

土壤重金屬知多少

重金屬來自地質環境與人類的汙染行為，
暴露其中會對人體健康產生潛在的危害，
尤其隨著經濟發展與工業活動頻繁，環境品質日益惡化，
土壤重金屬汙染已經是世界各國不可避免的重要環境議題。

■ 許正一

重金屬的定義

「重金屬」在科學界常見的定義是指比重大於5.0的金屬，另有人認為原子量大於40的金屬才是，但是鹼金族、鹼土金族、鑷系與錒系元素則不包括在內。

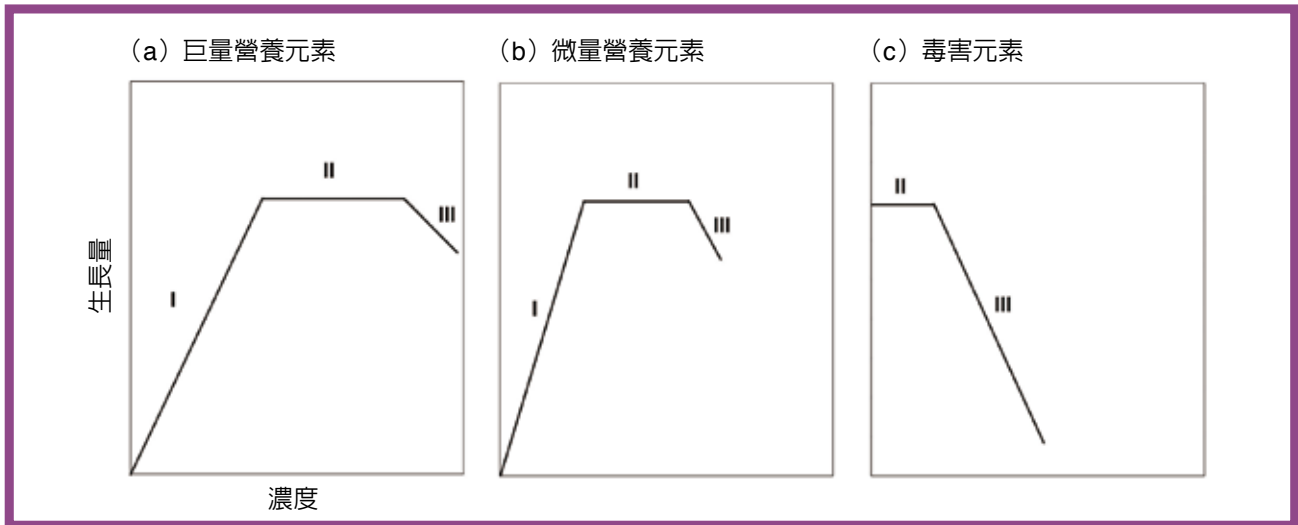
至於日常生活中提到的重金屬，多半是以環境汙染領域的定義為準，因此對生物有明顯毒性的金屬元素通常都屬之，例如鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅、錳、鈷、汞等。砷雖然不是金屬元素，但因其比重是5.7，而且對生物有明顯的毒害，同時它的許多化學行為都跟一般重金屬很類似，因此也被歸類在重金屬群中。

金屬可因生物的需要性而分成3類，即巨量營養元素、微量營養元素與毒害元素。如果以植物的生長量做為毒性反應指標，巨量營養元素例如鈣、鎂、鉀等，因植物生長時需求量大，且隨著元素濃度增加，植物生長量也隨之提高。但是在達到最大生長量後，即使再增加其濃度，也不能提高產量，如果強行增加，反而會導致生長量降低。

相較之下，植物對微量營養元素例如鐵、銅、鋅、錳等的需求較低。在提高相同濃度的條件下，增加植物生長量的效益會比巨量營養元素大，也較快達到最大生長量，而且只要稍微增加濃度，就會很快進入生長減量區，同時減量速率（也就是斜率）會比巨量營養元素大。因此，不管是巨量或微量營養元素，只要過量都會因為營養失衡而導致生長量下降，尤其是微量營養元素稍一過量還是會產生毒害。

