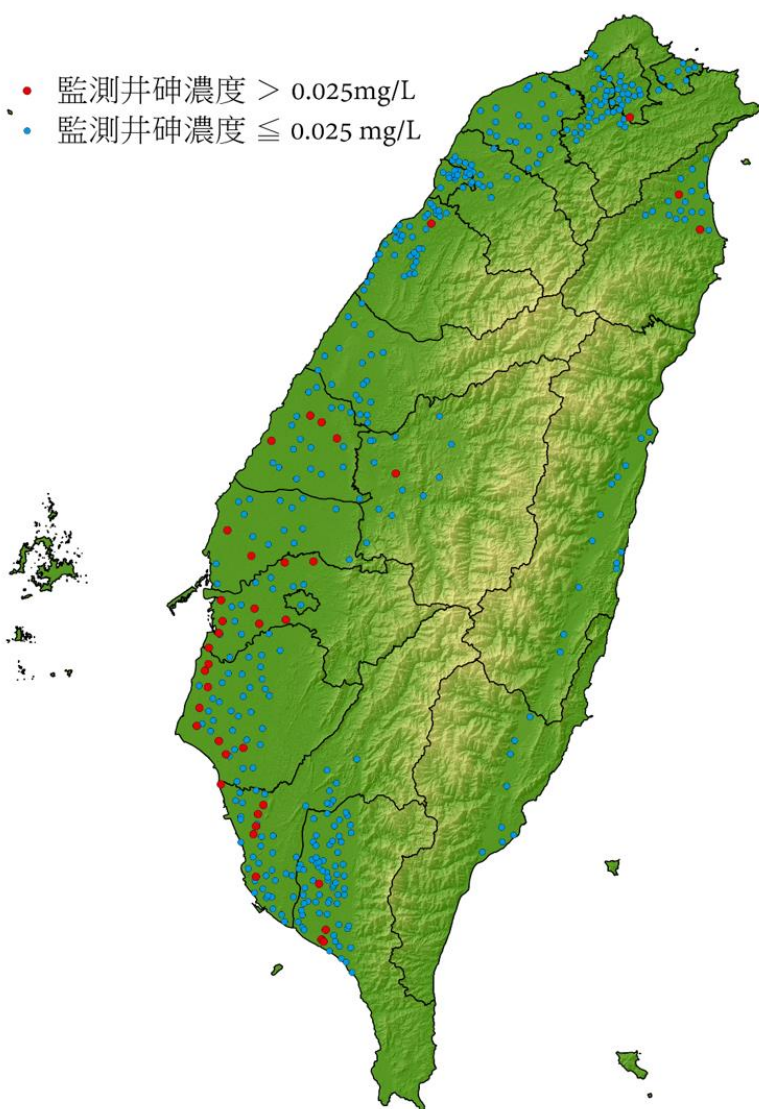
2.3.1 地下水砷調查成果

地下水砷濃度多為環境背景因素影響所致，當地層沉積物之砷濃度偏高，並受環境背景因素釋出於地下水時，即成為地下水主要的砷污染來源。本團隊統計環保署區域性監測井與經濟部水利署觀測井之地下水水質定期監測結果，歸納得到國內地下水砷污染特性原則相，茲彙整各單位近年相關地下水監測資料如下。

一、環保署區域性監測井地下水砷調查成果

環保署環境監測及資訊處為掌握地下水質狀況及建立地下水水質基本資料，自民國 91 年起由統籌辦理地下水質監測工作。過去環保署針對全國十大地下水分區，依污染潛勢、地下水使用及補注量等影響因子，對最易受地表污染物影響之第一含水層進行監測，水井深度多為地表下 30 公尺以內，以民國 108 年為例，持續監測中區域性地下水監測井為 451 口，其

中有 39 口地下水監測井砷濃度當年曾超過第一類地下水污染監測標準(0.025 mg/L)佔比例達 8.6%，尤以位在嘉義三和國小單次監測砷濃度 0.622mg/L 最高，已達第二類地下水污染管制標準，其次高雄市嘉興國小、竹林國小與實踐國小等十四處監測井濃度達第二類地下水污染監測標準，監測井砷濃度超標點位分布如圖 2.3-1，分布範圍與地下水砷濃度潛勢範圍主要區域相符。



註：本計畫彙整

圖 2.3-1 108 年地下水砷濃度超出監測標準之區域性監測井

二、水利署觀測井地下水砷調查成果

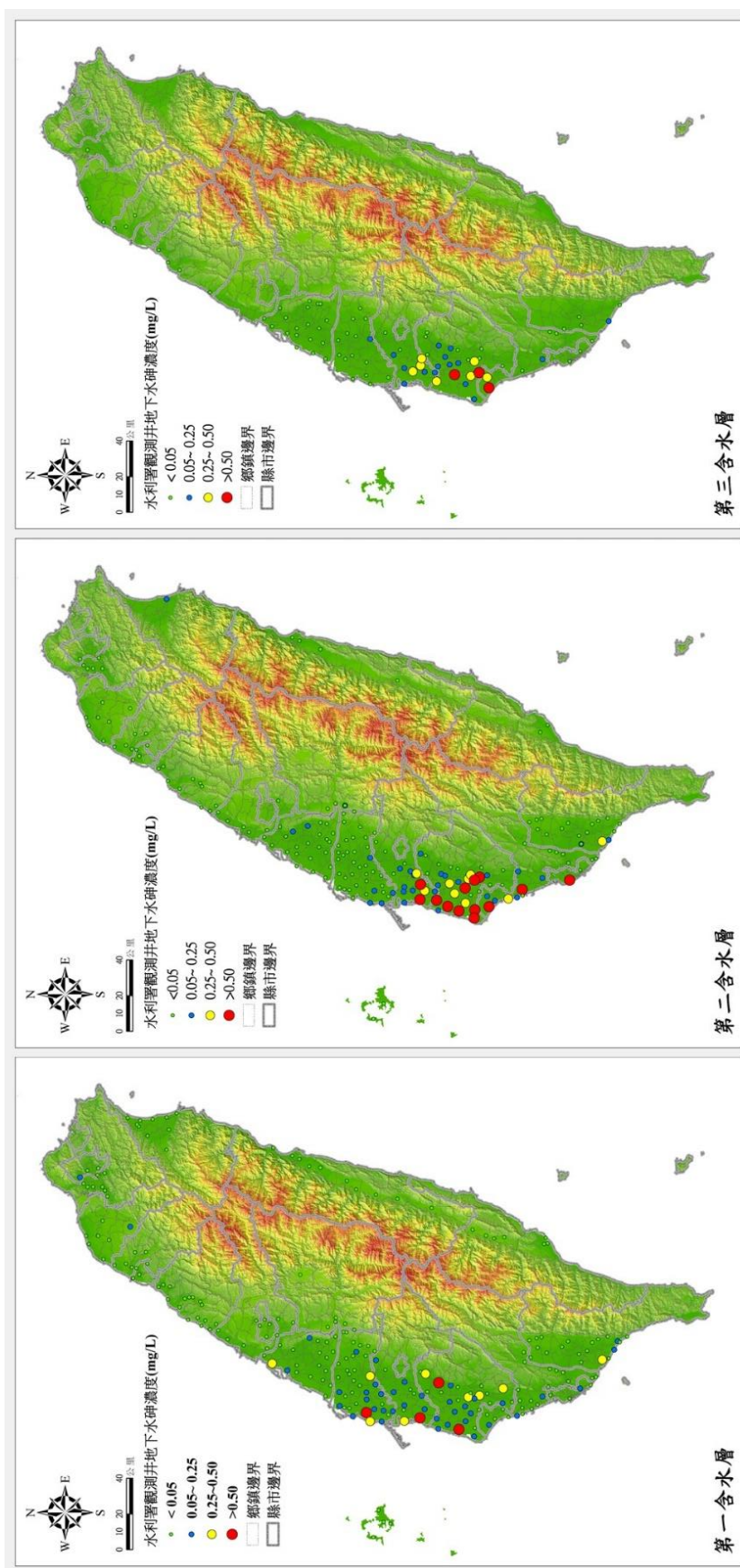
經濟部水利署於民國 77 年開始規劃各地下水分區地下水觀測井網建置工作，於民國 81 年前起以分年分階段方式辦理地下水觀測井建置作業。此工作目的包括水文地質調查研究、地下水觀測站網建立及運作管理、地下水水資源經理與資訊系統規劃、地下水調查與補注試驗研究及地下水水質資料管理等。考量不同含水層分布情形，水利署於同一區域建置不同深度地下水觀測井以利地下水水位觀測作業，並分年分區辦理地下水水質調查。

彙整民國 99~102 年水利署觀測井水質調查結果，統計地下水各含水層砷濃度超過各類地下水污染監測與管制標準之井數，如表 2.3-1。各含水層約有 30% 左右之觀測井砷濃度超出 0.025 mg/L，20.2%~27.4% 之觀測井砷濃度超出 0.05 mg/L，另約有 1.5~6.1% 之觀測井砷濃度超出 0.5 mg/L。繪製各含水層地下水砷濃度分布如圖 2.3-2，可看出全國地下水砷濃度偏高區域如同區域性監測井調查結果，主要集中於嘉南平原、濁水溪沖積扇、蘭陽平原及屏東平原，砷濃度高於第二類地下水污染管制標準(0.5 mg/L)之觀測井口數，以嘉南平原口數最多，且以第二含水層最為明顯。

表 2.3-1 民國 99~102 年觀測井砷濃度偏高數量及比例

| 含水層 | 調查口數 | 砷>0.025 mg/L | | 砷>0.050 mg/L | | 砷>0.500 mg/L | |
|-------|------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|------|
| | | 口數 | 比例 | 口數 | 比例 | 口數 | 比例 |
| 第一含水層 | 263 | 79 | 30.0% | 53 | 20.2% | 4 | 1.5% |
| 第二含水層 | 212 | 66 | 31.1% | 54 | 25.5% | 13 | 6.1% |
| 第三含水層 | 95 | 28 | 29.5% | 26 | 27.4% | 3 | 3.2% |

資料來源：自然背景富砷地下水影響農地土壤調查與整治技術評估計畫(環保署，2016)
 註：0.025、0.05 及 0.5 mg/L 分別為第一類地下水污染監測標準、第一類地下水污染管制標準及第二類地下水污染管制標準。



資料來源：環保署，2017

圖 2.3-2 民國 99~102 年觀測井地下水砷濃度分布

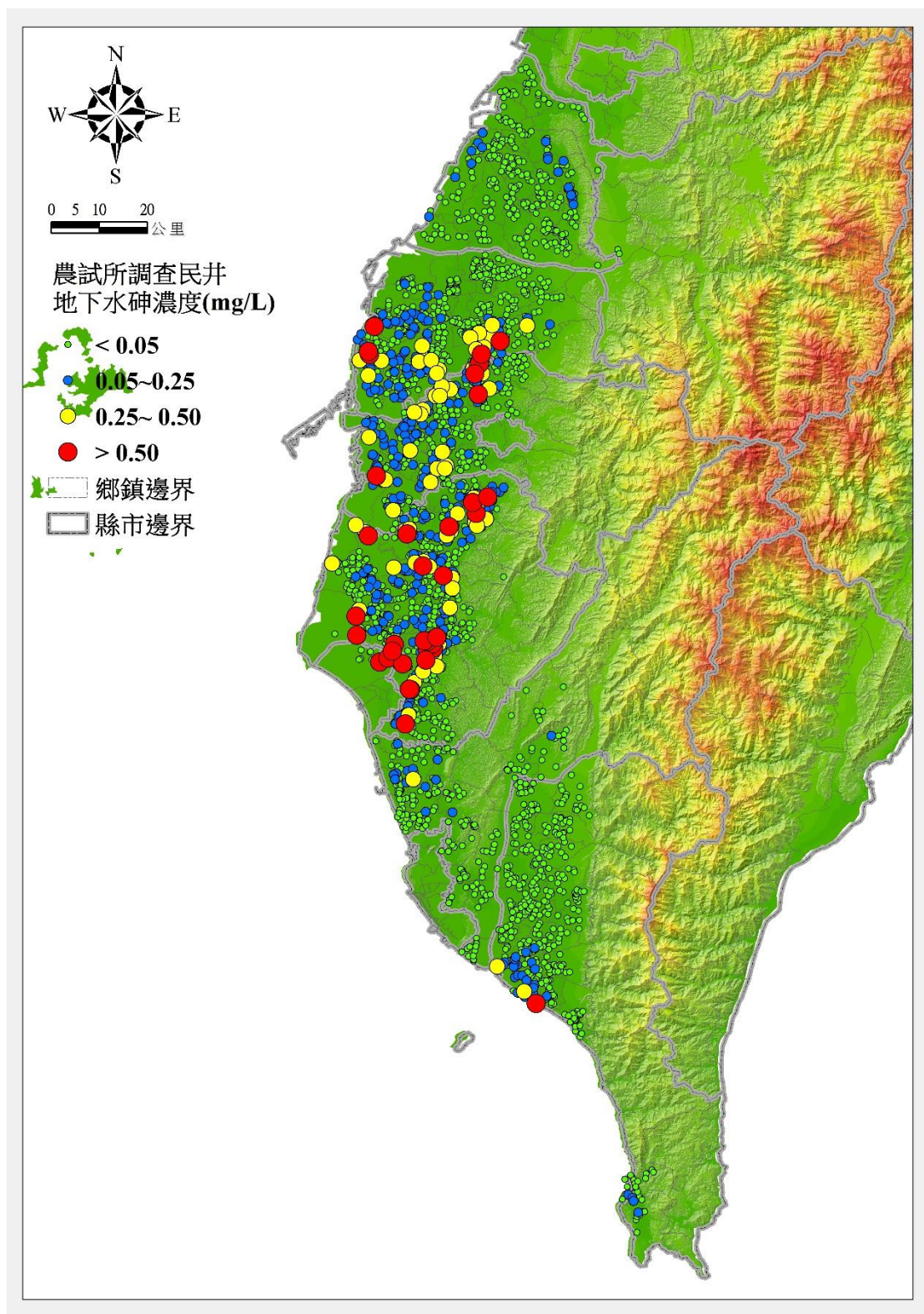
三、農試所地下水砷調查成果

過高的地下水砷濃度問題，已造成農耕戶在土壤及農作物收成影響，因雲林、嘉義、臺南、屏東等地區以抽取地下水作為澆灌或民生用途，間接造成農作物有機認證困難、飲用水質問題等。行政院農業委員會農業試驗所(以下簡稱農試所)於民國 97 年起，即針對前述地區之民井地下水進行砷濃度分析，因無工業或人為污染實證，初步判定應與地質因素有關。然而，因前述民井多屬非標準監測井，不論經調查過程或農民訪談得知，仍無法準確得知鑿井深度(廖等，2015)。

統計農試所完成之 2,270 筆地下水調查資料，如表 2.3-2 (廖等，2015)，約有 20.7%的農用水井砷含量超過第一類地下水污染管制標準(0.05 mg/L，亦為灌溉用水水質標準)，其中，更有約 4.8%超過第二類地下水污染監測標準(0.25 mg/L)，另有少量農用水井砷含量超過第二類地下水污染管制標準(0.5 mg/L)。地下水砷含量超標地區不只侷限於沿海地區，尤其以雲林、嘉義交界之溪口鄉與大埤鄉最為集中，沿海地區水井砷含量仍以雲林四湖鄉、口湖鄉等鄉鎮較為嚴重(環保署、農試所，2015)，詳如圖 2.3-3。

表 2.3-2 農試所調查中南部民井地下水砷濃度偏高數量及比例

| 範圍 | 彰化 | 雲林 | 嘉義 | 臺南 | 高雄 | 屏東 | 總和 |
|-----------------|-------------|------|------|------|------|------|-------|
| | 達管制標準比例 (%) | | | | | | |
| <0.025 mg/L | 85.4 | 58.4 | 45.9 | 53.3 | 86.5 | 89.9 | 66.7 |
| 0.025~0.05 mg/L | 8.2 | 17.8 | 17.5 | 16.0 | 7.5 | 2.5 | 12.5 |
| 0.05~0.25 mg/L | 6.4 | 19.3 | 28.7 | 20.8 | 5.5 | 6.9 | 15.9 |
| >0.25 mg/L | 0.0 | 4.5 | 7.9 | 10.0 | 0.5 | 0.7 | 4.8 |
| 總樣品數(筆) | 280 | 471 | 303 | 312 | 200 | 404 | 2,270 |



資料來源：廖等，2015(本計畫重新繪圖)

圖 2.3-3 農試所調查中南部地下水砷濃度分布圖

2.3.2 土壤砷濃度資料

一、環保署早期農地土壤砷調查成果

為瞭解臺灣農地土壤受重金屬污染情形，環保機關自民國 70 年代起展開農地土壤重金屬含量調查工作，調查項目包括砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八種重金屬，調查歷程分為五個階段。第 1 階段(民國 71~75 年)以 1,600 公頃為 1 單位網格進行大樣區概況調查，再依「臺灣地區土壤重金屬含量及等級區分表」將調查結果分級如表 2.3-3；第 2 階段(民國 76~79 年)針對概況調查中重金屬含量偏高，即分級標準達四級或五級的地區，進行以 25 公頃或 100 公頃為 1 單位網格的中樣區採樣調查；第 3 階段(民國 81~88 年)針對上一階段調查中列為可能污染地區，以 1 公頃為採樣網格單位進行小樣區細密調查；第 4 階段(民國 89~90 年)針對前一階段調查結果達第五級以上的地區，由各地環保局持續監測及調查，經細密調查後，由各地環保局提報農地重金屬含量達第五級地區面積為 1,024 公頃，扣除銅、鋅以外六類重金屬含量達第五級地區面積為 319 公頃；第 5 階段(民國 91 年至今)針對前述 319 公頃農地土壤進行查證調查及依法公告列管，達土壤污染管制標準的農地面積約 252 公頃。

環保署(2015)針對前述 319 公頃農地砷調查結果以盒鬚圖統計法分析如圖 2.3-4，主要砷中位數值較高的幾個縣市分別為宜蘭縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南縣市、高雄縣市及屏東縣，基隆市與臺中市土壤砷潛勢較低。而臺北地區土壤砷問題則主要集中於臺北市北投區的關渡平原，相關調查結果指出關渡平原受砷污染農地上游之磺港溪影響，其河床特定岩層中發現高濃度的砷鉛鐵礬礦物成分，早期七星水利會取用磺港溪水來提供磺水上圳與磺水下圳引灌至關渡平原北投小組農地用，因此，造成該區農地引灌這類水源使農地砷含量偏高，甚至超過土壤污染管制標準情形。

表 2.3-3 臺灣地區土壤重金屬含量及等級區分表

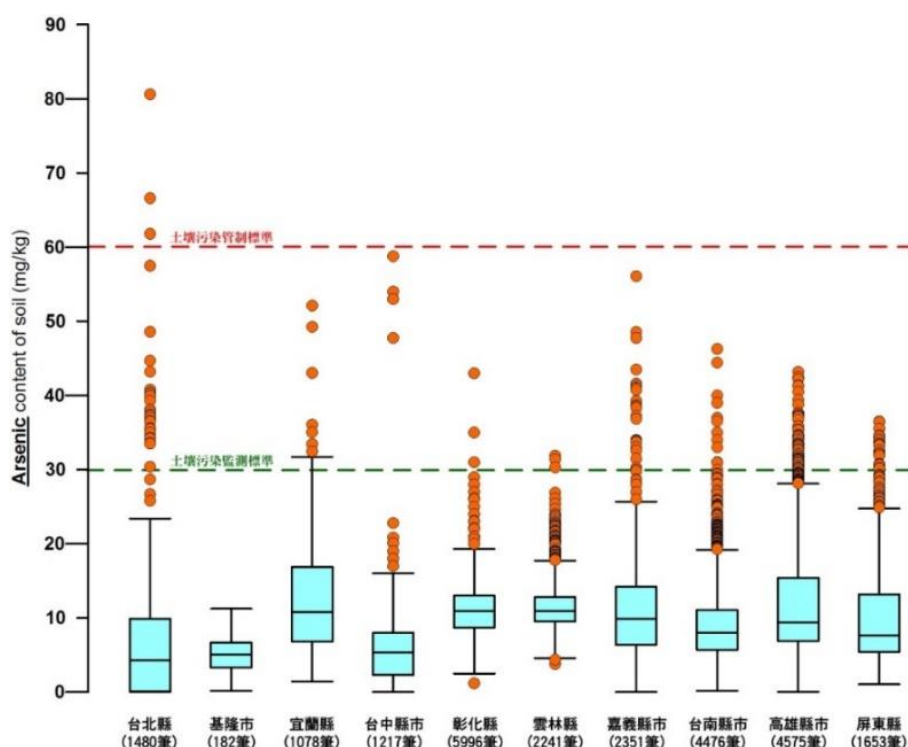
| 重金屬項目 | 第一級 | 第二級 | 第三級 (背景值) | 第四級 (觀察值) | 第五級 | |
|-------|------|--------|--------------|--------------|------|-------------|
| | | | | | 監測值 | 農地優先 整治值 |
| 砷(As) | — | 表土<4 | 4~9 | 10~60 | >60 | >60 |
| | — | 裡土<4 | 4~15 | 10~60 | >60 | >60 |
| 鎘(Cd) | — | <0.05 | 0.05~0.39 | 0.40~10* | >10 | >10* |
| 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 | 1~15 | 16~120 | >120 | >200 |
| 鋅(Zn) | <1.5 | 1.5~10 | 11~25 | 26~80 | >80 | >300 |

註 1：單位為 mg/kg。砷、汞為全量；鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅為 0.1 M HCl 萃取量。

註 2：表中等級之劃分，原則上以三位有效數字表示，並採用四捨五入法。

註 3：「*」表示栽種稻米之農地土壤其鎘與汞含量大於 1 mg/kg 時，應比照第五級標準，進行監測與整治事宜。

註 4：五種等級代表意義如下，第一級：土壤中缺乏銅、鋅等農作物生長所需元素者；第二級：土壤中重金屬含量低於環境背景值者；第三級：土壤中重金屬含量為環境背景值者；第四級：須進一步確認是否污染者；第五級：土壤中有外來重金屬介入，應列為重點監測地區，並進行相關工作。



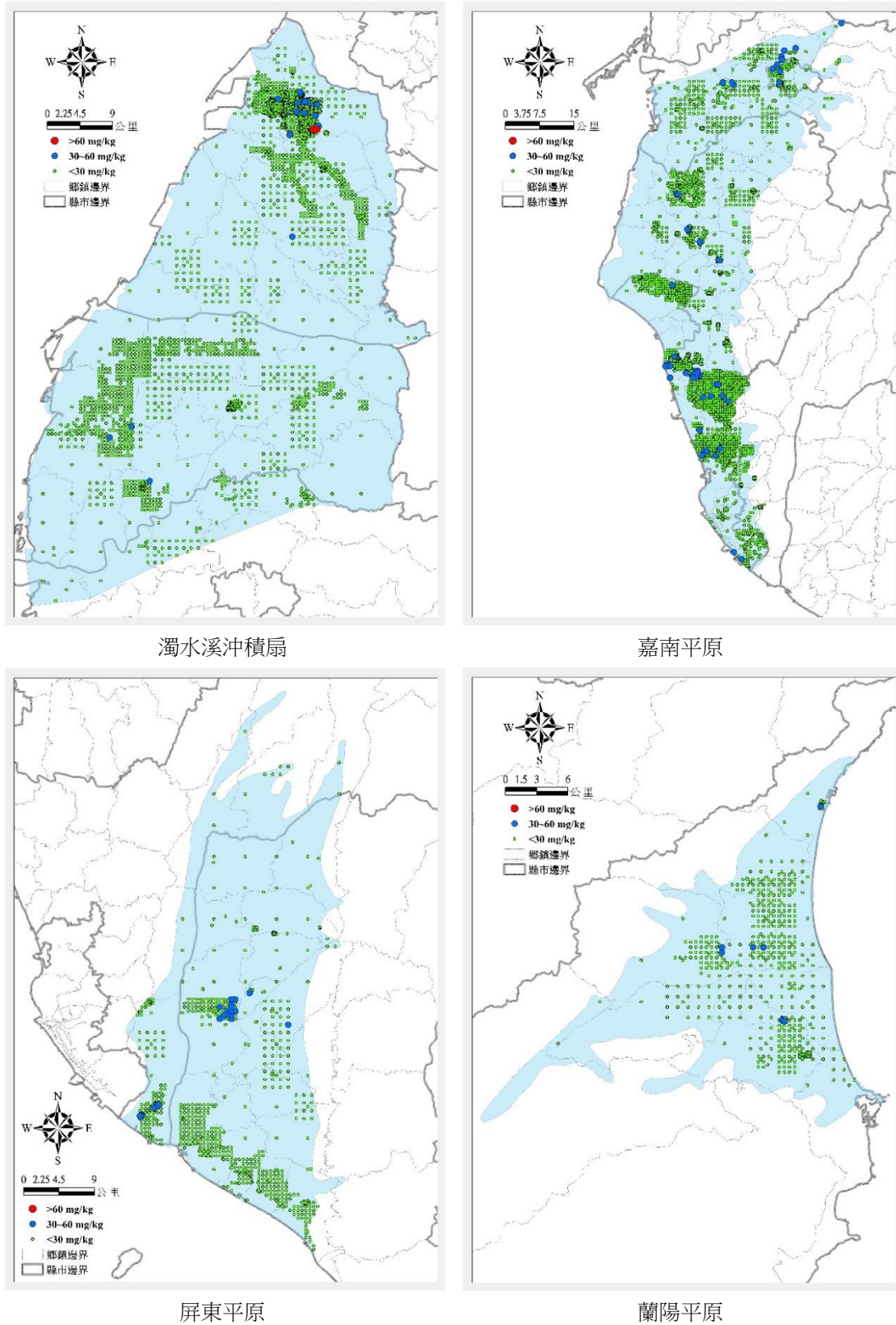
資料來源：環保署民國 89~90 年 319 公頃農地調查結果(環保署，2015)

圖 2.3-4 319 公頃高污染潛勢農地土壤砷含量分布

第 1 階段大樣區概況調查區域涵蓋全臺農地，其結果可視為農地環境重金屬濃度背景值之參考，第 2~5 階段調查則針對可能受污染的地區進行調查，統計全臺、宜蘭縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣市、臺南市、高雄市及屏東縣等農地土壤砷含量。大樣區概況調查結果顯示全臺農地砷平均含量為 5.54 mg/kg，未超過土壤污染監測標準(30 mg/kg)及管制標準(60 mg/kg)。而臺灣四大富砷地下水分區所涵蓋之 8 個縣市，除宜蘭縣以外，其餘 7 縣市農地土壤平均砷含量皆高於全臺灣平均值，顯示四大地下水分區所處地區之農地土壤砷環境背景值確實有偏高之現象，土壤砷濃度分布如圖 2.3-5。

二、環保署近年農地土壤砷調查成果

自環保署國內土壤重金屬大調查後，除各地方政府也著手進行相關計畫外，環保署土污基管會自民國 99 年開始一系列針對特定區域及國內農地進行土壤重金屬含量進行探討，如「全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 1 期至第 5 期)」、「農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫」及「農田土壤砷及硒背景值資料分析計畫」，分別針對特定區域及國內農地重點區域進行農地重金屬含量調查，各計畫於農地砷調查結果整理如表 2.3-4 所示。



資料來源：自然背景富砷地下水影響農地土壤調查與整治技術評估計畫(環保署，2017)

圖 2.3-5 環保署早期調查四大平原之土壤砷濃度分布

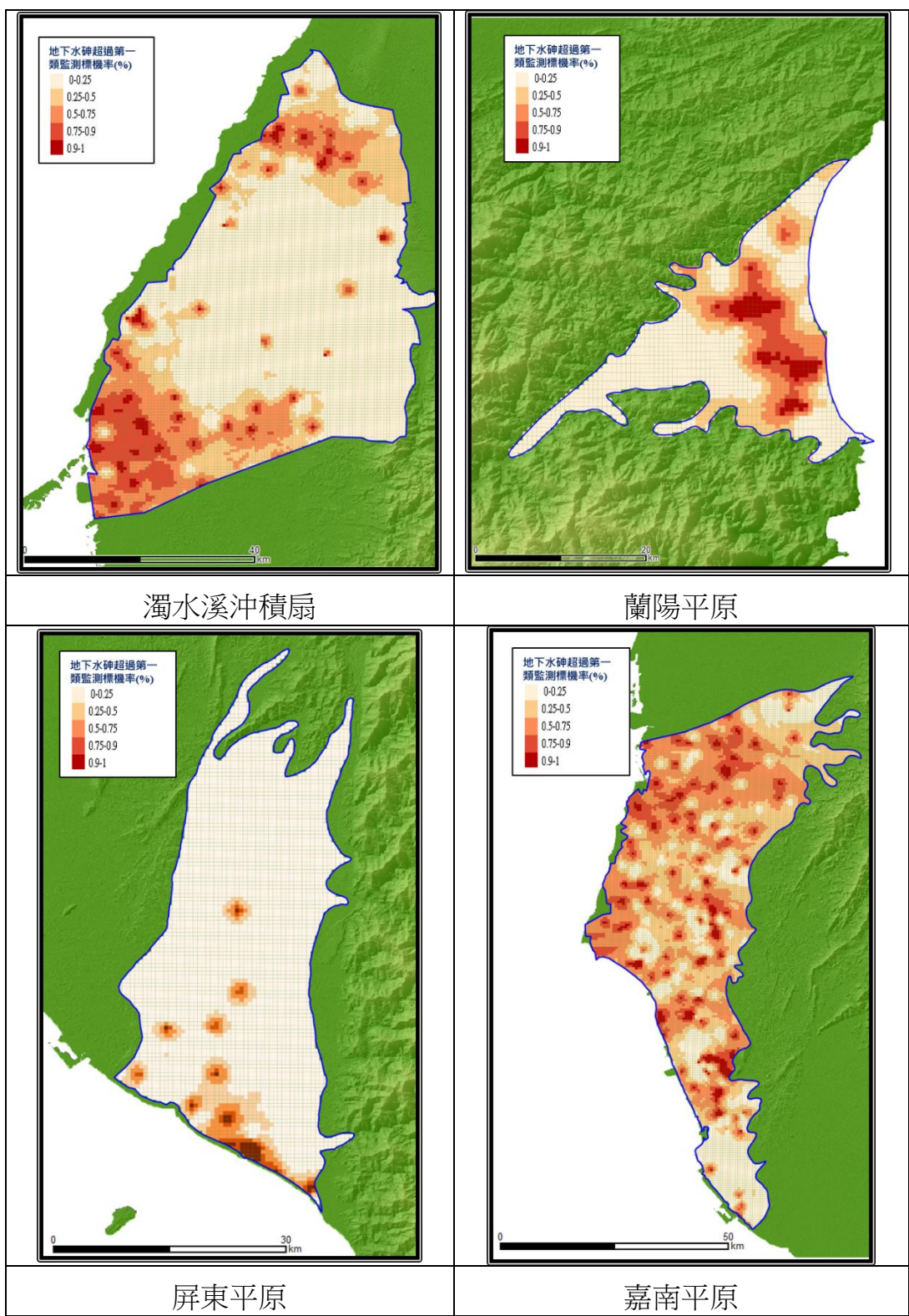
表 2.3-4 全臺灣農地重點計畫砷調查結果

| 計畫名稱 | 執行年度 | 採樣區域 | 調查結果 |
|-----------------------------|---------|-----------------|--|
| 全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 1 期) | 99-101 | 臺南市南科試辦區農地 | 所有採樣點農地砷含量皆未超過監測標準或管制標準，另有 2 採樣點鎘含量超過農地監測標準(260mg/kg)，但未達管制標準。 |
| 全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 2 期) | 101-103 | 彰化縣和美鎮、埔心鄉與秀水鄉 | 第一階段調查主要運作六價鉻產業工廠周邊農地，農地砷含量皆未超過監測標準或管制標準，在第二階段針對和美鎮彰化農田水利會鐵山支線及嘉犁支線等兩灌溉小組農地進行調查，結果顯示農地砷含量依然未達監測或管制標準，但大多數鎘、銅鎳及鋅超過管制標準。 |
| 農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫 | 102-103 | 嘉義縣溪口鄉 | 本計畫針對引灌富砷地下水之農地進行調查，結果顯示 14 個點樣品超過管制標準、10 個點樣品超過監測標準。此外亦檢測臨近的 20 座農用民井，其中兩座次水井砷濃度超過地下水管制標準(0.5mg/L)，僅有三座次符合灌溉水水質標準(0.05mg/L) |
| 農地土壤砷及硒背景值資料分析計畫 | 103-104 | 全臺農地 | 計畫分析農試所民國 81 年至 97 年所進行的網路土壤調查樣本之砷與硒含量，結果先是雲林、嘉義、彰化、平以及北部的新北與宜蘭地區砷含量較高，環保署計畫定之地下水砷濃度潛勢範圍所在鄉鎮砷中位數值亦較高。 |
| 全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 3 期) | 103-104 | 臺中市、桃園市與彰化縣 | 在採樣中有 34 組調查點砷濃度大於監測標準，其中 31 個調查點坐落在在四大富砷地下水分區，但無超過管制標準之點位，主要坐落於屏東縣長治鄉、潮州鎮、鹽埔鄉、宜蘭縣冬山鄉、彰化縣芳苑鄉、溪州鄉、福興鄉、台南市善化區、高雄岡山區、路竹區。 |
| 自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫 | 104~105 | 四大富砷地下水地區 | 計畫補強國內四大富砷地下水地區調查數據，以修正地理統計之空間推估結果，經 890 點農地土壤 XRF 篩測及挑樣全量分析，35 筆土壤砷濃度超出土壤污染監測標準(30 mg/kg)，其中 5 筆更超出土壤污染管制標準(60mg/kg)，自土壤調查結果挑選 105 口灌溉水井進行地下水檢測，計有 65 口地下水超出灌溉用水水質標準(0.05 mg/L)，其中，8 口地下水甚至超出第二類地下水污染管制標準(0.5 mg/L)，且多以三價砷型態為主。 |
| 全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 4 期) | 105-106 | 彰化縣 | 在彰化番雅溝等 27 個點位中並無土壤中砷濃度超過監測與管制標準，在洋仔厝溪 164 個點位當中僅 1 處土壤中砷濃度超過管制標準，石筍排水 239 個點位中有 1 處達監測標準，而有 4 處高於管制標準。 |
| 全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 5 期) | 105-107 | 桃園市、新竹市、台中市與高雄市 | 在所有調查點位中並無超過砷濃度監測與管制標準，然而在 233 個底泥樣品中，僅 2 處砷濃度高於土壤監測標準，如以底泥品質指標下限值為限的話 25 處超過泥品質指標下限值，1 處高於泥品質指標上限值。 |

2.3.3地下水潛勢地圖與判定流程

依據 2.3.1 節環保署區域性監測井與經濟部水利署觀測井地下水水質定期監測等調查結果，歸納國內具備上述地下水砷污染特性之分區，主要集中在包括濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原等四區，因無法完全避免使用區內之富砷地下水，故對其使用方式須依各類地下水用水標的，由各事業單位主管機關依相關水質標準或用水需求，研擬合宜之水質淨化處理方式與地下水抽取深度、用水量等規範。

爰此環保署於民國 102 年發布地下水污染管制標準之附件「地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程」，當前述區域於地下水水質檢測砷濃度超過地下水污染監測標準時，得無須辦理應變措施等工作，並歸納為受區域水文地質條件及環境背景因素影響所致，前述區域涵蓋範圍應依地下水定期監測結果調整之，更新至民國 108 年地下水砷濃度潛勢範圍如圖 2.3-6 所示。此外，因外來因素所致之砷來源判別工作辦理時機(如圖 2.3-7)及地下水砷污染辨識流程，主要內容包括蒐集污染場址之水文地質資料、人為活動情況，規劃地下水砷污染調查範圍，進而彙整周邊既設井歷年水位變化、水質檢測資料、地層沉積物特性，初步判斷非外來因素所致之可能性，並進行污染場址現勘與居民訪談，判斷周邊人為污染來源之可能性，如圖 2.3-8 所示。



資料來源：環保署，(2019)

圖 2.3-6 地下水砷濃度潛勢分布

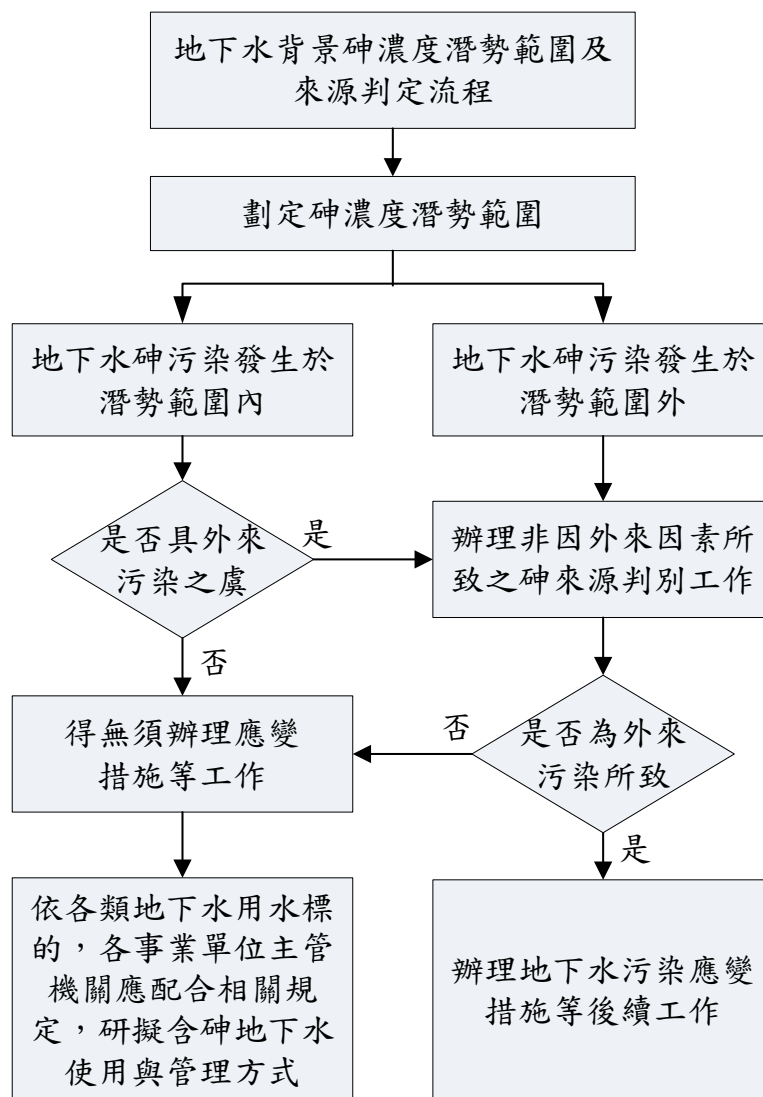


圖 2.3-7 地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程架構

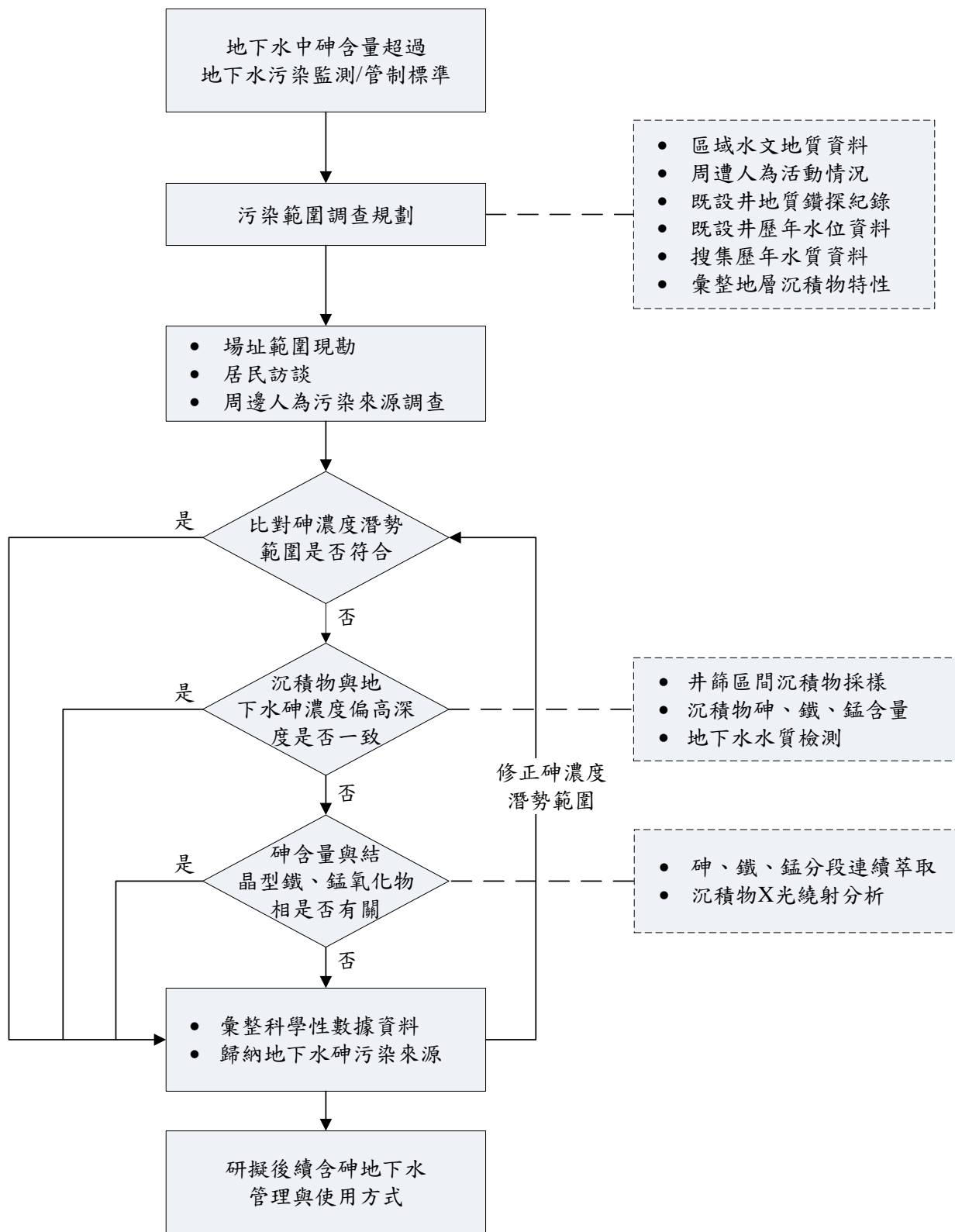


圖 2.3-8 地下水砷污染來源判定流程

2.3.4 引灌富砷地下水之土壤影響地圖及判定流程

當地面水供應量無法滿足農業用水需求時，農戶多以地下水做為引灌水源，就此衍生農地土壤及食用作物之砷濃度累積問題，然因部分區域缺乏既有監測井或觀測井水質資料，且非地下水砷濃度潛勢範圍內所有農地皆引灌地下水，因此為掌握可能發生農地土壤砷含量累積之區域與範圍，環保署自民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」，延續前期成果完成臺灣地下水富砷水區之農地影響地圖，選定歷年地下水砷濃度偏高之濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原及蘭陽平原，辦理農地土壤與灌溉水井地下水補充調查工作，建置富砷水田土壤影響地圖，詳後所述。

一、引灌富砷地下水影響地圖

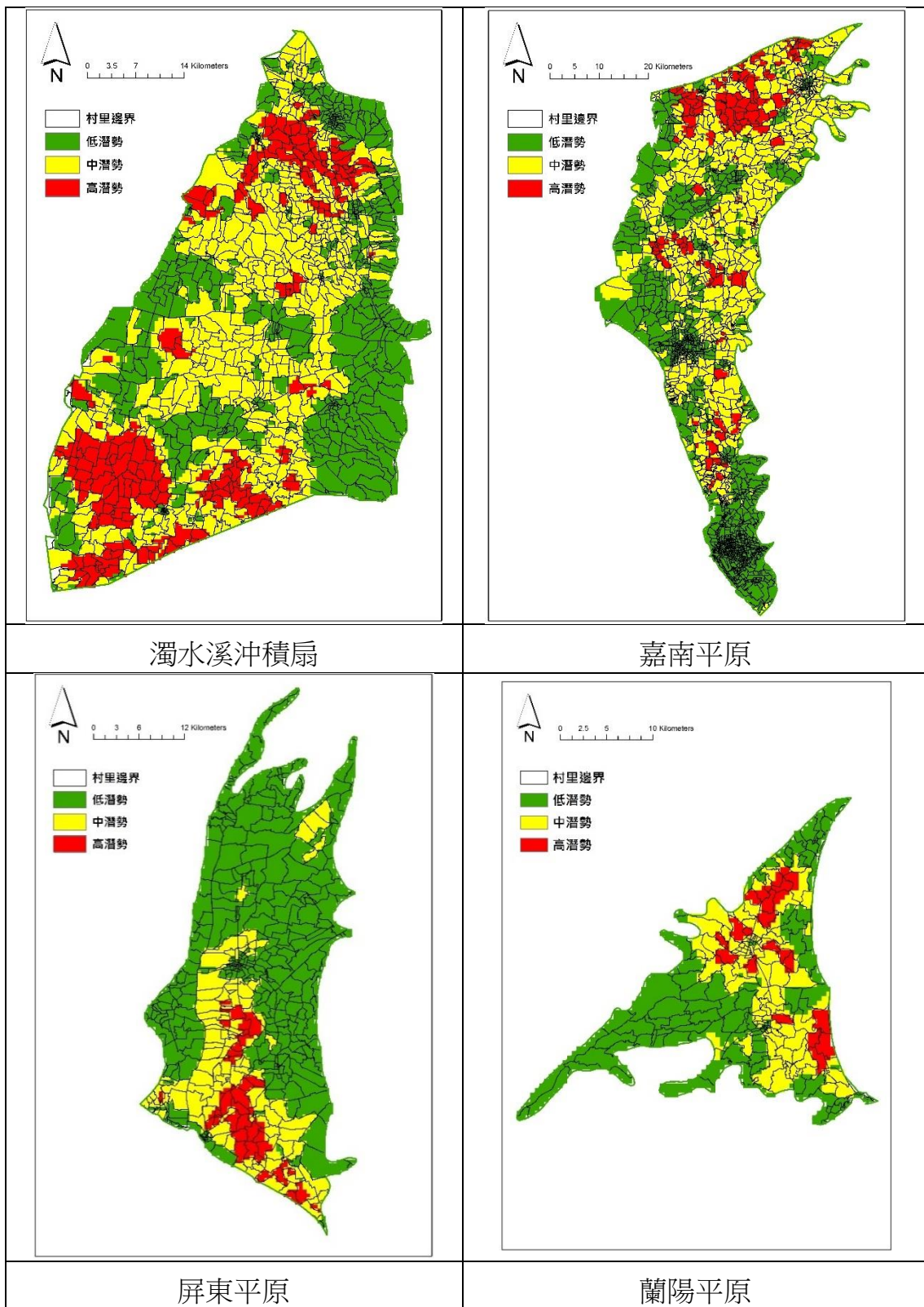
臺灣地下水富砷問題由來已久，又以西南沿海地區用水影響最鉅，然而抽用富砷地下水進行農業灌溉卻為臺灣西南沿海地區普遍行為，進而造成農地土壤砷濃度累積、甚而超標情形。環保署於民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」，完成引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖，結果顯示前述區域因地下水還原態之特性，砷、鐵、錳濃度均有偏高情形，經抽水引灌後進而導致砷累積於土壤中。該計畫考量農地土壤砷濃度累積之可能成因，選定地下水砷超標機率、具有水井之水田數量比例、水稻種植期別、土壤酸鹼值做為影響因子，並設定級距、分數與權重，完成引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖之建置，將農地土壤砷潛勢分為高、中、低三級，以歷年與該計畫土壤砷含量調查數據進行驗證，準確率均達 80% 以上，可反映國內農地砷問題發生區域。

富砷水田土壤影響地圖如圖 2.3-9 所示，係以空間推估及較保守方式繪製，劃定之高潛勢區域係指可能發生水田土壤砷問題之區域，為一發生機率之概念。期藉由提供清楚、明白、

直觀、易懂的圖像，使未來參考與使用之主管機關與人員皆可清楚瞭解國內環境現況，並能於此基礎上，做為依土污法第 12 條第 9 項規定辦理跨單位協商會議之論述基礎，進一步研擬與推動相關管理政策。

二、農地土壤砷污染判定及處理原則

因應天然成因之富砷地下水與農地土壤富砷現象間的關聯性，環保署於民國 107 年發布土壤砷污染判定及處理原則，目的為使直轄市、縣(市)主管機關，依土壤及地下水污染整治法第 12 條第 9 項規定，辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作有所依循，發現農地土壤含砷量達土壤污染監測或管制標準，依該架構規劃污染程度與範圍調查工作，釐清評估受人為污染之可能性後，針對外來污染之疑慮、引灌地下水與否及是否位於潛勢範圍進行判識，該原則如下圖 2.3-10。



資料來源：環保署，2016

圖 2.3-9 引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖

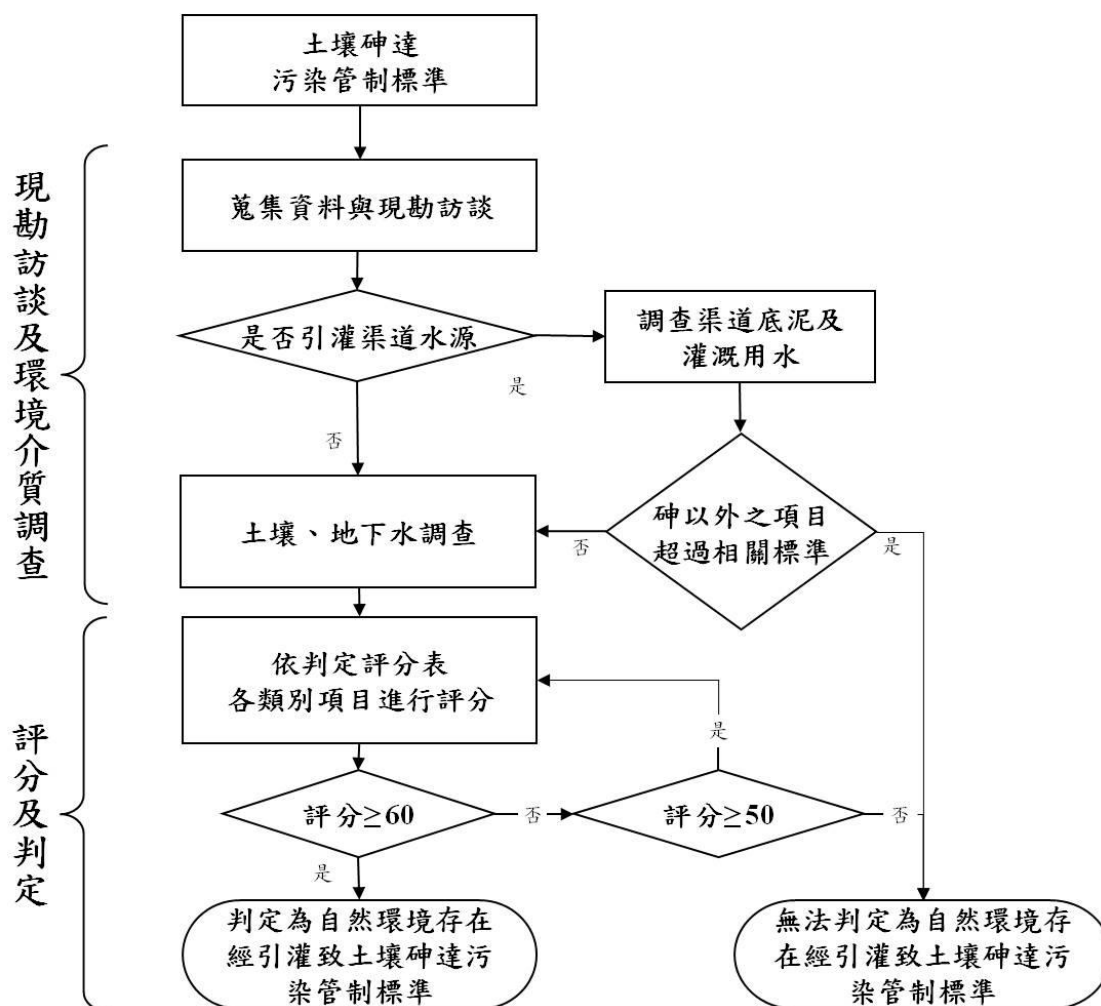


圖 2.3-10 土壤砷污染判定及處理原則

2.4 國內砷土水管理機制及處理方案

隨著國人對於環境保護與食品安全意識提升，國內農地土壤及地下水富砷問題勢必將備受關注，環保署歷年已辦理各項調查工作，並以建立土壤與地下水影響地圖之「污染預警」手段防範未然，輔以跨單位「研商合作」達到污染管理目標，然部分區域因尚無替代水源而持續使用富砷地下水做為灌溉用途、各單位辦理環境監測資源有限等情形皆為短期內難以克服之現實問題，在環保署自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除試驗與發展計

畫中曾對砷移除方案、管理策略與評析應用進行探討(環保署, 2018), 並結合農政單位之土壤與作物累積研究成果, 檢視國內砷污染管理作業之完整性及土水與作物安全管理措施如下所述。

2.4.1 土壤砷植生復育法砷移除試驗

針對土壤重金屬污染物濃度偏高問題, 國內外已發展相當多元的砷污染移除技術, 綜觀現有國內外的土壤砷污染移除技術, 不難發現仍未融入農地土壤的永續利用精神。例如國內常用之排客土、翻轉稀釋等雖可快速處理土壤污染問題, 然需大面積開挖或置換原土壤, 衍生污染廢棄土壤問題。若為淋洗萃取、冶煉回收及電動力法等, 則恐影響土壤肥力與品質、能源消耗、高額成本或有污染再釋出之可能。

綜合上述因素, 環保署在民國 105 年執行「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」中, 使用植生復育法進行自然背景富砷地下水影響之農地土壤砷污染移除, 既不會破壞土壤物化性質, 亦能維持土壤農作特性, 且所需整治成本較低, 可適用於大面積的農地污染。總整國內外文獻後, 此法需考量植物特性如: (1)須容易生長, 生質量高, 對砷的耐受性高、(2)具有經濟性收益、(3)國內外文獻曾指出具有富砷土壤植生復育潛力者、(4)需為本土常見、無生態風險的植物、(5)具景觀性等五項原則, 初步選擇五種植物, 分別為砷累積植物鱗蓋鳳尾蕨; 容易種植、可做為生質能源及動物飼料的玉米及芒草; 另考量砷在浸水土壤中, 有還原成移動性較高的三價砷趨勢, 且目前富砷土壤多為水田, 具有種植水生植物條件, 因此選擇 2 種水生植物進行試驗, 分別為具有園藝觀賞價值的香蒲及具有砷超級累積潛力的圓葉節節菜。

在該計畫中進行植生復育盆栽試驗與土壤砷移除現地試驗, 試驗結果如表 2.4-1。在盆栽試驗及現地植生復育試驗中, 皆以鱗蓋鳳尾蕨具有最佳的移除量, 栽種期間為六個月, 砷移除量為 33.8 mg-As/m^2 , 在土壤砷的移除效果具相當高潛力達成污染改善目標。

在落實引灌含砷地下水影響農地土壤之植生復育時，應考量土壤砷濃度現況，規劃不同程度的移除力道，然而鱗蓋鳳尾蕨具砷富集效果屬植生萃取作物，每年僅可栽種兩期且不具經濟效益，對於賴以耕作維生的農民而言，仍存有推廣的限制，因此也可選擇種植經濟作物玉米，達到一邊生產一邊復育的成效。

玉米是雲嘉南平原經常種植的作物，於多數環境下皆可生長，對多種重金屬具有相當高的忍受性，成熟的玉米植株具有相當高的生質量，於玉米粒部位，受傳輸障礙機制限制，對重金屬的蓄積濃度相對較低，使玉米粒另可提供做為動物飼料，提升經濟價值。在「自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫」中顯示在土壤砷濃度 100mg/kg 下，對玉米的生長及產量無顯著影響，同時在相同濃度一般條件栽種下，玉米粒濕基總砷含量最高為 0.014 mg/kg，遠低於衛福部所公告之穀類總砷限量標準 1.0mg/kg，建議在符合安全衛生條件下，能提供用途或可提供做為動物飼料。玉米的莖、葉部位砷含量也皆低於 0.4 mg/kg，建議可提供做為動物飼料或是提供做為生質燃料。

表 2.4-1 生復育盆栽試驗與土壤砷移除現地試驗

| 第一階段植生復育盆栽試驗 | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 項目 | 玉米 | 鱗蓋鳳尾蕨 | 香蒲 | 圓葉節節菜 | 芒草 |
| 砷移除效果 mg/m ² | 0.85~2.66 /4 個月 | 37.46~189.8 /9 個月 | 20.67~101.45 /10 個月 | 0.99~6.63 /3 個月 | 1.98~5.18 9 個月 |
| 廢棄植體處置 | 可提供生質能 | 曬乾焚化 | 曬乾焚化 | 曬乾焚化 | 可提供生質能 |
| 經濟價值/效益 | 高：可做為飼料、提供做為生質能 | 無 | 中：可做為花藝材料 | 無 | 中：可做為飼料或提供生質能 |
| 適栽情境 | 全年可種 | 適合春天開始種植 | 適合春天開始種植 | 全年可種 | 適合春天開始種植 |
| 第二階段植生復育現地試驗 | | | | | |
| 栽種條件 | 玉米 | | 圓葉節節菜 | | 鱗蓋鳳尾蕨 |
| 品種 | 臺南 24 號 | | <i>Rotala rotundifolia</i> L. | | <i>Pteris vittata</i> L. |
| 栽種期間(月) | 4 | | 6 | | 6 |
| 撥種時機 | 全年 | | 全年 | | 春天 |
| 砷移除量 (mg-As/m ²) | 8.4 | | 8.8 | | 388 |
| 廢棄植體處置 | 玉米桿可做為生質材料、玉米粒可供為飼料 | | 焚化 | | 焚化 |

2.4.2 地下水砷移除試驗

目前在廢水處理中，最廣泛被使用的為曝氣與混凝兩種方式，其主要原因為可於較低成本下，達到預期的砷移除成效，同時，吸附或離子交換形式可有多元的材料選擇，因此針對曝氣及吸附方式進行現地評估，評析各種試驗方案之技術、經濟、操作面可行性如表 2.4-2。

- 一、 技術面：使用桶槽式曝氣沉澱法可使處理後出流水維持 $50\mu\text{g/L}$ ，漫流式曝氣沉澱法因流況掌握難度較高且曝氣效果有限，雖在濾材表面可觀察到砷鐵氧化物，但整體砷移除的效果不佳。出水流量部份在桶槽式曝氣沉澱法最高，可達 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 。
- 二、 經濟面：分析包含設備建置、操作維護及廢棄處置。綜合各項成本投入年攤提，使用曝氣沉澱法搭配反沖洗的方案整體成本投入最低，每年每分地約需 3,000~4,000 元，最高為零價鐵吸附法，每年每分地的年攤提成本高達數十萬。
- 三、 操作面：對於採用地下水砷移除的單位而言，操作便利性為選用技術的重要考量因素之一，曝氣沉澱法直接將濾材廢棄處置長期而言，雖投入成本較高，但相較於反沖洗設備操作與維護，仍屬較便利系統。

表 2.4-2 地下水現地試驗方案可行性評估

| 可行性評估 | | 地下水砷移除方案 | | | |
|-------|--|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| 面向 | 項目 | 曝氣(桶槽式) | 曝氣(漫流式) | 吸附 | |
| 技術 | 砷移除效果 ($\leq 50\mu\text{g-As/L}$) | ★★★ 可 | ★ 不可 | ★★★ 可 | |
| | 出水流量 (m^3/h) | ★★★ 2.4~10 | ★★ 2.4 | ★ 0.6~1.2 | |
| 經濟 | 設備建置 | 直接廢棄 | ★ 21,800 | ★★★ 0~1,000 | ★ 20,000 |
| | | 反沖洗 | ★ 31,800 | ★★★ 0~21,000 | --- |
| | 操作維護 | 直接廢棄 | ★★★ 2,000 | ★★★ 2,000 | ★ 505,263 |
| | | 反沖洗 | ★★★ 1,000 | ★★★ 1,000 | --- |

表 2.4-2 地下水現地試驗方案可行性評估(續)

| 可行性評估 | | 地下水砷移除方案 | | | |
|-------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 經濟 | 廢棄處置 | 直接廢棄 | ★★★ 840 | ★★★ 840 | ★ 58,947 |
| | | 反沖洗 | ★ 84 | ★ 84 | --- |
| | 年攤提 | 直接廢棄 | ★★ 5,020 | ★★★ 2,940 | ★ 566,211 |
| | | 反沖洗 | ★ 4,264 | ★★★ 3,184 | --- |
| 操作 | 技術門檻 | ★★ 更換/反沖洗 | ★★ 更換/反沖洗 | ★ 維持穩定流況 | |
| | 佔地空間 | ★ 大 | ★★★ 小 | ★ 大 | |

計算條件假設：以每年每分地為例，試算移除 100µg/L 砷濃度所需成本(元)，直接廢棄：每年更換 2 次濾料，反沖洗：每五年更換 1 次濾料，年攤提以十年為基準試算。

2.5 富砷影響農地管理策略

我國農地土壤及地下水砷污染調查已執行數十年，經統計歷年土壤及地下水檢測數據，目前農地土壤砷濃度偏高主要成因係因長期抽用富砷地下水進行灌溉所致，主要分布在濁水溪沖積扇、嘉南平原、蘭陽平原及屏東平原四個區域，涵蓋面積相當的廣。在背景富砷地下水區耕作農地，因引灌而造成土壤砷濃度累積具時間性因素，長期下來在國內部分區域農地土壤砷有持續偏高問題。

國外富砷地下水引灌造成農地土壤及作物砷含量偏高亦為相當受到關注的議題，如 2001 年在印度北 24 區縣的 Deganga 區域，共調查 3,200 口灌溉水井，結果顯示因引灌作業，每年約有 6.4 噸的砷滲入 200 平方公里面積的耕作農地 (Chowdhury et al., 2001)。此外，進一步分析稻米中的含砷物種分布，發現以毒性較高的無機砷為主，約占 76% (Chakraborti et al., 2016)。稻米中砷物種分布與濃度關係，會因區域與稻米品種而有所差異，依據 Islam 等人統計分析 10 個國家的稻米含砷物種與濃度，如表 2.5-1 (Islam et al., 2016)。研究結果亦顯示無機砷仍為稻米所吸收的主要物種，並以毒性較高的三價砷為主。

當所引灌的地下水中砷濃度越高時，土壤受砷污染程度隨之增加，進而存積於作物中的砷含量亦呈正相關 (Roychowdhury et al.,

2005)。雖然，亦有研究指出，不同作物品種會影響其組織部位對於砷之吸收強度 (Hossain, 2006)。不論如何，在長時間仰賴富砷地下水進行栽作，將造成作物生長遲緩且不健康，進而影響收成與農業收益。此外，人體亦會因食用含砷稻米、蔬果、肉品與奶類製品，受到間接危害 (Abedin et al., 2002 ; Singh et al., 2015)。

當作物因吸收土壤砷濃度而有砷污染問題，則可能進一步影響耕種農民健康或食用該作物民眾的健康問題，故參考國外建制健康風險評估與水資源使用管理，彙整國內砷可能暴露途徑如圖 2.5-1 所示，受體主要可分為農民與一般民眾，農民之暴露途徑包含從事耕作期間誤食(飲)或接觸富砷地下水與土壤、吸入土壤揚塵等，而因國內自來水接管率普及，已少有民眾直接飲用地下水，故一般民眾之暴露途徑主要為食用含砷稻米。相較於國外，無飲用地下水及使用地下水作為烹飪等用途，在此不計入評估。

農地砷汞計畫已分別計算農民與一般民眾之砷暴露風險，農民經由誤食土壤、呼吸吸入及皮膚吸收所造成之砷暴露量及風險計算結果如表 2.5-2 所示，非致癌風險的部分，於各種暴露途徑中，以誤食土壤所造成之暴露量最大，佔 91%，然無顯著之非致癌風險(<1)，而以致癌風險而言，雖礙於毒理資料不足，僅能考量誤食土壤所造成風險，其致癌風險為 5.11×10^{-5} ，高於風險可接受值(10^{-6})。而一般民眾因攝食砷污染區域種植之水稻產生之無機砷暴露量與風險如表 2.5-3 所示，現行土壤砷管制標準值為 60 mg/kg，無論以致癌或非致癌風險觀之，攝食水稻之風險皆高出可接受風險值，而即使以最寬鬆方式計算，即以非致癌風險之中位數考量，水稻種植地區土壤含砷濃度應降至 30 mg/kg 以下，才能最低程度保障國人食用健康。

表 2.5-1 各國家所產稻米之含砷物種及濃度

| 國家 | 米品種 | 砷物種 | | | | 總砷 (mg/kg) |
|------------|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | As(III) | As(V) | DMA | MMA | |
| Bangladesh | White | 0.083 (0.010-0.210) | - | 0.019 (0-0.050) | - | 0.131 (0.030-0.300) |
| | Brown | 0.280 | - | 0.170 | 0.010 | 0.610 |
| India | White | 0.027 (0.020-0.040) | - | 0.066 | 0.0007 | 0.046 (0.030-0.050) |
| | Brown | 0.040 | - | <LOD | <LOD | 0.070 |
| China | Red | 0.050 | - | 0.010 | <LOD | 0.080 |
| | White | 0.114 (0.051-0.302) | 0.040 | 0.040 (0.009-0.147) | 0.013 (0.007-0.013) | 0.230 (0.019-0.586) |
| Taiwan | Brown | 0.210 | - | 0.090 | 0.010 | 0.360 |
| | White | 0.247 (0.110-0.510) | - | 0.037 (0.030-0.050) | 0.032 (0.015-0.060) | 0.383 (0.190-0.760) |
| Thailand | Light yellow | 0.080 | - | 0.060 | <LOD | 0.110 |
| Japan | White | 0.071 | 0.013 | 0.011 | 0 | 0.095 |
| Spain | - | 0.080 | - | 0.050 | <LOD | 0.170 |
| USA | White | 0.076 (0.020-0.100) | 0.042 (0.032-0.051) | 0.077 (0.050-0.260) | <LOD | 0.277 (0.170-0.400) |
| | White | 0.092 (0.079-0.101) | - | 0.137 (0.136-0.141) | - | 0.329 (0.308-0.350) |
| | White | 0.110 | - | 0.155 (0.040-0.302) | <LOD | 0.280 |
| | Brown | 0.105 (0.060-0.140) | - | 0.090 (0.010-0.150) | <LOD | 0.225 (0.110-0.340) |
| Brazil | Brown | 0.170 | - | - | 0.010 | 0.440 |
| | White | 0.078 (0.040-0.156) | 0.034 (0.016-0.062) | 0.093 (0.039-0.258) | 0.008 (0-0.029) | 0.223 (0.109-0.376) |
| | Boiling white | 0.087 (0.045-0.127) | 0.043 (0.024-0.060) | 0.065 (0.017-0.139) | 0.010 (0-0.051) | 0.215 (0.108-0.367) |
| | Brown | 0.146 (0.139-0.151) | 0.042 (0.037-0.051) | 0.127 (0.070-0.206) | 0.011 (0-0.018) | 0.348 (0.271-0.428) |
| Canada | Wild | 0.045 (0.010-0.080) | - | 0.010 | <LOD | 0.065 (0.020-0.110) |

資料來源：Arsenic accumulation in rice: Consequences of rice genotypes and management practices to reduce human health risk (Islam et al., 2016)

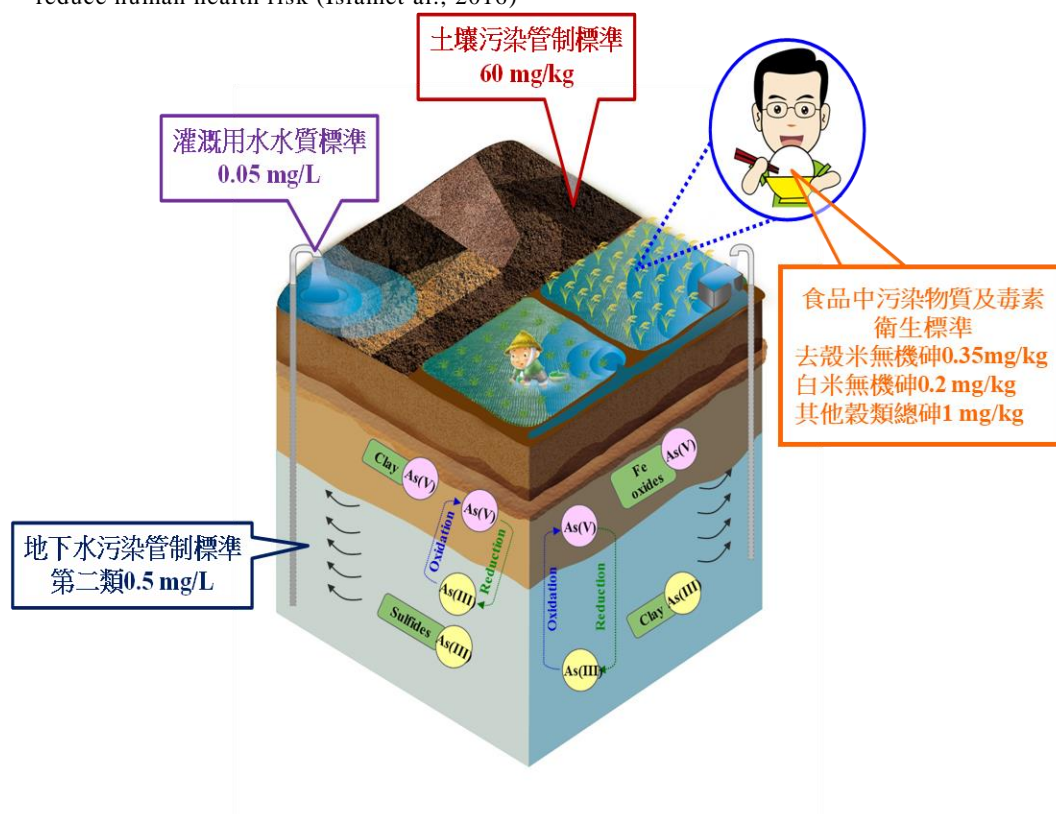


圖 2.5-1 我國砷可能暴露途徑

表 2.5-2 農民砷暴露風險計算

| 分類 | 項目 | 土壤砷濃度以平均值估算 | 土壤砷濃度以合理的最大暴露估算 | 各途徑所造成之風險比例 |
|-----|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| 非致癌 | 誤食土壤暴露劑量(mg/kg/day) | 6.85×10^{-5} | 8.24×10^{-5} | 91% |
| | 吸入吸收暴露劑量(mg/kg/day) | 6.36×10^{-7} | 7.65×10^{-7} | 1% |
| | 皮膚吸收暴露劑量(mg/kg/day) | 5.85×10^{-6} | 7.04×10^{-6} | 8% |
| | 總暴露劑量 (mg/kg/day) | 7.49×10^{-5} | 9.02×10^{-5} | |
| | 非致癌風險(危害商數) | 0.26 | 0.31 | |
| 致癌 | 誤食土壤暴露劑量(mg/kg/day) | 2.93×10^{-5} | 3.53×10^{-5} | |
| | 致癌風險 | 4.25×10^{-5} | 5.11×10^{-5} | |

資料來源：農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫(環保署，2015)

表 2.5-3 民眾因攝食不同砷濃度土壤種植之水稻造成之風險

| 土壤砷(mg/kg) | 暴露劑量(mg/kg/day) | | 非致癌風險 | | 致癌風險 | |
|------------|-----------------|----------|--------|----------|----------|----------|
| | median | 95%-tile | median | 95%-tile | median | 95%-tile |
| 60 | 0.000559 | 0.001899 | 1.93 | 6.55 | 0.000809 | 0.002749 |
| 30 | 0.000281 | 0.000964 | 0.97 | 3.32 | 0.000407 | 0.001396 |
| 15 | 0.000139 | 0.000471 | 0.48 | 1.62 | 0.000202 | 0.000681 |
| 10 | 0.000091 | 0.000313 | 0.31 | 1.08 | 0.000131 | 0.000453 |
| 5 | 0.000045 | 0.000155 | 0.16 | 0.53 | 0.000066 | 0.000224 |
| 2.5 | 0.000023 | 0.000079 | 0.08 | 0.27 | 0.000033 | 0.000115 |

