

# 土壤中에 있어서 무우와 배추의 生育에 미치는 重金屬 Cr, Ni, Cd, Cu, Zn의 影響

文永熙 · 金鑄揮 · 梁桓承\*

## Effects of Heavy Metals Cr, Ni, Cd, Cu, Zn on Growth of Radish and Chinese Cabbage in Soils

Young Hee Moon, Yong Hwi Kim, Hwan Seung Ryang\*

### Abstract

The germination and growth of radish and chinese cabbage in soils treated with Cr, Ni, Cd, Cu, and Zn at 20, 50, 100 and 200 ppm were determined. The germination of radish and chinese cabbage in soils was greatly affected by addition of Ni and Cr at 200 ppm, but almost not at all by treatment with Cd, Cu, and Zn even 200 ppm. The injury to the growth of crops was generally the highest with Cr, followed by Ni, Cd, Cu, and Zn, and more with chinese cabbage with radish. Serious crop injury appeared at 20 ppm of Cr, 50 ppm of Ni, Cd and Cu, and 200 ppm of Zn on radish, and at 20 ppm of Cr, Ni, Cd and Cu, and 200ppm of Zn of chinese cabbage. However, crop inhibition decreased greatly with addition of compost and lime.

### 序 論

土壤 汚染源은 有機物, 無機鹽類, 有機合成化合物, 重金屬類등을 들 수 있다. 그중 有機物이나 無機鹽類, 有機合成化合物등은 土壤中에서 消失速度에는 差異가 있겠으나 分解溶脫되지만 重金屬類는 分解되지 않고 土壤系에 殘存되어 그 除去가 거의 不可能한 바 特別히 問題視되는 것은 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg등의 重金屬類에 의한 汚染이라 하겠다. 土壤中에 汚染된 重金屬은 濃度가 낮다 하여도 生物體에 有害하여 農作物의 生育을 阻害시킬 수 있으며 植物鏈銷現像을 通하여 人體에 蓄積될 수도 있다. 重金屬이 人體에 미치는 影響은 Itai itai 病, Minamata 病등과 더불어 더욱 深刻한 問題로 提起되었

다.

한편, 우리나라에서의 土壤汚染에 대한 研究는 大氣汚染이나 水質汚染에 비하여 活潑하지 못한 편이다<sup>1)</sup>. 特別히, 土壤中 重金屬이 作物에 미치는 影響은 土壤의 特性, 作物의 種類, 栽培方法등의 差異에 따라 크게 變動되는 것으로 알려져 있으나<sup>2, 3)</sup>, 이에 대한 研究는 매우 적은 편이며 지금까지 發表된 報告의 大部分이 重金屬에 의한 土壤汚染 정도 또는 既存 汚染土壤에서의 作物의 生育狀態를 調查 分析<sup>4-10)</sup>, 혹은 논 條件을 中心으로 進行되었 으며<sup>11-18)</sup> 各種 重金屬에 의한 土壤汚染程度가 發作物에 미치는 影響에 대한 研究는 매우 적은 편이다. 1, 19, 20)

따라서 본 研究에서는 各種 重金屬에 의한 土壤

\* 全北大學校 農科大學 農化學科 (Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea)

汚染程度가 밭 作物의 生育에 미치는 影響을 究明할 目的의 一環으로 土壤條件으로 石炭과 堆肥를 添加 혹은 無添加로하여 重金屬 Cr, Ni, Cd, Cu, Zn을 定量的으로 加한 土壤에 있어서 우리나라에서 가장 많이 食用되는 菜소중 무우와 배추의 生育狀態를 調査하였다.

### 材料 및 方法

1. 土壤 : 實驗에 使用한 土壤은 全北 茂州郡 安城面 所在 非耕作地의 산에서 採取한 것으로 2.5mm체에 數回 通過시키며 잘 混合하여 實驗에 供試하였다. 土壤의 土性은 砂質植 壤土였으며, pH는 6.0이었고 (단 栽培後 土壤 pH는 石灰-堆肥添加土壤이 6.5,

Table 1. Germination and growth of radish in soils treated with heavy metals.

