

## 植物體의 鉛(Pb) 吸收 및 有毒性에 미치는 陰이온의 影響

成 敏 雄 · 鄭 永 浩  
(慶尙大學 科學教育科 · 農村振興廳 農業技術研究所)

### Effects of Various Anions on Absorption and Toxicity of Lead in Plants

Sung, Min Wung and Young Ho Jeong  
(Department of Science Education, Gyeongsang National University, Jinju, and Institute of Agricultural Technology, Suwon)

#### ABSTRACT

The seeds of bean(*Glycine max* M.) and corn(*Zea mays* L.) soaked in 5000 ppm lead solution for 24 hours were sowed in the flowerpots being placed sandy-clay soil under the field condition. The fixed concentrations of various anions and 2000 ppm lead were supplied alternately in the sandy-clay soil of the flowerpots at two days interval from May to July in 1976. After the plants were harvested prior to the flowering stage, the lead contents of plant and soil were analyzed by atomic absorption spectrophotometer. The lead contents absorbed by the plant roots showed the highest in an weak acid soil of the best suitable condition of plant growth. The absorption of lead by the plant roots was inhibited by the various anions, especially divalent anions of the soil. Some phosphate anions inhibited lead absorption more than other various anions in the soil. The more various anions were in the soil, the more plants could be protected from the lead toxicity. In the case of lead supply in the soil, 99.5% of lead was accumulated in the upper layer of the soil(0-10cm), and 0.5% of lead accumulated in the lower layer (10-20cm). Therefore, the yellow-brown and white symptoms on the leaves and the inhibition of root growth by lead toxicity was increased in the early stage of the germination, however decreased in accordance with the progress of the growing stage because of the root growth toward beneath the lower layer of the soil. In spite of the contents of 3773ppm lead in the soil, the symptoms of lead toxicity was not found in the grown plants. At that time the lead contents of the plants absorbed from the soil were minimum 0.78ppm and maximum 3.64ppm through the growing stage.

#### 緒 論

鉛은 옛날부터 人間生活에 있어서 利用되는 곳이 많은 元素로서 古代 그리스 時代에 이미 水道管으로 使用되었고 또 여러가지 鉛化合物(PbO 密陀僧, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 銀丹, PbCO<sub>3</sub>, Pb(OH)<sub>2</sub> 鉛白)은 顔料, 醫藥으로서 알려져 왔으며, 이것들에서 起因되는 毒性도 로마 時代부

터 이미 問題가 되었다. 最近에는 方鉛鑛 等の 鑛床, 비산鉛 等の 農藥, 鉛을 含有한 加소린, 蓄電池工場 等으로 부터의 廢棄物에 依한 環境汚染이 重要な 關心事로 되어 있다.

Pb는 重金屬이므로 土壤에 落下(Smith, 1971; Warren and Delavault, 1962), 落積(Baumhardt and Welch, 1972; Kang and Choi, 1972; Cha, 1974), 土

壤에는 많으나 植物體의 根에 依한 吸收는 적다는 報告(Bowen, 1966; Lisk, 1972; 清水 등, 1973), 및 著者の Pb 浸漬反應(Sung, 1976)은 모두 Pb의 不溶態(Lagerwerff and Specht, 1970)를 뒷받침하고 있다. 그러나 土壤에서만이 아니고 植物體內에 吸收된 後에도 Pb가 細胞內에서 不溶態의 結晶體로 發見된다는 報告(Malone et al., 1974)도 있다.

植物體에 對한 Pb의 外形의 被害症狀으로서 高濃度에서도 植物體에 障害症狀이 없다는 報告(Cha, 1974; 高橋 등, 1976)와는 反對로 土壤에 100ppm Pb에서 伸長이 激減(Wilkins, 1957) 및 1ppm Pb에서도 害徵이 認定되고 5ppm 以上에서 葉柄, 葉身周邊部가 枯死한다는 報告(田中 등, 1974), 오히려 1ppm에서 10 ppm 까지 Pb 濃度가 增加함에 따라 植物의 生長이 促進된다는 報告(高橋 등, 1976) 및 植物의 種類에 따라 Pb의 有毒성에 對한 耐性이 다르다는 報告(清水 등, 1973) 등과 같이 植物에 미치는 Pb의 影響은 多様하다.

