

# 簡介農地之 重金屬污染及其復育

國立中興大學 林易署 陳俊築

農試所作物組 楊純明

## 一、前言

所謂的重金屬，一般是指密度大於  $5 \text{ g cm}^{-3}$  的金屬元素，例如銅 ( $8.9 \text{ g cm}^{-3}$ )、鎘 ( $8.6 \text{ g cm}^{-3}$ )、鎳 ( $8.9 \text{ g cm}^{-3}$ ) 等。有些重金屬元素在植物生長發育上扮演著重要的角色，例如鐵、鎳、銅、鋅、鈷等，這些元素被歸類為「必需金屬元素(essential metal elements)」。以鋅為例，鋅可作為許多酵素的輔助因子，能夠協助調控植物體內酵素活性的高低，進而影響植物體之生理反應，因此植物在缺乏鋅的培養環境下易呈現黃化等徵狀。又如銅亦為植物體某些酵素的輔助因子，也參與植物的光合作用與呼吸作用，乃電子傳遞鏈中的重要輔佐元素。因此，必需金屬元素對植物的影響關鍵在於濃度，高濃度情況下往往會對植物造成毒害。例如高濃度的銅會使植物根細胞在短時間內死亡，乃因高濃度重金屬離子的刺激下，會使細胞產生活化氧族與自由基，這些具有高氧化能力的產物容易攻擊其他物質，讓細胞處於氧化逆境進而抑制植物的生長。有些重金屬元素並非植物生長所需，卻也一樣被植物吸收與累積，例如鎘、汞、鉛等離子，植物一旦吸收了過量的此類重金屬便會帶來負作用。

為期減少重金屬污染對土壤的危害，首先應當清楚瞭解重金屬污染的來

源。其次，應當發展預防及減輕污染的復育方法，以降低土壤及農作受污染程度，而對於已遭受污染的農地，則可予以適當的復育。本文將介紹目前數種採行的物理性與化學性的復育方法。

## 二、重金屬來源

重金屬的來源很多，地殼岩石中即有許多含重金屬的礦物，形成原生型的重金屬污染與累積。由於地質條件產生土壤重金屬自然背景值偏高的問題，主要有砷、鉻、鎳等元素，分散在不同地點。然而除了天然的地質因素外，國內發生的許多土壤重金屬污染，大多係源自於人們有意或無意的疏忽。回顧在過去使用有鉛汽油的年代，汽機車排放的廢氣中可能含有鉛，所以種植於道路兩旁的植物將會吸收附著於體表的鉛。累積於植體的鉛如未經適當洗滌，經過食用而進入人體。其次，有些農用化學品含有重金屬，當使用了含重金屬的肥料及農藥，無論直接進入植體或流入土壤，經過長期及過量的施用最終可能達到污染的程度。

水源污染可能是最常見、也是大量的重金屬污染來源，其根源可追溯到工業/商業廢棄污水的非法或無章法的排放，或未經妥善處理即予釋排，導致地表(面)水、地下水及土壤都受到污染。因為灌排未分離成為灌溉用水的污染源，將漫流與累積於農田之中，旱

通訊作者：楊純明研究員  
連絡電話：04-23317117

田作物自當難以倖免，較為嚴重的是需要大量灌溉的水稻田。

### 三、重金屬對人體之危害

栽植於遭受污染農地的作物，將視重金屬種類、濃度及作物類別等因素，造成不等程度的污染。作物植體各部位，亦因吸收能力與容量的差異，重金屬的累積量（濃度）多寡不一。

本文特別介紹2009年列名美國毒性暨疾病登記署（ATSDR）前20名危險物質中的三種重金屬元素，鉛（第二名）、汞（第三名）及鎘（第七名），概要說明其等對人體的危害程度，提供讀者以為警惕。

#### （一）鎘（Cd）

早期全台各河川沿岸常散見電鍍及塑膠製造業者，其廢棄污水之重金屬含量甚高，當被引用來灌溉農田，即同時造成農地及農作物的重金屬污染，尤以水稻的鎘污染為甚。國際癌症研究總署（IARC）將鎘及其化合物列為人體致癌物質，鎘容易累積在腎、肝等臟器而造成敗壞，或引起軟骨症等疾病。日本富山縣曾發生著名鎘中毒的「痛痛病（Itai-Itai disease）」，即起因於礦山開採排出含鎘的廢水累積於食米及魚貝類中，居民攝食過量的「鎘米」及受污染魚貝類後影響腎臟功能，妨礙鈣與磷的代謝而導致骨中鈣質的流失，使得全身多處骨折而疼痛不已，並至死亡。

