

土壤與廢棄物

蘭陽平原地下水水溶氣(甲烷)與溶解態有機物對砷在含水層 遷移的相對重要性

The relative importance of CH₄ vs. DOM in arsenic liberation from the sediment to groundwater in the Lanyang Plain aquifer

陳仁杰(R.J. Chen), 柏貫中(K.C. Pao), 林居慶(C.C. Lin)*

國立中央大學環境工程研究所 chuching@ncu.edu.tw

摘要

地下水是全世界重要的水資源，含高濃度砷的地下水對仰賴此水資源的民眾造成莫大的健康威脅，為全球公共衛生的重大議題。台灣蘭陽平原地下水具有高濃度的砷，20%的水井砷濃度超過 WHO 所訂定的地下水砷濃度建議值 10 ppb，當地居民也非常仰賴地下水資源，因此含砷地下水為居民的潛在健康危害。宜蘭縣冬山鄉武淵國小一帶居民有使用“水溶氣”的紀錄，該地水溶氣主要源自於古地層所蘊含之有機質因厭氧消化所產生的甲烷。國內學者過去在蘭陽平原所做的調查，雖然呈現出當地地下水的高砷濃度很有可能與水溶氣的存在有所關連，但卻無直接證據。有鑒於近年來鐵還原狀態下的厭氧甲烷氧化已引起注意，本研究整合水化學平衡模擬、微生物厭氧培養、次世代定序，以及功能性基因定量等技術，深入探究水溶氣甲烷對於蘭陽平原該地含水層砷還原與釋出的實質重要性。首先，水井地下水的生地化參數檢測與模擬的結果證實，武淵地區的含水層不僅厭氧、含有高濃度的三價砷、且主要的礦物相以氧化鐵/氫氧化鐵為主外，所測得的地下水生化需氧量極低，說明水中所蘊含的溶解性有機碳生物有效性甚低，此與三維螢光光譜分析所得的溶解性有機碳以腐植類為主的結果相符；而將已在水井部署數週、上面長有生物膜的羊毛氈帶回進行菌種鑑定的結果，也的確呼應可進行厭氧氧化甲烷作用、並還原三價鐵的菌群確實存在。接著，將此羊毛氈(作為現地菌源)及自行合成的水鐵礦(作為模式氧化鐵礦)進行培養試驗，試驗組別分成現地地下水與合成地下水：現地地下水的組別包括(1)額外增曝甲烷至飽和溶解度、(2)利用純氮移除水中甲烷使微生物僅能利用原有的溶解性有機碳，以及(3)不做任何處理的原水樣；合成地下水則是以所測得的地化條件建構而成的人工水樣，並讓甲烷作為系統的唯一碳源。所有的試驗亦同時包括將羊毛氈生物膜滅菌處理的對照組。培養過程可觀察到在含有甲烷的組別，不論是現地地下水、甚至是合成地下水，活菌組皆有明確的五價砷還原成三價砷、三價鐵礦溶解出二價鐵離子的現象，且統計分析的結果也指出甲烷的利用與三價砷及二價鐵生成具有顯著的正相關。最後，甲烷厭氧氧化的功能性基因 *pmoA*，其表達拷貝數隨培養時間也確實漸增。本研究為第一個利用蘭陽平原地下水中的微生物進行培養實驗，證明生物性的鐵還原作用是造成當地砷釋出的主因，且甲烷是以主要電子供給者的角色驅動該地砷釋出的關鍵因子。

關鍵字: 砷、地下水、蘭陽平原、甲烷厭氧氧化

Keywords: Arsenic, groundwater, the Lanyang Plain, anaerobic methane oxidation