

行政院及所屬各機關出國報告
出國報告（出國類別：國際會議）

參加第8屆東亞及東南亞土壤科學聯盟
國際研討會議暨參訪行程

出國報告書

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：何建仁正工程師兼組長

吳雅婷助理環境技術師

派赴國家：日本

出國期間：96年10月21日至10月27日

報告日期：96年11月26日

出國報告書

目錄

頁次

目錄	I
摘要	1
壹、前言	4
一、目的	4
二、行程與主要工作內容	4
貳、本次行程內容整理	6
一、第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟國際研討會議	6
(一) 研討會議簡介	6
(二) 研討會議議程摘要	6
(三) 論文重點摘要	9
二、拜會與參訪相關行程	45
(一) 拜會日本環境省及農林水產省	45
(二) 拜會獨立行政法人農業環境技術研究所	46
(三) 拜會 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社	47
(四) 拜會清水建設株式會社	51
參、結論與建議	52

表目錄

表 1.1-1、行程表	5
表 3.1-1、台灣地區土壤重金屬表土背景濃度平均值	9
表 3.1-2、台灣 4 種農作物 8 項重金屬濃度平均值	9
表 3.1-3、美國、英國、荷蘭、德國土壤重金屬污染管制標準	13
表 3.1-4、台灣、中國、日本、韓國土壤重金屬污染管制標準	14
表 3.1-5、食物鏈中鎘之總吸收量	15
表 3.2-1、韓國土壤環境保護法(SECL)土壤污染標準	16
表 3.2-2、韓國歷年對關閉礦場和工業區附近農地土壤重金屬監測結果(平均值與範圍值).....	17
表 3.2-3、稻米中重金屬含量監測結果(平均值與範圍值).....	17
表 3.2-4、韓國 10 種農作物訂定最大容許濃度	18
表 3.2-5、廢棄礦場之重金屬危害指數(HAZARD INDEX).....	18
表 3.2-6、3 個廢棄礦場癌症風險評估值	19
表 3.2-7、預估污染土壤及污染食品中需進行改善之最大鎘含量	20
表 3.3-1、日本和世界各地土壤的重金屬背景濃度表	22
表 3.3-2、日本土壤管制項目與最大容許濃度表	22
表 3.6-1、土壤-植物之屏障效果	31
表 3.6-2、作物吸收土壤鎘的因子	31
表 3.6-3、彰化試區 2005 年 1、2 期作水稻根域土壤王水消化法重金屬含量	33
表 3.6-4、桃園、新竹地區 2006 年 1 期作水稻根域土壤王水消化法重金屬含量	34
表 3.6-5、彰化試區 2005 年 1 期作糙米重金屬含量	35
表 3.6-6、彰化試區 2005 年 2 期作糙米重金屬含量	36
表 3.6-7、新竹試區 2006 年 1 期作糙米重金屬含量	37
表 3.6-8、桃園試區 2006 年 1 期作糙米重金屬含量	38
表 3.6-9、稻米根、莖、葉、稻穀及糙米之鎘濃度的交互關係	40
表 3.6-10、稻米不同部位組織之鎘濃度和 5 種方法萃取土壤鎘濃度的關係	40
表 3.6-11、自土壤理化性質預測糙米中鎘含量	40

圖目錄

圖 2.1-1、第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟國際研討會議出席者大合照 ...	8
圖 3.1-1、韓國已關廠礦區附近農地之稻米和土壤中鎘濃度關係	10
圖 3.1-2、日本地區稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係	10
圖 3.1-3、泰國稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係	11
圖 3.1-4、台灣地區稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係	11
圖 3.1-5、台灣地區米和土壤間重金屬鎘濃度關係	12
圖 3.1-6、台灣地區 1994~1996 年稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係	12
圖 3.2-1、利用化學改良劑(零價鐵、石灰、堆肥及組合方式)降低土壤溶液中 的有效性鎘濃度	19
圖 3.3-1、滲水管理原理示意圖	24
圖 3.3-2、土壤整治方法示意圖-上層污染土壤與下層乾淨土壤置換	25
圖 3.3-3、土壤整治方法示意圖-以乾淨土壤覆蓋	25
圖 3.3-4、已淋洗土壤與未淋洗土壤中鎘濃度比較	28
圖 3.3-5、已淋洗土壤與未淋洗土壤之稻稈與糙米中鎘濃度圖	28
圖 3.6-1、彰化土壤之 PH 值和鎘活性之關係圖	32
圖 3.6-2、以王水消化法萃取所得糙米中鎘含量之方程式	41
圖 3.6-3、以 CaCl_2 抽出液萃取方法所得糙米中鎘含量之方程式	42
圖 3.6-4、以 0.1M 鹽酸萃取方法所得糙米中鎘含量之方程式	43
圖 3.6-5、台農秈 20 號之糙米鎘之風險地圖	44

摘要

- 一、 出國計畫名稱：參加第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟 (ESAFS8) 國際研討會議暨參訪行程
- 二、 出國人：何建仁正工程師兼組長、吳雅婷助理環境技術師
- 三、 出國日期：96 年 10 月 21 日至 96 年 10 月 27 日
- 四、 出國行程與內容概要：

96.10.21	啟程，東京
96.10.22~23	參加 (ESAFS8) 國際會議
96.10.24 上午	拜會獨立行政法人農業環境技術研究所
96.10.24 下午	拜會環境省、農林水產省
96.10.25	參觀 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社之花崗污染土壤洗淨設施
96.10.26 上午	拜會同和 (DOWA) 株式會社總公司
96.10.26 下午	參觀清水營造工程股份有限公司之土壤洗淨計畫事業所污染處理設施
96.10.27	返程，台北

五、 行程成果評估及心得建議：

- (一) 本次會議及參訪行程主題為農地土壤重金屬污染與食用作物重金屬污染之關係，最主要係吸取東亞及東南亞各國經驗，尤其是日本有關農地土壤污染整治技術，以解決台灣地區農地土壤重金屬污染問題，包括：
1. 運用湛水管理方法，改變土壤溶液中鎘之化學型態機制，有效抑制稻米對於重金屬鎘的吸收能力，減少產生鎘米的機會並有效降低整治成本。惟湛水狀態下會造成農民收割機具操作上的困難，並產生甲烷，對溫室效應氣體造成影響。
 2. 應用煉礦技術，利用篩分析技術來達到污染土壤減量及降低處理成本之目的。

3. 採用化學淋洗法，以氯化鐵(FeCl_3)現地淋洗土壤，配合現地淨水處理設備，可有效降低鎘米 60~70%之產生率，成本約為客土法的 50%，對環境的二次危害也較低，且一個改善期程只需 3 天即可。
4. 運用植生復育改善方法，以種植對鎘高吸收能力品種之稻米。改善期程將視土壤污染程度每年施以 2-3 期作之改善，每公頃成本約 19~25 萬日圓，約為客土法成本之 1/3~1/5。
5. 採取客土法，日本超過九成之污染農地土壤約 5,500 公頃皆以本方法進行改善，係採土壤上下置換或運入乾淨土壤覆蓋於污染土壤上方約 20~40 公分。惟客土法成本較高且對環境衝擊較大，土壤改良後仍需 20-30 年方能回復原地力產量。
6. 前開各種改善方法除客土法及土壤洗淨法較成熟且大量使用外，其餘尚在推廣階段。湛水管裡方式不論在成本、時間與技術門檻上均為較低，尤其適合台灣北彰化地區已完成土壤污染改善但仍產生鎘米之高污染潛勢區。

(二) 建議事項：

1. 加強行政管制措施
 - (1) 近年來全球暖化的議題備受關注，因為全球各地氣候異常的徵候愈益嚴重，加上水資源的耗竭，食品安全問題應為未來各國政府急欲解決之壓力。如何提高農作物產量又能維持其品質及安全，不被重金屬、農藥污染。尤其水稻田的灌溉水管理直接影響到水資源分配的社會公平正義問題，同時對生態環境及溫室效應皆有深遠影響。是政府應以宏觀全面角度，及早規劃因應此一議題。
 - (2) 日本的農地土壤污染主要是集中在廢棄礦場和金屬鍊製廠附近，因其灌溉用水系統獨立完整，不會和雨水系統、區域排水及下水道系統混和。為因應未來糧食

及水資源問題，台灣地區的灌排分離問題實應及早面對解決，否則只會讓問題更形複雜難解。

- (3) 自加入 WTO 後政府每年挹注在停耕補償的費用約 100 億元，若此停耕補償費能轉為栽種能源作物，不論在環境或能源經濟及溫室氣體減量上皆有極大助益。
 - (4) 應成立一研究機構或單位，從農作物的生產環境、農漁牧水產品之安全、環境介質污染傳輸問題，作一垂直整合，建立各項基線資料庫，增加資料效益。如以目前各單位缺乏橫向聯繫、資訊未能整合利用之情況，國人的食品安全問題及環境風險問題將無法徹底解決。
2. 為因應環境議題國際化，本署應積極主動參與國際活動與會議，加入國內外相關土壤及地下水團體，延伸觸角，擴展視野，以利收集國內外相關經驗，藉助技術經驗交流，並建立國際關係，以解決國內土壤及地下水污染問題。
 3. 積極建立東亞及東南亞各國政府機關(如日本、韓國、泰國、越南等以種植水稻為主之國家)及民間研究機構(如日本獨立行政法人農業技術研究所和各國土壤、地下水團體學會)之聯繫管道，以召開不定期會議方式，加強互動交流，以利解決國內環境污染、農作物污染以及食用農產品污染問題。
 4. 與會國家之論文均顯示稻米品種為產生鎘米之重要因素之一，與本署在彰化縣、桃園縣、新竹市之現場試驗結果一致，以印度系稻種(秈稻)吸收土壤中鎘之能力較強。後續將協調農業單位在台灣地區鎘米高污染潛勢區以改種稻種及湛水管裡方式，降低鎘米之產生，確保民眾安全。

行政院環境保護署
參加第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟
國際研討會議暨參訪行程
出國報告書

壹、前言

一、目的

近年來，隨著人口的增加與經濟的發展，引發了全球溫室效應、水資源的耗盡與土地利用的變動，直接影響了農業發展與生產量的削減。食品生產過程與土壤息息相關，一旦土壤中存在污染，將對人體健康造成莫大的危害，故整治土壤中的污染物質是一個重要根本課題。

為瞭解國際上有關污染土壤與食用作物之關係與污染土壤之最新整治技術，以作為解決未來本署推動業務策略規劃及應變決策之參考，奉派參加於位於日本舉行之「第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟國際研討會議 (Eighth Conference of the East and Southeast Asian Federation of Soil Science)」，並拜會日本環境廳、農林水產省及獨立行政法人農業環境技術研究所，討論未來土壤及地下水污染政策性與技術性之問題，並實地參觀日本二大民間整治機構之土壤洗淨設備，作為後續修訂國內污染改善技術之參考。

二、行程與主要工作內容

本次出國期間為 96 年 10 月 21 日至 10 月 27 日，行程詳如表 1。

表 1.1-1、行程表

日期	工作內容
96-10-21	啟程抵達東京
96-10-22	參加(ESAFS8)國際會議，主題為「農業科學的新挑戰-食用作物與生長環境之關係」，相關論文集、議程、海報與簡報資料如附錄 1-1~1-5。
96-10-23	參加(ESAFS8)國際會議
96-10-24	上午拜會獨立行政法人農業環境技術研究所連攜推進室長木村龍介先生與土壤環境研究領域長小野信一先生，討論土壤污染和產生鎘米之關係、農業湛水管理方式與調整土壤 pH 值對預防鎘米之效益等議題，相關簡介與簡報資料如附錄 3。
	下午於交流協會東京本部拜會日本環境廳水・大氣環境局土壤環境課課長輔佐寺田剛先生、農用地污染對策係長溯上武士先生及農林水產省消費・安全局農業安全管理課調查係長青木政典先生，就現行法規污染對策與遭遇困難、農地土壤重金屬鎘污染處理方式及未來修正方向交換意見，相關簡報資料如附錄 2。
96-10-25	參訪 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社，由事業部淨化部長尚原聖広先生與笹本直人先生帶領參觀秋田縣花崗之污染土壤洗淨設備、廢棄物中間處理設施、最終處理場等相關處理設施。相關簡報資料如附錄 4。
96-10-26	至同和(DOWA)株式會社總公司聽取業務簡報，進一步與企劃室長吉田勸先生、事業部課長日下部和宏先生、次長鎌田雅美先生、台灣辦事處森川剛夫先生，討論土壤洗淨設備之應用與技術，相關資料如附錄 4。
	由清水營造工程股份有限公司本部長輔佐八卷淳先生與田中仁志先生帶領參觀神奈川縣川崎土壤洗淨計畫事業所相關處理設施。相關簡報資料如附錄 5。
96-10-27	返程抵達台北

貳、行程內容整理

一、第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟國際研討會議

(一) 研討會議簡介

東亞及東南亞土壤科學聯盟(East and Southeast Asian Federation of Soil Science, 以下簡稱 ESAFS)自 1990 年成立，由亞洲各國 12 個土壤科學相關學會共同組成，藉由每兩年召開研討會，交流土壤與農業植物營養科學之研究。自 1991 年起，在日本大阪舉辦第 1 屆研討會，之後分別於亞洲各國包括中國迪化(1993)、馬來西亞吉隆坡(1995)、朝鮮濟州(1997)、泰國喀比(2001)、台灣台北(2003)以及菲律賓奎松市 (2005)舉辦，本屆(第 8 屆)研討會於日本茨城縣筑波市國際會議場召開，會期為 96 年 10 月 22 日至 23 日，主題為「農業科學的新挑戰-食用作物與生長環境之關係」，主辦單位充分運用該中心之演講場地及展覽空間，共安排了 38 篇專題演講及 233 篇壁報論文展示，參加人數 308 名，發表專題及口頭研究報告 27 篇，海報論文 195 篇，論文集詳如附錄 1-1，議程詳如附錄 1-2。

(二) 研討會議議程摘要

2.1 第一天研討會分為 3 個主題，分別為「永續生產農作物的水管理」、「環境壓力和農作物生產的關係」以及「新的土壤污染解決方法」等議題，茲分述如下：

- (1) 「永續生產農作物的水管理」：此部分是各國針對日益嚴重的農業灌溉用水短缺問題，應用不同之節水管理技術，如 AWD(Alternate Wetting and Drying)，栽植好氧性稻米(Aerobic Rice)等方法，維持稻米之產量外並同時兼顧降低溫室氣體效應，減少對環境之衝擊，達到永續生產之水管理目標。
- (2) 「環境壓力和農作物生產的關係」：中國大陸及日本針對鹼性或石灰質土壤及缺乏營養素之稻米，找出耐貧瘠之稻米品種，以基因品種方式解決此影響稻米產量問題。

(3) 「新的土壤污染解決方法」：台灣(台灣大學陳尊賢教授)、韓國、日本分別發表了最新農地鎘污染研究報告。

2.2 第二天口頭發表共分為「會員國報告(10個國家)」、「重金屬之分布、生物有效性及管理」、「土壤來源分類及土壤管理」、「植物營養、肥料應用、微生物及環境」等4類議題。

(1) 「10個會員國報告」：分別由孟加拉、中國、印度、印尼、日本、韓國、馬來西亞、菲律賓、斯里蘭卡及越南等國家報告近年來在土壤方面之執行成果、辦理活動及未來發展方向，作一簡單執行成果報告。

(2) 「重金屬分布、生物有效性及管理」：此部分重點為6個議題，主要為探究土壤重金屬污染和農作物、食米重金屬污染之關係，重金屬在農地土壤中生物有效性及安全問題，預測不同稻米品種在農地土壤中吸收重金屬情況、土壤和重金屬之調查計畫等。

(3) 「土壤來源分類及土壤管理」：此部分為6個議題，主要是利用GIS評估農地土壤的地利空間變異特徵、使用多變量分析來做土壤分類及解釋、熱帶泥碳土的生物物理特性、旱田土壤的化學礦物學性質的區域趨勢海報發表、不同土壤中可溶性有機氮的含量及變化及鹽在土玉米田中之行為。

(4) 「植物營養、肥料應用、微生物及環境」：此部分係控制硝化作用和 N_2O 從農業系統排放的基本策略等。

2.3 海報發表

本部分主要為「重金屬土壤污染」、「土壤性質、來源、分類和管理」、「微生物」、「植物營養肥料、堆肥和土壤改善」、「水管理及土壤鹽化」、「除了重金屬污染之環境議題」、「溫室效應氣體、碳預算」、「資訊系統、遙測、模式模擬」等8大主題(如附錄1-3)。其中與土壤重金屬污染相關之海報計有31篇。



