

土壤污染偵測與防治

行政院農業委員會 農業藥物毒物試驗所 殘毒管制組 林浩潭

htlin@tactri.gov.tw (04)23302101 轉 412

一、前言

由於工、農業生產的發展，廢氣、廢水及廢渣的排放，加上農用化學品如：農藥、化學肥料之投入量日益增加，從 1940 年代開始，環境污染日漸惡化，不但使農業受到很大之衝擊，更由於作物被污染而導致食品中污染物之含量也有逐漸增加之趨勢。

臺灣農田灌溉用水，因：1. 灌溉埤圳均為明渠，2. 灌、排系統不分，3. 都市、社區無完善之下水道及污水處理場，4. 農業區內設立工廠，5. 工業區及畜牧場廢水無妥善處理等原因。致遭受污染，水中污染物除了與作物直接接觸，會引起作物生長不良或死亡外，由於土壤為大部份物質之最終歸宿，水中污染物經由灌溉作用進入土壤後，會累積於土壤中而造成土壤污染，因此，土壤污染主要經由水污染所引起(佔 80%)，其次經由空氣污染(佔 13%)，其餘有 7% 為農業資材不當施用或廢棄物處置不當所引起。

土壤提供人類之食、衣、住、行及育樂，為人類生存所必需；土壤主要由固體、液體及氣體所組成，其中固體包含了無生命之有機物、無機物（如土壤礦物）及有生命之微生物、動物（如蚯蚓）、植物（如藻類）等，正常之土壤應具備化學性及物理性之物質平衡以及生物性之生態平衡，但由於外來物質及能源之加入，以及農耕地之開發，使土壤之物理性、化學性及生物性（生態之多元化）遭受破壞而逐漸降低或失去其功能，即為土壤污染。

本文除敘述土壤污染來源，污染物為害症狀及污染土壤之整治外；行政院農業委員會於本(九十二年)九月十五日公告之「有機農產品生產規範—作物」之生產環境條件中，訂有農地土壤重金屬含量之標準，土壤重金屬含量之偵測為準備從事有機農法所必須，因此於文中介紹重金屬之偵測方法。再者，農友在作物生產過程中為求作物質與量之提高，往往施用過量有機肥或因設施之阻隔鹽分無法經由降雨之排除，土壤中累積過量鹽分，引起作物受害；因而亦一并敘述土壤鹽分之偵測。

二、水、土壤污染物之來源

(一)、水之自然內含物：

水為極佳之溶媒，自然界幾乎所有元素及化學物質皆能存於水中。根據水質分析報告，較常發現者約四十餘種，依其含量之多寡，一般可分為：主要成分、次要成分、微量元素及痕跡元素四類，如表 1 所列。

表 1、自然水源中各種化學成分之濃度範圍

種 類	濃度範圍(ppm)	成 分 名 稱
主要成分	1 - 1000	鈉(Na)、鈣(Ca)、碳酸氫根(HCO ₃ ⁻)、硫酸根(SO ₄ ⁻)、氯離子(Cl ⁻)、矽(Si)
次要成分	0.01 - 10	鐵(Fe)、鋇(Sr)、鉀(K)、碳酸根(CO ₃ ⁻)、硝酸根(NO ₃ ⁻)、氟離子(F ⁻)、硼(B)
微量元素	0.0001 - 0.1	銻(Sb)、鋁(Al)、砷(As)、溴(Br)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、鈷(Co)、銅(Cu)、鍮(Ge)、碘(I)、鉛(Pb)、鋰(Li)、錳(Mn)、鉬(Mo)、鎳(Ni)、磷(P)、銣(Rb)、硒(Se)、鈦(Ti)、鈾(U)、釩(V)、鋅(Zn)
痕跡元素	< 0.001	鈹(Be)、鉍(Bi)、鈰(Ce)、銫(Cs)、鎳(Ga)、金(Au)、銦(In)、闌(La)、銀(Ag)、鉑(Pt)、鐳(Ra)、鈷(Ru)、鈾(Tl)、鈷(Th)、錫(Sn)、鎢(W)、鐳(Yb)、釷(Yt)、鋯(Zr)