Heavy metal Concentration (ppm)	Germination (%)		Intital injury <sup>3)</sup> (0-5)		Plant height (%)		Root length (%)		No. of leaf (No.)		Dry weight (%) <sup>4)</sup>		
	No C.-L.	C.-L.	No C.-L.	C.-L.	No C.-L.	C.-L.	No C.-L.	C.-L.	No C.-L.	C.-L.	No C.-L.	C.-L.	
Control	100	100	0.0	0.0	100	100	100	100	4.5	4.8	100	100	
Cr	20	100	100	1.0	0.0	63	90	54	55	3.4	3.8	40	56
	50	90	90	3.0	2.0	16	65	12	52	2.0	3.8	3	44
	100	80	80	4.0	4.0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
	200	60	80	4.5	4.5	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
Ni	20	100	100	0.0	0.0	84	71	67	84	4.0	4.0	80	93
	50	100	100	3.0	0.0	78	69	65	61	3.5	4.0	50	83
	100	80	90	4.0	3.0	3	6	21	46	1.0	1.0	3	31
	200	70	90	4.0	3.5	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
Cd	20	100	100	0.0	0.0	95	90	82	77	3.3	4.0	71	71
	50	100	100	0.0	0.0	59	80	62	64	3.4	4.3	47	68
	100	90	100	3.0	2.0	27	51	34	38	3.0	3.0	23	35
	200	90	90	4.0	3.0	13	23	22	26	1.5	2.3	22	15
Cu	20	100	100	0.0	0.0	89	83	61	82	4.3	4.8	70	82
	50	100	100	0.0	0.0	92	75	31	69	3.5	4.8	35	75
	100	100	100	2.0	0.0	70	70	34	67	2.0	4.2	27	70
	200	100	100	4.0	2.0	31	62	14	39	2.0	3.0	16	55
Zn	20	100	100	0.0	0.0	105	90	111	92	4.0	4.0	104	92
	50	100	100	0.0	0.0	120	85	98	84	4.0	3.4	98	88
	100	100	100	0.0	0.0	112	83	89	84	4.0	4.0	96	76
	200	100	100	0.0	0.0	51	70	39	78	3.5	4.0	36	67

- 1) No C.-L. : No addition of compost and lime
- 2) C.-L. : Addition of compost and lime
- 3) Initial injury : 0-no injury, 5-completely killed
- 4) % : % of control

無添加土壤이 5.7이였음), 有機物 含量은 0.05%, 重金屬(Cr, Ni, Cd, Cu, Zn)含量은 Trace水準이었다.

2. 石炭, 堆肥 및 重金屬의 添加 : 土壤에 堆肥(腐葉土)와 石炭을 土壤 kg당 35g과 3.5g(石炭 要求量의

5倍)을 各各 乾物重으로 加하고 잘 混合하여 石炭-一堆肥 添加土壤으로, 이를 添加하지 않은 土壤을 石炭-一堆肥 無添加土壤으로 使用하였다.

石炭-一堆肥添加土壤과 無添加 土壤에 Cd源으로  $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ 을, Cu源으로는  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 을, Cr

源으로는  $K_2Cr_2O_7$ 을, Ni源으로는  $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ 을, Zn源으로는  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 을 各各 成分含量으로 土壤(乾土)에 0(無添加), 20, 50, 100, 200 ppm이 되도록 各各 鉢에 渾여 添加하고 2.5mm 체에 數回 通過시키며 잘 混和시켰다.

3. 作物栽培：石炭一堆肥添加土壤 또는 無添加土壤에 重金屬을 各各 混合한 土壤 1.4kg을 포트(프라스틱제, 直徑 10cm, 높이 15cm)에 채운후 催芽시킨 무우種子(대형봄무우, 興農)와 배추種子(조생종 봄배추, 興農)를 포트당 各各 10개씩 3反復으로 播種하여 비닐하우스내에서 生育栽培하였다.

栽培期間中 土壤은 適濕狀態程度(水分含量 40-60%)를 維持시켰으며 하우스내의 平均 溫度는 20℃였으나 日較差는 컸다. 其他 栽培管理는 一般慣行에 準하였다.

