

作物(水稻)吸收土壤重金屬鎘機制 與農產品安全之影響

農試所農化組 郭鴻裕 劉滄琴 江志峰

一、前言

農產品安全是全國人民關注的問題，但作物吸收重金屬的影響因子非常複雜，過去曾有土壤重金屬(鎘)濃度符合農田土壤管制標準，但生產鎘米的事例，造成施政的困擾。通常在食物鏈所考慮的重要污染元素為砷(As)、鎘(Cd)、汞(Hg)、鉛(Pb)及硒(Se)等5個元素。土體中污染元素的來源在於人類在工業、農業及社區的活動，極少量才是由於地殼元素的分佈所致，但是硒的高含量通常是地質因素所致。這些污染元素由土壤經由植物吸收並轉運至可食部位是受到土壤及氣候因子、植物特性及農業管理等因素所影響。

有些元素是植物及動物、人類營養生長所需，但是濃度過高時則對動物或人類產生毒害作用。Chaney(1980)曾研究污泥所含元素流入至食物鏈後，提出『土壤-植物障礙(soil-plant barrier)』論述。他將元素分為第1群，包括：銀、鉻、錫、銻、釷、鈦、鋯等是低風險的元素，因為第1群元素在土體溶解度低之故，所以作物極少吸收至植體內；如果有高含量的植體，一般是因為土壤或粉塵直接污染所致。第2群為砷、汞、鉛3個元素，它們在土體牢固的被土壤膠體

所吸附，如果被作物所吸收，也將存在根部而不會立即轉運至食用部位，所以其影響動物及人類健康風險也較小。氟也可以列入第2群，氟污染作物主要由空氣中所吸入立即進入植體，但是影響較為局部性。第3群元素包括：硼、銅、錳、鉬、鎳、鋅可以立即被吸收，但造成植物的毒害濃度時，還不致影響動物或人類健康，所以危害動物或人類健康風險低。第4群元素包括：鎘、鈷、硒等，本群元素則是在造成動物或人類健康危害的濃度時，還不致造成作物的毒害，所以第4群元素對動物或人類健康危害的風險最大。

由於作物對鎘的吸收過程缺乏植物屏蔽效應，對人體的危害較大，作物對鎘的吸收情形值得深入研究。本文告重點為探究作物吸收土壤鎘重金屬的機制，由土壤性質與土壤鎘含量評估農產品安全風險，並提出改善現行管理方法，保障國民健康。

95年至98年環保署與本所農業科技計畫支持下的三年計畫中選擇27處土壤重金屬污染管制區農田，分佈北、中、南部的土壤重金屬污染農田，每一田區栽植12個現行農業主要推廣的水稻品種，累計樣點數目達4500餘個並分別進行土壤及水稻的調查與分析，評估不同水稻品種、土壤性質影響水稻對重金屬(鎘)吸收量，達成計畫目標，包含：水稻

作者：郭鴻裕研究員兼組長
連絡電話：04-23302301-7400

吸收土壤鎘機制之探討與重金屬污染農田生產水稻之安全性與防治對策。

二、水稻吸收土壤鎘機制之探討

(一) 一般國際文獻認為作物鎘吸收量的影響因子如表一。在研究過程中發現水稻吸收鎘，以土壤pH、陽離子交換容量(CEC)及水稻品種等四項因子已足以評量水稻在土壤鎘污染農田生產之農產品安全風險，並發展可靠的預測模式評估水稻稻穀的鎘吸收量。

(二) 水稻各部位吸收鎘的能力：水稻各部位鎘濃度大小順序如下，根>莖>葉>糙米，若區分米粒部位則有以下順序，米糠>糙米 $\geq$ 精白米>稻殼，糙米與精白米的鎘含量僅有些微的差異(差異小於10%)。

(三) 水稻品種對重金屬吸收量的影響：供試的水稻品種中，秈稻的品種皆有較高的鎘吸收量，屬於敏感型的作物，其中以台農秈20號及台中秈10號的吸收量最高，台灣普遍種植之台中秈糯亦屬於高吸收量的品種；粳稻品種對鎘的吸收量皆較低，屬於忍耐型的品種，如：台農67號、台農71號…。以糙米鎘含量預測模式評估土壤鎘與糙米之風險問題，最敏感品種(秈稻-台農秈20號)在極強酸性土(土壤pH為4.5，有機質含量為3%，陽離子交換能量為 $8\text{cmol}^+/\text{kg}$)情

形下，王水消化法測得土壤鎘濃度 0.6mg/kg 以下，農田栽種才可得到合乎鎘安全標準的糙米；如果土壤酸鹼度調整為pH6.5的情形下，土壤鎘濃度 2.8mg/kg 以下農田栽種可得到合乎鎘限量標準的糙米。相同的土壤性質下，不敏感品系(粳稻-台農67號)在極強酸性土(土壤pH為4.5，有機質含量為3%，陽離子交換能量為 $8\text{cmol}^+/\text{kg}$)應為 9.4mg/kg 以下栽種，可以得到合乎鎘安全標準的糙米；如果土壤酸鹼度調整為pH6.5的情形下，土壤鎘濃度 17.4mg/kg 以下農田栽種仍可得到合乎鎘安全標準的糙米。