灌溉水之水源，大多來自河川水或地下水，此種水因其所流經之區域或地質之不同，而含有鹽分或可溶性固形物。因其含量之差別，便構成灌溉水品質之優劣，一般灌溉水中各種主要鹽類含量範圍如表 2 所示。

表 2、灌溉水中各種主要鹽類含量範圍

陽離子	佔陽離子全量之百分比	陰離子	佔陰離子全量之百分比
鈣	10 - 90	碳酸氫根	10 - 70
鎂	1 - 40	氯離子	20 - 80
鈉	20 - 90	硫酸根	20 - 80
鉀	1 - 10	硝酸根	0 - 5

(二)、污染之來源

灌溉水受到污染之來源，可分為天然污染及人為污染。天然污染是由母岩中鹽類溶解、沖蝕及海水入侵或做為灌溉水源之地下水自然含有污染物等所造成；人為污染則可包括點源污染及非點源污染，分別說明如下：

1、天然污染：

灌溉水水源流經地質岩層，可溶解其中之成分再滲濾匯集而出，若地質中礦物溶解性大時，水源便形成可溶性無機鹽之污染。如逢洪水季節，山洪挾帶泥砂等沖刷物，淤積於灌溉溝渠與水田，形成沈積性污染。臺灣之河川水源，如嘉南平原之二仁溪及急水溪，因流域內有鹼性泥岩，故在乾季河川下游，鹽分偏高。又如濁水溪之水源，經年水質混濁，此等情形皆屬地質岩層及暴雨沖刷之天然污染。地下水因所在地區地質、構造及深度之不同，鹽分差異極大，例如雲林及屏東之地下水井，靠近沿海一帶，水質鹽分常達每公分數千微姆歐以上，不能引用，此種係屬海水入侵，天然海潮、海水之污染。臺灣西南沿海之烏腳病流行地區地下水中常含高量之砷，此為當地土壤母質中自然含高量之砷所引起。

2、人為污染：

(1). 點源污染：

污染之造成來自特定之污染源，經由對污染質之偵測，常可追蹤污染源所在，即為點源污染。在外在環境較單純之區域，點源所造成之污染，極易由污染源之特性判斷。茲將點源污染分述於下：

a. 工業廢水：

工業廢水之種類甚多，所排出的污染質幾乎涵蓋所有無機性、有機性污染物，其中有許多為毒性物質。含無機礦物性之廢水有：化學工業、金屬冶煉、電鍍、鋼鐵、酸鹼製造、軍火廠及砂石場等。有機廢水如：釀造、食品、農藥、皮革、造紙、屠宰、製粉、醱酵、石油煉製及塑膠等。工業廢水乃工業製造過程中所產生之廢液，對大多數工廠言，水為不可或缺的原料，但留在製程中僅佔少部分，大部分以廢液排出，廢液如無適當處理，排入灌溉溝渠後，極易引起污染。廢液中之污染物因製品、原料、製造方法及工廠管理等差異很大，常見工業廢水之來源及廢水特性列於表 3。

表 3、常見工業廢水之來源及廢水特性

工業類別	主要廢水來源	廢水特性
製紙	蒸煮、精製、纖維洗滌、紙漿、篩濾	酸、鹼、色度、懸浮固體物、膠體及溶解性固體物、有機物、鐵、鋁、鈉、鈣、氯等鹽類及硫酸根等
醱酵	醱酵母液、洗滌水	色度、鹽類、懸浮固體物、有機物
紡織染整	纖維蒸煮、織品去漿染色、整理	色度、懸浮固體物、有機物、次氯酸鈉、酸、鹼
化工	稀釋、洗滌、精製	酸、鹼、有機物、鹽類、油脂
屠宰	血液、毛、糞、尿、肉、油脂	有機物、油脂
製革	脫毛、浸水、浸灰、浸酸、脫灰	鹼、有機物、鹽類、重金屬、懸浮固體物、油脂
食品	原料洗滌、浸漬、壓榨、蒸餾、容器清洗	酸、鹼、有機物、鹽類、懸浮固體物、油脂
製糖	清洗、冷卻水	有機物、懸浮固體物
鋼鐵	冷卻水	重金屬、懸浮固體物
金屬表面處理及電鍍液	洗滌及處理液	油脂、酸、鹼、氰化物、重金屬、鹽類
石油化學	冷卻水、產品洗滌	酸、鹼、有機物、油脂