한편 Pb가 植物生活中 光合成作用의 抑制(Miles et al., 1972), 呼吸作用의 抑制(Koeppe and Miller, 1970), 蛋白質合成의 抑制(Huang et al., 1974) 및 Pb와 SH 基와의 結合에 依한 酵素作用의 抑制(Martin, 1962) 등이 報告되었다.

著者の 前報(Sung, 1976)에서 高濃度の Pb를 土壤에 處理하였으나 Pb의 有毒症狀이 植物體에 뚜렷하지 않았다. 그 理由를 明白히 究明하기 爲하여 pH 및 陰이온의 種類를 달리한 土壤에 Pb를 處理하였을 때 植物根에 依한 Pb의 吸收 및 有毒성에 미치는 陰이온의 保護效果를 調査하였다.

## 材料 및 方法

材料植物은 콩(*Glycine max* L.) 과 옥수수 (*Zea mays* L.)를 使用하였다. 1976年 5月 25日 砂質粘土를 花盆에 넣고 Pb 有毒症狀을 誘起시키기 爲하여 高濃度인 5000ppm의 Pb溶液에 材料種子를 24時間 浸漬시킨 後 浸漬된 種子 各 10粒씩 均一한 크기로 選定하여 花盆에 播種하였다. 花盆은 22×17cm의 土盆이었으며 使用된 砂質粘土의 化學的 組成은 T-N (0.07%), pH(5.8), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(68ppm), K<sub>2</sub>O(88ppm), Ca (4.2me/100g), Mg(0.6me/100g) 및 Pb(8.5ppm)였다. 土壤의 處理는 0.2N NaOH 및 0.2N HCl로 pH 3~11으로 調節된 蒸流水를 各 材料植物의 生長初期에 300 ml, 生長後期에 500ml씩 播種日부터 2日 間隔으로 供給하였다. 供給한 土壤의 pH는 pH meter로서 確認하였다. Pb의 9個區는 2000ppm Pb水溶液을 處理한

+Pb區 및 Pb를 處理하지 않은 -Pb區로 나누어 Pb 處理日과 交代로 2日 間隔 生長初期에 300ml 生長後期에 500ml씩 Pb水溶液을 供給시켰다.

土壤에 陰이온 處理는 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 및 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>로서 各各 NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 및 Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>를 使用하여 高濃度(high, 0.4g/l)와 低濃度(low, 0.02g/l)의 磷酸이온을 播種後 2日 間隔으로 每 花盆當 生長初期에 300ml, 生長後期에 500ml씩 各各 供給하였다. 其他 陰이온은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; low 0.5g/l, high 2g/l), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; low 0.1g/l, high 0.5g/l), MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O; low 0.0001g/l, high 0.01g/l) 및 BO<sub>3</sub><sup>3-</sup>(H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; low 0.001g/l, high 0.01g/l)을 蒸流水에 各各 溶解시킨 溶液을 生長初期에 300ml, 生長後期에 500ml씩 磷酸이온 處理와 同一한 方法으로 土壤에 處理하였다. 陰이온을 除去한 蒸流水만으로 陰이온과 同一한 方法으로 處理된 것을 none으로 하였다. Hoagland 完全培養液 만을 none과 同一한 方法으로 土壤에 處理한 것을 control로 하였다. 陰이온 處理區는 다시 +Pb 및 -Pb區로 나누어 各各의 pH에서 Pb를 處理한 方法과 同一하게 하였다.

土壤에 pH 및 陰이온의 各 處理區에서 2個月 生長한 材料植物을 地上部와 地下部로 나누어 收穫하였다. 이 材料를 生體重 測定에 使用하고 莖은 地下部の 根瘤의 乾燥重 測定에 使用되었다. 土壤과 植物 體內의 Pb含量 分析은 元素分析器機(Atomic absorp-tion spectrophotometer HITACHI 207)로서 wave length 2833A, fuel flow rate 3l/min(ethylene) 및 air flow rate 13l/min의 條件에서 實施하였다.

## 結 果

播種日부터 2000ppm의 Pb를 處理받은 種子들의 發芽時 Pb의 有毒症狀은 地上部에 黃褐色 乃至 白色으로 伸長이 抑制되었으며 根은 黑褐色으로 根毛發生 및 伸長이 抑制되는 形態로 나타났다.