圖 2.1-1、第 8 屆東亞及東南亞土壤科學聯盟國際研討會議
出席者大合照

(三) 論文重點摘要

3.1 土壤污染、食品安全及土壤整治技術之新觀念(台灣大學陳尊賢教授，內容詳如附錄 1-1 論文集 p.38，K3-1，簡報資料詳如 [附錄 1-4](#))：

亞洲地區的國家土壤污染的主要來源係工業區非法排放廢水及家畜類廢水污染灌溉水所致。

依台灣地區土壤重金屬調查資料顯示，自 1982 年起從已陸續執行 1,600 公頃、100 公頃、25 公頃及 1 公頃之網格系統調查，至 2007 年共調查出約 400 公頃農地土壤遭受污染；另有 3,000 公頃係屬輕度或中度之污染場址，其表土重金屬背景濃度平均值如下：

表 3.1-1、台灣地區土壤重金屬表土背景濃度平均值
單位：毫克/公斤

砷 As	鎘 Cd	鉻 Cr	銅 Cu	鉛 Pb	鎳 Ni	鋅 Zn
18	2	50	35	50	50	120

依台灣地區農作物重金屬調查資料歷年調查結果，計有糙米、葉菜、根菜及水果等 4 項之重金屬濃度平均值。

表 3.1- 2、台灣 4 種農作物 8 項重金屬濃度平均值
單位：毫克/公斤乾重

重金屬 食用作物	砷 As	鎘 Cd	鉻 Cr	銅 Cu	汞 Hg	鎳 Ni	鉛 Pb	鋅 Zn	備註
糙米	0.17	0.07	0.16	2.48	0.001	0.54	0.43	39.2	n=431
葉菜	0.12	0.24	0.02	4.64	0.04	2.14	3.69	38.1	n=144
根菜	0.05	0.21	0.03	3.00	0.03	1.63	2.58	27.4	n=112
水果	0.05	0.11	0.26	3.52	0.02	0.95	2.11	27.7	n=90

n=樣本數

整理韓國、日本、泰國、台灣等地區稻米和土壤間的重金屬濃度關係，分別如圖 3.1-1~3.1-6 所示，各國資料均顯示糙米重金屬濃度和土壤鎘濃度並無明顯相關性。

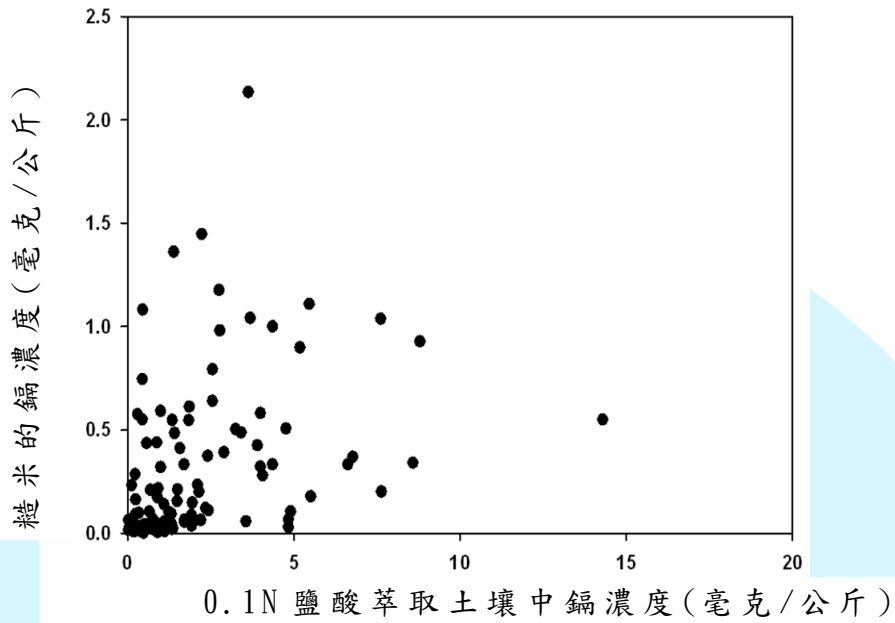


圖 3.1-1、韓國已關廠礦區附近農地之稻米和土壤中鎘濃度關係

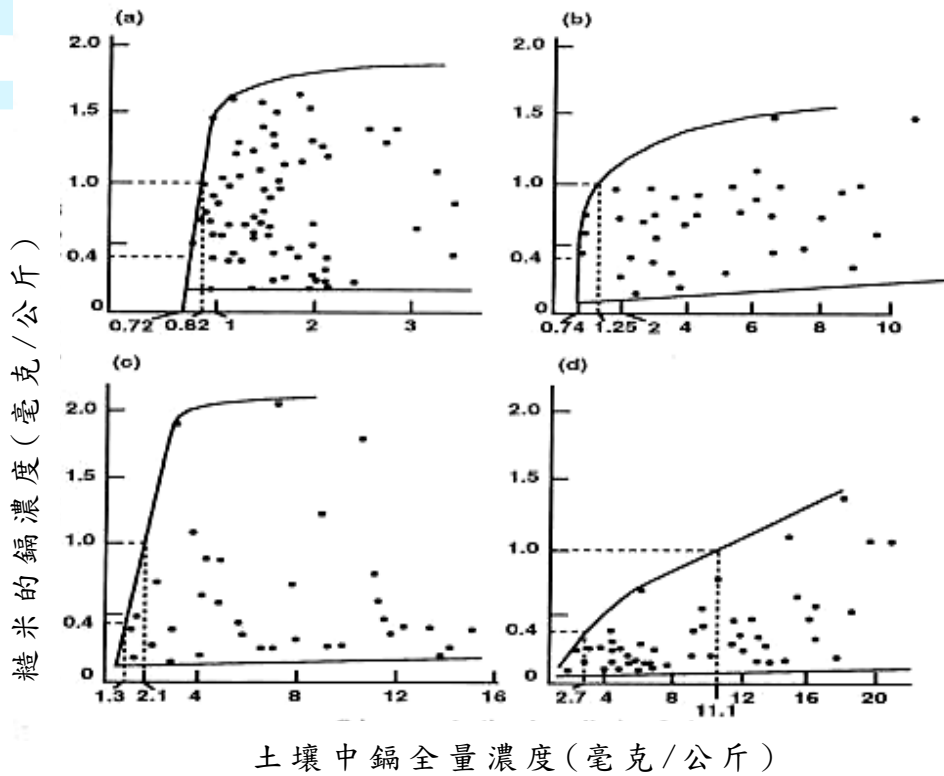


圖 3.1-2、日本地區稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係
(a)府中市(b) 黑部市(c) 安中市(d) 萬代市

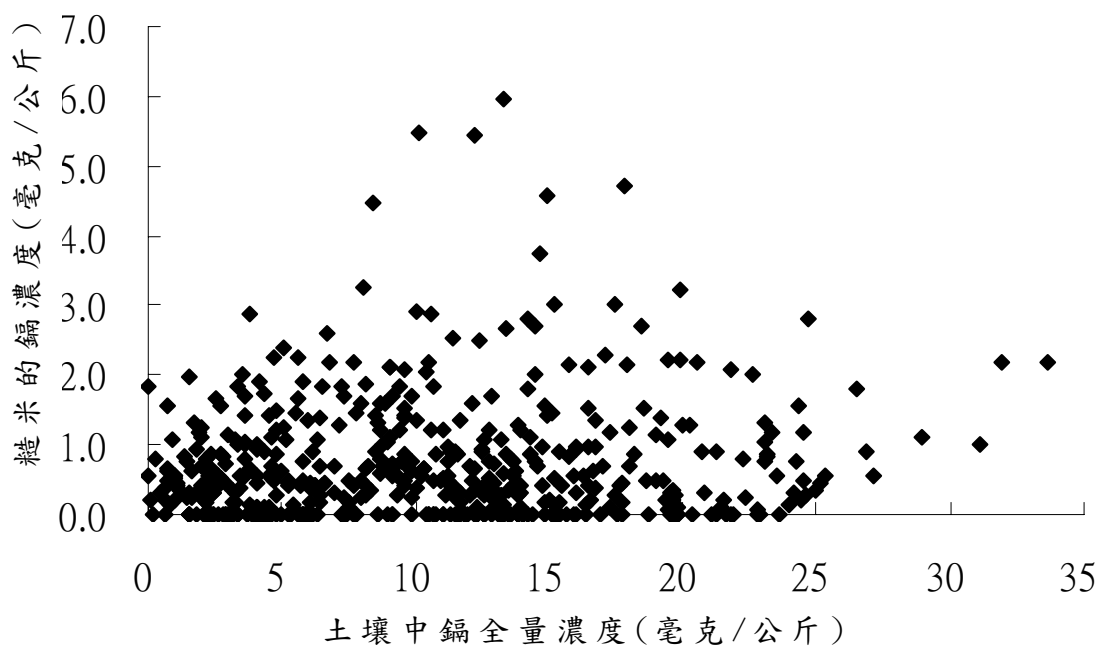


圖 3.1-3、泰國稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係

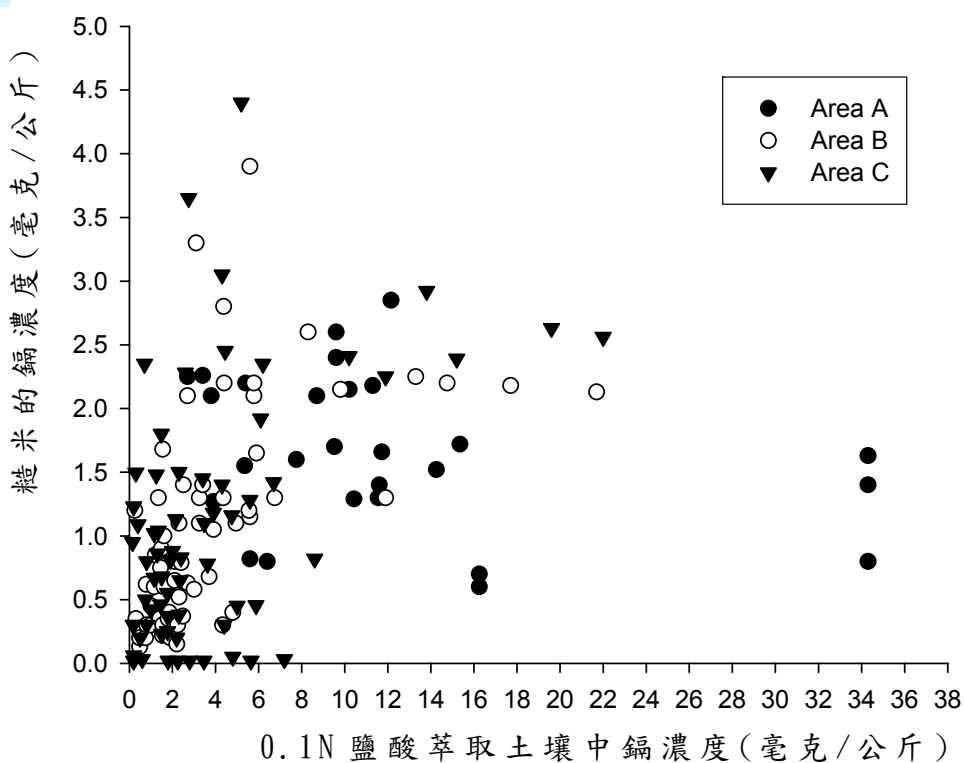
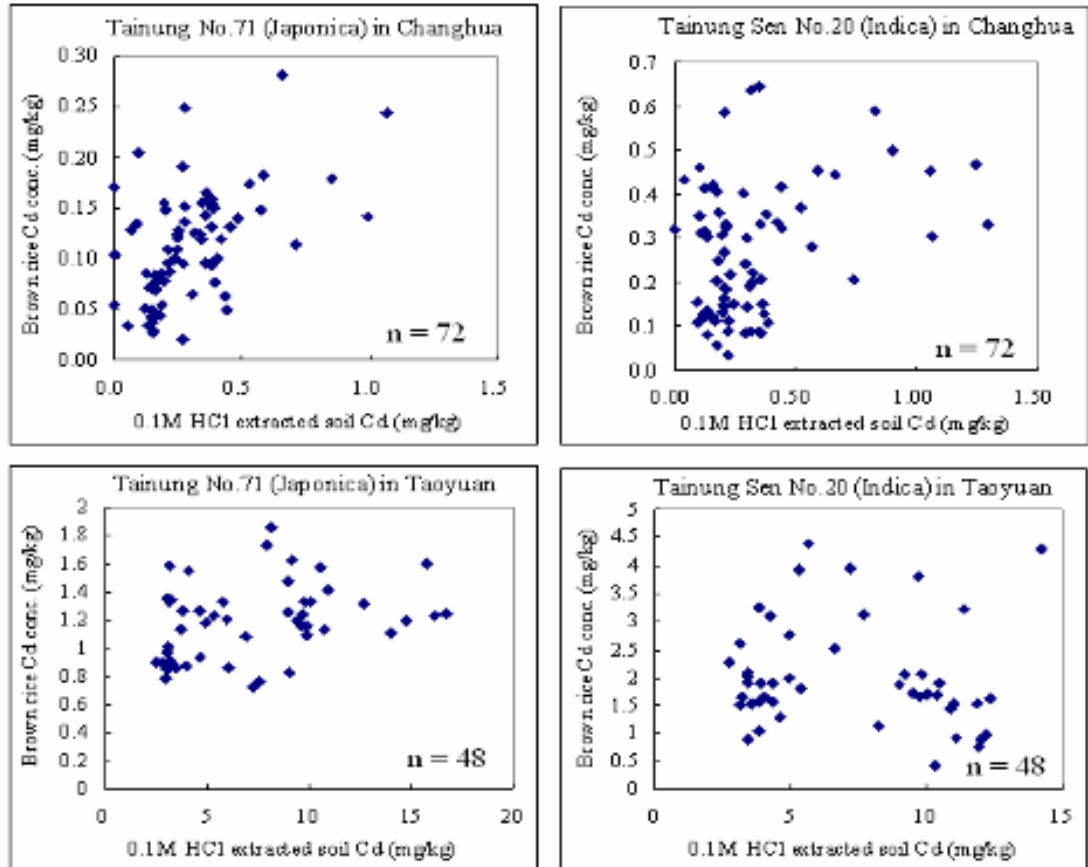


圖 3.1-4、台灣地區稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係

糙米的鎘濃度(毫克/公斤)



0.1M 鹽酸萃取土壤中鎘濃度(毫克/公斤)

