

銅、鋅、鎘及鉻對土壤微生物與作物生長之影響⁵⁾

王銀波¹⁾ 劉黔蘭²⁾ 吳 論³⁾ 林宴夙⁴⁾

摘要：銅、鋅、鎘與鉻污染的土壤中，細菌、放線菌與真菌等菌數均隨重金屬含量的增加而減少，其變化情形可用對數直線式 ($\text{Log } Y = a - bx$ 或 $\text{Log } Y = a - b \text{Log } x$) 來描述。銅影響真菌最大，細菌次之；鋅影響細菌最大，放線菌次之；鎘影響放線菌最大，次為細菌；鉻影響細菌最大，次為真菌。大豆、大麥與玉米栽種於含不同濃度的銅、鋅、鎘與鉻的台中砂頁岩沖積土中，其生長量隨重金屬濃度的增加而有減低的現象，大豆的反應以對數直線式 ($Y = a - b \text{Log } x$) 表示，玉米、大麥則以拋物線 ($Y = a - bx + cx^2$) 描述較恰當。就鎘與鋅而言，對大豆的毒害較玉米與大麥為強。

一、前 言

土壤為生產食物的基礎。自古以來，人們的生活與土壤維持極深的關係。近來，由於工業的發達，人口的增加，副產物廢水流入農田，造成土壤污染問題^(1,11)。據行政院衛生署等對台灣地區土壤污染調查報告⁽²⁾，台中、彰化地區有些地點表土中銅、鋅的含量相當高，可能已危害水稻的生長。土壤中微生物群常可反映或影響作物的生產^(3,4,6)。灌溉水內重金屬對作物具影響的濃度：銅為 0.2 mg/L，鋅為 5mg/L，鎘為 28mg/L，鉻 5mg/L，達此等濃度時，某特定作物或一般作物呈不同程度的毒害⁽⁵⁾。各種研究顯示培養液中元素對種子植物生長有害的濃度：銅 0.5 ~ 8 mg/L，鋅 600 ~ 400mg/L，鉻(六價) 0.5 ~ 10 mg/L，鎘 0.2 ~ 9 mg/L⁽⁸⁾，故維持乾淨不受污染而肥沃的土壤為維護農業環境一

個很重要的目的⁽¹⁸⁾。

銅與鋅雖為植物生長所必需的元素，在植物生理上有一定的生化作用，但植物的需要僅係微量需求，若量過多，反可能造成對植物的毒害⁽¹⁰⁾。鎘廣被用為電鍍、顏料、塑膠等工業，常與鋅互存，且存於某些磷肥中，因鎘對人體健康有害，有關研究甚多，尤其是水稻中鎘的分布^(5,11)。鉻為家庭、交通等工具的防蝕鍍料，常常殘留於土壤中，導致污染問題。這些重金屬元素進入土壤後，與土壤有機、無機成分相互作用，形成複雜的複合物或鉗合物，影響重金屬在土壤中的移動及分布。在此種情況下，土壤內究竟含多少量的重金屬或以何種方法抽出，何種濃度為毒害植物的臨界值及其影響土壤生態程度，本省甚少文獻報導。

本研究的目的是在探討：(1)土壤含銅、鋅、鎘及鉻等重金屬對土壤中細菌、放線菌及真菌的影響情形。(2)土壤中銅、

1,2,3,4) 分別為國立中興大學教授、助教、技術員、技術員。

5) 承農委會補助，計劃號碼為 72 農建-4.1-源-54(8)。

鋅、鎘及鉻含量與玉米、大豆、大麥等旱作生產的關係。

二、材料與方法

(一)、試驗土壤：

1. 污染土壤樣品：

a. 台中樹仔脚銅污染水稻田，pH5.7，玢質壤土。

b. 彰化和美鋅污染水稻田，pH 5.3，壤土。

以上兩處銅、鋅污染土壤，先找到灌溉水口，由灌水口起的一、五、十公尺，以消毒的採樣管，採取表土，置清潔的塑膠袋中，用冷凍箱帶回實驗室，供不同污染程度土壤的微生物測定之用。

2. 人造污染土壤：

取中興大學農場土壤，pH 5.2，壤土。風乾，裝盆，分別加入 2、10、100、500、1000 ppm (mg/kg) 的鎘 (以 $CdCl_2$ 添加) 或鉻 (以 CrO_3 添加)，加水及風乾輪換三次，使達平衡，取樣分析。此部分土壤供盆栽及微生物測定用。

(二)、微生物分析：

取定量上述污染及人造污染土壤樣品，以無菌生理鹽水稀釋，按平面培養法，細菌 (Bacteria) 採土壤萃取液培養基；真菌 (Fungi) 採 Martin's rose bengal 培養基；放線菌 (Actinomycetes) 採澱粉、酪素培養基；在 $26 \pm 1^\circ C$ 溫度下培養，五天後測數細菌及真菌，十天後測數放線菌⁽⁷⁾，每處理三重複。並測定土壤水分含量。

(三)、土壤中重金屬含量的測定：

秤取 10 克風乾土，加 100ml 0.1N HCl，於塑膠瓶中振盪 2 小時，過濾 (Whatman

No. 42 濾紙)，清液以原子吸光儀 (Atomic Absorption Spectrometer) 分別測定銅 (波長 324.8nm)、鋅 (427.2nm)、鎘 (228.8 nm) 及鉻 (357.9nm)^(12,16)。

