



# 台南地區地下水層 水化學特性時序變化 — 以成大資源工程系教學井為例

李孟旋／國立成功大學地球科學系 碩士研究生

劉厚均／國立成功大學地球科學系 助理教授

陳彥宏／國立成功大學地球科學系 研究助理

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

地球表面約有 71% 的面積被水覆蓋。透過蒸發、凝結、降雨，水循環形塑了地表的形貌、調節地表溫度、還孕育了無數的生命。在這樣的過程中，水分子無時無刻與周遭的環境進行反應：溶解與釋放氣體分子、不同水團的混合、溶解各種岩石礦物材料、供應所需營養鹽給動植物等。因此，解析水地球化學參數（溫度、pH、溶氧量、氧化還原狀態等）與水化學組成（陰陽離子），能夠重建與追溯水循環的傳輸途徑與反應過程，諸如水岩交互作用與各種生物地球化學的反應，對於探究環境的變遷是一項相當重要的工具。儘管地表水源豐沛，然而淡水資源僅佔整體水資源的 3%，相當珍稀。地下水為地表最大的可用淡水資源（30.1%；68.7% 為山麓冰川及冰原，河川 < 0.1%），了解不同環境與氣候狀態下，地下水的水化學特性變化，對於水資源保護與永續使用，將有極大的助益。

## 成大資源系教學井時間序列水化學分析

在國立成功大學的資助下，成大資源系於 2022 年 8 月完成一口地下 100 公尺及三口地下 20 公尺之教學觀測井。觀測井的設置，除了肩負了實作教學的重任，對於台南地區沈積環境、地表抬升速率、地下水位、地下水化學成分及土壤力學參數等多項觀測研究饒富多重層面的科學意義。有關地下水的化學組成與特性，成功大學地球科學系非傳統穩定同位素實驗室（Non-traditional Stable Isotope Laboratory, NSI）針對 100 公尺主觀測井（出水深度估為 90 公尺深）進行時間序列的採樣，長期分析地下水多種水化學參數與化學元素的組成，以了解不同乾濕季氣候條件下，台南地區地下水的化學變異特性。

自 2022 年 9 月起，本團隊在主觀測井以雙週為頻率進行地下水採樣分析。在井口清除表面附著物後，先以 Hanna HI9829 多參數水質測試儀深入井內現地測量地下水水溫、pH、氧化還原電位及導電度；而後，使用抽油管汲取井水裝入潤洗過的 250 ml 高密度聚乙烯塑膠瓶，攜回實驗室之後即以孔徑 0.2  $\mu\text{m}$  的尼龍纖維濾紙過濾水樣並進行陰陽離子分析。

地下水主要化學元素（鈉、鉀、鈣、鎂、鋇、鋇、矽、氯及硫）係以 Spectro Arcos 感應耦合電漿放射光譜儀（Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy, ICP-OES）分析。水樣以 5%  $\text{HNO}_3$  稀釋 100 倍之後，以實驗室配置之高純度元素標準液（High-Purity Standards, United States）進行定量，分析誤差

(RSD) 約在 ±3% 以下。溶解無機碳濃度 (Dissolved inorganic carbon, DIC:  $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{CO}_3^{2-}$ ) 係根據 Chen *et al.* [1] 方法, 由採樣點測得之導電度與溫度參數計算  $\text{pH}_{\text{HCO}_3^-}$  當量點。取 50 ml 地下水樣品, 使用 905 Titrandro 自動電位滴定儀以 0.1 M 之 HCl 及 NaOH 來回滴定, 先獲得水樣之總鹼度, 再根據以上參數藉由 CO2SYS 程式計算出 DIC 濃度。

### 初步時間序列觀測結果

本研究目前已經收集約三個月的觀測資料 10 個觀測時間點 (2022/9 ~ 2023/1, 圖 1), 觀測時間均屬於台南乾季季節。現地觀測結果顯示: 水溫介於 24.0°C ~ 29.5°C; pH 介於 7.09 ~ 7.61; 導電度介於 19.62 ~ 49.71  $\text{ms cm}^{-1}$ ; 氧化還原電位介於 -272.6 ~ -95 mV。溫度 (< 3%) 與 pH (~ 8%) 的變化不大, 導電度 (~ 20%) 及氧化還原電位 (~ 36%) 在時序上呈現較大的變異程度, 反應該時間段地下水的離子濃度和化學反應有所改變。