圖 3.1-5、台灣地區米和土壤間重金屬鎘濃度關係

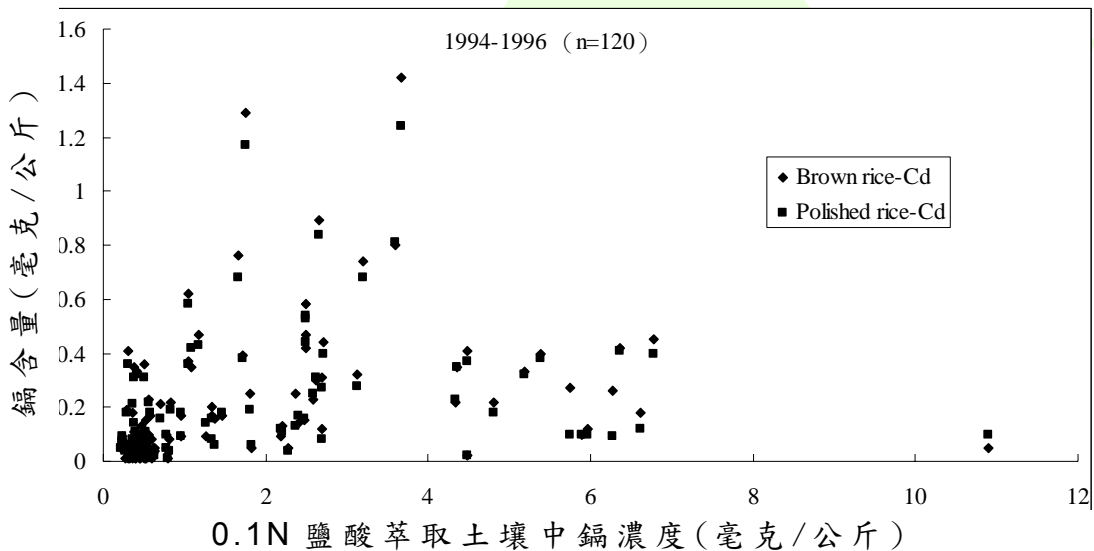


圖 3.1-6、台灣地區 1994~1996 年稻米和土壤間重金屬鎘濃度關係

另整理美國、英國、荷蘭、德國、中國、日本、韓國等國有關土壤重金屬污染管制標準資料如表 3.1-3 及表 3.1-4。

表 3.1-3、美國、英國、荷蘭、德國土壤重金屬污染管制標準

	砷 As	鎘 Cd	鉻 Cr	汞 Hg	銅 Cu	鎳 Ni	鉛 Pb	鋅 Zn
美國 (2000)								
累積載入速率(公斤/公頃)	41	39	--	17	1500	420	300	2800
英國 (2002)								
土壤指標值(毫克/公斤)								
居住區(有植物攝取)	20	2	130	8	--	50	450	--
居住區(無植物攝取)	20	30	200	8	--	50	450	--
農業區	20	2	130	15	--	75	450	--
商業/工業區	20	1400	5000	480	--	5000	700	--
荷蘭 (1999)								
干預值(毫克/公斤)								
標準土壤(10% O.M and 25% 黏土)	55	12	380	10	190	210	530	720
德國 (1999)								
土壤-人類健康途徑								
啟動值(毫克/公斤)								
遊樂場所	25	10	200	10	--	70	200	--
居住區	50	20	400	20	--	140	400	--
公園和休閒娛樂設施	125	50	1000	50	--	350	1000	--
用於工業或商業目的的土地	140	60	1000	80	--	900	2000	--

表 3.1-4、台灣、中國、日本、韓國土壤重金屬污染管制標準

	砷 As	鎘 Cd	鉻 Cr	汞 Hg	銅 Cu	鎳 Ni	鉛 Pb	鋅 Zn
台灣(2000)								
總含量(毫克/公斤)								
農業用地	60	5	250	5	200	200	500	600
一般用地	60	20	250	20	400	200	2000	2000
背景值	18	3	50	0.5	35	60	60	120
中國(2007)								
總含量(毫克/公斤)								
展覽場址	80	22	610	50	600	2400	600	1500
農業用地(pH6.5-7.5)	25	0.3	200	0.3	100	50	50	250
	30	0.3	300	0.5	200	50	80	250
溫室土壤(pH6.5-7.5)	25	0.3	200	0.3	100	50	50	250
日本(2003)								
土壤濃度標準(毫克/公斤)	150	150	250*	15	-	-	150	-
土壤滲出水標準	0.01	0.01	0.05*	0.005	-	-	0.01	-
韓國(2007)								
糾正措施標準(毫克/公斤)								
農業用地	15 [#]	4 ⁺	10 ⁺⁺	10 [#]	125 ⁺	100 ^{&}	300 ⁺	700 ^{&}
工廠/產業用地	50 [#]	30 ⁺	30 ⁺⁺	40 [#]	500 ⁺	400 ^{&}	1000 ⁺	2000 ^{&}
*：針對 Cr6+，#：0.1M 鹽酸萃取，+：1M 鹽酸萃取，&：王水萃取								

各國根據上述土壤和食用作物重金屬污染之特性訂定監測及整治計畫之策略，包括：

- (1) 稀釋技術：台灣地區大部分的重金屬污染農地土壤係應用低成本、低風險的土壤翻轉稀釋工法作為改善方法。
- (2) 化學穩定技術：在許多污染場址成功的發展可信賴的土壤改善材料，如石灰、有機質、堆肥、沸石及鐵錳氧化物等。
- (3) 化學淋洗技術：在日本使用 CaCl₂ 及 FeCl₃ 作為現地化學淋洗劑來改善鎘污染農地土壤。
- (4) 植生復育技術：在北台灣鎘污染農地種植 Rainbow pink 5 週，結果植物嫩葉鎘濃度明顯增至 115 毫克/公斤。
- (5) 應用 EDTA 可明顯增加土壤溶液及種植在污染土壤中之

Rainbow Pink 之重金屬濃度。

食物鏈中鎘之總吸收量計算方式係以可食用的水棲生物及不同食用作物(馬鈴薯、穀類、糙米、水果、蔬菜)鎘濃度來推估。

表 3.1-5、食物鏈中鎘之總吸收量

類別	鎘 Cd(毫克/公斤)	備註
水果	5-10(毫克/公斤)濕重	WHO,1992
根菜	25(毫克/公斤)濕重	WHO,1992
馬鈴薯	<150(毫克/公斤)乾重	Jackson,1990 一般土壤 10-90 乾重 污染改善土壤 80-510 乾重
糙米	>70(毫克/公斤)乾重	Li et al.,1994
蔬菜	>200(毫克/公斤)乾重	台灣地區食用作物中鎘 濃度幾乎皆低於 500 乾重

飲食暴露之評估方法則需下列資料：

- (1) 調查不同種類食物之平均消耗量及每種食物之平均鎘濃度。
- (2) 以複製飲食和每日研究法評估特定人的鎘暴露。
- (3) 從每日的排泄物產出量預估每日鎘吸收量。
- (4) 每日研究對人體更有成本效益的方法。

各國之鎘平均飲食暴露變化相當大，芬蘭、德國、日本、英國等國之範圍為 15-57 微克/日，其中 3 個重要原因為：

- (1) 食物總消耗量。
- (2) 飲食之組成。
- (3) 各類食物的鎘濃度。

食物中鎘最大容許濃度(MPC)約為 100 微克/公斤，範圍為 50-200 微克/公斤(WHO,1992)。

所有空氣暴露途徑的鎘吸收量可考慮空氣中鎘濃度(0.5 微克/立方公尺)及煙吸入(3 微克/日)。

依據上述各種情況可知每日鎘之總吸收量依環境狀況而不同，但不論食物、水、空氣之情況如何，每人每天鎘總吸收量將不會超過 20 微克。

3.2 韓國在農地土壤重金屬污染改善整治技術與風險評估研究 經驗及未來展望(內容詳如附錄 1-1 論文集 K3-2, p.44)

韓國的土壤重金屬污染除了極少數之特殊案例，主要是直接或間接來自於礦場、工業或家庭廢水，目前土壤重金屬濃度皆在管制標準以下。在韓國食用作物中重金屬之累積主要係來自於礦區，經由暴露途徑污染稻米、地下水及土壤，對居住在礦場居民有潛在之健康風險。在重金屬污染區尚未有詳細量化資料預估人體健康的毒性風險前，韓國所關心重金屬污染環境議題為植物中重金屬毒性或重金屬進入食物鏈的問題，遂訂定土壤環境保護法(The Soil Environmental Conservation Law, 簡稱 SECL)，管制鎘、汞、鉛、銅、鋅、鎳、鉻及砷等 8 項項目，土壤污染標準如表 2-1。韓國農業生產上威脅土壤和農作物重金屬污染之主因為廢棄礦場之廢水漫流及廢渣場之土壤侵蝕。韓國歷年來對關閉礦場和工業區附近之農地土壤重金屬含量調查如表 2-2。而米中之重金屬含量監測結果如表 2-3。韓國食品藥物管理局(Korea Food and Drug Administration 簡稱 KFDA)特別針對 10 種農作物訂定最大容許濃度(Maximum permissible Contents, 簡稱 Mpc)，如表 2-4。另重金屬對生態系統和人體健康的衝擊持續增加中，為控制土壤污染，韓國採取較嚴格之策略，如建立風險評估及整治計畫等有效之控制策略。

表 3.2-1、韓國土壤環境保護法(SECL)土壤污染標準

項目	管制標準(毫克/公斤)		整治標準(毫克/公斤)	
	農地	工廠工業區	農地	工廠工業區
鎘*	1.5	12	4	30
銅*	50	200	125	500
砷 ⁺	6	20	15	50
汞 ⁺	4	16	10	40
鉛*	100	400	30	1,000
鉻*	4	12	10	30
鋅 [¶]	300	800	700	2,000
鎳 [¶]	40	160	100	400

*0.1M HCl extraction; ⁺1.0M HCl extraction; [¶]Total content extracted by aqua regia

表 3.2-2、韓國歷年對關閉礦場和工業區附近農地土壤重金屬
監測結果(平均值與範圍值)

年度	樣品數	類別	單位(毫克/公斤)					
			砷	鎘	銅	鎳	鉛	鋅
2000	600	關閉礦場	3.68 (tr-62.0)	0.59 (tr-8.60)	17.88 (tr-306.0)	0.99 (tr-55.5)	22.61 (tr-5573)	34.6 (tr-429)
2004	600	關閉礦場	1.88 (tr-43.4)	0.46 (tr-5.55)	13.88 (tr-292.0)	30.5 (2.9-2073)	14.81 (tr-403)	161.4 (tr-1789)
2001	600	工業區	1.02 (tr-22.7)	0.28 (tr-25.9)	9.16 (tr-324.8)	0.92 (tr-49.5)	9.03 (tr-149.1)	8.30 (0.4-244)
2005	600	工業區	0.44 (tr-7.18)	0.59 (tr-17.9)	6.68 (tr-164.8)	18.8 (1.0-168)	7.04 (tr-97.9)	78.1 (15-1105)

表 3.2-3、稻米中重金屬含量監測結果(平均值與範圍值)

年度	樣品數	場址類別	單位(毫克/公斤)					
			砷	鎘	銅	鎳	鉛	鋅
1999	500	未遭受污染	0.07 (tr-0.27)	0.038 (tr-0.46)	2.74 (0.20-20.8)	0.29 (tr-5.27)	0.28 (tr-1.80)	18.3 (3.1-31.3)
1999	300	已污染(公有)	0.08 (tr-0.43)	0.050 (tr-0.95)	3.59 (0.23-14.8)	0.38 (Tr-3.52)	0.29 (tr-2.86)	20.1 (4.1-32.6)
2000	300	已污染(關閉礦場)	0.10 (tr-1.38)	0.105 (tr-2.13)	3.35 (0.50-8.92)	0.18 (tr-1.61)	0.22 (tr-5.05)	16.3 (5.6-57.3)
2001	30	未遭受污染	0.06 (tr-0.17)	0.011 (tr-0.07)	2.20 (0.80-3.93)	0.12 (0.4-0.49)	0.04 (tr-0.15)	13.9 (6.8-19.3)
最大容許濃度			-	-	0.2(1.0) ^註	-	0.2	-

註：韓國食品藥物管理局於 2000 年前訂定鎘最大容許濃度值為 1.0 毫克/公斤(糙米)與 0.2 毫克/公斤(食米)，2006 年訂定鉛最大容許濃度值為 0.2 毫克/公斤(食米)。

表 3.2-4、韓國 10 種農作物訂定最大容許濃度

種類	鎘(毫克/公斤)	鉛(毫克/公斤)
米	<0.2	<0.2
玉米	<0.1	<0.2
大豆	<0.1	<0.2
紅豆	<0.1	<0.2
馬鈴薯	<0.1	<0.1
地瓜	<0.1	<0.1
甘藍菜	<0.2	<0.3
蘿蔔	<0.1	<0.1
洋蔥	<0.05	<0.1
菠菜	<0.2	<0.3

監測網路系統是要觀察土壤重金屬濃度變化，使用這些資料來作為控制土壤污染之對策，以預防土壤污染。韓國現有 1,500 個監測站，分析的結果每年都會報告並編譯成土壤地下水資訊系統(SGIS：<http://www.sgis.or.kr>)

韓國 3 個廢棄礦場之重金屬砷、鎘、鋅之危害指數(Hazard Index 簡稱 HI)依表 2-5 顯示，砷、鎘項目係大於 1，癌症風險評估結果如表 2-6。在風險評估之過程中之每個步驟都存有不確定性，因此，在我們開始計算風險時，我們須了解在此種風險預測所存在的不確定性本質和大小。

表 3.2-5、廢棄礦場之重金屬危害指數(Hazard Index)

礦場名稱	砷	鎘	鋅
Okdong	8.88	1.11	0.44
Dokok	0.11	3.45	0.03
Hwacheon	5.38	0.97	0.57

表 3.2-6、3 個廢棄礦場癌症風險評估值

礦場名稱	稻米	土壤	地下水
Okdong	8.5×10^{-4}	1.3×10^{-6}	7.1×10^{-4}
Dokok	n.a	8.5×10^{-7}	1.9×10^{-5}
Hwacheon	8.2×10^{-4}	1.2×10^{-6}	1.3×10^{-4}

韓國最近採用土壤和植物管理方式來預防重金屬從污染農地土壤轉移至食米。土壤管理部分包含使用土壤改良劑、肥料和灌溉控制、土壤覆蓋、翻轉及土壤層混合等方式。在植物管理篩選稻米品種尋找累積性和排除性的稻米品種。執行實驗室和溫室兩種實驗去評估化學改良劑的影響，如零價鐵(ZVI)、石灰、堆肥及組合的方式，來改善 Geopnug 廢棄礦場的鎘污染農地土壤。化學改良物降低土壤溶液中有效性鎘濃度，降低效率依序為堆肥>零價鐵>石灰>液化腐質土(圖 3.2-1)。阻止稻米吸收鎘之方式，以連續浸泡土壤的效果比間歇灌水的方式較好。由石灰和堆肥所組成的氮磷鉀肥料，阻止鎘移轉至稻米有較好的效果。

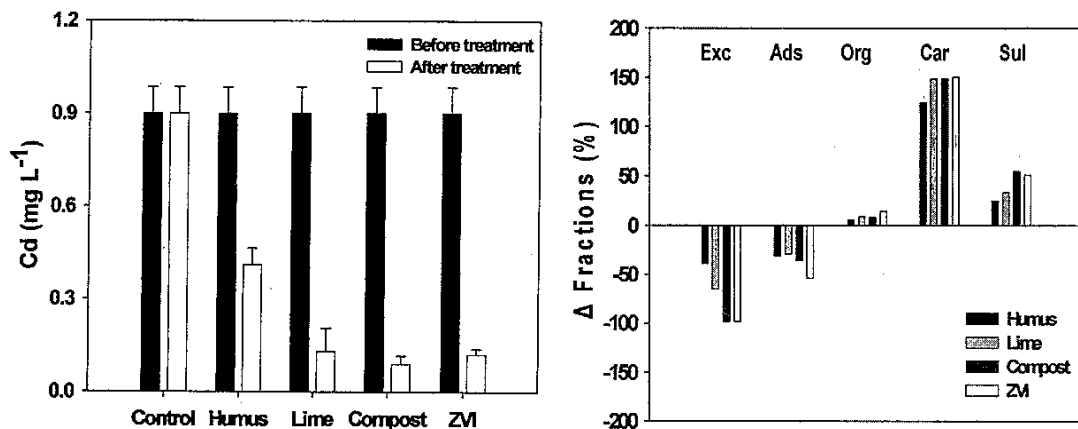


圖 3.2-1、利用化學改良劑(零價鐵、石灰、堆肥及組合方式)降低土壤溶液中的有效性鎘濃度

磷肥的施用量 30 公斤/10 公頃，可將糙米中之鎘從 0.9 毫克/公斤降至 0.5 毫克/公斤，深耕土壤至 60 公分可將糙米鎘含量從 0.8 毫克/公斤降至 0.3 毫克/公斤。這些管理方式同

時亦可增加稻米產量，結果顯示用這種傳統的土壤管理方式改善重金屬污染土壤，除可以增加產量外，還可預防食用作物之重金屬污染。

篩選 24 種稻米品種以比較鎘之累積性，印度品系之稻種米有較高之累積性，但鎘仍低於 KFDA 之食品安全標準。另一方面，日本品系之稻種米對鎘的累積性低，這些稻種被篩選出來種在污染土壤環境而重金屬濃度仍在食米安全使用範圍內。

以土壤污染管制標準和食品安全的限量標準來計算，要被改善之最大鎘含量可被預估如表 2-7(以土壤污染之鎘管制值為基準)，表土之鎘含量為 4800 克/公頃(以安全標準和生物質為基準)，稻米所吸收的鎘總量為 2 公克/公頃，稻米中鎘含量佔土壤中鎘含量的 0.04%。基於這些推測採用改善行動只為了移除污染土壤中 0.04%的鎘，所以我們要思考土壤和稻米之標準應如何訂定才是正確的設計，這些標準係以風險或濃度為基準訂定，在設定標準時兩者應有明顯區別。