(四)、栽培作物試驗：

採中興大學農場砂頁岩沖積土，風乾，測定水分含量，裝盆，分別添加 2、10、100、500、1000 ppm 的銅、鋅、鎘、鉻等重金屬，加水及風乾輪換三次，俟平衡後，種植大豆 (高雄 8 號)、大麥 (農院 4 號)、玉米 (台南 11 號)，每一處理三重複。按一般的肥料推薦量施用肥料，每天秤重補充水分，在玻璃房中栽培，觀察其生長情形。四十天後收穫，洗淨， $70 \pm 2^\circ C$ 烘乾，秤其乾物重。

(五)、植物體分析：

將烘乾的植物體分地上部 (莖葉) 與地下部 (根)，磨細，以硝酸及過氯酸 ($HNO_3 - HClO_4$) 加熱分解⁽¹⁶⁾，用原子吸光儀測定其中銅、鋅、鎘與鉻含量。

三、結果與討論

(一)、重金屬對土壤中細菌、放射菌及真菌菌數的影響：

土壤中微生物的生長與繁殖受多種因子的影響。就一小面積的土壤而言，各種影響因子如氣溫、水分、酸鹼度、耕作等可視為一定。台中樹仔脚電鍍工廠群聚，水稻田受污染，在光明巷尾一農田採土分析，農田灌水口附近 (一平方公尺)，0.1N HCl 抽取的銅濃度高達 3700 ppm，水稻已無收成，距水口五與十公尺處銅濃度為 2318 與 664 ppm，該等土壤樣品中細菌、放線菌與真菌菌數列如表一。土壤中銅濃度愈高者，土壤中微生物數量愈少。這種變化以真菌最大，細菌次之，放線菌最小。

表一、各濃度銅、鋅、鎘與鉻對土壤中細菌、放射菌及真菌的影響

Table 1. Effect of Cu, Zn, Cd and Cr concentrations on numbers of soil bacteria, actinomycetes and fungi.

重金屬 Heavy metal	濃度 Conc. ppm	距 離 Distance M	微 生 物 數 Number of microorganisms		
			細 菌 Bacteria 10 ⁴ /g dry soil	放 射 菌 Actinomycetes 10 ³ /g dry soil	真 菌 Fungi 10 ² /g dry soil
銅 Cu	3700	1	1237	133	132
	2318	5	2063	187	251
	664	10	2596	218	767
鋅 Zn	3500	1	155	158	232
	649	5	308	246	307
	436	10	931	362	423

	濃 度 Conc. ppm				
	添 加 Added	抽 取 0.1N HCl Extractable			
鎘 Cd	2	2.7	2568	965	1350
	10	10.2	2091	496	887
	100	87.3	1116	252	342
	500	500.0	496	152	334
	1000	1000.0	368	128	262
鉻 Cr	2	8.3	868	372	1302
	10	10.0	630	252	1266
	100	15.0	312	150	812
	500	62.0	254	127	308
	1000	138.0	129	103	212

彰化和美有多家整染、電鍍工廠，鐵山里有工廠廢水直接排入稻田，入水口附近水稻生長甚差，穗粒全是空的，分析其土壤，鋅濃度高達 3500ppm，距水口五與十公尺處 0.1N HCl 抽取鋅濃度分別為 649 與 436ppm。分析該處微生物數如表一，土壤中細菌、放線菌與真菌的數目均隨鋅濃度的增加而減少，受影響最大的是細菌，其次為放線菌。

以中興大學農場砂頁岩沖積土，人工

加入 2、10、100、500、1000ppm 的鎘或鉻，添水與風乾輪換三次，使達平衡後，分別分析土中鎘、鉻的 0.1N HCl 抽取量與細菌、放線菌、真菌數量，結果如表一所示。無論是細菌或放線菌或真菌菌數都隨鎘或鉻在土中濃度的增加而減少。鎘對放線菌影響較大，細菌次之；鉻對細菌影響較大，次為真菌。Williams 及 Wollum 發現以 DTPA - TEA 抽出土壤鎘量與培養基添加鎘的耐鎘微生物生長無影響⁽¹⁷⁾，有一

些細菌或放線菌在培養基含鎘 40ppm 尚能生長。Ross 等⁽¹⁴⁾ 報告六價鉻對格氏陰性細菌的抑制力較陽性為強，三價鉻的毒害力甚弱。重金屬元素對微生物的毒害影響程度因重金屬的種類、濃度，在土壤中存在的形態及微生物的種類而有所不同。

設上述土壤中細菌、放線菌與真菌的菌數分別為 Y_b 、 Y_a 與 Y_f ，各重金屬的濃

度為 X ，求兩者的關係如表二。細菌、真菌菌數的對數與銅濃度呈極顯著的直線相關；細菌、放線菌與真菌菌數的對數與鎘濃度的對數呈極顯著的線性相關；細菌、真菌菌數的對數與鉻濃度的對數亦呈極顯著的線性相關，放射線菌則僅達顯著的相關。示如圖一。

表二、土壤中微生物與重金屬的關係

Table 2. Correlation of heavy metals concentration to numbers of soil microorganism.