圖 1 100 公尺主觀測井水質觀測採樣時井口狀態變化

水化學組成方面, 鈉 ( $479 \sim 1356 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 是最主要的陽離子, 其次依序是鈣 ( $178 \sim 367 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鎂 ( $102 \sim 235 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鉀 ( $40 \sim 89 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鋇 ( $7 \sim 16.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 及鋇 ( $1.61 \sim 4.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ); 氯 ( $6.6 \sim 16.5 \text{ g kg}^{-1}$ ) 則是最主要的陰離子, 濃度遠高於碳酸氫根離子 ( $14.1 \sim 46 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 與硫酸根離子 ( $6.1 \sim 7.6 \text{ mg kg}^{-1}$ )。過去三個月的離子濃度變化趨勢, 除了硫酸根離子 (8%) 與碳酸氫根離子 (33%) 除外, 其他所有離子濃度的變異程度約在 20% 左右, 與導電度的變化幅度相近 (圖 2)。

初步的觀測結果, 以視覺化的方式將陰陽離子的

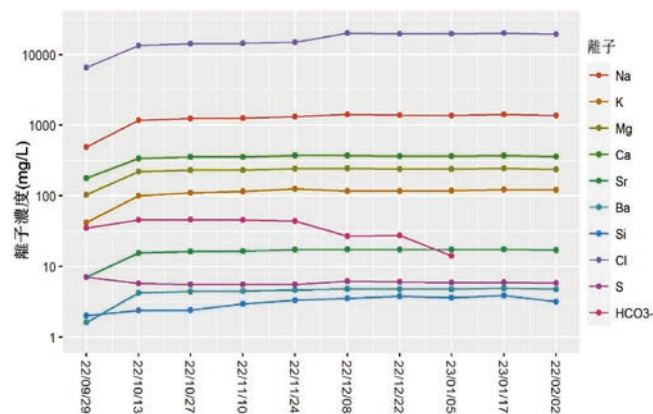


圖 2 2022/9 ~ 2023/1 成大資源系主觀測井地下水主樣陰陽離子濃度變化趨勢

平均濃度呈現在地圖圖資上 (圖 3), 並與行政院環保署環境資料開放平台區域地下水水質監測資料做相應比較, 以了解本觀測井水質的概況與特色。綜觀而言, 最大的差異為: 成大觀測井之地下水陰陽離子濃度均比鄰近測站歷史資料為高。但是, 在此必須強調, 由於每個測站的水面距離井口深度不同, 地下水的水質可能代表不同地層的地下水特性。因此, 此圖僅能作為概略了解成大井地下水離子濃度與鄰近測站觀測資料上的差異與特色, 數據之間並無地理上等因果之關係; 相關之討論需有更詳盡的資料與數據來佐證。

### 未來展望

截至目前為止, 成功大學資源系觀測井地下水化學特性長期監測計畫, 已經獲得約三個月的觀測資料。儘管目前在計畫初期資料有限, 但本計畫在配合相關課程教學之下, 可以達到長年持續進行觀測的目標。未來在累計多年的觀測資料後, 將有利於探討台南台地深層儲水層 (約 93 公尺深) 季節性或週期性的水化學變化與特性; 結合岩芯樣本的礦物學與化學分析, 將有助於解釋地下水化學組成變化之原因。上述基本水文與水化學特性基礎觀測完備後, 長程規劃以適當之同位素系統, 以同位素地球化學方法來溯源地下水金屬元素的源匯模型 (source to sink), 進一步反應地下水在逕流過程中的相關生物地球化學反應過程。長期觀測研究成果將有助於了解台南地區地下水的特性、反應途徑、水質狀態及對地表水的影響等, 對於環境保護及有效水資源利用將有所助益。