#### （二）汞（Hg）

眾所周知汞為毒性化學物質，尤其是有機汞。汞將傷害人體中樞神經，亦可能。文獻記載日本及伊拉克曾爆發甲基汞中毒事件，倖存受害者的後代子孫出現智力缺陷、腦性麻痺、啞疾等症狀。日本分別於1958年的水俣灣及

1965年的新潟縣阿賀野河流域發生著名的汞中毒「水俣病」，汞急性中毒者出現腹痛、循環障礙、貧血及神經障礙等症狀，慢性中毒者則引發了口腔炎、神經障礙、骨障礙及顎骨骨髓炎等。美國食品藥物管理局（Food and Drug Administration; FDA）及聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization; FAO）均將汞列為對生物體最具威脅性之重金屬污染元素，可見其毒性之烈。

#### （三）鉛（Pb）

過量鉛將會傷害神經系統、腎臟、血液系統及生殖系統等，包括鉛化合物及無機鉛皆被國際癌症研究總署（IARC）列為人體可能致癌物。鉛所引起成人的毒性症狀可分為三個階段：無症狀階段，微量的鉛減少紅血球壽命及血紅素合成，造成初期的貧血；第二階段，毒性症狀如明顯的貧血、中樞神經系統的不協調，嚴重時心神不寧、頭痛、記憶力喪失等；第三階段，出現嚴重的腎臟傷害、全身痙攣、昏迷、甚至死亡等。

### 四、台灣地區常見重金屬污染及對作物生育影響

本文檢視文獻記載，整理出八種台灣地區常見的重金屬污染狀況，及其等對於作物生育可能造成的影響，而許多研究皆以水稻為試材，謹簡述如下：

#### （一）砷（As）

以水稻為例，砷的主要影響在於稔實率，當土壤中砷的含量超過60 ppm時，可使稻株出現45~100%的穀粒未稔實情況。此外，土壤中的砷含量也會對水稻的分蘗數、株高、千粒重等性狀造成不良結果，而在受污染的稻株部位當中，以根的砷含量最高，莖葉次之，穀

粒最少，因為當穀粒當中砷含量超過2 ppm時稻株即100%不稔實。

## (二) 鎘 (Cd)

鎘在水稻栽培中很容易被植株吸收與累積，並可被輸送至地上部的莖、葉、穀粒之中，受鎘危害的稻株常出現葉片黃化、光合作用與呼吸作用效率下降，因此可導致產量降低。經分析穀粒鎘含量，糙米高於稻殼。影響作物對於鎘吸收的因子可分為土壤和作物兩類，前者包括土壤pH值、粘粒百分比、有機質含量、微量元素……等，後者則指不同物種或器官，其對金屬鎘的吸收呈現相當的差異。研究資料顯示，即使土壤僅有少量鎘污染，受污染農地所栽培之各種作物植體即可測出高濃度的鎘積聚。更有研究指出當土壤表土有效性鎘（鹽酸抽出液）達0.13 ppm時，就不應再栽培作物。過去桃園縣蘆竹鄉及觀音鄉曾受基力與高銀化工廠鎘廢水之污染，造成上千公噸鎘污染米，迫使近百公頃土地廢耕。有鑑於問題之嚴重性，現今灌溉水質標準，金屬鎘的最大設限為0.005 ppm。

## (三) 鉻 (Cr)

鉻在某些情況下可以刺激植物的生長，惟當土壤中含有高濃度鉻金屬時，則會使植株產生中毒現象。鉻金屬對於植物的毒害主要發生在根部，將因此干擾植物吸收鐵、磷等元素，當土壤中鉻含量大於5 ppm時，根部功能開始受到抑制並造成植體生長緩慢、葉片捲曲褪色，而當土壤中鉻含量達到50 ppm時植株將中毒死亡。

## (四) 銅 (Cu)

不同作物對於土壤中銅之反應並不一致，例如有效性銅1,000 ppm的土壤對燕麥仍無明顯影響，但含30 ppm的土壤

可使苜蓿產生毒害，許多豆科植物在含15 ppm銅的土壤即顯著減產。所幸，大多數作物對土壤中的銅會有選擇性的吸收，即使在銅污染嚴重地區，作物對銅的吸收仍不顯著，尚且銅在植物體內的輸導性甚低。因此，相較於其他重金屬，銅的危害顯得較為輕微且容易解決。