表 3 中所列不可能包括所有工業類，其廢水之來源及廢水特性列亦無法全部列出，僅作一般參考。在實務上，尚需依據工廠產品與製程去瞭解污染物之來源，依排放物質之不同，可將其分類如表 4。

表 4、排放各類污染物質之工業

污染物質	工 業
有機物	製糖、醱酵、食品、石化、製紙、紡織染整、屠宰、垃圾處理、農藥
懸浮固體	醱酵、食品、洗煤、煉焦、製紙、砂石、製革
油脂	金屬表面處理、石油化學、製革、屠宰、化工
高溫	火力發電、染整、電鍍、食品、化工
病原體	製革、屠宰、食品、醫院、垃圾處理
酸	採礦、冶煉、化工、石化、金屬表面處理及電鍍、紡織染整、製紙
鹼	化工、石化、金屬表面處理及電鍍、紡織染整、製紙、玻璃、食品、製革
重金屬	採礦、金屬表面處理及電鍍、化工、製革、鋼鐵、電子
鹽類	肥料、食品、化工、製革、金屬表面處理及電鍍、垃圾處理、醱酵、製紙、染整
氰化物	化工、金屬表面處理及電鍍、肥料、電子、農藥

b. 礦場廢水：

礦場廢水之污染，主要是由自然排水或汰選廢水中酸或重金屬之存在而引起。1. 火山之硫磺水：呈強酸、污濁，使土壤呈還原作用。2. 懸浮固體物：陶磁粘土、水泥業或金屬汰選，使污染水中含過量之懸浮固體物，進入農田後，危害作物生長。3. 煤礦、石油礦及天然瓦斯中含大量之微粒碳粉、油類、處理劑、粘粒等，嚴重損害土壤理化性質。4. 金屬鹽類：礦場廢水中可能含砷、鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅等重金屬，能毒害作物。

c. 都市及家庭廢水：

臺灣地區大部份都市及社區皆缺乏完善之下水道及處理設備，如排入灌溉溝渠，可導致水質污染；公共用水多屬沖洗，廢水中含大量之懸浮固體物、礦物油垢、清潔劑及泥砂等，至於家庭廢水則以有機物及懸浮固體物居多，主要成份有碳水化合物、蛋白質、脂肪等有機物、氮、磷、清潔劑及無機鹽類等，作物引灌後，因氮、磷過多會導

致繁茂、倒伏及增加病虫害，而有機物過高則引起土壤還原化，造成農作物根系之活力降低，生長不良。

d. 固體廢棄物：

人為之活動，必然產生廢棄物，廢棄物可分為一般家庭之垃圾與事業廢棄物等二大類。家庭之垃圾由於分類與處理並非完善，垃圾及垃圾場滲出之廢水往往污染地表及地下水。在鄉村及河川沿岸，更有不法者，任意傾倒路旁或河邊，不但污染水質，其漂流雜物，動植物遺骸更影響瞻觀衛生，同時淤塞灌溉渠，損壞灌溉設施，亦構成各水利會灌溉管理上之嚴重課題。事業廢棄物如未作適當處理而逕自掩埋於土壤中，亦引起土壤污染。