重金屬 Heavy metal	微生物 Micro-organism	迴歸式 Regression equation	相關係數 Correlation coefficient
銅 Cu	Bacteria	$\text{Log } Y_b = 7.51 - 0.105 \times 10^{-3} x$	0.99**
	Actinomycetes	$\text{Log } Y_a = 5.40 - 0.697 \times 10^{-4} x$	0.93
	Fungi	$\text{Log } Y_f = 5.03 - 0.253 \times 10^{-3} x$	0.99**
鋅 Zn	Bacteria	$\text{Log } Y_b = 8.73 - 0.727 \text{ Log } x$	0.76
	Actinomycetes	$\text{Log } Y_a = 6.46 - 0.358 \text{ Log } x$	0.91
	Fungi	$\text{Log } Y_f = 5.25 - 0.252 \text{ Log } x$	0.85
鎘 Cd	Bacteria	$\text{Log } Y_b = 7.58 - 0.322 \text{ Log } x$	0.98*
	Actinomycetes	$\text{Log } Y_a = 6.05 - 0.321 \text{ Log } x$	1.00**
	Fungi	$\text{Log } Y_f = 5.18 - 0.264 \text{ Log } x$	0.96**
鉻 Cr	Bacteria	$\text{Log } Y_b = 7.35 - 0.574 \text{ Log } x$	0.92**
	Actinomycetes	$\text{Log } Y_a = 5.78 - 0.377 \text{ Log } x$	0.85*
	Fungi	$\text{Log } Y_f = 5.73 - 0.673 \text{ Log } x$	0.99**

(二)、重金屬對植物生長之影響：

添加銅、鋅、鎘、鉻，2、10、100、500、1000ppm 於中興大學砂頁岩沖積土壤中，盆栽大豆、玉米、大麥等三種旱作，栽培四十天後收穫，各處理的乾物重如表三。在本試驗中，無論銅、鎘、鋅或鉻，添加濃度高至 500ppm 時，種植大豆、

玉米或小麥均無法正常生長。添加銅 100ppm 者，大豆、玉米、大麥的生長分別為原土壤對照區（未添加者）的 56、42、85%。添加 100ppm 鋅者，大豆生長量為原土壤對照區的 22%，對玉米與大麥則為 87 與 73%。添加鎘 100ppm 者，大豆、玉米與大麥生長為原土對照區的 15、72 與 78%；

表三、大豆、玉米及大麥在各濃度的銅、鎘、鉻、鋅的生長
Table 3. Effect of the level of Cu, Cd, Cr and Zn on the growth of soybean, corn and barley.

作物 Crop	重金屬 添加濃度 Heavy metal conc. added (ppm)	銅 Cu		鎘 Cd		鉻 Cr		鋅 Zn	
		乾重 克	指數 %	乾重 克	指數 %	乾重 克	指數 %	乾重 克	指數 %
大豆 Soybean	check	7.42	100	7.42	100	7.42	100	7.42	100
	2	7.66	103	7.50	101	9.19	124	5.71	70
	10	8.38	113	3.79	51	3.79	51	4.56	61
	100	4.15	56	1.09	15	3.59	48	1.66	22
	500	0	0	0	0	0	0	0.27	4
	1000	0	0	0	0	0	0	0	0
玉米 Corn	check	5.30	100	5.30	100	5.30	100	5.30	100
	2	6.72	127	5.82	110	6.67	126	5.03	95
	10	5.41	102	5.40	102	4.23	80	6.33	119
	100	2.22	42	3.81	72	3.92	74	4.60	87
	500	0.18	3	0	0	0	0	0.10	2
	1000	0	0	0	0	0	0	0	0
大麥 Barley	check	8.61	100	8.61	100	8.61	100	8.61	100
	2	10.22	119	12.02	140	10.55	123	11.96	139
	10	10.75	125	10.98	128	15.69	182	11.60	135
	100	7.35	85	6.73	78	9.25	107	6.30	73
	500	0.45	5	0	0	0.27	3	0.54	6
	1000	0	0	0	0	0	0	0	0

鉻則大豆為 48%，玉米 74%，大麥則不受影響。三種作物而言，以大豆受重金屬影響最大，玉米次之，大麥最小。

玉米、大豆及大麥收量與土壤中 0.1N HCl 抽取的銅、鎘、鉻及鋅的關係如表四。玉米、大麥的乾物重與四種重金屬量呈二次拋物線關係如圖二、圖三，除鉻、銅外均極顯著。因鉻係以鉻酸 (CrO₃) 形式加入，加入量為 100ppm 者，抽取量僅 15ppm。大豆則以對數式描述較適宜，如圖四，即大豆的乾物重與可溶性銅、鋅、鎘濃度的對數呈極顯著的 (1%) 線性相關，而鉻僅達顯著的 (5%) 水準。就本研究所得的迴歸式計算三種作物生長量降低一半時，土壤中 0.1N HCl 可抽取的四種重金屬的濃度如表五。銅對玉米、大麥與大豆的

致害濃度分別為 176.9、226.8 與 93.8ppm；鎘為 193、220.5 與 14.4ppm；鉻為 29.1、38 與 23.1ppm；鋅則為 201.5、218.9 與 44 ppm，可見大豆對高濃度銅、鋅、鎘與鉻的忍受力較玉米及大麥為低。關於重金屬對植物毒害作用的機制，有報告謂⁽¹⁵⁾大麥葉綠體中光合作用系統 II 的電子傳導活性受高濃度鋅的抑制，鎘、銅有類似的機制⁽¹³⁾。

分析盆栽大豆、玉米與大麥植物體與土壤中銅、鋅、鎘與鉻的含量如表六所示。此四種重金屬在大豆、玉米及大麥的地下部(根)中含量均高於地上部(莖葉)。就銅而言，土壤以 0.1N HCl 抽出即所謂可溶性濃度為 91ppm 時，大豆莖葉與根的濃度為 175 與 250 ppm 均較正常土壤者 37 與

表四、作物產量與重金屬含量的關係

Table 4. Correlation of heavy metals' concentration to the yield of crops.