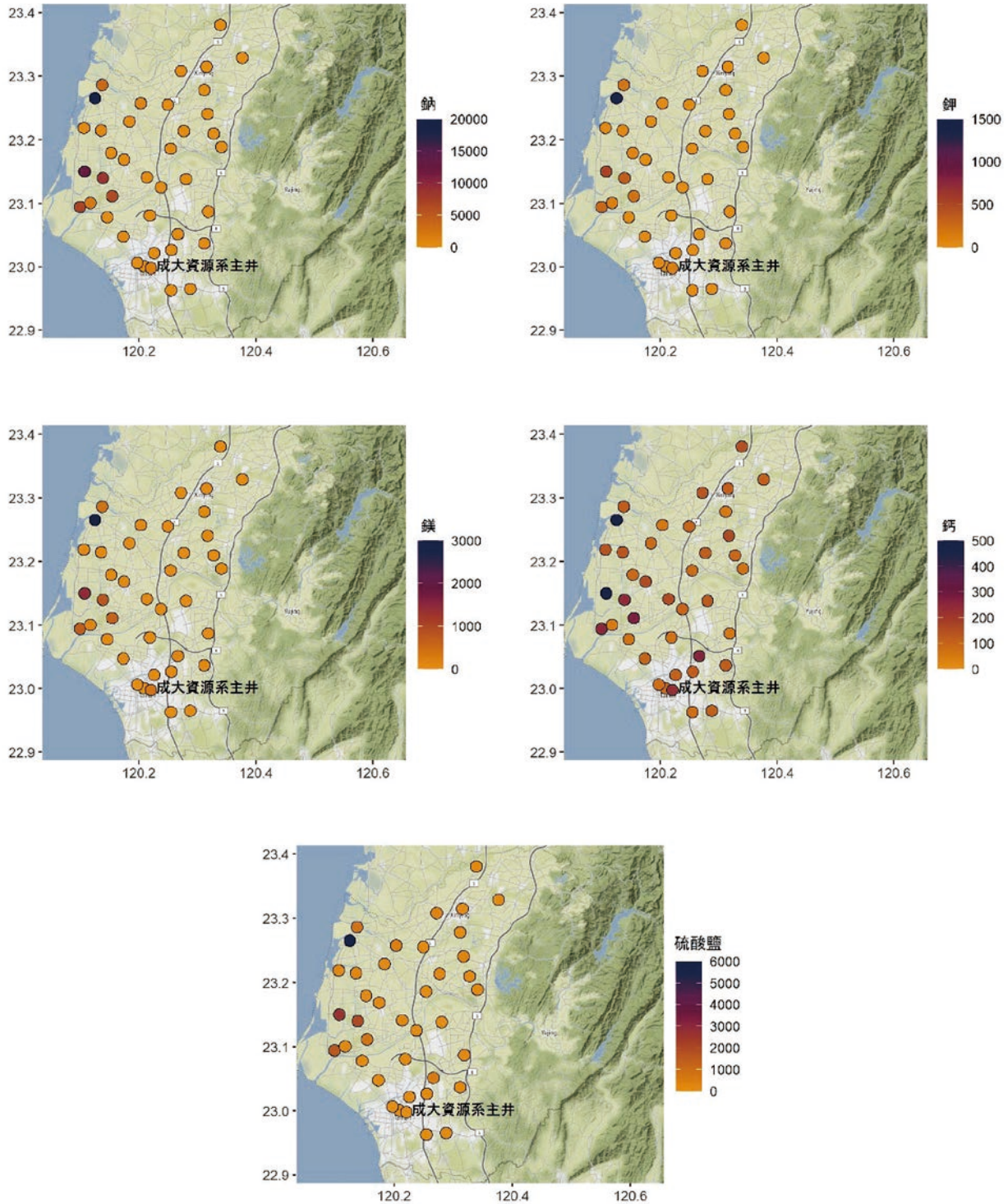


圖 3 成大資源系主觀測井地下水平均陰陽離子濃度與鄰近測站歷史資料對照圖，濃度單位均為 mg/kg。  
 (測站點位資料：環保署環境資料開放平台—區域性地下水水質監測井基本資料<sup>[2]</sup>；化學元素濃度  
 數據：環保署全國環境水質監測資訊網—歷史數據：2022 年第四季地下水水質監測資料<sup>[3]</sup>。)

### 參考資料

1. Chen, Y., Zhang, L., Xu, C., and Vaidyanathan, S. (2016). Dissolved inorganic carbon speciation in aquatic environments and its application to monitor algal carbon uptake. *Science of the Total Environment*, 541, 1282-1295.
2. 環保署環境資料開放平台—區域性地下水水質監測井基本資料 ([https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/WQX\\_P\\_07](https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/WQX_P_07))
3. 環保署全國環境水質監測資訊網—歷史數據 (<https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/ConService/DownLoad/HistoryData.aspx>)