表 3.2-7、預估污染土壤及污染食品中需進行改善之最大鎘含量

考量的參數因子	估計值
韓國土壤污染管制標準(矯正啟動值)	4 毫克/公斤
10 公分內表土之鎘標準(當土壤容積密度為 1.2 克/立方公尺時)	4,800 公克/公頃
KFDA 所訂稻米中最大容許值	0.2 毫克/公斤
稻米總生產力(稻穀、稻稈、根)	10,000 公斤/公頃
稻米安全指引基準總含量	2 公克/公頃
稻米/土壤中之鎘含量比率	$(2/4800)*100=0.04\%$

3.3 日本在土壤重金屬污染的新整治方法和研究經驗(內容詳如附錄 1-1 論文集 K3-3, p.50)

日本早期在 1960 年代因二次大戰期間及戰後發展工業所需，大量開採礦山或煉製機具、武器時，所產生之鎘經隨意丟棄或透過空氣污染飄落農田中，造成了眾所皆知的「痛痛病」。日本隨即於 1970 年訂定「農業用地土壤污染防治法」，以防止特定有害物質對人體健康造成損害，其中公告的項目包括鎘、銅及砷 3 項。另 1970 年之食品衛生法訂定糙米的安全限量標準為 1 毫克/公斤。

2002 年制定「土壤污染對策法」，分別訂定溶出標準及全量標準兩種標準。當一樣品檢驗出超過其中任一標準，即需進一步再做後續調查或淨化處理。管制項目則包括重金屬、VOC、農藥等約 30 種化學物質，但並未包含本次所討論之重金屬鎘。

日本和世界各地的土壤重金屬背景濃度值如表 3-1 所示(含土壤重金屬濃度之平均值及範圍)，範圍相當廣，最低值和最高值之比值差異高達 100 倍以上。日本土壤重金屬的背景濃度和世界各地土壤很相似，代表日本的土壤污染並無特殊因素。耕地土壤之重金屬污染主要係因礦場廢水拿來用做當地灌溉水所引致，以及從非鐵金屬煉製廠的排放所造成。人體的重金屬暴露風險主要係因食入污染土壤所種植的農作物以及飲用被某些有害金屬污染的水所引起。

日本政府所訂定之「農業用地土壤污染防治法」與「土壤污染對策法」所管制物質及重金屬最大容許濃度彙整如附表 3-2。「土壤污染對策法」中的管制項目，基本上是適用於所有土壤，包含農地土壤與不同化學有害物質或高科技工廠場址。

表 3.3-1、日本和世界各地土壤的重金屬背景濃度表

單位：毫克/公斤

重金屬項目	表土		農地土壤 ^{b)}	糙米 ^{b)}
	日本 ^{a)}	世界 ^{c)}		
鉻 Cr	58 (1.4-233)	63.7 (1-1500)	64	-
鈷 Co	18 (0.2-31.3)	9.62 (0.1-275)	9	-
鎳 Ni	26 (0.2-107.4)	22.92 (0.2-3240)	39	0.19
銅 Cu	48 (0.9-234.9)	21.61 (1-323)	32	2.9
鋅 Zn	89 (2.5-331)	65.84 (3-770)	99	19
砷 As	11 ^{b)} (0.4-70)	8.93 (0.07-95)	9	0.16
鉬 Mo	1.3 (0.1-8)	2.10 (0.2-17.8)	-	-
鎘 Cd	0.3 (0.02-3)	0.48 (0.01-4)	0.45	0.07 ^{d)}
汞 Hg	0.3 ^{b)} (N.D-5.4)	0.13 (0.004-1.5)	0.32	0.013
鉛 Pb	24 (1-1098)	29.85 (1.5-286)	29	0.19

註：括號內代表範圍值、a)請參閱 Yamasaki(2001)、b)請參閱 limura(1981)、c)請參閱 Kabata-Pendias、d)請參閱 MAFF(2002)

表 3.3-2、日本土壤管制項目與最大容許濃度表

單位：毫克/公斤

重金屬項目	土壤污染對策法		農業用地 土壤污染防止法
	土壤濃度標準	土壤溶出標準	濃度標準
鎘 Cd	≤ 150	≤ 0.01	<1(糙米)
砷 As	≤ 150	≤ 0.01	<15(水稻田)
銅 Cu	N.D	N.D	<125(水稻田)
鉻 C ⁴⁺	≤ 250	≤ 0.05	N.D
鉛 Pb	≤ 150	≤ 0.01	N.D
汞 Hg	≤ 15	≤ 0.0005	N.D
Alkyl Hg	N.D	N.D	N.D
矽 Se	≤ 150	≤ 0.01	N.D

1. 土壤污染管制法亦包含氟及有害有機物質
2. 萃取自 1M 鹽酸，土壤/溶液(w/v)%=3
3. 萃取自水，土壤/水(w/v)%=0.1
4. 分析方法與標準係依據環境品質標準(MOE,1991)
5. 萃取自 1M 鹽酸，土壤/溶液(w/v)%=0.2
6. 萃取自 0.1M 鹽酸，土壤/溶液(w/v)%=0.2

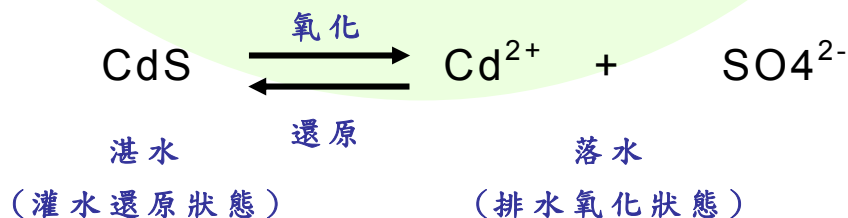
法律中所謂”鎘污染農地”係指會生產超過 1 毫克/公斤鎘含量糙米的農地。2006 年 FAO/WHO 提議食米鎘之最大容許濃度為 0.4 毫克/公斤。因此研發低成本、有效的、有前景的改善技術去整治鎘污染農地土壤以取代現行土壤整治方法是一件急迫的事情。一般推論，日本民眾 34~50%的鎘吸取量是來自稻米，所以降低農地土壤及稻穀鎘的含量是重要的，可降低鎘的風險及確保日本民眾的主要食用作物安全。

日本之灌溉水、放流水、生活污水系統皆為分流排放，不會混在一起，所以其農地土壤之污染型態和台灣地區不同。

日本現今已研發出數種整治方法以避免稻米鎘污染，包括傳統耕種方法與新興整治技術，茲分述如下：

(1) 傳統整治方法-湛水管理：

湛水管理是一種避免稻米鎘污染的普遍且具有成本效益之耕種方法，係以水量控制稻米對鎘的吸收，其原理是在稻米出穗前後各 3 週間，讓稻米保持在浸水(滿水)的狀態下，造成土壤之還原環境，以改變土壤溶液中鎘之化學型態機制，形成硫化鎘沉澱(CdS)，降低鎘之生物有效性，有效抑制稻米對重金屬鎘的吸收能力，減少產生鎘米的機會。此種管理方法效益高且整治成本僅為客土法成本之 50%。惟湛水狀態下會造成農民收割機具操作上的困難，並產生甲烷，對溫室效應造成影響。



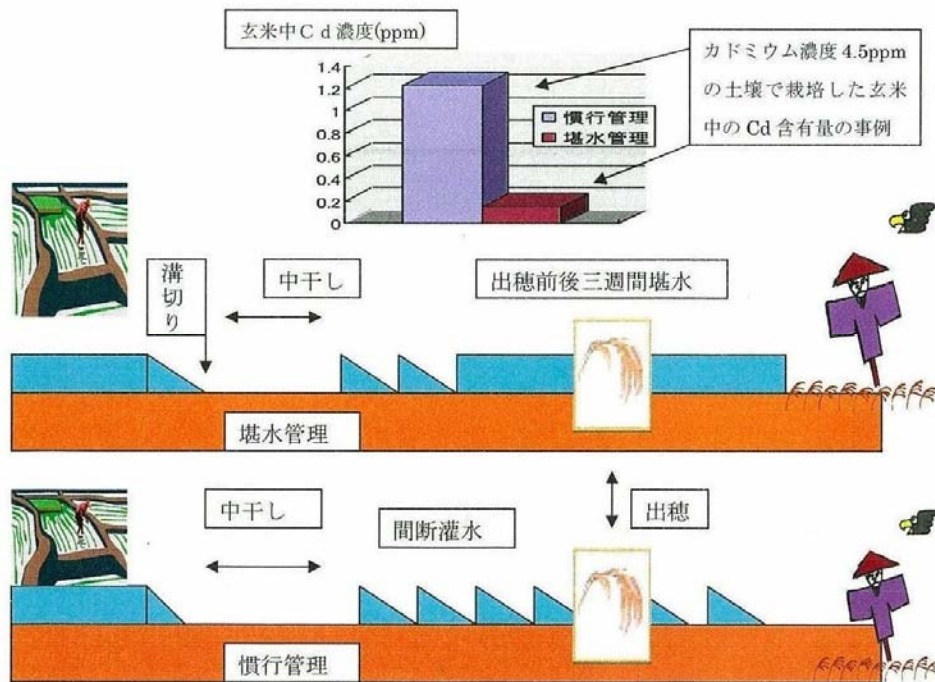


圖 3.3-1、湛水管理原理示意圖

(2) 傳統整治方法-土壤整治法

有很多土壤整治方法可用來改善污染土壤，包括：①鋪設未污染土壤在污染土壤上方；②移除污染土壤，用非污染土壤回填；③污染土壤層和非污染土壤翻轉。根據後來許多的調查發現，只要經整治後，未污染土壤的厚度達 20~40 公分，土壤整治方法將是一個非常有效降低稻穀鎘含量的方法。然而，這種方法成本高且愈來愈難以取得未污染土壤，且對環境衝擊較大，就算施以資材仍需 20-30 年土壤改良後方能回復原地力產量。



圖 3.3-2、土壤整治方法示意圖-上層污染土壤與下層乾淨土壤置換

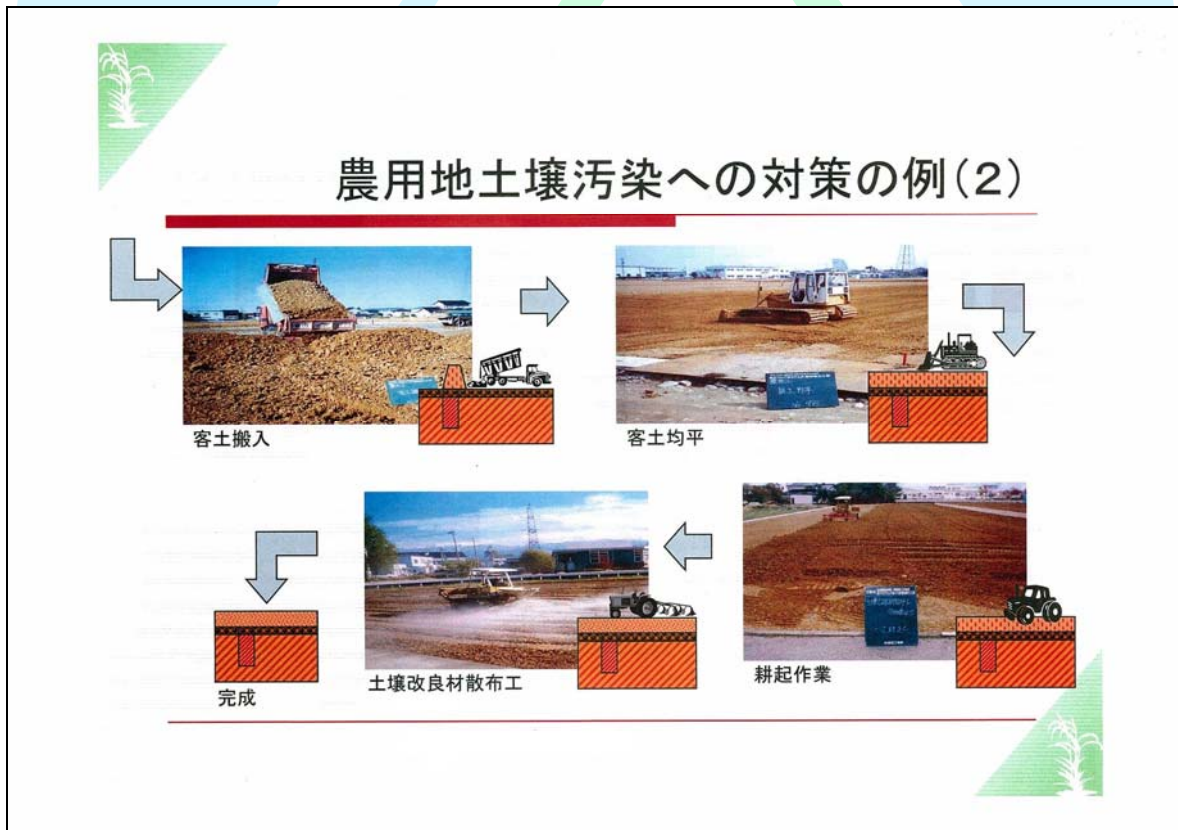


圖 3.3-3、土壤整治方法示意圖-以乾淨土壤覆蓋

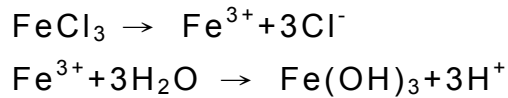
(3) 新興整治技術-植生復育法

最近植生復育法之所以吸引人們的注意，是因其成本效益和環境友善性，且可移除土壤中不同的有毒物質。植生復育法有許多不同的型態，如植生萃取、植生揮發、植生穩定及根鬚過濾，其中植生萃取是最普遍之技術。在日本密集測試這 4 種植生復育方法，研究不同植物品種對於土壤中鎘之吸收能力，研究發現日本-印度系的混種長香穀、密陽 23 號稻米(產量高但品質口感不好)及印度系稻種比日本系稻種有較高的鎘吸收能力。收割後將其稻穀之澱粉作為工業用途之酒精，稻桿及葉則進入焚化廠，在稻梗中之重金屬，經焚燒後集中在飛灰(Fly ash)，再以固化或水泥原料回收。雖然還有很多植物有很好的鎘吸收能力，但牽涉到旱田水田交替的問題，旱田要變成水田需耗時甚久。另一方面，不論是那一種稻米品種，其耕種方式幾乎相同且為農民所熟悉，只要經過施以 2-3 期作之耕種，即可完成改善(改善期程將依土壤污染程度的不同而改變)，水田即可被種植商業品種的稻米。據瞭解，改善期間，環境省與農林水產省將共同負擔改善與補償經費，每公頃成本約 60~75 萬日圓(台幣約 19~25 萬)，約為土壤整治法成本之 1/3~1/5。

(4) 新興整治技術-土壤淋洗法

土壤淋洗法為較傳統之離場改善方法，使用萃取劑將有害金屬從土壤移至土壤水溶液。然而現場土壤淋洗技術應較適合水田土壤情況，水田因有犁底層可阻止水向下移動，因此淋洗液停留在表面土層。Ogawa 等(1985)用 HCl 批次方法淋洗，確認糙米之鎘濃度降低；Nakashima 與 Ono(1979)及 Takilima 等(1973)用 EDTA 及 HCl 執行現場水洗試驗，確認這些水洗劑對移除土壤中鎘是有效的。這些化學物質本身是有害物質，所以不能被使用在水田中。土壤淋洗法要實際在農地上使用需符合下列原則：①高效率且低環境負荷；②淋洗液和廢液處理系統可以應用在水田情況；③地力和食用作物的生長不會受到淋洗很大的影響；④淋洗的效果可持續一段時間。中性鹽類的萃取效率比強酸低，氯化鐵(FeCl_3)之萃取能力為強酸和 EDTA 之 90%，萃取效率高且具環境友善

性被選為萃取劑。



質子釋放至反應液中降低土壤之 pH 值，而低 pH 值加強了土壤鎘的萃取效率。因此， FeCl_3 不似其他中性鹽類，由於透過加水分解產生質子，有較大的萃取率可運用。