資料來源：農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫(環保署，2015)

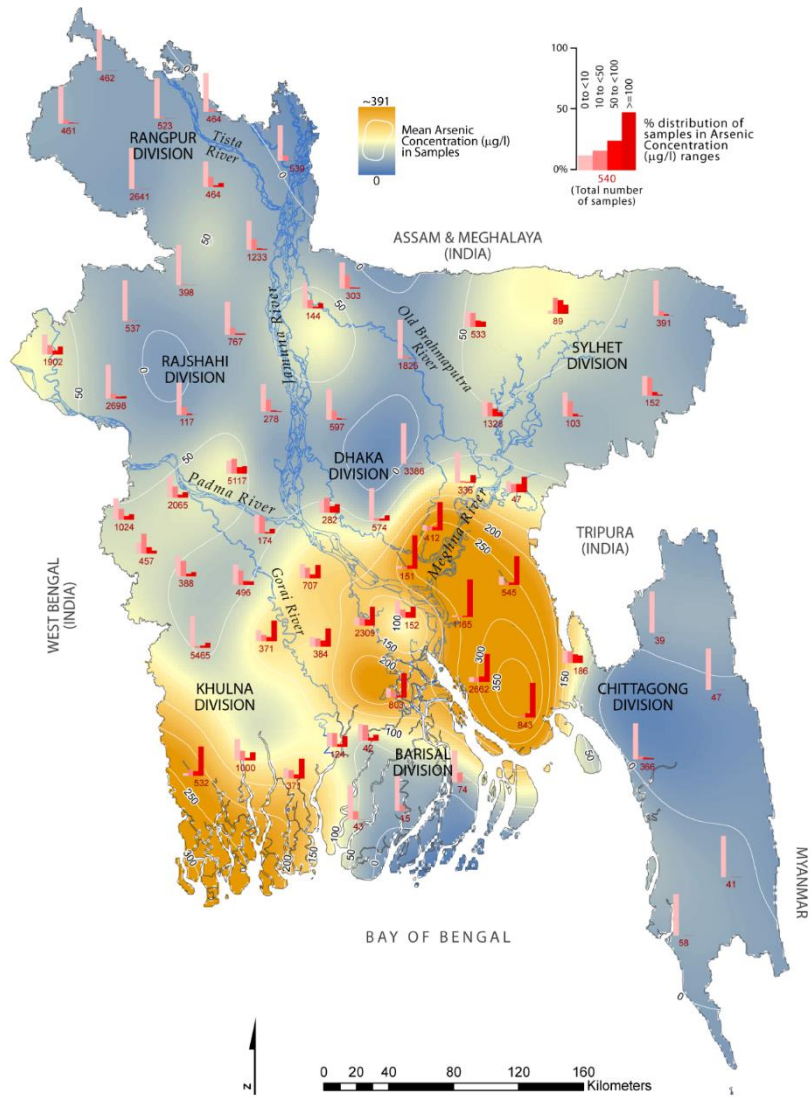
從歷史土壤砷濃度調查結果來看，約有 99.6% 以上的農地土壤皆低於管制標準，然如依風險評估結果調整土壤管制標準至 30 mg/kg 則可能使檢測結果中多出約 900 點次土壤將會被公告。如將關切農地位在地下水富砷四大平原區，勢必提高農地土壤污染發生的機率。不論堰國外水中砷濃度造成土壤砷污染進而影響稻米砷吸收的文獻，或國內進行食米砷健康風險評估的角度，自然背景富砷地下水影響已不僅是環境污染議題，而已是一項因環境介質轉移進而影響到人體健康課題。

有鑑於砷污染濃度與作物砷污染累積情況，衛福部自民國 108 年 1 月 1 日起實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」限定食米中砷濃度含量，規定食米中砷限量，與國際間多數標準相似。如此一來，各單位在對富砷地下水影響區域內，如何研擬合適的管理的手段及建立跨單位合作的關係，成了未來富砷地下水影響農地管

理上的關鍵議題。因此，本計畫彙整孟加拉及印度等，亦受富砷地下水影響的國家，在辦理富砷地下水影響農地的掌握、風險管理與溝通的方式，彙整如 2.5.1 節，並且從國際管理的策略及我國目前已完成工作中，進一步剖析我國尚可精進的管理對策，如 2.5.2 節。

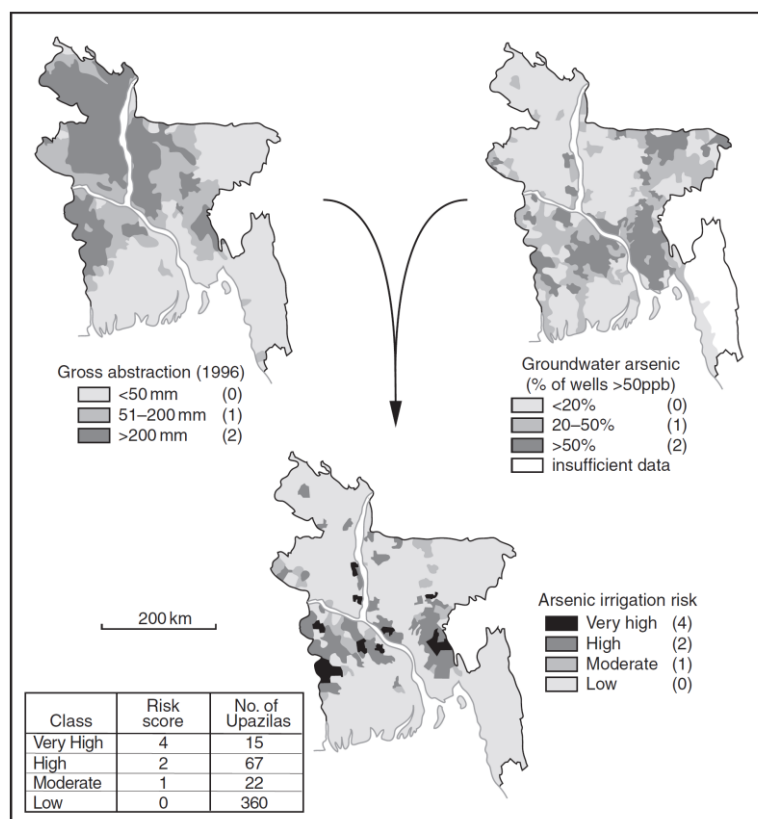
2.5.1 國外富砷地下水影響管理策略

孟加拉與印度(西孟加拉邦)因強還原環境，地下水中砷濃度偏高，孟加拉多數區域地下水砷濃度超出 0.01 mg/L，地下水砷濃度偏高主要集中於南部地區，如圖 2.5-2 所示(Jiang et al., 2013)。孟加拉與印度於公共飲用水上，大部分都仰賴地下水，且私人水井的數量已經超過公用水井的數量，已衍生飲用水安全問題，此外，因約 85~90%地下水係作為灌溉用水，尤其是水田，也引發土壤與稻米砷污染問題(Ravenscroft, 2003)。幸運的是，多數水田引灌之地下水砷含量相對較低的區域，Ross 學者等人推估約有 7%的水田引灌之地下水砷含量達 0.1 mg/L 以上(Ross et al., 2006)。土壤砷含量與地下水砷含量與灌溉用水量有關，孟加拉即利用地下水抽出量與砷濃度超過 0.05 mg/L 之水井比例繪製引灌富砷地下水之風險地圖，如圖 2.5-3 所示，約有 15 個行政區列為高風險區(Ravenscroft et al., 2009)。



資料來源：Jiang et al., 2013

圖 2.5-2 孟加拉地下水砷濃度分布



資料來源：Ravenscroft et al., 2009

圖 2.5-3 孟加拉引灌富砷地下水之風險地圖

於無法避免農業行為以維持糧食自給率，及農業灌溉水源需高度仰賴地下水的條件下，如何移除水中砷或進行使用富砷地下水成為印度與孟加拉國內作物生產的重要議題。Nari 和 Aditi 學者在 2014 年發表的國際期刊中，即討論使用富砷地下水引灌農田對農地所帶來的問題，及如何進行風險控管。該篇文獻中彙整共計 29 篇地下水、土壤與作物間砷累積關聯性的研究報告，以瞭解砷在環境介質間的轉換情形，說明如下。

- 一、土壤砷濃度：可能因長期引灌富砷地下水所致，但受土壤質地、鐵磷含量、水源距離等因素影響。
- 二、作物砷濃度：可能與引灌地下水之農地土壤砷含量相關，但也有研究指出因土壤性質(如氧化還原電位、酸鹼值、有機質、鐵、錳、磷含量及微生物族群等)、田間水分管理、作物種類

等均會影響作物砷吸收量，故作物砷濃度與土壤砷濃度未有明顯相關性。而食用砷殘留作物的風險遠低於直接飲用地下水，且多數砷係累積於非食用之稻米根部，使得食用稻米之健康風險大幅下降。

三、作物產量：引灌富砷地下水確實會減少作物產量，但作物因砷含量而減產之量化值尚未有一致結論。

此外，為瞭解引灌富砷地下水對人體健康與作物生長影響減緩策略與效益評估，該研究報告亦彙整 28 篇文獻，建議可採行之風險控管策略如下。

一、水資源使用管理

利用源頭管理減少土壤及作物的砷含量，如利用調配灌溉 (Deflect irrigation)、間歇灌溉、集約式農業模式 (System of rice intensification, SRI) 等方式減少水使用量。透過水資源使用管理型態，減少因引灌富砷地下水導致之土壤及作物砷濃度上升量，以降低食用作物砷殘留量對人體健康風險的影響。

二、農藝資材使用管理

肥料的添加(如有機肥、有機物)證實可減少作物砷吸收、減少穀物砷含量並提高產量，然仍未證實可降低土壤砷含量。該項管理策略為透過減少穀類作物吸收土壤中之砷，並同時穩定產量為手段，減少食用作物對人體健康風險所帶來的影響。

三、栽種砷忍受量較高稻米品種

不同品種作物在栽種方式與水源使用行為上，皆有不同的表現，研究指出不同品種之水稻可降低作物殘留，但也可能同時降低產量，且土壤砷含量並未減少。不過，該研究中僅有 Duxbury and Panaullah 學者支持此論述(2007)，且對農民來說不同品種作物的市場價格為栽種選擇的主要考量，因此，該類管理策略之可行性仍有進一步討論的空間。

四、種植其他作物

由於水稻為高度耗水作物，富砷地下水的引灌將同時造成土壤及作物吸收砷。因此，建議可改種旱作以減少水使用量，降低土壤與作物砷含量。然而，亞洲地區係以稻米為主食，其可取代性仍有待商榷。

五、改變烹調行為及補充營養

此項策略為相對後端之管理方式，係建議透過烹調方式，如以大量水清洗生米、過量水烹煮、倒掉烹煮後過量的水等。此外，Gamble 學者等人指出可透過葉酸(Folic acid)的補充提高人體抵抗力，減緩砷污染對健康的影響(2006)。

於富砷地下水區域，砷具危害的認知與教育也更顯重要，孟加拉曾執行數宣導與教育計畫，相關統計結果概述如下。

一、於 1998~1999 年，由荷蘭外交部(Netherlands Ministry of Foreign Affairs)補助經費，孟加拉政府執行之 18 District Towns Project，總計檢測 1,384 口以上之抽水井，若砷濃度高於 0.1 mg/L，便將井漆成紅色，若檢出微量砷濃度，則標記紅色問號，若無砷濃度檢出，則漆成綠色。接著，便向水井管理者、教師、孩童、社區管理者等宣導勿使用紅色水井或標記紅色問號水井之地下水進行飲用或烹飪，但可進行洗滌。此外，也建議紅色水井之使用者，應尋求其他安全水源。經由問卷調查與訪談，該計畫歸納主要成果如下(Ravenscroft et al., 2009)：

(一) 80%受訪者瞭解水井漆成不同顏色之含義，紅色問號之標記反而造成許多困惑。

(二) 藉由水井顏色之區別，43%之受訪者改變其用水水源。

(三) 水井共享仍具爭議，尤其當安全水源量不足時，現有使用者與新增使用者間矛盾更為惡化。

(四)許多民眾仍不瞭解砷為何種物質，且較不願意飲用地表水，

對於水處理也較無意願。

- (五) 相對於男性，女性對於砷的認知較為不足。
- (六) 受限於水源改變之成本費用，與較低社會地位，貧窮者仍會繼續使用遭污染之水井。
- (七) 孩童經由學校教育可有效改變其用水習慣。

二、於 1999 年，孟加拉之非政府組織-農村發展委員會(Bangladesh Rural Advancement Committee, BRAC)曾於兩個行政區執行砷減緩計畫(Arsenic mitigation project)，包含培訓水質檢測專員、幫助社區選擇安全飲用水方案、技術演練、鑑別病徵等，計畫中總計涉及 600 位民眾，並有一行政區作為對照組，主要成果如下(Ravenscroft et al., 2009)：

- (一)相對於對照組，民眾有較佳的安全飲用水方案選擇之認知，42%之民眾可說出兩種安全水源(對照組僅 10%)。
- (二)相對於對照組，44%之民眾可說出兩種以上砷暴露之病徵，且 43%之民眾瞭解砷中毒是不具傳染性的(對照組僅 8%及 14%)。
- (三) 各年齡層之民眾均具砷相關認知，對照組僅 30~39 歲年齡層較瞭解。男女間之認知程度無差異，然此認知與教育程度及土地擁有權有關。
- (四) 透過廣播與電視宣導可增加民眾對於安全用水與砷中毒之認知。

由前述可知，雖然民眾關於砷之認知不到 50%，然已取得相當不錯的進展，Ahmed 學者(2005)等人也於砷影響區域訪談數百個已採用砷減緩措施之家庭，幾乎所有受訪者(98%)都知道砷，也瞭解紅色水井之地下水不能飲用與用於烹飪，70%已得知兩年以上；37%之受訪者係由口耳相傳得知，26%係由廣播與電視得知，21%係透過非政府組織活動，僅 9%係經水質檢

測而得知。雖然民眾知道地下水具危害，對於砷的毒性與病徵之瞭解仍較不足。

- 三、孟加拉 Araihasar 行政區於 2001 年經調查顯示，約有 53% 之水井地下水砷濃度超過 0.05 mg/L(van Geen et al., 2003)。於 2004 之調查顯示，該行政區之 6,500 戶中約有 89% 民眾知道其水井是否具污染，3,410 口水質不安全之水井，有 64% 之民眾已改變其飲用水源，其中，55% 民眾改用其他私人水井，21% 民眾鑿設新的水井，16% 民眾更改使用社區水井(Opar et al., 2007)。不出意外，安全水井之距離遠近為民眾考量改變用水水源之重要因素，若距離在 50 公尺內，68% 民眾更改其用水水源，且以社區水井為優先，若超過 150 公尺，更改用水水源之比例降至 44%。此外，新設水井數量以每年 5% 之速率增加，但仍有 47% 之水井地下水砷濃度超過 0.05 mg/L，相較於 2001 年調查之 53% 差距不大，顯示向鑽井人員宣導建議設井深度之急迫性。
- 四、於 2003 年，水與衛生專案(Water and Sanitation Program)於砷影響與未受砷影響區域執行調查，砷影響區域多數民眾(87%) 瞭解砷是對健康有威脅之物質，未受砷影響區域僅 53% 民眾瞭解，然僅 35% 民眾瞭解砷會導致嚴重的壞疽、癌症甚至死亡。於砷影響區域，59% 水質不安全水井之民眾已更改其用水水源，其餘 41% 民眾即使知道水源受污染仍繼續使用，且有 1% 民眾無關心水源砷問題。此外，該專案提出 6 個砷減緩技術，包含兩種家庭式處理技術、社區式處理技術、鑿井、砂濾器、深井等，70% 民眾認為社區式處理技術勝於家庭式，而 76% 民眾覺得深井勝於其他 5 種技術。此外，25% 住戶表示無法負擔處理技術之費用，因此，該專案建議應建立水管線系統(Piped water system)，並指出民眾願意支付此費用之意願較高(Ravenscroft et al., 2009)。

國際組織 FAO（聯合國糧食和農業組織）與 WHO（世界衛生組織）之食品法典委員會（CODEX，於 103 年 3 月至 4 月間在荷蘭有召開砷管理策略之會議，會議中提出為防止與減少砷之污染和含砷食用作物，訂定了一草案『DEVELOPMENT OF A CODE OF PRACTICE FOR THE PREVENTION AND REDUCTION OF ARSENIC CONTAMINATION IN RICE』，共提出了三種策略與監控措施，詳細說明如下：

一、源頭控制措施：

首先須減少進入農業環境中的砷量與途徑，其途徑包含灌溉水，雨水，空氣、農藥與肥料以及其他工業產生之材料或廢棄物等，根據各國的環境條件，大部分是在生產、銷售、使用和最終處理上進行風險管理措施。

(一) 灌溉水源的管制措施：

輔導農民與宣導應避免使用含砷之水源作為灌溉用水，灌溉用水協助定期檢測。公部門尋找低砷水源供農業活動使用，考量其他替代水源，建立水處理系統，如沉澱、混凝、過濾、消毒等，並發展雨水收集、儲存系統，以作為替代水源。若仍需使用地下水，則避開抽取高砷深度之地下水，先滿足民生及農業用水量，後續才面對富砷地下水問題進行處理。

相關除砷技術包括氧化、混凝沉澱、吸附、離子交換和薄膜分離技術。目前國際上對於地下水除砷技術已臻成熟，在應用上也不成問題，但地下水含砷之問題卻沒有得到解決，主因是實施面上的態度與效率太差或是其技術尚未產業化，導致成效不彰，因此需在政策上加以推動、推廣，對於水資源的管理策略因考量成本效益並維護環境之永續，應有嚴格的監管措施與法律規章，由政府、非政府組織、社區、私人機構等互相監督管理，建立健全之配水系統與監控系統，在地下水砷污染嚴重之區域發展

地表水或雨水等可持續供水之系統、取得低砷深度之地下水源，發展當地社區之管理團體、組織，推廣相關教育宣導，實現國家水資源之有效管理，確保安全水源之供應並限制水資源的濫採。

(二) 農業活動：

針對畜牧業生產、農藥、動物用藥、飼料、土壤改良劑和肥料使用的材料應加以規範，並輔導與宣導避免於高砷土壤上種植食用作物。

(三) 工業活動：

尋找含砷製品的替代方案。控制並減少來自於工業活動之砷排放量，如化工、採礦、金屬冶煉，造紙、能源發電、木材加工和交通工具等所產生之砷排放量，另對於廢棄物、污泥等，亦應妥善回收處理，預防和減少可能的污染產生。

(四) 污染整治：

若已遭受砷污染之農地即進行風險評估了解污染之程度與情況，進而評估污染整治的程度與方法。

二、農業活動的管制措施：

(一) 制訂良好之農業作業規範：

廣泛且有效地進行教育宣導，告知農民與大眾對於砷之相關危害訊息，以及如何防範，減少暴露於砷環境中的風險措施。

(二) 農藝方式調整灌溉策略：

研究發現，水稻因長時期浸水的關係，會使得根部區域處於厭氧的還原態，若灌溉用水含有三價砷、五價砷，在厭氧情況下，栽種之水稻易受砷污染進而出現食安問題。土壤中砷的型態分布，因處於灌溉厭氧境況，鐵礦物因還原溶解使得砷與鐵的結合力降低，使得砷的移動性增加，使水稻吸收到砷物種的機率提高。可嘗試透過水分管理策略，選擇在適當的時候適時的排水、讓稻米所在土壤能有部分時候存在好氧境況以吸附並降低土壤溶液中的砷濃度，且將具有移動性砷的灌溉水排出，也可同時降低水稻吸收到砷的機率。然而，土壤中砷物種的型態分布與所在母質土壤影響，而有所差異，因此土壤水分管理的模式就要因所屬土壤特性而有所改變(黃泰祥，2013)。

(三) 選擇與推廣不易吸砷作物的品種：

農業機關研究與選擇不易吸收砷之食用作物，並推廣於富砷地區，公共研究機構或政府加強相關之教育宣導與輔助方案，逐年替換作物品種。

(四) 使用適當之土壤改良劑、農藥或肥料等：

適當的施加土壤改良劑、農藥或肥料，如鐵、明礬、矽酸鹽，磷酸鹽和有機材料等土壤改良劑，配合現地之實驗，調整施加的次數、時間、施加量，以減少砷對食用作物之影響。

三、食品加工和烹調措施：

除建立良好生產規範外，配合食用作物收成後加工與烹煮方式，亦可減少砷之攝取量。研究中發現稻米中的砷可經由碾磨、洗滌糙米的程序，降低總砷與無機砷濃度，惟在烹煮過程中亦要避免使用富砷水源烹煮食物。

四、維持定期監測措施：

若農業用地有遭受自然環境、人為活動之砷污染時，應長期監測土壤、灌溉水和食用作物，以預防和減少受砷污染之食用作物，而食品法典委員會則定期會了解各國家對於砷污染管理措施或相關研究的執行情形。

2.5.2 國內富砷地下水影響管理策略

國際間在富砷地下水影響農地的管理，已彙整如上節，係從地下水砷污染範圍的評估，瞭解國內砷流布的現況及潛勢區域的界定等，並藉由地下水砷污染與其他環境介質的交互作用關係中，釐清該自然環境背景因素的區域內，是否存在農業行為或人體健康的影響。當可掌握較明確影響後，則進一步擬定各種農耕行為及食用作物使用的管理策略。本節茲依風險管理的三大面向，包含風險評估、風險管理及風險溝通，彙整國內外已完成或尚待完成的管理工作，如表 2.5-4。

一、 風險評估

從國際間及國內的富砷地下水影響農地的管理角度來看，首要工作即釐清國內砷污染流布現況，並釐清污染對作物、農民甚至食用栽種作物的人體健康風險，我國在風險評估工作執行完整度已相當完備。

(一) 砷污染流布

在孟加拉及印度因地下水為公共飲水，且長年存在地下水砷污染超標情形，故以地下水抽出量及砷濃度超過 0.05 mg/L 比例，繪製引灌富砷地水之風險地圖，並條列國內地下水砷污染高風險行政區。我國亦透過類似方法，從歷年環保署、水利署、農試所等地下水檢測數據，以地理空間統計地下水超過 0.025 mg/L(第一類地下水監測標準)機率高於 75% 區域為我國地下水砷潛勢範圍，並

為利行政管理作業以村里為界劃定共 81 村里為臺灣地下水砷潛勢範圍，並臚列於地下水污染管制標準附件中。

(二) 環境介質交互影響

從自然環境富砷地下水影響來看，如孟加拉及印度執行評估邏輯相同，其污染傳輸途徑為地下水至土壤再進而影響作物甚至農民及食用作物人體健康。我國在砷汞計畫中已辦理作物砷濃度累積受土壤砷含量的影響評析，並於富砷計畫中評估引灌富砷地下水，可能造成土壤砷濃度具水平距離遞減現象等。此外，為釐清地下水砷污染來源及農地土壤是否為受自然環境存在影響，分別建立地下水砷污染來源判定流程，及自然環境背景富砷地下水影響水田農地影響地圖。

表 2.5-4 國內外富砷地下水影響農地工作執行現況

| 管理 | 類別 | 項目 | 國際 | 台灣 |
|----------|-------------------|-------------------------|----|----|
| 風險評估 | 砷污染 流布調 查 | 1 地下水砷污染調查 | ● | ● |
| | | 2 農地土壤砷污染調查 | ● | ● |
| | | 3 繪製砷污染風險影響地圖 | ● | ● |
| | | 4 劃定砷污染潛勢鄉鎮 | ● | ● |
| | 環境介 質交互 影響 | 1 引灌富砷地下水對農地土壤影響 | ● | ● |
| | | 2 作物砷濃度/產量受土壤砷含量影響 | ● | ● |
| | | 3 地下水砷污染來源判定流程 | - | ● |
| | | 4 自然環境背景富砷地下水影響水田農地影響地圖 | - | ● |
| | 健康風 險評估 | 1 農民受農地土壤砷濃度健康風險 | - | ● |
| | | 2 持續監測土壤及地下水砷污染 | ● | ● |
| 風險管理 | 替代水 源 | 1 限制高潛勢區內取水行為 | ● | - |
| | | 2 改變設井深度 | ● | - |
| | 改變耕 種行為 | 1 水資源使用管理 | ● | △ |
| | | 2 農藝資材使用管理 | ● | △ |
| | | 3 改變耕種作物 | ● | △ |
| | | 4 制定農業作業規範 | ● | △ |
| | 污染移 除 | 1 瞭解風險受體關切因素 | ● | △ |
| | | 2 土壤砷污染移除 | ● | △ |
| | | 3 地下水砷污染移除 | ● | △ |
| 風險溝 通 | 危害認 知調查 與宣導 | 1 危害認知調查 | ● | △ |
| | | 2 砷污染危害與調查方式宣導 | ● | ● |
| | 改變飲 食行為 | 1 改變烹調行為及補充營養 | ● | - |

註：●表示已完成該研究探討；△表示尚待完成。

(三) 健康風險評估

環保署已建立線上版健康風險評估系統 (<https://sgw.epa.gov.tw/Risksystem/Default.aspx>)，暴露途徑主要與土壤及地下水相關，已可作為農民耕作時接觸土壤及地下水之潛在風險，且環保署已於砷汞計畫中完成風險評估。此外，環境品質調查資料為風險評估不可或缺的重要資訊，同 CORDEX 提出的草案中亦建議農業用地有遭受砷污染影響之虞者，應定期辦理環境介質監測故針對地下水與農地土壤富砷地區，應持續辦理土壤、地下水及作物之砷濃度調查。

二、風險管理

在掌握國內砷污染流布及潛勢區並完成風險評估後，應可釐清主要造成風險不可接受成因，接著擬定各種不同的污染預防管理行動，個別說明如下。

(一) 尋找替代水源

孟加拉 Arai hazar 曾建議民眾應考量改變用水水源，以距離高潛勢區 50 公尺內不建議取用地下水為建議，建議民眾應使用社區水井為優先。然隨取水距離越遠，民眾使用意願遞減迅速，故另建議應向鑽井人員宣導並告知不同設井深度。目前，我國在水井水權設置管理受水利法保障，不論在設置位置、抽水量、設置深度等，皆需由跨單位協商來建議不同區域之地下水井設置。

(二) 改變耕種行為

Nari and Aditi 等學者建議，如可自源頭進行水資源調配灌溉、集約式農業等方式，減少用水量即可減緩砷流入農地土壤影響。此外，CORDEX 提出的草案中，亦針對避免因引灌而使農田處於厭氧狀態而提高砷的移動性，建議應透過水分管理適時的排水，同時建議應制定良好

的農業作業規範，使大眾了解砷危害訊息及如何防範等。目前，國內在稻米耕作管理上，雖地方農業改良場(以下簡稱農改場)發布水稻栽培管理技術手冊，然並未針對富砷農地土壤砷污染預防管理為主軸，僅有一般性水稻栽種描述。

針對農業行為所用的肥料、農藥、土壤改良劑等，CORDEX 提出的草案中建議，可透過現地試驗確認施加的次數時間等，並提供予農民參考，來減少砷對食用作物的影響。目前，台灣於肥料及農藥管理上，雖已由農試所發布植物保護手冊，建議不同作物的農藥及肥料使用添加，然其非為針對砷污染預防角度出發，皆為通用性的失用量建議。

除上述的管理行為及農業資材添加外，較為被動的作法即請農民改變耕種作物，以減少作物吸收砷的能力。然而，該方法目前在國內推動可行性較低。

(三) 污染移除

當遭受砷污染之農地，依 CORDEX 提出的草案建議，應進一步了解污染程度並評估其整治的程度及方法。因此，目前國內在自然環境富砷地下水影響農地，亦須依土污法第十二條第九項規定，邀集各相關目的事業主管機關，辦理跨單位協商，並於必要時進行水中砷污染移除工作，避免污染源持續流入農地土壤，另一方面則需探討受影響農地土壤砷移除的方式。

三、 風險溝通

(一) 砷污染危害認知調查與宣導

孟加拉政府曾完成 1300 餘口水井調查，並以水井外殼上漆形式警示，並調查鄰近居民對此認知，然因當地民情受限於水源改變之成本影響，效果未如預期。

我國在強化風險溝通工作上，曾辦理多次的調查說明會，邀集農委會、農田水利會、縣市政府農業、水利、環保單位及農民等利害關係人，於土壤及地下水砷調查工作開始前召開「現勘與採樣規劃說明會」，於調查工作完成後可辦理「農地土壤品質調查說明會」，透過調查工作規劃與調查結果的闡述，使利害關係人參與調查過程，蒐集其意見，並建立跨單位間良好的溝通管道，及加強農民對砷風險的瞭解。而各主管機關間可藉由協商會等會議，共享砷相關調查與統計成果、砷移除技術開發進展，及管理政策推動等，以積極處理與解決國內農地富砷等衍生問題。

(二) 改變飲食行為

建議透過烹調方式，如大量水清洗、過量水烹煮等，或使用營養品補充來減緩砷對人體造成的影響。

綜合目前國內外砷污染風險管理架構，我國對於農地土壤砷濃度偏高範圍已有相當完整的掌握程度，從瞭解國內農地土壤及地下水砷污染調查，到建制土壤及地下水砷影響的風險地圖等。此外，為加強對全台地下水富砷區域的掌握，除臚列富砷地下水鄉鎮於地下水管制標準中，亦將地下水及土壤砷污染判釋流程納入法規中，以提供砷是否受自然環境存在而流布於農用土地。在農地之風險管理工作上，目前國內各單位皆已有相關管理作為，如農藝資材的限制使用或轉作輔導等，已由農委會推行多年，又如環保署歷年亦針對土壤重金屬超標的農地，已執行多年調查與整治工作。然而，衛生福利部自民國 108 年 1 月 1 日起實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」限定食米中砷濃度含量後，卻發生地下水砷濃度潛勢區外食米砷濃度超標等案例，此時，如何釐清超標成因與建立各相關單位因應措施，成了不可避免的重要工作。因此本計畫延續前期調查成果，建立食米超標應變流程，使後續機關有所參照，並研擬地下水砷潛勢區內預警機制，詳細工作內容如后。

第三章 縣市環保機關砷米超標通報事件 之因應策略研擬

自民國 90 年開始，環保署積極投入國內農地土壤及地下水砷調查，並已累積大量研究調查成果，研究調查結果均指出，臺灣地下水砷問題多為自然背景成因所致，主要源自於地層沉積物受到還原環境影響而釋出，導致地下水中砷背景濃度偏高。依歷年調查結果顯示，地下水砷濃度潛勢範圍內主要分佈於濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原及蘭陽平原，主要成因為地下含水層富砷，環保署已完成地下水砷污染潛勢地圖與引灌自然環境富砷地下水之水田土壤影響地圖，供地方主管機關與承辦人員瞭解並掌握國內土壤及地下水砷濃度環境分布現況。

衛生福利部也於民國 108 年 1 月 1 日正式實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」，訂定穀類無機砷限量標準，定期監測食米砷含量，確保食品安全與人民健康，爰此，為提供各縣市環保機關在發生農地食米砷超過限量標準時有所參照，本議題依據歷史資料篩選 3 處樣區，進行環境介質調查與流布探討，歸納其環境土壤與地下水砷濃度並驗證相關因應與應變程序，目標提供地方環保機關業務執行之參照，樣區篩選原則如章 3.1 節；樣區調查結果如 3.2 節；縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬如 3.3 節，工作流程如圖 3.1-1。

3.1 調查樣區篩選

3.1.1 歷年稻米砷濃度統計

彙整行政院農業委員會農糧署農業藥物毒物試驗所食用作物檢測資料，自民國 95 年起至 107 年止，累積共 2707 筆稻米總砷

檢測結果，對比資料顯示檢測縣市主要集中於彰化縣與臺中市如表 3.1-1，兩縣市佔歷年總檢測數量 48.3%，濃度 0.05mg/kg 至 0.25mg/kg 為眾數，達總分析數量的 77.95%。同時根據衛福部訂定「食品中污染物質及毒素衛生標準」所述，如總砷之檢驗結果低於無機砷之限值，則可無需再確認無機砷之濃度。

因此盤點稻米總砷濃度高於去殼米無機砷限量值 0.35mg/kg 之總計數量。續將歷年稻米總砷濃度高於 0.35 mg/kg 以上者，對比地下水砷濃度潛勢範圍，顯示位於地下水砷濃度潛勢範圍外者主要位於臺中市、彰化縣、新竹市、苗栗縣等縣市。並套疊稻米砷濃度較高點位至地下水砷濃度潛勢範圍，顯示本計畫掌握之稻米總砷濃度較高數據，多數非位於現有富砷地下水與土壤砷潛勢範圍內。初步歸納非屬高砷潛勢範圍之稻米砷濃度較高成因可能包含：劃定地下水砷濃度潛勢範圍之監測井調查數據密度可能不足，富砷水田土壤影響地圖之土壤調查資料年代久遠，農地現況已經改變，或稻米吸收砷機制非僅考量土壤與地下水濃度，需納入多項環境因素評估，本議題樣區篩選原則詳如 3.1.2 節所述。

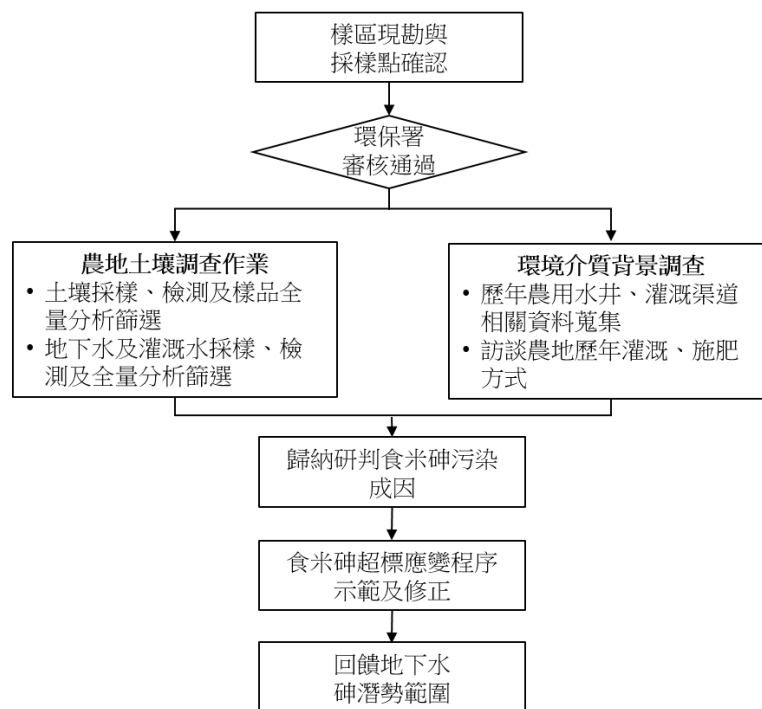


圖 3.1-1 縣市環保機關砷米通報事件因應策略研擬工作流程圖

表 3.1-1 歷年稻米總砷檢測數據縣市與年份分佈統計表

| 縣市\年份 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 總計 | 百分比 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|
| 宜蘭縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 5 | 3 | 4 | 24 | 0.89% |
| 花蓮縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 4 | 4 | | 4 | 17 | 0.63% |
| 南投縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 23 | 0.85% |
| 屏東縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 9 | 17 | 0.63% |
| 苗栗縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 14 | 18 | 21 | 12 | 16 | 86 | 3.18% |
| 桃園市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 14 | 33 | 52 | 76 | 55 | 49 | 281 | 10.38% |
| 高雄市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 15 | 21 | 13 | 22 | 22 | 98 | 3.62% |
| 雲林縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 3 | 0 | 0 | 14 | 15 | 15 | 19 | 14 | 93 | 3.43% |
| 新北市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0.11% |
| 新竹市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 31 | 34 | 30 | 23 | 167 | 6.17% |
| 新竹縣 | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 | 6 | 5 | 0 | 21 | 18 | 20 | 18 | 26 | 126 | 4.65% |
| 嘉義市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 7 | 4 | 4 | 5 | 28 | 1.03% |
| 嘉義縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 3 | 11 | 11 | 9 | 12 | 20 | 20 | 102 | 3.77% |
| 彰化縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 110 | 107 | 72 | 74 | 96 | 105 | 579 | 21.38% |
| 臺中市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 41 | 56 | 124 | 123 | 118 | 139 | 127 | 732 | 27.03% |
| 臺北市 | 2 | 2 | 18 | 20 | 12 | 20 | 17 | 16 | 15 | 9 | 17 | 10 | 11 | 169 | 6.24% |
| 臺東縣 | 0 | 0 | 0 | | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 6 | 2 | 6 | 24 | 0.89% |
| 臺南市 | 0 | 0 | 0 | 44 | 22 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 3 | 3 | 84 | 3.10% |
| 北中南分署 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 29 | 01 | 17 | 6 | 0 | 0 | 54 | 1.99% |
| 總計 | 2 | 2 | 24 | 64 | 98 | 30 | 73 | 239 | 442 | 416 | 432 | 437 | 448 | 2707 | - |
| 百分比 | 0.07% | 0.07% | 0.89% | 2.36% | 3.62% | 1.11% | 2.70% | 8.83% | 16.33% | 15.37% | 15.96% | 16.14% | 16.55% | - | 100% |
| 累積百分比 | 0.07% | 0.15% | 1.03% | 3.40% | 7.02% | 8.13% | 10.82% | 19.65% | 35.98% | 51.35% | 67.31% | 83.45% | 100% | - | - |

3.1.2 砷潛勢區外樣區篩選原則

前節已初篩自民國 96 年至 107 年地下水砷潛勢範圍外稻米總砷濃度高於 0.35mg/kg 之數量，彙整各縣市檢測年份與濃度分佈樣區篩選優先選擇濃度偏高次數最多之縣市，依序排序分別為臺中市、彰化縣、苗栗縣與新竹市皆為，前述四縣市佔歷年稻米高於 0.35mg/kg 次數超過 7 成。為篩選具代表性之樣區，透過不同可能超標之原因回推樣區篩選，以超標次數先後分別為臺中市(人為成因)、彰化縣(自然成因)各篩選一處樣區，在苗栗縣與新竹市筆數相同下，對比超標農地資料，新竹市超標均位在香山區，該區在新竹香山計畫已進行相關調查推測污染成因，部分坵塊已完成整治，因此選擇苗栗縣(成因尚待釐清)做為第 3 處樣區，各縣市篩選原則如后。

一、臺中市

臺中市長期以來廣設工業園區，截至目前已建設 19 處園區總計 2500 家工廠，國內縣市排行第四，總涵蓋面積約 2300 公頃，大量工業園區使臺中市污染農地控制場址佔國內歷年總數量 10.5%、僅次於彰化與桃園。

歷年臺中市地下水砷潛勢範圍外稻米檢測數據總砷濃度高於 0.35mg/kg，依曾檢出稻米砷濃度排序由高至低分別為大肚區、清水區、烏日區、大里區與后里區等，其中，曾檢出總砷濃度最高為臺中市大肚區追分段○○○○地號，推測該區稻米砷濃度偏高可能為下列原因所致；引灌富砷地下水、人為污染與農地水田引灌方式等，然而該超標農地鄰近 4 公里內並無地下水砷濃度潛勢範圍，且對比稻米檢測數據可發現該農地稻米同時檢出含有重金屬鉻，由航照圖可發現 1 公里內涵蓋機械、化工廠，初步判斷其稻米濃度偏高可能成因為人為污染，進而選擇該筆農地做為本議題擬定人為污染成因目標樣區。

二、彰化縣

環保署於民國 102 年依據區域性監測井與水利署觀測井地下水水質定期監測等調查結果，歸納國內四大富砷區域，主要集中在濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原四區，而彰化縣位在濁水溪沖積扇北端，縣內地下水砷潛勢範圍分佈甚廣，依曾檢出稻米砷濃度排序由高至低分別為鹿港鎮、線西鄉、彰化市、和美鎮與秀水鄉等，以彰化縣鹿港鎮草港段○○○○地號濃度最高，該農地地號於曾檢出稻米總砷濃度含量高於 0.35mg/kg，相鄰之坵塊同時檢出稻米總砷濃度大於 0.35 mg/kg，並對比地下水砷潛勢範圍，該筆農地與距離地下水砷濃度勢範圍頂犁村僅約 350 公尺，初步歸納稻米總砷濃度偏高成因為長期引灌富砷地下水，因此選擇該筆農地做為本議題擬定自然成因樣區。

三、苗栗縣

於歷年稻米檢測數據當中，苗栗縣地下水砷潛勢範圍外稻米總砷濃度高於 0.35mg/kg 其鄉鎮濃度分佈統計，以竹南鎮單次檢測稻米砷濃度最高其次為苗栗市、西湖鄉、後龍鎮、公館鄉、苑裡鎮與頭份市，然而苗栗縣工業發展並無如彰化縣、臺中市、新竹市發達且鄰近縣市均無在地下水砷潛勢範圍內，在樣區初步擬定上，其稻米濃度偏高成因尚待釐清。

同時行政院農業委員會農業試驗所於今年初開始執行農田土壤水分管理對稻穀無機砷累積之影響研究，研究目標利用田間試驗探討在不同土壤母質區域下，不同水分管理方法對稻米無機砷累積之機制，並提出「砷污染潛在風險區域栽種水稻之操作指引」。該研究計畫預計於 4 塊不同土壤母質之農地進行田間試驗，擬定與本計畫地下水砷潛勢範圍外稻米超標成因釐清與地下水砷潛勢範圍外土壤砷濃度偏高判定兩議題中，共同進行樣區合作，本計畫擇定為西湖鄉二湖段○○○○地號。

綜合上述，縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬樣區篩選原則為利用歷年稻米檢測數據，對比地下水砷潛勢範圍外濃度大於 0.35mg/kg 資料，再依縣市筆數排名，並利用不同可能超標成因回推篩選縣市，分別為臺中市、彰化縣與苗栗縣，其中臺中市與彰化市以檢出稻米總砷濃度最高地號為優先，苗栗縣樣區篩選與農試所研究計畫共同規劃，樣區篩選流程如下圖 3.1-2。爰此，本議題 3 處樣區分別為臺中市大肚區追分段○○○地號、彰化縣鹿港鎮草港段○○○地號與苗栗縣西湖鄉二湖段○○○地號，樣區採樣佈點規劃如下所述。

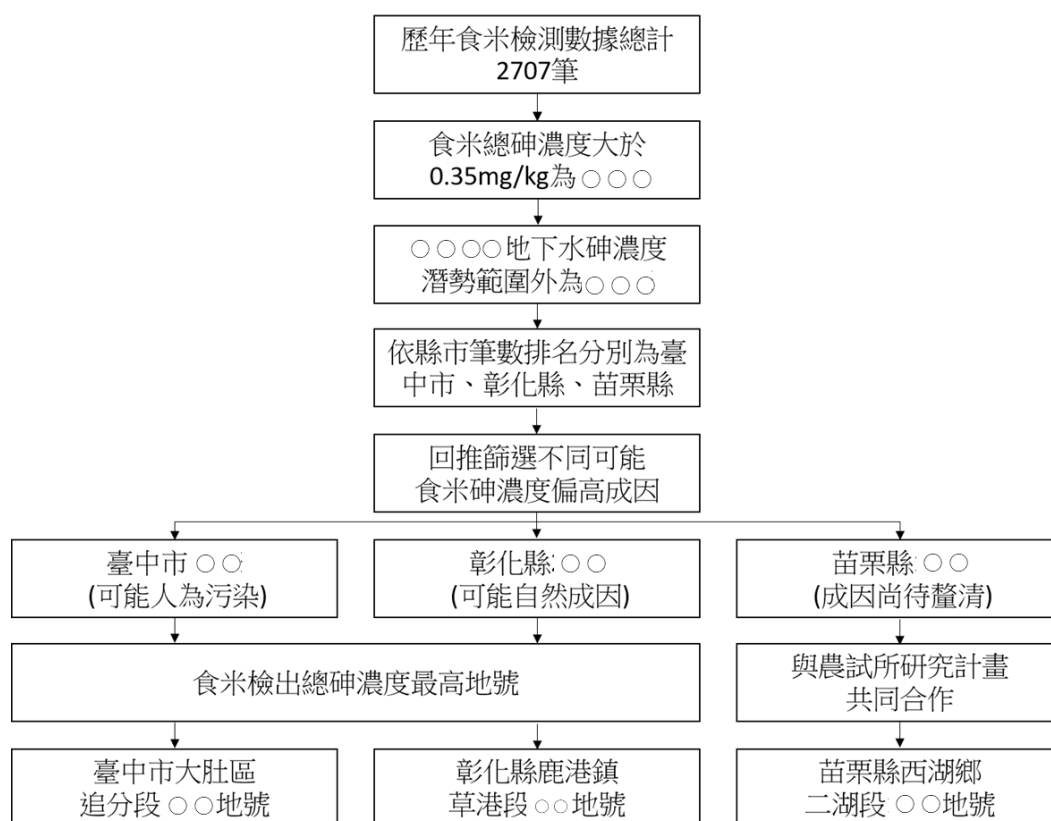


圖 3.1-2 縣市環保機關砷米通報事件因應策略研擬樣區篩選流程

依評選須知本計畫將擇定 3 處在現行環保署建立之地下水砷濃度潛勢範圍外，稻米總砷濃度高於 0.35mg/kg 之範圍進行現地調查，釐清稻米砷濃度含量較高之成因，並針對前述現地調查區域辦理土壤砷濃度之 XRF 篩測工作，預估 50 組樣品，並篩選快篩數值最高或具討論趨勢性之 10 組樣品送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量，同時須辦理地下水或灌溉水質之砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式使用電化學方法，預估採 20 組地下水樣品與 5 組灌溉水質樣品進行水中砷濃度快篩分析，並篩選快篩數值最高或具討論趨勢性之 4 組地下水樣品與 1 組灌溉水質樣品送實驗室分析，分析項目包含重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)。各樣區規劃採樣如表 3.1-2 所示。

在採樣佈點原則上，調查區域將以農地為主，並以坵塊為單位進行調查，考量砷於土壤之吸附累積特性及為求整個坵塊砷代表性濃度，採樣深度以表土(0~15 公分)為主，採用抓樣方式，抓取出入水口，佈點方式原則如圖 3.1-3 若灌溉水源為地下水之農地，則以地下水井入水口處進行土壤與地下水採樣，若灌溉水源為渠道，則針對渠道入水口處進行土壤與地表水採樣，實際狀況需依現況調整。

表 3.1-2 縣市環保機關砷米通報事件因應策略研擬採樣規劃

| 基本資料 | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|----|
| 項目 | 樣區一 | 樣區二 | 樣區三 | 總計 |
| 代號 | TCDD-01 | CCLK-01 | MLXH-01 | 31 |
| 調查坵塊(農地) | 10 | 10 | 11 | |
| 分析項目 | 樣品數量 | | | |
| 土壤 XRF 分析 | 20 | 14 | 16 | 50 |
| 土壤實驗室分析 | 4 | 3 | 3 | 10 |
| 地下水快篩分析 | 0 | 10 | 10 | 20 |
| 地下水實驗室分析 | 0 | 2 | 2 | 4 |
| 灌溉水快篩分析 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 灌溉水實驗室分析 | 1 | 0 | 0 | 1 |

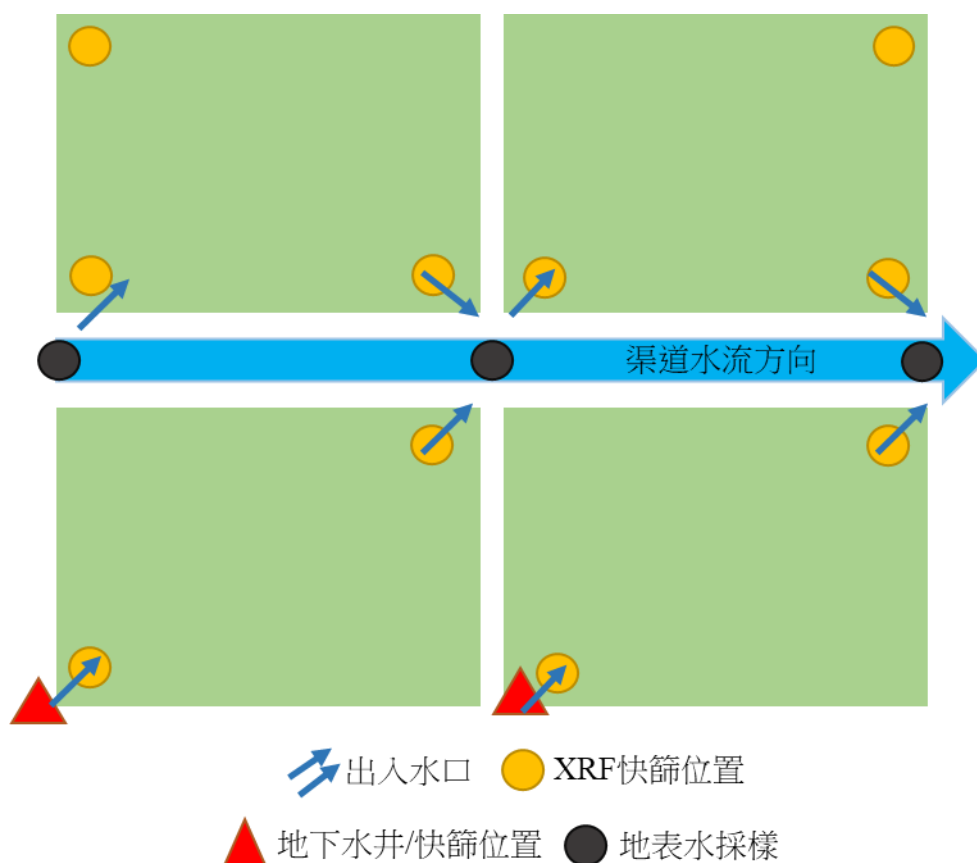


圖 3.1-3 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬佈點規劃

3.2 計畫樣區調查結果

3.2.1 樣區一台中市大肚區調查結果

一、大肚區樣區現場採樣結果

樣區一以臺中市大肚區追分段稻米砷濃度超標之○○○○地號為佈點中心(代號為 TCDD-01)，本樣區內農耕水源以水利會灌渠為主，範圍內無一般民井，區內主要灌渠自南邊水門取水口起沿地勢向北匯入區域排水，農地引灌小給則為東向西流，區內環境條件單純係符合同用單一灌渠水源之調查目標，惟坵塊之選擇應避開民宅及非屬農業之土地使用狀態，依前述條件自取水節點起 100 公尺範圍內共 10 處坵塊符合優選條件，地號與編號對照如表 3.2-1。

續依優選坵塊數量規劃本樣區土壤採樣數量共 20 點，以各坵塊入水口及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊對角線入水口為備選點位，地表水採樣位置共 5 處，依序分配為渠道入水口 1 處、小給分線點 2 處及小給末端 2 處，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 3.2-1，本樣區因討論內容為單一共同引灌之地表水源，因此不另外規劃地下水採樣。

表 3.2-1 樣區一大肚區調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|----------------|-------------|
| 1 | 追分段○○○○、○○○○地號 | TCDD-01-001 |
| 2 | 追分段○○○○、○○○○地號 | TCDD-01-002 |
| 3 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-003 |
| 4 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-004 |
| 5 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-005 |
| 6 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-006 |
| 7 | 追分段○○○○、○○○○地號 | TCDD-01-007 |
| 8 | 追分段○○○○、○○○○地號 | TCDD-01-008 |
| 9 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-009 |
| 10 | 追分段○○○○地號 | TCDD-01-010 |

於進行現場採樣工作前，已進行現勘並依規劃內容拜訪 10 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 6 月 12 日完成現場地表水及土壤採樣作業，現場工作照片如圖 3.2-2。5 筆地表水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 3.2-2，10 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 3.2-3。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，台中大肚樣區地表水砷濃度均未達地面水體水質標準(丁類) (0.05mg/L)，濃度多落於 0.015mg/L，土壤 XRF 均未檢出砷，僅含微量重金屬銅、鎳、鉛與鋅，且皆低於土壤監測標準，續依目標坵塊引灌水源篩選 4 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總

溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 3.2-4 與表 3.2-5。

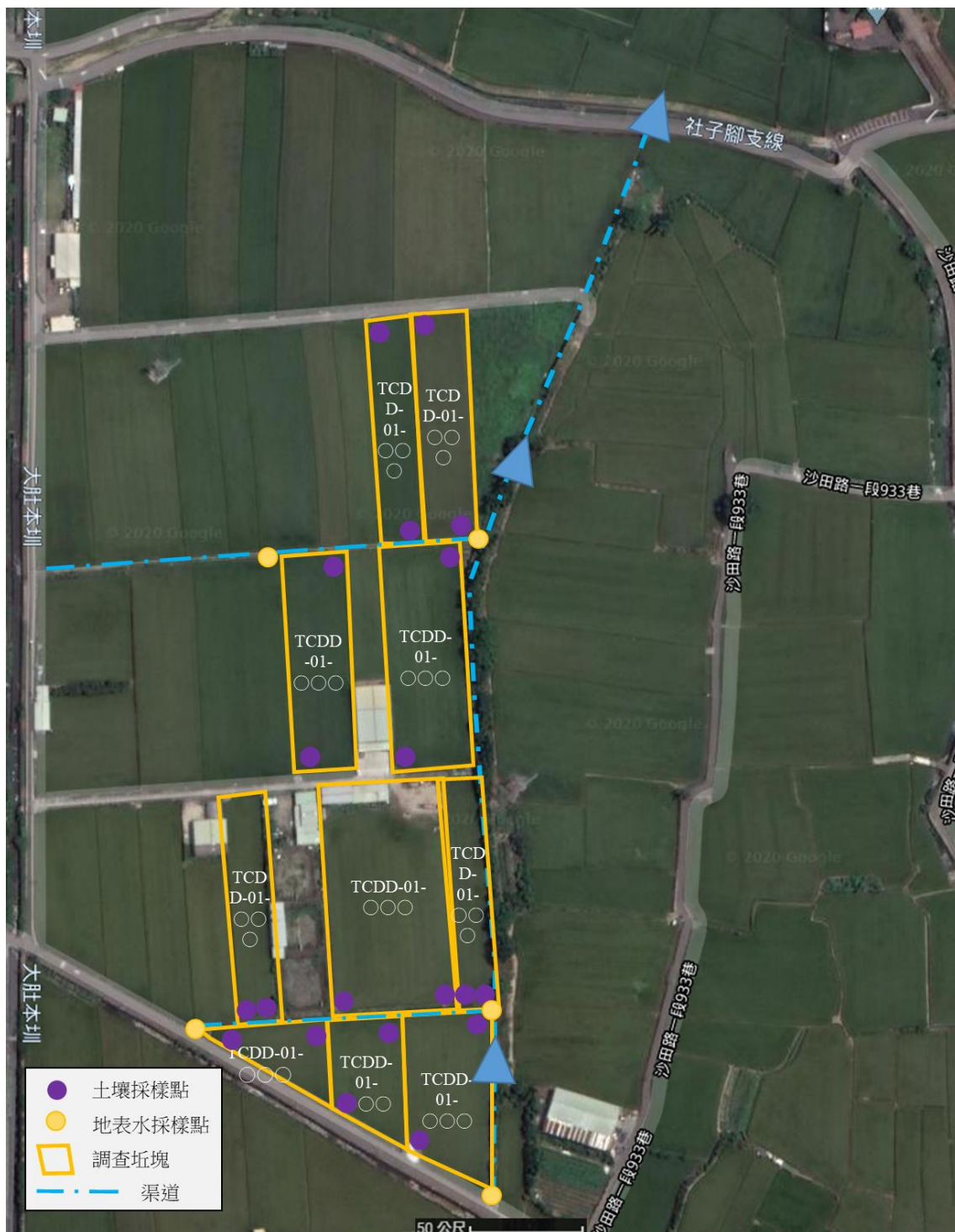


圖 3.2-1 樣區一大肚區環域概況及採樣佈點規劃

大肚樣區地表水氧化還原電位多位於-37mV 至 133mV 區間，於氧化條件時，砷化合物會被膠體、鐵錳氧化物或氫氧化物吸附，當環境轉變為還原條件時，膠體變得不穩定，或對砷有高吸附能力的鐵(錳)氧化物或氫氧化物被還原，生成溶解度較大的亞鐵(錳)離子，吸附於表面的砷也隨之被釋出，由表 3.2-2 得知台中樣區除地表水低於灌溉用水水質標準外，其鐵與錳濃度亦低於灌溉用水水質標準，續於目標坵塊農地引灌渠道篩測底泥砷濃度，未檢出砷。在引灌水與土壤皆無明顯砷濃度且檢出重金屬超過監測標準下，整合樣區周遭環境資料與訪談詳如 3.2.2 節。



圖 3.2-2 樣區一大肚區採樣現場工作情形

表 3.2-2 樣區一大肚區地表水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地表水 | | | | | | |
|----|-------------|----------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 |
| | 單位 | | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mV | NTU |
| | 檢測方法 | | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 1 | TCDD-01-002 | 追分段○○○○、○○○○地號 | 0.015 | 6.9 | 29.8 | 366 | 4.0 | 89 | 7.8 |
| 2 | TCDD-01-004 | 追分段○○○○地號 | 0.016 | 7.0 | 30.0 | 532 | 2.4 | 118 | 7.0 |
| 3 | TCDD-01-005 | 追分段○○○○地號 | 0.015 | 7.4 | 29.0 | 448 | 4.9 | 124 | 6.2 |
| 4 | TCDD-01-008 | 追分段○○○○、○○○○地號 | 0.016 | 7.3 | 30.5 | 439 | 4.5 | -37 | 6.5 |
| 5 | TCDD-01-009 | 追分段○○○○地號 | 0.016 | 7.4 | 30.8 | 395 | 4.7 | 133 | 5.5 |

表 3.2-3 樣區一大肚區土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|-------------|----------------|---------|----|----|----|-------|-------|-------|---------|
| | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 3 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | TCDD-01-001 | 追分段○○○○、○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 104/63 |
| 2 | TCDD-01-002 | 追分段○○○○、○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND/31 | ND | ND | 72/100 |
| 3 | TCDD-01-003 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 76/71 |
| 4 | TCDD-01-004 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 79/75 |
| 5 | TCDD-01-005 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | 31/ND | ND | ND/25 | 179/119 |
| 6 | TCDD-01-006 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 115/113 |
| 7 | TCDD-01-007 | 追分段○○○○、○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | 77/67 | ND | 28/30 | 153/153 |
| 8 | TCDD-01-008 | 追分段○○○○、○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | 37/59 | ND/46 | ND/31 | 100/213 |
| 9 | TCDD-01-009 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND/56 | ND/42 | ND/31 | 95/230 |
| 10 | TCDD-01-010 | 追分段○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | 64/34 | 35/ND | 36/ND | 201/113 |
| 11 | TCDD-01-001 | 追分段○○○○○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 104/63 |
| 12 | TCDD-01-002 | 追分段○○○○、○○○○地號 | ND | ND | ND | ND | ND/31 | ND | ND | 72/100 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 3.2-4 樣區一大肚區地表水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地表水 | 地面水體水質標準(丁類) | 灌溉用水水質標準 |
|----|--------|--------------------------------|--------------|--------------|----------|
| | | | TCDD-01-009 | | |
| - | 砷 | 快篩設備 | 0.016 | 0.05 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.001 | 0.05 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 1.22 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.101 | 0.05 | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 112 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 26.6 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.23 | - | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 0.53 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 49.3 | - | 200 |
| 9 | 總溶解固體物 | NIEA W210.58A | 284 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.7 | - | - |
| 11 | 亞硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B | 0.35 | - | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | 2.76 | - | - |

註：粗體字表示超過地面水體水質標準(丁類)或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 3.2-5 樣區一大肚區土壤實驗室分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|---------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | TCDD-01-001 | 追分段 ○○○○地號 | 入水口 | ND | 3.8 | 16500 | 140 | 1.0 | 6.2 |
| 2 | | | 出水口 | ND | 4.1 | 16100 | 82 | 1.0 | 5.6 |
| 3 | TCDD-01-009 | 追分段 ○○○○地號 | 入水口 | ND | 2.9 | 14500 | 47 | 1.2 | 6.1 |
| 4 | | | 出水口 | ND | 3.9 | 20800 | 218 | 2.1 | 6.1 |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

二、大肚區環境砷濃度釐清與訪談重點

大肚區樣區灌溉水源類型以地表水為主，該區地表水自南側烏溪每年穩定給水，參考全國環境水質監測資訊網鄰近樣區之河川監測站、地下水監測站與底泥品質檢測資訊公開網底泥監測資料，彙整如圖 3.2-3 與表 3.3-6，樣區鄰近地下水監測站與河川監測站距離樣區分別為 3 公里與 4 公里，統計近 10 年監測站砷濃度，大肚國小地下水監測站平均監測砷濃度為 $<0.0003\text{mg/L}$ ，大肚橋河川監測站平均監測砷濃度為 0.0012mg/L ，同時相鄰 1 公里內底泥砷檢測數據僅 5.03mg/kg ，樣區東側 2 公里外含零星工廠，自土壤及地下水資訊管理系統整合周邊可能污染源，2 公里內含 4 筆場址，如表 3.2-7 與圖 3.2-4，場址 L10114 僅檢出土壤砷 10.6mg/kg ，L10007 無檢出砷，綜整上述，大肚區樣區環境無明顯砷濃度，已初步排除環境富集砷因素。



圖 3.2-3 樣區一大肚區鄰近地下水與河川監測站分布圖

表 3.2-6 樣區一大肚區鄰近監測站砷濃度監測結果

| 項次 | 類別 | 測站名稱 | 統計日期區間 | 筆數 | 平均監測砷濃度 |
|----|--------|------|-------------------|----|--------------|
| 1 | 地下水監測站 | 大肚國小 | 98年2月至 108年10月 | 22 | <0.0003 mg/L |
| 2 | 河川監測站 | 大肚橋 | 98年2月至 108年10月 | 46 | 0.0012 mg/L |
| 3 | 底泥監測數據 | 大肚圳 | 104年10月 | 1 | 5.03 mg/kg |



圖 3.2-4 樣區一大肚區鄰近污染場址分布圖

表 3.2-7 樣區一大肚區鄰近場址資料

| 項次 | 場址編號 | 場址類別 | 資料 建立日期 | 土壤 砷濃度 | 地下水 砷濃度 |
|----|--------|--------|------------|-----------|------------|
| 1 | L10114 | 農地 | 98 年 12 月 | 10.6 | 無資料 |
| 2 | B12103 | 工廠 | 108 年 12 月 | 無資料 | 無資料 |
| 3 | B10007 | 非法棄置場址 | 95 年 5 月 | ND | 無資料 |
| 4 | B10003 | 非法棄置場址 | 95 年 5 月 | 無資料 | 無資料 |

註：土壤砷濃度單位為 mg/kg，地下水砷濃度單位為 mg/L。

大肚區樣區調查情形土壤與引灌水砷濃度偏低且無其餘(重金屬 Hg、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn)污染之疑慮，在初步排除受周遭環境因素影響下，進行目標坵塊 TCDD-01-001 地主訪談，該坵塊已耕種 20 年以上，約民國 99 年改為養殖漁業，並於 3、4 年前整地續種水稻、薏仁等作物，對比檢出稻米砷濃度偏高年份，與整地續種水稻時間相符，如圖 3.2-5。在整地時，地主未置換外來土與渠道底泥，僅將原挖開做岸堤的土坵推平回填，同時，樣區坵塊 TCDD-01-007 設有地下水井，惟初次調查土壤採樣僅針對表土(0~15 公分)與引灌水源渠道水進行檢測，為釐清該筆農地是否富砷，進行大肚區樣區補充調查；一、坵塊 TCDD-01-007 地下水井砷濃度快篩；二、目標坵塊 TCDD-01-001 土壤砷濃度分層篩測。

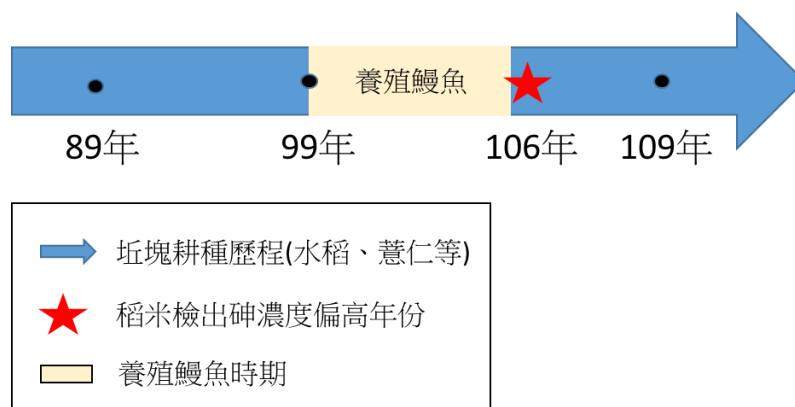


圖 3.2-5 樣區一大肚區目標坵塊農地耕種歷史

大肚區樣區補充調查作業於 109 年 8 月 25 日完成，補充調查作業分為坵塊 TCDD-01-007 地下水井砷濃度快篩，與目標坵塊 TCDD-01-001 入水口土壤與出水口土壤砷濃度分層深度篩測，採樣深度分別為表層至 15 公分、15 公分至 30 公分、30 公分至 45 公分、45 公分至 60 公分、60 公分至 90 公分，調查結果坵塊 TCDD-01-007 地下水砷濃度僅 0.016mg/L，氧化還原電位為 301mV，同時目標坵塊 TCDD-01-001 土壤分層深度 XRF 篩測均未檢出砷，顯示坵塊曾為養殖業亦無使農地土壤具砷污染之可能性，補充調查現場工作情形如圖 3.2-6，地下水採樣結果如表 3.2-8，土壤 XRF 篩測結果如表 3.2-9。



圖 3.2-6 樣區一大肚區採樣現場工作情形

表 3.2-8 樣區一大肚區地下水補充採樣分析結果

| | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原 電位 | 濁度 |
|----------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 單位 | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mV | NTU |
| 檢測 方法 | 快篩 設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 濃 度 | 0.016 | 6.6 | 25.6 | 546 | 1.9 | 301 | 1.6 |

表 3.2-9 樣區一大肚區土壤補充採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 採樣編號 | 深度 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|--------------------|------------------|---------|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 3 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | TCDD-01-001-2-1-15 | 入水口表層至 15 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 135 |
| 2 | TCDD-01-001-2-1-30 | 入水口 15 公分至 30 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 51 |
| 3 | TCDD-01-001-2-1-45 | 入水口 30 公分至 45 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 42 |
| 4 | TCDD-01-001-2-1-60 | 入水口 45 公分至 60 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 44 |
| 5 | TCDD-01-001-2-1-90 | 入水口 60 公分至 90 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 40 |
| 6 | TCDD-01-001-2-2-15 | 出水口表層至 15 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 74 |
| 7 | TCDD-01-001-2-2-30 | 出水口 15 公分至 30 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 56 |
| 8 | TCDD-01-001-2-2-45 | 出水口 30 公分至 45 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 42 |
| 9 | TCDD-01-001-2-2-60 | 出水口 45 公分至 60 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 39 |
| 10 | TCDD-01-001-2-2-90 | 出水口 60 公分至 90 公分 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 41 |

3.2.2 樣區二彰化縣鹿港鎮調查結果

一、鹿港鎮樣區現場採樣結果

樣區二選擇以彰化縣鹿港鎮草港段稻米砷濃度偏高之○○○○地號為佈點中心(代號為 CCLK-01)，本樣區內農耕水源以自用民井為主，區內地勢東北高西南低，環境條件單純係符合同用各坵塊引灌範圍內地下水之調查目標，惟區內坵塊並非均鑿有民井，且有零星非農業使用地號應予以避開，依前述條件自佈點中心地號起 100 公尺半徑內共 7 處坵塊設有民井符合優選條件，地號與編號對照詳如表 3.2-10。

續依優選坵塊數量規劃土壤採樣數量共 14 點，以各坵塊民井位置及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊對角線入水口為備選點位，除上述調查坵塊外，另找尋鄰近中心地號 50 公尺內之 3 口民井為坵塊外地下水採樣點位，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 3.2-7，本樣區因討論內容為區域範圍內引灌地下水源，因此不另外規劃地表水及底泥採樣，部份水井將視現場農地引灌行為而另行增加點位。

表 3.2-10 樣區二鹿港鎮調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|-----------|-------------|
| 1 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-001 |
| 2 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-002 |
| 3 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-003 |
| 4 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-004 |
| 5 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-005 |
| 6 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-006 |
| 7 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-007 |

表 3.2-10 樣區二鹿港鎮調查坵塊樣品代號對照表(續)

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|-----------|-------------|
| 8 | 建興段○○○○地號 | CCLK-01-008 |
| 9 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-009 |
| 10 | 草港段○○○○地號 | CCLK-01-010 |



圖 3.2-7 樣區二鹿港鎮環境概況及採樣佈點規劃

於採樣工作前，已進行現勘並依規劃內容拜訪 10 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 6 月 12 日完成現場地下水及土壤採樣作業，現場工作照片如圖 3.2-8。10 筆地下水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 3.2-11，7 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 3.2-12。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，鹿港鎮樣區地下水砷濃度均未達第二類地下水砷污染監測標準(0.25mg/L)，濃度最高坵塊 CCLK-01-002 地下水砷濃度為 0.04mg/L，目標坵塊地下水砷快篩濃度為 0.03mg/L，對應坵塊入水口土壤 XRF 砷濃度 27mg/kg，低於監測標準。續依水中砷濃度數值高低與目標坵塊篩選 4 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 3.2-13 與表 3.2-14。

由篩測結果得知地下水重金屬鐵與錳超過第二類地下水質監測標準，在無伴隨高地下水砷濃度下，地下水鐵與錳濃度偏高成因推測為鐵與錳氧化物/氫氧化物，屬地層沉積物中含量較豐富之礦物成分，於還原環境中，此等礦物容易發生還原作用，而還原態的鐵與錳離子多以溶解狀態出現於水體，鹿港鎮樣區地下水氧化還原電位為於 -94mV 至 -153mV 之間，與趨勢相符。

目標坵塊 CCLK-01-001 入水口土壤砷濃度 22mg/kg，高於樣區其餘調查坵塊，農業環境砷來源，包含引灌地下水所致、土壤母質固有砷含量及其他非自然背景因素，在地下水無砷濃度下，續依考量土壤母質，土壤為由堅硬岩石經緩慢風化作用而形成，自岩石、岩塊、岩屑、風化母質、土壤應具有一連續性之特徵及風化層次，土壤中砷濃度與其母質種類應具有相關性，在環保署前期計畫，依據「全國土壤性質調查與管理計畫(第二期)」土壤母質來源分布圖，完成土壤母質砷上限值參考範圍及概估值，對比該地

圖，鹿港鎮土壤母質為黏板岩，目標坵塊 CCLK-01-001 入水口土壤砷實驗室分析濃度為 27mg/kg，落於黏板岩土壤母質砷上限值參考範圍為 19.4mg/kg 至 31.1 mg/kg 範圍內且易低於監測標準，無明顯偏高，在引灌水與土壤皆無明顯砷濃度累積下，整合樣區周遭環境資料與訪談詳後所述。