發芽後 4日 째 부터 被害症狀을 調査한 結果에 依하면 發芽初期에 Pb의 有毒症狀은 極甚하였다. 그러나 時日의 經過에 따라 그 症狀은 차츰減少하였다. 이러한 被害症狀은 옥수수 보다 콩에서 더욱 顯著하였다. pH에 依한 植物의 Pb 有毒症狀은 알카리성 土壤에서 보다 酸性土壤에서 더욱 높았다. 여러 陰이온의 處理는 植物體의 Pb 有毒症狀을 減少시켰으며, 이러한 效果는 陰이온의 濃度가 增加함에 따라 더욱 顯著하였다. 그러므로 植物體의 Pb 有毒症狀에 對한 陰이온의 保護效果를 認定할 수 있었다(Table 1).

Table 1. Leaf symptom of lead toxicity through the progress of day after the seed germination

Treatment		1 day		10 day		20 day	
Anion	Concentration	Bean	Corn	Bean	Corn	Bean	Corn
pH	3	+++	++	+++	-	+	-
	3-5	++	+	++	-	-	-
	5-7	++	+	+	-	-	-
	7	++	+	+	-	-	-
	7-9	++	+	+	-	-	-
	9-11	+	-	-	-	-	-
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	None	++++	+++	++	-	+	-
	Low	++	++	+	-	-	-
	High	+	+	+	-	-	-
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	+++	+	++	-	+	-
	Low	++	-	+	-	-	-
	High	+	-	+	-	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	None	++++	++	++	-	+	-
	Low	+++	+	++	-	+	-
	High	+	-	+	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	None	+++	+	++	-	+	-
	Low	++	+	+	-	-	-
	High	++	-	+	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	++++	+	++	-	+	-
	Low	++	+	++	-	-	-
	High	+	-	+	-	-	-
MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	+++	+	+	-	+	-
	Low	++	-	+	-	-	-
	High	+	-	-	-	-	-
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	None	+++	+	+	-	+	-
	Low	+	-	+	-	-	-
	High	+	-	-	-	-	-

(+, symptom; -, none)

pH를調節한土壤에 Pb를處理한 植物의 生體重은 處理하지 않은 植物의 生體重 보다 減少하였다. Pb의 이러한 影響은 알카리성 土壤보다 酸性 土壤에서 더욱 顯著하였다. pH에 依한 +Pb와 -Pb 處理 間의 生體重에 對한 相關係數는 콩의 境遇  $r=+0.99(1\%)$ , 옥수수의 境遇  $r=+1.01(1\%)$ 로서 正의 相關을 나타내어 두 植物 모두 有意성이 認定되었다 (Table 2). Pb 含量 (Table 6) 및 植物生體重 間의 相關은 없었으며 有意성이 없었다.

여러 陰이온을 土壤에 處理하였을 때 植物生體重에

미치는 Pb의 影響은 陰이온 供給을 土壤에 增加시킴에 따라 Pb에 因한 生體重의 減少는 防止되어 오히려 增加될 可를 알 수 있었다 (Table 3).

陰이온 處理中 +Pb와 -Pb 間의 生體重에 對한 相關은 磷酸이온에서만 發見할 수 있었으며 이 때의 相關係數는  $r=+1.024(1\%)$ 로서 有意성이 認定되었다.

Pb를 處理한 土壤의 pH를 달리 하였을 때 콩 植物의 根瘤에 對한 乾燥重은 酸性土壤에서 減少하였으나 알카리성土壤에서 增加하였다 (Table 4). Pb를 處理한 것과 對照區 間의 pH에 對한 根瘤의 乾燥

Table 2. Effect of lead on the fresh weight per plant grown in the soil condition of the various pH

Treatment		Fresh wt g/plant	
pH	Lead	Bean	Corn
3	+	3.00	4.60
	-	3.10	5.40
3-5	+	3.30	5.45
	-	3.50	6.40
5-7	+	3.42	6.00
	-	3.60	9.40
7	+	3.18	6.40
	-	3.30	8.80
7-9	+	3.10	5.60
	-	3.25	7.20
9-11	+	3.04	4.70
	-	3.15	5.20
Average	+	3.17	5.46
	-	3.32	7.07
		r = +0.99 (1%)	r = +1.01 (1%)