處理過的廢水中鎘濃度遠低於日本的环境品質標準 (0.01 毫克/公升)，證明這個技術對現地處理廢水是有效的。經過 3 次水洗後，氯離子的濃度小於 500 毫克/公升，這濃度為健康食米之閾值，使用 MINT EQ 軟體，顯示形成 CdCl_2 化合物，如此從土壤中萃取出之鎘會增加，並決定鎘的化學物種。

已淋洗土壤之鎘含量為未淋洗土壤之 55% (如圖 3.3-4)，淋洗可明顯降低土壤鎘濃度。土壤經過現場水洗設備後，含水量、KCl、pH 值明顯降低，土壤導電度增加，然而仍未到達稻米開始延緩的臨界值，因為淋洗所需可交換陽離子減少，藉由添加肥料到淋洗過之土壤，以保護鎂與鉀的流失，碳與氮含量並未因淋洗而改變；總而言之，雖然某些土壤性質改變但可輕易修正，並不影響相關地力。

由圖 3-5-5 可證明，土壤淋洗法能有效降低稻稈及糙米的鎘含量，鎘濃度從 0.91 及 0.31 毫克/公斤濃度降低至 0.18 及 0.053 毫克/公斤。

FeCl_3 現地淋洗土壤，配合現地淨水處理設備，可有效降低鎘米 60~70% 之產生率，成本約為土壤整治法的 50%，對環境的二次危害也較低，一個改善期程只需 3 天即可完成。

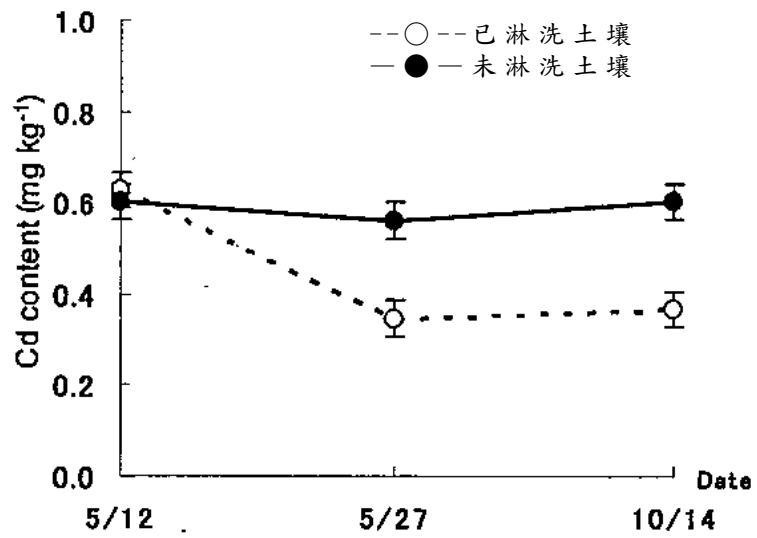


圖 3.3-4、已淋洗土壤與未淋洗土壤中鎘濃度比較

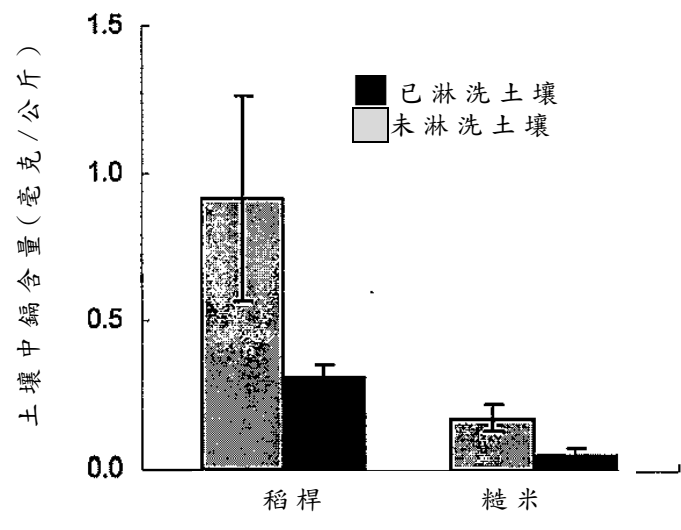


圖 3.3-5、已淋洗土壤與未淋洗土壤之稻桿與糙米中鎘濃度圖

結論：湛水管理方式不論在成本、時間與技術門檻上均較低，適合農業單位北彰化地區已完成土壤改善但仍產生鎘米之高污染潛勢區推廣。

3.4 日本土壤農作物重金屬資料的發展(內容詳如附錄 1-1 論文集 O2-1, p.73)

在獨立行政法人農業環境技術研究所(NIAES)中之自然資源資料中心(NRIC)已發展出土壤資源資料(SRI)為一必須工具，現在已經進一步擴充至“農業環境資源資料”。土壤資源資料擁有詳細而精確的資訊，如土壤分布(土壤地圖)、土壤剖面描述、土壤理化性質等，同時包含耕地土壤的農作物重金屬分析資料。目前對污染土壤的重金屬調查、食物重金屬污染之風險分析以及研發降低減輕重金屬污染的技術等而言，土壤資源資料被認為是一個重要的工具。日本環境省在1978~1982年間委託日本土壤學會進行耕地及森林土壤之重金屬背景調查，土樣從全國687個採樣點之表、裡土收集而來，這個調查計畫之結果被當作是全日本耕地土壤重金屬背景值。

3.5 韓國在水田土壤稻米的重金屬生物有效性和安全議題(內容詳如附錄 1-1 論文集 O2-2, p74)

全國水田土壤的砷、鎘、銅、鉛、鋅平均濃度分別是0.66、0.08、3.83、4.82、4.33毫克/公斤，低於韓國土壤環境保護法的管制值，而採自和土樣相同場址的稻米所測得鎘、銅、鉛、鋅平均濃度為0.011、2.20、0.041、13.9毫克/公斤，兩年試驗結果顯示影響米中鎘含量的限制因子為礦渣棄置廠的鎘含量，細粒土壤的鎘含量較粗粒土壤高。鎘溶出的主要種類為 Cd^{2+} 、 $CdCl^+$ 及 $CdSO_4(aq)$ 。但這些項目並非和米中鎘含量正相關，現場試驗顯示日本系稻種屬於低累積性，而印度系品種及印度日本混種係屬高累積性，稻米品種比土壤物理化學性質及農地管理方式更會影響鎘傳送至稻穀，預測米吸收鎘之模式為

$$[\log(\text{Rice Cd}) = -1.60 + 1.11 \log(\text{total soil Cd}) - 0.014(\text{soil OM, \%}) + 0.18(\text{pH}) - 0.03(\text{soil clay, \%})]$$

($R^2 = 0.404^{***}$) (使用108個收集自關閉礦區的土壤和稻穀樣本)

3.6 台灣地區污染農地土壤種植不同稻種的重金屬吸收情況(內容詳如附錄 1-1 論文集 O2-3, p.75, 簡報如附錄 1-5)

「台灣地區污染農地土壤種植不同稻種的重金屬吸收計畫」這個計畫選擇在彰化市和美鎮及鹿港鎮等 8 個高濃度鎘、銅、鎳、鋅污染農地，以在台灣地區常栽種的日本、印度及糯米 3 種主要稻種、12 個品種進行種植試驗。

2005 年的一、二期作的試驗結果：

- (1) 比較 0.1M HCl、0.43M HNO₃、0.1M EDTA 土壤萃取液，在萃取土壤中重金屬相關性很高且機率亦相近。
- (2) 不同稻種吸收重金屬之效率不同，印度系比日本系更容易吸收重金屬，特別是糙米中的鎘。糙米中的重金屬含量依序為鋅>銅>鎳>鉻>鉛。
- (3) 雖然某些區域之土壤鎘含量未達食用作物農地之堅測基準，但印度系稻種之糙米鎘含量超過食米安全限量標準。
- (4) 為了未來新的食米安全規定，建議印度系應種在土壤鎘含量低於 0.6 毫克/公斤之土壤，日本系稻種則應重在土壤鎘含量低於 1.2 毫克/公斤之土壤中。
- (5) 稻米吸收鎘的能力受土壤中高濃度的鋅影響，顯示鋅會抑制鎘的吸收率。

在彰化地區的試驗結果顯示，土壤萃取的方法、pH 值、有機質及 CEC(陽離子交換常數)將明顯影響不同稻種的鎘吸收率。用 0.01M CaCl₂ 萃取液萃取方法和酸萃取液及王水消化法比較其預測鎘吸收和 pH 之關係較低。

用 0.01M CaCl₂ 萃取方法顯示在台灣水田土壤種植不同稻種其鎘吸收率有一穩定結果，且印度系稻種不適合種於海沉積土壤及鎘污染土壤中。

表 3.6-1、土壤-植物之屏障效果

Group	重金屬項目	風險	備註
Group1	銀、鉻、錫、銻、鋳、鈮	little	因在土壤中低溶解性，幾乎不被植物吸收
Group2	砷、汞、鉛	minimal risks to human health	被土壤膠體強力吸附，也可能被植物根部吸附，但不容易被輸送到可食用組織
Group3	硼、銅、錳、鉬、鎳、鋅	little risk to human health	容易被植物吸收，對植物有毒害性
Group4	鎘、鈷、鉬、硒	human and animal health risk	容易被植物吸收，對植物沒有毒害性
資料來源：Chaney(1980) soil-plant barrier			

表 3.6-2、作物吸收土壤鎘的因子

因子	影響作物吸收鎘之效果
土壤	
1. pH	隨pH值降低而吸收量增加
2. 土壤鹽分	隨土壤鹽分增加而吸收量增加
3. 土壤鎘的含量	隨濃度增加而吸收量增加
4. 土壤吸附重金屬能力	隨吸附力增加而吸收量降低
a. 有機質	高含量土壤有機質一般應降低吸收量
b. 陽離子交換能量	高CEC會減低吸收量
c. 黏粒、鐵及錳氧化物	土壤存有黏粒、鐵及錳氧化物會降低吸收
5. 微量元素，如缺鋅	增加吸收量
6. 巨量元素：銨、磷酸根、鉀	可能會增加或降低吸收量
7. 溫度	高溫會增加吸收量
8. 通氣狀態，如：浸水狀態	減低吸收量
作物	
1. 物種及品種	葉菜類 > 根菜類 > 穀類 > 水果類
2. 植物組織	葉 > 穀，果實及食用根
3. 葉齡	老葉 > 新葉
4. 元素的交互作用	若土壤存有鋅時會降低鎘的吸收

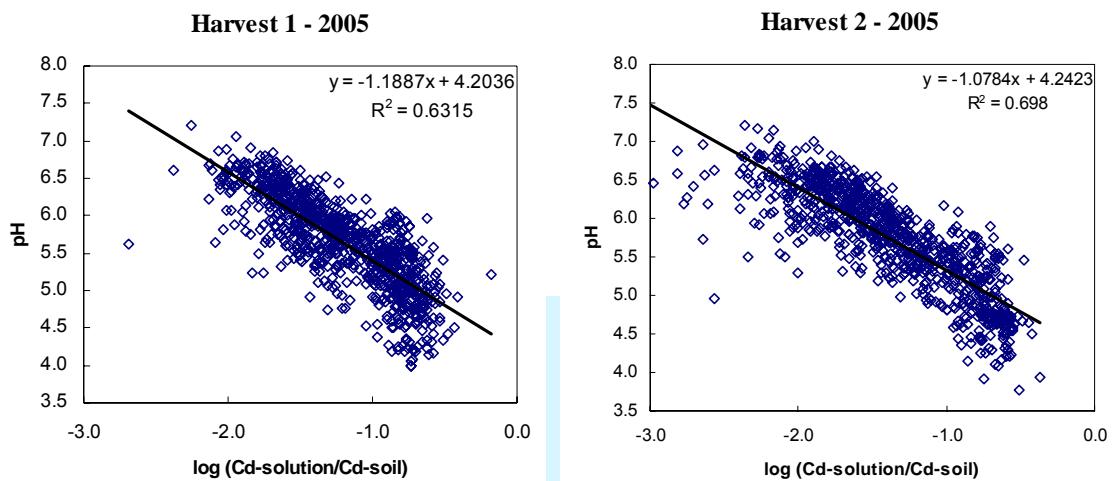


圖 3.6-1、彰化土壤之 pH 值和鎘活性之關係圖

表 3.6-3、彰化試區 2005 年 1、2 期作水稻根域土壤王水消化法重金屬含量

	Copper				Zinc				Cadmium			
	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.
LK1	55	463	174	95	186	1208	511	305	0.07	0.68	0.33	0.13
LK2	80	488	179	99	161	932	303	130	0.13	1.18	0.31	0.13
HM3	75	402	135	69	230	940	359	116	0.33	1.99	0.73	0.27
HM4	59	496	136	82	232	1075	438	185	0.32	2.65	1.04	2.54
HM5	61	546	113	67	232	909	329	106	0.21	1.92	0.51	0.25
CH6	77	763	130	98	304	925	432	89	0.30	1.03	0.56	0.14
CH7	71	886	315	228	211	951	460	218	0.17	1.03	0.43	0.15
CH8	102	465	163	37	209	606	288	57	0.21	1.36	0.44	0.15
monitoring control value			120				200				2	
			200				600				5	
	Chromium				Nickel				Lead			
	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.
LK1	45	188	94	34	26	190	60	29	19	161	52	28
LK2	58	329	130	63	57	384	209	72	19	114	31	14
HM3	71	303	121	48	56	343	158	51	24	72	33	7
HM4	68	423	153	69	74	418	194	74	23	60	33	6
HM5	77	436	154	69	112	379	176	49	24	73	36	7
CH6	68	337	116	39	67	363	177	30	31	91	62	13
CH7	51	191	101	33	61	236	138	38	24	68	35	8
CH8	44	134	66	14	35	202	51	19	36	112	55	9
monitoring control value			175				130				300	
			250				200				500	

表 3.6-4、桃園、新竹地區 2006 年 1 期作水稻根域土壤王水消化法重金屬含量

	Copper				Zinc				Cadmium			
	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.
PDA	50	246	125	24	205	555	421	49	5.3	20.9	13.7	2.0
PDB	42	164	59	19	245	485	306	47	9.7	27.8	14.3	3.4
PDC	31	68	54	6	137	260	221	20	4.5	6.8	5.6	0.5
PDD	26	62	36	5	133	390	177	37	4.0	21.6	6.0	2.5
PDE	36	71	48	8	183	421	262	61	6.6	18.9	10.7	3.6
PDF	27	39	33	2	136	178	150	9	3.7	5.5	4.3	0.4
PDG	26	39	31	3	120	168	144	10	3.4	5.0	4.0	0.4
PDH	24	53	34	6	129	256	175	32	3.3	11.7	5.9	2.2
HC3	24	42	31	24	63	160	92	17	1.7	6.8	2.6	0.8
HC4	114	298	201	42	111	297	197	41	0.1	0.6	0.4	0.1
HC5	49	300	110	55	42	230	117	37	0.1	0.5	0.2	0.1
monitoring control value			120				200				2	
			200				600				5	
	Chromium				Nickel				Lead			
	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.	min	max	average	stdev.
PDA	39	66	56	5	19	56	32	5	281	770	629	68
PDB	45	66	55	4	21	40	30	4	384	811	505	72
PDC	42	58	49	4	19	37	28	4	170	390	311	47
PDD	43	59	52	3	20	41	30	4	153	567	219	70
PDE	44	70	54	5	23	47	34	5	263	678	404	121
PDF	46	60	54	4	21	40	30	4	122	161	141	10
PDG	47	60	54	4	21	39	30	4	127	202	156	19
PDH	47	66	55	4	24	43	32	4	86	461	206	108
HC3	54	150	86	19	39	111	67	15	18	36	24	3
HC4	70	259	156	43	49	130	96	16	22	54	35	7
HC5	39	267	101	45	39	139	88	20	15	46	24	7
monitoring control value			175				130				300	
			250				200				500	