4. 作物生育調査：重金屬 無添加土壤에서 栽培한 作物을 對照로 發芽 初期(播種7일이내)에 發芽率을 調査하였으며 播種 15일 후에는 初期生育狀態를 達觀으로 調査하였고, 播種 40일후에 作物의 葉數, 草長, 根長, 乾物重을 調査하여 重金屬 無添加土壤에서의 값에 대한 生育率을 求하였다.

## 結 果

石炭一堆肥添加 土壤과 無添加 土壤에 重金屬 Cr, Ni, Cd, Cu, Zn을 0-200 ppm 사이의 5段階 濃度로 加하고 무우와 배추를 栽培하여 作物 生育에 미치는 土壤中 重金屬의 影響을 調査한 結果는 다음과 같다.

### 1. Cr添加土壤에 있어서 作物生育

6價 Cr을 添加한 土壤中에 있어서 무우, 배추의 生育狀態는 表1, 2와 같다. 石炭一堆肥添加나 無添加에 關係없이 添加濃度 50ppm까지는 무우와 배추의 發芽率이 거의 100%였으나, 100-200ppm添加土壤에서는 發芽가 늦어졌으며 發芽率도 낮아졌고 發芽 直後 葉色이 濃綠色으로 變하면서 枯死되었다.

作物의 生育狀態는 初期 生育, 草長, 根長, 葉數, 乾物重으로 나누어 調査하였으나, 表1, 2에서 보는 바와 같이 全般的으로 乾物重이 이들 因子를 代表할수 있었던바 生育狀態는 주로 乾物重을 中心으로

檢討하기로 한다.

Cr添加土壤중에서 作物의 生育은 土壤中 Cr의 添加 濃度가 增加됨에 따라 더욱 심하게 抑制되었으며 石炭一堆肥添加土壤에서의 生育은 無添加土壤에의 生育에 比하여 抑制程度가 약간(乾物重이서 약 15%) 輕減되었으나, 播種 15일후 100, 200ppm添加 土壤에서는 兩條件에서 두作物 모두 生育이 不可能하였다. 20ppm添加에서도 播種40일 후에는 무우와 배추의 乾物重이 Cr無添加 土壤에 比하여 石炭一堆肥無添加土壤의 경우 各各 60%, 80%, 石炭一堆肥添加土壤의 경우 各各 44%, 66% 抑制되었다.

Cr에 대한 感受性은 무우보다 배추가 예민하였고, 무우와 배추에 나타난 Cr의 生育沮害症狀은 거의 비슷하게 잎이 심하게 위축되고 가장자리부터 赤黃色으로 變하였으며 根部의 生育도 非正常的으로 잔뿌리가 많았다.

### 2. Ni添加土壤에 있어서 作物의 生育

표1, 2에 나타난 바와 같이 Ni添加土壤에 있어서 두 作物의 發芽率은 50ppm添加까지는 거의 影響이 없었으나 100, 200ppm添加土壤에서는 배추의 發芽率이 매우 낮았고 무우의 發芽率은 70-90%였다. 그러나, 石炭一堆肥添加土壤에서는 發芽 抑制程度가 無添加土壤에 比하여 10-40% 輕減되었다.

發芽후 生育抑制가 急 進展되어 初期生育 調査時 Ni 100, 200ppm添加土壤에서는 두 作物 모두 生育이 不可能하였으며 20ppm添加土壤에서도 播種 40일 후에는 배추의 경우 50%以上, 무우의 경우 20% 정도의 生育抑制를 나타냈다. 石炭一堆肥添加土壤에서는 無添加에 比하여 作物 生育抑制가 약 20% 정도 輕減되었다.

Ni에 대한 感受性은 배추가 무우보다 越等히 예민하였으며 生育沮害症狀은 무우와 배추의 잎이 濃綠色으로 變하였고 무우의 경우 잎이 위축되며 요철症狀을 나타냈다.

### 3. Cd添加土壤에 있어서 作物生育

무우의 發芽率은 土壤條件에 關係없이 Cd 200ppm添加까지 90%以上으로 매우 높았으나, 배추의 경우는 多少 低調하여 Cd 100, 200ppm添加에서 各各

80, 60%였으며 石炭一堆肥添加土壤에서는 各各 90, 70%였다(표1, 2).