e. 畜牧業廢污：

畜牧業廢水污染灌溉水質在本省以豬糞尿為主，其它如養雞、養牛及水體養鴨等，均有污染灌溉水源之可能。一頭豬日產之糞尿量為自身重量之七 七%，含氮量為糞尿重之 八%，灌溉水源若受到豬糞尿廢水的污染，作物典型受害症狀為徒長、倒伏及結實不良等，此係吸收廢水中過量氮素所致，而農田土壤則因承受大量鹽類及有機物，以致理化性質劣化。

f. 水產養殖業廢水：

養殖可分淡水養殖與鹹水養殖二大類，淡水養殖對灌溉水質的污染很少見，鹹水養殖養殖則不然。其污染以養蝦池廢水污染灌溉水源及農田之案例最常發生。由於養蝦一般需以海水與淡水調合鹽份濃度來飼養，故養蝦池廢水，遠超出灌溉用水之水質標準。農田土壤引用遭養蝦池廢水污染之灌溉水後，鹽份累積將日趨嚴重，作物根系無法吸收水份，只好廢耕。

g. 其它：

特殊場合或事業，如實驗室、醫院及動物園等，近年亦引起廣泛注意，尤其化學實驗室常排放強酸、強鹼、有機溶劑、有毒化學物質及放射性元素等污染物，醫院也用了許多化學藥品，且病患排泄的廢污尚有病菌的問題，若無適當處理，可能會污染灌溉水。

(2). 非點源污染

在受污染之地區內，污染物質普遍介入，並不集中一處，故由污染質之偵測，一般無法確知其來自特定污染源，如都市空氣中落塵、

大氣中之放射能、酸雨、肥料及農藥之進入灌溉系統後，到達土壤，所造成之水污染與土壤污染等皆是，茲分述如下：

a. 空氣中之污染物：

由於都市發展，人口集中，工業發達，車輛激增以及能源大量消耗之結果，使空氣中之污染物亦大量增加，空氣中之污染物可分為粒狀污染物與氣狀污染物二大類，粒狀污染物降落於地表而污染灌溉水及土壤。粒狀污染物包括：落塵、飛灰、薰煙、鉛塵或鉛微粒、石棉纖維、碳煙、油煙、煙霧、油滴、酸微滴、酸雨、酸霧、懸浮微粒、氣膠等，其中含有重金屬、油脂、有機物、強酸及有毒物質等。氣狀污染物如：二氧化硫、氮氧化物、碳氫化合物、氯化氫、氟化物、氯氣、氨氣、硫化氫、氰化氫、有機氣體、農藥等皆能直接或間接污染灌溉水或土壤。

b. 農藥及肥料之污染：

化學肥料之使用使土地持續酸化，過量使用肥料引起水質優養化、水中硝酸鹽氮過高、肥傷及鹽份過高等問題。近年來倡導有機農業，但有機農業如利用污染物含量偏高之有機肥，又會引入不少之毒性物質，根據農業藥物毒物試驗所之調查市售有機肥料中重金屬之含量推算，若長期使用重金屬含量偏高之有機肥，不但會影響土質造成作物之減產，且進一步會影響到農產品之品質安全（見表 5）。

表 5、施用有機肥致使作物受土壤重金屬毒害之估算時間(年)

	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅
速率 1 ^{a)}	268	57.8	8.10	26.7	340	353	241	27.4
速率 2 ^{b)}	21	3.12	0.28	1.94	28.3	29.4	21	1.77

^{a)}以有機肥中重金屬平均含量估算

^{b)}以有機肥中重金屬最高含量估算

農藥的使用可提高農作之產量與品質，但如使用不當也常會破壞土壤之生物相，因而間接的破壞土壤性質以及降低土壤肥力，譬如殺草劑之使用因雜草之去除，自然界物質循環因而破壞，可能造成土壤肥力之大量流失，尤以山坡地果園較為嚴重。