表 3.6-5、彰化試區 2005 年 1 期作糙米重金屬含量

Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)						Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)					
		Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb			Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
Tainung No.70	Min	3.3	13.7	0.02	0.10	0.8	na	Tainung No.71	Min	3.0	16.0	0.02	0.09	0.6	na
	Ave.	5.1	26.2	0.10	0.25	2.5	na		Ave	5.1	24.8	0.11	0.26	2.2	na
	Max	8.1	37.9	0.28	0.79	4.2	na		Max	9.4	36.4	0.28	0.92	4.4	na
	S.D.	1.0	5.0	0.05	0.11	1.0	na		S.D.	1.5	4.6	0.05	0.13	0.8	na
Taikeng No.8	Min	3.6	19.0	0.03	0.08	0.7	na	Tainung No.67	Min	3.1	16.1	0.02	0.12	0.5	na
	Ave.	4.9	27.2	0.13	0.20	2.6	na		Ave	4.8	25.2	0.09	0.30	2.2	na
	Max	8.3	37.0	0.35	0.76	5.3	na		Max	9.2	35.3	0.46	5.32	6.0	na
	S.D.	1.0	3.9	0.07	0.10	1.1	na		S.D.	1.3	4.5	0.07	0.60	1.1	na
Tainung No.72	Min	3.4	15.6	0.02	0.10	0.4	na	Tai Sen No.2	Min	3.8	15.8	0.03	0.12	0.6	na
	Ave.	4.7	24.4	0.11	0.25	1.9	na		Ave	6.2	25.2	0.29	0.29	2.6	na
	Max	8.1	39.9	0.24	0.72	4.3	na		Max	12.5	48.0	0.78	2.15	5.5	na
	S.D.	1.2	5.1	0.06	0.11	0.9	na		S.D.	2.1	5.4	0.19	0.25	1.1	na
Kaohsiung No.143	Min	3.6	13.4	0.02	0.12	0.6	na	Sen sticky rice	Min	3.4	15.8	0.04	0.09	0.6	na
	Ave.	5.4	26.4	0.12	0.26	1.8	na		Ave	6.5	24.9	0.26	0.22	2.8	na
	Max	8.9	44.7	0.43	0.77	4.5	na		Max	12.5	42.0	0.85	0.56	6.2	na
	S.D.	1.4	6.6	0.08	0.10	0.8	na		S.D.	2.2	4.3	0.16	0.10	1.2	na
Taitung No.30	Min	3.5	16.2	0.02	0.10	0.5	na	Taichung Sen10	Min	3.9	20.3	0.03	0.11	0.6	na
	Ave.	5.0	25.7	0.10	0.24	2.2	na		Ave	5.9	26.8	0.18	0.22	3.0	na
	Max	9.5	43.3	0.30	0.71	5.7	na		Max	10.8	42.1	0.55	0.80	6.3	na
	S.D.	1.2	4.9	0.06	0.11	1.0	na		S.D.	1.8	4.7	0.10	0.10	1.3	na
Tainung Sen No.20	Min	3.5	16.3	0.03	0.13	0.6	na	Kaohsiung No.144	Min	3.8	19.9	0.01	0.12	0.8	na
	Ave.	5.7	25.6	0.27	0.25	3.3	na		Ave	6.1	29.0	0.12	0.25	2.5	na
	Max	10.0	38.8	0.65	0.50	7.4	na		Max	10.8	46.6	0.45	0.52	5.1	na
	S.D.	1.5	4.2	0.15	0.07	1.5	na		S.D.	1.9	5.6	0.08	0.08	1.0	na

表 3.6-6、彰化試區 2005 年 2 期作糙米重金屬含量

Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)						Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)					
		Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb			Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
Tainung No.70	Min	3.8	13.3	0.02	0.17	1.1	na	Tainung No.71	Min	0.6	2.1	0.02	0.02	0.3	na
	Ave.	5.8	30.4	0.21	0.30	3.6	na		Ave	5.5	29.4	0.16	0.24	3.8	na
	Max	9.1	43.7	1.22	2.38	7.5	na		Max	9.8	50.4	0.61	0.61	9.7	na
	S.D.	1.1	5.9	0.20	0.26	1.5	na		S.D.	1.4	7.9	0.10	0.09	1.9	na
Taikeng No.8	Min	0.1	0.4	0.00	0.13	0.7	na	Tainung No.67	Min	3.0	9.9	0.01	0.13	0.6	na
	Ave.	4.8	27.6	0.15	0.22	3.3	na		Ave	5.0	26.7	0.14	0.30	2.9	na
	Max	7.3	37.7	0.43	0.30	7.7	na		Max	8.9	63.3	0.43	3.24	7.5	na
	S.D.	0.9	5.8	0.10	0.04	1.6	na		S.D.	1.0	7.4	0.09	0.39	1.4	na
Tainung No.72	Min	2.8	14.2	0.00	0.14	0.4	na	Tai Sen No.2	Min	4.7	17.4	0.03	0.14	1.1	na
	Ave.	5.0	27.8	0.15	0.24	3.1	na		Ave	8.1	30.5	0.57	0.38	4.4	na
	Max	9.0	45.3	1.26	0.60	7.4	na		Max	20.0	57.8	1.70	7.61	8.8	na
	S.D.	1.1	5.8	0.20	0.06	1.7	na		S.D.	2.3	6.7	0.39	0.88	1.6	na
Kaohsiung No.143	Min	3.5	17.8	0.01	0.11	0.5	na	Sen sticky rice	Min	3.4	13.3	0.02	0.12	0.8	na
	Ave.	5.6	28.3	0.15	0.24	2.8	na		Ave	7.4	26.9	0.54	0.27	4.1	na
	Max	10.9	44.0	1.11	0.68	6.3	na		Max	12.4	39.5	1.46	1.03	8.9	na
	S.D.	1.5	5.8	0.17	0.08	1.3	na		S.D.	1.9	4.4	0.37	0.12	1.8	na
Taitung No.30	Min	2.7	13.5	0.02	0.10	0.8	na	Taichung Sen10	Min	2.6	15.3	0.04	0.17	0.8	na
	Ave.	4.7	24.8	0.13	0.22	2.7	na		Ave	7.3	28.2	0.44	0.30	3.5	na
	Max	7.6	39.5	1.20	0.39	6.2	na		Max	12.0	51.3	1.58	0.64	7.3	na
	S.D.	0.9	5.4	0.17	0.05	1.5	na		S.D.	2.1	7.1	0.38	0.09	1.5	na
Tainung Sen No.20	Min	2.6	10.8	0.02	0.14	0.7	na	Kaohsiung No.144	Min	4.0	19.4	0.02	0.09	0.9	na
	Ave.	6.3	27.6	0.41	0.28	3.6	na		Ave	6.8	32.2	0.18	0.26	3.8	na
	Max	11.1	50.7	1.35	0.95	8.0	na		Max	10.8	44.4	1.20	0.41	8.8	na
	S.D.	1.8	6.9	0.33	0.13	1.8	na		S.D.	1.6	5.9	0.20	0.05	1.6	na

表 3.6-7、新竹試區 2006 年 1 期作糙米重金屬含量

Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)						Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)					
		Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb			Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
Tainung No.70	Min	4.7	28.5	0.06	0.14	3.9	0.02	Tainung No.71	Min	4.2	21.2	0.07	0.11	2.5	0.00
	Ave.	6.2	31.7	1.18	0.17	6.0	0.07		Ave	5.1	26.3	0.87	0.14	4.8	0.05
	Max	9.2	35.0	3.63	0.21	8.1	0.15		Max	7.0	29.6	2.72	0.18	7.2	0.10
	S.D.	1.4	2.2	1.43	0.02	1.3	0.03		S.D.	0.7	2.6	1.07	0.02	1.5	0.04
Taikeng No.8	Min	4.1	26.9	0.05	0.13	3.0	0.03	Tainung No.67	Min	4.0	25.4	0.10	0.11	3.2	0.02
	Ave.	5.2	29.6	1.12	0.18	5.3	0.08		Ave	5.3	28.5	1.19	0.15	5.0	0.08
	Max	7.7	32.5	3.68	0.27	7.3	0.15		Max	7.5	31.0	4.83	0.19	7.0	0.14
	S.D.	0.9	1.7	1.39	0.04	1.3	0.04		S.D.	1.2	1.8	1.52	0.03	1.3	0.04
Tainung No.72	Min	4.2	25.1	0.05	0.13	2.8	0.01	Tai Sen No.2	Min	4.6	22.4	0.12	0.14	3.1	0.01
	Ave.	5.2	29.4	0.86	0.20	5.5	0.09		Ave	6.5	27.4	2.22	0.19	6.6	0.07
	Max	8.1	36.2	2.91	0.48	9.6	0.19		Max	9.0	33.9	7.64	0.32	10.0	0.15
	S.D.	1.2	2.9	1.09	0.10	2.0	0.05		S.D.	1.4	3.7	2.92	0.05	1.9	0.04
Kaohsiung No.143	Min	4.4	26.5	0.06	0.10	2.1	0.01	Sen sticky rice	Min	5.4	24.6	0.15	0.12	4.5	0.03
	Ave.	5.7	30.4	0.71	0.16	4.3	0.08		Ave	7.7	29.7	2.41	0.19	7.9	0.08
	Max	7.1	37.2	2.31	0.21	6.3	0.14		Max	9.8	40.9	9.48	0.32	12.2	0.19
	S.D.	0.9	2.7	0.89	0.03	1.3	0.04		S.D.	1.4	4.4	3.34	0.06	2.2	0.05
Taitung No.30	Min	4.1	26.3	0.10	0.11	3.7	0.02	Taichung Sen10	Min	4.6	23.4	0.11	0.13	3.7	0.04
	Ave.	5.6	28.6	1.06	0.16	5.7	0.20		Ave	7.2	27.4	1.70	0.15	6.2	0.12
	Max	7.0	31.4	2.91	0.30	7.1	1.14		Max	10.3	34.2	5.42	0.19	9.9	0.32
	S.D.	1.0	1.4	1.13	0.05	1.1	0.36		S.D.	1.7	3.0	2.15	0.02	2.0	0.08
Tainung Sen No.20	Min	4.5	27.2	0.21	0.13	4.4	0.02	Kaohsiung No.144	Min	4.2	25.3	0.09	0.13	3.3	0.01
	Ave.	6.4	30.6	2.20	0.18	8.4	0.16		Ave	6.4	30.7	1.07	0.16	6.5	0.06
	Max	8.9	35.5	6.58	0.27	13.7	0.30		Max	10.2	37.3	3.72	0.19	10.6	0.15
	S.D.	1.4	2.6	2.67	0.04	2.8	0.08		S.D.	1.8	3.3	1.38	0.02	2.2	0.04

表 3.6-8、桃園試區 2006 年 1 期作糙米重金屬含量

Cultivar		Metal (mg kg ⁻¹)						cultivars		Metal (mg kg ⁻¹)					
		Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb			Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
Tainung No.70	Min	3.1	28.4	0.31	0.09	0.1	0.04	Tainung No.71	Min	3.1	27.6	0.72	0.11	0.0	0.01
	Ave.	4.3	33.1	0.90	0.23	0.6	0.20		Ave	4.8	36.7	1.19	0.21	0.5	0.13
	Max	5.7	39.2	1.63	0.51	1.6	0.91		Max	7.1	52.9	1.85	1.26	1.3	0.61
	S.D.	0.7	2.9	0.32	0.10	0.4	0.20		S.D.	1.0	6.3	0.28	0.22	0.3	0.11
Taikeng No.8	Min	0.8	21.1	0.04	0.07	0.0	0.00	Tainung No.67	Min	1.2	22.0	0.09	0.12	0.1	0.03
	Ave.	3.8	30.4	1.03	0.20	0.5	0.13		Ave	4.6	33.7	0.99	0.39	0.6	0.13
	Max	6.1	36.7	2.36	0.45	1.2	0.52		Max	7.2	43.9	2.39	5.23	1.9	0.47
	S.D.	1.0	3.4	0.50	0.09	0.3	0.12		S.D.	1.1	4.9	0.45	0.99	0.4	0.09
Tainung No.72	Min	2.6	22.5	0.42	0.08	0.0	0.00	Tai Sen No.2	Min	3.2	22.9	1.02	0.13	0.0	0.03
	Ave.	4.0	30.6	0.98	0.21	0.4	0.21		Ave	5.2	31.9	2.63	0.20	0.8	0.14
	Max	9.6	37.7	1.71	0.44	0.9	1.36		Max	8.4	45.7	4.66	0.36	2.5	0.32
	S.D.	1.3	3.6	0.35	0.09	0.3	0.32		S.D.	1.1	5.6	0.89	0.05	0.6	0.07
Kaohsiung No.143	Min	1.6	26.3	0.08	0.09	0.0	0.01	Sen sticky rice	Min	3.6	26.1	0.78	0.15	0.2	0.03
	Ave.	4.9	35.3	0.82	0.17	0.4	0.13		Ave	5.8	33.4	3.85	0.19	0.9	0.14
	Max	6.9	43.6	1.82	0.47	1.0	0.64		Max	8.2	40.9	6.52	0.24	1.6	0.29
	S.D.	1.4	5.3	0.36	0.07	0.3	0.12		S.D.	1.0	3.9	1.23	0.03	0.4	0.06
Taitung No.30	Min	3.1	27.1	0.62	0.13	0.0	0.01	Taichung Sen10	Min	3.5	24.7	0.69	0.15	0.1	0.03
	Ave.	4.3	34.0	1.08	0.19	0.6	0.12		Ave	5.5	33.6	3.20	0.20	0.7	0.11
	Max	6.5	44.9	2.47	0.32	1.8	0.35		Max	8.0	42.5	8.06	0.36	1.6	0.23
	S.D.	0.8	4.5	0.40	0.05	0.4	0.07		S.D.	1.2	5.1	1.77	0.04	0.4	0.05
Tainung Sen No.20	Min	2.8	20.9	0.42	0.13	0.0	0.00	Kaohsiung No.144	Min	2.0	26.3	0.11	0.09	0.0	0.03
	Ave.	4.2	26.3	2.03	0.19	0.7	0.10		Ave	4.9	37.3	1.15	0.18	0.6	0.13
	Max	7.9	40.4	4.40	0.53	1.6	0.29		Max	6.9	49.1	2.30	0.32	1.2	0.45
	S.D.	1.0	3.8	1.00	0.08	0.4	0.06		S.D.	1.2	5.6	0.54	0.05	0.4	0.09



表 3.6-9、稻米根、莖、葉、稻穀及糙米之鎘濃度的交互關係

	根	莖	葉	稻穀	糙米
根	1.00				
莖	0.43	1.00			
葉	0.38	0.77	1.00		
稻穀	0.39	0.77	0.78	1.00	
糙米	0.36	0.83	0.71	0.84	1.00

表 3.6-10、稻米不同部位組織之鎘濃度和 5 種方法萃取土壤鎘濃度的關係

	鎘萃取濃度				
	王水消化法	0.05M EDTA	0.1N HCl	0.43M HNO ₃	0.01M CaCl ₂
根	0.61	0.65	0.66	0.67	0.20
莖	0.25	0.27	0.27	0.27	0.38
葉	0.18	0.19	0.20	0.20	0.34
稻穀	0.26	0.28	0.28	0.28	0.39
糙米	0.26	0.27	0.27	0.27	0.33

土壤性質和土壤及土壤溶液中之重金屬有密切關切

Log(重金屬-土壤溶液)

$$= \alpha_1 + \beta_1 * \log(\text{重金屬-土壤}) + \gamma_1 * \log(\text{有機物}) + \delta_1 * \log(\text{黏土}) + \epsilon_1 * \text{pH} [2]$$

表 3.6-11、自土壤理化性質預測糙米中鎘含量

cultivar	R ²	Intersect	pH	log(OM) ¹	log(CEC) ²	log(Cd) (0.01M CaCl ₂)
Tainung No.70	0.492 **	-1.000*	0.129*	-0.091	0.163	0.529*
Taikeng No.8	0.548 **	-1.341*	0.156*	-1.377*	1.338*	0.588*
Tainung No.72	0.480 **	-1.030*	0.086	-1.132	1.190	0.567*
Koushung No.143	0.441 **	-1.031*	0.037	-0.470	0.946	0.536*
Taitung No.30.	0.463 **	-1.116*	0.144*	-1.385*	1.078	0.559*
Tainung Sen no 20	0.522 **	-0.127	0.105	-0.881	0.547	0.643*
Tainung No.71	0.458 **	-1.344*	0.171*	0.390	-0.079	0.511*
Tainung No.67	0.113	-0.975*	0.051	0.259	-0.188	0.241*
Tai Sen No.2	0.565 **	-0.169	-0.043	-1.956*	1.955*	0.567*
Sen sticky rice	0.355 **	-0.406	0.008	0.119	0.350	0.467*
Taichung Sen Np.10	0.343 **	-1.399*	0.126	-0.258	0.696	0.453*
Kaohsiung No.144	0.377 **	-0.870*	0.079	-1.186	1.160	0.580*

* = 5% significance level; ** = 1% significance level

¹ soil organic matter (%);