作物 Crop	重金屬 Heavy metal	迴歸式 Regression equation	相關係數 Correlation coefficient
玉米 Corn	Cu	$Y=5.52-0.0184x+0.130x10^{-4}x^2$	0.88*
	Cd	$Y=5.50-0.0169x+0.114x10^{-4}x^2$	0.99**
	Cr	$Y=6.60-0.159x+0.807x10^{-3}x^2$	0.94**
	Zn	$Y=5.83-0.0183x+0.125x10^{-4}x^2$	0.98**
大麥 Barley	Cu	$Y=10.0-0.0294x+0.194x10^{-4}x^2$	0.98**
	Cd	$Y=10.4-0.0324x+0.220x10^{-4}x^2$	0.95**
	Cr	$Y=14.0-0.314x+0.154x10^{-2}x^2$	0.85*
	Zn	$Y=10.7-0.0344x+0.238x10^{-4}x^2$	0.93**
大豆 Soybean	Cu	$Y=11.5-3.95 \text{ Log } x$	0.96**
	Cd	$Y=6.25-2.19 \text{ Log } x$	0.93**
	Cr	$Y=12.3-6.30 \text{ Log } x$	0.84*
	Zn	$Y=9.10-3.28 \text{ Log } x$	0.93**

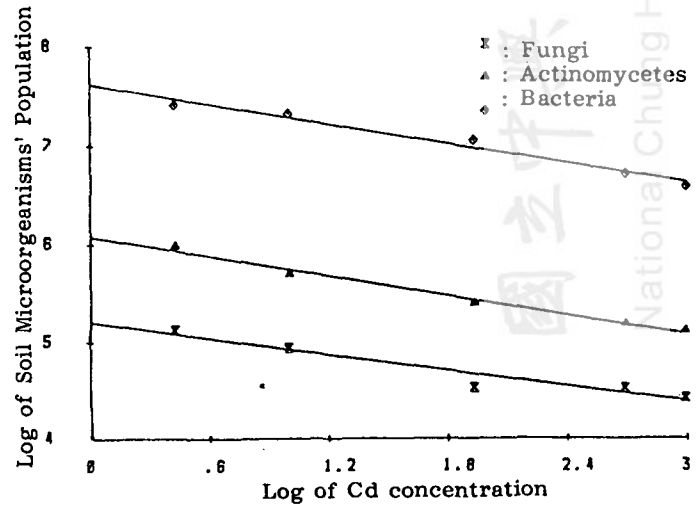
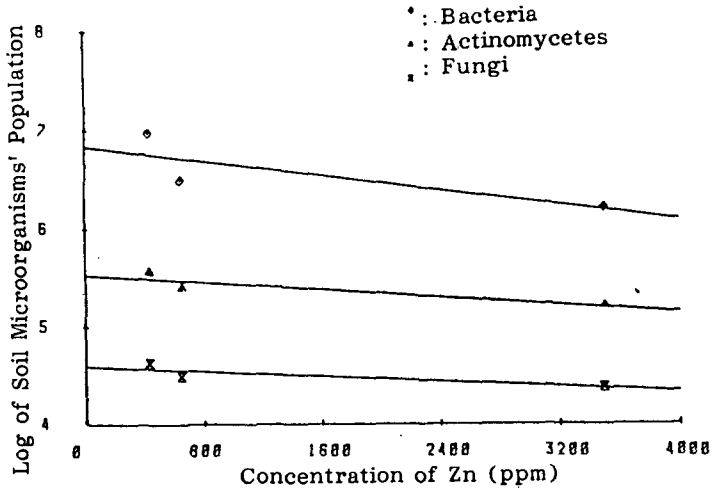
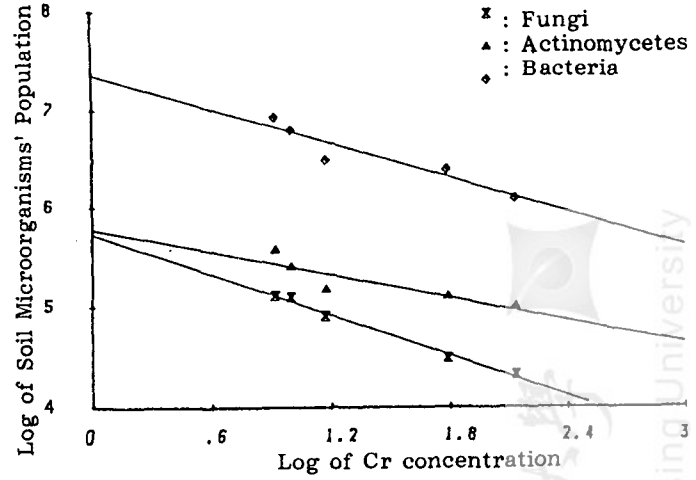
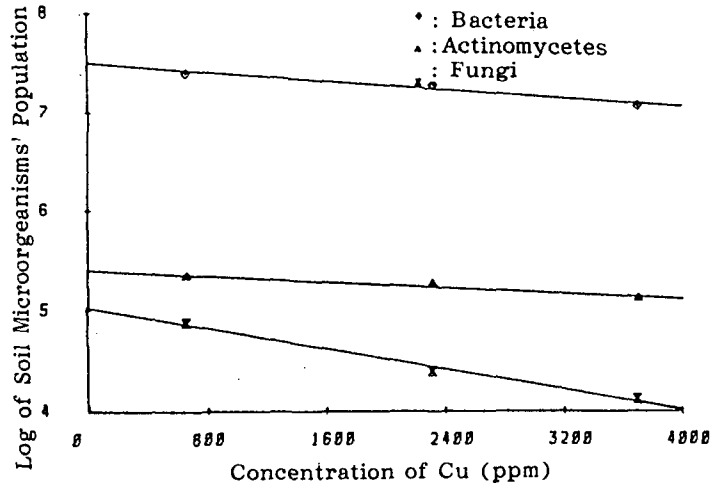
** 1% 顯著水準。 * 5% 顯著水準。