毒害元素例如鉛、汞、鎘等，沒有生物上的功能，因此在元素濃度與生長量之間看不到相互關係，而在其他條件充足的情況下，生物體能忍受某一程度的低劑量，並使生長量維持最大。但是這個容忍濃度範圍很小，一旦超過之後，生長量會迅速下降，其反應絕對值是3類元素中最大的，也是最容易引起生物毒性反應的元素。

有些重金屬可能是生物的微量營養元素，只是需求量比較低，
而任何元素一旦過量，對生物都是不利的。



● 植物生長量與不同類型金屬元素濃度間的關係。I表示生長量隨元素濃度增加而增加，II表示達到最大生長量的濃度，III則表示生長量隨元素濃度增加而減少。

從上述的介紹可知，有些重金屬可能是生物的微量營養元素，只是需求量比較低，而任何元素一旦過量，對生物都是不利的。但是必須澄清，微量營養元素並不同於重金屬，例如植物生長所需的微量硼、氯等就不是金屬，更不屬於重金屬元素。易言之，本文所提3類金屬元素的劃分，必須看生物受體的種類來決定，但是可以確定的是，微量營養元素包含了重金屬，但重金屬不見得就是微量營養元素。

另外一個最令大眾困惑的重金屬元素是鐵，就生物需求來說，鐵也是微量營養元素。在岩石、礦物和土壤中，鐵的含量僅次於鋁，是環境中含量很大的元

素，可是鐵並不是生物需求的巨量營養元素。因此，當我們從環境污染的角度看待重金屬時，必須先了解以上的定義，以及不同金屬元素對生物的影響，才不至於過度恐慌或誤解。

人類自20世紀中葉以來，隨著經濟發展與工業活動的頻繁，環境品質日益惡化，其中土壤重金屬污染已經是世界各國不可避免的環境議題。基於保護國民健康與維護生活環境品質，政府在民國89年訂定了「土壤及地下水污染整治法」，著眼於某些危害程度較高的重金屬，如砷、汞、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等，把它們納入「土壤污染管制標準」裡加以列管。



● 鐵在一般岩石、礦物和土壤中的含量，是僅次於鋁的巨量重金屬元素，往往可把岩石風化層染成紅色，特別是在高度風化的紅土中，鐵的濃度可達到10%以上，但是對於生物的需求來說，鐵卻是微量營養元素。

台灣地區因為地質條件所造成的土壤重金屬自然背景值偏高問題，主要是砷、鉻、鎳。

土壤重金屬的自然來源

重金屬可以不同百分比的濃度存在於硫化物、氧化物等礦物中，例如黃鐵礦（含砷）、硫化汞、硫化鎘、鉻鐵礦、氧化銅、含鎳矽酸鎂（蛇紋石）、方鉛礦、菱鋅礦等。除此之外，地殼岩石中還有數以千計含重金屬的礦物，因此不難理解土壤中本來就會有重金屬。

來自不同岩石的各種重金屬，隨著土壤形成的過程，在地形、氣候、生物與時間條件的作用下，使得各區土壤的重金屬背景濃度有所差異。以台灣地區來說，砷、汞、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅的平均背景濃度（毫克／公斤）上限，分別約為18、0.5、3、50、35、60、60、120。

一些地質環境中可能含有某些濃度較高的重金屬，導致自然背景值偏高，例如頁岩沖積土中的砷、汞、鎘、鉻、鋅，或蛇紋岩與玄武岩土壤中的鉻、鎳。台灣地區因為地質條件所造成的土壤重金屬自然背景值偏高問題，主要是砷、鉻、鎳。



● 許多地質作用可能會讓重金屬特別集中在某些種類的岩石或礦物中

嘉南平原與蘭陽平原的頁岩與黏板岩沖積物中有砷濃度較高的氧化鐵，這些氧化鐵會隨著自然環境變遷或因以地下水長期灌溉農田，而把砷富集在土壤中。另外，台北關渡平原與北投、士林一帶，受到安山岩質火山灰母質的影響，土壤中砷的含量也略偏高。

北門、學甲、布袋、義竹等地由於土壤鹽度過高，加上早期缺乏自來水，淺層井的水質過鹹也不適合飲用，當地居

民於是挖掘深約100~200公尺的深井，以汲取低鹽分的深層地下水。然而，這些深井水源的沉積物因砷含量較高，使得水中砷濃度最高達600微克／公升，遠超過台灣及世界衛生組織的飲用水標準10微克／公升。居民在長期飲用含砷的地下水後，終於在1970年代爆發了震驚全台的烏腳病。