圖 3.2-8 樣區二鹿港鎮採樣現場工作情形

表 3.2-11 樣區二鹿港鎮地下水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | | | | | | |
|----|-------------|-----------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 |
| | 單位 | | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mV | NTU |
| | 檢測方法 | | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 1 | CCLK-01-001 | 草港段○○○○地號 | 0.030 | 6.7 | 25.6 | 1320 | 3.5 | -116 | 2.2 |
| 2 | CCLK-01-002 | 草港段○○○○地號 | 0.040 | 6.8 | 25.0 | 961 | 3.9 | -117 | 0.5 |
| 3 | CCLK-01-003 | 草港段○○○○地號 | 0.033 | 6.7 | 24.6 | 1360 | 2.0 | -115 | 0.4 |
| 4 | CCLK-01-004 | 草港段○○○○地號 | 0.036 | 6.7 | 25.8 | 939 | 2.6 | -130 | 0.7 |
| 5 | CCLK-01-005 | 草港段○○○○地號 | 0.026 | 6.7 | 27.7 | 927 | 3.1 | -153 | 2.2 |
| 6 | CCLK-01-006 | 草港段○○○○地號 | 0.027 | 6.9 | 26.1 | 988 | 2.6 | -105 | 1.2 |
| 7 | CCLK-01-007 | 草港段○○○○地號 | 0.029 | 6.5 | 26.2 | 867 | 1.4 | -94 | 0.6 |
| 8 | CCLK-01-008 | 建興段○○○○地號 | 0.031 | 6.6 | 25.1 | 1290 | 3.1 | -100 | 0.7 |
| 9 | CCLK-01-009 | 草港段○○○○地號 | 0.037 | 6.9 | 25.4 | 1140 | 1.8 | -123 | 0.5 |
| 10 | CCLK-01-010 | 草港段○○○○地號 | 0.029 | 6.6 | 25.7 | 1330 | 3.0 | -100 | 0.4 |

註：粗體字表示超過第二類地下水砷濃度監測標準(0.25mg/L)。

表 3.2-12 樣區二鹿港鎮土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-----------|-------|---------|----|----|----|-------|-------|-------|---------|
| | | | 砷(快篩) | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/L | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | CCLK-01-001 | 草港段○○○○地號 | 0.030 | 27/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 139/113 |
| 2 | CCLK-01-002 | 草港段○○○○地號 | 0.040 | 17/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 95/87 |
| 3 | CCLK-01-003 | 草港段○○○○地號 | 0.033 | 20/ND | ND | ND | ND | ND | ND/35 | ND | 111/160 |
| 4 | CCLK-01-004 | 草港段○○○○地號 | 0.036 | 11/ND | ND | ND | ND | ND | ND/37 | ND | 101/95 |
| 5 | CCLK-01-005 | 草港段○○○○地號 | 0.026 | 21/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 94/96 |
| 6 | CCLK-01-006 | 草港段○○○○地號 | 0.027 | 17/12 | ND | ND | ND | ND/31 | ND/41 | ND | 100/122 |
| 7 | CCLK-01-007 | 草港段○○○○地號 | 0.029 | 10/12 | ND | ND | ND | 41/ND | 42/40 | ND | 136/108 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，**粗體字**表示超過地下水與土壤監測標準，**粗體字加底線**表示超過土壤管制標準，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 3.2-13 樣區二鹿港鎮地下水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------|------|--------------|
| | | | CCLK-01-001 | CCLK-01-002 | 監測標準 | 管制標準 | |
| - | 砷 | 快篩設備 | 0.030 | 0.040 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.031 | 0.033 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 8.92 | 6.38 | 1.50 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 1.05 | 0.47 | 0.250 | - | 0.2 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 598 | 406 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 48.3 | 29.9 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.18 | 0.15 | 4.0 | 8.0 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 0.31 | 0.20 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 290 | 177 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 961 | 606 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 1.6 | 1.2 | 10 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W458.50B | ND | ND | 5.0 | 10 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | ND | <0.04 | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 3.2-14 樣區二鹿港鎮土壤實驗室分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|---------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | CCLK-01-001 | 草港段 ○○○○地號 | 入水口 | 27 | 22.5 | 28200 | 274 | 1.5 | 6.5 |
| 2 | | | 出水口 | 10 | 11.1 | 30200 | 225 | 1.7 | 6.4 |
| 3 | CCLK-01-002 | 草港段 ○○○○地號 | 入水口 | 17 | 17.1 | 26900 | 218 | 1.4 | 6.0 |

二、鹿港鎮環境砷濃度釐清與訪談重點

農業環境砷來源，包含引灌地下水所致、土壤固有砷含量及其他非自然背景因素，非自然因素則可分為人為環境污染與水田環境成因影響，目標坵塊 CCLK-01-001 入水口土壤砷濃度 22mg/kg，落於黏板岩土壤母質砷上限值參考範圍為 19.4mg/kg 至 31.1mg/kg 範圍內，並無明顯偏高，整合鄰近污染場址資料如圖 3.2-9，鹿港鎮樣區西南方含大量污染場址，統計場址資料，3070 筆污染場址中 98% 皆為銅、鋅、鎳與鉻污染農地，僅 1 筆 2 公里外農地土壤砷濃度超過管制標準，該筆土壤砷超標農地目前已完成污染改善作業，綜整上述，初步排除人為污染致使土壤砷濃度偏高。

於樣區篩選階段，原定鹿港鎮稻米砷濃度偏高成因為長期引灌富砷地下水，因該筆農地僅距離地下水砷濃度勢範圍頂犁村約 350 公尺，由現場調查，樣區 10 口民井地下水砷濃度於 0.026mg/L 至 0.040mg/L 區間，皆低於第二類地下水砷濃度監測標準 (0.25mg/L) 與灌溉用水水質標準 (0.05mg/L)，鄰近地下水監測站近十年平均砷濃度 0.005mg/L，亦無明顯砷含量，如圖 3.2-10 與表 3.2-15，在土壤與地下水砷濃度均未超過監測標準下，致使食米砷濃度偏高，農地水田環境影響為一重要探討因素。

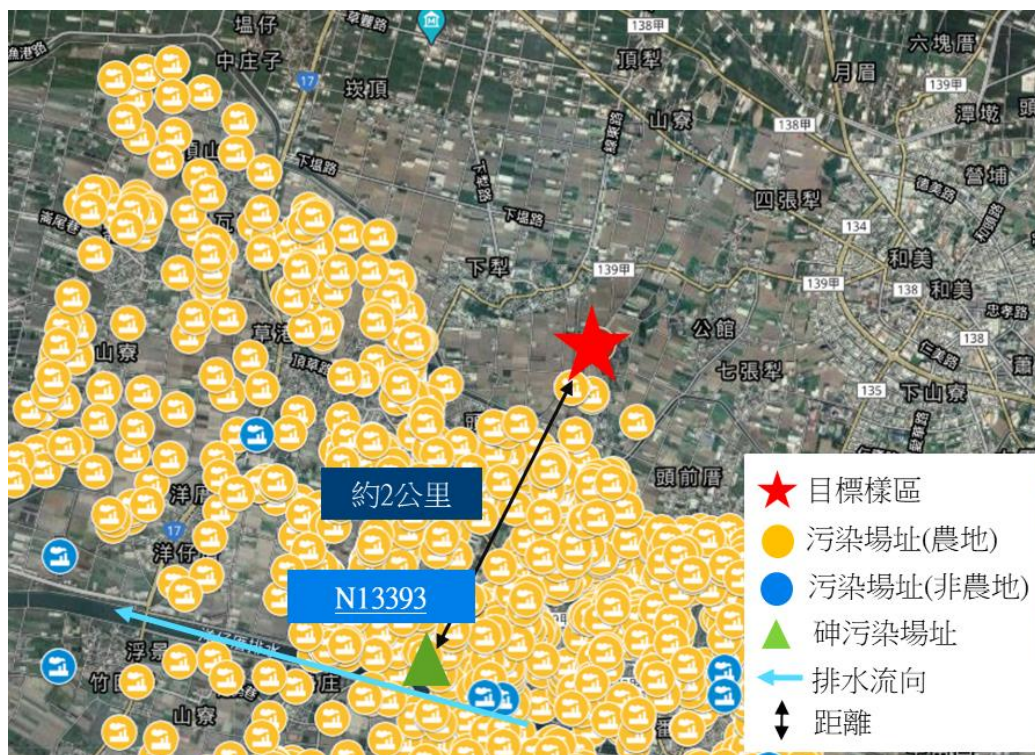


圖 3.2-9 樣區二鹿港鎮鄰近污染場址分布圖



圖 3.2-10 樣區二鹿港鎮鄰近地下水與河川監測站分布圖

表 3.2-15 樣區二鹿港鎮鄰近監測站砷濃度監測結果

| 項次 | 類別 | 測站名稱 | 統計日期區間 | 筆數 | 平均監測砷濃度 |
|----|--------|-------|-------------------|----|------------|
| 1 | 地下水監測站 | 線西國小 | 98年2月至 108年10月 | 34 | 0.005 mg/L |
| 2 | 底泥監測數據 | 四股圳 | 108年1月 | 1 | 4.8 mg/kg |
| 3 | 底泥監測數據 | 番雅溝支線 | 108年1月 | 1 | 9.9 mg/kg |
| 4 | 底泥監測數據 | 新圳 | 108年1月 | 1 | 6.5 mg/kg |
| 5 | 底泥監測數據 | 新埤舊圳 | 108年1月 | 1 | 15.4 mg/kg |

稻米吸收砷的能力會因品種具有差異，(Mei,2012)研究指出能將根部保持在高氧化還原電位的稻米品種，可減少砷的吸收量，(Jiang,2012)針對 216 種水稻進行試驗，發現蓬萊米平均砷吸收量低於在來米，在台灣，王泰威等人與農試所研究指出，水稻藉由根系輻射狀釋氧(Radial oxygen loss)在根表釋出氧氣，能夠在根表及根圈土壤形成氧化鐵，截留土壤中的砷並降低水稻對砷的吸收。

同時，稻米種植過程中灌溉方式亦為影響稻米砷吸收差異的主因之一，已有多篇文獻指出相同的結果，(Daum,2002)研究表明即使是短暫間歇性的使土壤通氣，也可顯著改變土壤化學氧化還原電位性質，從而降低稻米中砷的濃度。(Norton,2011)研究德克薩斯州 374 種不同品種數的稻米在浸水與未浸水的種植方式下，未浸水的種植方式平均稻米砷濃度遠低於保持浸水狀態，詳如 3.3-2 節。鹿港鎮目標坵塊 CCLK-01-001 於 103 年與 106 年均檢出稻米總砷濃度含量高於 0.35mg/kg，本計畫調查結果該區域土壤與地下水砷濃度均低於監測標準，初步推測歷史稻米砷濃度較高成因為水田環境因素。

3.2.3 樣區三苗栗縣西湖鄉調查結果

一、西湖鄉樣區現場採樣結果

樣區三選擇以苗栗縣西湖鄉二湖段稻米砷濃度超標之○○○○地號為佈點中心(代號為 MLXH-01)，本樣區內農耕水源以自用民井與渠道水兩者混用，區內地勢南高北低，因本區以坵塊引灌地下水之調查目標，惟區內坵塊並非均鑿有民井，且有零星非農業使用地號應予以避開，依前述條件自佈點中心地號起 150 公尺半徑內共 7 處坵塊設有民井符合優選條件。

續依優選坵塊數量規劃土壤採樣數量共 16 點，以各坵塊民井位置及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊對角線為備選點位，除上述調查坵塊外，另找尋鄰近中心地號 150 公尺內之 3 口民井為坵塊外地下水採樣點位，環域概況及樣區佈點規劃詳如表 3.2-16 與圖 3.2-11，本樣區因討論內容為區域範圍內引灌地下水之影響，無規劃地下水及底泥採樣，然而存在地表地下水混情形，本計畫依現地狀況視需求補充水體快篩樣本，確保後續分析資料之完整性。

表 3.2-16 樣區三西湖鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|----------------|-------------|
| 1 | 二湖段○○○○、○○○○地號 | MLXH-01-001 |
| 2 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-002 |
| 3 | 二湖段○○○○、○○○○地號 | MLXH-01-003 |
| 4 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-004 |
| 5 | 二湖段○○○○、○○○○地號 | MLXH-01-005 |
| 6 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-006 |
| 7 | 二湖段○○○○、○○○○地號 | MLXH-01-007 |
| 8 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-008 |
| 9 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-009 |
| 10 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-010 |
| 11 | 二湖段○○○○地號 | MLXH-01-011 |



圖 3.2-11 樣區三西湖鄉環境概況及採樣佈點規劃

於採樣工作前，已進行現勘並依規劃內容拜訪 11 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 6 月 11 日完成現場地下水及土壤採樣作業，現場工作照片如圖 3.2-12。10 筆地下水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 3.2-17，8 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 3.2-18。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，西湖鄉樣區地下水砷濃度均未達第二類地下水砷污染監測標準(0.25mg/L)，濃度最高坵塊 MLXH-01-007 地下水砷濃度為 0.019mg/L，除目標坵塊入水口土壤檢出砷濃度 10mg/kg，其餘農地土壤 XRF 均未檢出砷，續依水中砷濃度數值高低與目標坵塊篩選 2 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 3.2-19 與表 3.2-20。

由篩測結果得知西湖鄉樣區地下水重金屬鐵與錳超過第二類地下水質監測標準，在無伴隨高地下水砷濃度下，地下水鐵與錳濃度偏高成因推測為鐵與錳氧化物/氫氧化物屬地層沉積物中含量較豐富之礦物成分，於還原環境中，此等礦物容易發生還原作用，而還原態的鐵與錳離子多以溶解狀態出現於水體，樣區地下水氧化還原電位為於 -39mV 至 -94mV 之間，與趨勢相符。

目標坵塊 MLXH-01-001 入水口與出水口實驗室土壤砷分析濃度 6.6mg/kg 與 10.1mg/kg，依據「全國土壤性質調查與管理計畫(第二期)」調查成果，西湖樣區土壤母質多為砂頁岩與洪積母質紅壤，對比環保署土品研究計畫中砷濃度上限概估值，砂頁岩與洪積母質紅壤土壤母質砷上限值參考範圍為 14.8mg/kg 至 19.1mg/kg 範圍，樣區目標坵塊土壤砷濃度低於土壤母質砷上限值參考範圍，無明顯偏高，在引灌水與土壤皆無明顯砷濃度累積下，整合樣區周遭環境資料與訪談釐清其稻米砷濃度偏高成因。



圖 3.2-12 樣區三西湖鄉採樣現場工作情形

表 3.2-17 樣區三西湖鄉地下水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | | | | | | |
|----|-------------|-----------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 |
| | 單位 | | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mV | NTU |
| | 檢測方法 | | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 1 | MLXH-01-002 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | 5.7 | 25.4 | 655 | 2.3 | -70.3 | 6.7 |
| 2 | MLXH-01-003 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | 6.2 | 24.6 | 448 | 2.5 | -41.1 | 19.0 |
| 3 | MLXH-01-004 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | 5.9 | 24.3 | 468 | 1.1 | -39.9 | 3.4 |
| 4 | MLXH-01-005 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | 6.3 | 25.1 | 648 | 2.2 | -94.4 | 20.0 |
| 5 | MLXH-01-006 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | 6.2 | 25.5 | 653 | 2.5 | -62.1 | 7.3 |
| 6 | MLXH-01-007 | 二湖段○○○○地號 | 0.019 | 6.0 | 26.3 | 563 | 3.2 | -89.5 | 6.2 |
| 7 | MLXH-01-008 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | 6.3 | 24.4 | 715 | 1.0 | -65.4 | 4.2 |
| 8 | MLXH-01-009 | 二湖段○○○○地號 | 0.016 | 6.2 | 25.0 | 382 | 1.5 | -50.8 | 7.3 |
| 9 | MLXH-01-010 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | 6.6 | 25.4 | 436 | 4.2 | -73.3 | 1.6 |
| 10 | MLXH-01-011 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | 6.4 | 25.6 | 905 | 1.8 | -77.6 | 3.3 |

註：粗體字表示超過第二類地下水砷濃度監測標準(0.25mg/L)。

表 3.2-18 樣區三西湖鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | 土壤(XRF) | | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|-------|---------|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | | | 砷(快篩) | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | |
| | 單位 | | mg/L | mg/kg | | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 | | |
| 1 | MLXH-01-001 | 二湖段○○○○地號 | - | ND/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 70/66 |
| 2 | MLXH-01-002 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 46/44 |
| 3 | MLXH-01-003 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 58/44 |
| 4 | MLXH-01-004 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 52/52 |
| 5 | MLXH-01-005 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 54/55 |
| 6 | MLXH-01-006 | 二湖段○○○○地號 | 0.017 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 45/60 |
| 7 | MLXH-01-007 | 二湖段○○○○地號 | 0.019 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 48/51 |
| 8 | MLXH-01-008 | 二湖段○○○○地號 | 0.015 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 68/67 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，**粗體字**表示超過地下水與土壤監測標準，**粗體字加底線**表示超過土壤管制標準，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 3.2-19 樣區三西湖鄉地下水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------|------|--------------|
| | | | MLXH-01-002 | MLXH-01-007 | 監測標準 | 管制標準 | |
| - | 砷 | 快篩設備 | 0.017 | 0.019 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.0107 | 0.0033 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 9.38 | 7.89 | 1.50 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.72 | 0.50 | 0.250 | - | 0.2 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 223 | 258 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 33.6 | 43.7 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.26 | 0.18 | 4.0 | 8.0 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 0.33 | 0.23 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 77.5 | 122 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 394 | 482 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.7 | 2.7 | 10 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W458.50B | <0.01 | ND | 5.0 | 10 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | <0.05 | ND | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 3.2-20 樣區三西湖鄉土壤實驗室分析結果

| | 坵塊 編號 | 地號 | 採樣 位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|---|-----------------|--------------|----------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | MLXH- 01-002 | 二湖段 | 入水口 | 10 | 6.6 | 21100 | 129 | 1.5 | 5.5 |
| 2 | | ○○○地號 | 出水口 | ND | 10.1 | 18200 | 122 | 1.2 | 5.8 |
| 3 | MLXH- 01-007 | 二湖段 ○○○地號 | 入水口 | ND | 4.5 | 12300 | 70 | 1.1 | 5.7 |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

二、西湖鄉環境砷濃度釐清與訪談重點

西湖鄉樣區灌溉水源型態包含地下水與地表水，其中以地下水為主，渠道水為輔，於採樣過程中已排除引灌富砷地下水致使農業環境富砷因素，續依水中砷快篩設備篩測目標坵塊 MLXH-01-001 灌溉渠道水及底泥砷濃度，檢測結果地表水砷濃度低於 0.030mg/L，對應底泥砷濃度為 5.9mg/kg，均低於相關標準。樣區渠道水自南側西湖溪流入，參考全國環境水質監測資訊網鄰近樣區之河川監測站、地下水監測站與底泥品質檢測資訊公開網底泥監測資料，彙整如圖 3.2-13 與表 3.2-21，樣區鄰近地下水監測站與河川監測站距離樣區分別為 1.7 公里與 1 公里，統計近 10 年監測站砷濃度，西湖國小地下水監測站平均監測砷濃度為 0.001mg/L，大肚橋河川監測站平均監測砷濃度為 0.0006mg/L，相鄰 2 公里內 4 筆底泥檢測數據砷濃度最高僅為 8.08mg/kg，背景環境無明顯砷濃度，與樣區調查結果趨勢相符。

樣區西側 2 公里外含鋼鐵、水泥工廠，均依水污染防治均設有相關廢水處理程序，另比對列管污染原資料查詢系統，該區域工廠無含砷廢水排出，樣區鄰近 10 公里內亦無污染場址，經拜訪樣區地主，該區域皆以種植水稻為主，耕種歷史達 20 年以上，期間並未曾聽聞污染事件，在幾乎無環境砷濃度來源下，此樣區後續仍需持續監測並累積該區域稻米檢測數據。



圖 3.2-13 樣區三西湖鄉鄰近地下水與河川監測站分布圖

表 3.2-21 樣區三西湖鄉鄰近監測站砷濃度監測結果

| | 類別 | 測站名稱 | 統計日期區間 | 筆數 | 平均監測砷濃度 |
|---|--------|------|-------------------------|----|-------------|
| 1 | 地下水監測站 | 西湖國小 | 98 年 5 月至 108 年 10 月 | 27 | 0.0010 mg/L |
| 2 | 地表水監測站 | 西湖橋 | 98 年 3 月至 108 年 10 月 | 46 | 0.0006mg/L |
| 3 | 底泥監測數據 | 海口圳 | 107 年 11 月 | 1 | 3.85 mg/kg |
| 4 | 底泥監測數據 | 西湖溪 | 106 年 11 月 | 1 | 8.08 mg/kg |
| 5 | 底泥監測數據 | 十三公圳 | 106 年 11 月 | 1 | 2.67 mg/kg |
| 6 | 底泥監測數據 | 西三湖圳 | 106 年 11 月 | 1 | 7.03 mg/kg |

前述三處樣區所提及之土壤母質固有砷濃度，為環保署依據「農田土壤砷及硒背景值分析計畫」，自農試所系統性網格 130,000 處中挑選約 8,000 餘處點位分析表裡土砷濃度共計 15,730 筆資料，對比「全國土壤性質調查與管理計畫（第二期）」，各縣市土壤調查報告書所記載之土系土壤母質來源資料繪製成全臺平地土壤母質來源分布圖，如圖 3.2-14，完成臺灣自然背景砷濃度上限概估值，建立方式如下：

1. 土壤砷濃度為土壤母質與地下水砷引灌累積之綜合性結果，地下水砷濃度潛勢範圍外土地，受地下水砷引灌之影響程度較低，其土壤砷濃度來源應屬土壤母質所致。
2. 取地下水砷濃度潛勢範圍外之土壤砷濃度調查資料，按土壤母質空間分布方式，將屬相同母質之土壤砷濃度資料分類。
3. 參考環保署「飲用水水質保護區土壤及地下水基線調查計畫」彙整之各國土壤背景濃度統計計算方法，如順序統計量第 90、95 百分位值、平均值+3 倍標準差、土壤基線濃度（SBC）、容許上限值（UTL）等，分別估算土壤母質砷濃度自然背景上限值。

對比土壤母質來源分布圖地下水砷濃度潛勢範圍內主要土壤母質為黏板岩、砂頁岩、砂頁岩及黏板岩混合三種類型，地下水砷濃度潛勢範圍外主要土壤母質為片岩、洪積母質紅壤、安山岩及東部火成岩，各土壤母質砷上限值參考範圍及概估值分別為 1.黏板岩：19.4~31.1 mg/kg；2. 砂頁岩：17.7~ 26.6 mg/kg；3. 砂頁岩及黏板岩混合：19.5~24.8 mg/kg；4. 片岩：18.0~23.9 mg/kg；5. 洪積母質紅壤：14.8~19.1 mg/kg；6. 安山岩：28.7~35.4 mg/kg；7. 東部火成岩：14.3~16.9 mg/kg，如表 3.2-22。

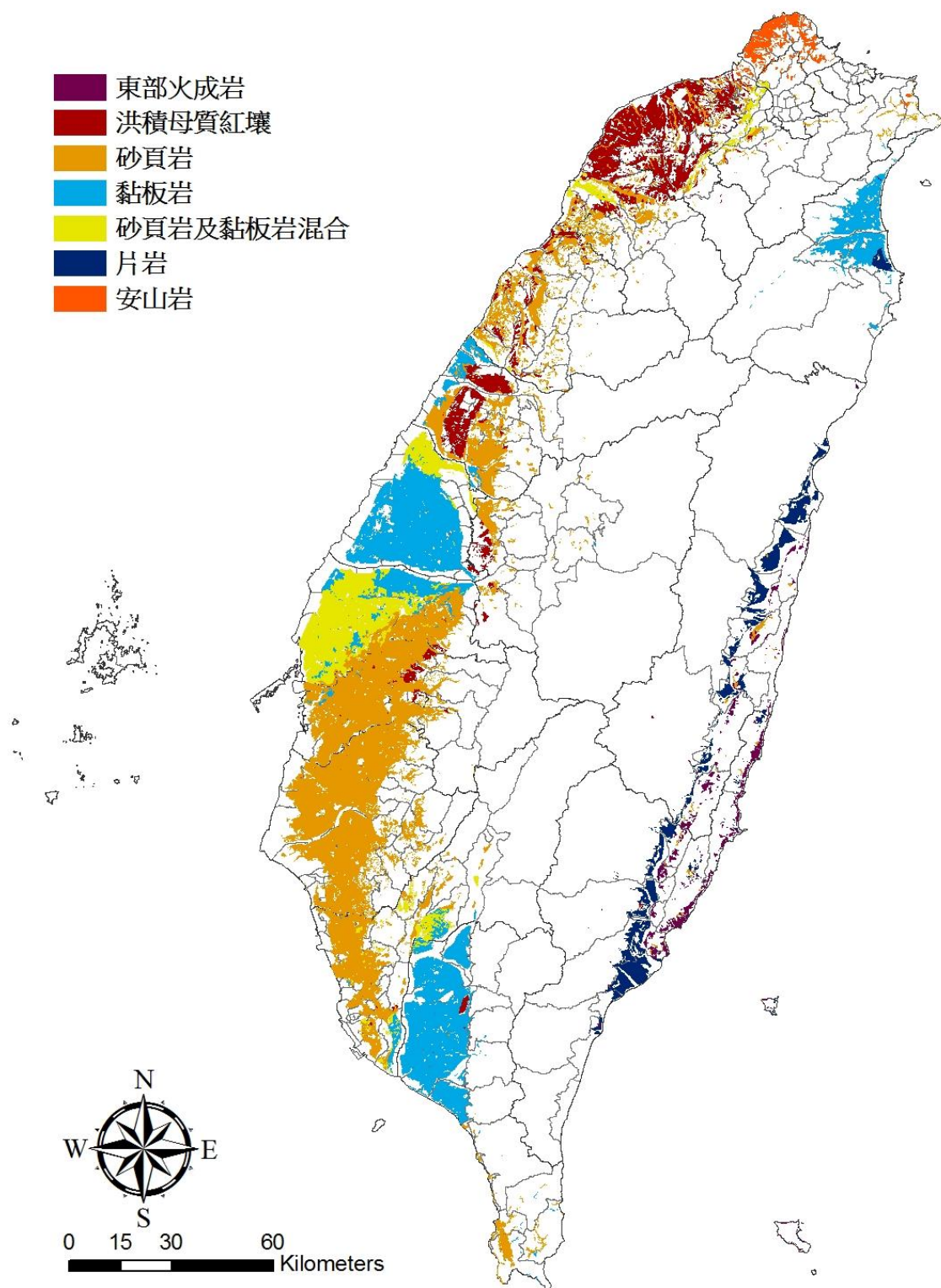


圖 3.2-14 全臺平地土壤母質種類分布圖

表 3.2-22 土壤母質砷濃度上限值

| 自然背景砷 濃度計算 (mg/kg) | | 地下水砷潛勢公告範圍外 | | | | | | |
|---|--|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 黏板岩 | 砂頁岩 | 砂頁岩 及黏板 岩混合 | 片岩 | 洪積母 質紅壤 | 安山岩 | 東部火 成岩 |
| 敘述 統計 | 統計母體 數量 | 2,575 | 3,559 | 827 | 310 | 1,337 | 132 | 113 |
| | 最小值 | 0.52 | 0.87 | 1.20 | 1.31 | 0.80 | 4.21 | 0.05 |
| | 最大值 | 193 | 123 | 49.8 | 41.0 | 30.5 | 33.1 | 20.5 |
| | 中位數 | 10.5 | 8.7 | 10.3 | 9.0 | 9.0 | 18.2 | 4.6 |
| | 算術平均 數 | 11.5 | 9.5 | 11.0 | 9.6 | 9.1 | 17.7 | 5.0 |
| | 標準差 | 6.55 | 5.69 | 4.61 | 4.76 | 3.35 | 5.89 | 3.97 |
| | 第 75 百 分位值 (P ₇₅) | 12.9 | 11.1 | 12.8 | 11.3 | 11.2 | 21.9 | 7.51 |
| | 第 90 百 分位值 (P ₉₀) | 16.2 | 14.3 | 15.7 | 14.3 | 13.4 | 24.6 | 9.49 |
| | 第 95 百 分位值 (P ₉₅) | 19.0 | 17.4 | 18.4 | 17.5 | 14.6 | 27.3 | 12.4 |
| 日本計 算方式 | 平均值+3 倍標準差 | 31.1 | 26.6 | 24.8 | 23.9 | 19.1 | 35.4 | 16.9 |
| 芬蘭 地調 所計 算方 式 | 土壤基線 濃度 (SBC) | 19.4 | 17.7 | 19.5 | 18.0 | 18.0 | 34.6 | 16.2 |
| 美國 環 保 署 ProU CL 軟 體 | 分佈型態 | Np | Np | Np | Np | N | N | Np |
| | 容許上 限 值 (95% UTL with 95% Coverage) | 19.7 | 17.9 | 20.2 | 19.9 | 14.8 | 28.7 | 14.3 |
| 各國計 算方 式 上 限 值 範 圍 | | 19.4 ~31.1 | 17.7 ~26.6 | 19.5 ~24.8 | 18.0 ~23.9 | 14.8 ~19.1 | 28.7 ~35.4 | 14.3 ~16.9 |
| 砷濃 度上 限 概 估 值 | | 31 | 27 | 25 | 24 | 19 | 35 | 17 |

註：1. 芬蘭地調所土壤基線濃度計算方式為 $SBC = P_{75} + 1.5 \times (P_{75} - P_{25})$ 。

2. 以美國環保署 ProUCL 統計軟體檢定調查數據資料分佈型態，“N”代表常態分佈 (Normal)，“L”代表對數常態分佈 (Lognormal)，而“G”代表伽瑪分佈 (Gamma)，若皆非前述分佈型態則以無母數統計法分析 (Nonparametric)，簡稱為“Np”。

3. 意即預期於信賴水準為 0.95 時，有 95% 之調查對象統計母體資料 (包含現有的及未來的觀測值) 會小於或等於 UTL 值。

3.2.4 國內歷年農地稻米砷濃度超標案例

計畫三處樣區總計調查 31 筆農地坵塊，依據調查結果顯示樣區鄰近環境之土壤與地下水無明顯砷濃度，均低於灌溉用水砷濃度標準(0.050mg/L)與土壤砷濃度監測標準(30mg/kg)，為評估更多稻米砷濃度偏高案例之土壤與地下水砷濃度，本計畫續依 2707 筆稻米歷史資料篩選 48 筆稻米高風險坵塊如表 3.2-23，進行農地土壤及引灌水砷濃度快篩，已於 8 月 25 日、26 日與 31 日完成採樣，快篩結果如圖 3.2-15 與圖 3.2-16，農地土壤平均砷濃度為 6.5mg/kg，僅 1 筆農地土壤砷高於監測標準未達管制標準，引灌水平均砷濃度為 0.019mg/L，且均低於灌溉用水標準(0.05mg/L)，在計畫樣區調查土壤與地下水砷濃度均未過相關標準下，彙整近年農地砷米超標案例詳後所述。

表 3.2-23 計畫篩選 48 筆農地坵塊

| | 縣市 | 地區 | 地段 | 地號 |
|---|-----|-----|--------|-----------------------------|
| 1 | 雲林縣 | 虎尾鎮 | 北平段 | ○○○○ |
| | | | 竹圍子段 | ○○○、○○○、○○○、○○○、○○○、○○○ |
| | | | 廉使南段 | ○○○、○○○ |
| 2 | 彰化縣 | 和美鎮 | 大嘉段 | ○○○、○○○、○○○、○○○、○○○ |
| | | | 嘉詔段 | ○○○○ |
| | | | 南興段 | ○○○、○○○ |
| 3 | 新竹市 | 新竹市 | 香雅段 | ○○○、○○○、○○○、○○○、○○○ |
| | | | 忠孝段 | ○○○、○○○、○○○ |
| 4 | 桃園市 | 蘆竹區 | 新庄子段 | ○○○、○○○、○○○、○○○、○○○、○○○、○○○ |
| 5 | 臺北市 | 北投區 | 豐年段一小段 | ○○○○ |
| 6 | 台中市 | 后里區 | 后里段 | ○○○○(東、西、南、北 4 筆坵塊) |
| | | | 墩北段 | ○○○、○○○、○○○ |
| | | 烏日區 | 溪尾北段 | ○○○、○○○、○○○、○○○、○○○、○○○、○○○ |
| | | 龍井區 | 田水段 | ○○○○ |

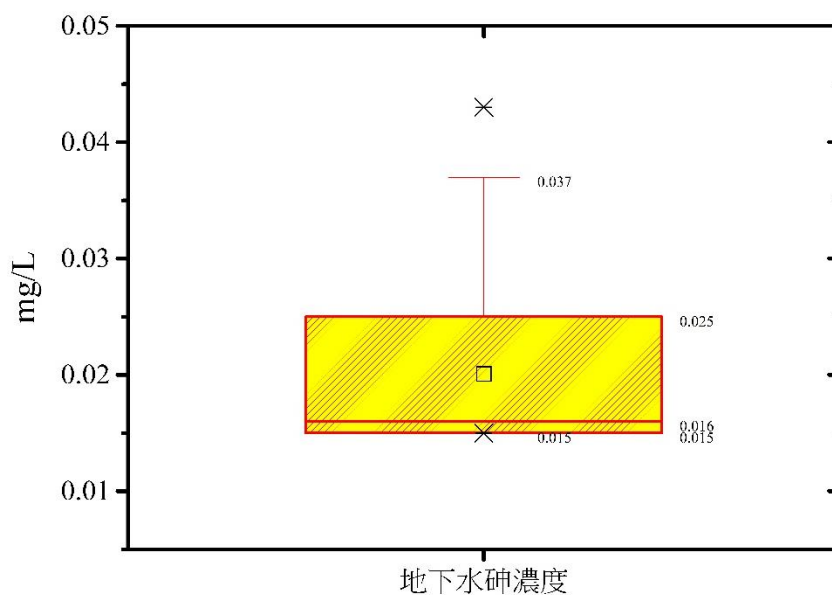


圖 3.2-15 計畫篩選 48 筆農地坵塊地下水快篩結果圖

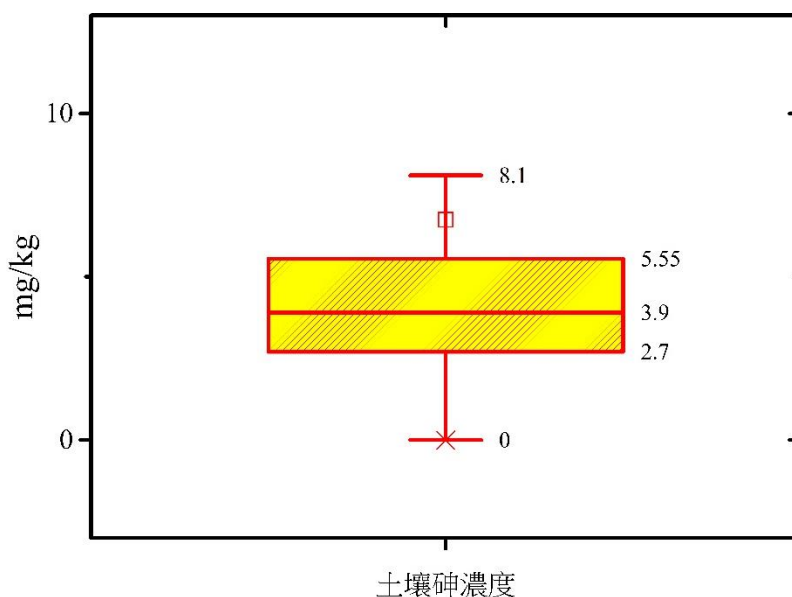


圖 3.2-16 計畫篩選 48 筆農地坵塊土壤快篩結果圖

彙整自衛生福利部於民國 108 年 1 月 1 日正式訂定「食品中污染物質及毒素衛生標準」實施以來稻米砷超標農地案例，惟縣市緊急應變調查，農地土壤砷濃度與，引灌水砷濃度均低於相關標準。統整本計畫所掌握之歷年國內土壤調查成果總計 28,800 筆，平均土壤砷濃度為 8.5mg/kg，地下水砷潛勢範圍外資料筆數約佔

76%，平均土壤砷濃度為 7.8 mg/kg，地下水砷潛勢範圍內資料數約占 24%，平均土壤砷濃度為 12.5 mg/kg，對比農地砷米超標案例，農地土壤砷濃度無偏高之現象，趨近於我國土壤母質背景砷濃度。在檢測農地之選定已針對環保機關公告污染控制場址鄰近農地、公告解除控制場址之管制或定期監測之高風險農地，與計畫樣區環境調查，土壤砷濃度皆低於監測標準下，各縣市環保機關如何進行相關因應策略，為本工項工作之重點，詳 3.3 節所述。

3.3 縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

3.3.1 農作物重金屬等污染監測管制作業程序

依據「土壤及地下水污染整治法」及「食品安全衛生管理法」相關規定，我國建立農作物重金屬等污染監測管制作業程序，由地方政府、農委會農糧署及各區分署、農委會各區農業改良場、農委會農業藥物毒物試驗所共同持續辦理農作物重金屬等污染監測，各單位權責分工為（一）地方政府：由各直轄市及縣（市）政府辦理監測管制各項工作，或由各直轄市及縣（市）政府督導鄉（鎮、市、區）公所辦理前述工作。（二）農委會農糧署及各區分署：成立計畫輔導縣市政府辦理農作物污染監測管制、受污染農作物之管控、銷毀及補償等工作；農糧署（糧食產業及糧食儲運組等）及各區分署對於污染稻穀等作物之管控、銷毀等應予協助。（三）農委會各區農業改良場：協助農作物重金屬等污染監測採樣技術指導，協助作物遭受污染損害鑑定、查估等。（四）農委會農業藥物毒物試驗所：農作物重金屬等檢驗及採樣與鑑定相關技術支援及協助。

監測農田之選定係由地方政府選定，監測農田之類別包括：

- （一）環保機關公告污染控制或整治場址鄰近農地，並以鎘、汞、鉛或砷污染場址鄰近農地所產出食用作物為優先監測對象。

- (二) 環保機關完成整治及公告解除控制場址之管制，經地力回復施作恢復耕作農地，並以鎘、汞、鉛或砷解除控制場址農地所產出食用作物為優先監測對象。
- (三) 經環保機關調查檢驗其土壤鎘、汞、鉛或砷濃度接近土壤污染監測或管制標準之農地。
- (四) 土壤重金屬濃度未達土污法所定土壤污染監測或管制標準值，但所產出農糧產品之重金屬含量曾超過食安法所定重金屬限量標準之農地（該等農地定義為高污染風險農地）。
- (五) 灌溉渠道之水質或底泥重金屬經農田水利單位監測重金屬濃度偏高之灌區農地，其食用作物重金屬監測項目以食安法管制之鎘、汞、鉛或砷等重金屬為主。
- (六) 針對田間監測食用作物之重金屬含量結果雖合格，但其鎘、汞、鉛、無機砷或總砷含量偏高仍須持續監測之農地。
- (七) 鄰近工業區或高污染潛勢事業單位之農地，或灌溉溝渠源自該等區域之灌區農地。
- (八) 其他：田間食用作物疑受重金屬或其他污染物污染之農地。

各地方政府需監測之農田選定後，即以公文函報藥毒所及農糧署，並於規劃之採樣日期進行採樣並遞送至農委會農業藥物毒物試驗所，藥毒所完成檢驗後，如為合格案件，應將檢驗結果函送直轄市或縣（市）政府及農糧署，並由直轄市或縣（市）政府轉知鄉（鎮、市、區）公所及受檢農民（或由採樣單位將檢驗結果轉知受檢農民。如為檢驗不合格案件，檢驗結果當日，由藥毒所先以電話或傳真方式，立即通報農糧署與轄區分署及地方政府等相關機關後，藥毒所立即將檢驗報告以密件函送農糧署。農糧署再以密件函轉環保署、衛生福利部、直轄市或縣（市）政府、農業改良場及農糧署轄區分署等相關機關；另由直轄市或縣（市）政府轉知環保局、衛生局、鄉（鎮、市、區）公所及受檢農民。

直轄市或縣（市）政府接獲檢驗不合格通知，應立即轉知鄉（鎮、市、區）公所及農民，確認受污染之農田地號範圍，受污染農作物由地方政府農業單位協助農民僱工迅速統一採收，並聯繫直轄市或縣（市）環保局安排立即銷毀。而後依據處理農地污染事件標準作業原則、土壤及地下水污染事件應變處理參考手冊進行緊急應變，調查土壤、底泥、地下水污染情形及土壤、底泥、地下水污染物來源。

農地土壤經檢驗確定污染物濃度已達土壤污染管制標準者直轄市、縣(市)政府應儘速依法公告受污染農地為污染控制場址，並進行後續污染改善控制及整治工作疑似遭污染農地之土壤經檢驗確定污染物濃度未達土壤污染監測標準及土壤污染管制標準者，應由地方環保機關報請環保署土污基管會予以結案，並由該會知會相關機關。

自食品中污染物質及毒素衛生標準限定食米中砷含量標準以來，農地稻米砷高於限量標準事件其土壤砷濃度均未超過監測標準，依據處理農地污染事件標準作業原則，未達土壤污染監測標準及土壤污染管制標準者，除農業單位辦理農作物污染監測管制、受污染農作物之管控、銷毀及補償等工作外，由地方環保機關報請環保署土污基管會予以結案，依國內上述案例得知，稻米砷濃度偏高農地其土壤並無明顯砷含量，爰此，彙整國內外研究資料，探討可能之影響稻米砷濃度累積成因，以研擬地方環保機關接獲農業單位通報稻米超標事件之因應作為。

3.3.2 稻米砷與環境影響因子之相關性

依據國內外研究文獻，除環境土壤與地下水中砷含量外，影響稻米砷吸收因子主要可分為五大項，分別為砷的型態、氧化還原條件、土壤 pH 值、有機物作用與水稻基因型，詳如后所述：

一、砷型態

土壤中的砷可分為有機砷與無機砷，最常見的無機砷為砷酸鹽(五價砷 As^V)及亞砷酸鹽(三價砷 As^{III})，而環境中的微生物或藻類可將無機砷甲基化成甲基化的有機砷物種(Bentley,2002)，其中以單甲基砷酸(MMA)及(DMA)為主，該毒性按以下順序排列，依次為 $As^{III} > As^V > MMA > DMA$ ，然而 Marin 等人研究曾提及砷對水稻的生物利用度順序為 $As^{III} > MMA > As^V > DMA$ ，Abedin 等人認為有機砷的吸收率遠低於無機砷。

二、氧化還原條件

在好氧土壤下，砷以砷酸鹽 (As^V) 的形式為主要存在物種，並吸附在羥基氧化鐵上，降低了作物對砷的利用。然而，在還原環境等浸水水田下，以亞砷酸鹽 (As^{III}) 為主要存在型態，如圖 3.3-1。農地為長期浸水狀態下，還原條件增強了砷的遷移率，自三價氧化鐵(羥基氧化物)中釋放出，促進砷的吸收(Elizabeth et al.,2015)，詳如章節 5.3。

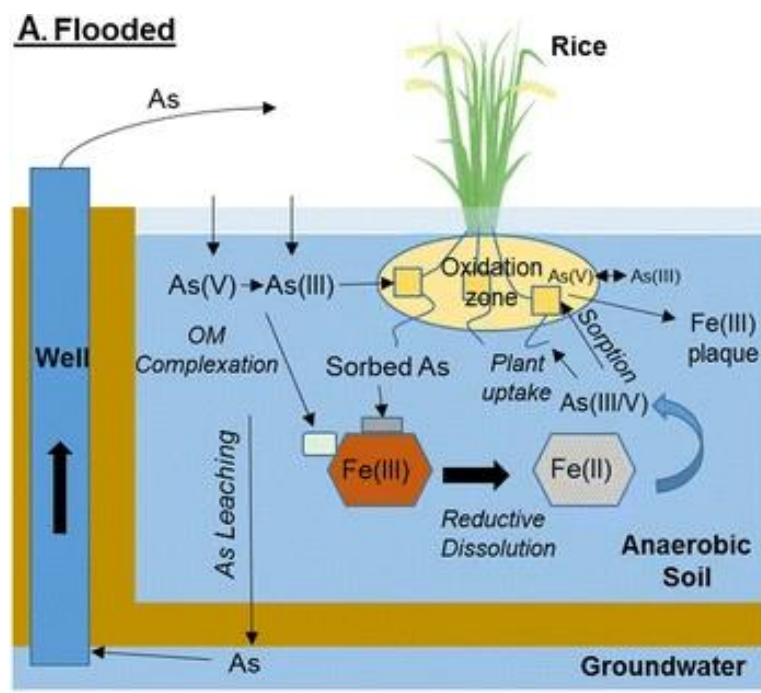


圖 3.3-1 浸水農地下砷循環過程(Elizabeth et al.,2015)

三、土壤 pH 值

水稻吸收砷能力皆會伴隨 pH 值高低影響，Signes-Pastor 等人指出在低 pH 值 (pH<5) 下，砷更容易從羧基氧化結合物質釋出，增強作物對砷的吸收，Bhattacharya 也支持了水稻中砷濃度與土壤 pH 值之間的負相關關係。另一方面，(Ahmed,2011；Williams,2011)認為作物砷積累和土壤 pH 值之間具有正相關關係，較高的土壤 pH 會增加負表面電荷，從而促進砷從鐵氧化物中釋出，進而增加了植物中砷的積累。

四、有機物作用

許多有機酸，如醋酸、甲酸及腐植酸等，能促使重金屬元素在地下水遷移，部分重金屬亦可直接與有機酸結合並與其遷移。當有機物含量增加時，鐵礦上之砷吸附量減少，有利於砷釋出。Turpeinen 等人認為土壤有機質與稻米中砷的積累之間存在正相關關係，土壤中有機物增加會降低土壤氧化還原電位來提高砷從固相中的遷移率。

五、稻米品種基因

不同品種的稻米其對砷吸收能力也不同，國內外已有大量文獻指出相同的結果，以國內來說所示王泰威等人與農試所的研究指出，水稻藉由根系的輻射狀釋氧在根表釋出氧氣，能夠在根表及根圈土壤形成氧化鐵，截留土壤中的砷並降低水稻對砷的吸收，該研究以嘉義民雄受砷污染之農地土壤做為試驗地，並選用 21 種台灣良質米之品種，探討不同品種的氧化力差異及穀粒的砷累積的關係，試驗結果發現，鐵膜與根圈之砷鐵比值與穀粒砷濃度呈正相關，表示當根表鐵膜截留愈多的砷，穀粒的無機砷濃度也會愈高，詳如 5.2 節。

水稻中砷含量累積機制國內外已有許多研究，部分研究表明水稻中的砷含量取決與灌溉水與土壤中的砷含量，然而由上述文獻得知，稻米砷吸收機制複雜，仍需考慮多項環境因子 (Prafulla Kumar Sahoo,2013)。如 Elizabeth 研究顯示稻米砷濃度偏高農地，

其土壤砷含量並非皆高於相關標準，惟土壤砷濃度偏高農地與其稻米砷含量呈正相關，地下水中的總砷含量也會直接影響稻米砷的總砷濃度(Tom Murphy,2018)，如圖 3.3-2 與圖 3.3-3。綜整上述，為使縣市環保機關接獲砷米超標通報事件後能有所參照，依據不同土壤與地下水砷濃度下，研擬縣市環保機關其因應作為，詳如 3.3.3 節。

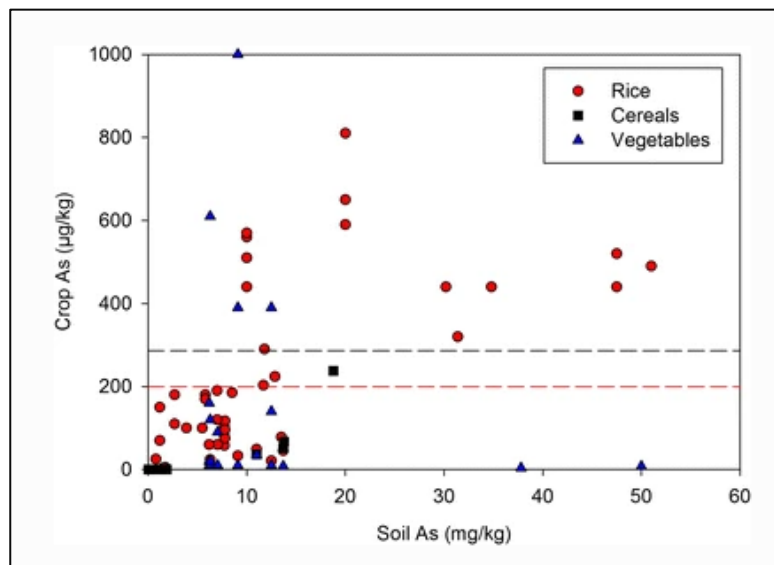


圖 3.3-2 土壤與作物砷濃度分布(Elizabeth,2015)

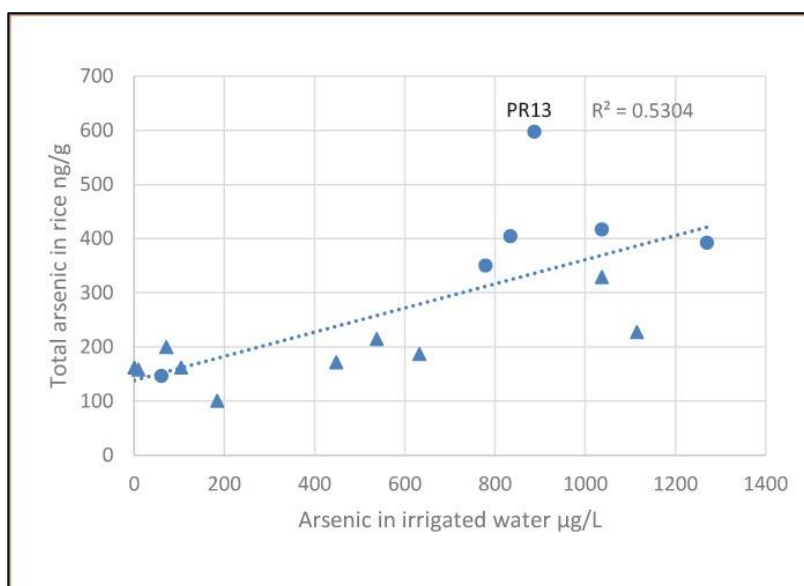


圖 3.3-3 灌溉水與稻米總砷濃度相關性(Tom Murphy,2018)

3.3.3 縣市環保機關稻米砷超標通報事件因應策略研擬

依據農作物重金屬等污染監測管制作業程序，藥毒所完成檢驗後，如為檢驗不合格案件，藥毒所立即將檢驗報告以密件函送農糧署，農糧署再以密件函轉環保署、衛生福利部、直轄市或縣(市)政府等相關機關；另由直轄市或縣(市)政府轉知環保局，地方環保機關應立即依土污法第七條規定進行農地污染查證工作，考量砷米來源複雜，為有效研判砷污染來源與應變作為，本計畫擬定縣市環保機關接獲稻米砷超標事件，建議之調查方向與因應策略，其適用條件如下。

- (一) 地方環保機關接獲稻米砷超標通報時啟動。
- (二) 稻米僅有砷濃度超過限量標準。
- (三) 本策略為建議縣市環保機關依據處理農地污染事件標準作業原則之調查方向與因應策略。

一、污染查證

依據處理農地污染事件標準作業原則，當地方環保機關接獲農業、衛生機關(單位)依食用作物檢測結果，懷疑農地受到污染時，地方環保機關於填具「農地污染事件調查通報單」後，應立即依土污法第七條規定進行農地污染查證工作，各級主管機關得派員攜帶證明文件，進入公私場所，調查土壤、底泥、地下水污染情形及土壤、底泥、地下水污染物來源。由 3.3.2 節得知，稻米砷濃度受土壤砷濃度、地下水砷濃度與水田環境影響，考量水田環境影響之複雜性，在進行農地污染查證時，需先釐清是否為人為污染再探討農地土壤與地下水是否具砷來源之可能性。

爰此，應先通知土地耕作人並進行現勘，現勘訪談作業應蒐集周邊人為污染相關資料，訪談土地所有人(耕作人)確認基本資料，瞭解農地水源或地下水使用歷史期間及現況。針對

不同農地引灌水源使用型態進行查證工作，包含針對土壤、地下水、渠道底泥及灌溉用水，詳后所述。

(1)農地灌溉水源型態：地下水

若農地引灌水源僅含地下水，則針對農地土壤進行重金屬檢測(砷 As、鎘 Cd、鉻 Cr、銅 Cu、汞 Hg、鎳 Ni、鉛 Pb、鋅 Zn)，與民井地下水砷檢測，並利用地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台釐清該筆農地所在村里是否為地下水砷濃度潛勢範圍。

(2)農地灌溉水源型態：渠道水

若農地引灌水源僅為渠道水，則針對農地土壤、灌溉渠道用水與渠道底泥進行重金屬檢測(砷 As、鎘 Cd、鉻 Cr、銅 Cu、汞 Hg、鎳 Ni、鉛 Pb、鋅 Zn)，同時需釐清渠道水來源是否包含地下水，若是則需利用地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台釐清該筆農地所在村里是否為地下水砷濃度潛勢範圍，若否則無需釐清。

(3)農地灌溉水源型態：地下水與渠道水並用

若農地引灌水源為地下水與渠道水並用，則針對農地土壤、灌溉渠道用水與渠道底泥進行重金屬檢測(砷 As、鎘 Cd、鉻 Cr、銅 Cu、汞 Hg、鎳 Ni、鉛 Pb、鋅 Zn)，地下水砷調查，同時利用地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台釐清該筆農地所在村里是否為地下水砷濃度潛勢範圍。

以上重金屬調查項目可依縣市環保機關評估周邊可能污染源資料進行增減，各引灌水源建議調查項目如表 3.3-1。

表 3.3-1 不同農地引灌水源建議查證與釐清項目

| 農地 引灌水 源型態 | 建議採樣與釐清項目 | | | | |
|-------------------|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| | 農地 土壤 | 渠道水與 渠道底泥 砷濃度 | 民井 地下水 | 釐清渠道 水來源是 否包含地 下水 | 是否鄰近 地下水砷 濃度潛勢 範圍 |
| 地下水 | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| 渠道水 | ✓ | ✓ | | ✓ | Δ |
| 地下水/ 渠道水 並用 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

二、情境歸納

依據上述調查結果進行成因歸納情境樣態，其原則如圖 3.3-4，惟縣市環保機關若針對目標農地調查結果存在無法合理解釋者，如該區域具天然鉻、鎳等元素含量較高之蛇紋岩與玄武岩地質地區，則不適用本情境歸納。

- (1) 應先釐清是否為人為污染，若農地土壤具砷以外之項目超過管制標準則直接歸為具人為污染之虞(情境一)。
- (2) 若農地僅土壤砷超過「土壤污染管制標準」(60mg/kg)，則歸為土壤砷濃度成因(情境二)
- (3) 若農地並僅砷或無其他重金屬超過相關標準，惟其渠道底泥有砷以外之項目濃度高於底泥品質指標上限值，或灌溉渠道用水(無引灌地下水之事實)有砷以外之項目濃度超過相關標準，則無法歸為自然成因(情境三)。
- (4) 在排除具人為污染之虞與農地土壤砷濃度成因下，若其引灌水源包含地下水且砷濃度大於第一類地下水管制標準，或該筆農地所在村里為地下水砷濃度潛勢範圍，則歸納為引灌富砷地下水成因(情境四)。
- (5) 若已排除上述 4 列條件，該筆農地無人為污染之虞、

土壤砷濃度與富砷地下水等成因，則歸為水田環境成因(情境五)

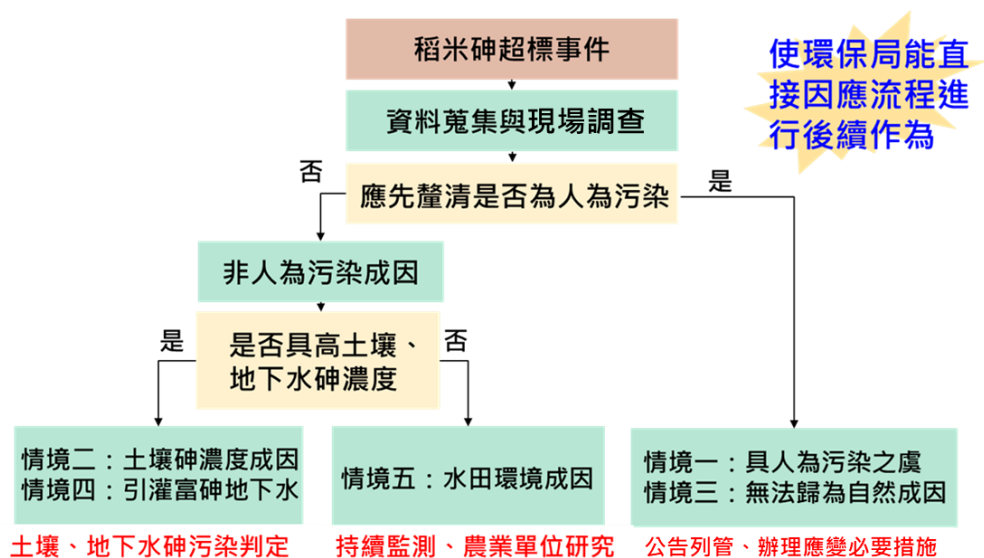


圖 3.3-4 縣市環保機關稻米砷超標通報事件建議調查原則

三、應變作為

直轄市或縣（市）政府接獲農地稻米砷濃度檢驗不合格通知，除立即將農作物由地方政府農業單位協助農民僱工迅速統一採收，並聯繫直轄市或縣（市）環保局安排立即銷毀外，相關情境歸納應變作為如下。

(1)情境一：具人為污染之虞

若農地土壤具砷以外之項目達土壤污染管制標準者，依處理農地污染事件標準作業原則辦理，直轄市、縣(市)政府應儘速依法公告受污染農地為污染控制場址，並進行污染改善控制及整治工作。

(2)情境二：土壤砷濃度成因

若土壤僅砷濃度超過管制標準，則依土壤砷污染判定及處理原則辦理，若判定為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，直轄市、縣(市)主管機關應依土污法第 12 條第 9 項規定將檢測結果通知相關農業、水利及衛生單位目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關

事宜。各相關權責機關執行包含監測土壤及地下水、提供替代灌溉水源、食用農作物檢測與輔導轉作、辦理地下水水權登記與檢視用水情形、評估農民及民眾健康風險等事項。

惟其無法判定自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準者，應依土污法第 12 條第 2 項規定公告為土壤污染控制場址，並依該法相關規定辦理後續管制及改善事宜。

(3)情境三：無法歸為自然成因

若農地土壤無重金屬超過管制標準，惟其渠道底泥或灌溉渠道用水有砷以外之項目濃度超過相關標準則無法繼續歸納後續成因，並依農作物重金屬等污染監測管制作業程序納為高污染風險農地辦理相關工作。

(4)情境四：引灌富砷地下水成因

若歸為引灌富砷地下水成因，則依據地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程進行判定，目標農地位於地下水砷潛勢範圍內，其地下水水質檢測砷濃度超過地下水污染監測標準時，得無須辦理應變措施等工作，並歸納為受區域水文地質條件及環境背景因素影響所致。

當目標農地位於地下水砷潛勢範圍外，其地下水水質檢測砷濃度超過地下水污染監測標準時，應依地下水砷污染來源判定流程，判定該區地下水砷污染形成原因，回饋地下水砷污染潛勢範圍。

(5)情境五：水田環境成因

若已排除具人為污染之虞及環境富砷因素，砷並無明顯介入農業生產環境之事實，作物發生砷污染時應歸為水田環境成因，彙整農地基本資料及使用情形，包含土壤特性與灌溉用水方式等背景資訊，回饋農業單位回饋農業單位，檢視農民耕作型態中是否隱含高風險因子，並依農作

物重金屬等污染監測管制作業程序納為高污染風險農地辦理相關工作，如表 3.3-2。

表 3.3-2 縣市環保機關稻米砷超標通報事件不同環境砷濃度因應策略研擬

| 情境 | 判定標準 | 因應策略 |
|------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 情境一 具人為污染之虞 | 土壤具砷以外之項目 達土壤污染管制標準 | 依處理農地污染事件標準作業原則辦理，公告受污染農地為污染控制場址 |
| 情境二 土壤砷濃度成因 | 土壤僅砷濃度超過管制標準 | 依土壤砷污染判定及處理原則辦理 |
| 情境三 無法歸納為自然成因 | 渠道底泥或灌溉渠道用水有砷以外之項目濃度超過相關標準則 | 納為高污染風險農地 |
| 情境四 引灌富砷地下水成因 | 地下水砷濃度大於監測標準，或該筆農地所在村里為地下水砷濃度潛勢範圍 | 依據地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程進行判定 |
| 情境五 水田環境成因 | 無人為污染之虞、無土壤砷濃度與富砷地下水等成因，則歸納為水田環境成因 | 彙整農地基本資料及使用情形，回饋農業單位 |

3.4 小結

衛生福利部於民國 108 年 1 月 1 日正式實施「食品中污染物質及毒素衛生標準」，訂定穀類含米中米去殼無機砷限量標準，為使地方環保機關在相關作為上有所參照，本計畫篩選 3 處地下水砷濃度潛勢範圍外稻米砷濃度較高樣區，進行環境富砷濃度探討，總計調查 31 筆農地坵塊，依據調查結果顯示樣區鄰近環境之土壤與地下水均無明顯砷濃度。

彙整歷年食米砷高於限量標準農地，各縣市環保機關接獲農業單位通報後，立即進行緊急應變針對污染農地查證，農地土壤與地下水砷含量均低於相關標準，農地土壤砷濃度亦無偏高之現象，

趨近於我國土壤母質背景砷濃度。

在各縣市稻米砷濃度超標案例與計畫樣區環境調查，土壤砷濃度皆低於監測標準下，縣市環保機關在接獲農業單位稻米砷超標通報事件，如何進行相關因應策略，為本工項工作之重點，依據國內外研究文獻，除了環境土壤與地下水砷含量外，影響稻米砷吸收因子可分為五大項，分別為砷的型態、氧化還原條件、土壤 pH 值、有機物作用與水稻基因型，稻米砷吸收機制複雜，為使縣市環保機關接獲砷米超標通報事件後能有所參照，本計畫依據農地引灌水源型態建議之查方向，研擬不同土壤、引灌水與底泥砷濃度調查結果下，各情境縣市環保機關因應策略，另外本計畫大量應用土壤及地下水快篩設備，大幅減少現地調查成本，惟在農作物快篩國內外尚未有相關成果，未來可持續追蹤該領域之研究進展，各縣市環保機關砷米超標通報事件因應策略如下。

- (1) 情境一具人為污染之虞，其土壤具砷以外之項目達土壤污染管制標準，則依處理農地污染事件標準作業原則辦理，公告受污染農地為污染控制場址。
- (2) 情境二土壤砷濃度成因，其土壤僅砷濃度超過管制標準，則依土壤砷污染判定及處理原則辦理。
- (3) 情境三無法歸納為自然成因，其渠道底泥或灌溉渠道用水有砷以外之項目濃度超過相關標準則，則納為高污染風險農地。
- (4) 情境四引灌富砷地下水成因，其地下水砷濃度大於監測標準，或該筆農地所在村里為地下水砷濃度潛勢範圍，則依據地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程進行判定。
- (5) 情境五水田環境成因，其無人為污染之虞、無土壤砷濃度與富砷地下水等成因，則歸納為水田環境成因，彙整農地基本資料及使用情形，回饋農業單位。

第四章 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定

國內土壤砷濃度偏高區域，多受區域水文地質條件及環境背景因素影響，環保署為使地方機關辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作有所依循，自民國 107 年 3 月 28 日公布土壤砷污染判定及處理原則，然而原則發布以來地方機關時常反映無法判定、判定困難等執行問題，因此在本議題中擇定 3 處歷史土壤濃度達管制標準樣區，進行現場調查，並依調查結果釐清土壤砷污染來源，並回饋土壤砷污染判定流程與評分級距修正參考，以利後續地方環保機關參照，樣區篩選原則如章 4.1 節；樣區調查結果如 4.2 節；農地土壤砷濃度偏高來源判定修正規劃詳如 4.3 節，工作流程如圖 4.1-1。

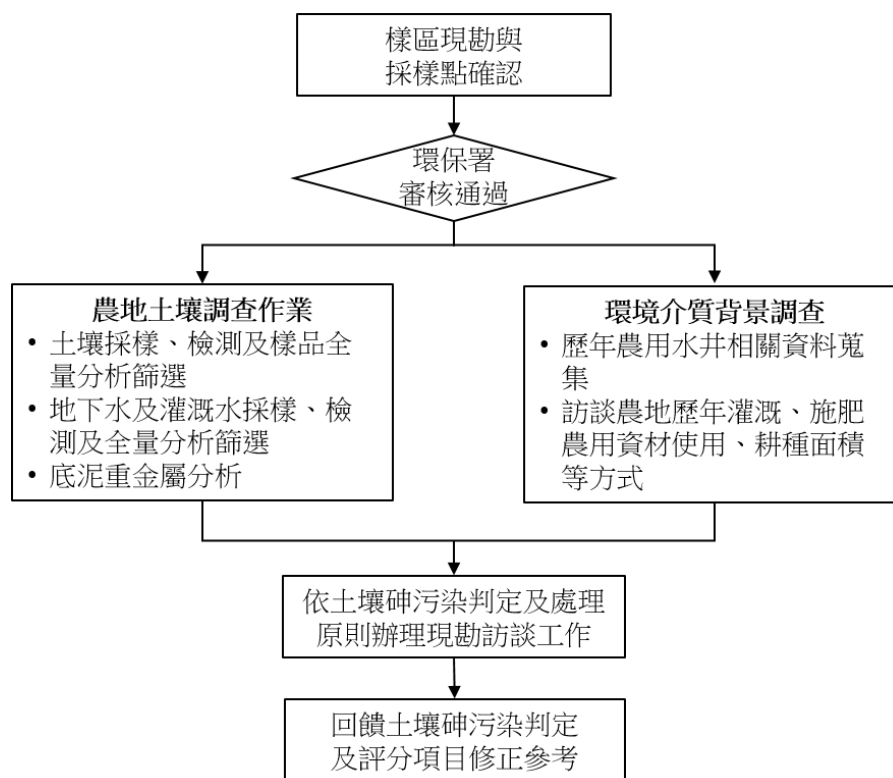


圖 4.1-1 地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定工作流程圖

4.1 目標調查樣區篩選

4.1.1 歷年土壤砷濃度統計

自民國 81 年至 97 年，農試所、各地區農業改良場與國立中興大學土壤環境科學系等單位共同進行全臺灣及澎湖地區土壤調查(網格為 250×250 公尺)。該次調查點數超過 13 萬點位，每個點位依不同土壤深度採樣，採樣深度分別為 0~15、15~30、30~60、60~90、90~120、120~150 公分，土壤樣品尚完整保存於農試所，後續在環保署於 103 年執行之「農田土壤砷及硒背景值資料分析計畫」，委請農試所針對前述保留之土壤樣品，以建立 1,000 公尺網格為原則，篩選表土與裡土約 16,000 個樣品，進行砷濃度分析，本工項彙整上述土壤調查成果並結合前期計畫與近年環保署土壤調查成果，總計 28,800 筆土壤砷濃度檢測數據。

上述 28,800 筆土壤檢測數據，依檢測年份縣市排序如表 4.1-1，以彰化縣調查數量最多佔總筆數 30%，其次為桃園市佔 18%、臺中市佔 6%。以不同砷濃度為區分如表 4.1-2，相同坵塊表土與裡土皆列入計算，國內平均土壤總砷濃度低於 20mg/kg 者佔總數 94.6%，達砷土壤污染監測標準 30 mg/kg 與污染管制標準 60 mg/kg 的數量分別為 498 筆佔 1.72%與 151 筆佔 0.52%。在土壤砷污染判定及處理原則中啟動時機為土壤砷達污染管制標準，因此以土壤管制標準濃度為首要篩選條件，3 處目標樣區規劃如章節 4.1.2 所述。

表 4.1-1 土壤砷濃度縣市檢測年份分佈統計

| 縣市/ 年分 | 82 | 83 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 總計 | 百分比 (%) | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------------|------|
| 宜蘭縣 | 2 | 33 | 41 | 0 | 0 | 15 | 24 | 4 | 84 | 50 | 12 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 145 | 420 | 1.4 |
| 花蓮縣 | 18 | 5 | 48 | 0 | 11 | 0 | 24 | 72 | 101 | 8 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 318 | 1.1 |
| 南投縣 | 1 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 67 | 0 | 4 | 105 | 321 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 559 | 1.9 |
| 屏東縣 | 0 | 79 | 143 | 4 | 80 | 43 | 5 | 0 | 19 | 54 | 282 | 20 | 91 | 166 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 221 | 1207 | 4.1 |
| 苗栗縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 94 | 101 | 131 | 246 | 0 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 637 | 2.2 |
| 桃園市 | 10 | 28 | 19 | 6 | 34 | 1 | 5 | 19 | 558 | 347 | 157 | 95 | 119 | 63 | 0 | 0 | 91 | 454 | 1882 | 980 | 0 | 501 | 0 | 5369 | 18.6 | |
| 高雄市 | 0 | 15 | 7 | 0 | 41 | 2 | 0 | 9 | 200 | | 118 | 33 | 232 | 108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 152 | 917 | 3.1 |
| 基隆市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.02 |
| 雲林縣 | 0 | 0 | 6 | 76 | 134 | 3 | 0 | 76 | 84 | 50 | 233 | 3 | 242 | 42 | 488 | 1 | 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 389 | 1865 | 6.4 |
| 新北市 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 0 | 25 | 3 | 105 | 13 | 94 | 0 | 52 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 299 | 1.0 |
| 新竹市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1103 | 4 | 2 | 4 | 6 | 7 | 63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1189 | 4.1 |
| 新竹縣 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 6 | 32 | 164 | 35 | 27 | 73 | 126 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 480 | 1.6 |
| 嘉義市 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 112 | 0 | 0 | 6 | 10 | 2 | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 183 | 0.6 |
| 嘉義縣 | 0 | 17 | 52 | 8 | 0 | 0 | 0 | 3 | 95 | 0 | 8 | 151 | 485 | 149 | 228 | 50 | 220 | 68 | 3 | 11 | 144 | 0 | 238 | 1930 | 6.7 | |
| 彰化縣 | 50 | 99 | 98 | 0 | 10 | 0 | 8 | | 3544 | 31 | 52 | 99 | 360 | 180 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | 501 | 2299 | 1487 | 6 | 8846 | 30.7 | |
| 臺中市 | 0 | 27 | 1 | 0 | 0 | 0 | 52 | 3 | 540 | 57 | 14 | 0 | 31 | 0 | 76 | 0 | 0 | 917 | 28 | 80 | 39 | 25 | 2 | 1892 | 6.5 | |
| 臺東縣 | 16 | 44 | 82 | 0 | 20 | 39 | 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 239 | 0.8 |
| 臺南市 | 80 | 212 | 139 | 34 | 0 | 0 | 3 | 36 | 371 | 243 | 30 | 30 | 52 | 246 | 217 | 127 | 51 | 0 | 143 | 0 | 0 | 60 | 214 | 2288 | 7.9 | |
| 座標 錯誤 | 0 | 9 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 7 | 15 | 15 | 31 | 8 | 15 | 23 | 25 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 157 | 0.5 |
| 總計 | 177 | 580 | 639 | 128 | 336 | 103 | 236 | 332 | 7136 | 1167 | 1349 | 581 | 2090 | 1176 | 1152 | 180 | 425 | 1439 | 2056 | 1572 | 2482 | 2073 | 1391 | 28800 | - | |
| 比例 | 0.6% | 2.0% | 2.2% | 0.4% | 1.1% | 0.3% | 0.8% | 1.1% | 24.7% | 4.0% | 4.6% | 2.0% | 7.2% | 4.0% | 4.0% | 0.6% | 1.4% | 5.0% | 7.1% | 5.4% | 8.6% | 7.2% | 4.8% | - | - | |
| 總比例 | 0.6% | 2.6% | 4.8% | 5.3% | 6.5% | 6.8% | 7.6% | 8.8% | 33.6% | 37.6% | 42.3% | 44.3% | 51.6% | 55.7% | 59.7% | 60.3% | 61.8% | 66.8% | 73.9% | 79.4% | 88.0% | 95.2% | 100% | - | - | |