許多極為穩定之化合物進入土壤後，因不易分解而能累積於土壤中達十數年之久，其中有些化合物會藉作物之吸收而污染動物飼料及人類之食品，早期（1940 至 1960 年代）使用之有機氯殺蟲劑即為一例，該類殺蟲劑因其因環境累積性及基因突變性，對生態環境之影響極大，因此，於 1973 年即被政府明令禁止使用，根據農業藥物毒物試驗所之調查，除 1973 年、1981 年在台灣農地土壤中都有發現外，某些殺蟲劑及其初級代謝物直到 1994 年仍被發現（見表 6），而該等藥劑禁止於農田使用已有 21 年之久。

表6、1973年、1981年、1994年土壤中有機氯殺蟲劑平均含量(μg/kg)

農藥名稱	1973		1981		1994	
	表土	裏土	表土	裏土	表土	裏土
阿特靈	11.3	1.6	0.5	0.8	1.88	0.80
地特靈	17.8	11.7	0.5	1.7	0.30	0.33
滴滴依	20.3	7.4	14.9	5.3	5.82	3.54
滴滴涕	17.1	2.2	2.8	1.5	ND	0.06
阿特靈	--	--	ND	微量	0.12	0.02
飛佈達	1.2	0.5	ND	0.1	0.10	0.17
環氧						
飛佈達	2.1	2.1	0.5	0.8	0.12	0.01
靈丹	11.8	4.7	0.7	3.1	1.10	0.43

註:1.ND=檢測不到。2.1973 年未檢測 Endrin,土樣之表土深度為 0-12 公分，裏土深度為 12-24 公分。3.1981, 1994 年土樣之表土深度為 0-15 公分，裏土深度為 15-30 公分。4.1973, 1981, 1994 年之土壤樣品數分別為 112, 136, 204。

三、污染物為害症狀

工業廢水如無適當處理，逕行排放入灌溉溝渠中，如與作物直接接觸或累積於土壤中，則會為害作物，茲將污染物之種類與為害症狀分述如下：

(一)、重金屬：

工業常被利用之重金屬有砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鉛、鋅等八種，電鍍、皮革、化工、電子、電池工廠廢水中可能含高量重金屬，

重金屬在環境中半衰期相當長，鋅為 70 至 510 年，鎘為 13 至 1100 年，銅為 310 至 1500 年，鉛為 740 至 5900 年，一旦排入農田，則會累積於土壤中，引起重金屬污染。重金屬對作物之危害機制為：1. 改變作物之生理 2. 與微量元素如鐵或必需元素和氮、磷等產生競爭作用。作物受重金屬毒害常發生幼葉葉片黃白化，但葉脈仍呈綠色，嚴重者葉緣產生壞疽（缺鐵症狀），或呈紅紫色條紋（缺磷症狀），根系生長受阻，鬚根無法生長，根系呈刺鐵絲狀，產量下降。重金屬對作物之毒害以旱田較易發生，因旱田土壤通氣良好，呈氧化狀態，土中重金屬為硫酸態；反之，水田土壤因淹水而呈還原狀態，重金屬為硫化物型態；硫酸態之重金屬化合物較易分解而為作物吸收，因此以旱田之受害症狀較明顯；但砷為例外，因三價砷（還原態）之毒性大於五價砷（氧化態）。土壤含砷量過高時，水稻常會不稔。比較不同作物中重金屬含量與土壤中重金屬含量之比，發現以米類吸收重金屬較多，而蔬菜類其次，以重金屬來看則以鎘、鋅、銅等較多（見表 7）。

表 7、作物中重金屬含量與土壤中重金屬含量之比值^{a)}

重金屬	米類		果菜類		葉菜類		根菜類	
	表土	裏土	表土	裏土	表土	裏土	表土	裏土
砷	2	2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.6	0.6
鎘	10	9	3	4	4	4	3	4
鉻	1	1	0.3	0.3	0.01	0.01	0.04	0.04
銅	11	12	3	3	3	3	4	4
汞	1	1	3	3	2	2	5	5
鎳	2	2	7	7	0.7	0.7	1	2
鉛	2	2	1	2	2	3	2	2
鋅	29	29	5	6	4	4	7	7