## (五) 汞 (Hg)

土壤中的無機汞對作物毒害甚低，異於有機汞，因為有機汞很容易被作物所吸收，因而進入食物鏈中。在一般情況當土壤處於通氣狀態下，有機汞有轉換成為無機汞的現象，故維持土壤的通透性可大幅降低農田作物對有機汞的吸收。有機汞進入食物鏈，絕大部非因土壤污染引起，而係有機汞殺蟲劑附著於農作物的表面，或是鳥類啄食含汞的害蟲，而使有機汞進入食物鏈中。

## (六) 鎳 (Ni)

鎳對作物具有毒性，惟作物之間存在顯著差異。當培養液中含有2 ppm鎳時，將對大豆造成危害，濃度必須提升至40 ppm，才會使玉米產生毒害現象。穀類中以燕麥對鎳金屬最為敏感，植株中毒時葉片出現含次氯酸的紋狀線，所幸僅在酸性土壤（pH<5）下呈現，因此施加少量石灰改善土壤酸鹼值後，紋狀線即可消失。再者，鎳對哺乳類動物的毒性低，誤食生長在鎳嚴重污染區土壤的作物，亦很少形成毒害情事。

## (七) 鉛 (Pb)

一般而言在未受污染的土壤中，總鉛量約10 ppm，其中1 ppm為有效性鉛。不同作物對鉛濃度有不等的影響，當土壤中有效性鉛增至400 ppm時，燕麥、苜蓿及蒿苳等仍未見負面效應，可推知植物具有土壤高鉛耐受力。雖有研究報告

宣稱鉛濃度過高時，會抑制作物光合作用，但整體言之，植物吸收土壤中鉛的情況並不嚴重。

### (八) 鋅 (Zn)

鋅為土壤必需金屬元素之一，土壤中有適量鋅之存在能促進水稻增產，缺鋅則會有植株生長不良、葉片短小等徵狀。土壤缺鋅時，玉米將出現黃萎病，過多則呈毒害。土壤有效性鋅超過200 ppm時，將使燕麥、苜蓿、蘿蔔等生長阻礙，而在60 ppm濃度下，敏感性高的萵苣即出現生長受阻情形。雖然鋅對植物之毒性相對較低，但累積至高濃度後，仍能危及食用該作物的人畜。

## 五、改善土壤重金屬污染常用方法

受污染之農地除了休耕之外，可視情節嚴重程度來改善/復育土壤污染狀況，無論係物理、化學或生物性方法，只要能夠降低污染至可操作農作生產之標準皆屬可行、合適。本節簡介其中四種關於物理性與化學性的方法供參：

### (一) 翻土混合稀釋法

遭受人為污染之土壤的重金屬濃度，通常以表土層（一般指0~30公分土層）最高，因此將表土與底土混合之翻土稀釋法，可以降低表土層的重金屬濃度。惟透過翻攪方式將表層及其下層土壤混合，藉以稀釋整體重金屬濃度僅適用於重金屬污染較低區域，因為此一方法並未真正減少重金屬總量，而係稀釋單位土壤容積之濃度。由於全量未改變，因此整體的重金屬含量依然偏高，該類型農地仍然不適合栽培水稻。以此方法整治之農地，事後應注意重建犁底層及補充養分、有機質等，以回復土壤肥力。而且以淺根性作物為主要對象，但仍宜避免栽培食用作物。

### (二) 化學穩定技術

本法透過外施對作物及人體無害之物質於受污染土壤之中，以吸附重金屬元素或穩定使其減少釋放，常用物質如有機質、堆肥、石灰、沸石、過磷酸鈣、氧化鐵、氧化錳、氧化鋅、磷酸氫鈣與碳酸鈣之混合物等。這些材料混入受污染土壤後，具有降低重金屬溶解度的效果，使植物減少吸收量。惟一如前項方法的缺點，僅在於利用添加物的反應降低重金屬的有效濃度，無法實質減少土壤中的重金屬總量。當添加物質隨著時間而減低效果時，必須適當的補足添加，以維持其功效。