表 4.1-2 土壤砷濃度縣市濃度分佈統計

| 縣市/ 濃度分級 (mg/kg) | 7.5 以下 | 7.5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60 以上 | 總計 (筆) | 百分比 (%) |
|------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-----------|------------|
| 宜蘭縣 | 79 | 58 | 195 | 54 | 19 | 9 | 2 | 4 | 420 | 1.46% |
| 花蓮縣 | 161 | 73 | 78 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 318 | 1.10% |
| 南投縣 | 165 | 188 | 194 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 559 | 1.94% |
| 屏東縣 | 196 | 457 | 508 | 34 | 7 | 4 | 1 | | 1207 | 4.19% |
| 苗栗縣 | 350 | 169 | 116 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 637 | 2.21% |
| 桃園市 | 3645 | 1138 | 580 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5369 | 18.64% |
| 高雄市 | 185 | 286 | 396 | 34 | 11 | 3 | 0 | 2 | 917 | 3.18% |
| 基隆市 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.02% |
| 雲林縣 | 298 | 360 | 1011 | 121 | 31 | 13 | 8 | 23 | 1865 | 6.48% |
| 新北市 | 109 | 59 | 82 | 47 | 2 | 0 | 0 | 0 | 299 | 1.04% |
| 新竹市 | 1008 | 118 | 57 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1189 | 4.13% |
| 新竹縣 | 337 | 77 | 65 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 480 | 1.67% |
| 嘉義市 | 28 | 46 | 109 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 183 | 0.64% |
| 嘉義縣 | 358 | 408 | 721 | 184 | 81 | 38 | 32 | 108 | 1930 | 6.70% |
| 彰化縣 | 2274 | 1907 | 4120 | 465 | 36 | 22 | 10 | 12 | 8846 | 30.72% |
| 臺中市 | 1506 | 242 | 142 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1892 | 6.57% |
| 臺東縣 | 116 | 67 | 53 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 239 | 0.83% |
| 臺南市 | 670 | 675 | 861 | 74 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2288 | 7.94% |
| 座標錯誤 | 39 | 38 | 63 | 13 | 1 | 0 | 1 | 2 | 157 | 0.55% |
| 總計 | 11526 | 6368 | 9352 | 1056 | 202 | 90 | 55 | 151 | 28800 | - |
| 百分比 | 40.02% | 22.11% | 32.47% | 3.67% | 0.70% | 0.31% | 0.19% | 0.52% | - | 100% |
| 累計比例 | 40.02% | 62.13% | 94.60% | 98.27% | 98.97% | 99.28% | 99.48% | 100% | - | 100% |

4.1.2 潛勢範圍外樣區篩選原則與採樣規劃

為探討地下水潛勢範圍外土壤偏高成因，對比歷年 151 筆達土壤砷濃度達管制標準之農地與潛勢範圍分布，位處潛勢範圍外共 10 筆，如表 4.1-3 與圖 4.1-2，分別為嘉義縣民雄鄉菁埔村、嘉義縣民雄鄉鎮北村、嘉義縣民雄鄉中央村、彰化縣大城鄉三豐村、雲林縣大埤鄉尚義村、雲林縣大埤鄉和豐村與雲林縣台西鄉和豐村，其中菁埔村、尚義村與和豐村相同地點表裡土均檢出土壤超標。然而嘉義縣 109 年度土壤及地下水污染調查及查證工作計畫中，由

富立業工程顧問股份有限公司進行嘉義縣農地土壤富砷成因判定工項，因此在本計畫中嘉義縣不列入樣區篩選規劃。

表 4.1-3 地下水砷潛勢區外農地土壤砷濃度超標統計

| 項次 | 縣市 | 鄉鎮 | 村里 | 土壤砷濃度 mg/kg |
|----|-----|-----|-----|-------------|
| 1 | 嘉義縣 | 民雄鄉 | 菁埔村 | 83、108 |
| 2 | 嘉義縣 | 民雄鄉 | 鎮北村 | 167 |
| 3 | 嘉義縣 | 民雄鄉 | 菁埔村 | 67 |
| 4 | 嘉義縣 | 民雄鄉 | 中央村 | 68 |
| 5 | 彰化縣 | 大城鄉 | 三豐村 | 95 |
| 6 | 雲林縣 | 大埤鄉 | 尚義村 | 94、123 |
| 7 | 雲林縣 | 臺西鄉 | 和豐村 | 69、70 |

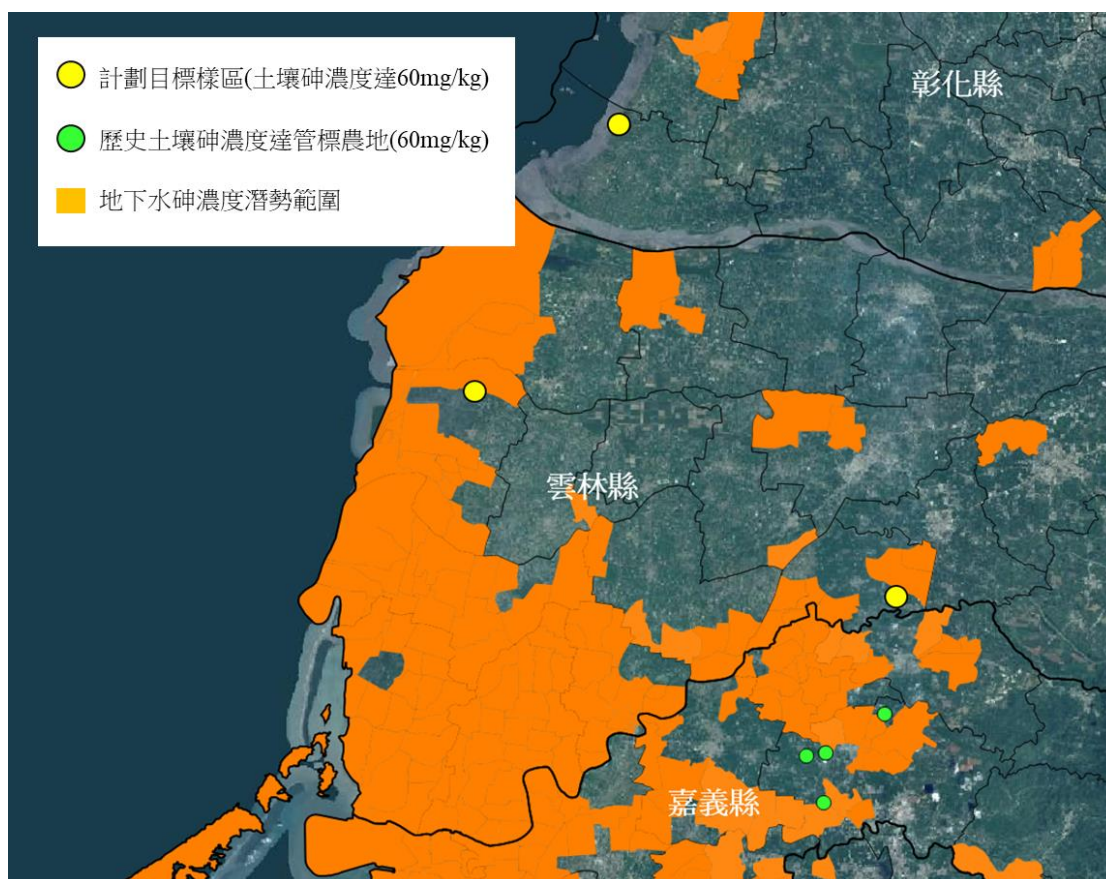


圖 4.1-2 地下水砷潛勢區外土壤砷濃度超標農地分佈

綜上所述，使用 28,800 筆土壤檢測數據，對比地下水砷潛勢範圍外濃度達管制標準，排除嘉義縣與兩筆重複地號後，選擇 3 處樣區分別為，雲林縣大埤鄉豐田段○○○地號、雲林縣台西鄉三姓段○○○地號與彰化縣大城鄉美豐段○○○地號，篩選原則流程圖如下圖 4.1-3。

本議題配合行政院農業委員會農業試驗所，於今年初開始執行農田土壤水分管理對稻穀無機砷累積之影響研究，共同進行樣區合作，對應該研究計畫預計於 4 塊不同土壤母質之農地進行田間試驗，農試所擬定樣區為彰化縣大城鄉美豐段○○○地號，本計畫擇定為彰化縣大城鄉美豐段○○○地號進行調查。

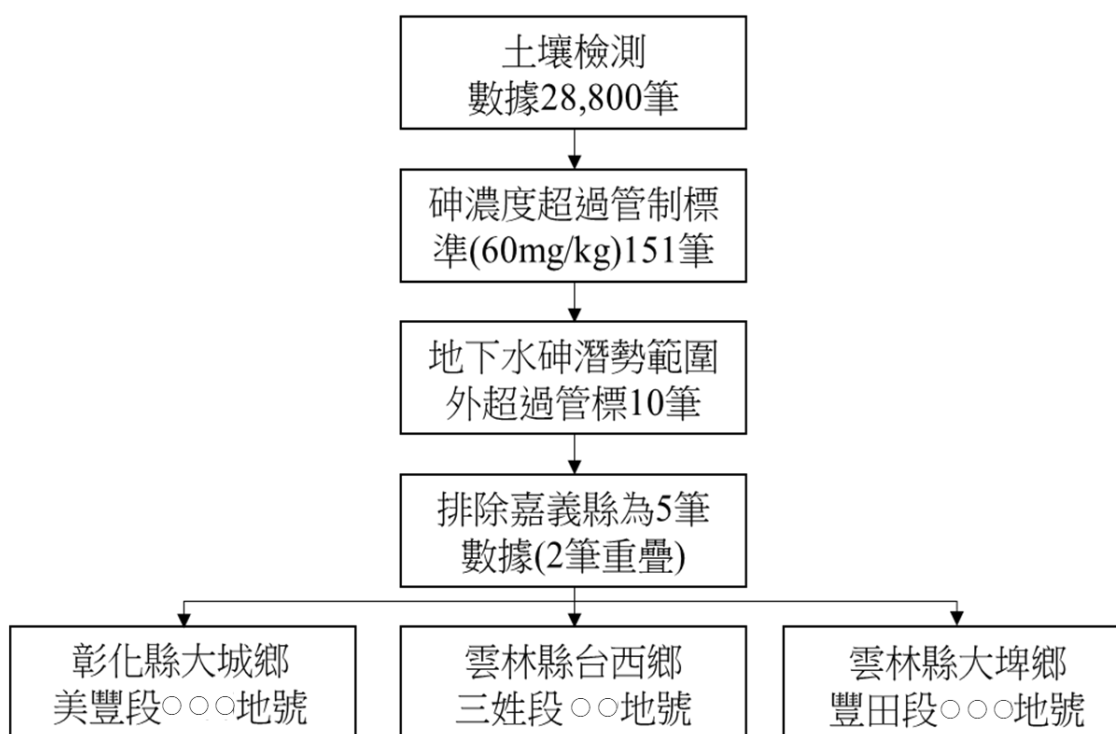


圖 4.1-3 地下水砷潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定樣區篩選流程圖

依評選須知本計畫將擇定 3 處在現行環保署建立之地下水砷濃度潛勢範圍外，土壤砷濃度偏高之範圍進行現地調查，完成地下水與土壤砷之人為與自然來源判定工作，並評估農地土壤整治之必要性，針對前述現地調查區域辦理土壤砷濃度之 XRF 篩測工作，預估 100 組樣品，並篩選快篩數值最高或具討論趨勢性之 20 組樣品送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量，同時須辦理地下水或灌溉水質之砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式使用電化學方法，預估採 40 組地下水樣品與 10 組灌溉水質樣品進行水中砷濃度快篩分析，並篩選快篩數值最高或具討論趨勢性之 8 組地下水樣品與 2 組灌溉水質樣品送實驗室分析，分析項目包含重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，渠道底泥預估採 10 組樣品送實驗室分析砷。各樣區規劃採樣如表 4.1-4 所示。

在採樣佈點原則上，調查區域將以農地為主，並以坵塊為單位進行調查，考量砷於土壤之吸附累積特性及為求整個坵塊砷代表性濃度，採樣深度以表土(0~15 公分)為主，採用抓樣方式，抓取出入水口，佈點方式原則如同圖 3.1-7 若灌溉水源為地下水之農地，則以地下水井入水口處進行土壤與地下水採樣，若灌溉水源為渠道，則針對渠道入水口處進行土壤與地表水採樣，然而實際狀況依現況調整。

表 4.1-4 地下水砷濃度潛勢範圍外稻米超標成因釐清採樣點數規劃表

| 基本資料 | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|-----|
| 項目 | 樣區一 | 樣區二 | 樣區三 | 總計 |
| 代號 | CCDC-02 | YLTH-02 | YLTP-02 | 50 |
| 調查坵塊(農地) | 20 | 15 | 15 | |
| 分析項目 | 樣品數量 | | | |
| 土壤 XRF 分析 | 40 | 30 | 30 | 100 |
| 土壤實驗室分析 | 8 | 6 | 6 | 20 |
| 地下水砷快篩分析 | 10 | 15 | 15 | 20 |
| 地下水實驗室分析 | 2 | 3 | 3 | 8 |
| 灌溉水砷快篩分析 | 10 | 0 | 0 | 10 |
| 灌溉水實驗室分析 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 底泥實驗室分析 | 10 | 0 | 0 | 10 |

4.2 計畫樣區調查結果

4.2.1 樣區一彰化縣大城鄉樣區調查結果

一、大城鄉樣區現場採樣結果

樣區一選擇以彰化縣大城鄉美豐段土壤砷濃度超標之○○○○地號為佈點中心(代號為 CCDC-01)，本樣區內農耕水源以灌渠為主，範圍內兼具一般民井，區內主要灌渠由東起沿地勢向西匯入區域排水，農地引灌小給則為北向南流，區內環境條件單純且同時具備渠道與民井兩類灌溉水源之調查目標，惟坵塊之選擇應避開民宅及非屬農業之土地使用狀態，依前述條件自取水節點起 150 公尺範圍內共 20 處坵塊符合優選條件，地號與編號對照詳如表 4.2-1。

續依優選坵塊數量規劃本樣區土壤採樣數量共 40 點，以各坵塊入水口及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊入水口對角線為備選點位，地表水與渠道底泥其採樣位置共 10 處，依序分配為各坵塊渠道入水口間隔至少 50 公尺，地下水採樣點共 10 處，

環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 4.2-1。

表 4.2-1 樣區一大城鄉區調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|----------------|-------------|
| 1 | 美豐段○○○○、○○○○地號 | CCDC-02-001 |
| 2 | 美豐段○○○○、○○○○地號 | CCDC-02-002 |
| 3 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-003 |
| 4 | 美豐段○○○○、○○○○地號 | CCDC-02-004 |
| 5 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-005 |
| 6 | 美豐段○○○○、○○○○地號 | CCDC-02-006 |
| 7 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-007 |
| 8 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-008 |
| 9 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-009 |
| 10 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-010 |
| 11 | 美豐段○○○○、○○○○地號 | CCDC-02-011 |
| 12 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-012 |
| 13 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-013 |
| 14 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-014 |
| 15 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-015 |
| 16 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-016 |
| 17 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-017 |
| 18 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-018 |
| 19 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-019 |
| 20 | 美豐段○○○○地號 | CCDC-02-020 |



圖 4.2-1 樣區一大城鄉環域概況及採樣佈點規劃

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 20 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 5 月 27 日、6 月 1 日與 6 月 2 日分別完成地下水、地表水及底泥與土壤現場採樣作業，現場工作照片如圖 4.2-2。10 筆地下水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 4.2-2，10 筆地表水現場砷濃度快篩與底泥採樣結果如表 4.2-3，20 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 4.2-4。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，大城鄉樣區地下水砷濃度均未達第二類地下水砷污染監測標準(0.25mg/L)，濃度最高僅坵塊 CCDC-02-018 地下水砷濃度為 0.066mg/L，惟其高於灌溉水質砷濃度標準(0.05mg/L)，最高為坵塊 CCDC-02-002 地表水砷濃度為 0.031mg/kg，其對應底泥砷濃度為 6.19mg/kg，後續進一步釐清成因詳如章節 4.2.2，20 筆調查農地入水口與出水口土壤砷濃度 XRF 篩測濃度均低於監測標準(30mg/kg)，其中，目標調查中心坵塊 CCDC-02-001 土壤砷濃度僅入水口檢測出土壤砷濃度 12mg/kg，圖 4.2-3 為土壤及地下水砷濃度的相關性，大致上呈現正相關。續依水中砷濃度數值高低與目標坵塊篩選 4 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 4.2-5 與表 4.2-6。

由篩測結果可知地下水重金屬鐵、錳與總硬度超過第二類地下水質監測標準，硫酸鹽大於灌溉用水水質標準未達地下水污染監測標準，樣區鄰近無工廠設立，推測可能成因為二：一、地下水鹽化，樣區距離岸邊僅 1.2 公里，長期大量抽用地下水導致海水入侵，使氯鹽與硫酸鹽濃度皆偏高，地層中硫酸鹽礦物的溶解，同時釋出鈣、鎂等離子使水中硬度增加。二、自然界之水，以地下水含鐵錳量較多，地面水相對較少，此係由於水中鐵錳大部分來自地層之故，此外，各地下水分區鐵與錳超標情形相當普遍，由於鐵與錳氧化物/氫氧化物屬地層沉積物中含量較豐富之礦物成分，而鐵與

錳離子多以溶解態出現於水體，伴隨高導電度，造成地下水鐵與錳濃度偏高。

地表水中重金屬鐵、錳與硬度較地下水中低，然而氨氮與總有機碳濃度皆偏高，推測其成因為樣區鄰近有大量畜牧業，於現勘發現在枯水期時，灌溉渠道地表水中有畜牧廢水之異味，初步研判大城鄉樣區地表水氨氮與總有機碳濃度偏高，乃與雨量多寡及附近民營畜牧場排放畜牧廢水有關。依據此樣區砷濃度分析，尚無明顯地下水與土壤砷濃度存在，為更進一步釐清歷史土壤砷濃度超標成因，彙整鄰近歷史背景資料與進行現場訪談，詳如章節 4.2.2。



民井地下水採樣

渠道地表水採樣

農地土壤採樣

渠道底泥採樣

圖 4.2-2 樣區一大城鄉採樣現場工作情形

表 4.2-2 樣區一大城鄉地下水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | | | | | | | |
|----|-------------|-----------|-------|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 | |
| | | | 單位 | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mv | NTU |
| | | | 檢測方法 | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 1 | CCDC-02-006 | 美豐段○○○○地號 | 0.050 | 7.0 | 25.1 | 1260 | 1.3 | 77.5 | 1.1 | |
| 2 | CCDC-02-012 | 美豐段○○○○地號 | 0.019 | 7.0 | 25.2 | 1180 | 1.8 | 115.0 | 2.1 | |
| 3 | CCDC-02-013 | 美豐段○○○○地號 | 0.046 | 7.0 | 25.8 | 1100 | 1.6 | -6.9 | 2.7 | |
| 4 | CCDC-02-014 | 美豐段○○○○地號 | 0.052 | 6.9 | 25.6 | 1340 | 1.4 | 56.7 | 1.8 | |
| 5 | CCDC-02-015 | 美豐段○○○○地號 | 0.030 | 7.0 | 25.1 | 1230 | 1.8 | -4.4 | 0.9 | |
| 6 | CCDC-02-016 | 美豐段○○○○地號 | 0.055 | 7.0 | 25.4 | 1200 | 1.4 | 28.2 | 1.9 | |
| 7 | CCDC-02-017 | 美豐段○○○○地號 | 0.053 | 6.9 | 25.2 | 1190 | 1.6 | 24.3 | 2.9 | |
| 8 | CCDC-02-018 | 美豐段○○○○地號 | 0.066 | 7.0 | 25.2 | 1180 | 1.0 | 34.5 | 14.0 | |
| 9 | CCDC-02-019 | 美豐段○○○○地號 | 0.015 | 6.9 | 25.1 | 1120 | 0.8 | 46.1 | 1.2 | |
| 10 | CCDC-02-020 | 美豐段○○○○地號 | 0.032 | 7.0 | 25.1 | 1130 | 0.8 | 36.3 | 1.2 | |

表 4.2-3 樣區一大城鄉地表水與底泥採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地表水 | | | | | | 底泥 | | |
|----|-------------|-----------|-------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 氧化還原電位 | 濁度 | 砷 | 水分 | |
| | | | 單位 | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mv | mg/kg | % |
| | | | 檢測方法 | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA S310.64B | NIEA S280.62C |
| 1 | CCDC-02-001 | 美豐段○○○○地號 | 0.016 | 8.6 | 34.6 | 591 | 166.0 | 13.0 | 13.7 | 1.2 | |
| 2 | CCDC-02-002 | 美豐段○○○○地號 | 0.031 | 7.2 | 28.0 | 1070 | 7.0 | 2.3 | 6.19 | 1.0 | |
| 3 | CCDC-02-006 | 美豐段○○○○地號 | 0.017 | 7.5 | 31.1 | 1020 | 64.1 | 26.0 | 27.4 | 1.2 | |
| 4 | CCDC-02-007 | 美豐段○○○○地號 | 0.016 | 8.2 | 35.4 | 532 | 103.0 | 9.8 | 8.38 | 1.1 | |
| 5 | CCDC-02-012 | 美豐段○○○○地號 | 0.019 | 7.7 | 36.0 | 1020 | 42.0 | 34.0 | 6.19 | 1.0 | |
| 6 | CCDC-02-016 | 美豐段○○○○地號 | 0.017 | 7.4 | 34.6 | 927 | 6.4 | 35.0 | 15.4 | 1.2 | |
| 7 | CCDC-02-017 | 美豐段○○○○地號 | 0.015 | 8.3 | 36.2 | 328 | 3.0 | 15.0 | 16.4 | 1.2 | |
| 8 | CCDC-02-018 | 美豐段○○○○地號 | 0.018 | 8.7 | 33.4 | 353 | 80.9 | 17.0 | 12.8 | 1.0 | |
| 9 | CCDC-02-019 | 美豐段○○○○地號 | 0.018 | 7.8 | 28.5 | 1040 | 34.9 | 55.0 | 8.42 | 0.7 | |
| 10 | CCDC-02-020 | 美豐段○○○○地號 | 0.024 | 7.4 | 28.1 | 1060 | 59.8 | 50.0 | 9.65 | 1.1 | |

表 4.2-4 樣區一大城鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|---------|----|----|----|----|----|----|--------|
| | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | CCDC-02-001 | 美豐段○○○○地號 | 12/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 106/96 |
| 2 | CCDC-02-002 | 美豐段○○○○地號 | 11/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 121/98 |
| 3 | CCDC-02-003 | 美豐段○○○○地號 | 13/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 94/71 |
| 4 | CCDC-02-004 | 美豐段○○○○地號 | 19/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 109/87 |
| 5 | CCDC-02-005 | 美豐段○○○○地號 | 15/22 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 93/74 |
| 6 | CCDC-02-006 | 美豐段○○○○地號 | 13/19 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 90/85 |
| 7 | CCDC-02-007 | 美豐段○○○○地號 | 14/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 95/83 |
| 8 | CCDC-02-008 | 美豐段○○○○地號 | ND/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 113/86 |
| 9 | CCDC-02-009 | 美豐段○○○○地號 | ND/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 102/91 |
| 10 | CCDC-02-010 | 美豐段○○○○地號 | 10/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 90/86 |
| 11 | CCDC-02-011 | 美豐段○○○○地號 | 18/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 79/75 |
| 12 | CCDC-02-012 | 美豐段○○○○地號 | ND/14 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 80/60 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 4.2-4 樣區一大城鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果(續)

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 土壤 | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|-------|----|----|----|----|----|----|---------|
| | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | | | 單位 | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 13 | CCDC-02-013 | 美豐段○○○○地號 | 22/15 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 82/73 |
| 14 | CCDC-02-014 | 美豐段○○○○地號 | 10/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 78/87 |
| 15 | CCDC-02-015 | 美豐段○○○○地號 | 13/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 102/81 |
| 16 | CCDC-02-016 | 美豐段○○○○地號 | ND/12 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 103/78 |
| 17 | CCDC-02-017 | 美豐段○○○○地號 | 11/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 117/72 |
| 18 | CCDC-02-018 | 美豐段○○○○地號 | 24/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 139/115 |
| 19 | CCDC-02-019 | 美豐段○○○○地號 | 15/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 156/100 |
| 20 | CCDC-02-020 | 美豐段○○○○地號 | 12/14 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 99/80 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 4.2-5 樣區一大城鄉灌溉水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | 地表水 | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|--------------|
| | | | CCDC-02-016 | CCDC-02-018 | CCDC-02-001 | CCDC-02-017 | 監測 標準 | 管制 標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.055 | 0.066 | 0.016 | 0.015 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.084 | 0.104 | 0.009 | 0.011 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 10.8 | 10.0 | 0.7 | 1.1 | 1.50 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.82 | 0.63 | 0.08 | 0.09 | 0.250 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 989 | 828 | 222 | 208 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 114 | 109 | 8 | 82 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 1.90 | 0.09 | 0.17 | 0.20 | 4.0 | 8.0 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 0.20 | 0.22 | 1.51 | 1.89 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 484 | 457 | 127 | 362 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 1430 | 1350 | 444 | 350 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 1.1 | 1.6 | 18.6 | 10.5 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W458.50B | ND | ND | 0.24 | 0.08 | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | 0.05 | 0.03 | 0.40 | 0.28 | 50 | 100 | - |

註：粗體字為超過監測標準或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L，地下水參考地下水法規標準與灌溉用水水質標準、地表水僅參考灌溉用水水質標準。

表 4.2-6 樣區一大城鄉土壤實驗室分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|--------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | CCDC-02-001 | 美豐段 ○○○地號 | 入水口 | 12 | 13.0 | 30500 | 270 | 0.8 | 7.4 |
| 2 | | | 出水口 | ND | 8.8 | 25900 | 240 | 1.9 | 8.0 |
| 3 | CCDC-02-016 | 美豐段 ○○○地號 | 入水口 | ND | 11.4 | 30900 | 297 | 0.7 | 7.9 |
| 4 | | | 出水口 | 12 | 13.2 | 27100 | 211 | 3.2 | 7.7 |
| 5 | CCDC-02-018 | 美豐段 ○○○地號 | 入水口 | 24 | 23.5 | 33600 | 354 | 2.7 | 7.7 |
| 6 | | | 出水口 | 13 | 13.6 | 29300 | 241 | 0.9 | 7.7 |
| 7 | CCDC-02-017 | 美豐段 ○○○地號 | 入水口 | 11 | 10.4 | 29100 | 298 | 1.0 | 7.2 |
| 8 | | | 出水口 | 10 | 11.1 | 25200 | 161 | 0.9 | 7.2 |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

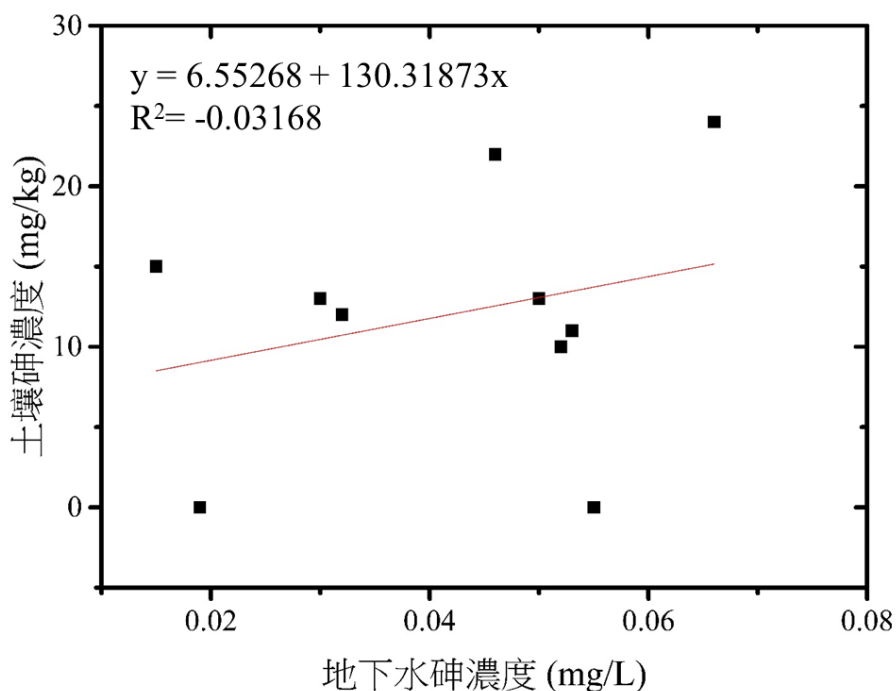


圖 4.2-3 樣區一大城鄉土壤及地下水砷濃度關係圖

二、大城鄉樣區土壤砷來源判定及訪談重點

為更進一步釐清歷史土壤砷濃度超標成因，彙整鄰近歷史背景資料，本計畫參考全國環境水質監測資訊網河川及地下水水質資訊及分析結果，大城鄉樣區鄰近地下水監測站與河川監測站距離樣區分別為 5 公里與 18 公里，統計近十年監測站檢測數據，芳苑工業區服務中心地下水監測站平均監測砷濃度為 0.0024mg/L，西螺大橋河川監測站平均監測砷濃度為 0.0028mg/L。整合大城鄉樣區 2 公里內污染場址資料，包含一處建置中雞舍與 3 處非法棄置場址，然而其土壤與地下水砷濃度均未超過監測標準，同時樣區鄰近 1 公里內無工廠建置，如圖 4.2-4、圖 4.2-5、表 4.2-7 與表 4.2-8。



圖 4.2-4 樣區一大城鄉鄰近地下水與河川監測站分布圖

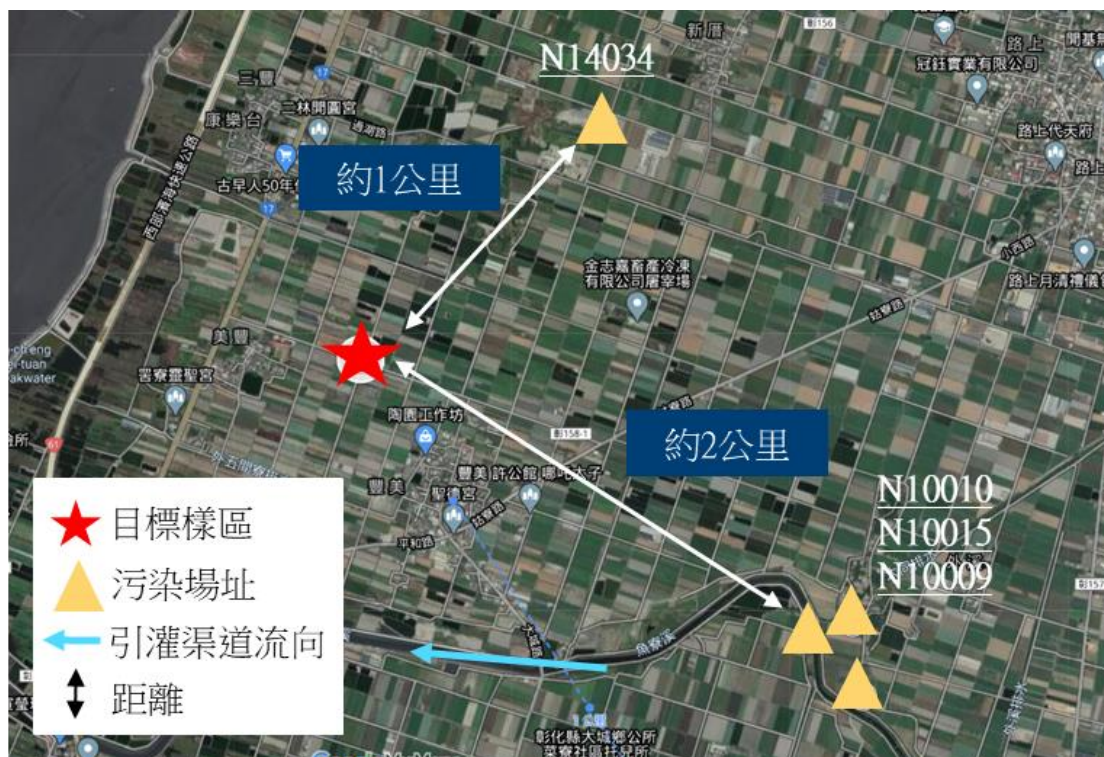


圖 4.2-5 樣區一大城鄉鄰近污染場址分布圖

表 4.2-7 樣區一大城鄉鄰近監測站砷濃度監測結果

| 項次 | 類別 | 測站名稱 | 統計日期區間 | 筆數 | 平均監測砷濃度 |
|----|--------|-----------|----------------------|----|-------------|
| 1 | 地下水監測站 | 芳苑工業區服務中心 | 98 年 2 月至 108 年 10 月 | 24 | 0.0024 mg/L |
| 2 | 河川監測站 | 西螺大橋 | 98 年 2 月至 108 年 10 月 | 42 | 0.0028 mg/L |

表 4.2-8 樣區一大城鄉鄰近場址資料

| 項次 | 場址編號 | 場址類別 | 資料建立日期 | 土壤砷濃度 | 地下水砷濃度 |
|----|--------|--------|-----------|-------|--------|
| 1 | N14034 | 其他 | 107 年 7 月 | 無 | 0.054 |
| 2 | N10010 | 非法棄置場址 | 95 年 5 月 | 13.1 | 無 |
| 3 | N10015 | 非法棄置場址 | 95 年 5 月 | ND | 無 |
| 4 | N10009 | 非法棄置場址 | 95 年 5 月 | ND | 無 |

註：土壤砷濃度單位為 mg/kg，地下水砷濃度單位為 mg/L

大城鄉樣區目標坵塊 CCDC-02-001 其民國 95 年歷史檢測土壤砷濃度達 95mg/kg，本計畫現場調查結果該筆坵塊與鄰近坵塊現階段土壤砷濃度均未達土壤監測標準，藉由現場訪談目標坵塊 CCDC-02-001 土地所有地主，該筆土地為民國 94 年買入，耕種期間無置換外來土或使用渠道底泥，其耕種作物包含水稻、花生與番薯等，引灌水源型態地下水與地表水並用，渠道水無明顯砷濃度，地下水砷濃度低於第二類地下水砷監測標準(0.250mg/L)，惟其高於灌溉用水水質標準(0.05mg/L)。

4.2.2 樣區二雲林縣台西鄉調查結果

一、台西鄉樣區現場採樣結果

樣區二選擇以雲林縣台西鄉三姓段土壤砷濃度超標之○○○○地號為佈點中心(代號為 YLTH-02)，本樣區內農耕水源以自用民井為主，區內地勢東高西低，起伏不大，區內環境條件單純係符合同用各坵塊引灌範圍內地下水之調查目標，惟區內坵塊並非均設有民井，且有零星非農業使用地號應予以避開，依前述條件自佈點中心地號起 500 公尺半徑內共 15 處坵塊設有民井符合優選條件，地號與編號對照詳如表 4.2-9。

續依優選坵塊數量規劃土壤採樣數量共 30 點，以各坵塊民井位置及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊對角線入水口為備選點位，民井地下水採樣位置共 15 處，因中心坵塊現況並無民井，另找尋鄰近坵塊(YLTH-02-004)之 2 口民井為地下水採樣代表點位，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 4.2-6，本樣區因討論內容為區域範圍內引灌地下水源，因此不另外規劃地表水及底泥採樣。

表 4.2-9 樣區二台西鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|---------------------|-------------|
| 1 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-001 |
| 2 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-002 |
| 3 | 三姓段○○○○、○○○○地號 | YLTH-02-003 |
| 4 | 三姓段○○○○、○○○○、○○○○地號 | YLTH-02-004 |
| 5 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-005 |
| 6 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-006 |
| 7 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-007 |
| 8 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-008 |
| 9 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-009 |
| 10 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-010 |
| 11 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-011 |
| 12 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-012 |
| 13 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-013 |
| 14 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-014 |
| 15 | 三姓段○○○○地號 | YLTH-02-015 |



圖 4.2-6 樣區二台西鄉環域概況及採樣佈點規劃

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 15 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 5 月 25 日與 5 月 26 日分別完成地下水與土壤現場採樣作業，現場工作照片如圖 4.2-7。15 筆地下水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 4.2-10，15 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 4.2-11。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，台西鄉樣區 15 筆調查坵塊中，9 筆坵塊地下水砷濃度超過第二類地下水監測標準(0.25mg/L)，2 筆坵塊土壤砷濃度超過監測標準(30mg/kg)，1 筆坵塊土壤砷濃度超過管制標準(60mg/kg)，目標調查中心坵塊 YLTH-02-001 土壤砷濃度僅檢測出 12mg/kg 與 13mg/kg。為更完整進行討論，續依水中砷濃度數值高低與代表性篩選 3 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 4.2-12 與表 4.2-13。

土壤砷含量達土壤污染監測或管制標準之坵塊，相對應的灌溉水井地下水砷濃度亦明顯偏高，濃度大多介於地下水污染監測至管制標準間，圖 4.2-8 為土壤及地下水砷濃度的相關性，大致上呈現正相關。同時由地下水實驗室分析結果可知此三筆坵塊地下水砷、鐵、錳、總硬度、氨氮與總溶解固體均超過第二類地下水監測標準，硫酸鹽大於灌溉用水水質標準未達監測標準，初步推測成因為二：

(一) 根據過去研究資料，我國地下水中砷的釋出機制大致上可歸納為硫化礦物的氧化作用，及鐵、錳氧化物的還原作用所造成砷的釋出(陳等，2010)。主要係因鐵錳氧化的還原，導致砷之釋出普遍發生於整個含水層環境，該區域地下水氧化還原電位為皆落在 -78 mV 至 -310mV 區間，地下水砷、鐵、錳濃度均偏高(鐵、錳濃度達第二類地下水污染物監測標準)，伴隨硝酸

鹽氮(<0.04mg/L)、亞硝酸鹽氮(ND)與氨氮(>2.79 mg/L)間的消長關係，顯示含水層之氧化還原狀態利於鐵錳氧化物的還原性溶解(Stumm & Morgan, 1995)，推測與砷的釋出機制相關，同時還原狀態的地下水中較容易有偏高的氨氮存在，調查中也表現出相同趨勢。

(二) 該樣區距離出海口僅 3.5 公里，於現場訪談時當地存在地下水鹽化現象，地下水鹽化通常會造成高硫酸鹽與高導電度現象，與調查結果相符。依調查結果，初步推斷當地土壤砷濃度偏高成因為長期引灌高砷濃度地下水，彙整鄰近歷史背景資料與土壤砷濃度超標坵塊 YLTH-02-005 進行土壤砷來源判定，詳如章節 4.3。



圖 4.2-7 樣區二台西鄉採樣現場工作情形

表 4.2-10 樣區二台西鄉地下水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | | | | | | |
|----|---------------|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 |
| | 單位 | | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mv | NTU |
| | 檢測方法 | | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C |
| 1 | YLTH-02-002 | 三姓段○○○○地號 | 0.015 | 7.0 | 26.7 | 483 | 2.9 | -78 | 3.0 |
| 2 | YLTH-02-003 | 三姓段○○○○地號 | 0.301 | 6.9 | 25.7 | 2080 | 2.6 | -155 | 6.0 |
| 3 | YLTH-02-004-1 | 三姓段○○○○地號 | 0.270 | 7.1 | 25.9 | 1820 | 2.2 | -162 | 19.0 |
| 4 | YLTH-02-004-2 | 三姓段○○○○地號 | 0.268 | 7.1 | 25.9 | 1820 | 2.2 | -165 | 14.0 |
| 5 | YLTH-02-005 | 三姓段○○○○地號 | 0.331 | 6.9 | 25.8 | 1510 | 2.0 | -160 | 7.3 |
| 6 | YLTH-02-006 | 三姓段○○○○地號 | 0.441 | 7.1 | 25.8 | 1800 | 2.2 | -163 | 12.0 |
| 7 | YLTH-02-007 | 三姓段○○○○地號 | 0.411 | 7.0 | 25.9 | 1510 | 2.4 | -158 | 12.0 |
| 8 | YLTH-02-008 | 三姓段○○○○地號 | 0.304 | 6.9 | 26.1 | 2580 | 2.4 | -157 | 21.0 |
| 9 | YLTH-02-009 | 三姓段○○○○地號 | 0.267 | 7.0 | 25.5 | 1680 | 2.4 | -151 | 25.0 |
| 10 | YLTH-02-010 | 三姓段○○○○地號 | 0.405 | 7.0 | 26.0 | 1740 | 1.6 | -152 | 6.5 |
| 11 | YLTH-02-011 | 三姓段○○○○地號 | 0.119 | 6.8 | 25.6 | 2960 | 1.5 | -123 | 3.9 |
| 12 | YLTH-02-012 | 三姓段○○○○地號 | 0.025 | 7.7 | 26.4 | 620 | 2.5 | -152 | 3.3 |
| 13 | YLTH-02-013 | 三姓段○○○○地號 | 0.027 | 7.3 | 26.1 | 649 | 1.5 | -140 | 5.2 |
| 14 | YLTH-02-014 | 三姓段○○○○地號 | 0.020 | 7.0 | 26.3 | 555 | 1.5 | -137 | 3.2 |
| 15 | YLTH-02-015 | 三姓段○○○○地號 | 0.025 | 7.1 | 26.4 | 717 | 0.7 | -310 | 5.3 |

註：粗體字表示超過第二類地下水砷濃度監測標準(0.25mg/L)。

表 4.2-11 樣區二台西鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|-------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|--------|
| | | | 砷(快篩) | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/L | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 30 | |
| 1 | YLTH-02-001 | 三姓段○○○○地號 | - | 12/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 68/70 |
| 2 | YLTH-02-002 | 三姓段○○○○地號 | 0.015 | 10/12 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 79/88 |
| 3 | YLTH-02-003 | 三姓段○○○○地號 | 0.301 | 27/19 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 89/105 |
| 4 | YLTH-02-004 | 三姓段○○○○地號 | 0.270/ 0.268 | 39/28 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 75/78 |
| 5 | YLTH-02-005 | 三姓段○○○○地號 | 0.331 | 68/31 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 76/74 |
| 6 | YLTH-02-006 | 三姓段○○○○地號 | 0.441 | 28/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 67/75 |
| 7 | YLTH-02-007 | 三姓段○○○○地號 | 0.411 | 27/21 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 76/67 |
| 8 | YLTH-02-008 | 三姓段○○○○地號 | 0.304 | 12/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 74/70 |
| 9 | YLTH-02-009 | 三姓段○○○○地號 | 0.267 | 41/36 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 81/73 |
| 10 | YLTH-02-010 | 三姓段○○○○地號 | 0.405 | 14/12 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 85/77 |
| 11 | YLTH-02-011 | 三姓段○○○○地號 | 0.119 | 16/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 71/55 |
| 12 | YLTH-02-012 | 三姓段○○○○地號 | 0.025 | ND/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 83/86 |
| 13 | YLTH-02-013 | 三姓段○○○○地號 | 0.027 | ND/12 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 77/68 |
| 14 | YLTH-02-014 | 三姓段○○○○地號 | 0.020 | 19/18 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 80/83 |
| 15 | YLTH-02-015 | 三姓段○○○○地號 | 0.025 | 15/13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 78/82 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，**粗體字**表示超過地下水與土壤監測標準，**粗體字加底線**表示超過土壤管制標準，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 4.2-12 樣區二台西鄉地下水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | | YLTH-02-003 | YLTH-02-005 | YLTH-02-006 | 監測標準 | 管制標準 | |
| - | 砷 | 快篩設備 | 0.301 | 0.331 | 0.441 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.369 | 0.407 | 0.491 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 11.6 | 15.4 | 11.6 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 1.16 | 2.08 | 1.92 | 0.250 | - | 0.2 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 1030 | 1040 | 1140 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 344 | 94.1 | 173 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 4.0 | 8.0 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 3.64 | 2.79 | 3.17 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 481 | 536 | 534 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 1920 | 1580 | 1700 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W458.50B | ND | ND | ND | 5.0 | 10 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | <0.04 | <0.04 | <0.04 | 50.00 | 100.00 | - |

註：粗體字表示超過監測標準或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 4.2-13 樣區二台西鄉土壤實驗室分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|--------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | YLTH-02-003 | 三姓段 ○○○地號 | 入水口 | 27 | 23.5 | 29500 | 310 | 0.6 | 8.0 |
| 2 | | | 出水口 | 19 | 19.6 | 26100 | 273 | 0.6 | 7.7 |
| 3 | YLTH-02-005 | 三姓段 ○○○地號 | 入水口 | 68 | 76.0 | 25900 | 530 | 0.7 | 8.1 |
| 4 | | | 出水口 | 31 | 28.8 | 25300 | 359 | 0.5 | 8.1 |
| 5 | YLTH-02-006 | 三姓段 ○○○地號 | 入水口 | 28 | 29.1 | 24100 | 249 | 0.4 | 8.0 |
| 6 | | | 出水口 | 13 | 14.4 | 23800 | 200 | 0.5 | 7.6 |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

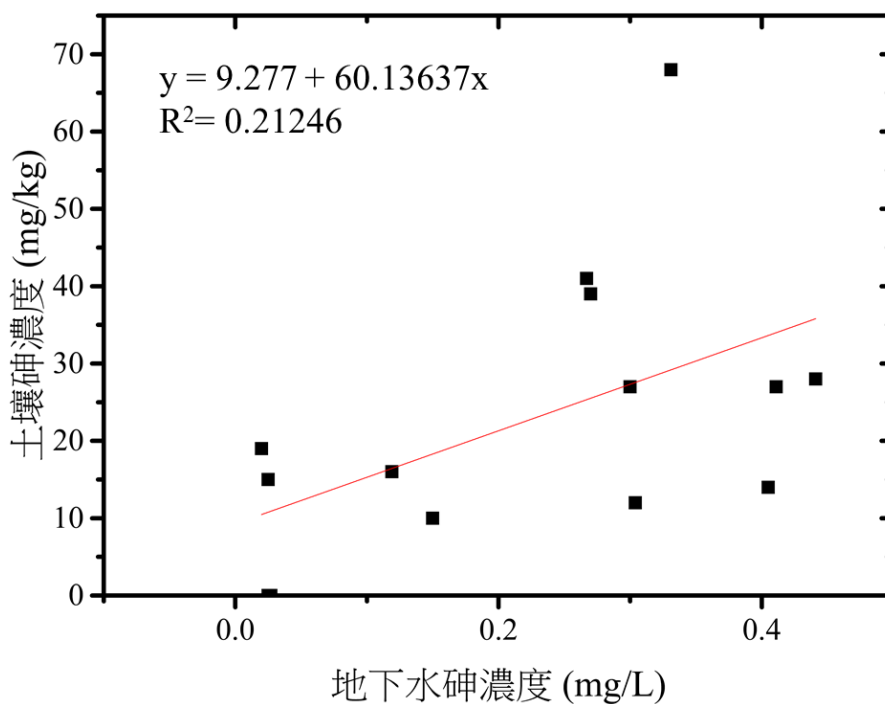


圖 4.2-8 樣區二台西鄉土壤及地下水砷濃度關係圖

二、台西鄉樣區土壤砷來源判定及訪談重點

經現地勘查，本樣區鄰近無工廠或工業區，均從事農作栽培生產，台西鄉樣區無可用之地表灌溉水源，而樣區內農地幾乎多栽種水稻，用水需求甚大，地下水即為唯一灌溉水源，以至於各坵塊幾乎都自行鑿設灌溉水井，本計畫現場調查結果多筆農地地下水砷濃度高於地下水砷監測標準，地下水砷濃度明顯偏高，對比民國108年國內地下水砷濃度潛勢範圍，鄰近蚊港村已劃定為潛勢範圍，調查樣區位於台西鄉和豐村，非坐落於潛勢範圍，惟其與蚊港村相鄰，如圖 4.2-9，綜合前述，可歸納台西鄉農地土壤富砷問題應與長期灌溉含砷地下水影響有關。

台西鄉目標樣區坵塊 YLTH-02-001 其歷史土壤砷濃度為 70mg/kg，本計畫現場調查結果該筆坵塊土壤砷濃度均未達土壤監測標準，經地主訪談，該筆坵塊因早期地下水鹽化，作物收成降低，農地已未栽種農作達十年，長期未引灌地下水且地主定期翻土以致現階段土壤砷濃度偏低。



圖 4.2-9 樣區二台西鄉與地下水砷濃度潛勢範圍比對

本次調查坵塊 YLTH-02-005 農地入水口已超過土壤砷管制標準(60mg/kg)，依土壤砷污染判定及處理原則辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作，經判定評分歸納該筆農地為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，判定評分表詳如附件五，續依土污法第 12 條第 9 項辦理。

4.2.3 樣區三雲林縣大埤鄉調查結果

一、大埤鄉樣區現場採樣結果

樣區三選擇以雲林縣大埤鄉豐田段土壤砷濃度超標之○○○○地號為佈點中心(代號為 YLTP-02)，本樣區內農耕水源以自用民井為主，區內地勢東高西低，地勢起伏不大，因本區以坵塊引灌地下水之調查目標，惟區內坵塊並非均鑿有民井，且有零星非農業使用地號應予以避開，依前述條件自佈點中心地號起 150 公尺半徑內共 15 處坵塊設有民井符合優選條件，地號與編號對照詳如表 4.2-14。

續依優選坵塊數量規劃土壤採樣數量共 30 點，以各坵塊民井位置及排水口為主，若無明顯排水位置則以坵塊對角線入水口為備選點位，民井地下水採樣位置共 15 處，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 4.2-10，本樣區因討論內容為區域範圍內引灌地下水之影響，暫無規劃地下水及底泥採樣。

表 4.2-14 樣區三大埤鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|----------------|-------------|
| 1 | 豐田段○○○○、○○○○地號 | YLTP-02-001 |
| 2 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-002 |
| 3 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-003 |
| 4 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-004 |
| 5 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-005 |

表 4.2-14 樣區三大埤鄉調查坵塊樣品代號對照表(續)

| 項次 | 地號 | 樣品代號 |
|----|----------------|-------------|
| 6 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-006 |
| 7 | 豐田段○○○○、○○○○地號 | YLTP-02-007 |
| 8 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-008 |
| 9 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-009 |
| 10 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-010 |
| 11 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-011 |
| 12 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-012 |
| 13 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-013 |
| 14 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-014 |
| 15 | 豐田段○○○○地號 | YLTP-02-015 |

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 15 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意。樣區於 5 月 27 日完成地下水與土壤現場採樣作業，現場工作照片如圖 4.2-11。15 筆地下水現場砷濃度快篩與採樣結果如表 4.2-15，15 筆調查坵塊農地入水口與出水口土壤 XRF 採樣結果如表 4.2-16。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與土壤 XRF 濃度篩測初步得知，大埤鄉樣區地下水砷濃度均未超過第二類地下水監測標準(0.25mg/L)，惟 3 筆坵塊 YLTP-02-001、YLTP-02-008 與 YLTP-02-011 地下水砷濃度明顯大於平均值，目標調查中心坵塊 YLTP-02-001 土壤砷濃度僅檢測出 18mg/kg 與 19mg/kg，刪除 1 筆離群值，大埤鄉土壤及地下水砷濃度的相關性如圖 4.2-12，大致上呈現正相關。為更完整進行討論，續依水中砷濃度數值高低與代表性篩選 3 筆農地坵塊進行實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)與土壤重金屬(砷、鐵、錳)全量，篩測結果如表 4.2-17 與表 4.2-18。

由地下水實驗室分析結果知地下水砷濃度高於灌溉用水水質標準坵塊 YLTP-02-001、YLTP-02-008 與 YLTP-02-011 其鐵、錳與氨氮均超過第二類地下水監測標準，不同於台西鄉樣區，大埤鄉樣區僅發生砷、鐵、錳與氨氮偏高現象，該區域地下水氧化還原電位為皆落在 1.5 mV 至 -121mV 區間，還原狀態的地下水中較容易有偏高的氨氮存在，伴隨硝酸鹽氮(<0.04mg/L)、亞硝酸鹽氮(<0.01 mg/L)間的消長關係，顯示含水層之氧化還原狀態利於鐵錳氧化物的還原性溶解(Stumm & Morgan, 1995)，因鐵錳氧化的還原，導致砷之釋出普遍發生於整個含水層環境。依調查結果，初步推斷當地因自然背景地層沉積物釋出至地下水，導致地下水中砷濃度較高，為進一步釐清富砷地下水與大埤樣區之關聯性，彙整鄰近歷史背景資料與現場訪談詳如章節 4.4.2。

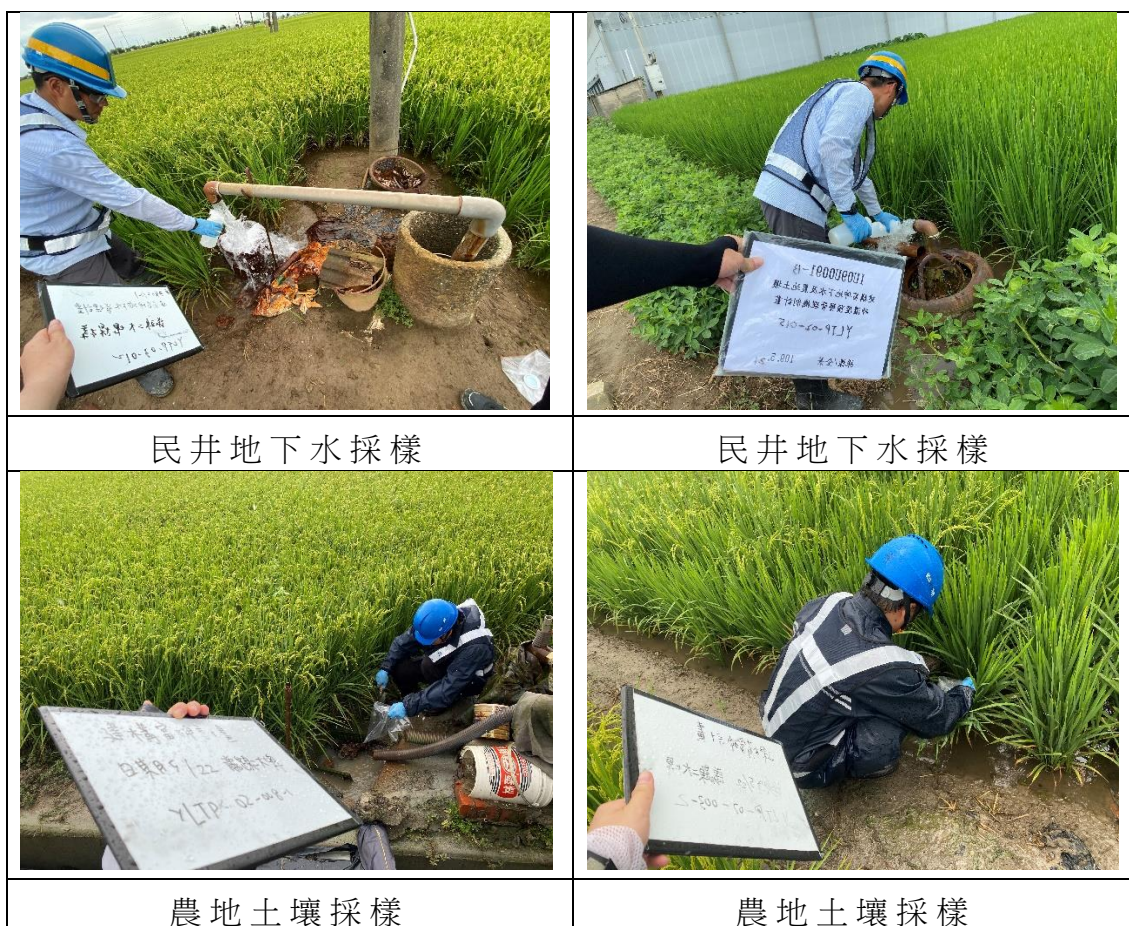


圖 4.2-11 樣區三大埤鄉採樣現場工作情形

表 4.2-15 樣區三大埤鄉地下水採樣與快篩結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | | | | | | |
|------|-------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| | | | 砷快篩 | pH | 水溫 | 導電度 | 溶氧 | 氧化還原電位 | 濁度 |
| | 單位 | | mg/L | - | (°C) | µmho/cm | mg/L | mv | NTU |
| 檢測方法 | | 快篩設備 | NIEA W424.53A | NIEA W217.51A | NIEA W203.51B | NIEA W455.52C | NIEA W103.55B | NIEA W219.52C | |
| 1 | YLTP-02-001 | 豐田段○○○○地號 | 0.211 | 7.2 | 25.0 | 357 | 1.4 | -117.57 | 0.47 |
| 2 | YLTP-02-002 | 豐田段○○○○地號 | 0.029 | 7.0 | 25.1 | 1040 | 1.0 | -121.0 | 4.70 |
| 3 | YLTP-02-003 | 豐田段○○○○地號 | 0.019 | 7.0 | 24.7 | 1440 | 0.9 | -99.1 | 0.68 |
| 4 | YLTP-02-004 | 豐田段○○○○地號 | 0.075 | 7.1 | 24.9 | 340 | 1.7 | -121.0 | 5.40 |
| 5 | YLTP-02-005 | 豐田段○○○○地號 | 0.017 | 6.9 | 24.8 | 936 | 1.1 | -97.5 | 0.68 |
| 6 | YLTP-02-006 | 豐田段○○○○地號 | 0.022 | 6.9 | 25.0 | 1830 | 1.7 | -108.0 | 0.55 |
| 7 | YLTP-02-007 | 豐田段○○○○地號 | 0.038 | 7.0 | 25.0 | 1030 | 3.2 | -109.0 | 1.90 |
| 8 | YLTP-02-008 | 豐田段○○○○地號 | 0.127 | 7.0 | 25.1 | 363 | 1.5 | -119.0 | 4.90 |
| 9 | YLTP-02-009 | 豐田段○○○○地號 | 0.018 | 7.0 | 25.1 | 1810 | 1.7 | -108.0 | 1.20 |
| 10 | YLTP-02-010 | 豐田段○○○○地號 | 0.016 | 7.1 | 24.8 | 1530 | 3.6 | -103.0 | 1.40 |
| 11 | YLTP-02-011 | 豐田段○○○○地號 | 0.116 | 7.1 | 25.3 | 359 | 1.5 | -117.0 | 4.30 |
| 12 | YLTP-02-012 | 豐田段○○○○地號 | 0.025 | 7.1 | 24.8 | 1070 | 1.9 | -110.0 | 1.80 |
| 13 | YLTP-02-013 | 豐田段○○○○地號 | 0.027 | 7.4 | 25.2 | 1150 | 1.7 | 116.0 | 0.67 |
| 14 | YLTP-02-014 | 豐田段○○○○地號 | 0.020 | 6.9 | 24.3 | 130 | 1.3 | -102.0 | 4.40 |
| 15 | YLTP-02-015 | 豐田段○○○○地號 | 0.025 | 7.2 | 25.2 | 782 | 2.8 | -116.0 | 90.00 |

表 4.2-16 樣區三大埤鄉土壤採樣 XRF 採樣分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 地下水 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|-------|---------|----|----|----|----|----|-------|-------|
| | | | 砷快篩 | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | 單位 | | mg/L | mg/kg | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 30 | |
| 1 | YLTP-02-001 | 豐田段○○○○地號 | 0.211 | 18/19 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 58/52 |
| 2 | YLTP-02-002 | 豐田段○○○○地號 | 0.029 | 16/34 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 58/71 |
| 3 | YLTP-02-003 | 豐田段○○○○地號 | 0.019 | 22/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 57/54 |
| 4 | YLTP-02-004 | 豐田段○○○○地號 | 0.075 | 24/15 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 56/53 |
| 5 | YLTP-02-005 | 豐田段○○○○地號 | 0.017 | ND/10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 47/48 |
| 6 | YLTP-02-006 | 豐田段○○○○地號 | 0.022 | 19/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 68/60 |
| 7 | YLTP-02-007 | 豐田段○○○○地號 | 0.038 | ND/17 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 85/74 |
| 8 | YLTP-02-008 | 豐田段○○○○地號 | 0.127 | 27/16 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 64/76 |
| 9 | YLTP-02-009 | 豐田段○○○○地號 | 0.018 | 18/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 61/68 |
| 10 | YLTP-02-010 | 豐田段○○○○地號 | 0.016 | ND/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 64/59 |
| 11 | YLTP-02-011 | 豐田段○○○○地號 | 0.116 | 24/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 56/58 |
| 12 | YLTP-02-012 | 豐田段○○○○地號 | 0.025 | 11/15 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 57/63 |
| 13 | YLTP-02-013 | 豐田段○○○○地號 | 0.027 | 15/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 90/54 |
| 14 | YLTP-02-014 | 豐田段○○○○地號 | 0.020 | 10/11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND/25 | 79/86 |
| 15 | YLTP-02-015 | 豐田段○○○○地號 | 0.025 | 11/ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 52/64 |

註：表格(/)前後分別表示該筆農地坵塊入水口/出水口，**粗體字**表示超過地下水與土壤監測標準，僅有 ND 表示入、出水口均為 ND。

表 4.2-17 樣區三大埤鄉地下水水質實驗室分析結果

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|--------------|
| | | | YLTP-02-001 | YLTP-02-008 | YLTP-02-011 | 監測標準 | 管制標準 | |
| - | 砷 | 快篩設備 | 0.211 | 0.127 | 0.116 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.094 | 0.158 | 0.127 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 9.99 | 13.2 | 10.8 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.495 | 0.306 | 0.393 | 0.250 | - | 0.2 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 114 | 118 | 124 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 5.04 | 4.90 | 4.61 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.36 | 0.42 | 0.42 | 4.0 | 8.0 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 2.13 | 3.07 | 3.07 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 0.43 | 0.47 | 0.35 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 204 | 204 | 204 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.1 | 1.9 | 1.6 | 10 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W458.50B | ND | <0.01 | <0.01 | 5.0 | 10 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W458.50B NIEA W459.50B | <0.04 | <0.04 | <0.04 | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準或灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 4.2-18 樣區三大埤鄉土壤實驗室分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|--------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | mg/kg | | | % | - |
| 1 | YLTP-02-001 | 豐田段 ○○○地號 | 入水口 | 18 | 16.8 | 19000 | 159 | 2.5 | 6.4 |
| 2 | | | 出水口 | 19 | 18.9 | 19500 | 133 | 2.3 | 6.2 |
| 3 | YLTP-02-008 | 豐田段 ○○○地號 | 入水口 | 27 | 23.9 | 22800 | 309 | 2.9 | 6.9 |
| 4 | | | 出水口 | 16 | 16.1 | 24700 | 296 | 4.0 | 7.0 |
| 5 | YLTP-02-011 | 豐田段 ○○○地號 | 入水口 | 24 | 22.2 | 19900 | 201 | 2.4 | 6.8 |
| 6 | | | 出水口 | 11 | 9.51 | 18000 | 89 | 4.0 | 6.2 |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

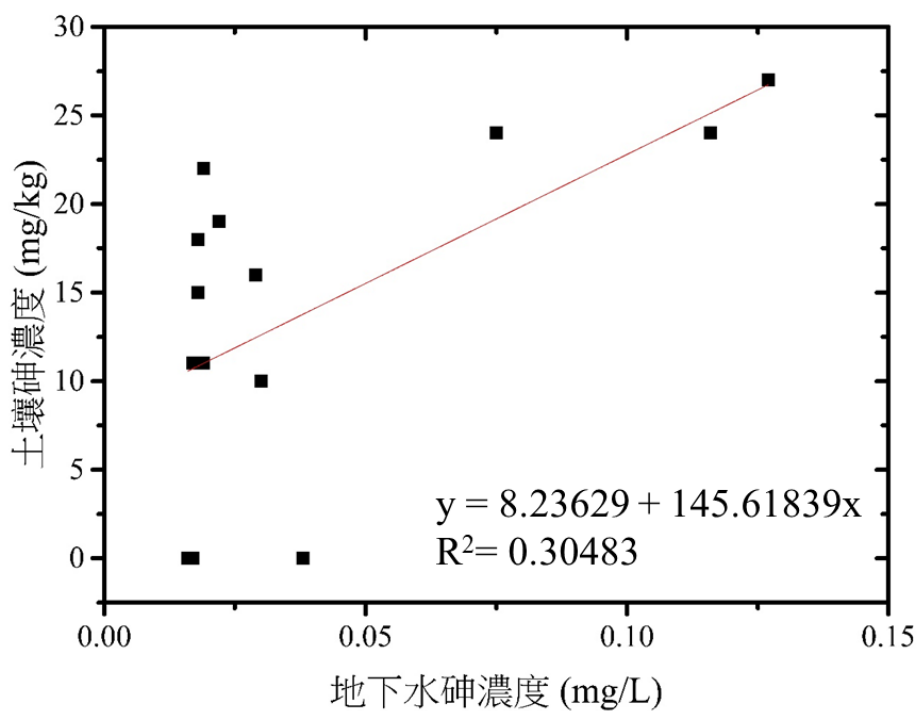


圖 4.2-12 樣區三大埤鄉土壤及地下水砷濃度關係圖

二、大埤鄉樣區土壤砷來源判定及訪談重點

大埤鄉目標樣區坵塊 YLTP-02-001 其歷史土壤砷濃度高達 123mg/kg，本次調查該筆坵塊入水口土壤砷濃度為 18mg/kg，地下水快篩砷濃度達 0.211mg/L，略高於相同樣區之農地民井砷濃度 (0.019~0.078mg/L)，經現場訪談，目標坵塊水井井深達 100 公尺，而鄰近水井井深多為 10 公尺至 20 公尺，初步推斷，該區域特定深度之地下水含水層為含砷地下水。

為排除人為成因，整合樣區鄰近場址資料，鄰近 1 公里內包含 4 筆調查中場址，場址編號 P10040、P10881 與 P10039 為總石油碳氫化合物污染且皆已歇業，P10734 於 105 年檢測之土壤砷濃度為 13mg/kg。同時對筆民國 108 年國內地下水砷濃度潛勢範圍，鄰近嘉興村已劃定為潛勢範圍，調查樣區位於大埤鄉尚義村，非坐落於潛勢範圍，惟其與嘉興村相鄰，僅距離約 0.4 公里，綜合前述，可歸納台西鄉農地土壤富砷問題應與長期灌溉含砷地下水影響有關，如圖 4.2-13 與表 4.2-19。

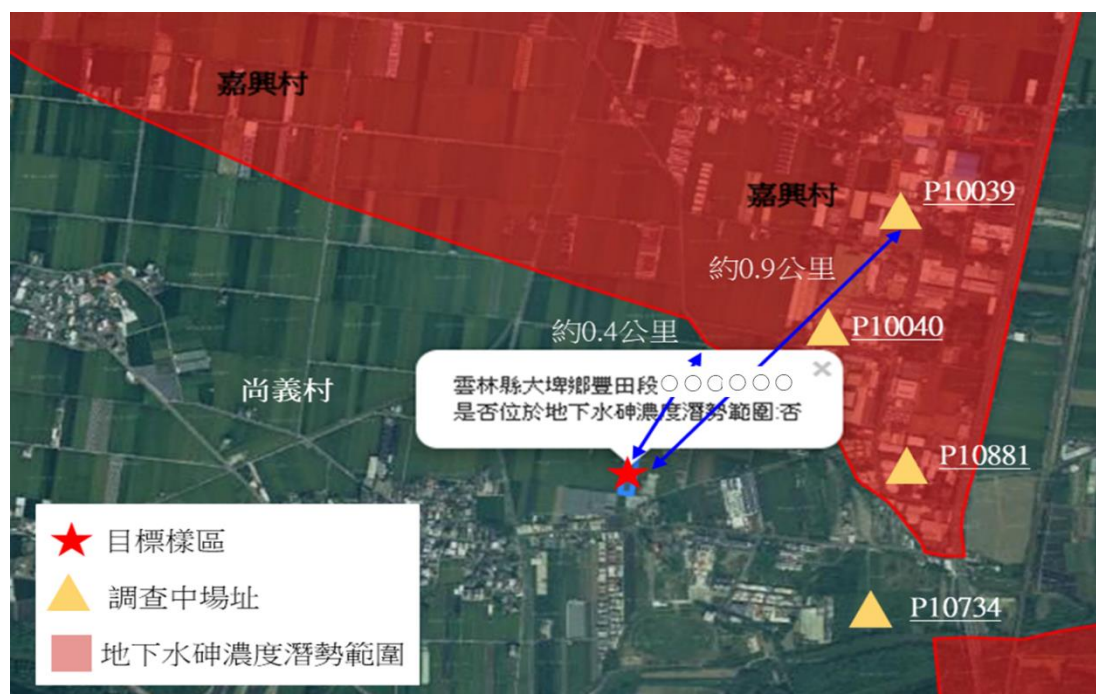


圖 4.2-13 樣區三大埤鄉與地下水砷濃度潛勢範圍比對

表 4.2-19 樣區三大埤鄉鄰近場址資料

| 項次 | 場址編號 | 場址類別 | 狀態 | 土壤砷濃度 | 地下水砷濃度 |
|----|--------|------|-----|-------|--------|
| 1 | P10040 | 工廠 | 已歇業 | 無資料 | 無資料 |
| 2 | P10881 | 工廠 | 無資料 | 無資料 | 無資料 |
| 3 | P10734 | 農地 | 無資料 | 13 | 無資料 |
| 4 | P10039 | 工廠 | 已歇業 | 無資料 | 無資料 |

註：土壤砷濃度單位為 mg/kg，地下水砷濃度單位為 mg/L

依據 2.1 節所述，氧化還原電位、有機質等在特定條件下有利於砷富集之水環境特徵，彙整 3 處樣區地下水砷實驗室分析濃度與鐵、錳、總有機碳、pH 與氧化還原電位相關性如圖 4.2-14、圖 4.2-15、圖 4.2-16、圖 4.2-17、圖 4.2-18，地下水砷含量與重金屬錳、總有機碳成正相關，當有機物含量增加時，赤鐵礦上之砷吸附量減少，有利於砷釋出，而高砷含量常伴隨著高鐵、高錳濃度，氧化還原電位與地下水砷濃度呈明顯負相關，與研究趨勢相符。

綜整上述，本計畫自 28,880 筆歷史土壤資料中篩選土壤砷濃度達管制標準為 151 筆，位於地下水潛勢範圍外僅 10 筆，在排除嘉義縣與重複地號後，皆為本計畫樣區，依據本計畫現場調查結果，三處樣區目標坵塊現今土壤砷濃度皆已低於監測標準，推斷土壤砷濃度差異大為歷史資料久遠、翻土、引灌水源改變與耕作習慣改變等，由此可知歷史資料有其參考價值，惟在進行判識流程時，考量時空變化之可能性，需以農地現況環境砷濃度為判斷依據。