² Cation exchange capacity (cmol+/Kg)

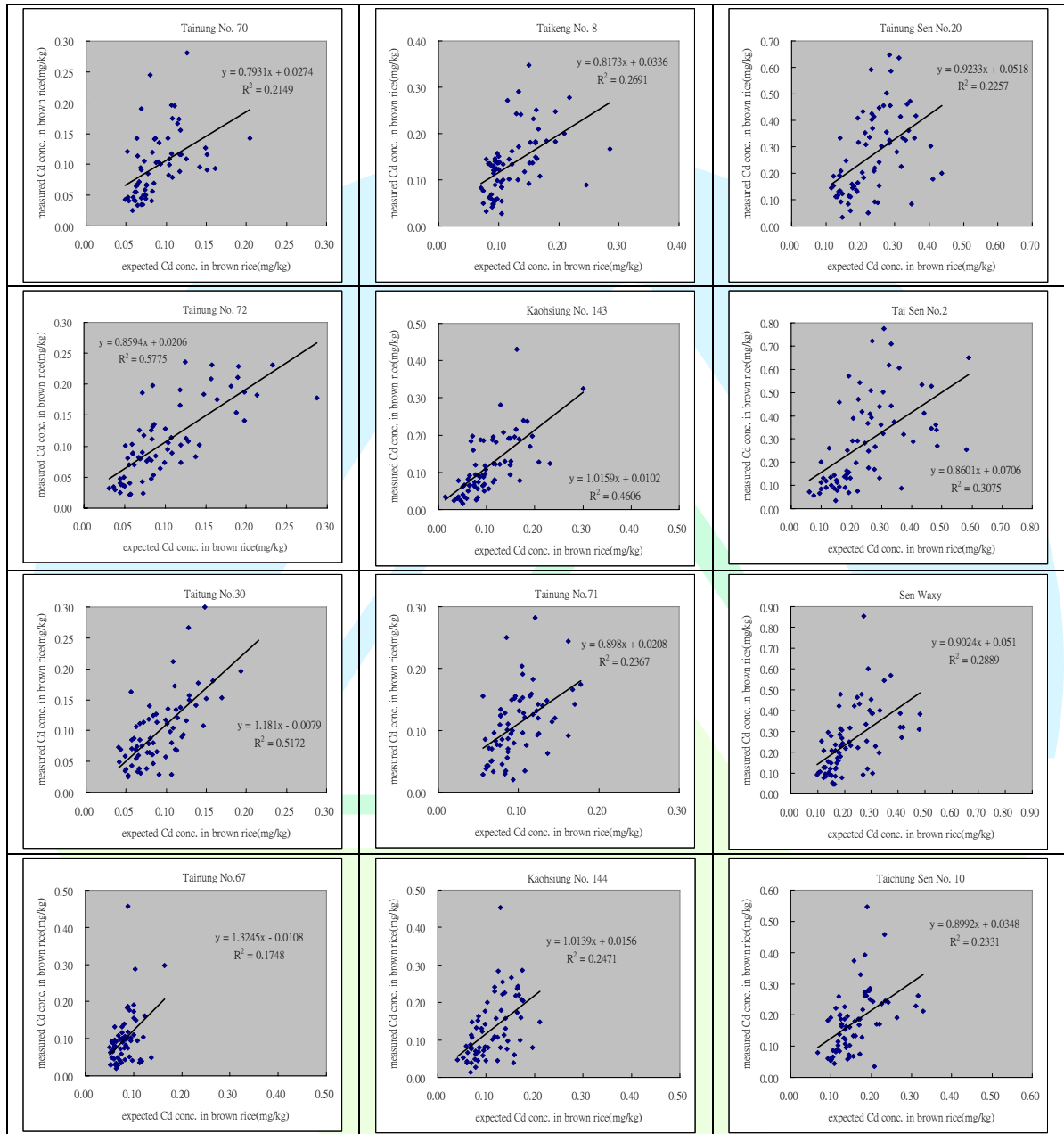


圖 3.6-2、以王水消化法萃取所得糙米中鎘含量之方程式

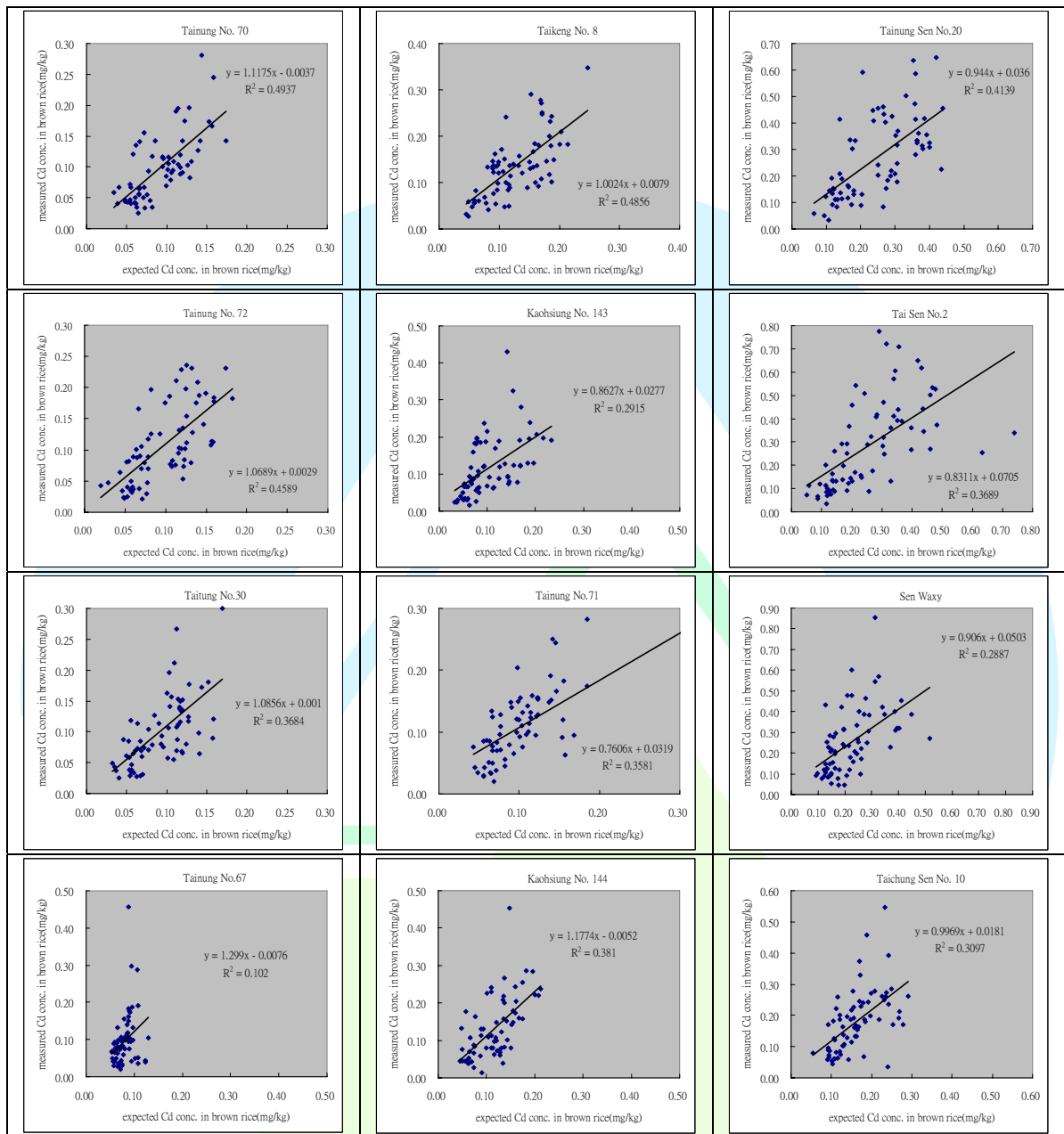


圖 3.6-3、以 CaCl₂ 抽出液萃取方法所得糙米中鎘含量之方程式

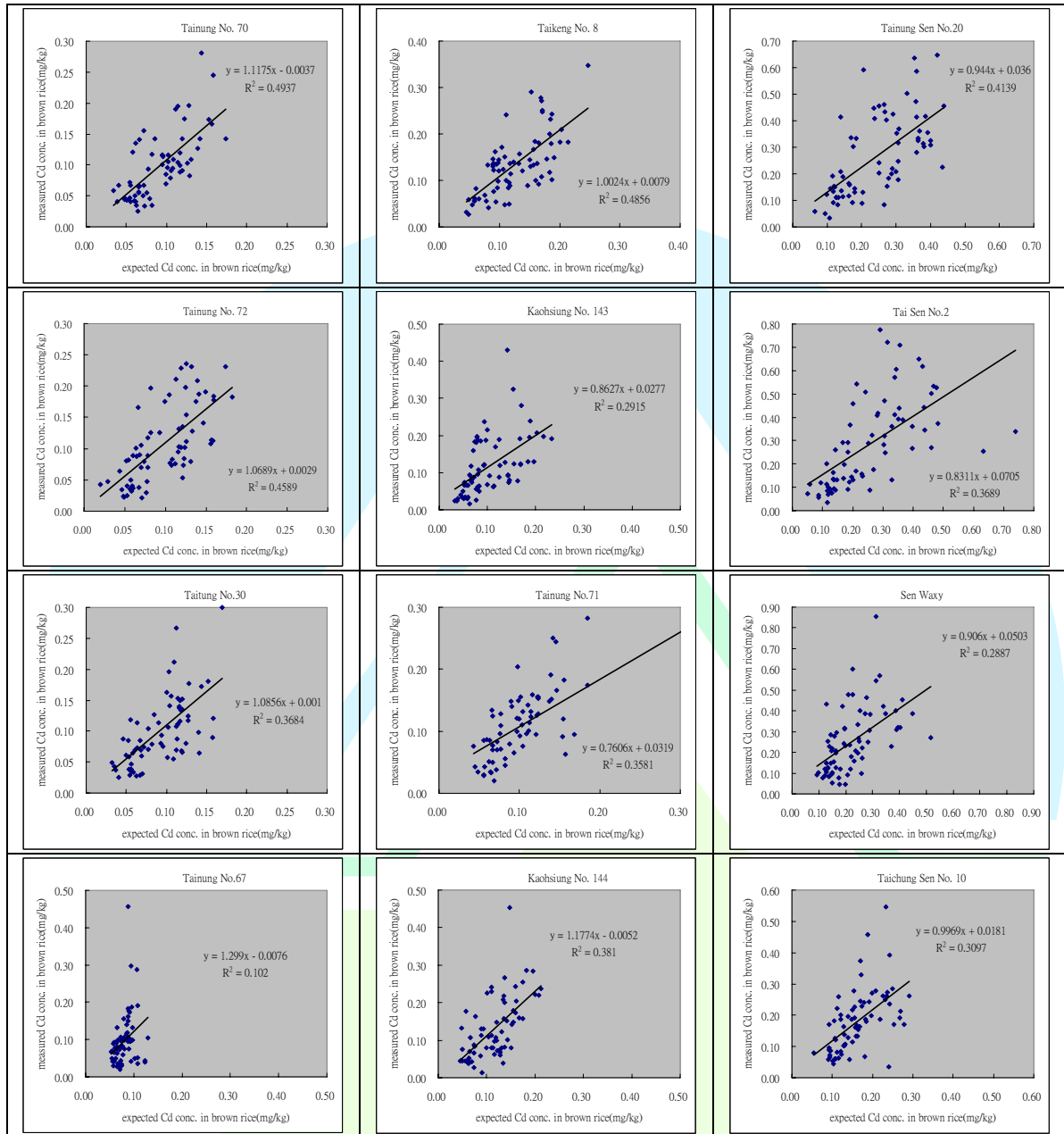


圖 3.6-4、以 0.1M 鹽酸萃取方法所得糙米中鎘含量之方程式

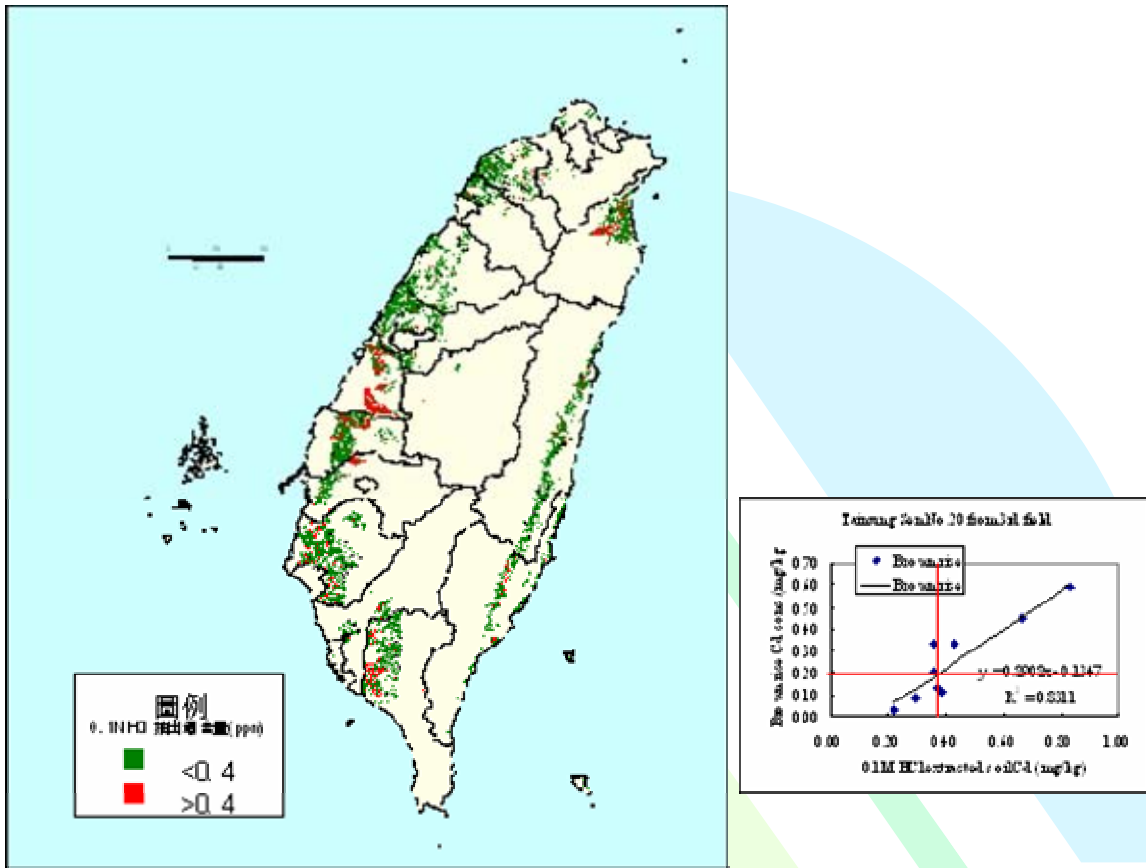


圖 3.6-5、台農私 20 號之糙米鎘之風險地圖

二、拜會與參訪相關行程

本次拜會係透過台北經濟交流協會之安排，拜會對象包括政府機關、財團法人研究單位及民間機構。針對日本土壤污染對策法執行現況與遭遇困難，更進一步交換農地污染整治之最新技術方法，相關討論議題綜合分述如下：

(一) 拜會日本環境省及農林水產省

本次拜會日本環境省，係與水・大氣環境局土壤環境課輔佐寺田剛先生、農用地污染對策系長溯上武士先生及農林水產省消費・安全局農業安全管理課調查系長青木政典先生進行會面，聽取其「土壤污染對策執行現況」(如附錄 2-1)及「抑制水稻吸收對策技術」簡報(附錄 2-2)。

由於日本的農地土壤污染主要是集中在廢棄礦場和金屬煉製廠附近，因其灌溉用水系統、雨水系統、區域排水及下水道都是各自獨立，而台灣地區農地污染則是工廠排放廢污水經由灌溉排水渠道傳輸進入到農田導致，兩國間污染型態大為不同。

日本由於地質條件影響(火山、溫泉、礦山)，目前共有鉛、砷、汞等環境背景值較高，據瞭解此部分係天然因素造成，與台灣北投地區砷污染相同，而日本目前並未進行相關處理。

在面對農地污染與後續處理時，日本環境省、農林水產省與農業環境技術研究所三方有良好的合作關係，各擔任不同角色，主要是由獨立行政法人農業環境技術研究所(NIAES)主要進行整治方法之研發，待技術成熟後轉由農林水產省負責並主導主要政策、鎘米管理及污染改善等相關工作，而環境省之角色則為協助污染源、相關環境介質等之調查及預算支援等工作，整治期間由環境省與農林水產省共同補償農作物，其間之良好互動合作關係，值得台灣效法。