表五、大豆、大麥及玉米生長量降低一半時土壤中0.1 N HCl可抽取的銅、鎘、鉻及鋅的濃度

Table 5. Concentration of heavy metals (0.1 N HCl extractable) in soil when the yield of crop was halved. (ppm)

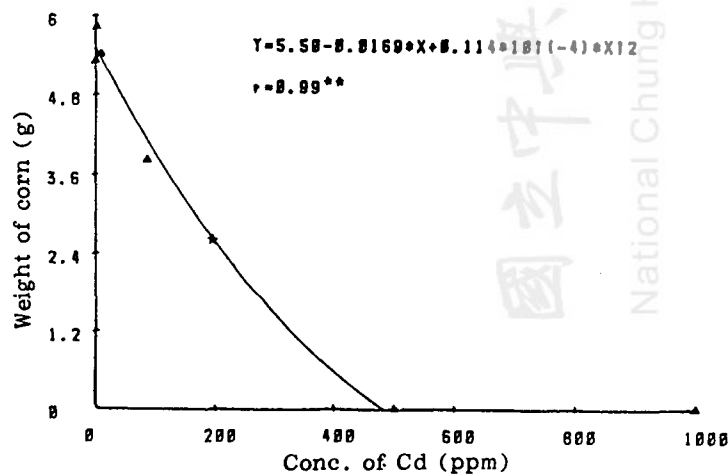
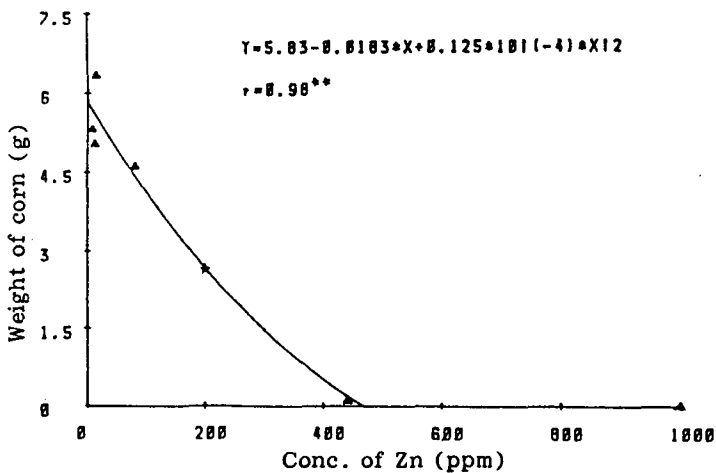
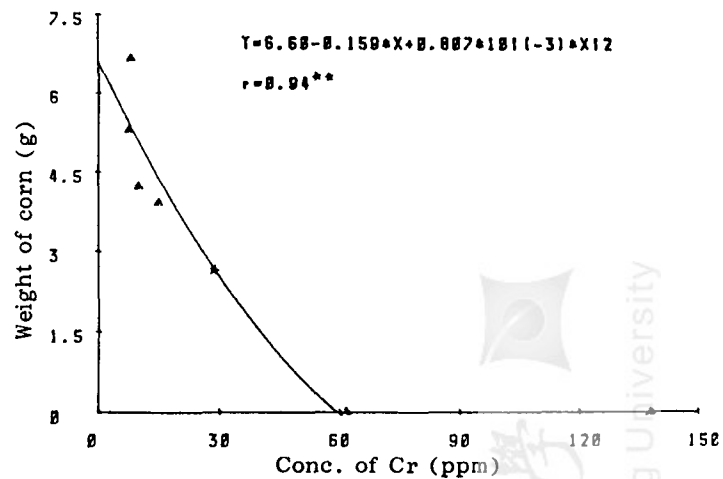
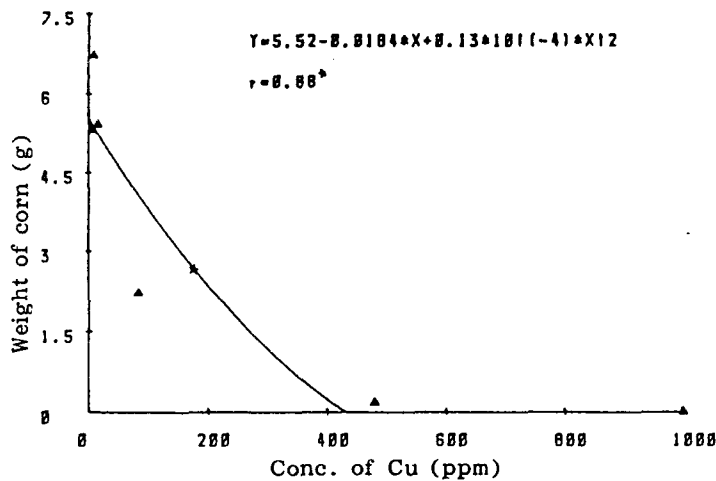
作物 Crop	銅 Cu	鎘 Cd	鉻 Cr	鋅 Zn
玉米 Corn	176.9	193.0	29.1	201.5
大麥 Barley	226.8	220.5	38.0	218.9
大豆 Soybean	93.8	14.4	23.1	44.0