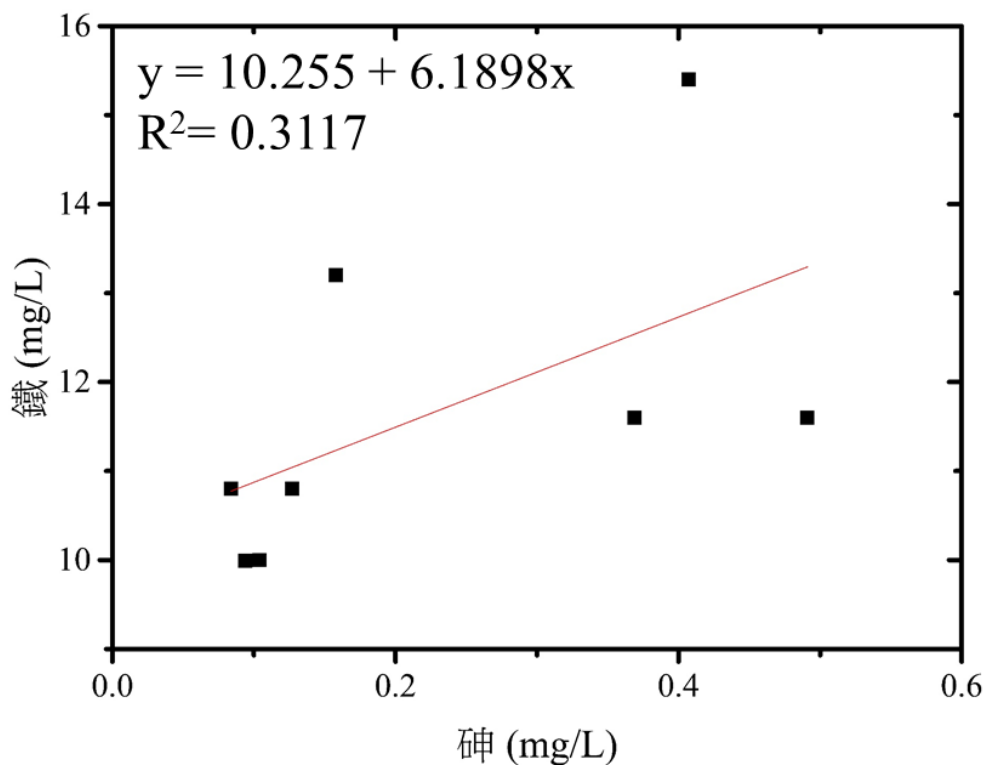


圖 4.2-14 地下水砷濃度潛與地下水鐵相關性

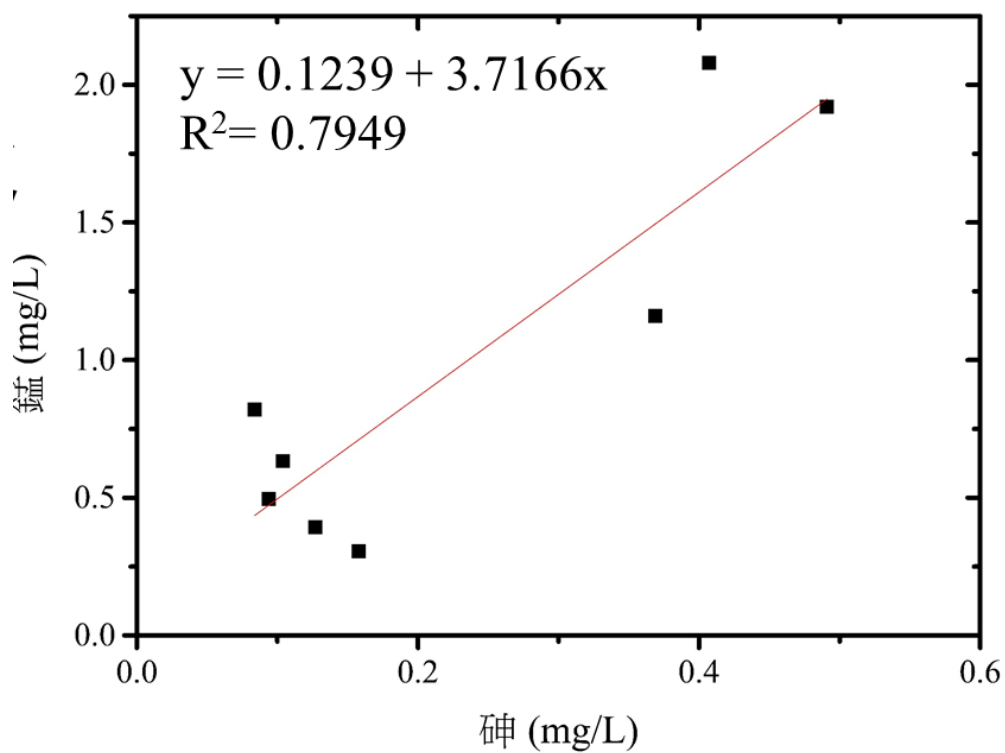


圖 4.2-15 地下水砷濃度與地下水錳相關性

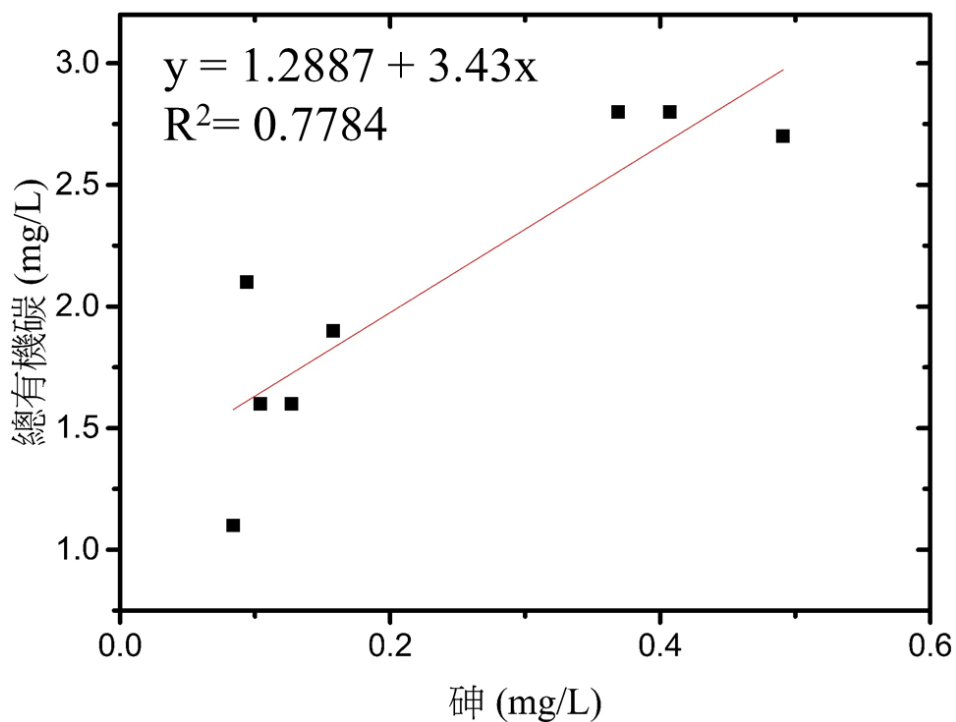


圖 4.2-16 地下水砷濃度與總有機碳相關性

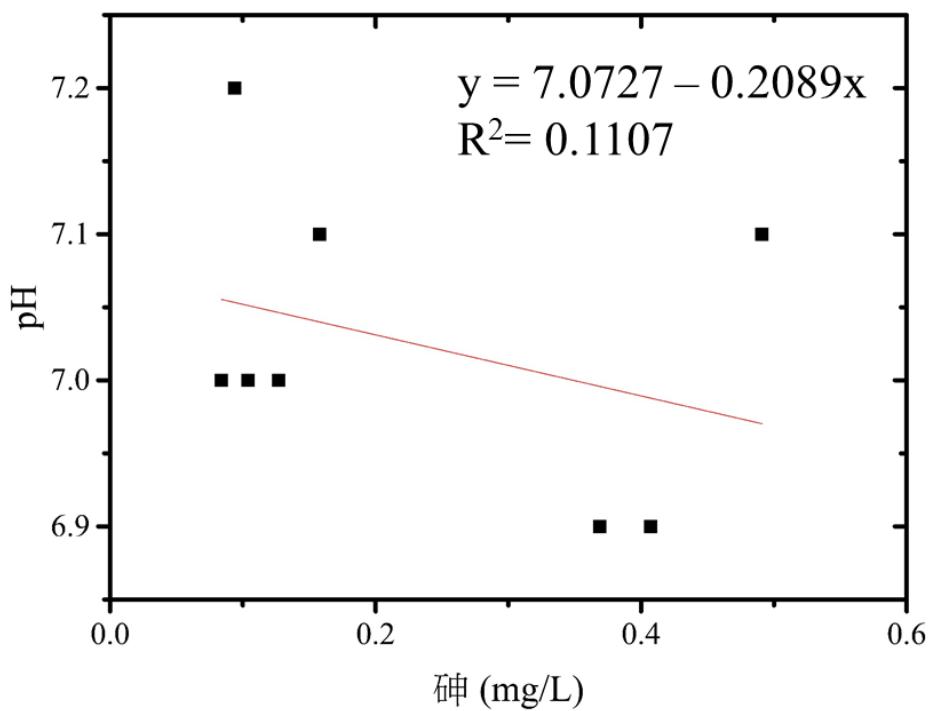


圖 4.2-17 地下水砷濃度與酸鹼值相關性

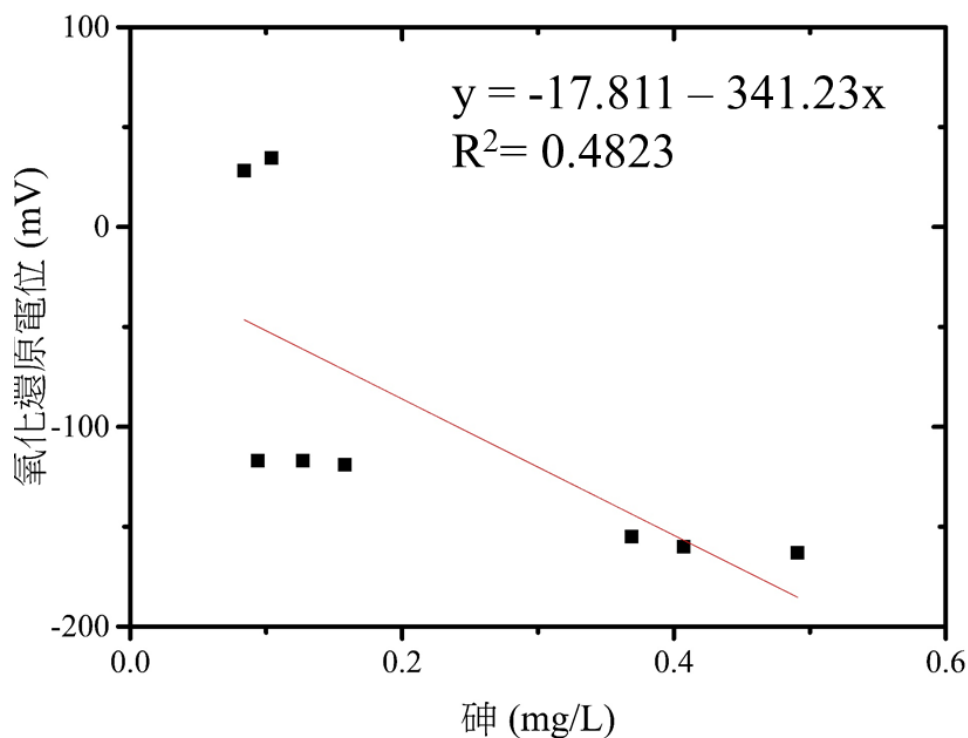


圖 4.2-18 地下水砷濃度與氧化還原電位相關性

4.3 農地土壤砷濃度偏高來源判定及修正

4.3.1 土壤砷來源判定流程

為使直轄市、縣(市)主管機關，依土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)第 12 條第 9 項規定，辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作有所依循，環保署自 107 年 3 月 28 日公布土壤砷污染判定及處理原則，該原則適用土壤僅有砷濃度達污染管制標準、(曾)引灌地下水水源與農業發展條例第 3 條第 1 項第 10 款所指之農業用地。執行土壤砷污染判定工作時，應辦理事項如下：

- 一. 進行判定前應通知相關目的事業主管機關與土地所有人(耕作人)。
- 二. 判定依「自然環境背景存在經引灌致土壤砷達污染管制標準判定流程」如圖 4.3-1，進行現勘訪談作業與環境介質調查工作。
- 三. 現勘訪談作業應蒐集周邊人為污染相關資料，並訪談土地所有人、耕作人確認基本資料及使用情形，完成填寫現勘紀錄表如表 4.3-1。
- 四. 環境介質調查工作針對土壤、地下水、渠道底泥及灌溉用水進行調查，如已有相關歷史調查資料，可評估作為評分依據。
- 五. 依現勘訪談作業與環境介質調查工作結果，進行判定評分表各類別項目之評分。
- 六. 如發現渠道底泥有砷以外之項目濃度高於底泥品質指標上限值，或灌溉用水有砷以外之項目濃度超過灌溉用水水質標準限值，則無法判定為自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準。
- 七. 本判定作業完成後，須將判定結果報知中央主管機關。

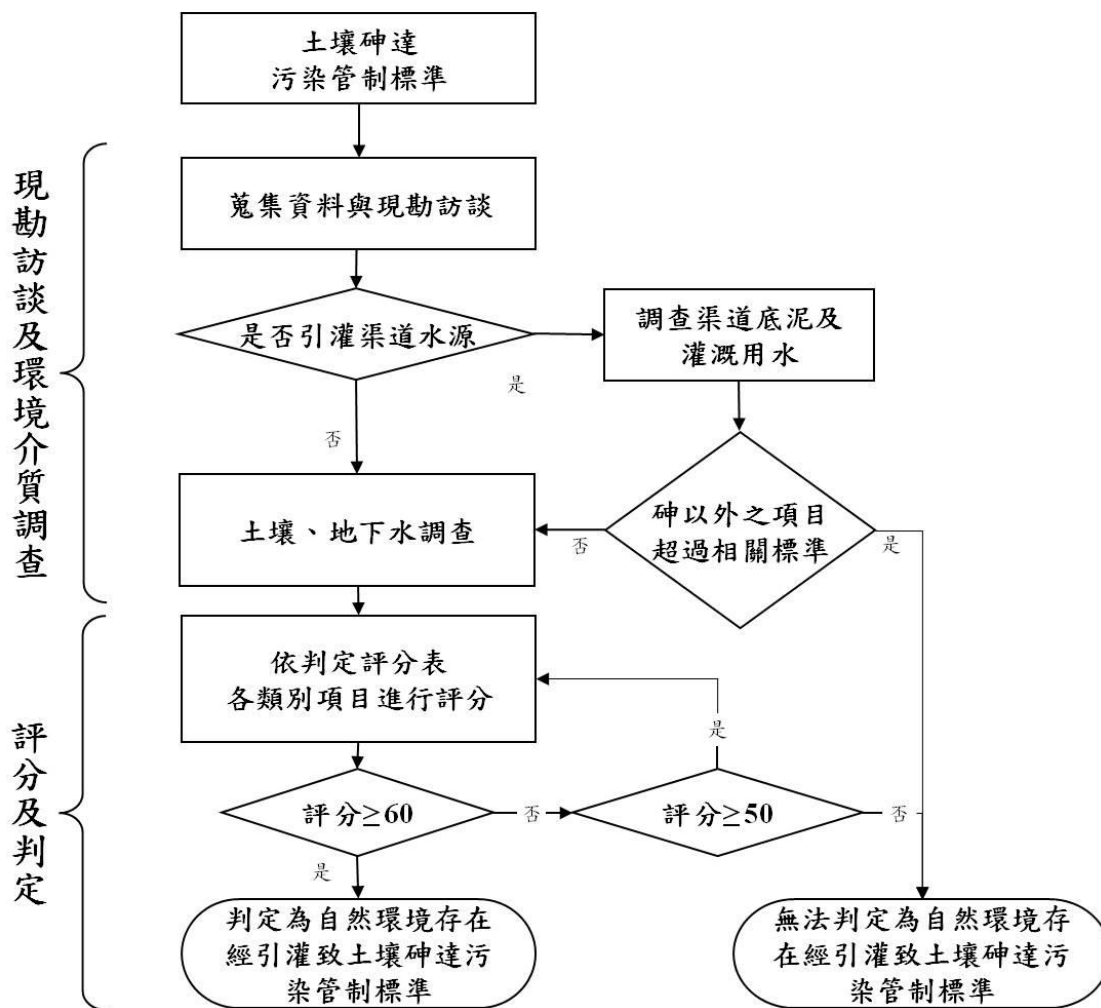


圖 4.3-1 土壤砷污染判定及處理原則

表 4.3-1 土壤砷污染判定現勘紀錄表

| 一、基本資料 | | |
|--------|------|--|
| 1 | 勘查時間 | 民國 年 月 日 |
| 2 | 地號 | |
| 3 | 受訪人 | |
| | 身份 | <input type="checkbox"/> 所有人、 <input type="checkbox"/> 耕作人、 <input type="checkbox"/> 其他： |
| | 聯絡電話 | |
| | 聯絡地址 | |
| 4 | 訪談人員 | |

表 4.3-1 土壤砷污染判定現勘紀錄表(續)

| 二、現場勘查 | | |
|--------|-----------|---|
| 1 | 周邊人為污染 | <input type="checkbox"/> 有，名稱：_____，事業別：_____ <input type="checkbox"/> 無 |
| 三、使用情形 | | |
| 1 | 耕種歷史 | <input type="checkbox"/> 水稻，耕種_____年， <input type="checkbox"/> 一期作， <input type="checkbox"/> 二期作 <input type="checkbox"/> 水旱輪作，頻率：_____ |
| 2 | 引灌水源及型態 | <input type="checkbox"/> 地下水 引灌至渠道後取用： <input type="checkbox"/> 是， <input type="checkbox"/> 否 水井深度：_____公尺，開篩區間：_____公尺 <input type="checkbox"/> 水利會渠道水 <input type="checkbox"/> 混用 |
| 3 | 曾置換/填入外來土 | <input type="checkbox"/> 是，土源：_____ <input type="checkbox"/> 否 |

在土壤砷污染判定及處理原則中，需依現勘訪談作業與環境介質調查工作結果進行判定評分，該判定評分表如表 4.3-2 所示，該評分項目主要可分為三大項，第一為確認是否具有潛在人為污染，調查鄰近是否有含砷原物料事業，如含砷原物料之事業，係包含金屬表面處理業、印刷電路版製造業、光電材料與元件製造業、合成樹脂與塑膠製造業、基本化學材料製造業、農藥環境用藥製造業、電池製造業等。第二則針對該土地歷年使用狀況進行探討，包含耕種歷史、客土、有無使用渠道底泥與是否曾使用含砷農藥。第三項為環境介質調查，根據地下水、渠道底泥、水井等檢測濃度結果進行判斷，最後依該表完成判定工作後，處理原則如下：

- 一. 當評分結果為 60 分以上時，判定為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，應依土污法第 12 條第 9 項規定將檢測結果通知相關目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關事宜。各相關權責機關執行包含監測土壤及地下水、提供替代灌溉水源、食用農作物檢測與輔導轉作、辦理地下水水權登記與檢視用水情形、評估農民及民眾健康風險等事項。
- 二. 當評分結果高於 50 且低於 60 分時，應針對判定評分表中

項目為不確定或不明顯者，再次進行評分。

- 三. 當評分結果為 50 分以下時，則無法判定自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，應依土污法第 12 條第 2 項規定公告為土壤污染控制場址，並依該法相關規定辦理後續管制及改善事宜。

表 4.3-2 土壤砷污染判定評分表

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 |
|-----------------------|-------------------------------|---|------------------------------|----|----|
| | | | | | |
| (一) 潛在 人為 污染 | 周邊有含砷製程事業分布 | 鄰近一公里內是否有使用含砷原物料之事業，若可排除事業造成農地土壤污染選”否”。(*註 1) | 否 | 10 | |
| | | | 是 | 0 | |
| (二) 土地 使用 | 耕種歷史 | (曾)引灌地下水之期間。 | 20年(含)以上 | 10 | |
| | | | 未達20年(含)以上 | 0 | |
| | 曾客土或使用渠道底泥 | 如有客土或應完成確認其及其砷濃度低於土壤污染監測標準選”否”。 | 否 | 10 | |
| | | | 不確定 | 3 | |
| | | | 是 | 0 | |
| | (曾)使用含砷農業資材 | 是否(曾)使用含砷農藥資材。 | 否 | 10 | |
| 不確定 | | | 3 | | |
| 是 | | | 0 | | |
| (三) 環境 介質 調查 | 地下水砷濃度 | 針對引灌之地下水進行採樣及評分檢測結果。 | $\geq 0.5 \text{ mg/L}$ | 15 | |
| | | | $0.05 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ | 10 | |
| | | | $< 0.05 \text{ mg/L}$ | 0 | |
| | 地下水質呈現還原特性、高總有機碳或高鐵、高錳、高硫化物含量 | 針對引灌之地下水進行採樣及檢測鐵、錳與一般項目。有1項測值超過第二類地下水污染監測標準，選”是”。(*註 2) | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |

表 4.3-2 土壤砷污染判定評分表(續)

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 |
|--|---------------------------|---|------|----|----|
| | | | | | |
| (三) 環境 介質 調查 | 土壤砷濃度是否隨遠離水井或地下水引灌入口而呈現遞減 | 以灌溉水源為起點向田間延伸進行土壤採樣，每坵塊至少 5 點(0~15 cm)，檢測項目為砷。如土壤砷濃度分布無遞減或遞增之情形，選”不明顯”。 | 是 | 15 | |
| | | | 不明顯 | 8 | |
| | 否 | | 0 | | |
| | 否 | | 0 | | |
| | 渠道底泥及灌溉用水砷濃度是否偏高 | 當引灌水源(部份)為灌溉渠道，應針對渠道底泥及水體進行採樣及檢測，如砷濃度超過底泥品質指標上限值或超過灌溉用水水質標準，選”是”。 | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |
| 註 1：含砷原物料之事業係包含金屬表面處理業、印刷電路版製造業、光電材料與元件製造業、合成樹脂與塑膠製造業、基本化學材料製造業、農藥環境用藥製造業、電池製造業及銅材軋延與伸線業等。 註 2：係指當氧化還原電位數值為負值時，總有機碳、鐵、猛或硫化物等項目。 | | | | | 總分 |

4.3.2 土壤砷來源判定流程修正重點

本計畫篩選 3 處位於地下水砷潛勢範圍外歷史土壤砷偏高區域進行調查，依調查成果，3 處樣區歷史土壤超標坵塊均已低於土壤監測標準(60mg/kg)，其成因包含為歷史資料久遠、翻土、引灌水源改變與耕作習慣改變等。在台西鄉樣區調查過程中坵塊 YLTH-02-005 土壤砷濃度超過土壤管制標準，依現有土壤砷來源判定流程進行判定為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準。

綜整本計畫與地方環保機關判定過程中，常見發生判定困難之處，歸類為下述三點：一、不同訪談人員判定原則認定不一；二、判定分數位於中間值無法判定成因；三、存在無法判定項目造成判定分數較低等問題。因此，根據環境介質調查，評估評分項目適宜

性，修正原則如表 4.3-3。為解決不同訪談人員判定原則認定不一問題，增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序，並針對判定評分標準及分數級距進行修正，解決判定分數位於中間值所造成無法判定成因問題，於無法釐清與判定之處如農業資材使用狀況進行修正，調整判定項目。

表 4.3-3 土壤砷污染判定評分表擬定修正原則

| 判定困難之處 | 說明 | 修正原則 |
|------------------|---|-----------------------|
| 潛在人為污染調查不足 | 不同訪談人員判則認定不一 | 增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序 |
| 判定分數位於中間值無法判定成因 | 判定分數位於 50 至 60 之間，無法歸類樣態 | 針對判定評分標準及級距行修正 |
| 存在無法判定項目造成判定分數較低 | 1. 如使用地下水，則存在無法判定項目 2. 農業資材使用狀況多無法回溯 | 於無法釐清與判定之處進行修正，調整判定項目 |

依據上述修正原則修正土壤砷污染判定流程，修訂內容主要分為、自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流程修正(圖 4.3-1)，與土壤砷污染判定評分表內容修正(表 4.3-2)，詳如下述。

一、自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流程修正

為簡化明顯自然成因判定程序，於原判定流程在現場調查作業前(圖 4.3-1)新增初評辦法，伴隨判定評分表修正刪除評分高於 50 且低於 60 分之迴圈流程，修正後之經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流程詳如圖 4.3-2，該流程若可藉由初評方式完成判定，則可直接判定為自然環境存在經引灌致土壤砷達污染管制標準。

考量環境中砷污染來源包含人為成因含砷製程事業、

飼料添加劑及自然成因土壤母質，研擬之土壤砷污染判定流程初評辦法需先排除農地具人為污染可能性，且農地亦需具富砷環境，依據上述原則研擬之土壤砷污染判定流程初評表如表 4.3-4，符合初評表 3 項條件且可合理解釋者，則可直接判定為自然環境存在經引灌致土壤砷達污染管制標準，如有 1 項以上之項目不符合或無法合理解釋者，則仍需進行後續土壤砷污染判定流程，初評表 3 項條件分別為：

1. 該筆農地現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則。
2. 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源。
3. 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍。

續依該表完成判定工作後，刪除評分高於 50 且低於 60 分之迴圈流程，修正之處理原則如下：

- (一) 當評分結果為 60 分以上時，判定為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，應依土污法第 12 條第 9 項規定將檢測結果通知相關目的事業主管機關，並召開協商會議，辦理相關事宜。各相關權責機關執行包含監測土壤及地下水、提供替代灌溉水源、食用農作物檢測與輔導轉作、辦理地下水水權登記與檢視用水情形、評估農民及民眾健康風險等事項。
- (二) 當評分結果為 60 分以下時，則無法判定自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，應依土污法第 12 條第 2 項規定公告為土壤污染控制場址，並依該法相關規定辦理後續管制及改善事宜。

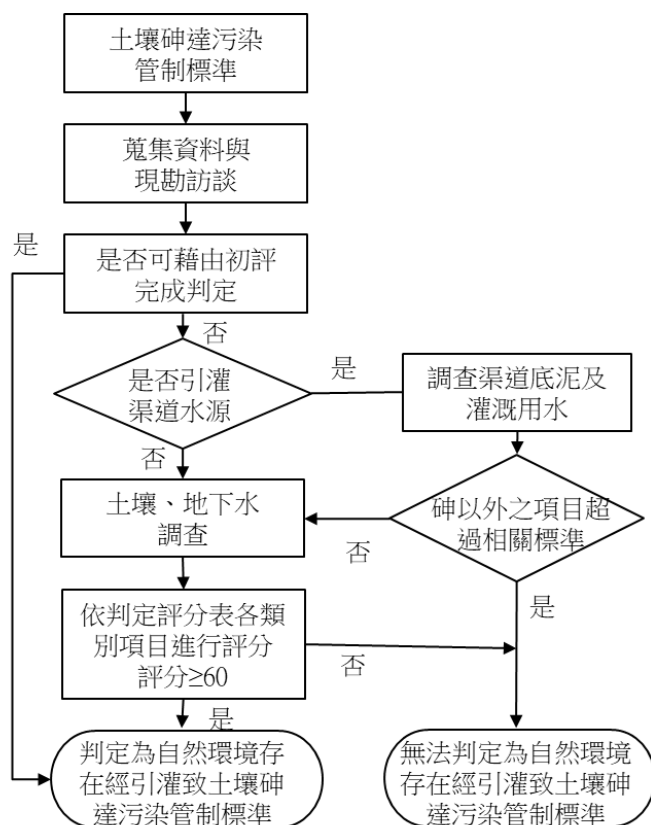


圖 4.3-2 經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流(修正)

表 4.3-4 土壤砷污染判定流程初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | |

二、土壤砷污染判定評分表內容修正

為使地方環保機關有效依土壤砷污染判定流程研判農地砷污染成因，本計畫依據計畫樣區與地方環保機關判定過程中，常見判定困難之處，修正評分表中無法判定項目及無法有效釐清成因之判定項目，修正項目對比如表 4.3-5，修正後判定評分表如表 4.3-6，修正內容與其對應之原因如下。

1. 統一評分表之表述方式，修正周邊是否有含砷製程事業判定項目為正面表述，並納入污染場址判定。
2. 統一評分表之表述方式，修正是否曾客土或使用渠道底泥判定項目為正面表述。
3. 考量現場多無法釐清農地農藝資材使用情形，及影響因子權重，將”(曾)使用含砷農業資材”判定項目自評分表移除。
4. 依據第 3 點農業資材判定項目移除，調整判定項目評分分數。
5. 原有耕種歷史以是否引灌達 20 年為評分標準，其無法有效釐清相關因子權重，修正為農地地下水砷濃度與耕種歷史之相關性考量，因涉及農地地下水砷濃度，將此判定項目類別自潛在人為污染納至環境介質調查。
6. 依據上述第 2 點及第 5 點，合併判定類別(一)潛在人為污染及(二)土地使用。
7. 考量高地下水砷濃度伴隨之地下水質特性，修正一般項目為總有機碳。
8. 原有判定項目若無引灌渠道水，存在無法判定之疑慮，修正其判定方式。

表 4.3-5 土壤砷污染判定評分修正對照表

| 項次 | 修正項目 | 修訂前 | 修訂後 |
|----|------------------------|--|--|
| 1 | 修正周邊有含砷製程事業敘述方式、新增污染場址 | 鄰近一公里內是否有使用含砷原物料之事業，若可排除事業造成農地土壤污染選“否” | 鄰近一公里內無使用含砷原物料之事業及砷污染場址，砷原物料之事業若可排除事業造成農地土壤污染選“是” |
| 2 | 修正曾客土或使用渠道底泥敘述方式 | 如有客土或應完成確認其及其砷濃度低於土壤污染監測標準選“否” | 如未曾客土或完成確認其及其砷濃度低於土壤污染監測標準選“是” |
| 3 | 刪除(曾)使用含砷農業資材項目 | 是否(曾)使用含砷農藥資材 | 刪除此項目 |
| 4 | 調整評分標準 | 評分標準修正 | 伴隨含砷農業資材項目刪除，修正所有判定評分項目為相同評分比重 |
| 5 | 修正耕種歷史判定方式 | (曾)引灌地下水之期間(以 20 年為界線) | (曾)引灌之地下水砷濃度(mg/L)與耕種時間(年)相乘之乘積(納入地下水砷濃度與耕種歷史之相關性考量) |
| 6 | 合併類別 | (一)潛在人為污染 (二)土地使用 (三)環境介質調查 | (一)潛在人為污染 (二)環境介質調查 |
| 7 | 地下水檢測一般項目判定修正為總有機碳 | 針對引灌之地下水進行採樣及檢測鐵、錳與一般項目。有 1 項測值超過第二類地下水污染監測標準，選“是” | 針對引灌之地下水進行採樣及檢測鐵、錳與總有機碳。有 1 項測值超過第二類地下水污染監測標準，選“是” |
| 8 | 補充灌溉渠道及底泥無法判別項目 | 當引灌水源(部份)為灌溉渠道，應針對渠道底泥及水體進行採樣及檢測，如砷濃度超過底泥品質指標上限值或超過灌溉用水水質標準，選“是” | 當引灌水源(部份)為灌溉渠道，應針對渠道底泥及水體進行採樣及檢測，如砷濃度超過底泥品質指標上限值或超過灌溉用水水質標準，選“是”，若無引灌渠道水選“否”，則(二)-1 項目地下水砷濃度判定分數加倍 |

表 4.3-6 土壤砷污染判定評分表(修正)

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 |
|--|---------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|----|
| | | | | | |
| (一) 潛在 人為 污染 | (一)-1 周邊有含砷製 程事業、場址分 布 | 鄰近一公里內 無 使用含砷製程 之事業及 砷污染場址 ，砷原物 料之事業若可排除事業造成農 地土壤污染選 ”是” 。(*註 1) | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |
| | (一)-2 曾客土或使用 渠道底泥 | 如 未曾 客土、使用渠道底泥或 完成確認其及其砷濃度低於土 壤污染監測標準選 ”是” 。 | 是 | 15 | |
| | | | 不確定 | 8 | |
| | | | 否 | 0 | |
| | (二) 環境 介質 調查 | (二)-1 地下水砷濃度 | 針對引灌之地下水進行採樣及 評分檢測結果。 | 濃度 $\geq 0.5\text{mg/L}$ | 15 |
| $0.5 > \text{濃度} \geq 0.5 \text{ mg/L}$ | | | | 8 | |
| $0.05 \text{ mg/L} > \text{濃度}$ | | | | 0 | |
| (二)-2 耕種歷史 | | (曾)引灌之地下水砷濃度 (mg/L)與耕種時間(年)相乘之 乘積 (*註 2) | 乘積 ≥ 7 | 15 | |
| | | | $7 > \text{乘積} \geq 3$ | 8 | |
| | | | $3 > \text{乘積}$ | 0 | |
| (二)-3 地下水質呈現 還原特性、高總 有機碳或高鐵、 高錳 | | 針對引灌之地下水進行採樣及 檢測鐵、錳與 總有機碳 。有 1 項 測值超過第二類地下水污染監 測標準，選 ”是” 。(*註 3) | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |
| (二)-4 土壤砷濃度是 否隨遠離水井 或地下水引灌 入口而呈現遞 減 | | 以灌溉水源為起點向田間延伸 進行土壤採樣，每坵塊至少 5 點(0~15 cm)，檢測項目為砷。 如土壤砷濃度分布無遞減或遞 增之情形，選 ”不明顯” 。 | 是 | 15 | |
| | | | 不明顯 | 8 | |
| | | | 否 | 0 | |

表 4.3-6 土壤砷污染判定評分表(修正)(續)

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 | |
|---|-----------------------------------|--|------|------------------|----|--|
| | | | | | | |
| (二) 環境 介質 調查 | (二)-5 渠道底泥及灌 溉用水砷濃度 是否偏高 | 當引灌水源(部份)為灌溉渠道， 應針對渠道底泥及水體進行採 樣及檢測，如砷濃度超過底泥 品質指標上限值或超過灌溉用 水水質標準，選“是”，若無引 灌渠道水選“其他”，得分同 (二)-1 項目分數。 | 是 | 15 | | |
| | | | 否 | 0 | | |
| | | | 其他 | 同 (二)-1 評分 | | |
| <p>註 1：含砷製程之事業係包含金屬表面處理業、印刷電路版製造業、光電材料與元件製造業、合成樹脂與塑膠製造業、基本化學材料製造業、農藥環境用藥製造業、電池製造業、皮革業及銅材軋延與伸線業等。</p> <p>註 2：$\frac{R_{std}-S_{bk}}{7.7} \cong 7$；$\frac{M_{std}-S_{bk}}{7.7} \cong 3$ R_{std}=土壤砷管制標準 60mg/kg；M_{std}=土壤砷監測標準 30mg/kg； S_{bk}=國內土壤砷背景濃度 8.5mg/kg； 7.7=每 1mg/L 地下水砷濃度引灌 1 年可使農地土壤累積之砷濃度 mg/kg(採保守估計)</p> <p>註 3：係指當氧化還原電位數值為負值時，總有機碳、鐵、錳等項目。</p> | | | | | 總分 | |

註：粗體字為與原評分表相異之處。

4.3.3 修正之土壤砷污染判定流程案例對照

為評估土壤砷污染判定流程修正成效，彙整自土壤砷污染判定及處理原則公布以來，環保署土壤及地下水資訊管理系統已完成登入之判定案例、環保署曾協助地方環保機關判定案例與本計畫樣區判定案例，進行原流程判定結果與修正後流程判定結果對照，依據個案分別探討，再就整體成效評估，詳後所述。

一、計畫雲林縣台西鄉土壤砷超標農地

雲林縣台西鄉樣區總計調查 15 筆農地坵塊，其中坵塊 YLTH-02-005 農地入水口已超過土壤砷管制標準(60mg/kg)，依土壤砷污染判定及處理原則判定為自然環境存在經引灌影響致土壤砷濃度達污染管制標準，將其帶入修正後判定流程(圖 4.3-2)，於現勘訪談蒐集資料後進入初評辦法，如表 4.3-7，該筆農地鄰近無工廠或工業區，均從事農作栽培生產，土壤亦無其餘重金屬超過相關標準，對比地下水砷濃度潛勢範圍，所在村里與地下水砷潛勢範圍相鄰，符合 3 項初評條件且可合理解釋，則直接判定為自然環境存在經引灌致土壤砷達污染管制標準。如亦將此筆農地帶入修正後判定評分表，判定分數自 66 分提升至 84 分，提高明顯為自然成因之案例判定分數，判定評分表詳如附件五。

表 4.3-7 計畫土壤砷超標農地土壤砷污染判定初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | 是 |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | 是 |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | 是 |

二、彰化縣 15 筆農地控制場址

彰化縣彰化市西門口段○○○○-○○○○、○○○○-○○○○、○○○○、○○○○-○○○○、○○○○-○○○○、○○○○、○○○○-○○○○、南興段○○○○、○○○○、○○○○地號，與大村鄉慶安段○○○○、○○○○、○○○○、○○○○及○○○○地號，於 106 年 2 月、3 月及 12 月陸續由環保署公告為控制場址，根據歷史調查資料顯示其灌溉水源皆為受自然背景富砷地下水引灌影響之農地水井，彰化市環保局於 108 年 12 月進行土壤砷污染判定作業，判定屬天然成因，隨之公告廢止管制地號，依據環保局所提供之判定資料，對比本計畫擬定之初評方式，該區域位於地下水砷潛勢範圍內，惟其鄰近 1 公里內皆具含砷製程事業之來源，故無法藉由初評直接判定為自然成因，如表 4.3-8。該區域原判定總分皆為 80，帶入調整後 8 筆農地判定評分提升至 84 分，7 筆農地判定評分表判定總分為 76 分，其判定分數下降成因為實際耕種年分較不明確，無法有效推算耕種歷史，判定評分表詳如附件五。

表 4.3-8 彰化市案例農地土壤砷污染判定初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | 是 |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | 否 |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | 是 |

三、嘉義市 1 筆農地控制場址

嘉義市下埤段○○○○-○○○○地號農地於 104 年度農地定期監測結果中，發現其砷濃度超過土壤污染管制標準，故於 104 年 7 月公告為土壤污染控制場址並劃定為土壤污染管制區，環保署於 107 年 3 月 28 日發布「土壤砷污染判定及處理原則」，嘉義市環保局即依據此原則進行相關調查作業，判定結果顯示下埤段該地號農地總分為 35 分，未達 60 分，無法判定為自然環境背景成因，帶入調整後判定評分表判定總分下降至 30 分，依據環保局所提供之判定資料，對比本計畫擬定之初評方式，如表 4.3-9，雖該區域鄰近地下水砷潛勢範圍，惟其鄰近 1 公里內具含砷製程事業之來源，故無法藉由初評直接判定為自然成因，依土壤及地下水資訊管理系統顯示該筆農地具污染行為人，與判定結果相符，判定評分表詳如附件五。

表 4.3-9 嘉義市案例農地土壤砷污染判定初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | 是 |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | 否 |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | 是 |

四、宜蘭縣 1 筆農地控制場址

宜蘭縣冬山鄉義成六段○○○○地號於 96 年檢出土壤砷濃度超過監測標準，續依土污法第 6 條辦理，108 年 8 月定期監測結果土壤砷濃度超過土壤污染管制標準，並於該年度 11 月進行補充調查作業，本計畫依據縣市環保機關提供之調查結果協助判定，該案原無法判定為自然成因，比對本計畫擬定之初評方式，如表 4.3-10，該區域位於地下水砷潛勢範圍內，其底泥具砷外之項目超過上限值，故亦無法依據初評方式判定為自然成因，與原結果相符。

表 4.3-10 宜蘭縣案例農地土壤砷污染判定初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | 否 |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | 是 |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | 是 |

綜整上述，本計畫修正土壤砷來源判定流程中，無法判定與無法有效釐清之項目，並新增初評辦法，帶入歷年案例原判定成因、判定分數與修正後流程之判定結果對照彙整如表 4.3-11，修正後流程可提升原判定為自然之判定分數，並可藉由初評完成判定，如台西鄉砷超標農地案例，反之原無法判定為自然之農地，如嘉義市案例，判定分數降低且亦無法由初評完成判定，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所需經費。

表 4.3-11 修正之土壤砷污染判定流程案例對照表

| 項目 | 計畫樣區 雲林縣 | 協助判定 彰化縣 | 協助判定 嘉義市 | 協助判定 宜蘭縣 |
|---------------------|----------------|-------------------------------|-------------|-------------------------|
| 案例數量 | 1 | 15 | 1 | 1 |
| 農地狀態 | 經判定流程 判定為自然 | 判定為自然 | 具污染 行為人 | 調查中場址 (具砷以外項 目超標) |
| 是否可藉 由初評完 成判定 | 是 | 否 | 否 | 否 |
| 原評分表 判定分數 | 66 | 80 | 35 | - |
| 修正後評 分表判定 分數 | 84 | 8 筆：84 7 筆：76 (耕種年份不明確) | 30 | - |

4.4 小結

環保署為使地方機關辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作有所依循，自民國 107 年 3 月 28 日公布土壤砷污染判定及處理原則，然而原則發布以來地方機關時常反映無法判定、判定困難等執行問題，因此在本議題中擇定 3 處歷史土壤濃度達管制標準樣區，進行現場調查，並依調查結果釐清土壤砷污染來源，調查結果三處樣區目標坵塊現今土壤砷濃度皆已低於監測標準，推斷土壤砷濃度差異大為歷史資料久遠、翻土、引灌水源改變與耕作習慣改變等，由此可知歷史資料有其參考價值，惟在進行判識流程時，考量時空變化之可能性，需以農地現況環境砷濃度為判斷依據。

本計畫綜整判定過程中，常見發生判定困難之處，為解決不同訪談人員判定原則認定不一問題，增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序，並針對判定評分標準及分數級距進行修正，解決判定分數位於中間值所造成無法判定成因問題，於無法釐清與判定之處如農業資材使用狀況進行修正，調整判定項目。依據上述修

正原則修正土壤砷污染判定流程，依歷年案例帶入修正後之土壤砷污染判定流程，修正後流程可提升原判定為自然之判定分數，並可藉由初評完成判定，簡化明顯自然成因程序，反之原無法判定為自然之案例亦無法由初評完成判定，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，修訂後流程能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所需經費，惟無法合理解釋者，則仍需進行後續土壤砷污染判定流程。

第五章 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立

地下水砷潛勢區內(高砷潛勢範圍)引灌富砷地下水致使農地土壤砷逐漸累積，長期下來將使農地土壤超標機率大幅上升，且在我國地下水高砷潛勢範圍與主要農業區重疊程度高的條件下，倘若貿然限制地下水的的使用對現今農地活化與永續利用政策將會產生衝突。故如何精進潛勢範圍之實務功能，導入健康風險管理措施，以作為後續研擬砷預警機制之參考，為本計畫之關鍵工作。因此本議題在地下水高砷潛勢範圍內擇定三處試驗樣區，透過長時間持續監測，期建立農地土壤砷預警機制，並研擬土壤、地下水與作物安全管措施，以利未來縣市主管機關規畫各農地坵塊管理方式與整治必要性之參考依據，樣區篩選與調查辦理成果如 5.1 節；農地砷預警機制建立規劃如 5.2 節；研擬灌溉水源、土壤與作物安全管理措施如 5.3 節，本章工作流程如圖 5.1-1 所示。

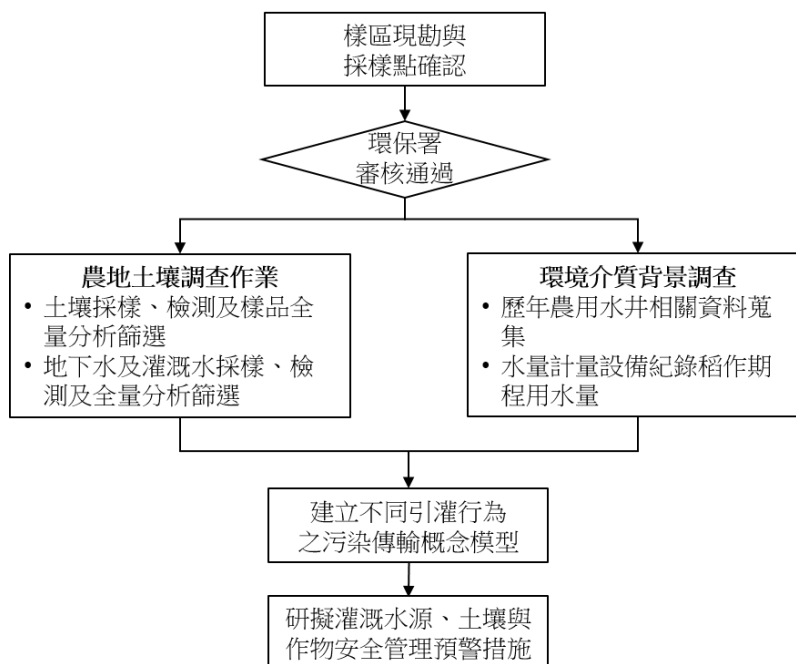


圖 5.1-1 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立工作流程

5.1 樣區篩選與調查辦理成果

5.1.1 樣區篩選

一、歷年地下水砷濃度偏高區域統計

長期引灌富砷地下水將使農地土壤、作物中砷含量逐漸累積，彙整本團隊所掌握農地民井資料包含農試所民井調查、環保署農地砷汞污染調查及管理策略研析計畫、自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫、自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除技術試驗與發展計畫等計畫中，累積民國 104 至 108 年民井砷濃度數據共 2,722 筆，依縣市區分砷濃度分佈如表 5.1-1，顯示民井砷濃度主要集中於雲林縣、臺南市與嘉義縣等三縣市，以濃度監測分布而言，低於砷第一類地下水污染管制標準 0.05mg/L 最多，共計 1,953 筆，而達砷第二類地下水污染管制標準 0.5mg/L 為 78 筆，其中雲林縣 42 筆佔多數。對比地下水砷濃度潛勢範圍，位在區內的分別為雲林縣 42 筆、臺南市 22 筆與嘉義縣 6 筆，總計 70 筆，地理分佈如圖 5.1-2 所示，因此本議題以超過第二類污染管制標準且掌握之民井為候選名單，樣區挑選如后。

表 5.1-1 農地民井地下水砷濃度縣市分佈統計

| 縣市/濃度(mg/L) | 0.05 以下 | 0.05-0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.3 | 0.3-0.4 | 0.4-0.5 | 0.5 以上 | 總計(筆) | 百分比 |
|-------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|---------------|
| 宜蘭縣 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0.18% |
| 南投縣 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.07% |
| 屏東縣 | 373 | 14 | 13 | 2 | 0 | 1 | 0 | 403 | 14.81% |
| 高雄市 | 193 | 11 | 7 | 2 | 1 | 0 | 0 | 214 | 7.86% |
| 雲林縣 | 432 | 98 | 65 | 27 | 23 | 20 | 42 | 707 | 25.97% |
| 嘉義縣 | 247 | 82 | 75 | 30 | 21 | 7 | 7 | 469 | 17.23% |
| 彰化縣 | 261 | 14 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 279 | 10.25% |
| 臺南市 | 424 | 76 | 45 | 20 | 12 | 17 | 28 | 622 | 22.85% |
| 座標錯誤 | 17 | 2 | | 01 | 0 | 0 | 1 | 21 | 0.77% |
| 總計 | 1953 | 297 | 209 | 83 | 57 | 45 | 78 | 2722 | |
| 累積比例百分比 | 71.75% | 10.91% | 7.68% | 3.05% | 2.09% | 1.65% | 2.87% | | 100% |

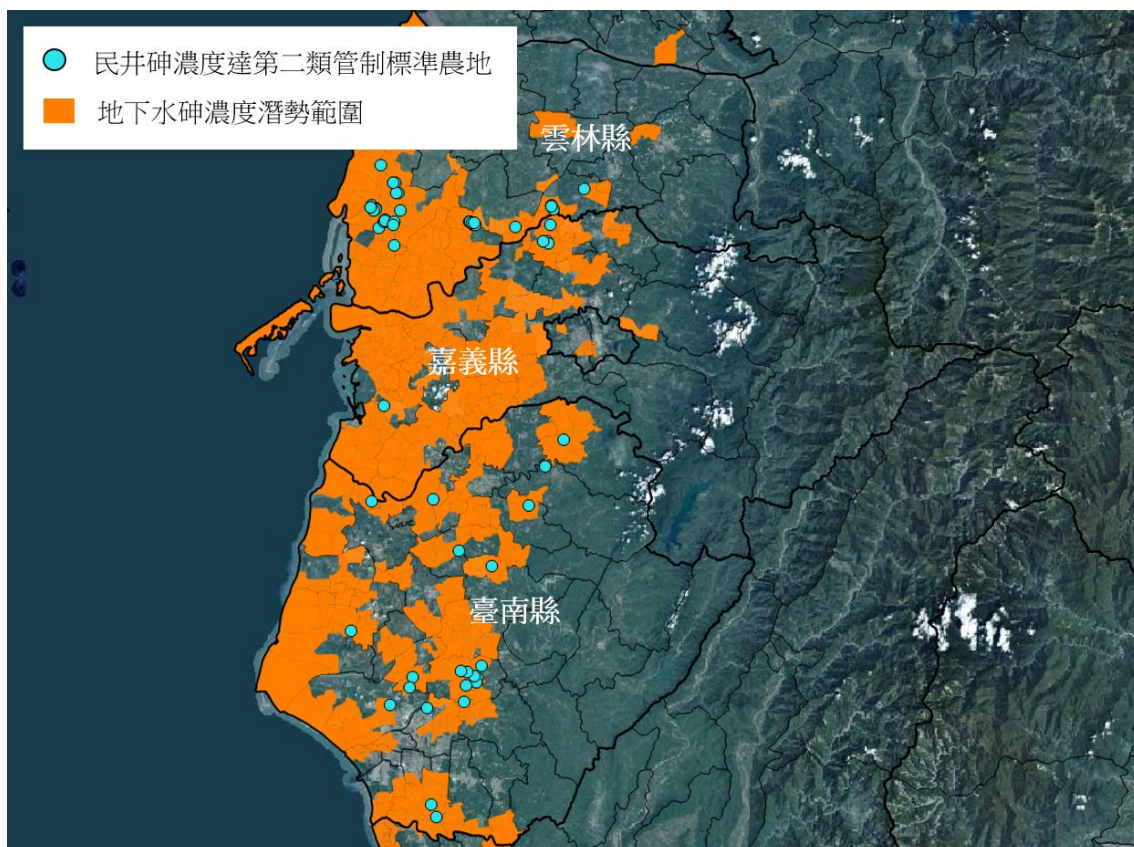


圖 5.1-2 地下水砷潛勢區內農地民井地下水砷濃度超標(0.5mg/L)分佈圖

二、潛勢範圍內樣區篩選原則

由歷年地下水砷濃度偏高區域統計顯示，位在地下水砷濃度潛勢範圍內且地下水砷濃度超過第二類管制標準者以雲林縣佔多數，因此本議題選定雲林縣為調查樣區，賡續綜整土壤與地下水數據，篩選縣內不同土壤及地下水砷濃度目標樣區，如表 5.1-2 與圖 5.1-3，雲林縣內土壤砷濃度達監測標準 30mg/kg 與地下水砷濃度達管制標準 0.5mg/L 主要集中於四湖鄉、口湖鄉、水林鄉、北港鎮與大埤鄉一帶。其中北港鎮溝皂里土壤與地下水濃度均超標，然而經自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除技術試驗與發展計畫調查後，歸類為無法排除人為污染之可能，因此該區域將不列入後續樣區篩選探討區域名單。

表 5.1-2 地下水砷潛勢區內農地土水砷濃度超標統計

| | 土壤超過監測標準筆數 (30mg/kg) | 地下水超過管標筆數(0.5mg/L) | 總筆數 |
|-----|-------------------------|--------------------|-----|
| 水林鄉 | 6 | 0 | 6 |
| 四湖鄉 | 6 | 14 | 20 |
| 麥寮鄉 | 3 | 0 | 3 |
| 台西鄉 | 4 | 1 | 5 |
| 北港鎮 | 31 | 9 | 40 |
| 口湖鄉 | 0 | 11 | 11 |
| 大埤鄉 | 0 | 6 | 6 |
| 元長鄉 | 0 | 1 | 1 |
| 總計 | 50 | 42 | 92 |



圖 5.1-3 地下水砷潛勢區內農地土壤及地下水砷濃度超標分佈圖

如上所述，本議題樣區以土水超標次數多寡優先篩選四湖鄉、口湖鄉、水林鄉與大埤鄉等四個鄉鎮，然而綜觀所掌握土壤與地下水調查數據，部分數據年份久遠，具有與現況不相符之可能性，因此本團隊已依歷史土壤、地下水砷濃度高低順序進行現地查勘，辦理候選農地之土壤與地下水砷濃度快篩工作，同步確認該農地於本年度是否預定種植稻作，現場勘查示意如圖 5.1-4，同時本議題需於稻作栽培期間安裝地下水水量計量設備紀錄地下水用量，因此在樣區篩選上亦需徵求地主同意，地主同意書如附件四，篩選後選定樣區如表 5.1-3，合計為 10 處，並依土壤及地下水砷濃度、質地、鄉鎮與稻作期程不同分為三處目標樣區，篩選流程與原則如圖 5.1-5，佈點規劃詳各小節。

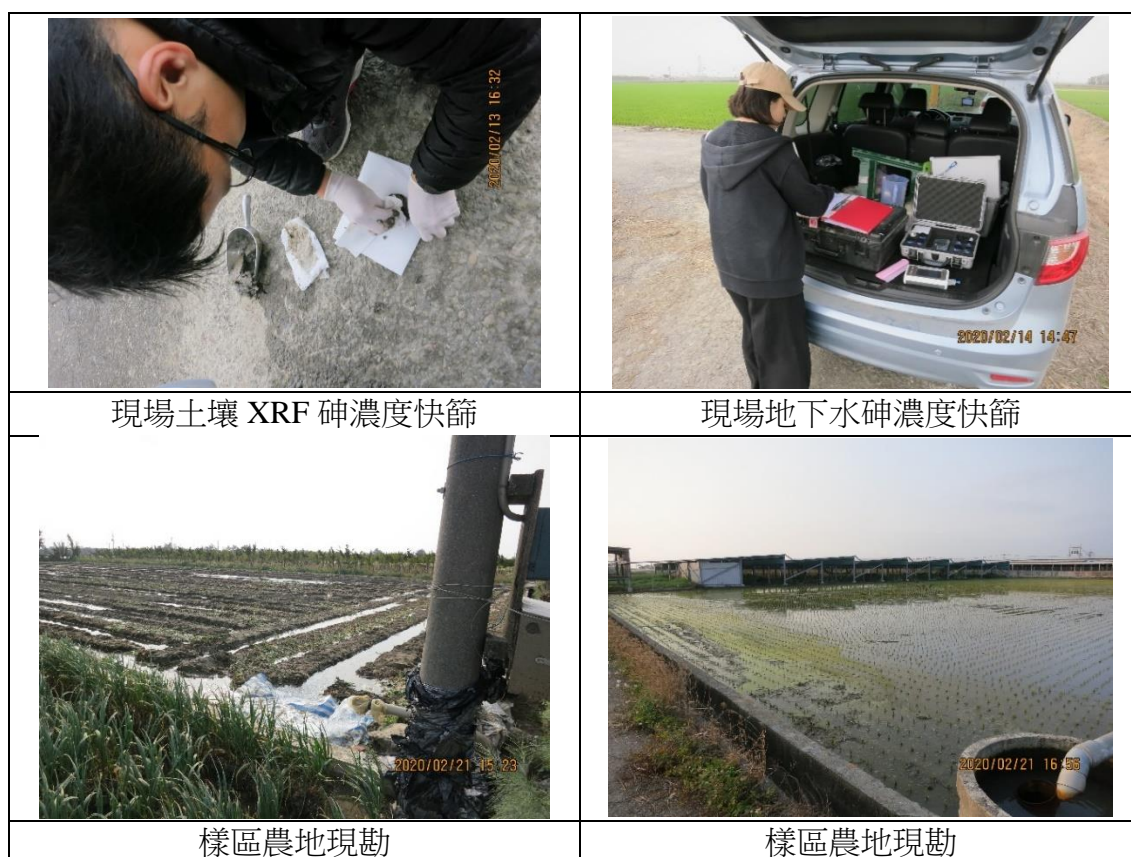


圖 5.1-4 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區現勘圖

表 5.1-3 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區砷濃度快篩表

| 編號 | 性質 | 地號 | 土壤 mg/kg | 地下水 mg/L | 土質 | 備註 |
|----|-----|-------------------|-------------|-------------|------|----|
| 1 | 樣區一 | 舊庄段○○○○地號 | 10.4 | 0.722 | 壤土 | |
| 2 | | 舊庄段○○○○地號 | 4.8 | 0.860 | 壤土 | |
| 3 | | 舊庄段○○○○地號 | 10.4 | 0.306 | 壤土 | |
| 4 | | 舊庄段○○○○地號 | 25.9 | 0.353 | 壤土 | |
| 5 | 樣區二 | 溪尾段新溪小段 ○○○○地號 | 21.7 | 0.636 | 砂質壤土 | |
| 6 | | 安慶段○○○○地號 | 22.2 | 0.571 | 砂質壤土 | |
| 7 | | 成功段○○○○地號 | 12.3 | 0.365 | 砂質壤土 | |
| 8 | 樣區三 | 西鹿段○○○○地號 | 16 | 0.115 | 壤土 | |
| 9 | | 西井段○○○○地號 | 18 | 0.081 | 壤土 | |
| 10 | | 灣東段○○○○地號 | 36.9 | 0.037 | 壤土 | |

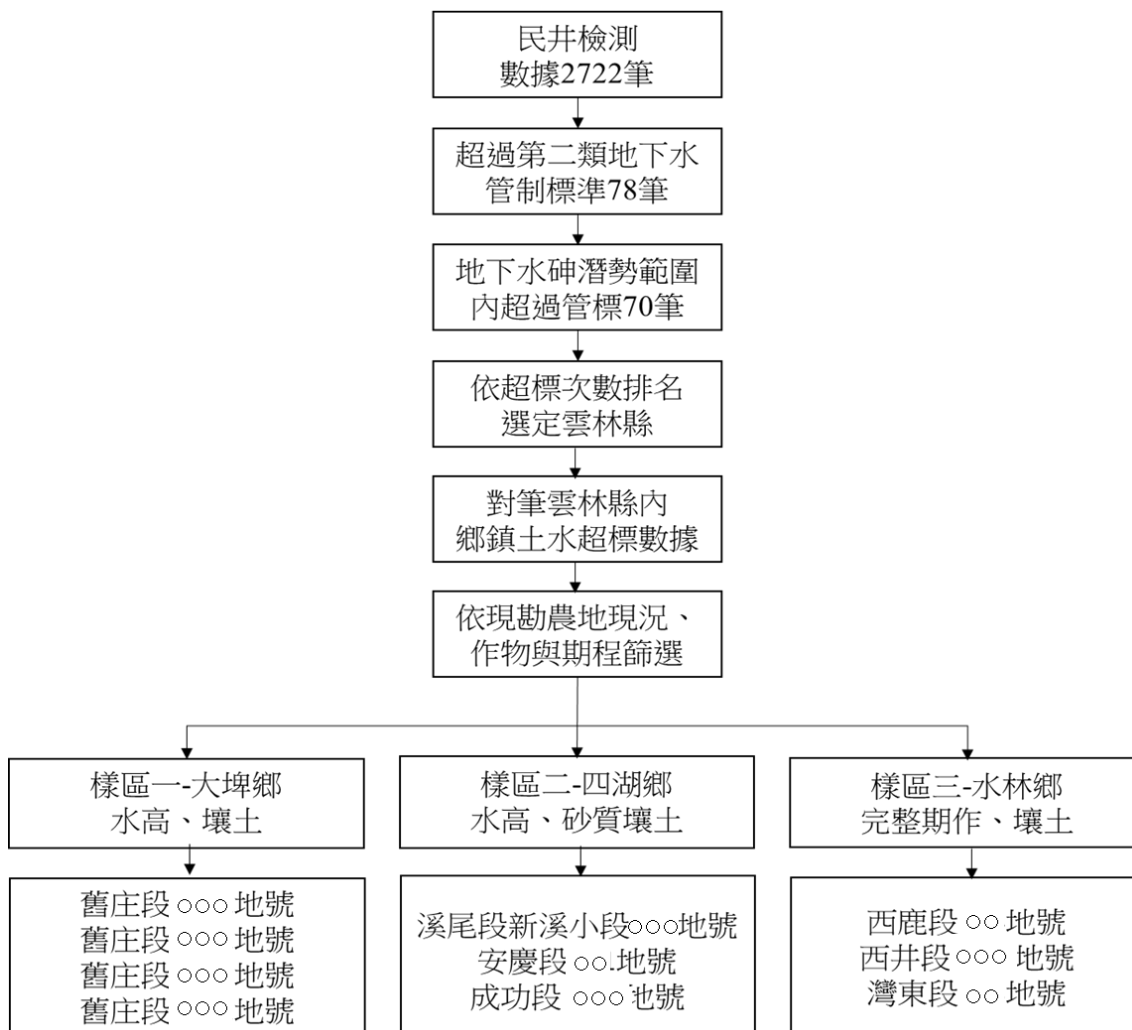


圖 5.1-5 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區篩選原則

三、採樣與相關紀錄設備規劃

(一) 採樣數量

依評選須知本階段盤點 3 處地下水砷濃度潛勢範圍內具農地土壤超標可能之樣區，並於稻作期間連續採樣檢測，背景土壤砷濃度之 XRF 篩測工作，總計預估 50 組樣品，並篩選 10 組送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量與土壤基本特性(pH、ORP、導電度、CEC、交換性鹽基、粒徑分析、有機質、有效性磷)，進行水稻栽培期間歷次引灌水源之砷濃度快篩分析，水中砷快篩方式可選用電化學方法，預估 200 組樣品，選 40 組樣品送實驗室分析重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，將篩測結果與實驗室分析結果進行比對，以建立快篩設備之實用性與可靠性，各樣區規劃採樣如表 5.1-4 所示。

(二) 水量計量裝置

計畫中使用地下水水量計量設備記錄各坵塊歷次用水量，係利用單次抽水持續時間配合單位時間的抽水量推估單次抽水事件總抽水量，推算流程如圖 5.1-6 與圖 5.1-7，並對比土壤與地下水檢測數據推估關係濃度，計畫期間將連續檢測一期稻作土壤與地下水砷濃度，在稻作種植前即進行第一次土壤與地下水濃度篩測，而後檢測頻率採每月一次 XRF 篩測土壤砷濃度，地下水快篩則為每週量測，持續檢測至六月稻米採收後，並對比每一階段土壤與地下水篩測濃度，推估總灌溉水量與土壤砷濃度累積的相關係數，同時過程中調查土壤面積、灌溉方式、土壤特性與背景資料等，國內稻作一期作約落在 2 月初至 6 月，然而本議題之樣區一與樣區二已開始種植稻作，因此本團隊利用區間消耗電量回推灌溉累積用水量。

(三)現場砷濃度快篩設備

本計畫針對挑選區域，進行水稻栽培期間歷次引灌水源之砷濃度快篩分析，採用國內自主研發之電化學快篩試片，為驗證批次試片篩測相關性，選用試驗期間送實驗室檢測之 40 組分析砷樣品，樣品對應濃度分布如圖 5.1-8，分析比對結果相關係數 R^2 達 0.96，驗證本快篩設備已具備現地之實用性與可靠性，顯示現場快篩檢測之砷濃度數值具參考代表性，可作為即時佈點規劃與篩選後送實驗室分析樣本之參酌。

(四)採樣布點原則

在採樣佈點原則上，調查區域將以農地為主，然而本議題須考量土壤及地下水砷濃度、種植作物與稻作期程等因素，故調查範圍以村里為分界後，選擇具相關性之鄰近坵塊。考量砷於土壤之吸附累積特性，採樣深度以表土(0~15 公分)，採用抓樣方式取得坵塊土壤砷代表樣品，佈點原則以地下水井入水口處鄰近 1 公尺範圍，進行土壤與地下水採樣，詳細樣區佈點規劃如后。

表 5.1-4 高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立樣區採樣點數規劃

| 基本資料 | | | | | | |
|-----------|----|------|---------|---------|---------|-----|
| 項目 | 頻率 | 總計次數 | 樣區一 | 樣區二 | 樣區三 | 總計 |
| 代號 | | | YLTP-03 | YLZH-03 | YLSL-03 | |
| 調查坵塊(田埂) | | | 4 | 3 | 3 | 10 |
| 土壤 XRF 分析 | 每月 | 5 | 4 | 3 | 3 | 50 |
| 土壤全量分析 | 單次 | 1 | 4 | 3 | 3 | 10 |
| 地下水快篩 | 每周 | 20 | 4 | 3 | 3 | 200 |
| 地下水全量分析 | 計次 | 4 | 4 | 3 | 3 | 40 |

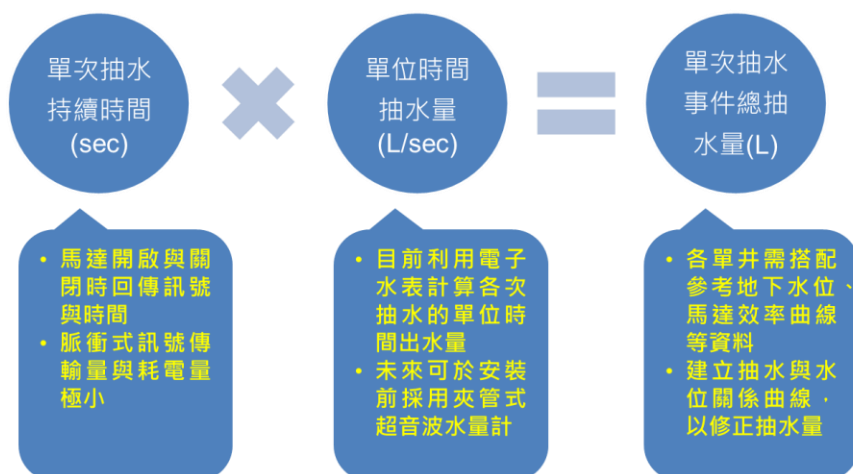


圖 5.1-6 農田稻作抽水量核算方式與做法



圖 5.1-7 智慧量水設備圖

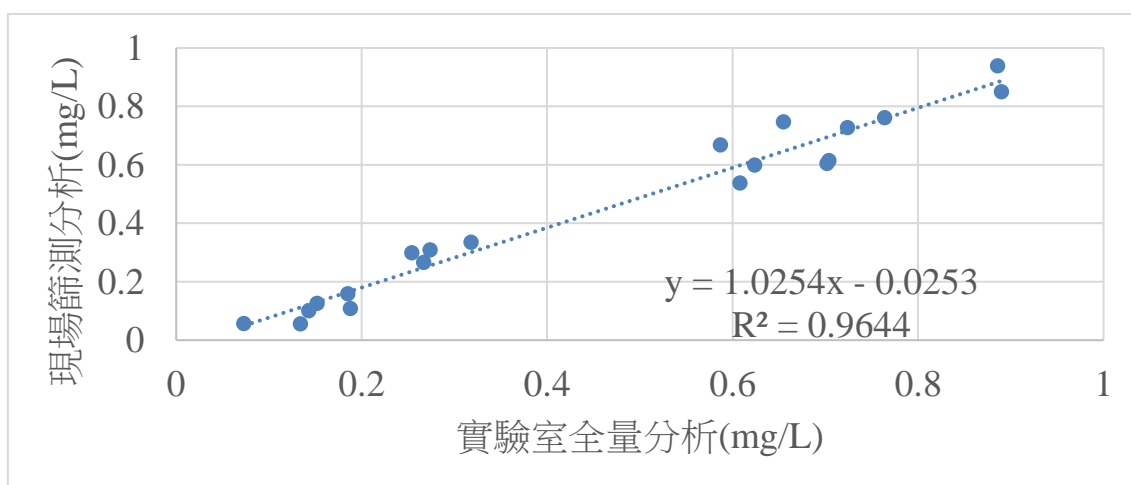


圖 5.1-8 含砷水體現場篩測結果與實驗室分析數值相關性分布圖

5.1.2 樣區一雲林縣大埤鄉佈點及調查結果

一、樣區一佈點規則

樣區一選擇以雲林縣大埤鄉怡然村為分界，歷史調查資料顯示地下水砷濃度偏高坐落於怡然村舊庄段，經現場地下水砷濃度篩測以○○○○地號濃度為最高達 0.860mg/L，同時鄰近坵塊農耕水源皆以自用民井為主，且地下水砷快篩濃度均偏高，故以○○○○地號相同路段地下水砷快篩濃度前 4 高之坵塊為樣區一(代號為 YLTP-03)，如表 5.1-5，範圍坐落於 250 公尺內，土壤質地多為壤土，續依優選坵塊數量規劃土壤與地下水採樣數量各 4 點，以各坵塊民井位置為主，部份水井將視現場農地引灌行為而另行增加點位，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 5.1-9。

表 5.1-5 樣區一雲林縣大埤鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 坵塊編號 | 樣品代號 | 土壤砷 mg/kg | 地下水砷 mg/L |
|----|-----------|------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 舊庄段○○○○地號 | 001 | YLTP-03-001 | 4.8 | 0.860 |
| 2 | 舊庄段○○○○地號 | 002 | YLTP-03-002 | 10.4 | 0.722 |
| 3 | 舊庄段○○○○地號 | 003 | YLTP-03-003 | 25.9 | 0.353 |
| 4 | 舊庄段○○○○地號 | 004 | YLTP-03-004 | 10.4 | 0.306 |



圖 5.1-9 樣區一雲林縣大埤鄉環域概況及採樣佈點規劃

二、樣區一調查成果

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 4 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意(詳附件四)。樣區於 2 月 21 日完成現勘，3 月 20 日完成計量設備安裝，3 月 24 日開始為期 4 個月之連續採樣行程，並於 6 月 30 日分別完成地下水及土壤最後一次現場採樣作業，現場工作照片如圖 5.1-10。歷次地下水現場砷濃度快篩與實驗室全量分析數據分布盒鬚圖如圖 5.1-11 至圖 5.1-15，四次 16 筆土壤 XRF 篩測結果如表 5.1-6，4 筆入水口土壤實驗室全量分析結果如表 5.1-7，土壤基本特性分析結果如表 5.1-8。

根據樣區調查坵塊現場砷濃度快篩分析結果與 XRF 篩測濃度初步得知，大埤鄉樣區地下水砷濃度兩筆超過砷第二類地下水污染監測標準(0.25mg/L)，兩筆超過砷第二類地下水污染管制標準(0.5mg/L)，濃度最高為坵塊 YLTP-03-001 地下水砷濃度為 0.89mg/L，四次 16 筆調查農地入水口土壤砷濃度 XRF 篩測濃度均曾高於監測標準(30mg/kg)，並以 YLTP-03-003 檢測出最高土壤砷濃度 51mg/kg。續就 4 筆農地坵塊進行依現場篩測需求進行三次實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，分析結果如表 5.1-9 至表 5.1-11。土壤及地下水累積濃度變化將納入 5.2 節推估農地土壤預警年限參考驗證。

本計畫於連續採樣前已預先建置地下水水量計量設備紀錄本樣區各坵塊歷次用水情形，作為後續建立水稻種植過程之土壤砷污染預警年限推估與檢核方式之基礎資料，各坵塊水量累積使用分布如圖 5.1-16。

三、數據分析與後續作為評估

(一) 水質趨勢討論：

由分析結果可知地下水重金屬鐵與總硬度超過第二類地下水質監測標準，硫酸鹽大於公告灌溉用水水質標準未達監測標準，本樣區位處地下水高砷潛勢範圍，水中鐵錳大部分來自地層，各地下水分區鐵與錳超標情形相當普遍，由於鐵與錳氧化物/氫氧化物屬地層沉積物中含量較豐之礦物成分，於還原環境中，此等礦物容易發生還原作用，而還原態的鐵與錳離子多以溶解狀態出現於水體，造成地下水鐵與錳濃度偏高，此情況符合本樣區背景水質條件。

本區氨氮數值偏高，初步研判大埤鄉樣區長期以稻作為主要農作，且區內調查水井以淺層為主，可能為影響氨氮增長之主因。由於氮素於不同農業行為之水土環境存在不同轉化作用，其中氨氮易存於厭氧環境，若處於好氧環境則因硝化作用轉化為硝酸鹽氮，間接證實區內地下水環境為偏厭氧適合砷、鐵、錳及氨氮存在，不利於硝酸鹽氮產生。

(二) 水量趨勢討論

由樣區各坵塊水量累積分布顯示，本區用水高峰為稻作栽培前期二至四月，本年度於五月過後基本上就不再抽水，經與耕作者確認，本樣區屬雲林水利會灌區內，一期稻作會有水利會供水，二期作才以地下水補充為主，惟本年度因灌渠老舊更新工程進行，故農民需以地下水為主要水源，後期因工程完工恢復地面水供應且氣候變化不大，所以地下水使用需求下降。

(三) 整治管理評估及後續作為

因本樣區土壤砷背景濃度偏高(已達監測標準)，雖未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依土污法規定建議地方環保機關可就所在地段或村里規劃定期監測土壤品質，必要時提醒民眾砷的環境風險，並配合農業主管機關進行農藝輔導及環境管理。