### (三) 土壤酸洗法

土壤酸洗法係一種淋洗土壤的方法，經由使用土壤淋洗劑（如水、酸/鹼溶液、鉗合劑等）移除重金屬。若土壤重金屬之水溶性較高，可以水作為淋洗劑進行土壤淋洗，一般則常使用鹽酸、硫酸硝酸、氫氧化鈉等強酸或強鹼化合物。因此，本法雖可迅速有效地除去土壤中的重金屬，但可能對土壤造成嚴重破壞，降低土壤pH值、有效養分濃度、可交換鹽基濃度、微生物族群等。所以，在淋洗後宜添加適量的石灰質、有機物質、化學肥料等，以回復地力。常用的鉗合劑如EDTA、DTPA，可以有效且顯著地移除土壤中的鎳、鋅、銅、鎘等重金屬。然而，淋洗後的農地仍不適合立即栽種作物，建議持續栽種如青江菜、白菜等高吸附能力之植物，以有效降低土壤中殘存的鎘、鋅、銅等重金屬元素後，再進行食用作物的栽培。

### (四) 排土客土法

當移除上層污染土壤後，可覆蓋以他處取來的乾淨土壤，此即為排土客

土法。惟因挖取之土方數量龐大，不易處理，而且挖取之土壤仍須以有害事業廢棄物加以處理（置）。較可行的方式為先行檢視污染區，依照受污染程度劃分成不同濃度等級區塊，僅針對嚴重污染之小規模區塊採行排土客土法。通常此方法只取走表層土壤（如40公分土層），否則無論他處採土或污染地挖土均為大工程，花費頗高。目前國內土壤污染場址之整治工法，以使用翻土稀釋法最多，對於污染較嚴重且面積不大的工廠污染整治，為求快速達到整治效果，則可採用排土客土法。

## 六、以植物復育土壤的重金屬污染

在眾多土壤復育的方法中，較經濟便利且天然方式，稱為植物復育法，目前有許多科學家朝此方向進行研究。本法概念為利用植物吸收、聚積污染土壤中的重金屬，再回收植物體中的重金屬元素，以期達到將受污染的土壤回復為低重金屬含量的淨土目標。

雖然遭受重金屬污染的土地會嚴重影響生長於其上的植物，不過仍有植物可生長於受重金屬污染的土地上。這些植物已演化出耐受或抗拒重金屬逆境的能力，被通稱為「重金屬性植物（metallophyte）」，如向日葵、黑麥草、包心菜等皆屬之。文獻上已經有實際的試驗結果案例，但是國內尚未大規模實用或推廣，值得相關單位的重視。此類植物的生存策略可概分為三種，其一是防止重金屬進入植體內，避免重金屬在細胞累積而產生毒害；其二是將重金屬排出細胞外，使得細胞免受毒害；其三是利用某些蛋白質或化學物質來與重金屬結合，將其移置於液胞中而降低

重金屬的危害。可吸附重金屬的化合物甚多，包括有機酸（如檸檬酸、蘋果酸等）、植物螯合素、胺基酸及金屬硫蛋白（metallothionein）等。植物螯合素和金屬硫蛋白係一群可結合重金屬的蛋白質，當植體受到重金屬刺激時便會大量合成，在抗重金屬逆境中扮演重要角色。

利用植生復育受污染土地方法，是指直接利用特定植物將土壤與地下水中的污染物（如重金屬、有機物等）分解、清除，被普遍認為是一種較為經濟及便利的方式。例如美國紐澤西州的案例，成功利用植生復育的方式將遭受電池鉛污染的土地完成復育。這些可以利用於清除重金屬的植物，大致需有下列特性：（1）具有深廣的根系，能夠涵蓋廣且深的土層，（2）生長快速而容易收割，藉由廣大生質量來增加重金屬的吸附（收）容量，（3）可以耐受並累積多種類的重金屬，因而大量的消耗土壤中的重金屬。

## 七、結語

人類活動常引起對環境有負面影響的結果，當賴以生存的環境因為人類活動而產生負向的變化時，人類必然受到牽連。發生在台灣土壤重金屬污染，有一大比例的污染源自工商業及民生的廢棄用水，加上非經管理的排放，污染了灌溉溝渠、河川、地下水甚至飲用水源。農民長期使用受污染的水源灌溉農地後，田區自然累積過量的重金屬，這些生長於污染農田的作物（加上其他小生物）必將進入食物鏈，終將蓄積於人體。當工業與農業用地混雜，如何能避免農地受到污染，即便再多的預防與防治措施都將事倍功半。