42ppm 高出約 4 倍；玉米、大麥則約 2 倍。就鋅而言，大豆無法生長於可溶性鋅為 96ppm 的台中砂頁岩沖積土中；生長於此濃度的玉米、大麥莖葉及根中鋅濃度高於正常土者近 2 倍。就鎘而言，可溶性為 87ppm 者，大豆無法生長；玉米、大麥植體聚集多量鎘。就鉻而言，土壤雖添加 100ppm 鉻，但為 CrO_3 ，0.1N HCl 抽取量僅 15ppm，大豆、玉米、大麥植體中鉻濃度相差不大。



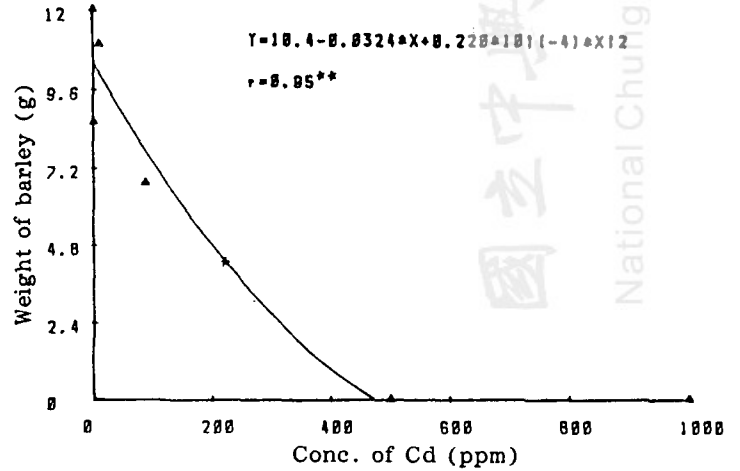
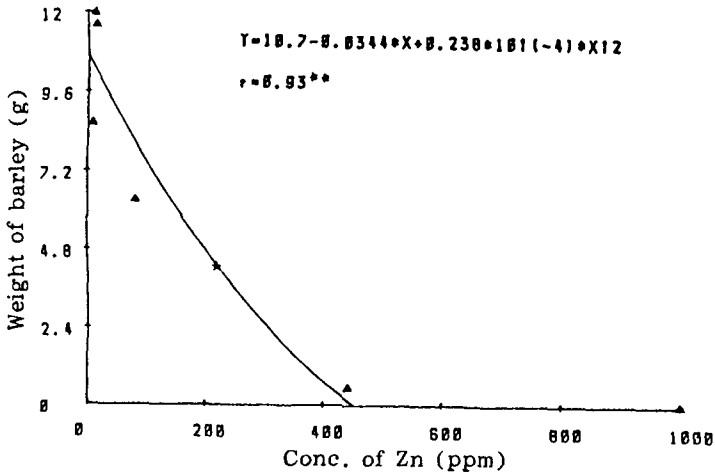
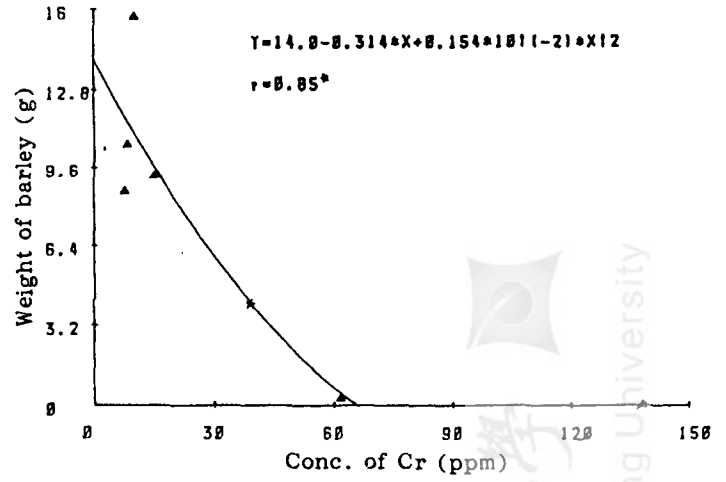
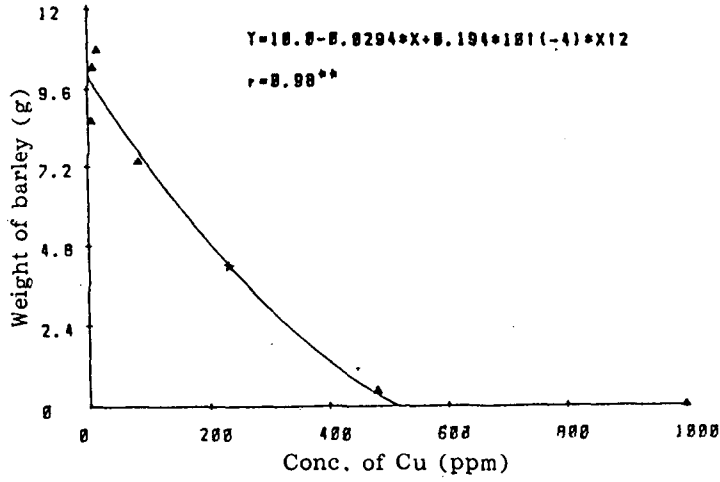
圖一、土壤微生物群與銅、鋅、鎘及鉻濃度的關係

Fig. 1. Effects of Cu, Zn, Cd and Cr concentrations on the population of soil microorganisms.