嘉南平原的烏腳病在裝設自來水改善後就沒有再發生，但是含砷的地下水仍然做為灌



● 含砷地下水抽取曝氣後，會與氧化鐵共沉澱形成紅色膠羽布滿在地表及水稻的葉片上，而長期灌溉水稻後，土壤中的砷會大量累積。



● 安山岩質的火山灰會導致土壤砷含量偏高

溉水或養殖池水，因此仍有可能透過食物鏈而影響人體健康。

孟加拉政府爲了讓全國人民有潔淨的飲用水，過去數十年在各地鑽了將近1千萬口的水井。不幸的是，地下水層含砷量偏高，使得這項政府「潔淨飲水工程」的德政，現在卻成了嚴重的公共衛生問題。根據世界衛生組織的報告，孟加拉全國8成以上人口因長期飲食含有高濃度砷的地下水或稻米，導致大規模的中毒事件，目前正面臨「人類歷史

上最嚴重的集體中毒事件」。

使用含砷地下水灌溉稻田，造成土壤中砷濃度明顯高於全球背景值（約10毫克/公斤）的情況，特別集中在南亞與東南亞地區，除了孟加拉外，還有尼泊爾、印度、越南、台灣、印尼、日本等國家。文獻指出，經過30年以上的灌溉，土壤中砷累積的濃度最高會超過300毫克/公斤。

台灣另外一個高背景值重金屬類型是蛇紋岩土壤，岩石中二氧化矽含量低於百分之四十五

世界各地蛇紋岩土壤的鉻與鎳含量（毫克 / 公斤）

地區	鉻	鎳
台灣東部	400~3,300	400~5,800
美國馬里蘭州	100~6,000	100~20,000
美國奧勒崗州	<100~4,200	<100~4,500
美國加州	2,000~3,500	1,500~2,500
南非	500~2,600	2,000~5,000
加拿大英屬哥倫比亞	800~5,500	200~1,700
意大利	1,000~8,300	600~5,100
法屬新卡利多尼亞	<100~30,000	<1~11,000
德國巴伐利亞	700	500
法國	100~3,900	200~3,600
伊朗	200~400	800~1,200
哥斯大黎加	1,400~3,600	3200~7,200
葡萄牙	200~4,300	<100~1,600
巴西	51,000~>17,000	2,300~6,000
紐西蘭	7,900	6,100

時，稱為超基性岩類，以橄欖岩及輝長岩等鐵鎂質火成岩為主。這一群超基性岩類受熱水變質作用後產生含蛇紋石為主的岩體，就稱為蛇紋岩。地函主要組成元素是密度較大的鉻、鎳等重金屬，地函物質會隨著火山作用沿板塊邊緣出露成為蛇紋岩的伴生礦物，因此蛇紋岩土壤的鉻、鎳含量就會特別高。

全世界的蛇紋岩土壤面積雖然不到地球陸域地表的百分之一，但集中在板塊交界帶上，例如美國西岸、環地中海地區、太平洋西岸島弧等。而位在歐亞板塊與菲律賓海板塊之間的台灣，也有許多蛇紋岩土壤。

台灣地區的蛇紋岩是外來

岩塊，多屬蛇綠岩系的利吉混同層，長度有時可綿延數公里。台灣本島的蛇紋岩分布在中央山脈東翼與海岸山脈的丘陵，另在蘭嶼西北部的集塊岩中，也有蛇紋岩塊的零星分布。

學者曾研究台灣東部丘陵地與平原蛇紋岩土壤，發現鉻、鎳濃度高達3,300與5,800毫克 / 公斤，遠高於平均背景值。相較於其他國家的蛇紋岩土壤，可發現巴西與法屬新卡利多尼亞（位於南太平洋，澳洲東方）的鉻或鎳也都高達10,000毫克 / 公斤（也就是百分之一）。