由於日本現行「土壤污染對策法」並未訂定鎘的管制標準值，面對鎘米污染發生係採以稻米中鎘濃度是否大於 1

毫克/公斤來界定農地是否遭受污染。當稻米中鎘濃度大於 1 毫克/公斤時，稻米將由農林水產省銷毀，並採取 3.3 節所介紹之土壤整治方法。當糙米鎘濃度介於 0.4~1 毫克/公斤時，稻米將由政府購回，作為非食用用途，如製作工業用酒精等，農地將由農林水產省協助農民改以土壤改良及湛水管理等方法降低土壤中鎘濃度。

據統計，自 1973 年至 2006 年，日本農地土壤污染面積累積達 6,700 公頃，日本政府已投入 468 億日圓，以土壤整治方法(排土客土法)完成 5,600 餘公頃農地之整治並解除列管，其餘 1,200 公頃正持續進行改善中。然而，取得乾淨土壤成本非常高，於是農林水產省正以低成本之湛水管理方式來抑制水稻吸收重金屬鎘。(該技術及原理詳如 3.3 節)，而台灣地區污染農地中一般多採用農業工程學上翻耕之技術(翻轉稀釋法)，藉由混和淺層及深層土壤，來降低土壤重金屬含量之平均濃度。

另由於 CODEX(FAO/WHO 食品規格委員會)，業將食用作物中鎘限量由 0.5 毫克/公斤下修為 0.4 毫克/公斤，為因應本項標準調降，日本現正收集各界意見，預計於兩年內完成修法。

另一值得關切部分是，日本「土壤污染對策法」中對於須進行土壤調查的時機與對象亦予以規範，包括規定之事業類別在停歇業前需提出土壤污染調查，確認其場址是否遭受污染，並送各地方政府審查；各級地方政府可依實際情形命令有污染之虞者進行調查，此機制與台灣現行土壤及地下水污染整治法第八條、第九條相同，且業界對於土壤及地下水污染調查平時均力行自我檢測，當發生污染事件時隨即進行處理。

(二) 拜會獨立行政法人農業環境技術研究所

獨立行政法人農業環境技術研究所原是日本農商務省在西元 1893 年所設立之農事試驗場，經 1950 改為農業技術研究所、1983 年改為農業環境技術研究所，後改為非特定獨立行政法人農業環境技術研究所，簡稱 NIAES。(簡

介資料如附錄 3-1)

目前 NIAES 仍由農林水產省支持經費致力於自然環境、社會與農業等技術研究與開發，其成立宗旨為：

1. 農業環境各項風險評估
2. 農業生態的自然循環機能研究，與風險管理技術之開發
3. 農業生態的基礎研究

本次拜會由連攜推進室長木村龍介先生與土壤環境研究領域長小野信一先生，解說土壤污染和產生鎘米之關係、農業湛水管理方式與調整土壤 pH 值對預防鎘米之效益等技術議題(簡報資料詳如附錄 3-2)。

對於鎘污染農地之整治，NIAES 已研究出湛水管理、土壤整治法、土壤淋洗法與植生復育法等 4 種整治方法，該 4 種整治方法已如前 3.3 節內容。

(三) 拜會 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社

該公司是控股集團公司旗下之子公司，前身為和同礦業有限公司，成立已 100 餘年，早期以採礦、煉礦為主，然後期礦產開採之有窮，便開始轉型環保事業，改良舊有煉礦設備與不再開採之礦場，運用礦山煉製廠煉製事業作為最基礎處理設施，應用複合式煉製技術，從土壤污染處理到廢棄物中間處理、家電資源回收、最終處置場等，形成全方位環境處理體系。以土壤洗淨技術，有效去除土壤中重金屬污染，結合回收再利用概念，並妥適安定化殘餘廢水與污泥，避免二次污染，以符合永續發展之目標。由於重金屬主要吸附在細小土壤顆粒上，比表面積愈大吸附重金屬能力愈佳，此種方式係利用篩分析技術來達到減量及降低處理成本之目的，最後篩出之細小顆粒再進入掩埋場覆土。(相關簡介資料詳如附錄 4-1~4-4)

本次參訪係由 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社事業部淨化部長尚原聖広先生與笹本直人先生帶領參訪解說

秋田縣花崗之污染土壤洗淨設備、廢棄物中間處理設施、最終處理場等相關處理設施。DOWA 是全日本第 1 個取得土壤洗淨設備認證的單位，每個月可處理 50,000 噸(60 萬噸/年，自 1996 年到目前共處理約 200 萬噸)污染土壤，堪稱全日本最大的土壤淨化工廠。其土壤洗淨相關處理設施如圖 4.3-1 所示，係以礦山・煉製廠煉製事業作為基礎，地區環境相關之複合體(多元化)合作，能將污染處理到最後管理、資源回收一貫作業，專門處理特別難處理的土壤(高密度、黏土性)，並將處理完之土壤做最有效的利用成效。



圖 4.3-1 洗淨設施全景

此設施係採離場處理，主要流程大致上經由土壤篩分、加入界面活性劑予以多階段水洗、沈澱及洗劑回收等，硬體包含多階段水洗槽、固液分離組合及洗劑回收單元等，適用於受重金屬、油污染、農藥與複合式污染土壤，尤其是黏土類土壤亦能整治成功。針對不同污染性質加入介面活性劑，可使污染物吸附於氣泡表面以達分離去除效果(泡沫浮上分離程序)，並利用污染物與土壤比重的不同(比重分離程序)，污染土壤加水後分解破碎，經篩檢分類為粗粒子及細粒子，雖然油脂會附著在土壤粒子表面，但比表面積大的微細粒子部分會有濃縮之情形。分離細粒子部分後，粗粒子部分可以作為乾淨土壤的再利用，洗淨之土壤可回填，有價重金屬粒子可回收再利用。

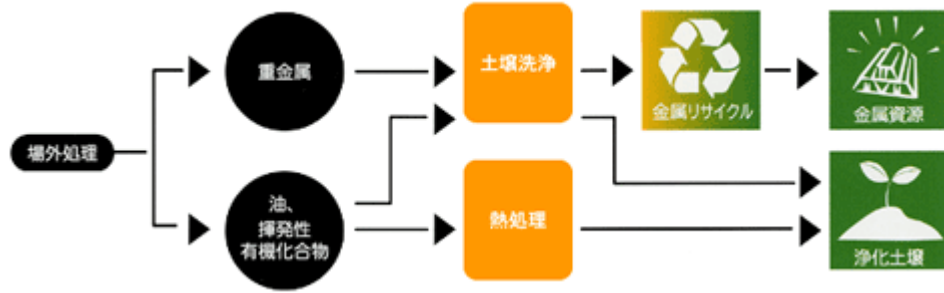


圖 4.3-2 土壤洗淨流程

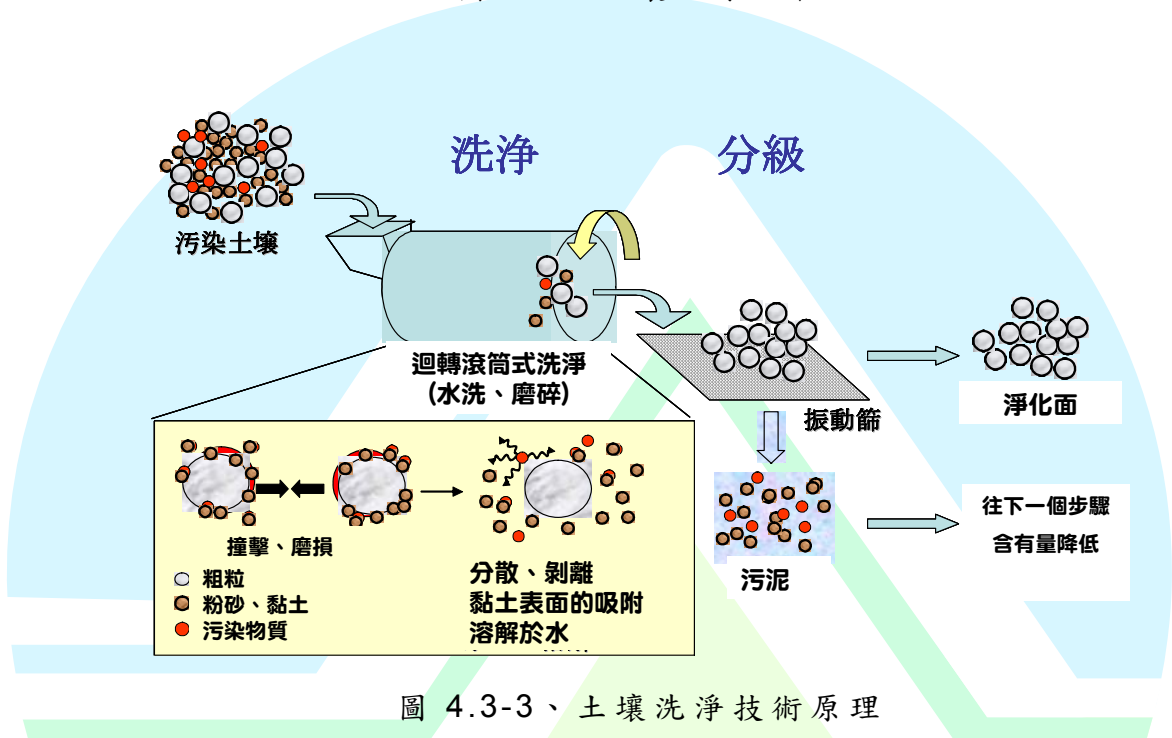
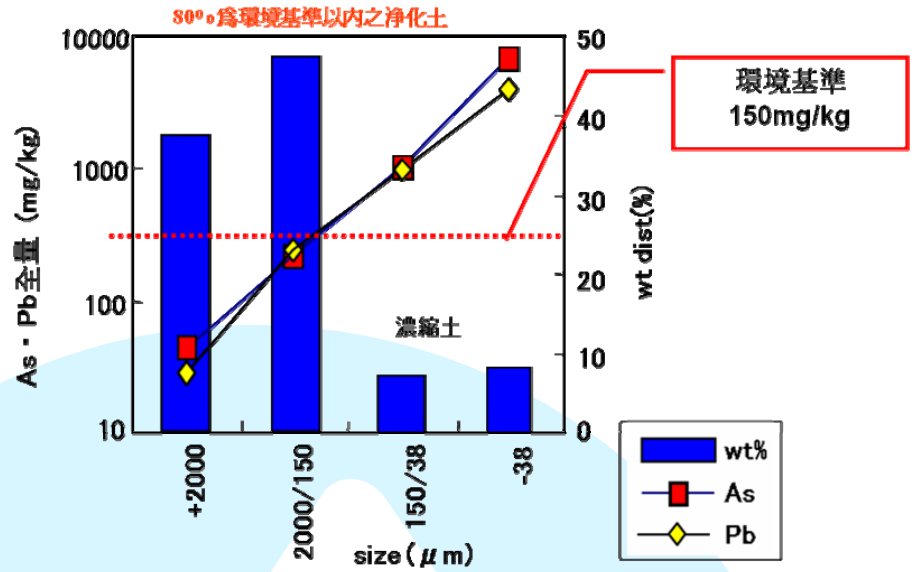


圖 4.3-3、土壤洗淨技術原理

DOWA 亦已發展出一套整合式小型設備，可依照客戶需求，設置不同規模之洗淨設備至現場使用，針對各種污染土壤設定最佳操作條件，不僅同樣適用於多種污染，土壤淨化後可以當場回填，無需搬運到外部處理，所分離之重金屬污染物亦可以回收利用，不會引發二次污染。其每天持續運轉 6 小時則可處理 120 公噸/天污染土壤，除有效控制土壤搬運量以外，並減少大型車輛的出入以及對周遭環境的影響。此技術在日本、歐美已應用多年，但國內迄今仍尚未引進，經瞭解，土壤污染洗淨技術每公噸處理費用約 15,000 日圓~45,000 日圓，相當台幣 5,000 元~15,000 元台幣。(相關簡報資料如附錄 4-5，參訪照片如附錄 4-6)



砷・鉛污染土壤分析結果

圖 4.3-4、現場洗淨土壤分析結果

參訪完該洗淨土壤設備後，隔天又隨即又至 DOWA 株式會社總公司聽取其業務簡報，由其企劃室長吉田勸先生、事業部課長日下部和宏先生、次長鎌田雅美先生、台灣辦事處森川剛夫先生為我們介紹其公司之成立、組織概況與整治工作及技術。

經討論過程中發現，日本企業界皆相當主動進行自我檢查，如發現污染，均主動進行整治工作，避免影響企業形象。在土壤污染對策法中未規定之行業土地買賣中，買方與賣方為保證土地未受污染與其價值，亦由賣方主動進行 phase I 之調查，此部分精神非常值得台灣的企業界學習。

(四) 拜會清水建設株式會社

該公司是日本的大型建設公司之 1，創立於 1804 年。近年來致力於環保事業，與 DOWA ECO-SYSTEM 花崗株式會社同為日本 5 大污染處理公司之 1。本次參訪由清水營造工程股份有限公司本部長輔佐八卷淳先生與田中仁志先生帶領解說神奈川縣川崎土壤洗淨計畫事業所相關處理設施。該設施設備及原理與 DOWA 大致相同，相關簡介資料詳如附錄 5-1。

■土壤洗淨プラント



圖 4.4-1、清水公司之土壤洗淨設備



〈対象〉油・重金属等

〈特徴〉

- ・汚染土壌を洗淨・分離し浄化土を回収
- ・土壌再利用率が高い(回収率約：70%)
- ・ユニット化され移動が容易
- ・約40%のコスト削減

圖 4.4-2、清水公司之土壤洗淨設備。

參、結論與建議

一、 加強行政管制措施

- (一) 近年來全球暖化的議題備受關注，因為全球各地氣候異常的徵候愈益嚴重，加上水資源的耗竭，食品安全問題應為未來各國政府急欲解決之壓力。如何提高農作物產量又能維持其品質及安全，不被重金屬、農藥污染。尤其水稻田的灌溉水管理直接影響到水資源分配的社會公平正義問題，同時對生態環境及溫室效應皆有深遠影響。是政府應以宏觀全面角度，及早規劃因應此一議題。
- (二) 日本的農地土壤污染主要是集中在廢棄礦場和金屬煉製廠附近，因其灌溉用水系統獨立完整，不會和雨水系統、區域排水及下水道系統混和。為因應未來糧食及水資源問題，台灣地區的灌排分離問題實應及早面對解決，否則只會讓問題更形複雜難解。
- (三) 自加入 WTO 後政府每年挹注在停耕補償的費用約 100 億元，若此停耕補償費能轉為栽種能源作物，不論在環境或能源經濟及溫室氣體減量上皆有極大助益。
- (四) 應成立一研究機構或單位，從農作物的生產環境、農漁牧水產品之安全、環境介質污染傳輸問題，作一垂直整合，建立各項基線資料庫，增加資料效益。如以目前各單位缺乏橫向聯繫、資訊未能整合利用之情況，國人的食品安全問題及環境風險問題將無法徹底解決。

二、 為因應環境議題國際化，本署應積極主動參與國際活動與會議，加入國內外相關土壤及地下水團體，延伸觸角，擴展視野，以利收集國內外相關經驗，藉助技術經驗交流，並建立國際關係，以解決國內土壤及地下水污染問題。

三、 積極建立與東亞及東南亞各國政府機關(如日本、韓國、泰國、越南等以種植水稻為主之國家)及民間研究機構(如日本獨立行政法人農業技術研究所和各國土壤、地下水團體學會)間之聯繫管道，以召開不定期會議方式，加強互動交流，以利解決國內環境污染、農作物污染以及食用農產品污染問題。

四、 與會國家之論文均顯示稻米品種為產生鎘米之重要因素之一，與本署在彰化縣、桃園縣、新竹市之現場試驗結果一致，以印度系稻種(秈稻)吸收土壤中鎘之能力較強。後續將協調農業單位在台灣地區鎘米高污染潛勢區以改

種稻種及湛水管裡方式，降低鎘米之產生，確保民眾安全。