重은  $r = +0.95(1\%)$ 로 相關에 有意性은 認定되었다. 그러나 pH의 差에 따른 植物生體重의 有意性은 認定되지 않았다. 또한 植物體의 Pb含量과 根瘤의 乾燥重 間의 相關은 認定되지 않았다(Table 4). 따라서 콩의 植物體內 Pb含量이 平均 1.52ppm 와 옥수수 平均 3.11ppm일 때 根瘤形成에 pH는 有意한 影響을 미치지 않았음을 알 수 있다. 反面 pH를 달리한 土壤에 +Pb는 -Pb보다 根瘤 形成을 抑制하였다. 이의 相關係數는  $r = +0.95$ 로서 有意한 關係를 나타내었다. 이는 土壤에 存在하는 Pb의 높은 含量이 根瘤形成을 抑制한다는 意味이며 植物體中에 吸收된 Pb의 낮은 含量이 根瘤形成에 抑制影響을 나타낸다는 意味가 아님을 示唆한다(Table 6).

Pb는 根瘤의 形成을 抑制시켰으나 陰이온의 濃度를 增加시킬 때 따라 根瘤形成은 增加되었다(Table 5).

Pb에 對한 陰이온의 이러한 影響은 磷酸에서 가장 顯著하였다. 植物體의 Pb含量과 根瘤形成間에는 磷酸이온의 濃度 增加에 限하여  $r = -1.154(1\%)$ 로서 負의 相關을 나타내었다.

Table 3. Effect of lead on the fresh weight(g) per plant grown in the soil condition of the various anions

Treatment		Bean		Corn	
Anions	Concentration	-Pb	+Pb	+Pb	+Pb
Control		3.65	3.48	8.49	6.75
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	None	3.00	3.00	4.90	4.20
	Low	3.20	2.70	6.00	5.30
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	High	4.40	4.00	9.30	8.30
	None	4.00	2.83	6.00	4.50
Low		3.75	3.50	11.20	5.20
	High	6.15	3.70	13.80	9.50
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	None	3.22	2.14	5.25	4.40
	Low	3.22	3.00	6.10	5.14
High		3.70	2.73	9.20	5.40
	None	3.30	3.00	5.10	4.20
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Low	3.05	3.10	7.50	6.50
	High	3.41	3.41	6.60	5.40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	3.10	3.00	5.40	4.80
	Low	3.40	2.89	6.10	5.60
High		3.60	3.11	6.40	6.00
	None	2.90	2.54	4.60	4.85
MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Low	2.90	2.81	4.90	5.80
	High	3.11	3.13	6.00	6.40
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	None	-	-	5.60	4.90
	Low	-	-	5.80	4.30
High		-	-	6.80	5.80
	Average	None	3.25	2.75	5.26
Low		3.25	3.00	6.50	5.40
	High	4.06	3.35	8.30	6.70

※  $r = +1.024(1\%)$

Table 4. The dry weight of the nodules of per bean plant grown in the soil of various pH supplied with lead

pH	Nodules(mg/plant)	
	-Pb	+Pb
3	6.8	3.0
3-5	7.0	3.7
5-7	8.6	3.9
7	9.7	4.6
7-9	10.5	5.9
9-11	14.5	8.7
Average	9.5	5.0

$r = +0.95$

Table 5. The dry weights of nodules of per bean plant grown in the soil of the various anions supplied with lead

Treatments		Nodules(mg/plant)	
Anions	Concentration	-Pb	+Pb
Control <sup>1</sup>		18.0	4.6
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	None	9.7	3.8
	Low	23.0	4.4
	High	34.3	10.3
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	8.3	2.0
	Low	20.1	4.7
	High	22.5	9.8
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	None	9.0	2.5
	Low	9.6	2.7
	High	19.3	3.8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	None	3.3	2.0
	Low	4.2	2.4
	High	9.9	3.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	7.9	2.0
	Low	10.9	3.0
	High	19.0	4.4
MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	8.9	1.3
	Low	10.3	2.0
	High	17.4	3.1
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	None	7.2	0.4
	Low	10.4	0.6
	High	—	—
Average	None	8.9	2.0
	Low	12.8	2.8
	Ligh	20.4	5.4

r = -1.154(1%)