發芽후 初期 生育狀態는 무우의 경우 Cd 100 ppm以上, 배추는 50ppm以上 添加土壤에서 매우 심한 生育抑制를 보였으며, 播種 40일 후에는 作物 모두 20ppm 添加에서도 生育이 크게 抑制되어 無添加에 比하여 무우는 70%, 배추는 50% 정도의 生育率을 보였다. 石炭一堆肥添加土壤의 경우에는 生育抑制를 10-20%정도 輕減시켰다.

Cd에 대한 耐性은 배추보다 무우가 약간 強한 편이었다. Cd의 生育沮害症狀은 무우의 경우 1/2

全體가 노랗게 變化되는 것이 特徵이었으며 배추의 경우는 뿌리 發育이 低下되고 잔뿌리가 많아 지며 葉이 赤褐色으로 變化됨을 볼 수 있었다.

4. Cu添加土壤에 있어서 作物生育

표1, 2에 나타낸 바와 같이 Cu 200ppm 添加土壤에서 배추의 發芽率 70%를 除外하고는 모두 發芽率이 90%以上이었다. 그러나 生育이 進行됨에 따라 Cu의 添加濃度가 높은 土壤에서는 심한 生育抑制를 나타내어 播種 40일후에는 Cu 20ppm添加土壤에서

Table 2. Germination and growth of chinese cabbage in soils treated with heavy metals.

Heavy metal Concentration (ppm)	Germination (%)		Intital injury <sup>3)</sup> (0-5)		Plant height (%)		Root length (%)		No. of leaf (No.)		Dry weight (%) <sup>4)</sup>		
	No C.-L.	C.-L <sup>2)</sup>	No C.-L.	C.-L	No C.-L.	C.-L	No C.-L.	C.-L	No C.-L.	C.-L	No C.-L.	C.-L	
Control	100	100	0.0	0.0	100	100	100	100	4.3	4.8	100	100	
Cr	20	90	90	2.0	0.0	40	44	38	32	3.0	4.0	20	34
	50	100	90	4.0	3.0	0	14	0	22	0.0	1.5	0	3
	100	80	30	5.0	5.0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
	200	0	0	5.0	5.0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
Ni	20	100	100	0.0	0.0	36	70	45	67	3.0	3.5	26	48
	50	100	90	4.0	2.0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0
	100	80	90	4.5	3.0	9	17	13	16	1.0	1.3	11	13
	200	60	70	5.0	4.5	0	14	0	13	0.0	1.0	0	8
Cd	20	100	100	0.0	0.0	60	59	45	58	2.3	3.7	44	51
	50	100	100	3.0	2.5	22	29	29	27	2.0	2.5	22	16
	100	80	90	4.0	3.0	9	17	13	16	1.0	1.3	11	13
	200	60	70	5.0	4.5	0	14	0	13	0.0	1.0	0	8
Cu	20	100	100	0.0	0.0	69	84	45	65	3.6	4.0	52	84
	50	100	100	0.0	0.0	36	61	32	66	2.5	4.0	36	66
	100	90	100	2.0	0.0	30	71	21	32	2.0	5.0	17	55
	200	70	90	5.0	2.0	0	32	0	18	0.0	3.0	0	16
Zn	20	100	100	0.0	0.0	97	90	98	90	5.0	5.0	111	93
	50	100	100	0.0	0.0	98	81	112	85	5.0	4.3	100	87
	100	100	100	0.0	0.0	73	64	67	84	4.5	4.7	61	77
	200	100	100	0.5	0.0	56	57	21	38	3.8	4.0	35	73

- 1) No C.-L. : No addition of compost and lime
- 2) C.-L. : Addition of compost and lime
- 3) Initial injury : 0-no injury, 5-completely killed
- 4) % : % of control

도 無添加土壤에서의 生育에 比하여 두作物 모두 乾物重이 50%밖에 되지 않았다. 그러나 石灰-堆肥添加土壤에서는 무우와 배추의 生育抑制가 30-40% 輕減되었다.