^{a)}以鮮重為基準之作物中重金屬含量/以乾重為基準之土壤中重金屬全量 x 100

重金屬中，鎘易為作物所吸收運行而達到食用部份，因此在土壤受鎘污染農田可能生產鎘含量偏高之稻米，當稻米中之鎘含量超過食品衛生標準 - 0.5 mg/kg 時，經食用後可能影響人體健康。

(二)、鹽分：

鹽分係指銨鹽、氯離子、氟離子、硫酸鹽及硝酸鹽等，土壤中鹽類過剩，則會產生高滲透壓，作物根部之吸水作用受抑制，高濃度短時間鹽害會引起稻株枯萎，低濃度長時間鹽害會引起根腐敗、變黑、下葉枯萎，作物無法結實，被作物吸收之鹽分亦會干擾作物之生理作用。鹽分過剩之原因除了：1.過度施用化學肥料 2.家庭廢水污染 3. 養殖廢水污染 4.海水倒灌外。設施園藝或高經濟作物生產專業區由於作物價格高，農民捨得施用大量化學肥料或因設施阻隔雨水，無法將過剩之營養鹽排除，往往造成土壤受到鹽類污染。當土壤飽和溶液之電導度達 4 mmhos/cm 以上時，除少數耐鹽作物外，大多數作物都可能受到鹽害。

(三)、酸或鹼：

金屬表面處理、電鍍、食品工廠、製革、紡織、化工、製紙工廠之廢水、酸雨等可能為高或低 pH 值，一旦排入農田，與作物直接接觸，引起根、莖腐爛，進入土壤使土壤變酸，土中之鐵、鋁大量溶出，產生作物之鐵、鋁毒害；磷之吸收亦會受抑制，作物葉面發生斑點，葉先端卷曲，根呈暗褐色。土壤酸化亦會影響土壤微生物之活性，而抑制氮化及硝化作用，但可因土壤之物化性質而異。土壤如變鹼，則土壤中之鐵、錳、銅、鋅等微量元素形成不溶解化，不易為作物吸收，引起微量元素缺乏、產生生育障害。

(四)、有機物：

有機物係指碳水化合物、蛋白質及動、植物體之分解物等，一般存在於醱酵、化工、石油化學、食品、屠宰及製革等廢水中。大量有機物經由灌溉水進入土壤後，會造成氮素過剩及土壤還原障害。作物之氮素過剩症狀為生長過份繁茂、葉色變濃、作物體組織軟弱，易倒伏，易引起病蟲害之侵入及稔實不良等。土壤中過量之有機物如在還原狀態下分解，會產生硫化氫、二價鐵、甲烷、有機酸及醇類等，使作物之根部腐爛，營養、水份之吸收受阻，終至枯萎。

(五)、油脂：

輸油管破裂或化工、機械廠廢油排入農田，其中之油脂能直接浸入作物體或根部，破壞組織，形成半透明狀，繼而腐爛。油脂亦屬有機物，其毒害症狀與有機物類似，油脂如覆蓋於表土，則會阻止土壤氣體之進出，造成土壤還原障害。

(六)、清潔劑：

工業廢水中之清潔劑如排入土壤中會對作物產生毒害。清潔劑會使土壤粒子上吸著之銨態氮游離，造成土壤中銨態氮之流失，使作物發生缺氮症狀。

(七)、懸浮固體物及固體廢棄物：

建築廢土、垃圾進入土壤會破壞土壤之物理性，致使耕作困難。砂石廠、醱酵、製革、食品及製紙廠等廢水中含過量之懸浮固體物，進入農田後，會滲入土壤孔隙中，使土壤之透水、透氣等物理性惡化，造成地力減退，作物根之分化降低，生長停滯、受阻。