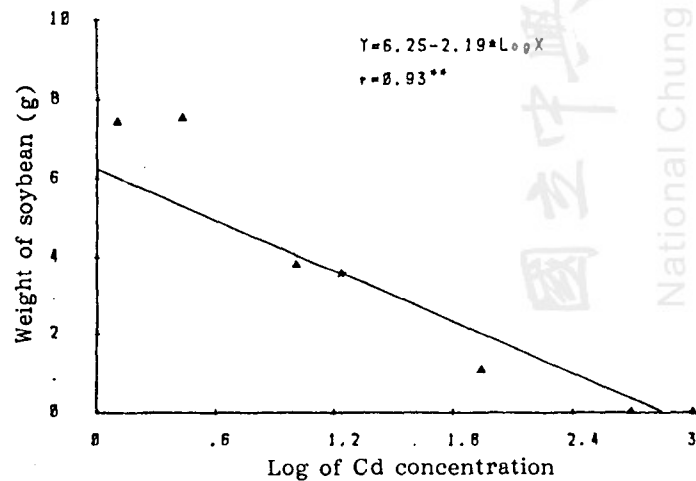
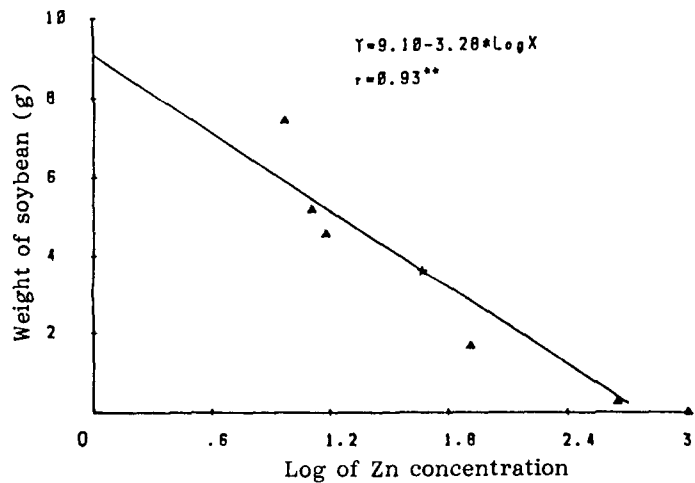
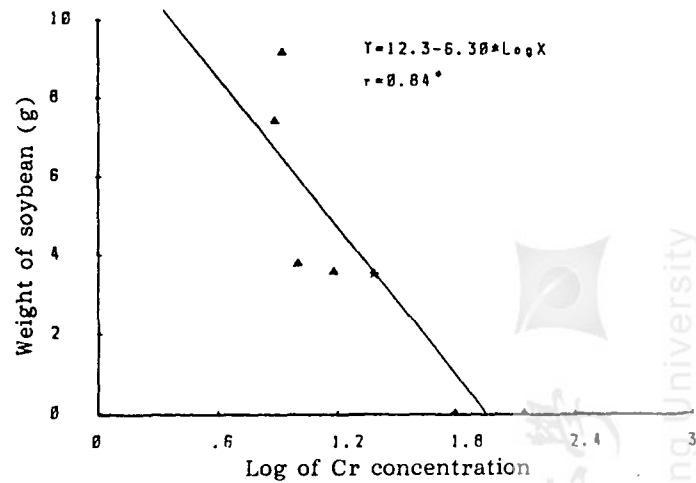
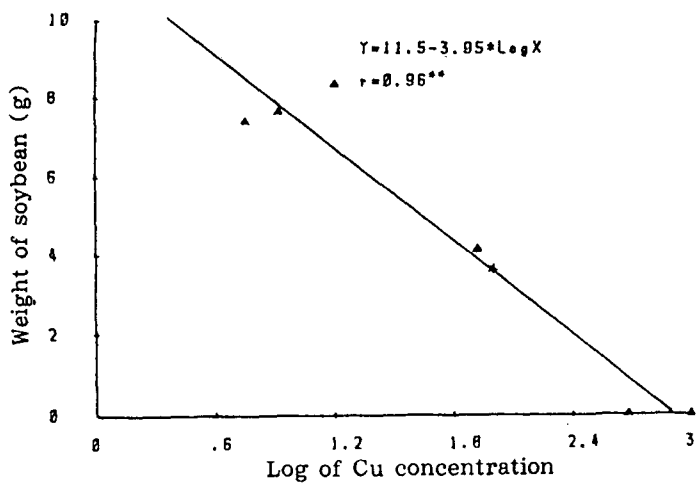
圖二、玉米乾重與銅、鋅、鎘及鉻濃度的關係

Fig. 2. Effects of the level of Cu, Zn, Cd and Cr on the growth of corn.



圖三、大麥乾重與銅、鋅、鎘及鉻濃度的關係

Fig. 3. Effects of the level of Cu, Zn, Cd and Cr on the growth of barley.