表 5.1-6 雲林大埤鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果

| 項次 | 坵塊編號 | 時間 | 地號 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|----------------|----|-----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | | | | 單位 | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | YLTP-03-001-01 | 三月 | 舊庄段○○○○地號 | 29 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 63 |
| 2 | YLTP-03-001-02 | 五月 | 舊庄段○○○○地號 | 49 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 68 |
| 3 | YLTP-03-001-03 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 33 | ND | ND | ND | 36 | ND | ND | 70 |
| 4 | YLTP-03-001-04 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 17 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 71 |
| 5 | YLTP-03-002-01 | 三月 | 舊庄段○○○○地號 | 17 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 80 |
| 6 | YLTP-03-002-02 | 五月 | 舊庄段○○○○地號 | 41 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 70 |
| 7 | YLTP-03-002-03 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 18 | ND | ND | ND | 37 | ND | ND | 75 |
| 8 | YLTP-03-002-04 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 30 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 70 |
| 9 | YLTP-03-003-01 | 三月 | 舊庄段○○○○地號 | 41 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 76 |
| 10 | YLTP-03-003-02 | 五月 | 舊庄段○○○○地號 | 51 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 69 |
| 11 | YLTP-03-003-03 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 32 | ND | ND | ND | 34 | ND | ND | 68 |
| 12 | YLTP-03-003-04 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 29 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 82 |
| 13 | YLTP-03-004-01 | 三月 | 舊庄段○○○○地號 | 31 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 62 |
| 14 | YLTP-03-004-02 | 五月 | 舊庄段○○○○地號 | 28 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 63 |
| 15 | YLTP-03-004-03 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 19 | ND | ND | ND | 30 | ND | ND | 61 |
| 16 | YLTP-03-004-04 | 六月 | 舊庄段○○○○地號 | 36 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 76 |

註：土壤採樣點均為入水口，**粗體字**為超過監測標準。

表 5.1-7 雲林大埤鄉樣區土壤實驗室全量分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|-----------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|------------|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | | | | % | - |
| 1 | YLTP-03-001 | 舊庄段○○○○地號 | 入水口 | 29 | 31.8 | 20300 | 181 | 1.7 | 6.7(24.9℃) |
| 2 | YLTP-03-002 | 舊庄段○○○○地號 | 入水口 | 17 | 15.3 | 19600 | 194 | 2.1 | 7.2(25.0℃) |
| 3 | YLTP-03-003 | 舊庄段○○○○地號 | 入水口 | 41 | 42.0 | 19000 | 167 | 1.8 | 7.3(24.9℃) |
| 4 | YLTP-03-004 | 舊庄段○○○○地號 | 入水口 | 31 | 36.2 | 16700 | 202 | 1.2 | 7.4(24.9℃) |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

表 5.1-8 雲林大埤鄉樣區土壤基本特性分析

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 土壤 | | | |
|----|------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | YLTP-03-001 | YLTP-03-002 | YLTP-03-003 | YLTP-03-004 |
| 1 | pH | 土水比 1：1 | 6.34 | 6.28 | 7.28 | 7.05 |
| 2 | EC | 土水比 1：1 | 79.6 | 131.2 | 139.9 | 64.3 |
| 3 | 有機質 | 濕式汽化法 | 3 | 4.2 | 2.8 | 1.8 |
| 4 | 磷 | 白雷式第一法 | 155.3 | 172 | 146.4 | 76.9 |
| 5 | 陽離子 | NIEA S201.61C | 10.2 | 10.8 | 8.9 | 7.7 |
| 6 | 鉀 | NIEA S201.61C | 752.1 | 113.7 | 54.5 | 56.9 |
| 7 | 鈉 | NIEA S201.61C | 174.1 | 267.2 | 277.1 | 140.3 |
| 8 | 鈣 | NIEA S201.61C | 1784.7 | 1676.9 | 1824.8 | 1426.6 |
| 9 | 鎂 | NIEA S201.61C | 259.5 | 273.2 | 251.4 | 188.3 |
| 10 | 質地 | 比重計法 | 壤土 | 砂質壤土 | 砂質壤土 | 砂質壤土 |

表 5.1-9 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | | YLTP-03-001 | YLTP-03-002 | YLTP-03-003 | YLTP-03-004 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.727 | 0.850 | 0.335 | 0.308 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.724 | 0.890 | 0.318 | 0.274 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 5.60 | 5.16 | 8.91 | 7.90 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.160 | 0.168 | 0.188 | 0.168 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 527 | 500 | 527 | 587 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 114 | 119 | 129 | 145 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.70 | 0.69 | 0.51 | 0.49 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 2.16 | 2.53 | 2.07 | 2.25 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | <u>270</u> | <u>273</u> | <u>306</u> | <u>322</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 966 | 996 | 1070 | 1130 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機 碳 | NIEA W532.52C | 3.0 | 2.1 | 2.2 | 2.2 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.01(0.001) | <0.01(0.001) | ND | <0.01(0.001) | 5.00 | 10.00 | - |
| 12 | 硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.05(0.04) | <0.05(0.04) | 0.10 | <0.05(0.03) | 50.00 | 100.00 | - |

註：灰底粗體字表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-10 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | | YLTP-03-001 | YLTP-03-002 | YLTP-03-003 | YLTP-03-004 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.538 | 0.604 | 0.299 | 0.266 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.608 | 0.702 | 0.254 | 0.267 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 6.03 | 5.84 | 8.19 | 7.65 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.154 | 0.180 | 0.174 | 0.157 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 569 | 529 | 537 | 599 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 114 | 104 | 122 | 134 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.74 | 0.71 | 0.54 | 0.54 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 2.06 | 2.44 | 2.07 | 2.25 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | <u>252</u> | <u>245</u> | <u>283</u> | <u>290</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 1070 | 1010 | 1160 | 1200 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機 碳 | NIEA W532.52C | 2.3 | 2.2 | 2.0 | 2.1 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | ND | 5.00 | 10.00 | - |
| 12 | 硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.04(0.02) | <0.04(0.01) | <0.04(0.03) | <0.04(0.01) | 50.00 | 100.00 | - |

註：粗體灰底表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-11 雲林大埤鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | | YLTP-03-001 | YLTP-03-002 | YLTP-03-003 | YLTP-03-004 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.558 | 0.597 | 0.28 | 0.301 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.564 | 0.731 | 0.264 | 0.259 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 5.97 | 5.64 | 8.20 | 7.55 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.159 | 0.185 | 0.189 | 0.160 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 534 | 501 | 548 | 601 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 108 | 104 | 119 | 137 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.69 | 0.68 | 0.51 | 0.49 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 2.10 | 2.49 | 2.05 | 2.25 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | <u>252</u> | <u>246</u> | <u>277</u> | <u>299</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 1140 | 1140 | 1090 | 1160 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機 碳 | NIEA W532.52C | 4.0 | 3.5 | 3.4 | 3.5 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | ND | 5.00 | 10.00 | - |
| 12 | 硝酸鹽 氮 | NIEA W436.52C | <0.05(0.01) | <0.05(0.02) | <0.05(0.02) | <0.05(0.03) | 50.00 | 100.00 | - |

註：粗體灰底表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。



圖 5.1-10 大埤鄉樣區現場採樣工作

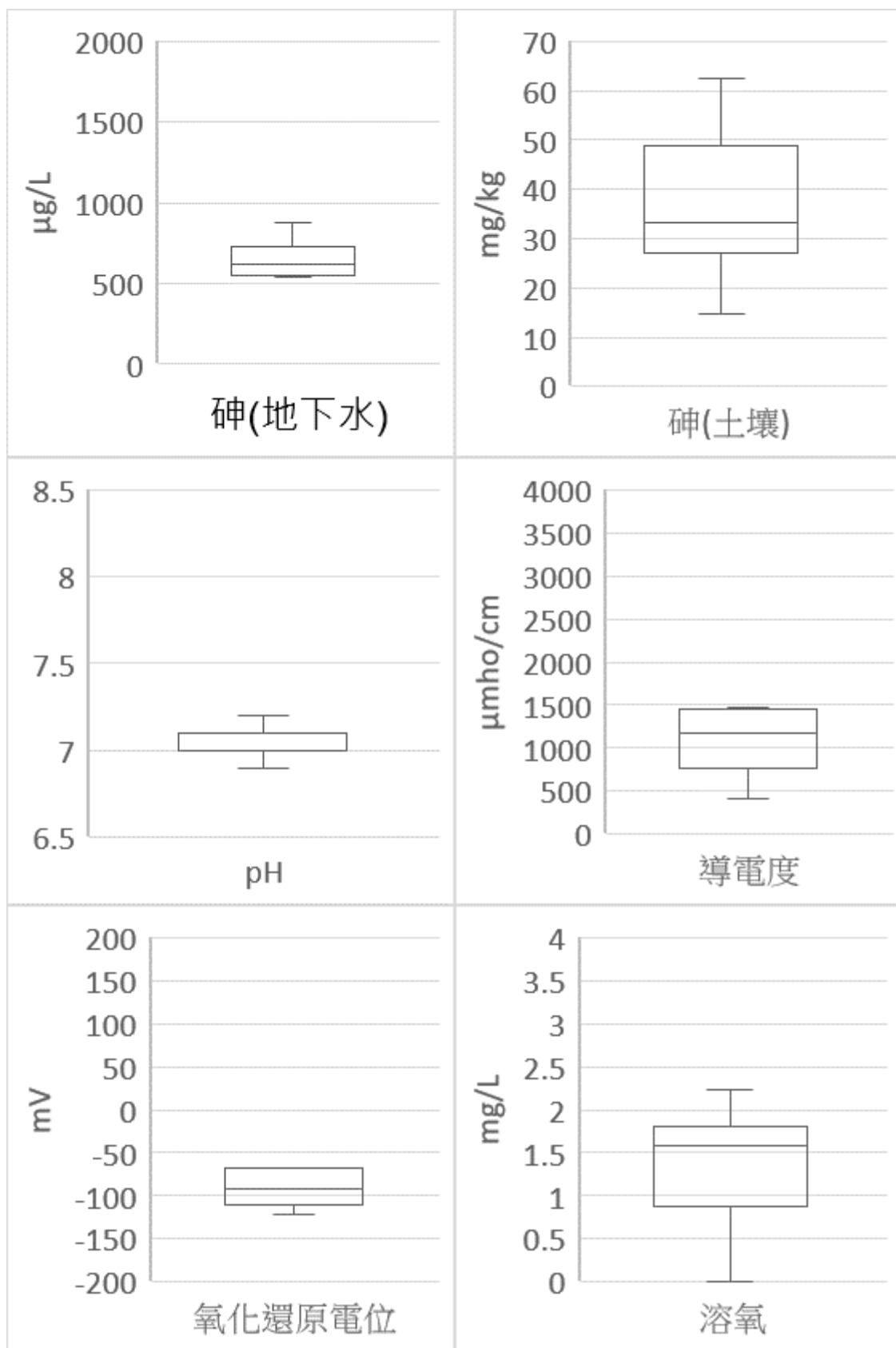


圖 5.1-11 大埤鄉樣區 YLTP-03-001 數據分布圖

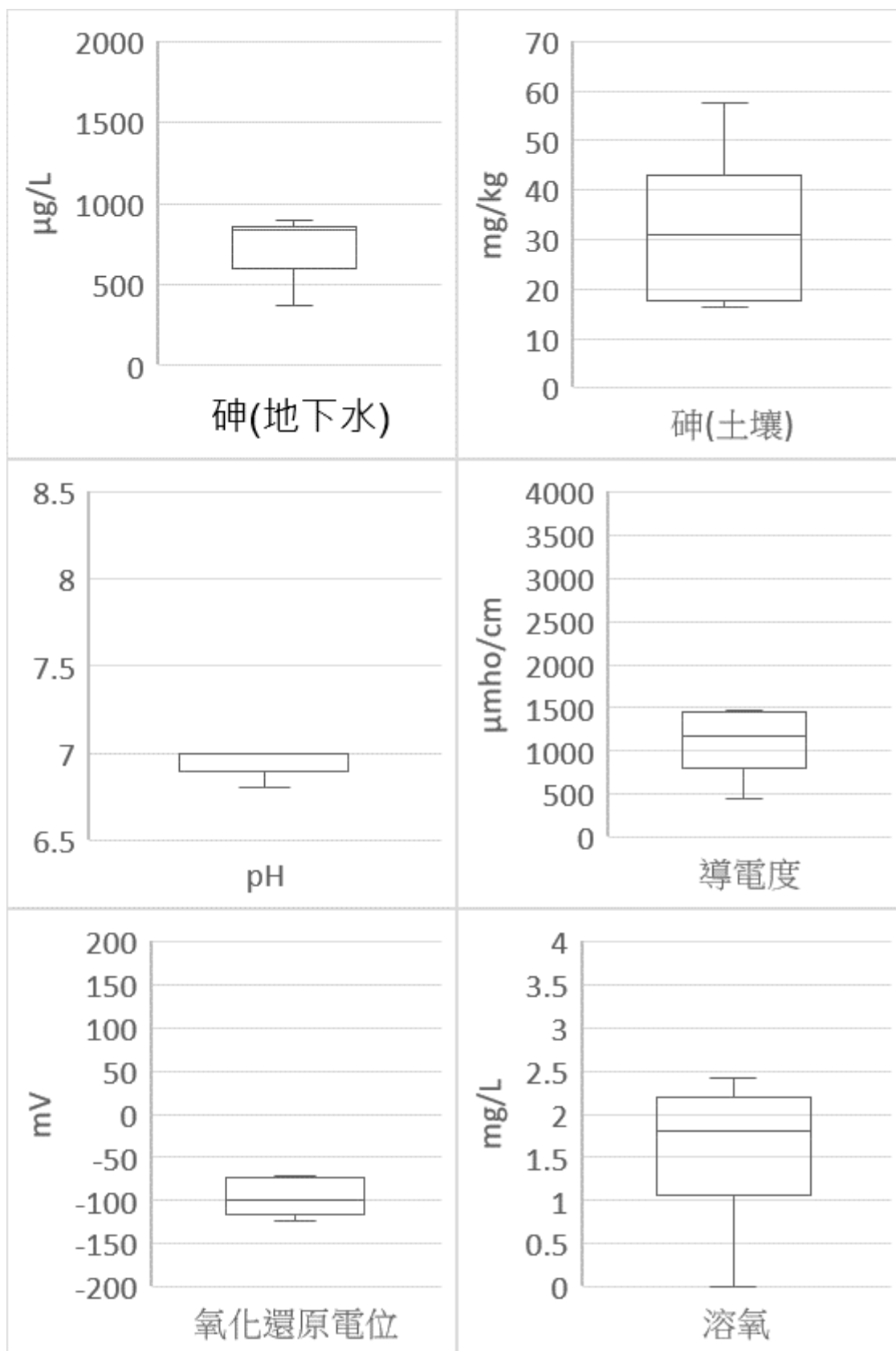


圖 5.1-12 大埤鄉樣區 YLTP-03-002 數據分布圖

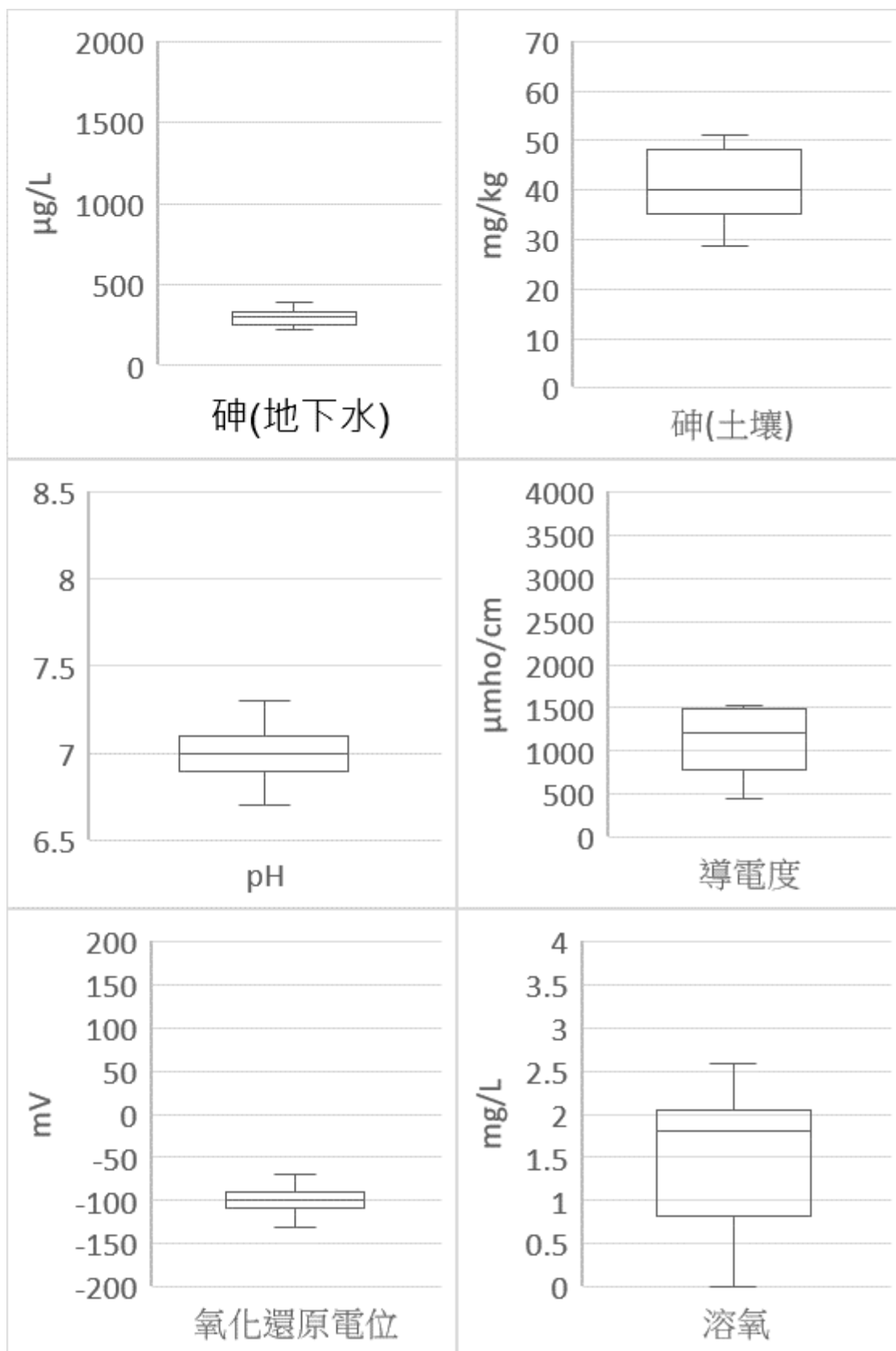


圖 5.1-13 大埤鄉樣區 YLTP-03-003 數據分布圖

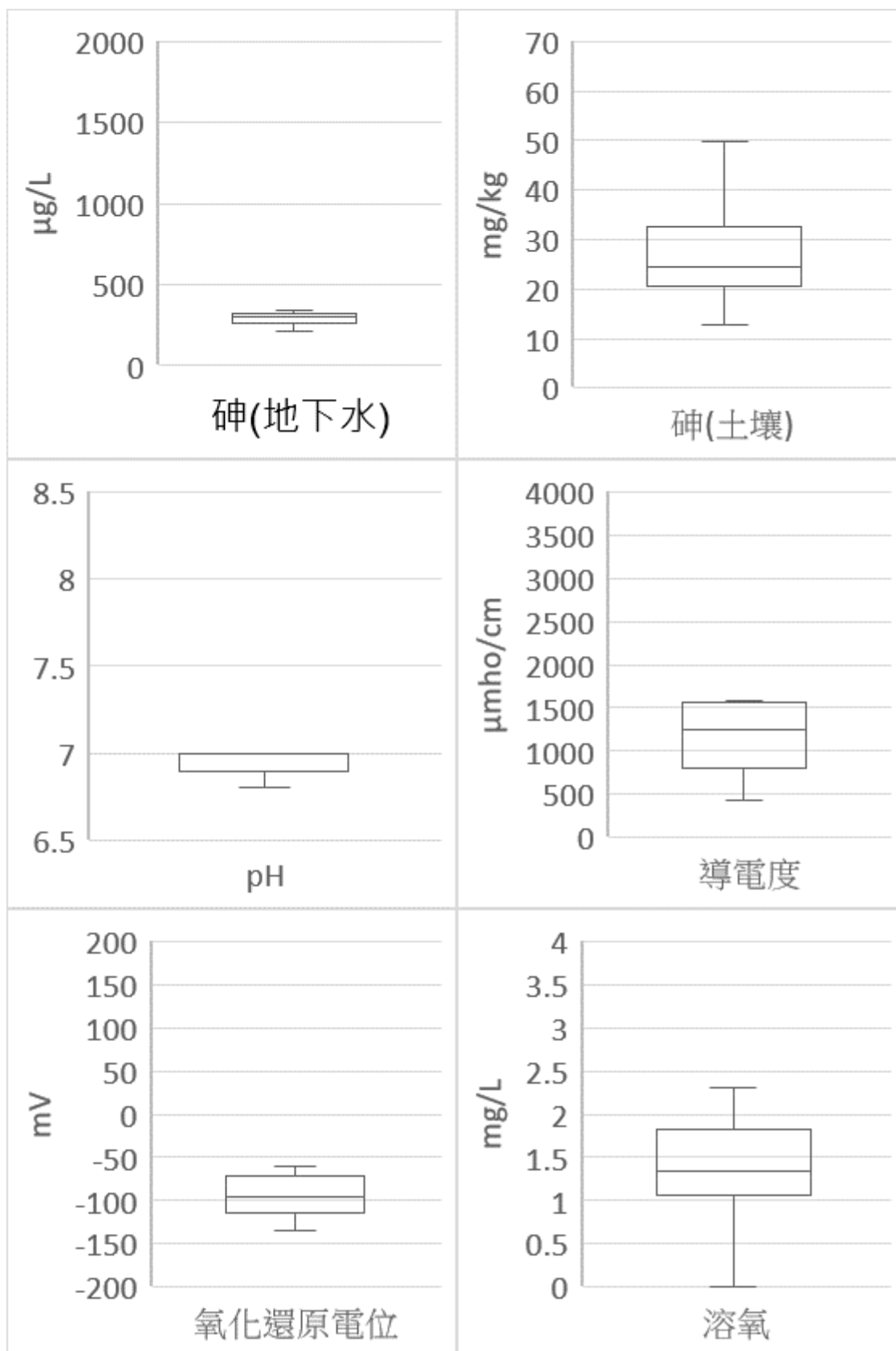


圖 5.1-14 大埤鄉樣區 YLTP-03-004 數據分布圖

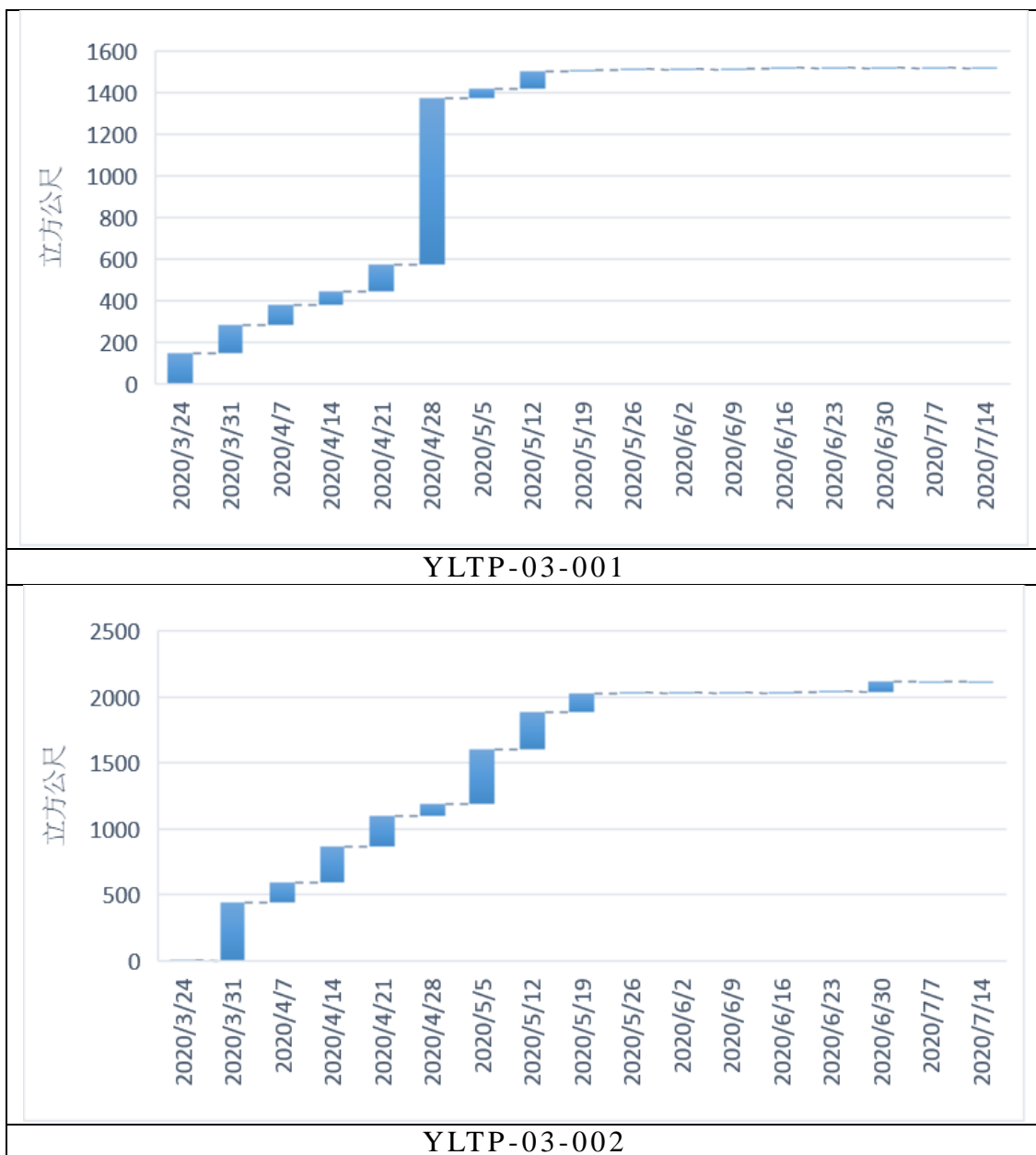


圖 5.1-15 大埤鄉樣區地下水水量計量累積分布圖

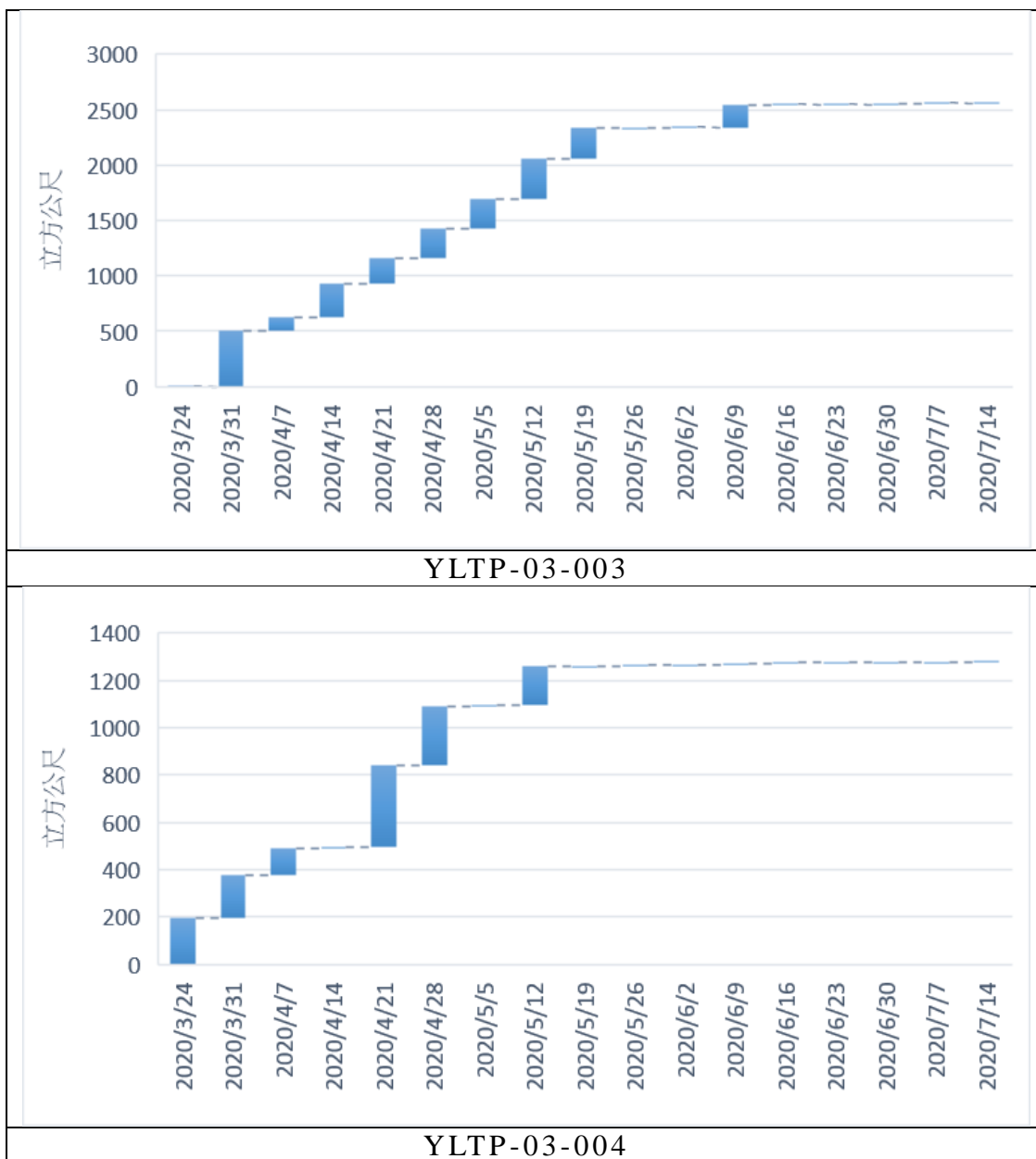


圖 5.1-16 大埤鄉樣區地下水水量計量累積分布圖(續)

5.1.3 樣區二雲林縣四湖鄉佈點及調查結果

一、樣區二佈點規則

地下水砷濃度歷史資料顯示，雲林縣四湖鄉地下水砷濃度超標主要集中於四湖鄉溪尾村、牛厝村及三姓村，其中溪尾村為首要超標村里，依歷史超標地號進行現場篩測，以溪尾段新溪小段○○○○地號地下水砷濃度為高達 0.636 mg/L，鄰近坵塊農耕水源皆以自用民井為主，土壤質地為砂質壤土，故樣區二選擇以雲林縣四湖鄉溪尾村為主，篩選鄰近 3 處地下水砷濃度偏高坵塊(代號為 YLZH-03)如表 5.1-12，範圍坐落於 1 公里內，續依優選坵塊數量規劃土壤與地下水採樣數量各 3 點，以各坵塊民井位置為主，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 5.1-17。

表 5.1-12 樣區二雲林縣四湖鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 坵塊編號 | 樣品代號 | 土壤砷 mg/kg | 地下水砷 mg/L |
|----|-------------------|------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 溪尾段新溪小段 ○○○○地號 | 001 | YLZH-03-001 | 21.7 | 0.636 |
| 2 | 安慶段○○○○地號 | 002 | YLZH-03-002 | 22.2 | 0.571 |
| 3 | 成功段○○○○地號 | 003 | YLZH-03-003 | 12.3 | 0.365 |

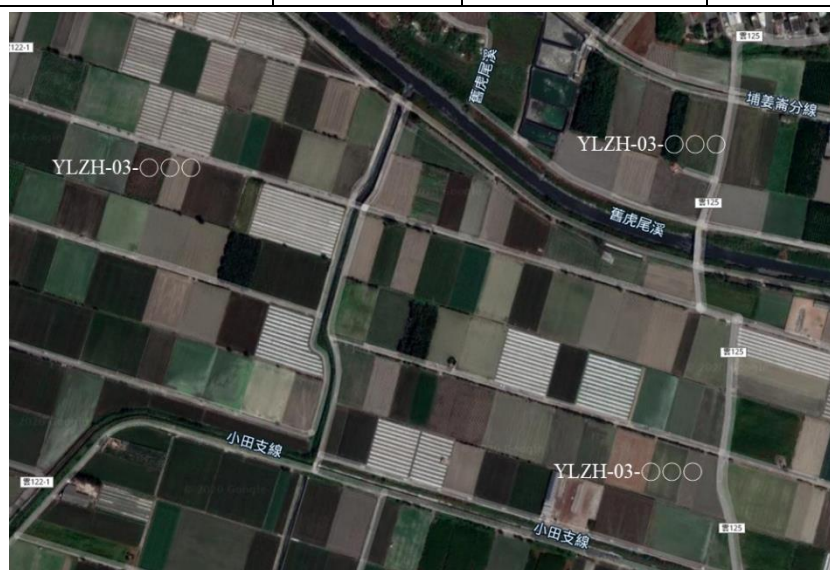


圖 5.1-17 樣區二雲林縣四湖鄉環域概況及採樣佈點規劃

二、樣區二調查成果

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 3 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意(詳附件四)。樣區於 2 月 21 日完成現勘，3 月 19 日完成計量設備安裝，3 月 24 日開始為期 4 個月之連續採樣行程，並於 7 月 14 日分別完成地下水及土壤最後一次現場採樣作業，現場工作照片如圖 5.1-18。歷次地下水現場砷濃度快篩與實驗室全量分析數據分布盒鬚圖如圖 5.1-19 至圖 5.1-21，三次 9 筆土壤 XRF 篩測結果如表 5.1-13，3 筆入水口土壤實驗室全量分析結果如表 5.1-14，土壤基本特性分析結果如表 5.1-15。

根據樣區調查現場土壤 XRF 篩測與地下水砷濃度快篩分析結果得知，四湖鄉樣區地下水砷濃度均超過第二類地下水污染管制標準(0.5mg/L)，濃度最高為坵塊 YLZH-03-002 砷地下水濃度達 0.939mg/L，四次 12 筆調查農地入水口土壤 XRF 篩測砷濃度共兩筆曾高於監測標準(30mg/kg)，其中以 YLZH-03-001 檢測出最高土壤砷濃度 43mg/kg。3 筆農地依現場篩測分類後，進行三次實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，分析結果如表 5.1-16 至表 5.1-18。

本計畫於連續採樣前已預先建置地下水水量計量設備，紀錄本樣區各坵塊歷次用水情形，作為後續建立水稻種植過程中，土壤砷污染預警年限推估與檢核方式之基礎資料，各坵塊水量累積使用分布如圖 5.1-22。土壤及地下水砷累積濃度變化將納入 5.2 節參考驗證。

三、數據分析與後續作為評估

(一) 水質趨勢討論

由分析結果可知，本樣區地下水重金屬鐵超過第二類地下水質監測標準，本樣區位處地下水高砷潛勢範圍，水中鐵錳大部分來自地質背景條件，各地下水分區鐵與錳超標情形相當普遍，由於鐵與錳氧化物/氫氧化物屬地層沉積物中含量較豐之礦物成分，於還原環境中，此等礦物容易發生還原作用，而還原態的鐵與錳離子多以溶解狀態出現於水體，造成地下水鐵與錳濃度偏高，惟本區僅鐵超標，調查結果原則符合本樣區背景水質條件。

本區氨氮數值偏高，初步研判四湖鄉樣區長期以稻作為主要農作，因淺層地下水適逢乾旱將無水可汲取，因此區內調查水井以淺層為主，此亦可能為影響氨氮增長之主因。因氮素於不同農業行為之水土環境存在不同轉化作用，其中氨氮易存於厭氧環境，若處於好氧環境則因硝化作用轉化為硝酸鹽氮，本區硝酸鹽氮含量甚低，間接證實區內地下水環境為偏厭氧適合砷、鐵、錳及氨氮存在，不利於其產生。

(二) 水量趨勢討論

顯示本區用水於稻作栽培可概略分為三階段需水，且分布相對平均，經與耕作者確認，本樣區屬雲林水利會灌區外，早期為看天田，數十年前因鑿井技術普及，才慢慢轉型為稻作兼培，故附近農民係以地下水為主要水源，用水量與訪談者提供資料吻合。

(三) 整治管理評估及後續作為

因本樣區土壤砷背景濃度僅一處連續三次測值達監測標準，並未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依法建議地方環保機關可針對風險坵塊地段或村里規劃定期監測土壤品質，必要時提醒民眾砷的健康風險危害，並配合農業主管機關進行農藝輔導及環境管理。

表 5.1-13 雲林四湖鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果

| 項次 | 坵塊編號 | 時間 | 地號 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|-------------|----|---------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | | | | 單位 | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | YLZH-03-001 | 三月 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 32 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 69 |
| 2 | YLZH-03-001 | 五月 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 43 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 59 |
| 3 | YLZH-03-001 | 六月 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 39 | ND | ND | ND | 30 | ND | ND | 63 |
| 4 | YLZH-03-001 | 六月 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 26 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 64 |
| 5 | YLZH-03-002 | 三月 | 安慶段○○○○地號 | 15 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 69 |
| 6 | YLZH-03-002 | 五月 | 安慶段○○○○地號 | 24 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 62 |
| 7 | YLZH-03-002 | 六月 | 安慶段○○○○地號 | 15 | ND | ND | ND | 32 | ND | ND | 71 |
| 8 | YLZH-03-002 | 六月 | 安慶段○○○○地號 | 18 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 63 |
| 9 | YLZH-03-003 | 三月 | 成功段○○○○地號 | 30 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 74 |
| 10 | YLZH-03-003 | 五月 | 成功段○○○○地號 | 28 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 71 |
| 11 | YLZH-03-003 | 六月 | 成功段○○○○地號 | 26 | ND | ND | ND | 34 | ND | ND | 79 |
| 12 | YLZH-03-003 | 六月 | 成功段○○○○地號 | 24 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 75 |

註：土壤採樣點均為入水口，粗體字為超過監測標準。

表 5.1-14 雲林四湖鄉樣區土壤實驗室全量分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|---------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|------------|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | | | | % | - |
| 1 | YLZH-03-001 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 入水口 | 32 | 33.2 | 27300 | 199 | 0.6 | 7.9(25.0℃) |
| 2 | YLZH-03-002 | 安慶段○○○○地號 | 入水口 | 15 | 14.9 | 29900 | 341 | 0.5 | 8.4(25.0℃) |
| 3 | YLZH-03-003 | 成功段○○○○地號 | 入水口 | 30 | 32.3 | 29700 | 272 | 0.8 | 8.1(24.9℃) |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

表 5.1-15 雲林四湖樣區土壤基本特性分析

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 土壤 | | |
|----|------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | YLZH-03-001 | YLZH-03-002 | YLZH-03-003 |
| 1 | pH | 土水比 1:1 | 6.8 | 8.33 | 7.39 |
| 2 | EC | 土水比 1:1 | 38.1 | 28 | 45.9 |
| 3 | 有機質 | 濕式汽化法 | 1 | 0.6 | 1.4 |
| 4 | 磷 | 白雷式第一法 | 306.5 | 163.1 | 330.3 |
| 5 | 陽離子 | NIEA S201.61C | 4.3 | 3.1 | 4.6 |
| 6 | 鉀 | NIEA S201.61C | 90.7 | 86.2 | 150.8 |
| 7 | 鈉 | NIEA S201.61C | 135.4 | 121.6 | 132 |
| 8 | 鈣 | NIEA S201.61C | 507.2 | 761.9 | 552.5 |
| 9 | 鎂 | NIEA S201.61C | 153.9 | 141.6 | 184.5 |
| 10 | 質地 | 比重計法 | 砂質壤土 | 壤質砂土 | 砂質壤土 |

表 5.1-16 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水水質標準 |
|----|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|----------|
| | | | YLZH-03-001 | YLZH-03-002 | YLZH-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.747 | 0.939 | 0.761 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.655 | 0.886 | 0.764 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 1.97 | 3.71 | 2.56 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.160 | 0.189 | 0.129 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 172 | 306 | 289 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 25.1 | 57.3 | 41.9 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 4.33 | 8.37 | 6.10 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 3.66 | <u>252</u> | <u>412</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解固體物 | NIEA W210.58A | 493 | 781 | 755 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.5 | 2.5 | 1.9 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.01(0.002) | <0.01(0.002) | ND | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | 0.06 | 0.05 | <0.05(0.01) | 50 | 100 | - |

註：粗體灰底表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-17 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|--------------|
| | | | YLZH-03-001 | YLZH-03-002 | YLZH-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.599 | 0.668 | 0.614 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.624 | 0.587 | 0.704 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 1.23 | 2.87 | 2.77 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.120 | 0.163 | 0.130 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 152 | 291 | 292 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 11.8 | 44.4 | 39.1 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 3.83 | 7.58 | 6.30 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 1.19 | 189 | 156 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 482 | 732 | 719 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 2.3 | 1.9 | 1.8 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | 50 | 10 | - |

註：粗體灰底表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-18 雲林四湖鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|--------------|
| | | | YLZH-03-001 | YLZH-03-002 | YLZH-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | 0.689 | 0.698 | 0.662 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | 0.666 | 0.597 | 0.616 | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 1.29 | 3.31 | 2.54 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.124 | 0.182 | 0.128 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 158 | 307 | 293 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 11.1 | 45.6 | 37.3 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 3.83 | 7.80 | 6.10 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 1.17 | 196 | 138 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 487 | 808 | 718 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 3.3 | 3.0 | 3.4 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | <0.01(0.002) | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.05(0.02) | <0.05(0.01) | <0.05(0.03) | 50 | 100 | - |

註：粗體灰底表示超過管制標準，粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。



圖 5.1-18 四湖鄉樣區現場採樣工作

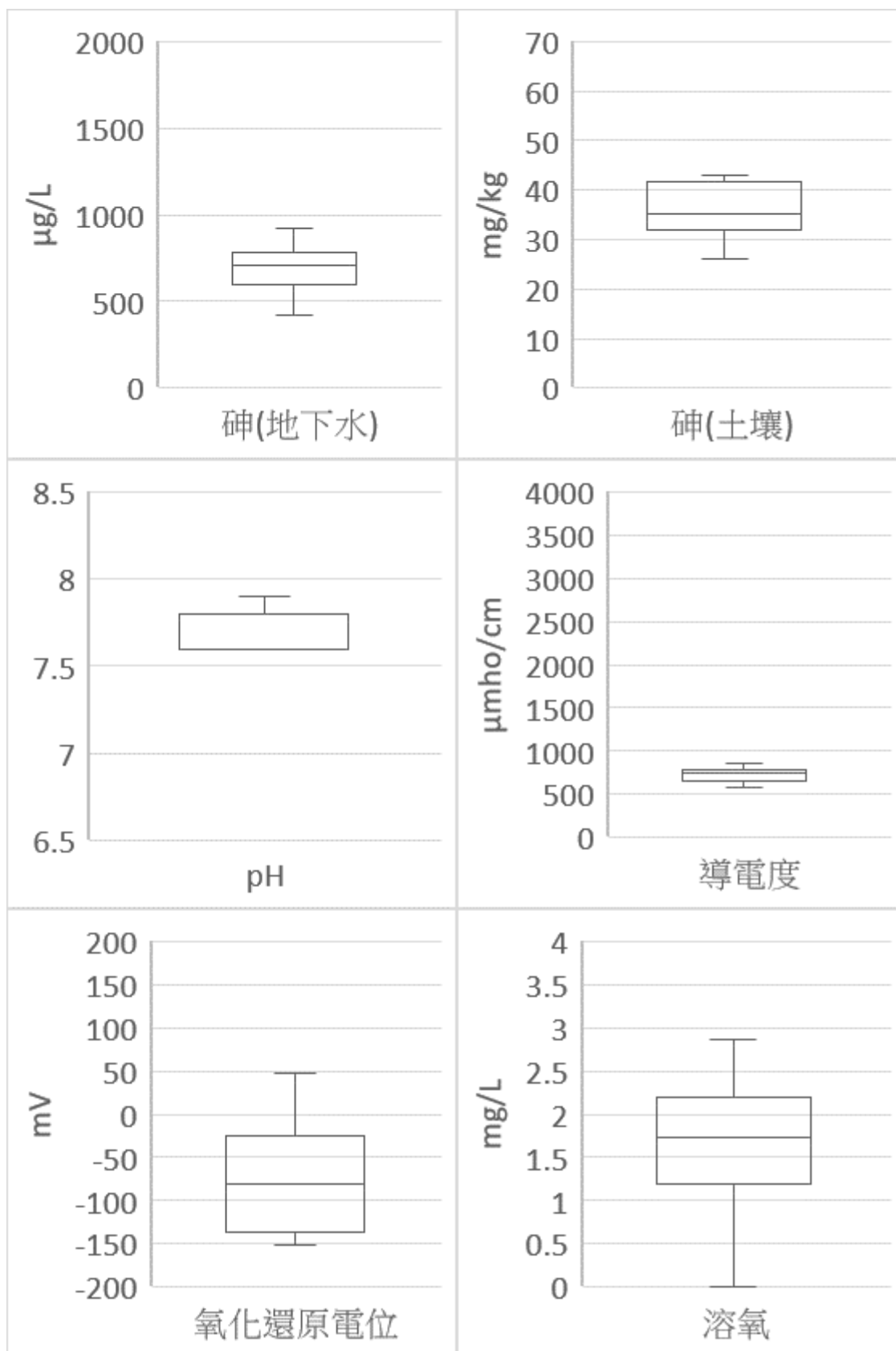


圖 5.1-19 四湖鄉樣區 YLZH-03-001 數據分布圖

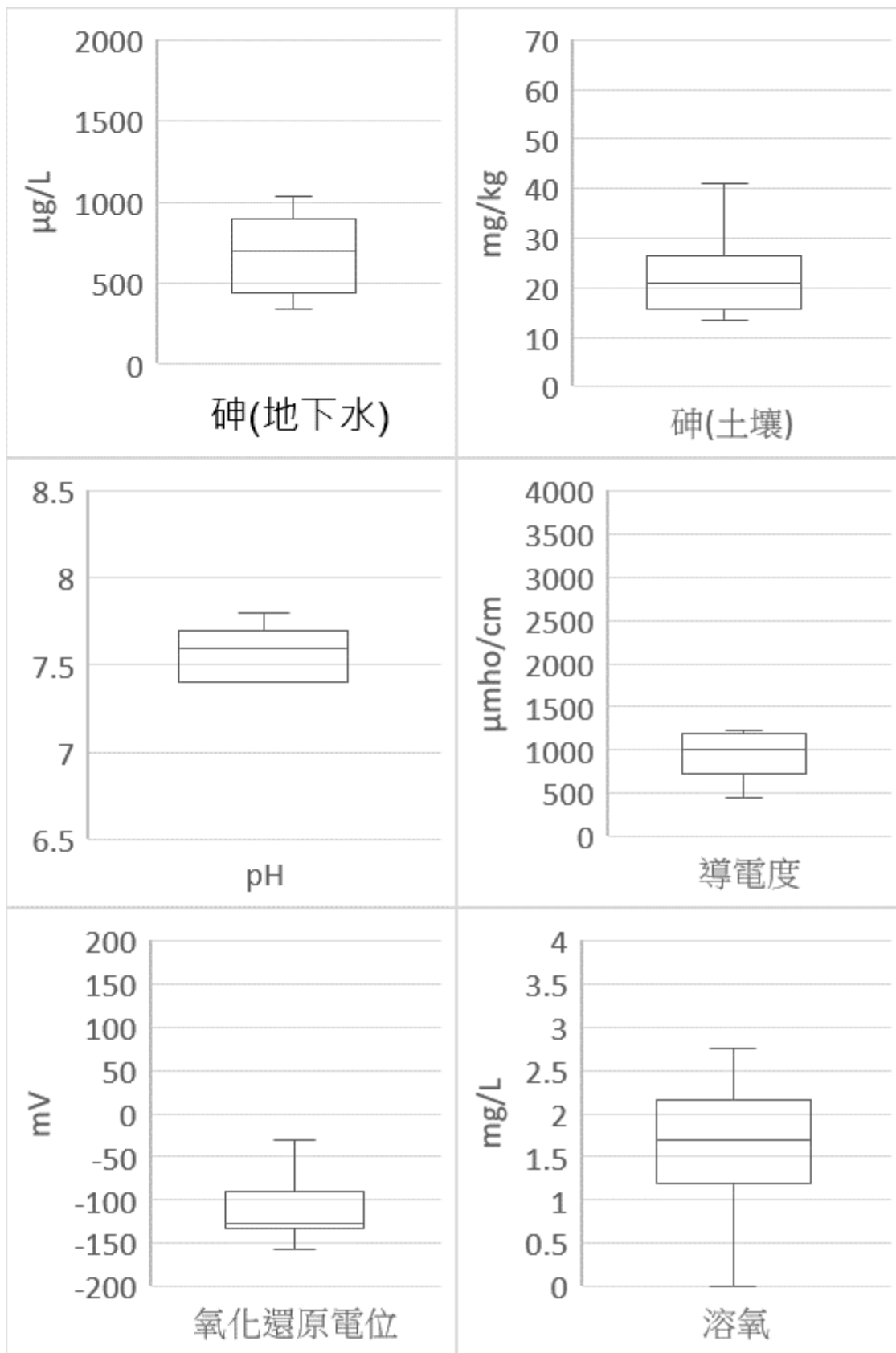


圖 5.1-20 四湖鄉樣區 YLZH-03-002 數據分布圖

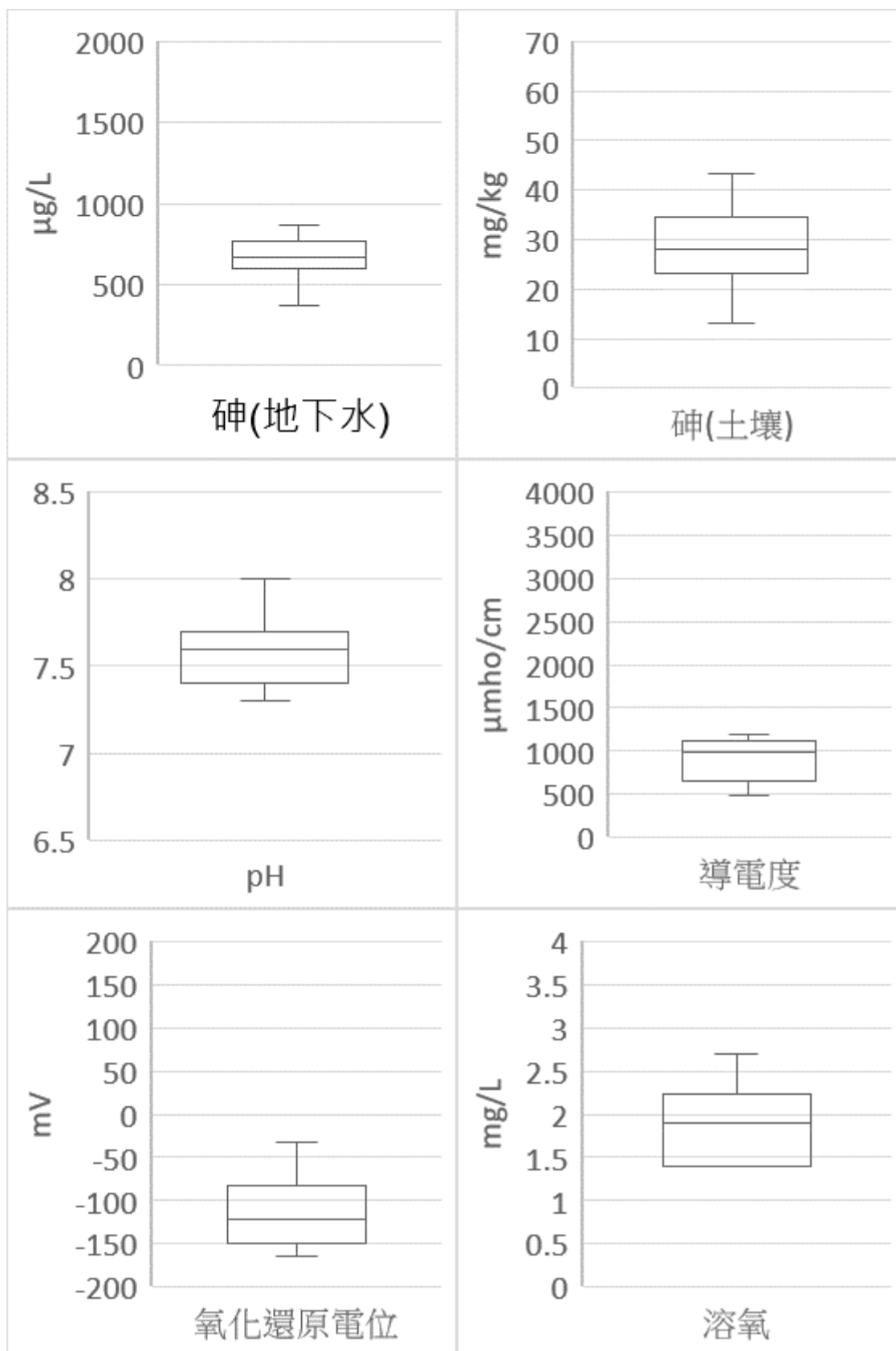


圖 5.1-21 四湖鄉樣區 YLZH-03-003 數據分布圖

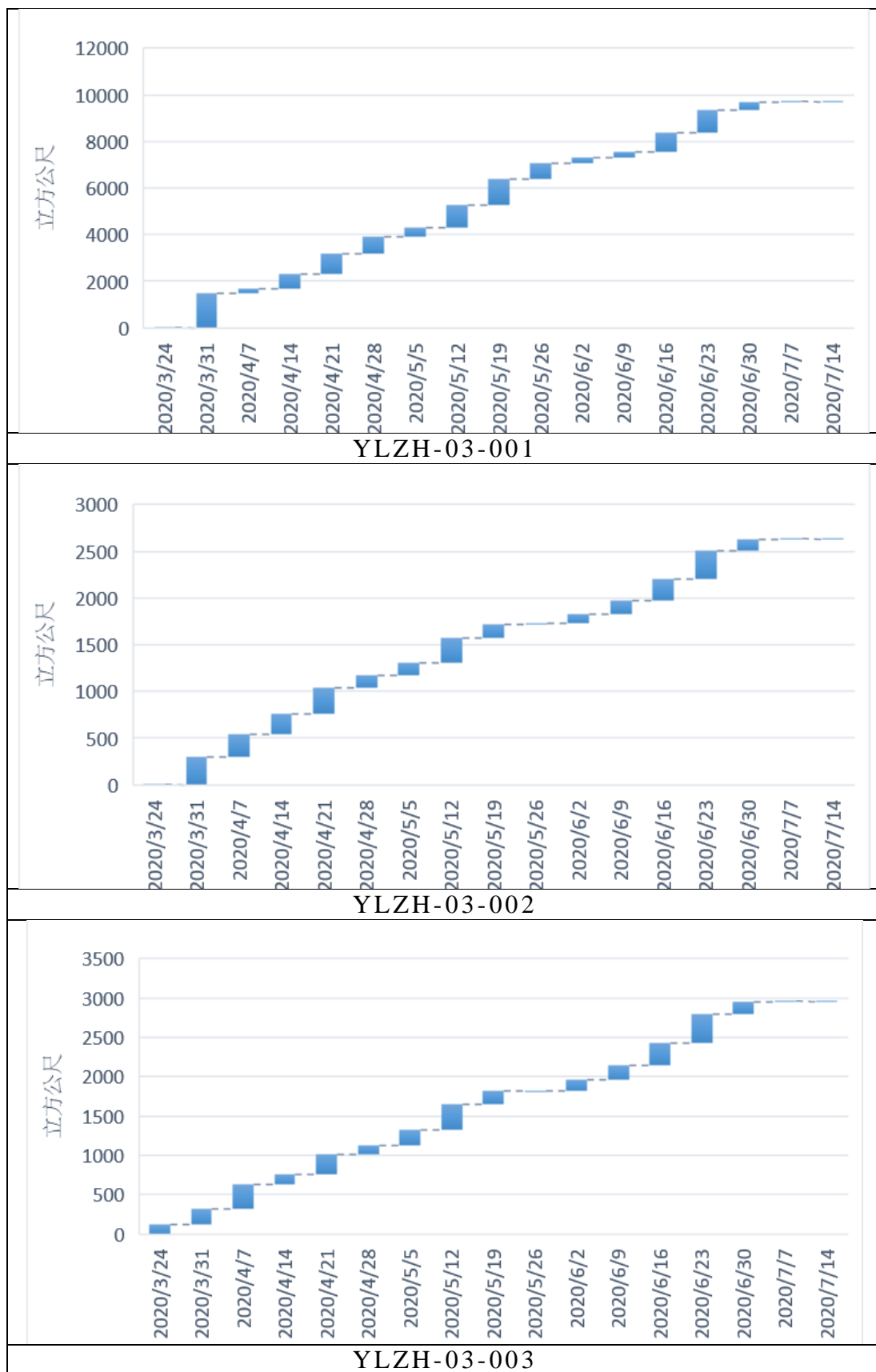


圖 5.1-22 四湖鄉樣區地下水水量計量累積分布圖

5.1.4 樣區三雲林縣水林鄉佈點及調查結果

一、樣區三佈點規則

國內稻作一期作約落在 2 月初至 6 月，本議題之樣區一與樣區二已開始種植稻作，為取得完整期作用水量，故在樣區三上選擇歷年土壤濃度砷檢測偏高之水林鄉，篩選尚未種植且保有完整期作用水資料之農地坵塊(代號為 YLSL-03)如表 5.1-19，範圍坐落於 2 公里內，續依優選坵塊數量規劃土壤與地下水採樣數量各 3 點，以各坵塊民井位置為主，環域概況及樣區佈點規劃詳如圖 5.1-23。

表 5.1-19 樣區三雲林縣水林鄉調查坵塊樣品代號對照表

| 項次 | 地號 | 坵塊編號 | 樣品代號 | 土壤砷 mg/kg | 地下水砷 mg/L |
|----|--------------|------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 001 | YLSL-03-001 | 16 | 0.115 |
| 2 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 002 | YLSL-03-002 | 18 | 0.081 |
| 3 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 003 | YLSL-03-003 | 36.9 | 0.037 |

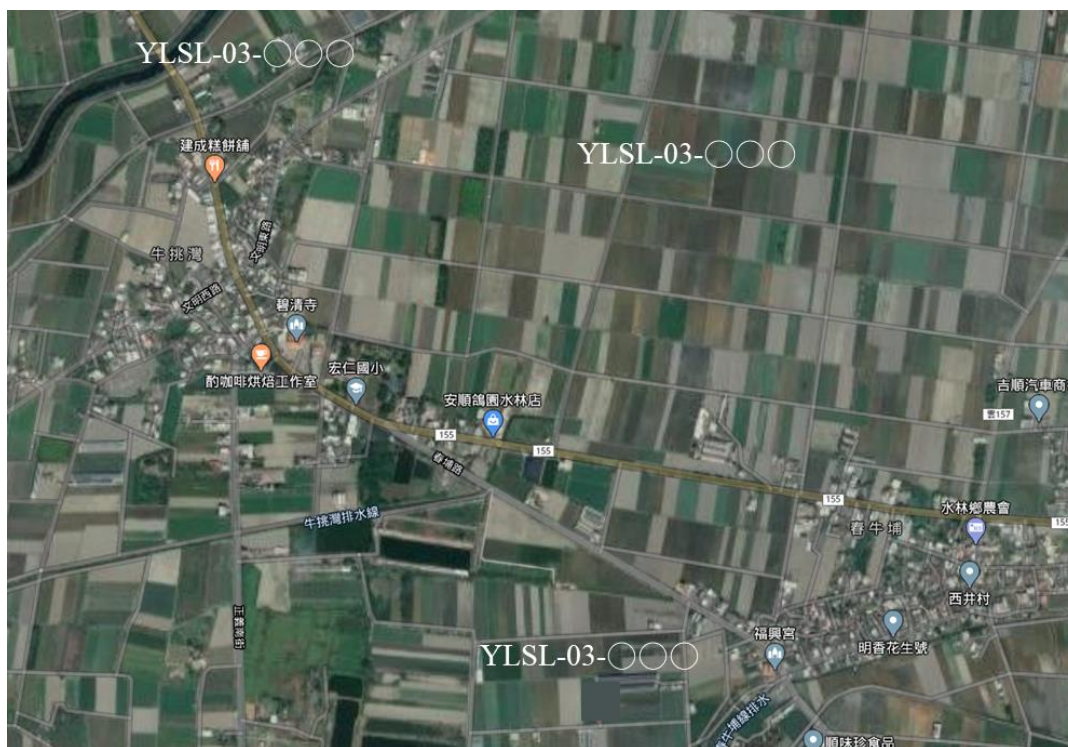


圖 5.1-23 樣區三雲林縣水林鄉環域概況及採樣佈點規劃

二、樣區三調查成果

於進行現場採樣工作前，本團隊依規劃內容拜訪 3 筆選定坵塊農地所有人，說明現地工作執行日期與內容並取得同意(詳附件四)。樣區於 2 月 21 日完成現勘，3 月 18 日完成計量設備安裝，3 月 24 日開始為期 4 個月之連續採樣行程，並於 7 月 14 日分別完成地下水及土壤最後一次現場採樣作業，現場工作照片如圖 5.1-24。歷次地下水現場砷濃度快篩與實驗室全量分析數據分布盒鬚圖如圖 5.1-25 至圖 5.1-27，三次 9 筆土壤 XRF 篩測結果如表 5.1-20，3 筆入水口土壤實驗室全量分析結果如表 5.1-21，土壤基本特性分析結果如表 5.1-22。

根據樣區調查坵塊現場土壤 XRF 篩測與地下水砷濃度快篩結果得知，水林鄉樣區地下水砷濃度均未超過砷第二類地下水污染管制標準(0.5mg/L)，濃度最高為坵塊 YLSL-03-003 地下水砷濃度為 0.126mg/L，四次 12 筆調查農地入水口土壤砷濃度 XRF 篩測濃度共三筆曾高於監測標準(30mg/kg)，其中以 YLSL-03-002 檢測出最高土壤砷濃度 41mg/kg。續就 3 筆農地坵塊進行依現場篩測需求進行三次實驗室分析水中重金屬(砷、鐵、錳)全量、一般項目(pH、水溫、導電度、總硬度、總溶解固體、氯鹽、氟鹽、氨氮、硝酸鹽氮、硫酸鹽、總有機碳、亞硝酸鹽氮)，分析結果如表 5.1-23 至表 5.1-25。本計畫於連續採樣前已預先建置地下水水量計量設備紀錄本樣區各坵塊歷次用水情形，作為後續建立水稻種植過程中，土壤砷濃度污染預警推估與檢核方式之基礎資料，各坵塊水量累積使用分布如圖 5.1-28。土壤及地下水累積濃度變化將納入 5.2 節推估參考。

三、數據分析與後續作為評估

(一) 水質趨勢討論

由分析結果可知本樣區地下水重金屬鐵超過第二類地下水質監測標準，本樣區位處地下水高砷潛勢範圍，水中

鐵錳大部分來自地質背景，各地下水分區鐵與錳超標情形相當普遍，由於鐵與錳氧化物/氫氧化物屬地層沉積物中含量較豐之礦物成分，於還原環境中，此等礦物容易發生還原作用，伴隨還原態的鐵與錳離子多以溶解狀態出現於水體，造成地下水鐵與錳濃度偏高，惟本區僅鐵超標。

本區氨氮、氯鹽、總溶解固體數值偏高，研判四湖鄉樣區長期以稻作為主要農作，因淺層地下水適逢乾旱將無水可汲取，因此區內調查水井以淺層為主，此亦可能為影響氨氮增長之主因。因氮素於不同農業行為之水土環境存在不同轉化作用，其中氨氮易存於厭氧環境，若處於好氧環境則因硝化作用轉化為硝酸鹽氮，本區硝酸鹽氮含量甚低，間接證實區內地下水環境為偏厭氧適合砷、鐵、錳及氨氮存在。針對氯鹽偏高但未伴隨高硫酸鹽出現，可能代表本區地下水層受殘留於封閉地層之古海水或為現今海水造成鹽化，但由於所屬地層流通性差且極為還原，而產生硫酸鹽還原反應，造成低硫酸鹽濃度與高氯鹽濃度情形，連帶總溶解固體濃度相較於其他樣區而言呈現偏高，前述情況尚符合本樣區背景水質條件。

(二) 水量趨勢討論

顯示本區用水於稻作栽培可概略分為二階段需水，期中斷水時間較長，但前後期用水分布相對平均，經與耕作者確認，本樣區屬雲林水利會兩年輪作區，農民多採稻作及雜糧兼培，附近農民係以地下水為主要水源，比對用水量紀錄與訪談者提供資料吻合。

(三) 整治管理評估及後續作為

因本樣區土壤砷背景濃度僅一處連續三次達監測標準，並未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依法規定暫無後續作為之需要。。

表 5.1-20 雲林水林鄉樣區土壤採樣 XRF 篩測結果

| 項次 | 坵塊編號 | 時間 | 地號 | 土壤(XRF) | | | | | | | |
|------------|----------------|----|--------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | | As | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| | | | | 單位 | | | | | | | |
| 方法偵測極限 MDL | | | | 10 | 7 | 7 | 60 | 30 | 35 | 25 | 35 |
| 1 | YLSL-03-001-01 | 三月 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 75 |
| 2 | YLSL-03-001-02 | 五月 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 10 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 80 |
| 3 | YLSL-03-001-03 | 六月 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 10 | ND | ND | ND | 40 | ND | ND | 68 |
| 4 | YLSL-03-001-04 | 六月 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 74 |
| 5 | YLSL-03-002-01 | 三月 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 30 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 91 |
| 6 | YLSL-03-002-02 | 五月 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 36 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 88 |
| 7 | YLSL-03-002-03 | 六月 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 41 | ND | ND | ND | 45 | ND | ND | 88 |
| 8 | YLSL-03-002-04 | 六月 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 28 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 80 |
| 9 | YLSL-03-003-01 | 三月 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 13 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 65 |
| 10 | YLSL-03-003-02 | 五月 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 11 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 71 |
| 11 | YLSL-03-003-03 | 六月 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 13 | ND | ND | ND | 32 | ND | ND | 70 |
| 12 | YLSL-03-003-04 | 六月 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 17 | ND | ND | ND | ND | ND | ND | 71 |

註：土壤採樣點均為入水口，**粗體字**為超過監測標準。

表 5.1-21 雲林水林鄉樣區土壤實驗室全量分析結果

| 項次 | 坵塊編號 | 地號 | 採樣位置 | 快篩 | 土壤實驗室分析數據 | | | | |
|----|-------------|--------------|------|-------|-----------|-------|-----|-----|------------|
| | | | | XRF | 砷 | 鐵 | 錳 | 水分 | pH |
| | | | | mg/kg | | | | % | - |
| 1 | YLSL-03-001 | 水林鄉西鹿段○○○○地號 | 入水口 | 10 | 11.8 | 31400 | 373 | 0.7 | 7.4(24.9℃) |
| 2 | YLSL-03-002 | 水林鄉西井段○○○○地號 | 入水口 | 30 | 28.6 | 37700 | 255 | 1.3 | 6.5(25.0℃) |
| 3 | YLSL-03-003 | 水林鄉灣東段○○○○地號 | 入水口 | 13 | 14.9 | 22200 | 297 | 2.7 | 8.7(24.9℃) |

註：實驗室土壤砷分析方法為 NIEA S310.64B，鐵與錳分析方法為 NIEA S321.65B/M104.02C。

表 5.1-22 雲林水林鄉樣區土壤基本特性分析

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 土壤 | | |
|----|------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | YLSL-03-001 | YLSL-03-002 | YLSL-03-003 |
| 1 | pH | 土水比 1：1 | 6.48 | 6.04 | 8.23 |
| 2 | EC | 土水比 1：1 | 197.8 | 35 | 34.9 |
| 3 | 有機質 | 濕式汽化法 | 0.9 | 1.1 | 1.7 |
| 4 | 磷 | 白雷式第一法 | 111.2 | 119.2 | 2378.7 |
| 5 | 陽離子 | NIEA S201.61C | 3.8 | 5 | 6.9 |
| 6 | 鉀 | NIEA S201.61C | 97.9 | 235.4 | 214.1 |
| 7 | 鈉 | NIEA S201.61C | 266.4 | 97.7 | 174.5 |
| 8 | 鈣 | NIEA S201.61C | 496.7 | 784.9 | 2754.8 |
| 9 | 鎂 | NIEA S201.61C | 136.1 | 604.2 | 2548 |
| 10 | 質地 | 比重計法 | 砂質壤土 | 壤土 | 砂質壤土 |

表 5.1-23 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第一次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------|------|--------------|
| | | | YLSL-03-001 | YLSL-03-002 | YLSL-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | <u>0.1</u> | <u>0.056</u> | <u>0.126</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | <u>0.143</u> | <u>0.0733</u> | <u>0.152</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 2.71 | 10.1 | 8.11 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.188 | 0.281 | 0.363 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 778 | 925 | 1200 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 879 | 38.2 | 113 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | <0.05 | 0.19 | 0.19 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 15.0 | 0.19 | 6.50 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 154 | <u>502</u> | 699 | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 2040 | 1280 | 1840 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 1.2 | 0.8 | 1.4 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.01(0.001) | <0.01(0.002) | <0.01(0.002) | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.05(0.03) | 0.34 | 0.14 | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-24 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第二次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水水質標準 |
|----|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|----------|
| | | | YLSL-03-001 | YLSL-03-002 | YLSL-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | <u>0.055</u> | <u>0.158</u> | <u>0.108</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | <u>0.134</u> | <u>0.185</u> | <u>0.188</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 1.97 | 9.46 | 4.75 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.161 | 0.781 | 0.262 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 659 | 1510 | 1020 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 680 | 46.7 | 81.2 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | <0.05 | 0.07 | 0.18 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 14.7 | 0.75 | 7.86 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 132 | <u>505</u> | <u>486</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解固體物 | NIEA W210.58A | 1880 | 1760 | 1630 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 1.2 | 1.3 | 1.6 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | ND | ND | ND | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

表 5.1-25 雲林水林鄉樣區地下水水質實驗室分析結果(第三次)

| 項次 | 檢驗項目 | 檢驗方法 | 地下水 | | | 第二類地下水 | | 灌溉用水 水質標準 |
|----|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------|------|--------------|
| | | | YLSL-03-001 | YLSL-03-002 | YLSL-03-003 | 監測標準 | 管制標準 | |
| | 砷 | 快篩設備 | <u>0.078</u> | <u>0.164</u> | <u>0.159</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 1 | 砷 | NIEA W434.54B | <u>0.118</u> | <u>0.171</u> | <u>0.184</u> | 0.25 | 0.50 | 0.05 |
| 2 | 鐵 | NIEA W311.54C | 2.23 | 9.10 | 5.85 | 1.5 | - | 5 |
| 3 | 錳 | NIEA W311.54C | 0.168 | 0.787 | 0.271 | 0.25 | - | 0.20 |
| 4 | 總硬度 | NIEA W208.51A | 750 | 1080 | 915 | 750 | - | - |
| 5 | 氯鹽 | NIEA W415.54B | 674 | 44.4 | 80.0 | 625 | - | - |
| 6 | 氟鹽 | NIEA W413.52A | <0.05 | 0.07 | 0.15 | 4.00 | 8.00 | - |
| 7 | 氨氮 | NIEA W437.52C | 14.8 | 0.77 | 8.45 | 0.25 | - | - |
| 8 | 硫酸鹽 | NIEA W415.54B | 133 | <u>487</u> | <u>470</u> | 625 | - | 200 |
| 9 | 總溶解 固體物 | NIEA W210.58A | 2350 | 1470 | 1760 | 1250 | - | - |
| 10 | 總有機碳 | NIEA W532.52C | 3.6 | 3.7 | 4.4 | 10.0 | - | - |
| 11 | 亞硝酸 鹽氮 | NIEA W436.52C | 0.03 | ND | <0.01(0.002) | 5.0 | 10.0 | - |
| 12 | 硝酸鹽氮 | NIEA W436.52C | <0.05(0.01) | <0.05(0.02) | <0.05(0.01) | 50 | 100 | - |