Cu에 대한 耐性은 배추보다 무우가 약간 강한 편이었으며, 沮害症狀은 무우의 경우 잔 뿌리가 많았으며 뿌리의 發育이 不良하였고 잎의 가장자리부터 黃褐色으로 變하였으며, 배추의 경우에는 잔뿌리가 많았으며 잎의 가장자리부터 赤褐色-褐色으로 變하였다.

### 5. Zn添加土壤에 있어서 作物生育

Zn添加 土壤中 무우와 배추의 發芽率은 200ppm 添加濃度까지 거의 影響을 받지 않았으며, 初期生育도 표1, 2에 나타난 바와 같이 影響이 없었으며 오히려 20-100ppm 添加까지의 土壤에서는 生育이 두作物 모두 促進되었다. 그러나, 播種 40일 후에는 무우의 경우 200ppm, 배추의 경우 100ppm 以上 添加土壤에서는 40-50%의 生育抑制를 보였으며 그 抑制程度는 石灰-堆肥添加土壤에서는 20%정도 輕減되었다.

Zn에 대한 耐性程度는 무우가 배추보다 강한 편이었다. Zn의 沮害症狀은 무우의 경우 잎가장자리가 黃褐色-褐色으로 變하였으며, 배추의 경우는 잎 가장자리가 黃褐色으로 變化되면서 점점 잎 全體로 번졌고 뿌리도 非正常的이 었다.

### 考 察

一般的으로 土壤中 重金屬이 作物에 미치는 影響은 重金屬의 種類와 濃度에 따라 顯著한 差異가 있는 것으로 알려져 있고 또 같은 種類의 重金屬이라 하여도 作物의 種類 및 土壤條件에 따라 作物의 生育沮害 程度가 다른 것으로 알려졌다<sup>2, 3, 18-22</sup>). 본 研究에서는 重金屬 Cr, Ni, Cd, Cu, Zn을 添加한 土壤에서 무우와 배추를 栽培하여 重金屬이 이들 作物의 生育에 미치는 影響에 대하여 調査한 結果, 重金屬이 무우, 배추의 發芽에 미치는 影響은 石灰-堆肥添加土壤에서보다 石灰-堆肥無添加土壤이 심하였으며 石灰-堆肥無添加土壤에서 Zn, Cu의 경우 200ppm添加土壤에서도 發芽 抑制를 거의 볼수 없었으며 Cd는 高濃度(200ppm) 添加 土壤에서

배추의 發芽는 상당히 影響을 받았으나 무우는 거의 影響을 받지 않는 것으로 나타났으나 Cr과 Ni는 100 ppm 添加濃度에서도 무우와 배추 특히 배추의 發芽를 크게 抑制하였던 점으로 보아 (표 1, 2) 重金屬에 의한 作物의 發芽抑制는 重金屬의 種類 및 作物의 種類에 따라 큰 차가 있는 結果를 나타냈고, 본 研究에서는 Ni, Cr>Cd>Cu>Zn순으로 發芽를 抑制시켰으며 이들 重金屬에 대한 發芽率의 影響은 무우보다 배추가 더 抑制를 받음을 알수 있었다.

한편 金<sup>18)</sup>은 Ni, Cr>Cu>Cd順으로 水稻의 生育을 抑制하며 Ni와 Cr은 12ppm, Cd는 100ppm, Cu는 30 ppm添加土壤에서부터 生育을 抑制한다고 報告하였으며 Hunter<sup>23)</sup>는 砂耕栽培 條件에서 귀리의 生育은 Ni 20ppm添加時 크게 억제 받았다고 報告하고, 鄭<sup>20)</sup>은 Cr 50ppm 添加土壤에서 배추의 收量이 50% 減少됨을 報告하고 있다. 그러나 이들 結果에 比하여 本 研究에서 供試한 무우와 배추의 生育은 重金屬의 影響을 越等히 심하게 받아 Cr과 Ni의 경우 20ppm 添加時 50%以上 生育이 抑制되었으며 이에 比하여 Cd와 Cu는 이들 作物에 미치는 影響이 弱하다 하겠으나 배추는 20ppm, 무우는 50ppm添加 濃度에서 50% 정도 生育이 抑制됨을 알 수 있었다. 이와는 對照的으로 Zn의 경우 低濃度에서는 作物의 生育을 促進하는 것으로 알려져 있는데<sup>2, 18)</sup> 본 結果에서도 50ppm까지의 添加濃度에서는 무우, 배추의 生育이 促進되어 이들 結果와도 符合되었으나 배추는 100 ppm, 무우는 200ppm添加時 生育이 抑制되는 것으로 보아 作物에 따라 差異가 있겠으나 Zn도 高濃度가 되면 作物生育이 抑制됨을 알 수 있었다. 以上과 같이 供試한 5 種類의 重金屬別 作物生育의 抑制 정도는 Cr>Ni>Cd>Cu>Zn順이었으며 作物別 生育抑制는 무우보다 배추가 보다 크게 影響을 받음을 알 수 있었다.