三、重金屬污染農田生產水稻之安全性與防治對策

(一) 測試不同分析方法對評估土壤重金屬有效性的影響：比較 0.1M 鹽酸、 0.43M 硝酸及 0.05M EDTA萃取劑抽出之土壤重金屬，發現其效果相似，三者相關性極高，且與現行公佈標準王水消化方法相關性高。不同分析方法之間可互相換算，有利於比較不同國家的標準。

(二) 污染農田的土壤重金屬分佈：試驗區採密集式的網格採樣方式採樣，每一田區採集108個樣品，明確瞭解每一田區土壤重金屬的分佈情況。由土壤重金屬含量之分佈圖判斷重金屬污染物不易因長期的灌水及翻耕而移動，故此類

表一、作物對鎘吸收量的影響因子

土壤因子	影響作物吸收鎘之效果
1. pH	隨pH值降低而增加吸收量
2. 土壤鎘的含量	隨土壤鎘濃度增加而增加吸收量
3. 土壤吸附重金屬能力	隨吸附力增加而降低吸收量
a. 有機質	隨土壤有機質增加而降低吸收量
b. 陽離子交換能量	隨CEC增加而降低吸收量
c. 黏粒含量	隨黏粒含量增加而降低吸收量
4. 微量元素：如鋅	若土壤鋅含量增加會降低吸收量
作物因子	
1. 品種	不同品種具有不同的鎘吸收量
2. 作物器官	根>>莖>葉>果實

重金屬主要分佈於接近污染來源的區域(通常為入水口或出水口)。污染物的分佈屬於不均勻，在進行污染物監測調查時，混合樣本會導致錯誤評估其污染程度(低估)。

(三) 土壤性質差異性：試驗區的土壤質地不同，影響鎘被土壤吸附的能力，若以土壤陽離子交換能量(CEC)作為指標，可量化不同質地、有機質對作物吸收重金屬的影響。台中縣某水田土壤質地為砂質壤土，土壤鉛濃度在150 mg/kg即會產生超出鉛限量標準的糙米，相對於桃園縣某地區粘質壤土，土壤鉛濃度為822mg/kg而不致產生超出鉛限量標準的糙米。

(四) 水稻的安全性風險評估：本試驗求得不同水稻品種之糙米鎘含量的預測模式，其方程式中具有三個變數，即土壤pH、土壤CEC及土壤鎘含量，預測模式可以較準確地預測水稻鎘的含量。

(五) 製作不同水稻品種之鎘吸收量的對照表：為了能夠將預測模式實際應用於田間情況，分別依不同水稻品種製作成對照表，此對照表的主要用途：

1. 快速預測糙米鎘含量：依據土壤pH及土壤鎘含量即可對照出糙米的鎘含量，用以評估種植出污染米的可能性。

2. 推薦適合種植的水稻種類：由於不同水稻品種對鎘的吸收能力不同，依據不同品種的對照表可推薦該田區適合種植的水稻品種。

(六) 依據水稻鎘含量的預測模式及農試所的土壤調查資料庫可製作評估各地區種植水稻的風險圖。

(七) 添加石灰的復育效果：在污染農田施用石灰，提高土壤pH，降低土壤溶液中的重金屬含量，明顯地降低水稻對鎘的吸收量，此方法可推廣使用於具有鎘潛在危害的農田。

四、未來推動策略及建議事項

(一) 水稻吸收鎘、鉛的能力會因為不同土壤性質而異，難以利用單一的標準值管制。利用不同水稻吸收鎘預測模式，可以準確掌握水稻鎘安全性風險。未來可加強環保署、農委會、衛生署部會之間的合作，研商合宜管理方案(選擇品種、整治方法、土地利用方式…等)，以維護國人食用稻米的安全品質及國家最大利益。

(二) 目前農地土壤重金屬的分析方法為王水消化法，然而，影響重金屬被作物吸收的因子還有很多，未來應朝向多方面的考量，例如：土壤pH、土壤有機質含量及土壤粘粒含量…等，多方向評估農地可能造成的危害。

(三) 土壤及作物重金屬污染調查方法的建議：在進行土壤重金屬抽驗時，可採用0.1 M鹽酸抽出法快速檢驗其重金屬含量，並利用本計畫建立之鹽酸抽出法與王水消化法之相關性，估算其重金屬總含量，藉此提高的檢驗效率並減少強酸的使用量。

當水稻種植區之土壤鎘含量大於1 mg/kg時，每一期作應抽檢其入水口及出水口的水稻是否超過標準，並禁止在此區域種植屬於秈稻之水稻品種。

(四) 當土壤污染物濃度偏高並具有潛在危害的可能時，應採取適當的土壤改良方式，例如：施用改良劑降低作物對重金屬的吸收量。

(五) 鎘污染農田經整治過後，應調整其pH值至6以上，避免因土壤過酸而產生鎘米。

(六) 應建立不同作物對重金屬吸收量的資料，例如：蔬菜、果樹等不同土地利用方式，藉此評估低污染農地之適栽作物，輔導農民種植風險較低的作物，有效管理作物之安全品質。