註：粗體字表示超過監測標準，斜體底線表示超過灌溉用水水質標準，單位皆為 mg/L。

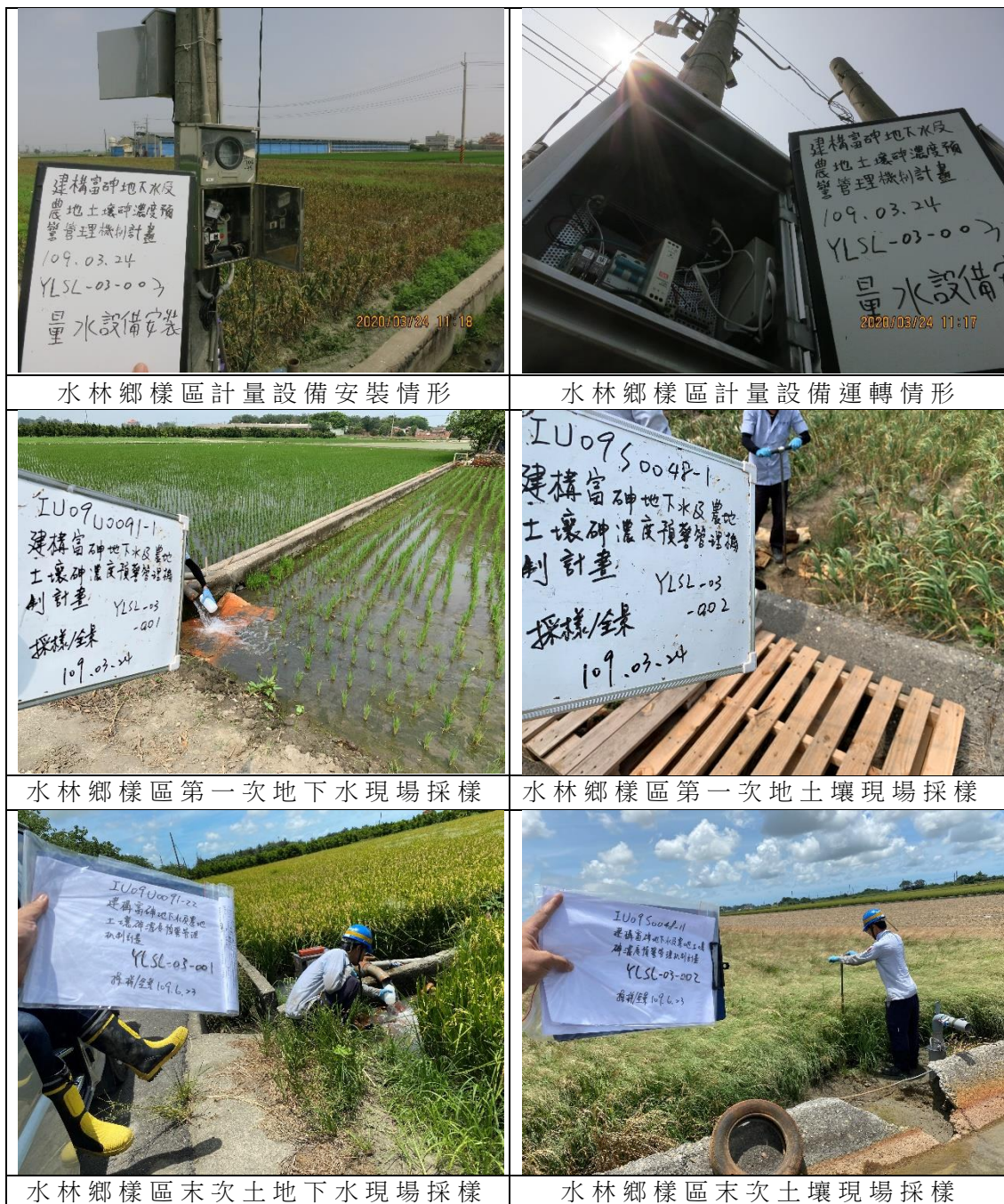


圖 5.1-24 四湖鄉樣區現場採樣工作

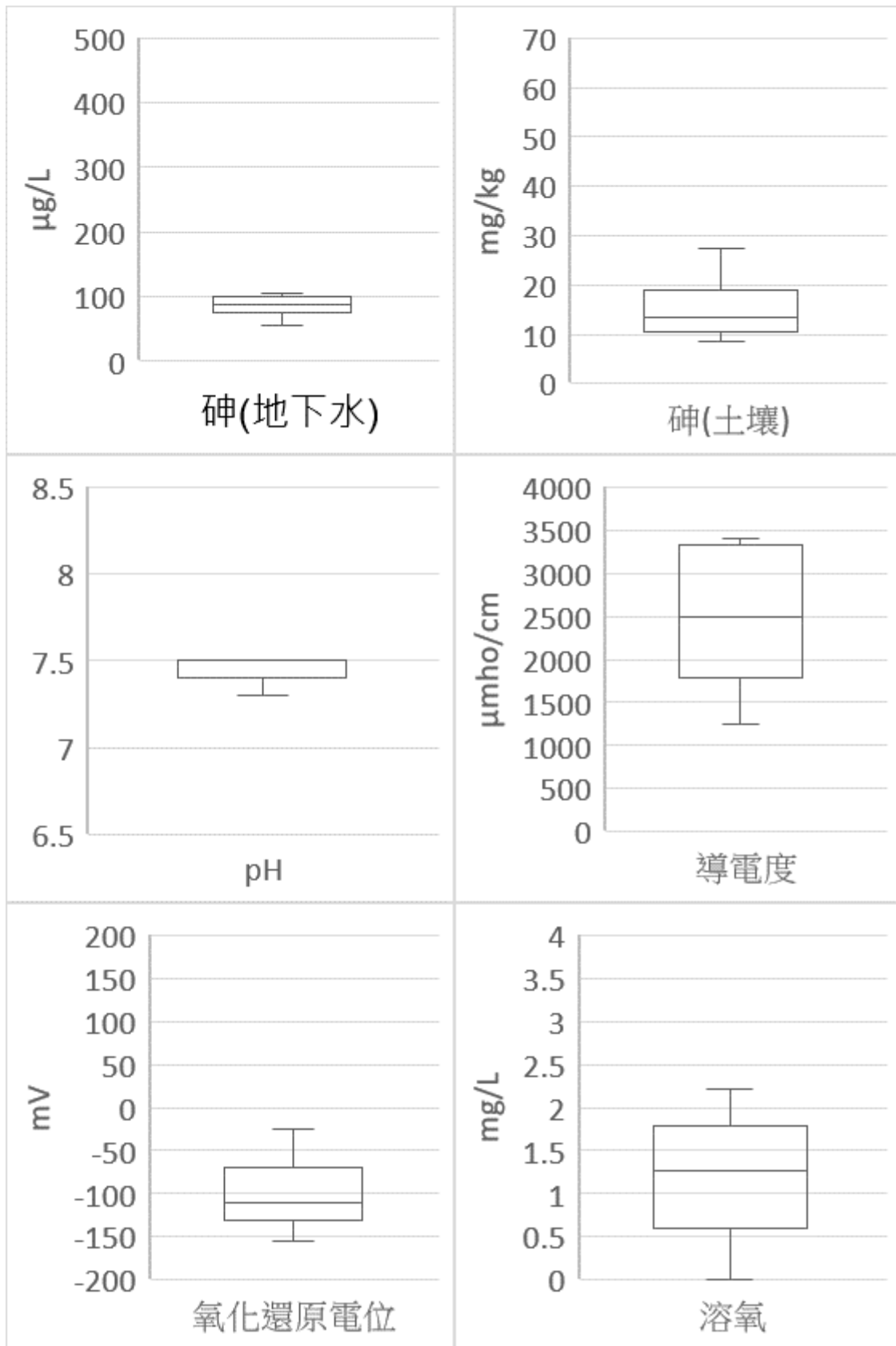


圖 5.1-25 水林鄉樣區 YLSL-03-001 數據分布圖

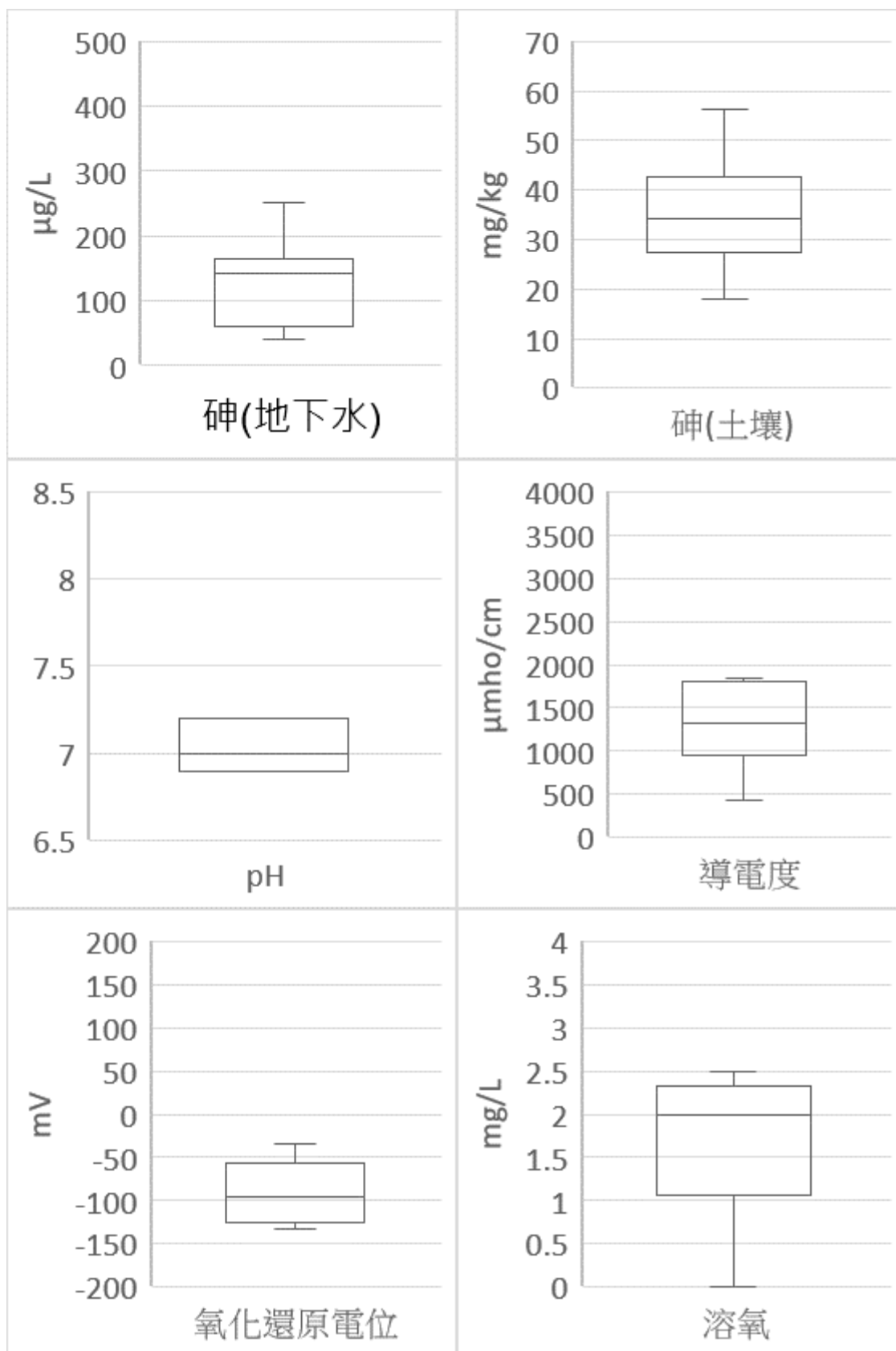


圖 5.1-26 水林鄉樣區 YLSL-03-002 數據分布圖

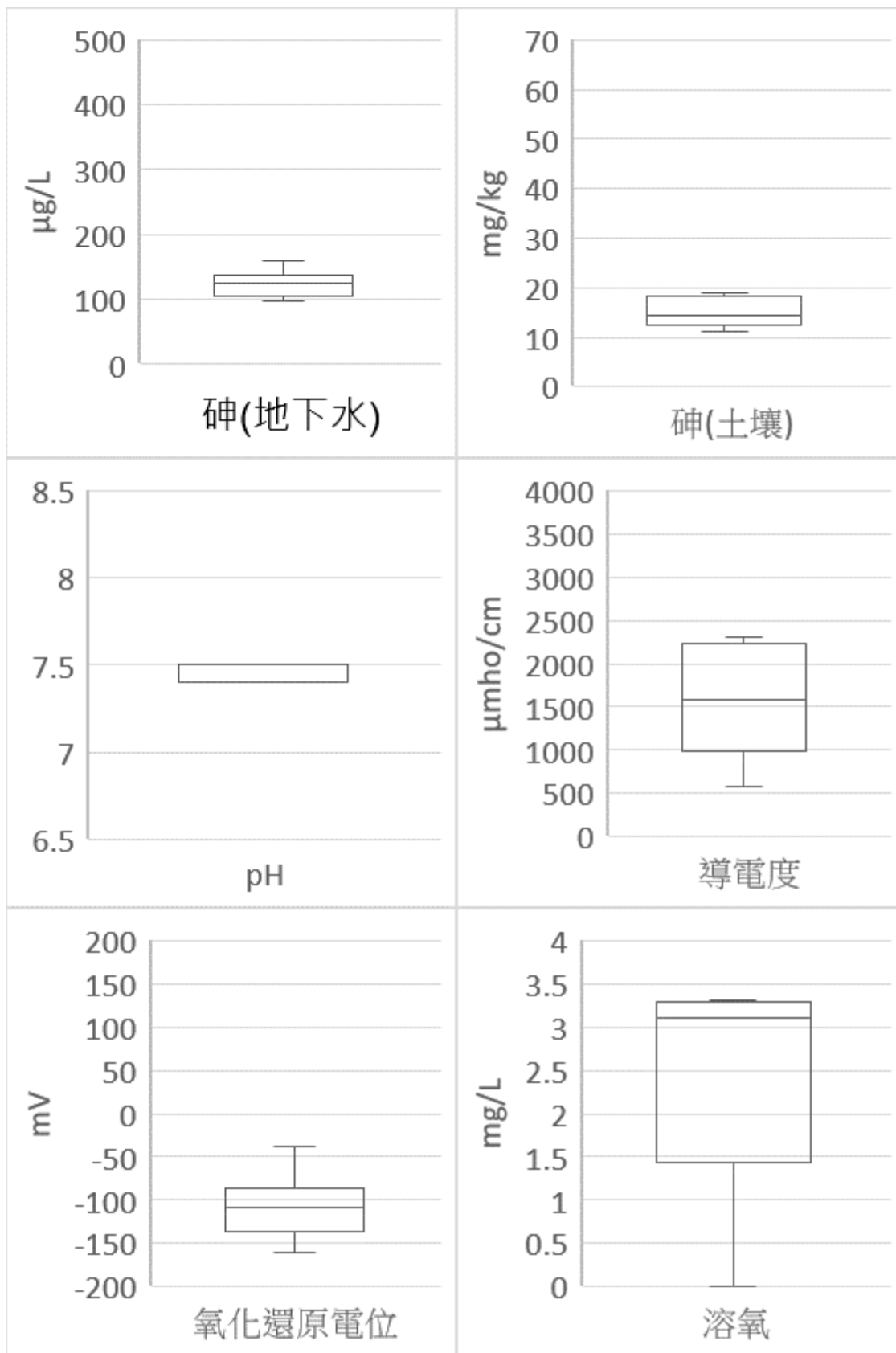


圖 5.1-27 水林鄉樣區 YLSL-03-003 數據分布圖

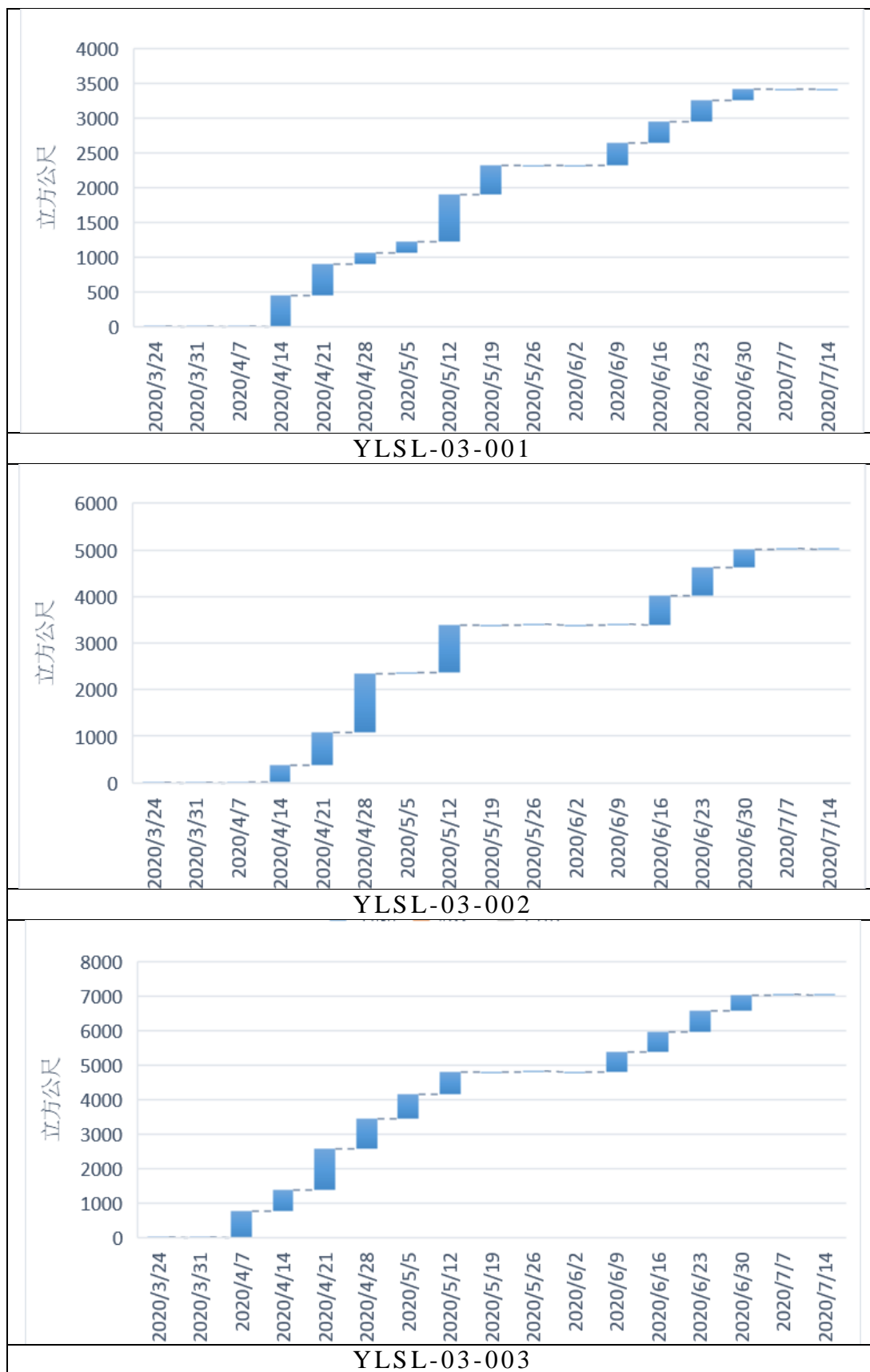


圖 5.1-28 水林鄉樣區地下水水量計量累積分布圖

5.2 農地砷預警機制建立規劃

國內農地土壤及地下水砷污染調查已執行數十年，環保署統計歷年土壤及地下水檢測數據，研判地下水砷濃度來源多屬於自然背景釋出所致，因農業耕種行為對灌溉水需求量大，在部分以地下水為農耕引灌主要或補充水源之地區，農地土壤砷除背景濃度外，尚具引灌富砷水源而致砷富集於土壤中之可能，當土壤或灌溉水源砷濃度越高時，作物中累積砷之風險亦相對提高。

我國政府為維護國民健康，管理食品衛生安全及品質，依據食品安全衛生管理法第十七條頒布「食品中污染物質及毒素衛生標準」，其中因國人飲食習慣多以米食為主，故食米中檢出砷含量超標議題更為大眾所關注，然而食米砷濃度除自然環境條件差異外，生產過程更受到品種、區域土壤特性與灌溉方式等因素影響，文獻指出農業生產環境土壤的 pH 值、氧化還原電位與有機質在特定狀況下將有利於砷富集，因此長時間仰賴富砷地下水進行耕作，除可能造成作物生長遲緩且不健康，進而影響收成與農業收益外，人體亦會因食用含砷稻米、蔬果、肉品與奶類製品，受到間接危害 (Abedin et al., 2002 ; Singh et al., 2015)。

國內各項管制標準訂定過程雖已考慮健康風險，然而砷由地下水進入農地，進而累積至土壤與稻米中，分別涉及沉降/吸附作用與生物累積/放大作用，且各坵塊之土壤質地特性、作物吸收及用水管理等條件皆不盡相同，目前國內雖已建立線上版健康風險評估系統，然該系統暴露途徑係以場址土壤及地下水污染角度定義，並非本計畫關注之農地土壤砷累積問題，及所探討之農民耕作時接觸土壤及地下水之潛在風險。因此本計畫彙集相關不同引灌行為之污染傳輸概念文獻，配合本期現場工作成果(詳如本章 5.1 節)，完整紀錄水稻一整個期作種植過程之土壤及灌溉水砷濃度、用水量，建立以健康風險為導向之砷濃度傳輸分布模型，並研擬農地土壤砷預警使用年限關係作為後續研擬砷安全管理措施之參考，以利未來縣市環保主管機關規劃各坵塊所在區域之管理作為。

5.2.1 彙整農業生產環境砷濃度傳輸模型理論及文獻

一、彙整土壤吸附作用相關文獻

砷在土壤中受到土壤的 pH、氧化還原環境與有機質影響，相關文獻說明如后：

(1)pH 值影響

由於砷在地下水中(pH=4~9)主要以砷酸根和亞砷酸根兩種型式存在，因此，地下水中的五價砷易被帶正電的物質吸附，如鐵、鋁氧化物等。隨著地下水 pH 值升高，膠體(指膠體態)和黏土礦物表面帶更多負電荷，降低對以陰離子型式存在的之砷酸根(H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-})吸附，有利於砷的釋出，又或者高 pH 值影響砷的吸附行為，進而導致地下水中砷富集(Park et al., 2006)。

(2)氧化還原環境影響

當地下水環境偏向為還原條件時，膠體變得不穩定，使得原氧化條件中，已被膠體、鐵錳氧化物或氫氧化物吸附的砷氧化物被還原改變型態，並生成溶解度較大的亞鐵(錳)離子，吸附於表面的砷也隨之被釋出至地下水中，於此類地下水，高砷含量常伴隨著高鐵、高錳、低溶氧濃度，且硫酸根的濃亦較低，因此，此類地下水中砷與硫酸根之濃度多呈負相關(Smedley and Kinniburgh, 2002)。

當地下水環境偏向為氧化條件時，含砷礦物(如黃鐵礦等)的氧化作用也可導致砷的釋出(Robertson, 1989)，於此條件下，砷化合物主要以五價砷型式存在，而於還原環境中，則主要以三價砷型式存在，因此，氧化還原環境改變可導致砷之吸附或釋出行為改變(Ahmed et al., 2004)。

(3)有機質

許多有機酸，如醋酸、甲酸及腐植酸等，能促使金屬元素在地下水中的遷移，部分元素可直接與有機酸結合，並與其一起遷移。此外，由於某些有機酸具有還原能力和膠體性質，有機酸的還原作用可促使五價砷轉變為溶解度較高之三價砷。Redman(2001)提出在微鹼性條件下(pH=7~8)，當有機物含量增加時，赤鐵礦上之砷吸附量減少，有利於砷釋出。

二、彙整砷於稻米之生物有效性文獻

了解砷的生物利用度對降低砷對環境帶來的健康風險具有很重要的意義，生物有效性與生物利用度常被用作化學物質對環境和人類健康構成潛在風險的主要指標(Naidu et al, 2008)，對土壤而言，土壤的生物有效性泛指土壤砷的生物有效態的含量與土壤砷總量的比值，計算公式為土壤砷生物有效性=土壤有效態砷/土壤總砷 x 100%，土壤的生物有效性跟土壤的特性有關，包含水分、pH 與有機質等(Heikens et al, 2007; Yang et al, 2012; Mukherjee et al, 2014)，而土壤中土壤砷的生物有效性表現為高污染程度土壤>中等污染程度土壤>低污染程度土壤，且隨水稻生育期的延長，土壤砷生物有效性逐漸升高。

然以稻米來說，煮熟的米相對半熟米，半熟米具有較高的生物有效百分比(59%至99%)，而熟米僅為(36%至69%)(Signes-Pastor et al, 2012)，在Alava (2013)的研究中熟米的生物有效性為85%至90%，Juhasz (2006)認為在人體內無機砷的生物有效性為66%至80%。

美國食品藥物管理風險評估報中心於民國105年的砷在稻米中的風險報告提到，水稻中無機砷的生物利用度約70%至90%，然水田稻米中的生物有效性則跟灌溉方式、稻米品種與土壤特性具有很大的關聯，如在持續浸水下具有較高的砷

累積能力與不同品種具有不同的吸收力等，相關影響如后所述。

(1)作物型態

稻米中的砷含量是全世界所關注的重點，因其會影響到相關的健康風險，而稻米中砷含量的多寡會因地區與品種具有很大的差異，報告統計全球大多數的稻米砷含量為 0.02mg/kg 至 0.9 mg/kg，Islam (2016)統計各國歷年稻米砷濃度檢測數據文獻如表 5.2-1 所示。在我國根據王泰威等人與農試所的研究指出，水稻藉由根系的輻射狀釋氧 (Radial oxygen loss) 在根表釋出氧氣，能夠在根表及根圈土壤形成氧化鐵，截留土壤中的砷並降低水稻對砷的吸收，然而不同品種水稻仍存在砷吸收上的差異。該研究以嘉義民雄受砷污染之農地土壤做為試驗地，並選用 21 種臺灣良質米之品種，探討不同品種的氧化力差異及穀粒的砷累積的關係。試驗結果發現，鐵膜與根圈之砷鐵比值與穀粒砷濃度呈正相關，表示當根表鐵膜截留愈多的砷，穀粒的無機砷濃度也會愈高。水稻品種中鐵膜的砷截留能力較強的品種其穀粒無機砷濃度同時會較高；而在根圈的砷截留能力較強的品種，穀粒無機砷濃度較低，因此不同品種水稻仍存在砷吸收上的差異。

同時也有大量文獻指出不同水稻基因對砷的吸收率不同，Mei (2012)在更早的研究中也指出相同的結果，能將根部保持在高氧化還原電位的品種，其可減少砷的吸收量，多篇研究認為水稻的六號與十號染色體可調整砷的吸收量 (Dasgupta et al., 2004; Zhang et al., 2008; Meharg et al., 2009)，Lei (2012)評估了 34 種不同水稻基因對砷污染土壤的吸收量，發現其皆存在差異性，Jiang (2012)研究中針對 216 種水稻進行試驗，指出蓬萊米平均的砷吸收量會低於在來米，在來米的平均吸收量為 0.021-0.296mg/kg，而蓬萊

米為 0.005-0.274mg/kg，由上述可知，除自然背景環境中砷濃度外，砷的吸收量也會因品種差異而有不同。

另外 Pillai(2010)指出作物中砷的型態主要受基因影響，約佔總砷的 70%，Al-Rmalli(2012)比較在砷含量較低的地區與高砷污染區其同品種稻米濃度，發現位在高砷污染區其總砷含量大於低污染區 2 至 4 倍，但無機砷含量在兩區皆相同，表明不管總砷含量如何，控制稻米中砷的型態與基因有很大的關聯。

儘管基因會造成稻米砷吸收量、型態上差異，但環境背景濃度還是佔主要原因，Norton(2009)研究認為在砷米的濃度累積當中，環境濃度對米的影響約 61%，基因佔 6%，環境與基因(土壤性質、灌溉方式等)佔 19%，Ahmed(2011)報告中認為環境因素約佔 70-80%，而基因與環境約佔 10-21%，結果表明，基因對稻米中砷型態的百分比有顯著影響，但受環境因素的影響更大(Norton et al., 2009)。

(2)水分管理

過去學者們發現稻米中砷的累積除受物種基因影響外，種植過程之灌溉方式也是影響稻米砷吸收差異的主要原因之一，如 Arao (2009)曾針對稻田水分灌溉管理差異對稻米中砷含量的影響進行探討，在臺灣水田也多以稻米種植為主，種植期間須使之經常保持有水或適當之水深狀態，而該團隊研究七種不同的水管理方式，分別是在稻米整個生長期保持浸水、種植三周後移除浸水與在種植過程三週至收成前三週中移除浸水等方式，研究結果發現在種植過程中持續浸水時，其稻米砷含量較收成前三週移除浸水的稻米砷濃度來的高，如圖 5.2-1。

為證實灌溉方式會造成稻米吸收的差異，Daum (2002)研究成果指出短暫間歇性的使土壤通氣，可顯著改變土壤化學氧化還原電位性質，從而降低稻米中砷的濃度。Norton

(2011)研究在德克薩斯州 374 種不同品種數的稻米在浸水與未浸水下的種植差異，結果發現未浸水的平均稻米砷濃度為 $45\mu\text{g}/\text{kg}$ 遠遠小於浸水的 $632\mu\text{g}/\text{kg}$ ，如圖 5.2-2 所示，未浸水的稻米中最高稻米砷濃度為 $126\mu\text{g}/\text{kg}$ ，而浸水的最高稻米砷濃度則為 $1682\mu\text{g}/\text{kg}$ ，約高出 14 倍。Li (2009)研究指出浸水厭氧條件下大幅提升砷的遷移率導致稻米對砷的吸收增加，Norton (2012)研究成果顯示水田未浸水之好氧土壤中砷的吸收量降低約 10 倍。

表 5.2-1 各國歷年稻米砷濃度檢測數據 Islam (2016)

| 國家 | 樣品數 | 砷濃度範圍 (mg/kg) | 平均濃度 (mg/kg) | 文獻來源 |
|-----|-----|------------------|-----------------|-------------------------|
| 印度 | 133 | 0.180-0.310 | 0.007 | Meharg et al. (2009) |
| | 11 | 0.041-0.605 | 0.232 | Roychowdhury et al. |
| 孟加拉 | 214 | 0.002-0.557 | 0.143 | Rahman et al. (2009) |
| | 6 | 0.038-0.073 | 0.056 | Rahman et al. (2014) |
| 中國 | 43 | 0.052-0.253 | 0.129 | Ma et al. (2016) |
| | 446 | 0.033-0.437 | 0.143 | Li et al. (2015) |
| 臺灣 | 5 | 0.010-0.630 | 0.100 | Lin et al. (2004) |
| | 280 | 0.100-0.630 | - | Lin et al. (2004) |
| 泰國 | 53 | 0.060-0.500 | 0.150 | Adomako et al. (2011) |
| | 54 | 0.010-0.390 | 0.140 | Meharg et al. (2009) |
| 土耳其 | 50 | - | 0.202 | Sofuoglu et al. (2014) |
| 日本 | 26 | 0.070-0.420 | 0.190 | Meharg et al. (2009) |
| 美國 | 163 | 0.030-0.660 | 0.250 | Williams et al. (2007b) |
| 澳洲 | 21 | 0.188-0.438 | 0.270 | Rahman et al. (2014) |
| 法國 | 33 | 0.090-0.560 | 0.250 | - |
| 義大利 | 38 | 0.070-0.330 | 0.150 | - |
| 西班牙 | 76 | 0.050-0.820 | 0.200 | - |

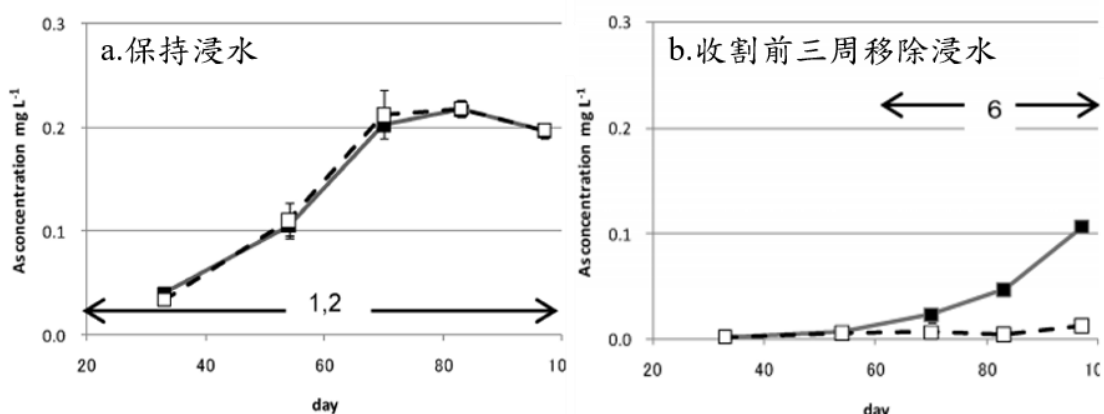


圖 5.2-1 稻田水管理對稻米砷濃度的影響

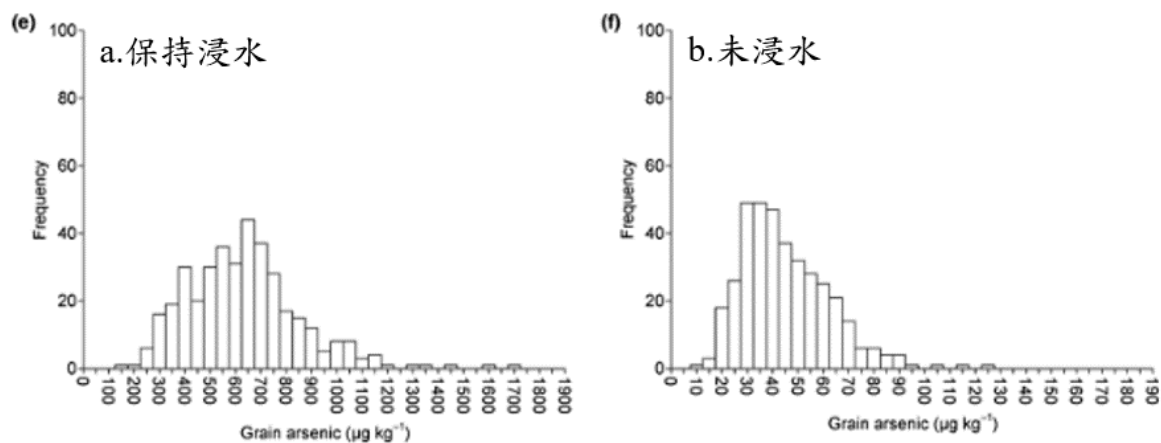


圖 5.2-2 農田浸水與未浸水對稻米砷濃度的影響

三、彙整稻米砷濃度及富砷環境對人體之健康風險文獻

依據我國國家環境毒物研究中心歸納之臺灣常見環境毒性物質介紹指引，無機砷除已被美國衛生及社會福利部 (Department of Health and Human Services, DHHS) 和美國環境保護署 (U.S. EPA) 證實為一種人類致癌物質外，長期暴露於高砷環境會對人體健康有不利影響，其風險會因暴露時間與情況而異，包含心血管疾病及糖尿病等。前節文獻指出作物可能因吸收土壤或地下水之砷濃度致使砷污染疑慮，不論對耕種之農民或食用含過量砷作物之民眾均有健康危害，因此國內

外研究富砷環境影響稻米砷吸收的相關文獻或稻米砷健康風險評估，均指向自然背景富砷土壤及地下水影響已不單純是環境污染議題，而是一項因環境介質轉移進而影響人體健康之重要課題。

(一)國外推估稻米砷濃度風險文獻

前述文獻指出稻米砷濃度會因環境背景濃度、耕種品種與灌溉方式等有所差異，根據美國食品藥品監督管理局 (U.S. Food and Drug Administration, FDA) 與美國農業部經濟研究局 (U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, USDAERS) 的調查報告，統計了市場上，糙米與白米的無機砷濃度，結果如表 5.2-2，白米的平均濃度為 92.3ppb 此濃度與美國市面上平均大米濃度相近，糙米無機砷含量達 153.8ppb，高於白米 1.7 倍。同時食用砷米會造成的終身罹癌風險，表 5.2-3 列出了各國因食用大米可能潛在的罹癌風險，根據美國環保署規定，評估癌症風險評估率為 1/10,000，以孟加拉來說食用砷米造成的癌症風險為 22/10,000，是當地造成稻米風險危害的第二大因素，而國內 Chen (2015) 的研究指出食用砷米的風險為 1.04，高於 Lee (2008) 在評估的風險率 7 倍。

表 5.2-2 稻米、糙米與白米的預估於機砷濃度

| 稻米品種 | 無機砷樣品數 | 無機砷濃度加權平均值 ppb |
|------|--------|----------------|
| 所有 | 573 | 96.0 |
| 糙米 | 144 | 153.8 |
| 白米 | 429 | 92.3 |

資料來源：美國 FDA(2016)稻米風險報告

表 5.2-3 各國食用砷米罹患癌症風險評估

| 國家 | 大米消耗量 (g/day) | 大米中無機砷含量平均 (mg/day) | 特定國家/地區無機大米的攝入量 (mg/day) | 大米過量致癌率 (1/10000) | 文獻 |
|-----|---------------|---------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| 巴拿馬 | 445 | 0.081 | 0.036 | 22.10 | Meharg et al. (2009) |
| 中國 | 218 | 0.109 | 0.024 | 15.20 | Meharg et al. (2009) |
| 印度 | 192 | 0.059 | 0.011 | 6.90 | Meharg et al. (2009) |
| | - | - | - | 7.62 | Mondal and Polya (2008) |
| 義大利 | 1 | 0.071 | 0.0001 | 0.70 | Meharg et al. (2009) |
| 臺灣 | - | - | - | 1.04 | Chen et al. (2015) |
| 美國 | 24 | 0.088 | 0.0002 | 1.30 | Meharg et al. (2009) |
| | - | - | 0.0006 | 1.4-3.4 | Tsuji et al. (2007) |

資料來源：美國 FDA(2016)稻米風險報告

5.2.2 建立不同引灌行為農地砷預測統計模型

綜合上述，本計畫已彙整結合國內於不同品種稻米砷吸收差異影響相關文獻、探討國內外不同灌溉浸水時間對稻米吸收砷差異、土壤吸附作用與稻米於人體內的生物有效性等，本小節透過樣區案例的推估，記錄期作過程之水中砷濃度、用水量、土壤濃度，完成農地土壤砷污染預警年限推估方式，使相關單位針對高機率超標區域有所依循並進行安全管理配套措施，相關文獻及推估成果如后所述。

一、灌溉水源與農地土壤砷濃度累積推估文獻

Ravenscroft (2009)曾研究孟加拉引灌富砷地下水之土壤砷濃度累積量，並假設以地下水砷濃度為 0.1 mg/L 為灌溉水源，將導致每年土壤砷濃度上升 0.56 mg/kg 背景值，倘持續前述灌溉條件於數十年後與當時土壤砷濃度背景值 (5~10 mg/kg)將有明顯差異，如圖 5.2-3 所示，此為國際間首次提出

土壤砷濃度累積使用年限之概念，由於國內引灌富砷地下水之需求短時間無法避免，因此擬定我國灌溉水源與農地土壤砷濃度累積計算公式，建立土壤砷濃度推估關係式已成為地方環保主管機關所關注議題。

| <i>Years of irrigation</i> | <i>Arsenic load in irrigation water (ppb)</i> | | |
|---|---|------------|------------|
| | <i>100</i> | <i>250</i> | <i>500</i> |
| <i>Arsenic addition to soil (mg/kg)</i> | | | |
| 1 | 0.56 | 1.39 | 2.78 |
| 5 | 2.78 | 6.94 | 13.9 |
| 10 | 5.56 | 13.9 | 27.8 |
| 20 | 11.1 | 27.8 | 55.6 |
| 50 | 27.8 | 69.4 | 138.9 |

The cells have been shaded according to the following tentative interpretative guide: <5 mg/kg – below background; 5–15 mg/kg – loading is indistinguishable from background; 15–50 mg/kg – marginal probability of distinguishing from background; and >50 mg/kg – probably distinguishable from background.

資料來源：Ravenscroft et al., 2009

圖 5.2-3 孟加拉引灌富砷地下水之土壤砷濃度累積概算

二、建立灌溉水源與農地土壤砷濃度推估關係式

本計畫以水平衡收支法(Water Balance)為概念，估算引灌富砷水源進入農地造成土壤砷累積之關聯性，說明各使用參數單位及假設、估算流程及注意事項及本計畫農地土壤使用年限計算結果。

(一) 使用參數及單位

1. 農地面積：指關係式中容納灌溉水量之表面積，並假設進入水源最終為均勻分布，單位為 m^2 。
2. 農地可累積深度：指關係式中砷濃度於土壤中有效累積之深度，通常為 0.15-0.30m，本計畫給定深度為 0.15m，單位為 m。

3. 土壤總體密度：指關係式中土壤停留位置，因砷存在於土壤環境深度中，砂質為主、無黏性=1300；細顆粒為主、砂質略帶黏性=1325；細顆粒為主帶黏性土=1350 無資料可判定者可假設為 1,300，單位為 mg/m^3 。
4. 灌溉水量：指關係式中引入農地灌溉之水源總量，計算基準為每年每公頃引入多少立方公尺，農地面積(m^2)*用水深度(m)，可統計該年度灌溉總用水量，或參考陳尚(1980)文獻建議水稻年用水量推估值，兩期水稻=>耕作面積*1.5m；一期水稻一期休耕/稻旱交替=>耕作面積*1.0m；兩期旱作/一期旱作一期休耕=>耕作面積*0.5m，單位為立方公尺(m^3)。
5. 灌溉水源濃度：指水體中砷濃度，代表砷進入農地總量，分為地面水及地下水兩類，濃度值可個別輸入，(地面水比例(-)*地面水濃度(mg/L)+ 地下水比例(-)*地下水濃度(mg/L))/100，單位為 mg/L 。

(二) 計算公式說明

1. 每年流入坵塊砷含量(mg)：灌溉水量(m^3)*1,000(L/m^3)*灌溉水源濃度(mg/L)。
2. 農地砷累積體積(m^3)：農地面積(m^2)*農地可累積深度(m)。
3. 每年坵塊砷濃度上升量(mg/kg)：每年流入坵塊砷含量(mg)/(農地砷累積體積(m^3)*土壤總體密度(mg/m^3))。
4. 農地土壤砷污染預警使用年限(year)：(土壤砷管制標準(mg/kg)-土壤砷濃度(mg/kg))/每年坵塊砷濃度上升量(mg/kg)。

(三) 本計畫土壤砷濃度預警年限計算條件說明

為推估農地土壤砷濃度預警年限，計算基準將採年為基本單位，因本計畫樣區監測期間為第一期作，因此將假設第二期作之耕作標的同為稻作且用水量相同，且進入農地之砷總量不減等相對保守情境進行推估。

(四) 本計畫建立紀錄表格式及填寫說明

為協助地方主管機關進行預警年限評估，本計畫規劃現場記錄表單提供第一線調查人員使用如圖 5.2-4，紀錄表格同步提供 EXCEL 之格式，填入調查資料後可自動產生評估結果。

三、本計畫土壤砷濃度預警年限計算結果與討論

(一) 預警年限評估結果

本計畫完成研擬土壤砷濃度檢核方案，由本計畫現場調查數據轉利用紀錄表格式算土壤砷污染預警使用年限及砷累積速率，現場調查參數如表 5.2-4，計算結果如表 5.2-5。四湖鄉樣區超過管制標準的年限整體最短，大埤鄉樣區次之，水林鄉樣區最長。

依據我國基礎參數，得到以地下水砷濃度為 0.1 mg/L 為灌溉水源，將導致該筆坵塊每年土壤砷濃度上升 0.77 mg/kg 背景值。

(二) 因應土壤預警年限之作為

1. 以管制標準為預警年限土壤抽測建議門檻。
2. 5 年內達預警年限者，建議該地段規劃每年抽測。
3. 10 年內達預警年限者，建議該地段規劃每三年抽測。
4. 20 年內達預警年限者或已達監測標準者，建議該地段規劃每五年抽測。
5. 建議檢測土壤方式為坵塊表土 5 點混樣，當取得新年度土壤及地下水數據後應重新評估預警年限。

| 基本資料 | | | |
|-------------------------|-----|-------------------|--|
| 調查日期 | | 調查人員 | |
| 項目 | 地段號 | | 填寫說明 |
| 坵塊地段號 | | | |
| 調查資料-土壤 | | | |
| 項目 | 數值 | 單位 | 填寫說明 |
| 農地面積 (取整數位) | | m ² | 以地籍謄本登載為參考值 |
| 農地可累積深度 | | m | 臺中區農業技術專刊(193期)建議表土層為0~0.15公尺 |
| 土壤砷管制標準 | 60 | mg/kg | 依"土壤污染管制標準" |
| 土壤砷濃度 | | mg/kg | 填入背景值或土壤調查濃度 |
| 土壤總體密度 | | kg/m ³ | 砂質為主、無黏性=1300 細顆粒為主、砂質略帶黏性=1325 細顆粒為主帶黏性土=1350 若無資料可判定者=1300 |
| 調查資料-水體 | | | |
| 項目 | 數值 | 單位 | 填寫說明 |
| 灌溉水量 | | m ³ | 兩期水稻=>農地面積*1.5m(陳尚,1980) 一期水稻一期休耕/稻旱交替=>農地面積*1.0m 兩期旱作/一期旱作一期休耕=>農地面積*0.5m |
| 地面水灌溉比例 | | % | 若比例為0時，"地面水砷灌溉水源濃度"可略過不填 |
| 地面水砷灌溉水源濃度 | | mg/L | |
| 地下水灌溉比例 | | % | 若比例為0時，"地下水砷灌溉水源濃度"可略過不填 |
| 地下水砷灌溉水源濃度 | | mg/L | |
| 評估結果-土壤砷濃度預警使用年限 | | | |
| 項目 | 數值 | 項目 | 數值 |
| 每年流入坵塊砷含量 (mg-年) (取整數位) | | 農地土壤使用年限管制標準(年) | |
| 使坵塊砷濃度上升量 (mg/kg-年) | | 農地土壤使用年限監測標準(年) | |

*土壤砷濃度及灌溉水源濃度建議依檢測報告取小數點下三位有效位數字(不進位)。

*其餘數值除法規標準及註記者，建議取小數點下二位有效位數字(採四捨五入)

圖 5.2-4 土壤砷污染預警使用年限紀錄表

表 5.2-4 本計畫試算樣區內坵塊現場調查參數

| 現場調查參數 | | | | | | |
|-----------|---------------|----------------|--------|-------------------|----------------------|---------|
| 分區 | 地號 | 農地面積 | 土壤砷濃度 | 土壤總體密度 | 灌溉水量 | 砷灌溉水源濃度 |
| | | m ² | mg/kg | kg/m ³ | m ³ -year | mg/L |
| 大埤鄉 樣區 | 舊庄段○○○○地號 | 3,480 | 29.000 | 1,350 | 4,861 | 0.710 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 2,630 | 17.000 | 1,350 | 4,090 | 0.740 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 3,110 | 41.000 | 1,350 | 5,105 | 0.300 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 5,340 | 31.000 | 1,350 | 6,896 | 0.300 |
| 四湖鄉 樣區 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 5,590 | 32.000 | 1,300 | 9,905 | 0.710 |
| | 安慶段○○○○地號 | 4,410 | 15.000 | 1,300 | 5,279 | 0.710 |
| | 成功段○○○○地號 | 3,890 | 30.000 | 1,300 | 5,699 | 0.740 |
| 水林鄉 樣區 | 西鹿段○○○○地號 | 3,230 | 10.000 | 1,350 | 8,366 | 0.090 |
| | 西井段○○○○地號 | 3,280 | 30.000 | 1,350 | 12,620 | 0.130 |
| | 灣東段○○○○地號 | 6,640 | 13.000 | 1,350 | 16,249 | 0.140 |

表 5.2-5 本計畫試算樣區內坵塊土壤使用年限計算結果

| 計算結果 | | | | | |
|-----------|---------------|-------------------|-------------------|-----------|------------|
| 分區 | 地號 | 農地土壤砷污染預警使用年限監測標準 | 農地土壤砷污染預警使用年限管制標準 | 每年流入坵塊砷含量 | 使坵塊砷濃度上升量 |
| | | 30 mg/kg-year | 60 mg/kg-year | mg-year | mg/kg-year |
| 大埤鄉 樣區 | 舊庄段○○○○地號 | 0.20 | 6.33 | 3,450,600 | 4.90 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 2.29 | 7.57 | 3,026,600 | 5.68 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 已達 | 7.81 | 1,531,500 | 2.43 |
| | 舊庄段○○○○地號 | 已達 | 15.16 | 2,068,800 | 1.91 |
| 四湖鄉 樣區 | 溪尾段新溪小段○○○○地號 | 已達 | 4.34 | 7,032,550 | 6.45 |
| | 安慶段○○○○地號 | 3.44 | 10.32 | 3,748,090 | 4.36 |
| | 成功段○○○○地號 | 已達 | 5.40 | 4,217,260 | 5.56 |
| 水林鄉 樣區 | 西鹿段○○○○地號 | 27.37 | 43.43 | 752,940 | 1.15 |
| | 西井段○○○○地號 | 已達 | 12.15 | 1,640,600 | 2.47 |
| | 灣東段○○○○地號 | 10.05 | 27.78 | 2,274,860 | 1.69 |

*土壤砷濃度及灌溉水源濃度建議依檢測報告取小數點下三位有效位數字(不進位)。

*其餘數值除法規標準及註記者，建議取小數點下二位有效位數字(採四捨五入)

5.3 研擬灌溉水源、土壤與作物安全管理措施

因應國內部分地區農業生產環境尚存引灌富砷地下水(自然成因)之風險，為維護國內水土品質與食品安全，保障國民健康，政府有關管理部門應合組食品安全資訊交流平台，進行食安議題(砷米處置應變流程)協商及聯合調查討論規劃等政府橫向聯繫工作，本節將彙整環保署(5.3.1節)、水利署(5.3.2節)及農委會(5.3.3節)等各司轄下管理策略及推動現況，並提出跨部會合作推動事宜(5.3.4節)。

5.3.1 環保單位管理策略研析

行政院環境保護署已劃定地下水背景砷濃度潛勢範圍，並提供民眾公開查詢，然而前述潛勢範圍與我國主要農業生產區域具高度重疊性，在部分灌溉水資源不足區域，民眾為滿足耕種需求仍無法避免抽汲地下水補足所需水源，因此研擬灌溉水源、土壤與作物安全管理預警措施已為眼下重要課題。

綜觀目前國內砷污染管理現況上，於農地土壤及地下水砷濃度偏高範圍於調查制度面已臻完善，從小尺度的農地土壤及地下水砷污染調查程序，擴展至大尺度的土壤及地下水砷影響風險地圖繪製工作等均持續辦理中，為延續對全臺地下水富砷區域掌握度，除滾動式檢討富砷地下水鄉鎮村里範圍並定期更新於地下水管制標準中供相關部門查詢警示外，亦將土壤及地下水砷污染判定流程納入現行法規(調查成果及管理策略詳第四章)，提供地方環境主管機對於潛勢區外砷來源判定流程參酌，作為判定透過引灌而持續累積於農地土壤中之砷濃度是否屬自然環境成因(詳第三章討論)，然而在已知高砷潛勢區長期引灌富砷地下水致使砷土砷米等疑慮，如何防範未然為一重要課題，因此本計畫針對地下水砷潛勢範圍內具農地土壤超標可能之樣區進行完整期作土壤及地下水砷濃度變化紀錄(詳本章 5.1 節)，建立環境砷濃度傳輸模型理論並提出農地土壤砷污染預警年限之關係式(詳本章 5.2 節)。

5.3.2 水利單位管理策略研析

水資源是環境與經濟發展之命脈，更是社會與政治的嚴峻挑戰，因應極端氣候變遷，我國的水資源利用與管理更趨複雜，如何開發與合理利用水資源以達永續發展之目標，已是亟需解決的課題。經濟部水利署(簡稱水利署)近年以水源多元化規劃理念，導入新水源開發概念，例如：天然補注的人工湖、雨水收集貯留、地下水補注回用、農業回歸水、攔河堰、水庫、海水淡化、水再生利用等，俾能提供穩定供水。臺灣水資源經營管理目標由早期的追求糧食安全、至工業進程的推動經濟起飛、至民生議題的提升生活品質、到現階段的永續臺灣發展，水利署於各階段提出相對應的發展目標，分別為發展農田水利、充裕產業用水、強化公共給水至水資源永續發展等目標，隨著經濟發展，我國水資源環境已有大幅變化，管理架構也由傳統水資源規劃與開發，逐步以前瞻性及全方位的永續利用為導向。

水源多元化策略分為傳統水源規劃及新興水源規劃兩大類，傳統水源以管理手段增進用水效率與既有水源的調度與聯合運用，新興水源則以發展相關技術與水利產業育成，追求穩定並提高新興水源之質與量，發揮資源循環利用效益為導向。茲就現行管理策略方向說明如下：

一、傳統水源規劃類

- (一) 水庫預警及應變措施之強化：修訂水庫運用要點、訂定枯旱應變計畫；強化枯旱與高濁度備援。
- (二) 用水需求資運之蒐集分析：建置水資源規劃資運作業平台；持續規劃地面水源並適時推動。
- (三) 天然水資源開發總量管制：水資源經理計畫每四年滾動式檢討，強化用水計畫查核。
- (四) 供給導向管理：水庫分級管理檢討；地面水及地下水聯合運用。

二、新興水源規劃類

- (一) 新興水源系統性規劃研究：備援用污水再生利用規劃研究；建置節水型社會之規劃研究。
- (二) 新興水源模廠與示範廠之建置：廢(污)水再生利用示範計畫；雨水貯留利用發展示範計畫。
- (三) 政府機關推動新興水源發展計畫：培訓水資源再生利用規劃人才；推動新興水源發展法制化。
- (四) 法令整合相關工作：相關法令如環保法/水利法/促參法/再生水源發展條例之整合研究計畫。

因應前述兩大類水源規劃推動方向，彙整近年執行三項重點計畫內容茲說明如下：

一、推動農業新興回歸水

具統計農業灌溉回歸水之水量豐富，十分具有回收再利用潛力，亦可促進改制後的行政院農委會農田水利署(原農田水利會)多角化經營，為現階段多元化水資源開發利用重要策略之一。以國內農業大縣雲林縣而言，現下雲林地區中長程公共用水情勢吃緊，農業灌溉用水除原供應調度之集集堰外，自民

國 105 年 4 月完工啟用蓄水的湖山水庫(主要供給民生用水)亦已加入聯合調度，仍有必要提高水資源利用效能，水利署為有效再生利用農業灌溉回歸水為工業、農業使用，已於雲林地區辦理「農業回歸水回收再利用研究」，期能提升地面水水資源利用效率，作為未來推動農業灌溉回歸水回收再利用之示範參考。

二、宜蘭地面地下水聯合運用

宜蘭地區地面及地下水資源豐沛，且部分區域地層下陷速率已呈減緩趨勢，但仍面臨局部地區地下水為逐年下降、用水量逐年成長及區內無大型蓄水設施調蓄水源等隱患，現階段水源調配策略將優先使用地面水源，辦理公井減抽及適度開發備用地下水源等，階段目標以先取地面水、不足再抽地下水，優先由高地重力輸水、不足再採加壓供水，規劃供水小區為最小需水單位等方式調配，賡續朝研擬宜蘭地區整體水資源調配策略、供水系統管網探討分析及水資源調配可行方案等方向進行，以合理運用宜蘭地區豐沛之水資源。

三、花蓮地面地下水聯合運用

花蓮地區產業資源豐富，配合政府推動產業東移政策，將促使該區域工商業快速發展，隨之各標的用水型態必然改觀，因此整體對用水需求大增，花蓮地區地面水資源雖豐，但易受季節性影響導致豐枯水期供應落差大，且地形與地質相對脆弱，河川坡度落差大，致使地面水取用困難，亦不適合興建水庫，考量未來用水供需平衡，將研議朝地面水與地下水聯合運用規劃，俾利水資源有效及合理運用。為探討評估花蓮地區地下水資源可開發量，將以數值模式模擬推估花東縱谷地區地下水涵養量能，進而研擬花蓮地區地面及地下水聯合運用策略，增進花蓮地區水資源開發效益。

水利署未來水資源政策朝向：「天然水資源開發利用採用總量管制，目標枯水季用水零成長」著眼，過去思維以需定供，因水資源為有限資源，新興水源耗費成本高現階段僅以備援用水著眼，未來思維朝以供定需，妥善利用每一分資源，兼顧環境保護、經濟發展及社會正義，以水資源之永續利用為首要目標。水利署階段計畫目標說明如下：

- 一、提高用水效率如節約用水、有效管理、彈性調度。
- 二、水資源多元化，仰賴用水人確實配合，政府部門積極推動實施及民間廠商共同合作進行
- 三、建置溝通平台，隨機且適時溝通及說明規劃多元化水源之理念。

5.3.3 農業單位管理策略研析

農業水資源是農業生產的關鍵因素，除滿足國人糧食消費需求外，近年更支持臺灣產業轉型及經濟發展的耗水需求，農業水資源更具備多元且重要之生態與生活機能。然而臺灣因地形環境造就坡陡流急，加上水利調蓄設施容量有限，降雨量雖豐沛但仍面臨水資源難以貯留問題；加上近年來極端氣候造成旱澇災害之頻率與強度持續增加，以及國內農業發展式微、水源分配受工業與民生用水競合及各式廢污水不當介入等，都對農業水資源的永續利用形成嚴重威脅。行政院農業委員會(以下簡稱農委會)持續推動農業用水管理相關政策，期能確保農業水資源的永續利用。以下針對農業水資源保育及永續利用面臨的課題及解決對策說明如下

一、確保農業用水之合理水權水量

因應我國經濟發展趨勢，近年來社會型態已由傳統農業為主逐步轉為工商業為主，工業與民生用水需求成長，加上水資源開發腳步停滯、調蓄設施嚴重不足的情況下，其他標的用水需求對農業水資源造成排擠，並提出農業占水資源利用大宗

但產值卻相對較低的質疑，刻意營造「只要農業用水減量多少百分比，即可滿足民生與工業用水需求」的錯誤認知。

針對農業用水耗用水量大而產值低的迷思，實際上是忽略了農業水資源除了滿足作物生長，維護糧食安全與支持農事服務相關產業發展的生產功能外，尚具備了調洪、涵養地下水、防止土壤沖蝕、調節微氣候、淨化空氣、保育生物多樣性等生態機能，同時亦建構了農田與農村景觀，提供休閒旅遊與教育文化的生活功能。且農業用水超過 6 成取自河川及其他地面水源，其供應之水質與水量相對不穩定，幾乎無法直接為民生與工業用水所用，在枯水期，西部地區農業用水已相當吃緊，能夠支援其他標的之水量有限，在東部地區及豐水期的農業用水雖相對充裕，但在沒有移用或缺發調蓄設施的前提下，若非由農業灌溉引水設施暫蓄，多屬河川水資源也是逕入海洋，因此農業水資源並非從總量減少即能支援並滿足其他標的用水需求。有鑑於農業水資源三生功能(作物生長、農事生產、環境生態)，及其面臨的競用威脅，農委會持續推動確保農業灌溉用水之合理水權水量工作，一方面透過宣導強化農業灌溉用水特性與政策論述；另一方面持續與水利主管機關協調確保農業用水之必要。

二、強化農業灌溉之水質保護

臺灣過去因國土利用缺乏完善規劃，導致各種土地利用型態交雜，因而衍生事業廢水與生活污水藉由各種途徑流入灌排渠道，造成農業用水水質的劣化，不僅不利農業水資源的保育及永續利用，更對國人食安問題直接造成衝擊。為確保農產品安全、保育農業水資源，農委會積極推動農業灌溉水質保護工作。

- (一) 加強灌溉水質監測作業，普設水質監測點，定常性執行供灌地區的水質初驗作業，再針對不合格者，連同高污染潛勢地區進行複驗檢測；如經檢測未合格，除通報環保單位

加強污染源查處外，將主動停用疑慮渠道供應水源，並依加強灌溉水質監測管理作業程序確認無污染之虞，才恢復引水灌溉。

- (二) 針對高污染潛勢地區加強重金屬檢測作業及設置灌溉水質自動監測系統，以即時啟動緊急應變機制、通知農民注意避免引用可能受污染灌溉水源；同時並積極研擬改善措施，另覓乾淨替代水源。
- (三) 為解決廢污水搭排入灌排系統之潛在疑慮，農委會已於民國 102 年 10 月 31 日函頒「農業灌溉水質保護方案」，依污染潛勢高低，分三階段逐步限縮各類廢污水搭排至灌排渠道，並透過環保署、經濟部等相關部會與地方政府，共同推動加強污染預防機制、加強排水管理及加速興建排水系統，以求有效防止各標的廢污水直接或間接排入灌排渠道，降低農業灌溉用水水質受污染之風險。

三、提升農業用水對水情變化之掌握與應變能力

鑑於氣候變遷造成我國水資源供應情勢越趨吃緊，旱澇災害頻發且嚴重性與日俱增，對農業用水管理造成嚴峻考驗，農委會近年來持續強化農業用水對水旱災情勢之預先掌握與及時應變能力。

- (一) 乾旱因應部分：農委會於內部已建立制度化之抗旱應變機制與標準作業流程；於外部整合國內各單位可用於水文情勢判讀之相關資料，如氣象局長期與即時雨量觀測及月、季長期天氣展望預報資料，及水利署主要水庫蓄水量即時水情資料等，並透過相關資訊平台持續強化各農田水利會用水情勢資料觀測、記錄與提報之時效性，發展農業灌溉用水之乾旱預警機制，協助農田水利署及早掌握枯旱情勢、適時啟動抗旱應變措施，進而減輕災損。
- (二) 防汛因應部分，農委會則推動設置水文自動測報與自動控

制設備，利用即時監測，通報管理人員及時遠端遙控水門啟閉，或搭配自動控制設備，依預先設定之參數或經程式判定自動啟閉水門。藉此，可大幅提升農田水利會防汛作業的精確性與時效性，達到防洪減災的功效。

四、推動示範計畫促進嚴重地層下陷區水土資源和諧利用

因應彰化、雲林地區之嚴重地層下陷情勢，農委會於民國 102 至 109 年推動「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」，優先針對彰化、雲林縣高鐵沿線 3 公里範圍內的農業用地，輔導農民從事低耗水性農業生產，透過規劃與推動「三新二節」(新技術、新農民、新產業與節水、節能)之多項措施，期能達到發展低耗水農業、提高農民收益、提升糧食自給率與促進產業多元發展的目標。針對黃金廊道內各區域不同供水條件與作物種植情勢，研擬推動相應之具體節水措施，鼓勵農民將第一期作水稻田轉為種植進口替代與地區特產之旱作，期建立節水農業專區。

除了前述政策的持續推動外，農委會透過資訊平台的建立，整合農業水土資源管理所需巨量資料，建立跨領域的雲端共享機制，以提供後續農業用水水質、水量管理相關增值分析與決策輔助應用之基礎，茲就辦理目標說明如下：

- 一、持續強化相關基礎研究，透過對全臺水資源時空分布、供水穩定度、土壤質地、作物需水特性與適栽時節等資料的通盤掌握，可有助檢討規劃水土資源最佳化的農業利用模式，推動各區域作物之適地適種與適時適灌，藉由此一農業土水資源和諧利用之模式。
- 二、重點發展農業灌溉用水的智慧管理，透過灌區降雨量、灌溉渠道水質與水量等自動監測系統的推廣設置，及相關演算決策模式與自動控制系統的持續研發精進，提升農業灌溉用水之質量管理。

- (一) 水質管理面，智慧管理系統將可於偵測水質污染情事發生時，即時關閉相關水門並啟動替代水源，除可避免污染水之介入，尚能維持田間作物之供灌。
- (二) 水量管理面，可在洪汛時期即時調控水門，達到防洪減災功能，更能在水資源相對不足的區域或時段，藉由對有效降雨量及作物實際需水情況的充分掌握實施精密灌溉，而達到節省灌溉用水之目標，若能進一步搭配相關調蓄水與輸配水設施，則能將節餘之水量用以支援其他灌溉系統、甚至其他標的用水，提升整體水資源供應安全與效率。

5.3.4 規劃食品安全平台跨部會合作事項

本節已彙整各單位就轄下水源、土壤及食米砷濃度任務管理機制，賡續規劃未來因應食米砷檢測達限量標準後，跨單位研商及聯合調查討論平台之啟動與合作事項，為建立預警機制，計畫中實施灌溉水源與農地土壤砷濃度累積推估，並回饋給相關單位，進而對引灌富砷地下水之農地研擬預警措施如調配地面水與地下水使用方式、定期篩測或檢測方式與超標判定與配套措施茲說明如后。

一、調配地面水與地下水使用方式

- (一) 環保單位：滾動式檢討土壤及地下水砷濃度潛勢範圍，經由定期研商會議與資料交流平台分享資訊。
- (二) 水利單位：
 1. 除加強水資源調配研究工作，應將水質概念納入規劃處理標準，避免富砷或其他污染之虞水源在調配系統中循環。
 2. 未來在水量管理研究許可之前提下，可增加區域含水層水質特性研究，定義建議優先汲取地下水之分層，定期透過跨單位協商來建議不同區域之地下水井設置深度。

(三) 農業單位：

1. 透過灌溉水源適度調配將仰賴抽汲地下水源區域轉用地表水，可避免富砷水源大量進入農地栽培區域影響作物生產安全。
2. 持續檢討公用地下水井存在需要，並優先規劃砷污染潛勢區及地下水管制範圍內之水井填塞。
3. 於地表水相對不充裕地區，輔導農民由稻作轉為旱作，並列為優先農藝管理推廣示範地區，拓展農地使用價值。

二、定期篩測與追蹤

(一) 環保單位：

1. 若農業用地有機率遭受自然環境、人為活動之砷污染時，應長期監測土壤、灌溉水和食用作物，以預防和減少受砷污染之食用作物，根據土污法第 6 條第 1 項：各級主管機關應定期檢測轄區土壤及地下水品質狀況，其污染物濃度達土壤或地下水污染管制標準者，應採取適當措施，追查污染責任，直轄市、縣(市)主管機關並應陳報中央主管機關；其污染物濃度低於土壤或地下水污染管制標準而達土壤或地下水污染監測標準者，應定期監測，監測結果應公告，並報請中央主管機關備查。
2. 結合本計畫提出之土壤引灌地下水土壤砷濃度推估關係，研擬未來縣市環保機關執行之作業流程，包括採樣分析頻率、現場必要參數等。
3. 配合農業單位辦理高風險農地聯合調查作業，於食用作物抽測同時採集土壤及引灌水源，提供後續污染查證使用。

(二) 水利單位：

1. 目前我國在水井設置管理係受水利法規範，透過水權登記制度審查設置位置、設置深度、抽水量等，為提醒水權人注意自身用水安全，水利署已函文通知縣市水利主管機關，於地下水砷濃度潛勢範圍內如有水權申請或展延案件提出時，應予以登載警語週知。
2. 持續辦理轄下觀測井水質分析調查工作，並列為跨單位交流共享監測資源。

(三) 農業單位：

1. 可持續辦理長期引灌富砷地下水農地周遭灌溉水質調查，以保障潛勢範圍內農地灌溉用水權益。
2. 農糧署針對農糧作物辦理農作物農藥殘留及重金屬污染監測作業，並建立監測結果不合格案件之處理機制與輔導措施。民國108年起已通知環保單位進行聯合採樣作業。

三、超標判定與配套措施

(一) 環保單位：

1. 針對地下水砷濃度偏高，按地下水背景砷濃度潛勢範圍及來源判定流程辦理，曾發生土壤超標等農地，則按照現有土壤超標流程進行判斷，並依據前述選定地下水高砷潛勢範圍樣區之調查成果，配合土壤及地下水污染整治法第十二條第十項：「直轄市、縣(市)主管機關得對環境影響與健康風險、技術及經濟效益等進行評估，認為具整治必要性及可行性者，與擬訂計畫報中央主管機關核定後為之。」，進行整治管理評估及後續因應作為。必要時，並得準用第15條規定。然稻米已超標農地則依本計畫第三章後續擬定作為辦理，超標作物依法補助辦理作物剷除銷燬所需補償費用。
2. 當農地經科學性判定後確為受自然環境富砷地下水引灌影響時，依土污法第十二條第九項規定，應邀集各相關目的事業主管機關，並召開協商會。在協商過程中，即需將國際間各種風險管理的角度納入考量。

(二) 農業單位：

1. 可持續辦理長期引灌富砷地下水農地周遭灌溉水質調查，以保障潛勢範圍內農地灌溉用水權益。綜合目前國內在農地之風險管理工作，已有相關單位進行管理作為，如農委會已推行多年農藝資材的限制使用或轉作輔導等。

- 針對土壤重金屬濃度未超過污染管制標準，卻仍產出重金屬含量超過食安法所定限量標準之高污染風險農地，由農糧署及地方政府積極輔導該等農地休耕或轉作非食用作物。

(三) 衛生單位：

- 衛生福利部食品藥物管理署(簡稱食藥署)仍將持續參考國內外相關科學研究資訊及管理規範，滾動修正我國之相關管理規定，以維護國人食品衛生安全。
- 食藥署與相關衛生局，會同農業委員會農糧署以「聯合行動、分工作業」方式辦理市售食用米抽檢，確保糧食安全。

四、跨單位研商及聯合調查討論平台之啟動與合作事項

因應食米砷檢測調查及達檢測標準後啟動之相關因應工作，本計畫已繪製參考流程如圖 5.3-1，分為兩個階段討論，分別為跨單位聯合食米砷檢測定期等定期工作，賡續為食米砷超標後且農地土壤砷超過「土壤污染管制標準」(屬自然成因)之跨單位研商建議，茲說明如下：