圖四、大豆乾重與銅、鋅、鎘及鉻濃度的關係

Fig. 4. Effects of the level of Cu, Zn, Cd and Cr on the growth of soybean.

表六、添加重金屬於土壤栽培作物中重金屬含量 (ppm)

Table 6. Effect of heavy metal added in soil on the content of crop tissues

Heavy metal 重金屬	濃度 (ppm) Conc.		大豆 Soybean		玉米 Corn		大麥 Barley	
	添加	0.1N HCl 抽出	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
銅 Cu	對照	6	37	42	87	102	75	102
	2	8	37	42	62	100	75	100
	10	15	37	65	72	125	72	125
	100	91	175	250	137	312	182	425
鋅 Zn	對照	14	66	74	99	283	149	249
	2	15	75	142	99	208	141	241
	10	22	90	166	116	366	174	358
	100	96	*	*	224	750	274	583
鎘 Cd	對照	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	37	67	8	27	7	27
	10	10	150	405	37	70	35	87
	100	87	*	*	150	310	197	300
鉻 Cr	對照	0	30	30	25	37	25	25
	2	8	35	37	25	35	25	25
	10	10	40	42	25	37	25	37
	100	15	50	75	25	50	25	37

* 無植株。添加濃度為 1000 ppm 者無植株。添加濃度為 500 ppm 者植株甚小。

四、參考文獻

1. 王銀波。1977。水污染對土壤之影響。中國農業工程學報 23: 29~31。
2. 行政院衛生署環保局植物保護中心, 中興大學。1982。台灣地區土壤污染調查報告 (苗栗縣、台中縣、彰化縣、雲林縣、南投縣), 行政院衛生署環保局專刊。
3. 吳敏慧、劉黔蘭、高銘木。1972。生物法研究殺草劑對連作蔗田減產之影響。中華農學會報(新)80: 52~65。
4. 吳敏慧、劉黔蘭、趙震慶、謝學武、林茂盛。1976。微生物及生化法探討二期稻減產之原因。中華農學會報(新)96: 16~37。
5. 徐玉標。1975。工業廢水之污染質對灌溉水品質之影響。科學發展月刊3(12): 1971~2000。
6. Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
7. Black, C.A. (ed). 1965. Methods of Soil Analysis. Part 2. pp.

- 1460-1466, 1498-1505. Am. Soc. of Agronomy.
8. Bowen, H J.M. 1979. *Environmented Chemistry of the Elements*. Academic Press Inc. London.
 9. Foy, C.D., R. L. Chaney and M. C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:511-566.
 10. Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute.
 11. Kitagishi, K. and I. Yamane. 1981. *Heavy Metal Pollution in Soils of Japan*. Japan Scientific Societies Press. Tokyo.
 12. Page, A. L. et al. 1982. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 2nd ed. pp.323-344. Academic Press. New York.
 13. Robb, D.A. and W.S. Pierpoint. 1983. *Metals and Micronutrients: Uptake and Utilization by Plants*. pp.51-67, 160. Academic Press. New York.
 14. Ross, D. S., R. E. Sjogren and R. J. Bartlett. 1981. Behavior of chromium in soils: IV. Toxicity to microorganisms. *J. Environ. Qual.* 10:145-148.
 15. Tripathy, B. C. and P. Mohanty. 1980. Zinc-inhibited electron transport of photosynthesis in isolated barley chloroplasts. *Plant Physiol.* 66:1174-1178.
 16. Walsh, L.M. and J.D. Beaton (eds). 1971. *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissue*. pp.17-37. Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin.
 17. Williams, S. E. and A. G. Wollum. 1981. Effect of cadmium on soil bacteria and actinomycetes. *J. Environ. Qual.* 10:142-144.
 18. Wang, Y. P. 1985. Some aspect of heavy metals as an environmental pollutant in Taiwan. Seminar on "Environmental Toxicology" C.C.N.A.A. and A.I.T.

Effect of Copper, Zinc, Cadmium and Chromium on Soil Microorganisms and Plant Growth¹⁾

Yin-Po Wang²⁾ Chyan-Lan Liu³⁾ Lun Wu⁴⁾ Yan-Sun Lin⁵⁾

Summary

In copper, zinc, cadmium and chromium polluted soils, the number of bacteria, actinomycetes and fungi in the soil decreased with increasing the concentration of heavy metals. The results can be described with logarithmic linear equation ($\text{Log } Y = a - bx$ or $\text{Log } Y = a - b \text{ Log } x$). Copper affected the population of fungi the most and actinomycetes the second; zinc affected bacteria the most and actinomycetes the second; cadmium affected actinomycetes the most and bacteria the second; chromium affected bacteria the most and fungi the second. The addition of different concentration of copper, zinc, cadmium and chromium, in Taichung sandstone and shale alluvial soil, the growth of corn, soybean and barley were decreased with increasing the concentration of heavy metals. The response of soybean can be described with logarithmic linear equation ($Y = a - b \text{ Log } x$), as corn and barley were described with parabolic equation ($Y = a - bx + cx^2$). The toxic effects of cadmium and zinc to the growth of soybean was more serious than that of corn and barley.

國立中興大學 

National Chung Hsing University

1) This research was supported by a grant (72農建 - 4.1 - 源 - 54(8))^c

2,3,4,5) Professor, Assistant, Technician, Technician of Soil Science Department, NCHU respectively.