雖然台灣土壤中的砷、鉻、鎳因為特殊地質因素而在某些區域有偏高的情形，但是土壤重金屬的全量不等於生物的可吸收量（生物有效性），



● 呈墨綠色油脂狀且觸感光滑的蛇紋石含有高濃度的鉻和鎳



● 位於花蓮某一個山坡地上的蛇紋岩土壤

唯有水溶性、易溶解的或弱吸附的型態才能被生物所吸收，或這些型態的重金屬經由淋洗作用移動到地下水體中，才會危及飲用水源。

人為汙染

除了地質因素外，台灣地區土壤的重金屬汙染來源，主要是工業廢水排放、事業廢棄物棄置及掩埋、廢氣排放及農業資材的不當使用等。

在台灣所訂定的「土壤汙染管制標準」中，針對重金屬，考量鎘、銅、汞、鉛、鋅等較容易被作物吸收或毒性較

目前台灣地區受汙染農田中，以重金屬汙染面積最大，而令人擔憂的是，這些重金屬透過生物濃縮作用或生物放大作用後會累積在人體中。

台灣的土壤重金屬汙染管制標準 (毫克 / 公斤)

元素	管制標準值
砷	60
汞	20 (食用作物農地: 5)
鎘	20 (食用作物農地: 5)
鉻	250
銅	400 (食用作物農地: 200)
鎳	200
鉛	2000 (食用作物農地: 500)
鋅	2000 (食用作物農地: 600)



● 廢棄物的不當棄置及掩埋是造成土壤汙染的原因之一

強等因素，因此食用作物農地比非農地土壤類型有著更嚴格的標準。

從台灣地區土壤重金屬背景值與「土壤汙染管制標準」中，可以發現地質因素所導致的土壤重金屬含量偏高問題是不能忽視的，而且無論重金屬是來自人類汙染行為或源自地質環境，只要暴露在生態系統中，對人類健康的潛在危害都是值得重視的問題。目前台灣地區受汙染農田

中，以重金屬汙染面積最大，而令人擔憂的是，這些重金屬透過生物濃縮作用或生物放大作用後會累積在人體中。

重金屬不像有機化合物會在土壤中慢慢地分解，不過只要重金屬含量不太高，就可以透過沉澱、吸附或氧化還原等作用降低溶解度。也就是在正常情況下，土壤自有其降低重金屬生物有效性的調控機制，以減少被作物所吸收。不過，當重金屬總濃度太高時，移動性與溶解度也隨之增加，因而還是會明顯汙染作物與環境，尤其是人為汙染土壤。

稻米是世界上最重要的糧食作物之一，全球耕作面積已超過1億5千萬公頃，僅次於小麥。全世界所生產的水稻中，9%以上來自季風亞洲區（包括台灣）。因此，與稻米生產有關的土壤汙染、糧食安全、人體健康等議題，愈來愈受到跨國界的重視。另一方面，台灣地區的農田灌溉水源曾嚴重地受到工業廢水非法排放影響，導致水田土壤與稻米受到重金屬汙染而威脅食品安全與國民健康。

目前台灣所管制土壤汙染的8種重金屬中，鎘最容易被作物吸收，而且即使累積濃度較高時，植物外觀也看不出受毒害的徵狀，但其濃度卻足以威脅到人體或動物的健康。銅與鋅則是作物生長的必需微量元素，但當作物吸收的濃度達到足以危害人體健康之前，就會有明顯的作物毒

害徵狀出現，因此較容易察覺。至於砷、鉻、鎳、汞、鉛，則是在土壤中會被膠體緊密吸附而不容易被根部吸收，即使作物吸收後，也不太會傳輸到莖、葉或果實等可食用的部位。

生活環境中免不了有重金屬的存在，因此在沒有被汙染的土壤中仍然含有少量的重金屬，即使是特殊地質因素造成濃度特別高，也只有生物有效性的部分才會透過食物鏈而影響人體健康，甚至有些重金屬反而是微量營養元素，因此在生物體裡的可容許量會高於完全沒有生物功能的毒害類重金屬。

攝食農作物是土壤重金屬汙染威脅人體健康的主要途徑，了解各種重金屬的生物功能與在土壤中的傳輸特性，才不至於對這個名詞過於恐慌或誤解。不過，許多國家都已訂有土壤汙染的重金屬管制標準，以防止汙染行為，維護整體環境品質與確保國民健康。

許正一

屏東科技大學環境工程與科學系

深度閱讀資料

土壤及地下水汙染整治網

<http://sgw.epa.gov.tw/public/?cty=pe&cid=public&oid=www>