四、農田土壤污染之整治

土壤污染之防止，首先須防止水污染、空氣污染，設立專業區集中管理各種污染性較大之工廠；適當處理廢棄物。農業資材如肥料、農藥之使用須適時、適量、適用。

受懸浮固體物為害之土壤可利用翻耕改良透氣性、透水性；有機物、油脂、清潔劑為害之土壤須連續進行灌水、曬田、翻耕等步驟，利用土壤微生物分解毒物質；酸土須施石灰改良；鹼土或含鹽類過高之土壤須長期重覆進行淡水灌溉，洗滌與排水，以去除有毒物質並添加有機質；受重金屬為害之土壤利用排土、客土及翻土等方法降低或除去重金屬，亦可以吸重金屬植物吸收重金屬後再作適當之移除與處理。在進行上述各種改良對策前，除了必須考慮其經濟性外，尚須考慮是否會引起二次污染。

五、土壤重金屬之偵測

(一).土壤中鎘、鉻、銅、鎳、鉛及鋅分析方法(0.1 N 鹽酸萃取法)(行政院環境保護署，NIEA S320.60T)：

稱取土壤樣品 10 克，置於 250 毫升三角瓶中，加入 0.1 M HCl 100 毫升，瓶口用瓶塞塞緊，以振盪器振盪(振幅 2.5 公分，180 rpm) 1 小時後，取出以 Whatman No.42 濾紙過濾，濾液裝入 PE 塑膠瓶中以備分析。濾液以感應式偶合電漿放射光譜儀或原子吸收光譜儀檢測鎘、鉻、銅、鎳、鉛及鋅。

(二).土壤中砷分析方法(行政院環境保護署，NIEA S310.60C)：

稱取土壤樣品 1 克，置於 250 毫升三角瓶中，加入 5 毫升 30% H_2O_2 後，將三角瓶置加熱板上(溫度為 120)加熱至乾，冷卻至室溫，再加入 5 毫升 30% H_2O_2 後，加熱至乾；冷卻後，重覆加入 10 毫升 30% H_2O_2 及加熱至乾，冷卻至室溫後，加入 30 毫升 9.6 M HCl，瓶口用瓶塞塞緊，以振盪器振盪(振幅 2.5 公分，180 rpm) 1 小時，於

室溫下靜置 24 小時，取出 10 毫升上清液以純水定量至 50 毫升，以誘導式偶合電漿放射光譜儀(JY-138, ICP-AES)附氫化裝置，以 1% NaBH₄(配於 1% NaOH 水溶液中)檢測砷。

(三). 土壤中汞分析方法(行政院環境保護署，NIEA M317.01C)：

稱取土壤樣品 5 克，置於反應瓶中，加入 10 毫升濃硫酸及 5 毫升濃硝酸，混合均勻後於室溫下放置 48 小時，加入 65 毫升去離子水，混合均勻後再加入 10 毫升 5% 高錳酸鉀溶液，若高錳酸鉀顏色褪色，則繼續添加高錳酸鉀至溶液呈紫色並維持 10 分鐘以上。加入 10 毫升 5% 過硫酸鉀溶液，靜置 30 分鐘。加入 2 毫升 12% 氯化鈉-硫酸羥胺溶液，如土壤消化液仍呈紫色，則繼續加入氯化鈉-硫酸羥胺溶液至土壤消化液變成無色為止。加入 5 毫升 10% 氯化亞錫溶液，迅速連接至汞測定儀檢測汞。

(四). 土壤酸鹼度測定法(NIEAS410.60T)

將非石灰質之土壤樣品與去離子水混合，或石灰質之樣品則與氯化鈣水溶液混合，一般水土比為 1:1 或 1:5，然後利用酸鹼質測定儀(pH meter)測定樣品溶液之酸鹼值(pH 值)。

(五). 土壤可溶性鹽分之測定(電導度測定法)

取風乾過篩(< 2 mm)後之土壤樣品(200 至 250 克)，置於 400 毫升塑膠燒杯中，一面攪拌一面加入去離子水，不時輕拍杯邊，使土壤中氣泡逸出及水分均勻分佈，至燒杯傾斜時土糊會微微流動且土糊在迎光面出現反光即是土壤呈水飽和狀態，將飽和土糊利用真空抽氣過濾，以電導度計測定濾液之電導度。