한편 土壤중에 있어서 重金屬의 溶解度와 溶出量은 土壤 pH와 密接한 關係를 가지며 大部分의 경우 酸性쪽에서 높으며 中性쪽으로 되면서 낮아지는 것으로 알려져 있고 또 土壤中 有機物은 重金屬과 킬레이트화되는 바 土壤에 有機物이나 石灰를 施用하므로써 作物에 대한 重金屬의 害를 輕減시킬 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>2, 10, 24, 25)</sup>. 本 實驗에 있어서도 堆肥와 石灰를 添加한 土壤중에서는 重金屬에 의한 作物의 害가 顯著히 輕減되었으며(표1, 2) 또 土壤pH도 堆肥와 石灰 無添加土

壤에서 5.7인데 反하여 添加 土壤에서 6.5로 中性에 가까워졌다. 그러나 土壤中에 있어서 堆肥와 石灰 添加에 의한 重金屬의 作物害 輕減效果는 作物의 種類(무우, 배추)에 따라 多少 差異가 있었으며 또 重金屬의 種類에 따라서도 差異를 보여 Cu, Zn, Ni의 害는 크게 輕減되었으나 Cd와 Cr의 害에 대한 輕減效果는 낮은 輕減함을 알 수 있었다.

### 要 約

土壤中 Cr, Ni, Cd, Cu, Zn을 各 0, 20, 50, 100, 200ppm添加하고 무우와 배추의 發芽 및 生育에 미치는 各 重金屬의 影響을 調査하였다. 무우와 배추의 發芽는 Ni와 Cr 200ppm添加 土壤에서 抑制를 받았으나 Cu, Cd, Zn 200ppm添加 土壤에서는 크게 影響을 받지 않았다. 5種의 重金屬이 무우와 배추의 生育 抑制에 미치는 影響은 Cr>Ni>Cd>Cu>Zn順였으며 무우보다 배추가 더 크게 抑制를 받았다. 무우에 대하여 50%以上 抑制를 보였던 各 重金屬의 添加濃度는 Cr가 20ppm, Ni, Cd과 Cu는 50ppm, Zn은 200ppm였으며, 배추에 대하여는 Cr, Ni, Cd, Cu가 20ppm, Zn은 200ppm였다. 重金屬에 의한 2가지 作物의 生育抑制는 土壤中 堆肥와 石灰의 添加에 의하여 顯著히 輕減되었다.

### 參考文獻

- 徐胤洙(1985) : 土壤 및 農産物汚染, 韓國環境農學會誌, 4(2), 126
- 日本環境廳土壤農藥課(1973) : 土壤汚染, 白亞書房, 東京.
- 洪谷政夫, 山添文雄, 尾形保, 能勢和夫(1978) : 環境汚染と農業, 博友社, 東京.
- 柳順昊, 朴茂彦, 盧熙明(1983) : 亞鉛鑛山 隣近畚의 土壤中 重金屬含量과 玄米中 含量과의 關係, 韓國環境農學會誌, 2(1), 18.
- 朴權瑀, 黃善九, 金永植(1983) : 葉根菜類의 重金屬含量에 미치는 栽培時期, 埋立後 耕作 年度의 影響, 韓國環境農學會誌, 2(1), 13.
- 李瑞來, 宋基俊(1986) : 溫山工團 周邊 農作物의 重金屬 濃度調査, 韓國環境農學會誌, 5(1), 43.
- 李楨載, 崔火正(1986) : 琴湖江 流域의 水質,

土壤 및 作物體中の 重金屬(Zn, Cu, Cu, Pb)含量 調査, 韓國環境農學會誌, 5(1), 24.