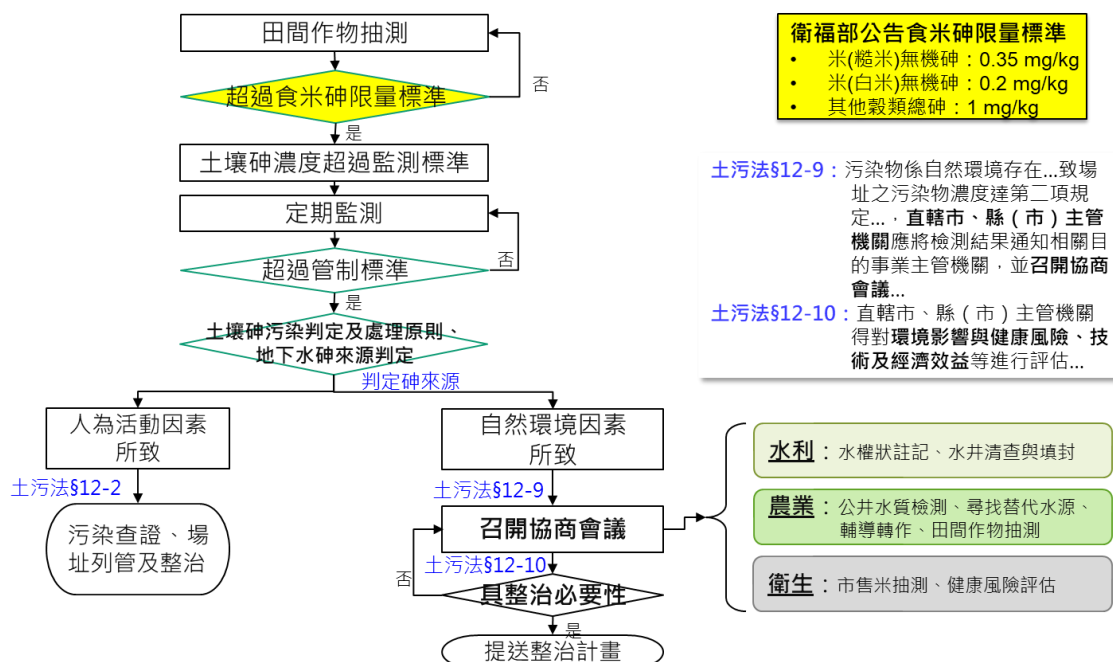


圖 5.3-1 食米砷檢測調查及達檢測標準之跨單位工作流程

- (一) 跨單位聯合食米砷檢測定期等定期工作：為加強政府部門間橫向業務聯繫，整合有限資源達源頭阻絕之目標，建議前述各業管單位可召開食安平台資訊交流會議，研討目前部門政策走向與調查重點，除可共同規劃該年度食安平台目標及聯合調查期程外，亦可即時交換前年度各項調查成果，達橫向聯繫之污染源頭阻絕目標。
- (二) 食米砷超標後確認農地土壤砷未超過「土壤污染管制標準」(屬自然成因)之建議：由農業單位及環保單位主導辦理產除銷燬與後續轉作輔導等工作，並將該筆農地列為後續追蹤對象。
- (三) 食米砷超標後且農地土壤砷超過「土壤污染管制標準」(屬自然成因)之跨單位研商建議：土水、稻米等超標事件牽扯甚廣需多方單位共同進行協商，因此在計畫中亦會規劃定期召開引灌富砷地下水農地等協商會議，依法由環保單位召開跨單位聯合研商會議，並針對下圖臚列重點進行討論(如圖 5.3-2)

| 類別 | 環保單位 | 農業單位 | 水利單位 | 衛生單位 |
|------|---|--|--|--|
| 源頭阻絕 | <ul style="list-style-type: none"> 作物剷除銷燬 污染查證追查及來源判定 | <ul style="list-style-type: none"> 公井封填 轉作輔導 農藝管理推廣 | <ul style="list-style-type: none"> 私井封填 位在潛勢區內註記 | — |
| 污染改善 | <ul style="list-style-type: none"> 富砷土壤整治必要性評估 | <ul style="list-style-type: none"> 地面水與地下水調配供應替代水源 灌溉水砷移除 | <ul style="list-style-type: none"> 評估合適抽水深度 廢止水權登記 | — |
| 定期監測 | <ul style="list-style-type: none"> 土壤及地下水定期監測 | <ul style="list-style-type: none"> 田間作物抽測 灌溉水質監測 | <ul style="list-style-type: none"> 納管水井清查與管理 | <ul style="list-style-type: none"> 市售食米抽測 健康風險評估 |
| 食品安全 | — | — | — | <ul style="list-style-type: none"> 食米限量標準檢討與訂定 |

圖 5.3-2 農地土壤砷濃度超過「土壤污染管制標準」(自然成因)之跨單位研商建議

第六章 農地砷污染管理推廣作業

過去發生地下水砷或農地砷污染事件時，由於砷風險本身的不確定與複雜性，致使第一線環保人員及民眾對於場域管理與風險預防意識不足，往往無法第一時間迴避潛在風險。而現今國際上常見之風險管理與溝通模式，在降低接觸風險之際同時有效運用資源、以最少資源化解最大危機為宗旨，其成敗關鍵在於從管理者由上而下之思維與被管理者(農民)實務需求中，取得適切之平衡點，並且建立滾動式互動協調機制。近年來，政府於重要施政及重大公共建設推動均積極導入公民參與及人力深耕培養機制，進而取得民眾認同，建立共同利益互惠關係，使相關事務得順利推展。因此本計畫歸納目前與民眾溝通面臨之問題，研擬機關未來可因應之對策。本計畫規劃辦理 3 場次政府跨單位研商會議與專家諮詢會議，強化橫向與垂向業務聯繫，確立污染風險管理之具體做法(辦理成果詳 6.1 節);辦理 3 場次農業環境資源安全之深耕培力課程，加強民眾溝通與意見反饋(辦理成果詳 6.2 節)，將近年研究調查成果向基層風險端推廣。

6.1 跨單位研商與專家諮詢會議

依據評選須知規定，規劃邀集縣市環保、農業、水利等相關管理單位或專家辦理 3 場次會議，每場次至少邀請 5 位專家學者，每場參加人數預估以 15 人計共同討論，目的係聽取專家學者及各級環保機關承辦業務人員所提出之建議與方向，並交流本計畫相關工作執行成果，確立後續政策方向。會議主題以縣市環保機關砷米超標事件因應策略參照、土壤砷污染判定及處理原則修正及安全管理預警機制研擬為出發，辦理主題及邀請對象茲說明如后。

本年度專家諮詢研商會主要規劃內容包含土壤及地下水砷濃度預警案例探討及分析。辦理日期茲配合計畫期程與執行進度，擬

定第一場研商與專家諮詢會議擬定辦理時間原為民國 109 年 6 月，因應全球嚴重特殊傳染性肺炎（COVID-19）疫情影響，本計畫研商與專家諮詢會議辦理內容已於民國 109 年 10 月 6 日函文至業務單位鑒核(業興字第 1091006002 號)，第一場專家諮詢會已於民國 109 年 12 月 3 日辦理完成(詳 6.1.1 節)，第二、三場會議配合環保署需求成果分享座談會型式，合併為一日辦理(詳 6.1.2 節)，已於民國 109 年 12 月 10 日辦理完成。

6.1.1 專家諮詢會議「土壤砷污染判定及處理原則修正」辦理成果

一、緣起與目的：

因應天然成因之富砷地下水與農地土壤富砷現象間的關聯性，環保署於民國 107 年發布土壤砷污染判定及處理原則，目的為使直轄縣、市主管機關，依土壤及地下水污染整治法第 12 條第 9 項規定，辦理農業用地因自然環境存在經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準之相關工作有所依循，然而近年卻多次發生地方環保機關判定困難案例，本計畫依歷年判定困難之處完成土壤砷污染判定及處理原則修正，爰此，邀集專家學者針對修正原則適宜性進行探討。

二、常見判定困難之處與修正原則：

綜整地方環保機關判定過程中，常見發生判定困難之處，歸類為三點：一、不同訪談人員判定原則認定不一；二、判定分數位於中間值無法判定；三、存在無法判定項目造成判定分數較低。依據環境介質調查成因，評估評分項目適宜性，增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序，並針對判定評分標準及分數級距進行修正，調整判定項目，修正原則如表 6.1-1。

表 6.1-1 土壤砷污染判定評分表擬定修正原則

| 判定困難之處 | 說明 | 修正原則 |
|------------------|---|-----------------------|
| 潛在人為污染調查不足 | 不同訪談人員判則認定不一 | 增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序 |
| 判定分數位於中間值無法判定成因 | 判定分數位於 50 至 60 之間，無法歸類樣態 | 針對判定評分標準及級距行修正 |
| 存在無法判定項目造成判定分數較低 | 1. 如使用地下水，則存在無法判定項目 2. 農業資材使用狀況多無法回溯 | 於無法釐清與判定之處進行修正，調整判定項目 |

三、土壤砷污染判定及處理原則(修正)

依據上述修正原則修正土壤砷污染判定流程，修正後之判定流程詳如圖 6.1-1，為簡化明顯自然成因判定程序，於原判定流程在現場調查作業前新增初評辦法如表 6.1-2，符合初評項條件且可合理解釋者，則可直接判定為自然環境存在經引灌致土壤砷達污染管制標準，如有 1 項以上之項目不符合或無法合理解釋者，則仍需進行後續土壤砷污染判定流程，同時修正土壤砷污染判定評分表中常見判定困難項目，如表 6.1-3。

表 6.1-2 土壤砷污染判定流程初評表

| 原則 | 項目 | 說明 | 是否符合 |
|------------|-----------------------------------|---|------|
| 排除具人為污染可能性 | 該筆農地現有資料無砷以外項目超過相關標準 | 現有土壤、稻米、底泥等項目，無砷以外之項目超過相關標準則 | |
| | 鄰近 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染可能疑慮之來源 | 依據 SGM、EMS、環保署固定污染源管理資訊公開平台、列管污染源等系統，核定該農地 1 公里內無含砷製程事業、砷污染場址、及具污染疑慮之來源 | |
| 環境富砷可能性 | 該筆農地位於地下水砷潛勢範圍內，或相鄰鄉鎮為地下水砷潛勢範圍 | 依據地下水砷濃度潛勢範圍查詢平台查詢，該筆農地所在鄉鎮或相鄰鄉鎮是否為地下水砷濃度潛勢範圍 | |

表 6.1-3 土壤砷污染判定評分表(修正)

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 |
|--|---------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|----|
| | | | | | |
| (一) 潛在 人為 污染 | (一)-1 周邊有含砷製 程事業、場址分 布 | 鄰近一公里內 無 使用含砷製程 之事業及 砷污染場址 ，砷原物 料之事業若可排除事業造成農 地土壤污染選 ”是” 。(*註 1) | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |
| | (一)-2 曾客土或使用 渠道底泥 | 如 未曾 客土、使用渠道底泥或 完成確認其及其砷濃度低於土 壤污染監測標準選 ”是” 。 | 是 | 15 | |
| | | | 不確定 | 8 | |
| | | | 否 | 0 | |
| | (二) 環境 介質 調查 | (二)-1 地下水砷濃度 | 針對引灌之地下水進行採樣及 評分檢測結果。 | 濃度 $\geq 0.5\text{mg/L}$ | 15 |
| $0.5 > \text{濃度} \geq 0.5 \text{ mg/L}$ | | | | 8 | |
| $0.05 \text{ mg/L} > \text{濃度}$ | | | | 0 | |
| (二)-2 耕種歷史 | | (曾)引灌之地下水砷濃度 (mg/L)與耕種時間(年)相乘之 乘積 (*註 2) | 乘積 ≥ 7 | 15 | |
| | | | $7 > \text{乘積} \geq 3$ | 8 | |
| | | | $3 > \text{乘積}$ | 0 | |
| (二)-3 地下水質呈現 還原特性、高總 有機碳或高鐵、 高錳 | | 針對引灌之地下水進行採樣及 檢測鐵、錳與 總有機碳 。有 1 項 測值超過第二類地下水污染監 測標準，選 ”是” 。(*註 3) | 是 | 15 | |
| | | | 否 | 0 | |
| (二)-4 土壤砷濃度是 否隨遠離水井 或地下水引灌 入口而呈現遞 減 | | 以灌溉水源為起點向田間延伸 進行土壤採樣，每坵塊至少 5 點(0~15 cm)，檢測項目為砷。 如土壤砷濃度分布無遞減或遞 增之情形，選 ”不明顯” 。 | 是 | 15 | |
| | | | 不明顯 | 8 | |
| | | | 否 | 0 | |

表 6.1-3 土壤砷污染判定評分表(修正)(續)

| 類別 | 項目 | 評分說明 | 評分標準 | | 評分 | |
|---|-----------------------------------|--|------|------------------|----|--|
| | | | | | | |
| (二) 環境 介質 調查 | (二)-5 渠道底泥及灌 溉用水砷濃度 是否偏高 | 當引灌水源(部份)為灌溉渠道， 應針對渠道底泥及水體進行採 樣及檢測，如砷濃度超過底泥 品質指標上限值或超過灌溉用 水水質標準，選“是”，若無引 灌渠道水選“其他”，得分同 (二)-1 項目分數。 | 是 | 15 | | |
| | | | 否 | 0 | | |
| | | | 其他 | 同 (二)-1 評分 | | |
| <p>註 1：含砷製程之事業係包含金屬表面處理業、印刷電路版製造業、光電材料與元件製造業、合成樹脂與塑膠製造業、基本化學材料製造業、農藥環境用藥製造業、電池製造業、皮革業及銅材軋延與伸線業等。</p> <p>註 2：$\frac{R_{std}-S_{bk}}{7.7} \cong 7$；$\frac{M_{std}-S_{bk}}{7.7} \cong 3$ R_{std}=土壤砷管制標準 60mg/kg；M_{std}=土壤砷監測標準 30mg/kg； S_{bk}=國內土壤砷背景濃度 8.5mg/kg； 7.7=每 1mg/L 地下水砷濃度引灌 1 年可使農地土壤累積之砷濃度 mg/kg(採保守估計)</p> <p>註 3：係指當氧化還原電位數值為負值時，總有機碳、鐵、錳等項目。</p> | | | | | 總分 | |

註：粗體字為與原評分表相異之處。

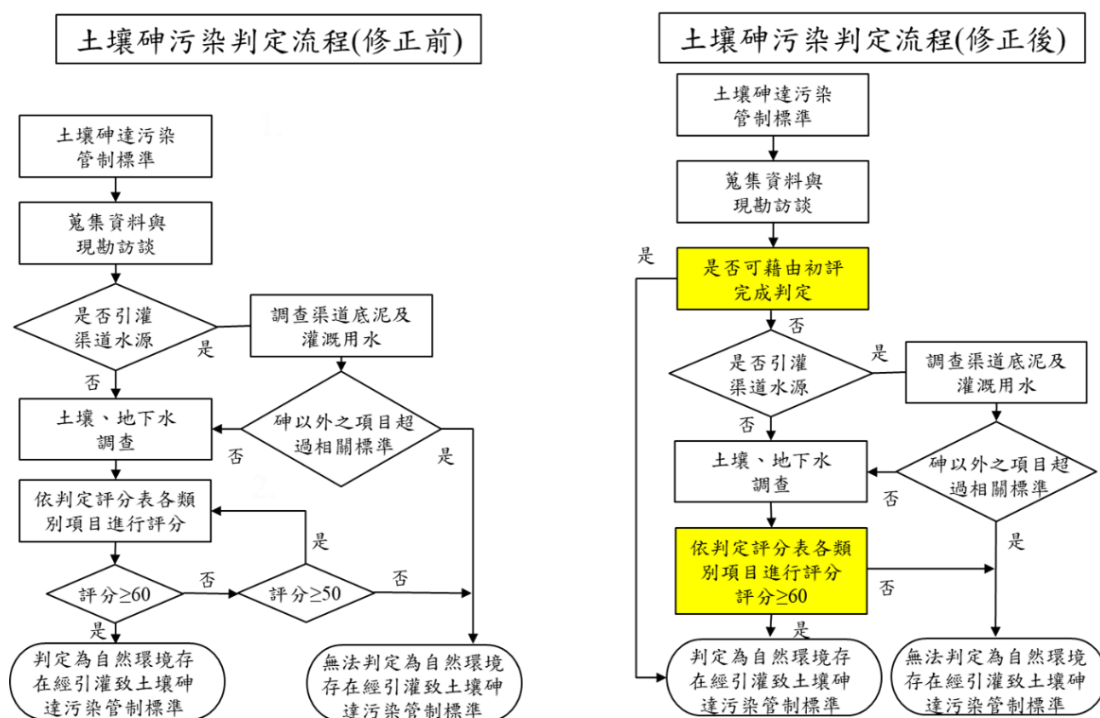


圖 6.1-1 經引灌致土壤砷濃度達污染管制標準判定流程(修正)

四、歷年案例對照

彙整歷年土壤砷污染判定流程案例，於修正後流程帶入案例原判定成因、判定分數與判定結果對照彙整如表 6.1-4，修正後流程可提升原判定為自然之判定分數，並可藉由初評完成判定，如台西鄉砷超標農地案例，反之原無法判定為自然之農地，如嘉義市案例，判定分數降低且亦無法由初評完成判定，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所需經費。

表 6.1-4 修正之土壤砷污染判定流程案例對照表

| 項目 | 計畫樣區 雲林縣 | 協助判定 彰化縣 | 協助判定 嘉義市 | 協助判定 宜蘭縣 |
|-------------|-------------|-------------------------------|-------------|---------------------|
| 案例數量 | 1 | 15 | 1 | 1 |
| 農地狀態 | 經判定流程判定為自然 | 判定為自然 | 具污染行為人 | 調查中場址 (具砷以外項目超標) |
| 是否可藉由初評完成判定 | 是 | 否 | 否 | 否 |
| 原評分表判定分數 | 66 | 80 | 35 | - |
| 修正後評分表判定分數 | 84 | 8 筆：84 7 筆：76 (耕種年份不明確) | 30 | - |

五、會議細節規劃

- (一) 會議日期：109 年 12 月 03 日下午 3 點 30 分。
- (二) 辦理地點：基泰國際會議中心四禧會議室(台北市衡陽路 51 號 10 樓)。
- (三) 會議議程：會議議程規劃如表 6.1-5。

表 6.1-5 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會議程表

| 項目 | 時間 | | 議程 |
|----|---------------|-------|----------|
| 1 | 15：30 ~ 15：35 | 5 分鐘 | 主席致詞 |
| 2 | 15：35 ~ 15：55 | 20 分鐘 | 業興公司簡報說明 |
| 3 | 15：55 ~ 16：50 | 50 分鐘 | 綜合討論 |
| 4 | 16：50 ~ 17：00 | 10 分鐘 | 結論 |
| 5 | 17：00 | 散會 | |

- (四) 專家委員名單如表 6.1-6，簽名單詳附件六。

表 6.1-6 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會專家邀請名單

| | 所屬單位 | 邀請對象 |
|---|------------------|---------|
| 1 | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 | 張尊國名譽教授 |
| 2 | 國立台灣大學農業化學系 | 許正一教授 |
| 3 | 國立中興大學環境工程學系 | 盧至人教授 |
| 4 | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 | 范致豪教授 |
| 5 | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 | 潘述元教授 |

六、會議結論：請團隊參考委員意見，評估後續土壤砷污染判定(修正草案)修訂工作。本計畫按委員建議進行修正，會議照片詳圖 6.1-2，會議紀錄及問題答覆辦理情形詳附件一。



圖 6.1-2 「土壤砷污染判定及處理原則修正」專諮會辦理情況

6.1.2 本計畫成果交流分享座談會辦理成果

一、辦理主題：

臺灣農地土壤及地下水砷污染調查至今已執行數十年，對境內土壤及地下水富砷區域已有相當完善的掌握，各單位研究調查涵蓋層面甚廣，研究調查結果均指出，國內地下水砷問題多為自然背景成因所致，環保署已因應調查結果建立「地下水背景砷濃度來源判定流程」、「農地土壤砷污染判定及處理原則」與「地下水背景砷濃度潛勢範圍」等，協助地方主管機關在面對含砷地下水問題能有所參照。而國內地下水砷含量偏高區域，集中於蘭陽平原、濁水溪沖積扇平原、嘉南平原及屏東平原，其中又以嘉義縣與彰化縣等區域為首要，各縣市環保局亦於縣市土水計畫進行相關調查及因應作為。

同時，自衛生福利部於民國 108 年 1 月 1 日正式訂定「食品中污染物質及毒素衛生標準」，限量稻米砷含量標準以來，各縣市稻米砷超過限量標準農地案例，達 75%位於地下水砷濃度潛勢範圍外，調查結果土壤砷濃度亦低於相關標準，爰此，邀集國內富砷重點縣市環保單位與富砷領域專家學者，針對近年之相關調查成果與縣市案例等進行分享，交流我國地下水富砷發展與現況。

二、會議辦理內容

- (一) 會議日期：109 年 12 月 10 日。
- (二) 辦理地點：集思北科大會議中心 304 岱爾達廳(台北市大安區忠孝東路三段 1 號)。
- (三) 會議議程：上午場議程如表 6.1-7、下午場議程如表 6.1-8。

表 6.1-7 成果交流分享座談會上午場議程表

| 時間 | 內容 | 講者 |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 09：30～10：00 | 報到 | |
| 10：00～10：10 | 致詞 | 行政院環境保護署土壤與地下水污染整治基金管理會 |
| 10：10～10：40 | 引灌含砷地下水農田土壤砷分布與水分管理 稻米砷吸收影響 | 國立臺灣大學農業化學系 許正一教授 |
| 10：40～11：10 | 土壤管理與水稻品種對於稻米砷累積之影響： 以關渡平原稻米砷累積為例 | 國立臺灣大學農業化學系 李達源教授 |
| 11：10～11：40 | 台灣蘭陽平原與嘉南平原地下水砷來源與遷移機制 | 成功大學永續環境實驗所 林高弘博士 |
| 11：40～12：00 | 專家與談與綜合討論 | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 潘述元教授 |
| | | 朝陽科技大學環境工程與管理系 程淑芬教授 |
| 12：00～ | 休息時間 | |

表 6.1-8 成果交流分享座談會下午場議程表

| 時間 | 內容 | 講者 |
|-------------|-------------------|-------------------------|
| 12：30～13：00 | 簽到 | |
| 13：00～13：20 | 嘉義縣土壤與地下水砷污染調查及判定 | 嘉義縣環境保護局 |
| 13：20～13：40 | 彰化縣土壤與地下水砷污染調查及判定 | 彰化縣環境保護局 |
| 13：40～14：00 | 新竹市土壤與地下水砷污染調查及判定 | 新竹市環境保護局 |
| 14：00～14：20 | 土壤砷污染判定及處理原則修正說明 | 業興公司 |
| 14：20～15：00 | 專家與談與綜合討論 | 朝陽科技大學環境工程與管理系 程淑芬教授 |
| | | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 潘述元教授 |
| 15：00～ | 散會 | |

(四) 專家委員名單如表 6.1-9，簽名單詳附件六。

表 6.1-9 成果交流分享座談會專家邀請名單

| | 所屬單位 | 邀請對象 |
|---|------------------|-------|
| 1 | 國立台灣大學農業化學系 | 許正一教授 |
| 2 | 國立台灣大學農業化學系 | 李達源教授 |
| 3 | 國立成功大學永續環境實驗所 | 林高弘博士 |
| 4 | 朝陽科技大學環境工程與管理學系 | 程淑芬教授 |
| 5 | 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 | 潘述元教授 |

三、會議情形：上午場參與人數為 30 人，議程為專家學者分享環境砷成因及影響，參加來賓表示收穫良多；下午場參與人數為 24 人，議程為環保局案例分享後，交流討論十分熱絡，農糧署及水利署代表也一同參與討論，會議照片上午場詳圖 6.1-3，下午場詳圖 6.1-4。



圖 6.1-3 座談分享會上午場辦理情況



圖 6.1-4 座談分享會下午場辦理情況

6.2 農業環境資源安全深耕培力課程

過去各項政策的宣導與施行考量過往經驗及作法，多半採行由上而下、由寡而眾的方式分層傳達訊息，以傳達效率而言，如此的方式可避免傳遞上的缺漏及節省時間，然往往存在執行品質落差、政策理解差異及接受者無法同理對待等問題，本計畫規劃透過參與溝通及人力深耕培養機制，除了瞭解被管理者或風險接觸者的實務需求，同時期盼由承辦人員自身業務專業與辦理經驗，提出管理策略與建議，共同擬訂可行方案，促使政策得以有效推動，此為本團隊所推廣「參與及實踐」的橫向與垂向溝通機制。

本團隊透過導入培力深耕的推廣模式，直接與民眾的溝通和了解意見反饋，向農民推廣土壤或地下水富砷範圍地區等公開資訊，使農民瞭解環境中砷存在的原因及背景，及當砷風險存在時應如何做好本身的風險管理，瞭解被管理者的心態，而後對於凝聚符合法規及污染風險管理現況之具體做法，歸納出更貼近實務的管理策略與執行方案。本年度將延續前期強化風險溝通工作做法，並且強化橫向與垂向之業務聯繫與民眾溝通，透過調查工作規劃與調查結果的闡述，使利害關係人參與調查過程，充分表達其意見，建立良好的溝通管道。

6.2.1 培力課程主軸架構

培力(empowerment)過去翻譯成賦權，是培養一個人或群體擁有自主思考與行動的能力，社會學家可能會說「培養公民/群體/社區的主體性」，類似的俗諺可能是「給他魚吃不如教他釣魚」。比方，一個社區的培力課程，組織者不會直接跟這個社區的人說：「你們就是要蓋個漂亮的腳踏車道、你們就是要來編纂村史。」而是會用各種引導的方式，讓村民們討論出會希望村子裡有什麼樣的改變，最後大家再從討論的結論來採取行動，這個將討論化為實際行動就是一種培力。

為促本計畫推動示範之管理機制符合民意與實務需求，於調查說明過程將導入公民參與元素，過程中首重蒐集利害關係者及民間業者意見，為管理機制進行設計修正考量依據，賡續辦理建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制培力學堂，目標建立跨界推廣、執行與諮詢的聯繫通道，據以提出最適當之管理機制方案，透過辦理成果反饋達推定政策目的。

培力課程的核心元素亦為公眾參與讓民眾藉由公平公開的管道抒發己見，對公共政策之制訂貢獻自我情感、理念、意志，提升參與後續行動之意願，同時可使民眾與主管機關間降低誤解、增進相互瞭解，增加政策垂向之被接納度及可執行性，本計畫以「經濟」、「產業」、「環境」及「歷史」為四大面向規劃相關課程如圖 6.2-1，讓參與對象能透過課程討論進而瞭解自己生活的土地，提供表達想法的機會營造共識，目的為共同決定務實的政策管理目標。

依據評選須知規定，本項工作邀請地下水與農地土壤管理、現場篩測設備、健康風險溝通等相關領域之專家學者、社區居民、農民、公部門以及民間團體，辦理 3 場次深耕培力課程，每場參加人數預估以 30 人計共同討論，培力課程應包括土水環境品質、農業生產環境、健康風險或產業與在地特色等相關領域，目的為建立政府單位與地方意見領袖之跨界推廣與意見反饋的夥伴關係。本項工作辦理規劃如后。



圖 6.2-1 本計畫培力課程面向及主題示意

一、培力課程邀請對象

對象包括邀請地下水與農地土壤管理、現場篩測設備、健康風險溝通等相關領域之專家學者、社區居民、農民、公部門以及民間團體，一起參與培力問題的討論，課程規劃每次參與人數為 30 人，如報名踴躍可視需求評估增加參與人數與辦理規模。

二、培力課程主題與時間規劃

本計畫辦理培力課程面相包含土水環境品質、農業生產環境、健康風險或產業與在地特色等相關領域等相關領域，彙整前述三大課程面相規劃邀請產官學研各界之專業團隊與師資進行授課，將依據環保署指示後確定邀請名單。針對各主題利用講習方式進行，使與會者對該主題能有更深入之探討與思索)等。培力學堂預計辦理 3 場，每場時間規劃為 4 小時，合計為 12 小時。每場次均提供茶水、便當/餐盒、會議資料等。擬定第一場培力課程為民國 109 年 9 月(規劃詳如後節說明)，並配合計畫執行進度以在地砷污染結合健康風險，傳達國內歷年砷計畫與本計畫研究成果，實際執行時程將與環保署研商討論後據以執行。

三、培力課程辦理重點

本計畫團隊由過去承辦經驗(圖 6.2-2)彙整本次培力辦理重點為透過彼此理解建立起溝通橋樑，利用共通的語言達成最大的共識，除了透過多元的課程內容帶給學員新的認知，團隊已整理以下溝通技巧，提升培力成效

- (一) 瞭解農民需求同時也讓農民理解政府的需求。
- (二) 價值觀的溝通理解，傳達給農民政策評估的概念與帶來的保障。
- (三) 分析農民與政府的行為模式，尋求最大的共識。
- (四) 利用同理心的換位思考，增加農民的安全感。

(五) 找尋農民在意的點，並且正面的解釋與引導。

(六) 創造出彼此溝通的空間，而非政策面死板的對立。

(七) 透過培力學堂逐步收斂農民的問題、政策的問題、環境的問題後，以換取最大共識，共同歸納出合理的政策願景。

四、培力課程回饋

本計畫將彙整培力學堂所對於農業環境資源安全相關內容，每次培力學堂均有書面紀錄、培力課程照片、錄音及錄影檔案，搭配學堂互動過程達成共識，落實計畫目標達成。



圖 6.2-2 108 年度曾協助水利署辦理培力學堂情況

6.2.2 農業環境資源安全深耕培力課程辦理成果

一、緣起與目的

臺灣地下水富砷問題由來已久，又以西南沿海地區用水影響最鉅，迄今雖已鮮少直接飲用富砷地下水之情形，然而抽用富砷地下水進行農業灌溉卻為臺灣西南沿海地區普遍行為，進而造成農地土壤砷濃度累積、甚而超過法規標準情形，過去發生地下水砷或農地砷污染事件時，由於砷風險本身的不確定與複雜性，第一線環保人員及民眾對於事件與場域的管理，往往無法客觀地做出回應風險的行為。而現今國際上常見之風險管理與溝通模式，為能在降低接觸風險之際同時有效運用資源、以最少資源化解最大危機，其成敗關鍵在於從管理者由上而下之思維與被管理者(農民)實務需求中，取得最適切地平衡點，並且建立良好之滾動式互動協調溝通機制。為促本計畫推動示範之管理機制符合民意與實務需求，於調查說明過程將導入公民參與元素，過程中首重蒐集利害關係者及民間業者意見，為管理機制進行設計修正考量依據，賡續辦理建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制培力學堂，傳達國內歷年砷計畫研究成果，讓參與學員能透過課程進而瞭解生活的環境及土地相關議題，以達推廣與意見反饋的夥伴關係，各項規劃詳后所述。

二、辦理時間

本計畫培力課程辦理地點納入地下水砷潛勢範圍、計畫示範樣區與成效性等條件，選定雲林縣口湖鄉下崙村、雲林縣大埤鄉尚義村與雲林縣元長鄉西莊村三處村里，此三處村里積極舉辦推廣課程，具有完善的活動推廣流程與良好學習意願。課程舉辦日期分別為 9 月 22 日口湖鄉下崙村、9 月 23 日大埤鄉尚義村與 9 月 24 日元長鄉西莊村，每場次課程時間為 4 小時，三場合計為 12 小時，詳細課程地點與日期排程如表

6.2-1、議程海報如圖 6.2-3、橫幅布條如圖 6.2-4、課程調查問卷內容如圖 6.2-5，簽到表及問卷內容詳附件七。

表 6.2-1 培力課程地點與日期排程表

| 項次 | 第一場次 | 第二場次 | 第三場次 |
|------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 村里 | 雲林縣 口湖鄉下崙村 | 雲林縣 大埤鄉尚義村 | 雲林縣 元長鄉西莊村 |
| 日期 | 9月22日(二) | 9月23日(三) | 9月24日(四) |
| 課程時間 | 13:00~17:00 | 08:00~12:00 | 13:00~17:00 |
| 活動地點 | 雲林縣口湖鄉 第二老人文康 活動中心 | 雲林縣大埤鄉 尚義村活動中心 | 雲林縣元長鄉 西莊社區發展協會 |
| 活動地址 | 雲林縣口湖鄉 福安路91號 | 雲林縣大埤鄉 福德路11號旁 | 雲林縣元長鄉 西庄路2-16號 |

建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫

農業環境資源安全 深耕培力課程

109年9月22日(二) 課程場次 ▶
雲林縣口湖鄉下崙村場次

| 時間 | 課程主題/授課講師 |
|-------------|---|
| 13:00-13:30 | 報到 |
| 13:30-13:35 | 開場致詞 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會 主持人：國立成功大學 永續環境實驗所 林高弘博士 |
| 13:35-13:40 | 合照 (全體參與人員) |
| 13:40-14:10 | 彰雲地區農田土壤特性與肥力現狀 行政院農業委員會 農業試驗所農化組 林毓雯博士 |
| 14:10-14:40 | 濁水溪沖積扇源流探討 國立虎尾科技大學 農業科技系 戴守谷教授 |
| 14:40-14:50 | 休息 |
| 14:50-15:20 | 農地砷來源影響與管理作為 南華大學 自然生物科技學系 陳柏青教授 |
| 15:20-15:50 | 含砷地下水及農地土壤預防措施 朝陽科技大學 環境工程與管理系 程淑芬教授 |
| 15:50-16:30 | 綜合討論與意見交流 |
| 16:30-17:00 | 回饋調查問券填寫 |
| 17:00 | 課程結束 |

主辦單位：行政院環境保護署 協辦單位：業興環境科技股份有限公司

圖 6.2-3 培力課程議程海報示意圖(以口湖鄉場次為例)

建構富砷地下水及農地土壤砷濃度 預警管理機制計畫

主辦單位：行政院環境保護署 協辦單位：業興環境科技股份有限公司

圖 6.2-4 培力課程計畫用橫幅布條示意圖

行政院環境保護署
建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制計畫
農業環境資源安全深耕培力課程

課程調查問卷

姓名：

場次：

| 項目 | 調查內容 | 課程理解度，請勾選 (5 非常同意遞減至 1 尚可) | | | | |
|----|--------------------|-------------------------------|---|---|---|---|
| | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 能充分理解課程中所講述的內容 | | | | | |
| 2 | 課程內容與我的生活切身相關 | | | | | |
| 3 | 課程有幫助我理解地下水砷的來源與影響 | | | | | |
| 4 | 課程有幫助我理解地下水砷的預防措施 | | | | | |
| 5 | 日後會更關注地下水砷的議題 | | | | | |
| 6 | 本次培力課程活動整體內容非常令人滿意 | | | | | |

對於本次培力課程活動的感想及建議？

圖 6.2-5 培力課程計畫用課程調查問卷

三、培力課程邀請參與對象

課程邀請所在村里計畫樣區配合農地地主及對本課程具有了解意願之當地社區居民、農民，透過主動電話聯繫與村里長協助提前廣播課程資訊，每場參與人數均達 30 人以上。

四、培力講師邀請名單

課程導師為農委會農業試驗所農化組林毓雯研究員與國立虎尾科技大學農業科技系戴守谷教授針對彰雲地區在地農業環境進行授課。農地砷來源與預防措施，分別邀請到南華大學自然生物科技學系陳柏青教授與朝陽科技大學環境工程與管理系張簡水紋教授擔任授課導師，課程主題與時間規劃如表 6.2-2。本系列培力課程均特別邀請國立成功大學永續環境實驗所林高弘博士擔任主持人，負責時間控制及綜合討論主持工作。

表 6.2-2 培力課程主題與授課導師規劃表

| 時間 上午場 | 時間 下午場 | 課程主題 | 授課導師 |
|-------------|-------------|---------------------|--------------------------------|
| 08:00~08:30 | 13:00~13:30 | 報到 | |
| 08:30~08:35 | 13:30~13:35 | 開場致詞 | 行政院環境保護署 土壤及地下水污染整治基金管理會 |
| 08:35~08:40 | 13:35~13:40 | 合照 | 全體參與人員 |
| 08:40~09:10 | 13:40~14:10 | 彰雲地區農田土壤 特性與肥力現狀 | 農委會農業試驗所農化組 林毓雯研究員 |
| 09:10~09:40 | 14:10~14:40 | 濁水溪沖積扇 源流探討 | 國立虎尾科技大學農業科技系 戴守谷教授 |
| 09:40~09:50 | 14:40~14:50 | 休息 | |
| 09:50~10:20 | 14:50~15:20 | 農地砷來源影響 與管理作為 | 南華大學自然生物科技學系 陳柏青教授 |
| 10:20~10:50 | 15:20~15:50 | 含砷地下水及農地 土壤預防措施 | 朝陽科技大學環境工程與管理系 張簡水紋教授/程淑芬教授 |
| 10:50~11:30 | 15:50~16:30 | 綜合討論與 意見交流 | 各單位綜合討論與意見回饋 |
| 11:30~12:00 | 16:30~17:00 | 回饋調查問券填寫 | |
| 12:00~ | 17:00~ | 課程結束 | |

五、培力辦理成果及照片

(一) 口湖鄉下崙村

本場次參與民眾主要來自口湖鄉下崙村及附近村里民眾，參與人數合計為 41 人，本場次回收問卷共 11 份，辦理成果照片詳圖 6.2-6。



圖 6.2-6 口湖鄉下崙村辦理培力學堂情況

(二) 大埤鄉尚義村

本場次參與民眾主要來自口湖鄉下崙村及附近村里民眾，參與人數合計為 56 人，本場次回收問卷共 10 份，辦理成果照片詳圖 6.2-7。



圖 6.2-7 大埤鄉尚義村辦理培力學堂情況

(三) 元長鄉西莊村

本場次參與民眾主要來自口湖鄉下崙村及附近村里民眾，參與人數合計為 34 人，本場次回收問卷共 11 份，辦理成果照片詳圖 6.2-8。



圖 6.2-8 元長鄉西莊村辦理培力學堂情況

六、培力課程調查問卷分析與建議

本計畫擬定培力課程透過完整的農業架構與環境探討，帶入現今國內農地砷發展現況，配合計畫執行進度結合健康風險，傳達國內歷年砷計畫研究成果，讓參與學員能透過課程進而瞭解生活的環境，並提供表達想法的機會營造共識，為共同決定務實的政策管理目標。茲就問卷分析結果與後續辦理建議說明如下。

(一) 問卷分析結果：

本問卷有效份數為 32 份，每場次均至少完成 10 份，依問卷各問題討論分析如下：

1. 能充分理解課程中所講述的內容：本題表示非常同意者 22 位；部分同意者 9 位；無意見者 1 位，顯示本次課程設計內容對超過半數參與問卷的學員而言都能夠充分理解。
2. 課程內容與我的生活切身相關：本題表示非常同意者 13 位；部分同意者 9 位；無意見者 7 位；部分不同意者 2 位；完全不同意者 1 位，顯示本次課程提及內容有過半數參與問卷學員認為與生活相關，部分學員對砷相關議題較無概念或直接接觸。
3. 課程有幫助我理解地下水砷的來源與影響：題表示非常同意者 15 位；部分同意者 9 位；無意見者 8 位，顯示本次課程設計內容對超過半數參與問卷的學員而言，能夠透過課程瞭解地下水砷的來源及對生活可能造成之影響，與問題 1 調查結果相近。
4. 日後會更關注地下水砷的議題：本題表示非常同意者 19 位；部分同意者 9 位；無意見者 4 位，顯示本次課程設計內容對超過半數參與問卷的學員而言，能夠藉由本次課程建立對周遭生活環境中，砷存在議題之風險概念。
5. 本次培力課程活動整體內容非常令人滿意：本題表示非常同意者 22 位；部分同意者 8 位；無意見者 2 位，顯示本次課程設計內容對超過半數參與問卷的學員而言是滿意且有幫助的傾向。

(二) 培力課程後續辦理建議

1. 本計畫辦理培力課程，參與民眾皆表示相關課程安排難易度適中，且對於建立環境潛在危害認識有正面的助益，後續可朝定期巡迴課程方向規劃，並優先針對土壤及地下水富砷區域推廣。
2. 授課期間民眾反饋課程如以農民為主要培力對象，可選擇在農閒或是晚間時段辦理，使參與民眾會更踴躍。
3. 本次培力課程以較靜態的研究成果辦理，後續建議可結合現地除砷技術及相關農業栽培技術發展成果，辦理現地示範推廣課程，落實環境砷風險預防概念。
4. 培力課程除深入鄉村進行第一線的觀念扎根外，對於地方上致力推廣農業教育的產學界，可規劃以短期工作坊結合既有課程或演講，提升以農業為志業的民眾對於環境危害的相關觀念，培養在地種子人才。

第七章 行政作業與其他事項

於計畫執行期間配合環保署需求，召開工作起始會議，並依工作進度定期召開工作檢討會議，此外，於計畫執行初期，也與行政院農業委員會農業試驗所進行計畫協調會議，各項行政配合工作摘要說明如后。

7.1 相關工作檢討會議

一. 工作起始會議

計畫執行初期，於民國 109 年 2 月 12 日召開工作起始會議，討論本計畫各項議題未來工作規劃與走向，並確認工作期程以達圓滿計畫預期目標與成效，會議記錄詳見附件二。

二. 計畫協調會議

農試所於今年執行農田土壤水分管理對稻穀無機砷累積之影響研究計畫，探討在不同土壤母質區域下，不同水分管理方法對稻米無機砷累積之機制，與本計畫工項地下水砷潛勢範圍外稻米砷超標成因釐清、高砷潛勢範圍農地土壤超標預警機制具有相互交流之可能性。故於 109 年 2 月 25 日召開計畫協調會議，共同擬定計畫交流項目。

三. 工作檢討會議

配合環保署需求與工作進度召開工作檢討會議，截至民國 109 年 7 月 15 日止，已於 109 年 2 月 12 日、3 月 4 日、4 月 29 日、5 月 27 日、6 月 17 日、7 月 8 日、9 月 1 日、9 月 30 日與 11 月 27 日召開 9 場工作檢討會議，與環保署確認各項工作執行進度，會議記錄詳見附件二。

7.2 其他行政配合工作

除前述各節工作外，本計畫執行期間亦協助完成數項相關形成工作，列舉如下：

(一)、彰化縣 2 筆地號砷污染來源判釋

彙整農地歷史調查資料，確認該區域地下水砷濃度潛勢範圍分布，及引灌自然環境富砷地下水之田土壤影響地圖潛勢範圍，並依據調查結果擬定建議作為，調查結果已併入 4.3 節探討。

(二)、109 年科普知識宣傳漫畫製作

協助製作 109 年環保署科普知識推廣宣導，以砷為主軸，宣導國內環境砷成因循環、地下水砷濃度潛勢範圍與已執行之因應管理作為，如圖 7.2-1。



圖 7.2-1 科普知識宣傳漫畫製作圖

(三)、土污法 20 周年特展

協助 109 年度土壤及地下水污染預防宣導推動計畫，土污法 20 週年特展「國際交流區與土水好技術」展區設置，運用實體設備模型等展示調查與整治工具，如本計畫運用之水中砷快篩設備、現地化學氧化設備、PID 與 FID 等，藉由靜態展品說明整治技術推廣我國技術研發狀況，呈現臺灣土水整治技術進步與升級，現場展示如圖 7.2-2。



圖 7.2-2 土污法 20 周年特展現場展示圖

(四)、109 年聯合採樣計畫農地引灌水砷濃度篩測

協助針對國內本年度環保單位與農業單位聯合採樣計畫，針對 48 筆農地引灌水砷濃度進行篩測，並依據篩測結果回饋至計畫成果，現場採樣如圖 7.2-3，檢測數據已併入 3.2 節探討。



圖 7.2-3 聯合採樣計畫農地引灌水採樣圖

第八章 結論與建議

8.1 結論

本計畫執行期間，已依工作進度及查核點要求完成樣區調查及預警機制建立等相關工作，如以下所列：

一、縣市環保機關砷米超標通報事件之因應策略研擬

- (1) 計畫依歷史資料篩選苗栗縣西湖鄉、彰化縣鹿港鎮與台中市大肚區三處樣區，總計調查 31 筆坵塊，調查結果顯示，計畫樣區稻米砷濃度偏高區域其鄰近環境土壤與地下水無明顯砷濃度，均低於灌溉用水砷濃度標準(0.050mg/L)與土壤砷濃度監測標準(30mg/kg)，為評估更多稻米砷濃度偏高案例之環境因素，本計畫續依 2707 筆稻米歷史資料篩選 48 筆稻米高風險坵塊，進行農地土壤及引灌水砷濃度快篩，篩測結果農地土壤平均砷濃度為 6.5mg/kg，僅 1 筆農地土壤砷高於監測標準，引灌水平均砷濃度為 0.019mg/L，且均低於灌溉用水標準，結果顯示稻米砷含量偏高農地其環境砷含量不一定偏高。
- (2) 彙整歷年農地稻米砷濃度高於限量標準案例，在檢測農地之選定已針對環保機關公告污染控制場址鄰近農地、公告解除控制場址之管制或定期監測之高風險農地下，僅少數稻米砷濃度高於限量標準，同時各縣市環保機關接獲農業單位通報後，立即進行緊急應變針對污染農地查證，農地土壤與地下水砷含量均低於相關標準，農地土壤砷濃度亦無偏高之現象，趨近於我國土壤母質背景砷濃度，與調查結果趨勢相符。
- (3) 在各縣市稻米砷濃度超標案例與計畫樣區環境調查，土壤砷濃度皆低於監測標準下，依據國內外研究文獻，除

了環境土壤與地下水砷含量外，影響稻米砷吸收因子可分為五大項，分別為砷的型態、氧化還原條件、土壤 pH 值、有機物作用與水稻基因型，考量稻米砷吸收機制之複雜性，本計畫擬定縣市環保機關在接獲農業單位稻米砷超標通報事件，建議之農地調查方向，並依據不同土壤、引灌水與底泥砷濃度，擬定各情境，包含情境一人為污染之虞；情境二土壤砷濃度成因；情境三無法歸納為自然成因；情境四引灌富砷地下水成因；情境五水田環境成因，並依各情境研擬縣市環保機關因應策略。

二、地下水砷濃度潛勢範圍外土壤砷濃度偏高來源判定

- (1) 本計畫自 28,880 筆歷史資料中篩選彰化縣大城鄉、雲林縣台西鄉與雲林縣大埤鄉 3 處樣區，總計調查 50 筆農地坵塊，調查結果顯示 3 處樣區地下水砷濃度均高於引灌用水水質標準 0.05mg/L，均具富砷地下水特性，同時 3 處樣區目標坵塊現今土壤砷濃度皆已低於監測標準，推斷土壤砷濃度差異大為歷史資料久遠、翻土、引灌水源改變與耕作習慣改變等，由此可知歷史資料有其參考價值，惟在進行判識流程時，考量時空變化之可能性，需以農地現況環境砷濃度為判斷依據。
- (2) 計畫綜整樣區案例與縣市環保機關土壤砷污染判定過程中，常見發生判定困難之處，根據環境介質調查評估評分項目適宜性，修正土壤砷污染判定流程，修正原則包含增加初步判定方式，簡化明顯自然成因判定程序，修正評分標準及分數級距、無法釐清與判定之項目。
- (3) 修正後之土壤砷污染判定流程，依歷年案例帶入可提升原判定為自然之判定分數，並可藉由初評完成判定，反之原無法判定為自然之案例亦無法由初評完成判定，在縣市環保機關長期掌握該行政區域內定期列管資料下，修訂後流程能有效藉由初評辦法完成判定並減少調查所

需經費，惟無法合理解釋者，則仍需進行後續流程。

三、高砷潛勢範圍農地土壤砷預警機制建立

- (1) 本計畫篩選歷年地下水砷濃度偏高區域為示範樣區，自民國 104 至 108 年累積民井砷濃度數據共 2,722 筆排序，對比地下水砷濃度潛勢範圍后擇定雲林縣為本次試辦縣市，其中地下水砷濃度達管制標準 0.5mg/L 與土壤砷濃度達監測標準 30mg/kg 主要集中於四湖鄉、口湖鄉、水林鄉、北港鎮與大埤鄉一帶，排除潛在人為因素鄉鎮后，依土壤及地下水砷濃度、質地、鄉鎮與稻作期程不同分為三處目標樣區共 10 處，採樣及檢測數量均全數完成。
- (2) 為因本樣區土壤砷背景濃度偏高(已達監測標準)，雖未達管制標準且砷應屬自然背景成因引灌富砷地下水所致，故依法未具整治必要及可行性，依規定建議地方環保機關可就所在地段或村里規劃定期監測土壤品質，必要時提醒民眾砷的環境風險，並配合農業主管機關進行農藝輔導及環境管理。
- (3) 本計畫已彙整結合國內於不同品種稻米砷吸收差異影響相關文獻、探討國內外不同灌溉浸水時間對稻米吸收砷差異、土壤吸附作用與稻米於人體內的生物有效性等，透過樣區案例的推估，記錄期作過程之水中砷濃度、用水量、土壤與稻米砷濃度，完成土壤砷濃度預警年限推估方式，建立以健康風險為導向之砷濃度傳輸分布模型。
- (4) 因應國內部分地區農業生產環境尚存引灌富砷地下水(自然成因)之風險，為維護國內水土品質與食品安全，本計畫已彙整環保署、水利署及農委會等各司轄下管理策略及推動現況，研擬食安議題(砷米處置應變流程)協商及聯合調查討論規劃等政府橫向聯繫工作，並提出跨部會合作事宜。

四、農地砷污染管理推廣作業

- (1) 以土壤砷污染判定及本計畫成果分享座談會為兩項主題，邀集縣市環保、農業、水利等相關管理單位或專家辦理 3 場次會議，每場次邀請 5 位專家學者，目的係聽取專家學者及各級環保機關承辦業務人員所提出之建議與方向，並交流本計畫相關工作執行成果，確立後續政策方向。
- (2) 本計畫培力課程辦理地點納入地下水砷潛勢範圍、計畫示範樣區與成效性等條件，選定雲林縣口湖鄉下崙村、雲林縣大埤鄉尚義村與雲林縣元長鄉西莊村三處村里，此三處村里積極舉辦推廣課程，具有完善的活動推廣流程與良好學習意願。課程舉辦日期分別為 9 月 22 日口湖鄉下崙村、9 月 23 日大埤鄉尚義村與 9 月 24 日元長鄉西莊村，每場次課程時間為 4 小時，三場合計為 12 小時，總參與人數達 130 人，透過完整的農業架構與環境探討，帶入現今國內農地砷發展現況，配合計畫執行進度結合健康風險，傳達國內歷年砷計畫研究成果，讓參與學員能透過課程進而瞭解生活的土與農地環境。

8.2 建議事項

- (一) 國內地下水砷問題多屬自然成因，依歷年調查結果顯示，地下水砷濃度潛勢範圍主要分佈於濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原及蘭陽平原，在我國地下水高砷潛勢範圍與主要農業區高度重疊下，如何控管含砷地下水為一重要關鍵，根據計畫第四章樣區調查發現，相同區域之地下水井，其地下水砷濃度會依據不同井深而有巨大差異，如雲林縣台西鄉樣區最高地下水砷濃度為 0.441mg/L，其相鄰 20 公尺內鄰近農地地下水砷濃度僅檢出 0.015mg/L，差異甚大。爰此，為確保潛勢區內用水安全，地下水砷潛勢範圍內用水區域，若無替代水源及相關替代方案下，建議可針對該區域灌溉水井、生活用抽水井等進

行各別砷濃度篩測。

- (二) 地下水砷問題牽扯甚廣，在安全管理作為上需仰賴各單位合作，為加強政府部門間橫向業務聯繫，本計畫已彙整各單位等各司轄下管理政策及推動現況，提出跨部會合作推動事宜，建議未來針對富砷潛勢區域涵蓋縣市，盡速推動跨局處合作工作，廣納各單位建議，研討目前部門政策走向與調查重點，達橫向聯繫之污染源頭阻絕目標，確保國內推動之成效。
- (三) 環保署公告之地下水砷濃度潛勢範圍內水井申報納管高達 3 萬餘口，面對如此龐大之用水需求，如何針對民眾進行宣導防範亦為重要之關鍵，本計畫於調查說明過程導入公民參與元素，辦理 3 場次建構富砷地下水及農地土壤砷濃度預警管理機制培力學堂，總參與人數達 130 人，成效良好，建議後續針對高砷潛勢範圍重點區域，結合村里既有定期活動如產銷班、里民宣導課程等，傳達國內歷年研究成果與預防機制達實務之運用。
- (四) 本次培力課程以較靜態的研究成果辦理，後續建議可結合現地除砷技術及相關農業栽培技術發展成果，辦理現地示範推廣課程，落實環境砷風險預防概念。培力課程除深入鄉村進行第一線的觀念扎根外，對於地方上致力推廣農業教育的產學界，可規劃以短期工作坊結合既有課程或演講，提升以農業為志業的民眾對於環境危害的相關觀念，目標培養在地種子人才。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，2012。全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 1 期)。
2. 行政院環境保護署，2013。地下水有害物質環境傳輸調查及管制標準檢討計畫(第 1 期)。
3. 行政院環境保護署，2014。全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 2 期)。
4. 行政院環境保護署，2015。農地砷、汞污染調查及管理策略研析計畫。
5. 行政院環境保護署，2015。全國重金屬高污染潛勢農地之管制及調查計畫(第 3 期)。
6. 行政院環境保護署、行政院農業委員會農業試驗所，2015。農田土壤砷及硒背景值資料分析計畫。
7. 行政院環境保護署，2016。自然背景富砷地下水影響之農地土壤調查及整治技術評估計畫。
8. 行政院環境保護署，2018。土壤砷污染判定及處理原則。
9. 行政院環境保護署，2018。自然背景富砷地下水影響之農地土壤及地下水砷移除技術試驗與發展計畫。
10. 王泰崴、朱莉嘉、許健輝、莊愷瑋，2018。根圈氧化鐵對水稻穀粒無機砷累積之影響，土壤肥料推廣研發成果發表會及友善環境農業資材栽培管理研討會，第 123-124 頁。
11. 林清傑，2009。砷累積於水稻生長在含洛克沙砷之土壤。國立臺灣大學，博士論文。
12. 陳文福、呂學諭、劉聰桂，2010。台灣地下水之氧化還原狀態

- 與砷濃度。農業工程學報，第 56 卷，第二期，第 57-70 頁。
13. 劉振宇，2009。淺論臺灣地區含砷地下水水質特徵及其釋出機制。社團法人臺灣土壤及地下環境保護協會簡訊，第 31 期，第 4-17 頁。
 14. Abedin, M.J., Cotter-Howells, J., Meharg, A.A., 2002a. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. *Plant Soil* 240, 311–319.
 15. Abedin, M.J.; Feldmann, J.; Meharg, A.A., 2002. Uptake kinetics of arsenic species in rice plants. *Plant Physiol.*, 128, 1120–1128.
 16. Ahmed, K. M., P. Bhattacharya, M. A. Hasan, S. H. Akhter, S. M. M. Alam, M. A. H. Bhuyian, M. B. Imam, A. A. Khan, and O. Sracek, 2004. Arsenic enrichment in groundwater of the alluvial aquifers in Bangladesh: an overview, *Applied Geochemistry*, 181-200.
 17. Ahmed, Z.U., Panaullah, G.M., Gauch, J.H., McCouch, S.R., Tyagi, W., Kabir, M.S., Duxbury, J.M., 2011. Genotype and environment effects on rice (*Oryza sativa* L.) grain arsenic concentration in Bangladesh. *Plant Soil* 338, 367–382.
 18. Alava, P., Du Laing, G., Odhiambo, M., Verliefde, A., Tack, F., Van deWiele, T.R., 2013. Arsenic bioaccessibility upon gastrointestinal digestion is highly determined by its speciation and lipid-bile salt interactions. *J. Environ. Sci. Health A* 48, 656–665.
 19. Al-Rmalli, S.W., Jenkins, R.O., Watts, M.J., Haris, P.I., 2012. Reducing human exposure to arsenic, and simultaneously increasing selenium and zinc intake, by substituting nonaromatic rice with aromatic rice in the diet. *Biomed. Spectrosc. Imaging* 1, 365–381.

20. Arao, T., Kawasaki, A., Baba, K., Mori, S., Matsumoto, S., 2009. Effects of water management on cadmium and arsenic accumulation and dimethylarsinic acid concentrations in Japanese rice. *Environ. Sci. Technol.* 43, 9361–9367.
21. Arao, T., Kawasaki, A., Baba, K., Matsumoto, S., 2011. Effects of arsenic compound amendment on arsenic speciation in rice grain. *Environ. Sci. Technol.* 45, 1291–1297. Banerjee, M., Banerjee, N., Bhattacharjee, P., Mondal, D., Lythgoe, P.R., Martínez, M., Pan, J., Polya, D.A., Giri, A.K., 2013. High arsenic in rice is associated with elevated genotoxic effects in humans. *Sci. Rep.* 3.
22. Baig, J.A.; Kazi, T.G.; Shah, A.Q.; Kandhro, G.A.; Afridi, H.I.; Khan, S.; Kolachi, N.F., 2010. Biosorption studies on powder of stem of *Acacia nilotica*: Removal of arsenic from surface water. *J. Hazard. Mater.* 178, 941–948.
23. Bhattacharya, P.; Samal, A.C.; Majumdar, J.; Santra, S.C., 2010a. Accumulation of arsenic and its distribution in rice plant (*Oryza sativa* L.) in gangetic West Bengal, India. *Paddy Water Environ.* 8, 63–70.
24. Campbell, J.A.; Stark, J.H.; Carlton-Smith, C.H., 1985. *International Symposium on Heavy Metals in the Environment, Volume 1*. CEP Consultants: Athens, Greece.
25. Chakraborti, D., M. M. Rahman, A. Chatterjee, D. Das, B. Das, B. Nayak, A. Pal, U. K. Chowdhury, S. Ahmed, B. K. Biswas, M. K. Sengupta, D. Lodh, G. Samanta, S. Chakraborty, M. M. Roy, R. N. Dutta, K. C. Saha, S. C. Mukherjee, S. Pati, and P. B. Kar, 2016, Fate of over 480 million inhabitants living in arsenic and fluoride endemic Indian districts: Magnitude, health, socio-economic effects and mitigation approaches, *Journal of Trace*

- Elements in Medicine and Biology, Vol. 38, pp. 33-45.
26. Center for Food Safety and Applied Nutrition Food and Drug Administration, U.S. Department of Health and Human Services ,2016, Arsenic in Rice and Rice Products Risk Assessment Report.
 27. Chen, H.-L., Lee, C.-C., Huang, W.-J., Huang, H.-T., Wu, Y.-C., Hsu, Y.-C., Kao, Y.-T., 2015. Arsenic speciation in rice and risk assessment of inorganic arsenic in Taiwan population. Environ. Sci. Pollut. Res. 1–8.
 28. Cheng, Z., A. Van Geen, C. Jing, X. Meng, A. Seddique, and K. M. Ahmed, 2004, “Performance of a household-level arsenic removal system during 4-month deployments in Bangladesh,” Environmental Science and Technology, Vol. 38, pp. 3442-3448.
 29. Dasgupta, T., Hossain, S.A., Meharg, A.A., Price, A.H., 2004. An arsenate tolerance gene on chromosome 6 of rice. New Phytol. 163, 45–49.
 30. Duxbury, J. M., and G. Panaullah, 2007, “Remediation of arsenic for agriculture sustainability, food security and health in Bangladesh,” Working Paper, Food and Agriculture Organization (FAO).
 31. Elizabeth C. Gillispie, Tyler D. Sowers, Owen W. Duckworth & Matthew L., 2015. Soil Pollution Due to Irrigation with Arsenic-Contaminated Groundwater: Current State of Science.1–12.
 32. Gamble, M. V., X. Liu, H. Ahsan, J. R. Pilsner, V. Ilievski, V. Slavkovich, F. Parvez, Y. Chen, D. Levy, P. Factor-Litvak, and J. H. Graziano, 2006, “Folate and arsenic metabolism: a double-blind, placebo-controlled folic acid-supplementation trial in Bangladesh,” The American Journal of Clinical Nutrition, Vol.

- 84, pp. 1093-1101.
33. Heikens, A., Panaullah, G., Meharg, A., 2007. Arsenic behaviour from groundwater and soil to crops: impacts on agriculture and food safety. In: Whitacre, D., Ware, G., Nigg, H., Doerge, D., Albert, L., Voogt, P., Gerba, C., Hutzinger, O., Knaak, J., Mayer, F., Morgan, D.P., Park, D., Tjeerdema, R., Yang, R.H., Gunther, F. (Eds.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, New York.
 34. Hossain, M. F., 2006, "Arsenic contamination in Bangladesh - An overview," *Agriculture, Ecosystem and Environment*, Vol. 113, pp. 1-16.
 35. Islam, F.S.; Gault, A.G.; Boothman, C.; Polya, D.A.; Charnock, J.M.; Chatterjee, D.; Lloyd, J.R, 2004. Role of metal-reducing bacteria in arsenic release from Bengal delta sediment. *Nature*. 430, 68–71.
 36. Islam, S., Rahman, M. M., Islam, M., & Naidu, R. , 2016. Arsenic accumulation in rice: Consequences of rice genotypes and management practices to reduce human health risk. *Environment International*, 96, 139–155.
 37. Jiang, S.L., Shi, C.H., Wu, J.G., 2012. Genotypic differences in arsenic, mercury, lead and cadmium in milled rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 63, 468–475.
 38. Juhasz, A.L., Smith, E., Weber, J., Rees, M., Rofe, A., Kuchel, T., Sansom, L., Naidu, R., 2006. In vivo assessment of arsenic bioavailability in rice and its significance for human health risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 114, 1826–1831.
 39. Klute, A. 1988. *Methods of Soil Analysis 2d ed., pt. 1; Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science, 146(2), 138.

40. Lauren, J.G.; Duxbury, J.M., 2005. Management strategies to reduce arsenic uptake by rice. In Proceedings of the International Symposium on Behavior of Arsenic in Aquifers, Soils and Plants: Implications for management, Dhaka, Bangladesh, 16–18 January Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo and the U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA
41. Lee, J.-S., Lee, S.-W., Chon, H.-T., Kim, K.-W., 2008. Evaluation of human exposure to arsenic due to rice ingestion in the vicinity of abandoned Myungbong Au–Ag mine site, Korea. *J. Geochem. Explor.* 96, 231–235.
42. Lei, M., Tie, B., Zeng, M., Qing, P., Song, Z., Williams, P., Huang, Y., 2012. An arsenic-contaminated field trial to assess the uptake and translocation of arsenic by genotypes of rice. *Environ. Geochem. Health* 1–12.
43. Li, R.-Y., Ago, Y., Liu, W.-J., Mitani, N., Feldmann, J., McGrath, S.P., Ma, J.F., Zhao, F.-J., 2009a. The rice aquaporin Lsi1 mediates uptake of methylated arsenic species. *Plant Physiol.* 150, 2071–2080.
44. Li, R., Stroud, J., Ma, J., McGrath, S., Zhao, F., 2009b. Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization. *Environ. Sci. Technol.* 43, 3778–3783.
45. Jiang, J. Q., S. M. Ashekuzzaman, A. Jiang, S. M. Sharifuzzaman, and S. R. Chowdhury, 2013, Arsenic contaminated groundwater and its treatment options in Bangladesh, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 10, pp. 18-46.
46. Jiang, Y., M. Lei, L. Duanc, and P. Longhurst, 2015, “Integrating

- phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: A UK contaminated land perspective,” *Biomass and Bioenergy*, Vol. 83, pp. 328-339.
47. Ma, J.F., Yamaji, N., Mitani, N., Xu, X.Y., Su, Y.H., McGrath, S.P., Zhao, F.J., 2008. Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105, 9931–9935.
48. Marin, A.R.; Masscheleyn, P.H.; Patrick, W.H., 1992. The influence of chemical form and concentration of arsenic on rice growth and tissue arsenic concentration. *Plant Soil.* 139, 175–183
49. Meharg, A.A., Williams, P.N., Adomako, E., Lawgali, Y.Y., Deacon, C., Villada, A., Cambell, R.C.J., Sun, G., Zhu, Y.-G., Feldmann, J., Raab, A., Zhao, F.-J., Islam, R., Hossain, S., Yanai, J., 2009. Geographical variation in total and inorganic arsenic content of polished (white) rice. *Environ. Sci. Technol.* 43, 1612–1617.
50. Mei, X.Q., Wong, M.H., Yang, Y., Dong, H.Y., Qiu, R.L., Ye, Z.H., 2012. The effects of radial oxygen loss on arsenic tolerance and uptake in rice and on its rhizosphere. *Environ. Pollut.* 165, 109–117.
51. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 1986. SSSA Book Series.
52. Naidu, R., Semple, K.T., Megharaj, M., Juhasz, A., Bolan, N., Gupta, S., Clothier, B., Schulin, R., 2008. Bioavailability: definition, assessment and implications for risk assessment. *Dev. Soil Sci.* 32, 39–51.
53. Nari S., and M. Aditi, 2014, “Irrigation with arsenic

- contaminated groundwater in West Bengal and Bangladesh: a review of interventions for mitigating adverse health and crop outcomes,” *Agriculture Water Manangement*.
54. Norton, G.J., Duan, G., Dasgupta, T., Islam, M.R., Lei, M., Zhu, Y., Deacon, C.M., Moran, A.C., Islam, S., Zhao, F.-J., Stroud, J.L., McGrath, S.P., Feldmann, J., Price, A.H., Meharg, A.A., 2009a. Environmental and genetic control of arsenic accumulation and speciation in rice grain: comparing a range of ommon cultivars grown in contaminated sites across Bangladesh, China, and India. *Environ. Sci. Technol.* 43, 8381–8386.
55. Norton, G.J., Islam, M.R., Deacon, C.M., Zhao, F.-J., Stroud, J.L., cGrath, S.P., Islam, S., Jahiruddin, M., Feldmann, J., Price, A.H., Meharg, A.A., 2009b. Identification of low inorganic and total grain arsenic rice cultivars from Bangladesh. *Environ. Sci. Technol.* 43, 6070–6075.
56. Norton, G.J., Dasgupta, T., Islam, M.R., Islam, S., Deacon, C.M., Zhao, F.J., Stroud, J.L., McGrath, S.P., Feldmann, J., Price, A.H., Meharg, A.A., 2010a. Arsenic influence on genetic variation in grain trace-element nutrient content in Bengal Delta grown rice. *Environ. Sci. Technol.* 44, 8284–8288.
57. Norton, G.J., Islam, M.R., Duan, G., Lei, M., Zhu, Y., Deacon, C.M., Moran, A.C., Islam, S., Zhao, F.-J., Stroud, J.L., McGrath, S.P., Feldmann, J., Price, A.H., Meharg, A.A., 2010b. Arsenic shoot-grain relationships in field grown rice cultivars. *Environ. Sci. Technol.* 44, 1471–1477.
58. Norton, G.J., Pinson, S.R.M., Alexander, J., McKay, S., Hansen, H., Duan, G.-L., Rafiqul Islam, M., Islam, S., Stroud, J.L., Zhao, F.-J., McGrath, S.P., Zhu, Y.-G., Lahner, B., Yakubova, E., Guerinot, M.L., Tarpley, L., Eizenga, G.C., Salt, D.E., Meharg,

- A.A., Price, A.H., 2012. Variation in grain arsenic assessed in a diverse panel of rice (*Oryza sativa*) grown in multiple sites. *New Phytol.* 193, 650–664.
59. Opar, A., A. Pfaff, A. A. Seddique, K. M. Ahmed, J. H. Graziano, and A. van Geen, 2007, “Responses of 6500 households to arsenic mitigation in Arai hazar, Bangladesh,” *Health and Place*, Vol. 13, pp. 164-172.
60. Park, J.M., Lee J.S., Lee J.U., Chon H.T., Jung M.C., 2006. Microbial effects on geochemical behavior of arsenic in As-contaminated sediments. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 88 (1-3) , 134-138.
61. Prafulla , Kumar Sahoo, Kangjoo Kim., 2013. A review of the arsenic concentration in paddy rice from the perspective of geoscience. Vol 17 , 107-122.
62. Prakash, S., T. Chakrabarty, A. K. Singh, and V. K. Shahi, 2012, “Silver nanoparticles built-in chitosan modified glassy carbon electrode for anodic stripping analysis of As(III) and its removal from water,” *Electrochimica Acta*, Vol. 72, pp. 157-164.
63. Pillai, T.R., Yan, W.G., Agrama, H.A., James, W.D., Ibrahim, A.M.H., McClung, A.M., Gentry, T.J., Loeppert, R.H., 2010. Total grain-arsenic and arsenic-species concentrations in diverse rice cultivars under flooded conditions. *Crop Sci.* 50, 2065–2075
64. Ravenscroft, P., 2003, “An overview of the hydrogeology of Bangladesh,” In: Rahman, A.A. & Ravenscroft, P. (Eds) *Groundwater Resources and Development in Bangladesh*. Banglade Centre for Advanced Studies, Dhaka: University Press Ltd, pp. 43-85.
65. Ravenscroft, P., Brammer H., Richards K., 2009. Arsenic

- pollution: a global synthesis. Pondicherry, India: SPi Publisher Services.
66. Redman, A.D., Macalady D.L., Ahman D.A., 2001, . Preliminary study of various factors influencing arsenic mobility in porous media. Paper presented at USGS Workshop on Arsenic in the Environment, Denver, USA.
67. Robertson F.N., 1989. Arsenic in groundwater under oxidizing conditions, south-west United States. Environmental Geochemistry and Health, Vol. 11, no 3-4, p. 171-185.
68. Ross, Z., J. M. Duxbury, S. D. DeGloria, D. Narayan, and R. Paul, 2006, “Potential for arsenic contamination of rice in Bangladesh: spatial analysis and mapping of high risk areas,” International Journal of Risk Assessment Management, Vol. 6, pp. 298-315.
69. Kar, S., Das, S., Jean, J., Chakraborty, S. and Liu, C., 2013. Arsenic in the water–soil–plant system and the potential health risks in the coastal part of Chianan Plain, Southwestern Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences, 77, pp.295-302.
70. Signes-Pastor, A.; Burló, F.; Mitra, K.; Carbonell-Barrachina, A.A., 2007. Arsenic biogeochemistry as affected by phosphorus fertilizer addition, redox potential and pH in a West Bengal (India) soil. Geoderma. 137, 504–510.
71. Signes-Pastor, A.J., Al-Rmalli, S.W., Jenkins, R.O., Carbonell-Barrachina, Á.A., Haris, P.I., 2012. Arsenic bioaccessibility in cooked rice as affected by arsenic in cooking water. J. Food Sci. 77, T201–T206.
72. Smedley, P., Kinniburgh, D., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Appl. Geochem. 17, 517–568.

73. Somenahally, A.C., Hollister, E.B., Loeppert, R.H., Yan, W., Gentry, T.J., 2011. Microbial communities in rice rhizosphere altered by intermittent and continuous flooding in fields with long-term arsenic application. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1220–1228.
74. Stumm, W., and J. J. Morgan, 1995. “Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters,” 3rd Edition, New York, John Wiley & Sons.
75. Talukder, A.S.M.H.M., Meisner, C.A., Sarkar, M.A.R., Islam, M.S., 2011. Effect of water management, tillage options and phosphorus status on arsenic uptake in rice. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74, 8
- Turpeinen, R.; Pansar-Kallio, M.; Haggblom, M.; Kairesalo, T., 1999. Influence of microbes on the mobilization, toxicity and Biomethylation of Arsenic in soil. *Sci. Total Environ.*, 236, 173–180.
76. Tom . M., Kim .I , Kongkea .P . , 2019. Environmental and Health Implications of the Correlation Between Arsenic and Zinc Levels in Rice from an Arsenic-Rich Zone in Cambodia.
77. Van Geen A., K. M. Ahmed, A. A. Seddique, and M. Shamsudduha, 2003. Community wells to mitigate the current arsenic crisis in Bangladesh, *Bulletin of the World Health Organization*, Vol. 82, pp. 632-638.
78. Wang, H.-Y., Wen, S.-L., Chen, P., Zhang, L., Cen, K., Sun, G.-X., 2015a. Mitigation of cadmium and arsenic in rice grain by applying different silicon fertilizers in contaminated fields. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 1–8.
79. Williams, P.N.; Zhang, H.; Davison, W.; Mehrag, A.A.; Hossain, M.; Norton, G.; Brammer, H.; Islam, M.R., 2011. Organic matter solid phase interactions are critical for predicting arsenic

- release and plant uptake in Bangladesh paddy soils. *Environ. Sci. Technol.*, 45, 6080–6087.
80. Wu, C., Ye, Z., Shu, W., Zhu, Y., Wong, M., 2011a. Arsenic accumulation and speciation in rice are affected by root aeration and variation of genotypes. *J. Exp. Bot.* 62, 2889–2898.
81. Wu, Z., Ren, H., McGrath, S.P., Wu, P., Zhao, F.-J., 2011b. Investigating the contribution of the phosphate transport pathway to arsenic accumulation in rice. *Plant Physiol.* 157, 498–508.
82. Xu, X.Y., McGrath, S.P., Meharg, A.A., Zhao, F.J., 2008. Growing rice aerobically markedly decreases arsenic accumulation. *Environ. Sci. Technol.* 42, 5574–5579.
83. Yang, Q., S. Tu, G. Wang, X. Liao, and X. Yan, 2012. Effectiveness of applying arsenate reducing bacteria to enhance arsenic removal from polluted soils by *Pteris vittata* L., *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 14, pp. 89-99.
84. Zhang, J., Zhu, Y.-G., Zeng, D.-L., Cheng, W.-D., Qian, Q., Duan, G.-L., 2008. Mapping quantitative trait loci associated with arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa*). *New Phytol.* 177, 350–356.
85. Zhao, F., Ma, J., Meharg, A., McGrath, S., 2009. Arsenic uptake and metabolism in plants. *New Phytol.* 181, 777–794.