- 李瑞來, 宋基俊(1985) : 溫山工團 周邊土壤의 重金屬 濃度調査, 韓國環境農學會誌, 4(2), 88.
- 柳順昊, 李啓燾, 玄海男(1985) : 亞鉛鑛山 周邊土壤의 카드뮴, 亞鉛, 구리 및 鉛의 化學的 形態別 含量, 韓國環境農學會誌, 4(2), 71.
- 金成朝, 白承和(1985) : 畚土壤에서 腐葉土가 水稻의 Cd吸收에 미치는 影響, 韓國土壤肥料學會誌, 18(1), 99.
- 金成朝, 梁桓承(1985) : 製鍊所 隣近地域의 土壤 및 水稻體中 重金屬含量에 關한 調査 研究, 韓國土壤肥料學會誌, 18(4), 336.
- 金成朝, 梁桓承(1986) : 萬頃江 流域의 土壤 및 水稻體中 重金屬 含量, 韓國環境農學會誌, 5(1) 11.
- 金福榮, 金奎植(1986) : 農作物에 대한 납의 吸收 및 被害輕減에 關한 研究 I. 砂耕溶液中 鉛(Pb) 濃度가 水稻體 吸收 및 收量에 미치는 影響, 韓國土壤肥料學會誌, 19(2), 147.
- 金福鎮(1987) : 磷酸이 水稻의 Cd 吸收에 미치는 影響에 關한 研究, 韓國土壤肥料學會誌, 20(1), 11.
- 金奎植, 朴英善, 金福榮(1983) : 카드뮴 化合物別 水稻 吸收 및 生育에 미치는 影響, 韓國環境農學會誌, 2(1), 6.
- 柳順昊, 朴武彦(1985) : 土壤分析에 依한 玄米中 重金屬 含量 豫測, 韓國環境農學會誌 4, (1), 31.
- 李敏孝, 林秀吉, 金福榮(1986) : 土壤中 비素의 行動과 水稻의 비素 吸收에 依한 被害生理 生態에 關한 研究, II. 土壤에 비素處理로 因한 水稻의 비素吸收 및 生育에 미치는 影響, 韓國環境農學會誌, 5(2), 95.
- 金成朝(1984) : 大氣 및 水質 汚染 地域의 土壤 및 水稻體中 重金屬 含量에 關한 研究, 全北大學大學院 博士學位論文.
- 李敏孝, 金福榮(1985) : 土壤中 重金屬(Cd, Zn)의 處理가 옥수수 生育 및 吸收에 미치는 影響, 韓國環境農學會誌, 4(1), 11.
- 鄭永浩(1977) : 重金屬元素에 依한 農作物被害 및 그 對策에 關한 研究, 크롬(Cr)에 依한 배

- 추의 被害 및 對策, 韓國土壤肥料學會誌, 10 (4), 201.
21. Chaney, R. L. (1973) : Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents, Recycling municipal sludges and effluents on land, Nat. Asso. of State Uni, and Land-grant Coll. Washington, D. C. p. 129.
22. John, M. K. and van Laerhoven, C.(1972) : Lead uptake by lettuce and oat as affected by lime, nitrogen and sources of lead, *J. Envir. Qual.* 1, 169.
23. Hunter, T. G., and Vergnano, O.(1953) : Trace element toxicities in oat plants, *Ann. Appl. Biol.* 40, 761.
24. 柳順昊, 朴武彦(1985) : 浸出液의 種類와 土壤中 카드뮴 亞鉛 및 鉛의 浸出性, 韓國環境農學會誌, 4(1), 25.
25. 金奎植, 金福榮, 韓基碩, 石炭의 磷酸質 施用이 土壤中 납(Pb) 溶出에 미치는 影響, 韓國土壤肥料學會誌, 19(3), 217.