pH를 달리한 土壤에서 植物體의 根에서 吸收된 植物體의 Pb含量은 酸性에서 높고 알카리성에서 낮았다. 2個月 間 生長한 콩과 옥수수의 地上部의 Pb含量은 平均 1.52ppm과 3.11ppm으로 나타났다(Table 6). 磷酸이온의 處理로 植物根에 의한 Pb吸收는 減少되었으며 이러한 傾向은 磷酸의 濃度가 增加함에 따라 더욱 顯著하였다. 磷酸을 處理하지 않은 境遇 植物體 地上部의 Pb含量은 平均 콩 3.09ppm 및 옥수수 2.93ppm, 磷酸을 土壤에 많이 處理하였을 때에는 平均 콩 1.74ppm 및 옥수수 1.49ppm으로 나타났다. 即 土壤에 磷酸이온의 含量이 높을수록 植物體에 吸收

Table 6. Lead absorption by the plants grown in the soil regulated with the various pH

pH	Lead(ppm)	
	Bean	Corn
s	1.33	2.38
3-5	1.62	3.20
5-7	2.24	5.64
7	1.86	3.34
7-9	1.26	2.73
9-11	0.78	1.34
Average	1.52	3.11

Table 7. Lead absorption by the plants grown in the soil treated with the various phosphate ions

Treatment		Lead(ppm)	
Anions	Concentration	Bean	Corn
Control		2.47	2.78
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	None	3.12	3.16
	Low	2.10	2.97
	High	1.74	1.00
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	3.42	2.75
	Low	2.75	2.39
	High	1.12	2.34
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	None	2.74	2.87
	Low	2.46	2.52
	High	2.46	1.12
Average	None	3.09	2.93
	Low	2.40	2.63
	High	1.74	1.49

되는 Pb의 量은 減少되는 傾向을 알 수 있다. Pb의 吸收에 미치는 磷酸種類間의 優劣는 發見할 수 없었다(Table 7). 磷酸이온 以外의 他 陰이온에서도 土壤에 陰이온의 濃度가 높을 수록 植物體의 根에 依하여 吸收되는 Pb의 量은 減少되었다(Table 8).

pH를 調節한 土壤에 Pb를 一定하게 供給시킨 結果 土壤의 深度에 따라 Pb는 99.5%가 0~10cm 表土에 蓄積되었고 나머지 약 0.5% 未滿이 表土 10~20cm에 存在하였다. Pb가 表土에 99.5% 程度로 蓄積되는 것은 pH에 關係없었다. 그러나 表土에서 내려 갈수록 酸性일때 약간 Pb의 높은 量이 蓄積되었다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O,

Table 8. Lead absorption by the plants grown in the soil treated with the various anions

Treatment		Lead(ppm)	
Anion	Concentration	Bean	Corn
Control		2.64	2.93
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	None	2.98	3.00
	Low	2.85	2.92
	High	2.46	2.12
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	3.40	3.64
	Low	3.25	3.25
	High	3.24	3.13
MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	None	2.82	2.62
	Low	2.65	1.83
	High	2.44	1.59
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	None	—	1.10
	Low	—	1.08
	High	—	0.97
Average	None	3.07	2.59
	Low	2.93	2.27
	High	2.71	1.95

T-N, Ca 및 Mg 間에는 土壤의 깊이에 따라 그들의 습윤間에 뚜렷한 差異가 없었다(Table 9).

考 察

Pb를 10ppm 添加한 培地에서 20日 間 生長한 옥수수 根에 6800ppm, 地上部에 68ppm의 Pb가 存在하여도 黃化現象 等の 外觀上 異常症狀은 發見되지 않았으며, 벼에서 50ppm의 Pb를 處理한 區에서 根部 8700

ppm, 地上部 765ppm에 達하여도 外觀上 障害現象은 없으나 生育의 抑制는 認定된다고 한다(高橋 등, 1976).

葉內 Pb含量이 129ppm이나 되는 植物에서도 外觀上 障害現象이 發見되지 않았다(Cha, 1974). 高橋가 葉을 水耕하여 醋酸鉛 處理 20日에 1ppm Pb區에서 害徵이 認定되고 5ppm 以上에서 葉柄, 葉身, 周邊部가 枯死하기 始作하였다(田中 등, 1974).

著者の 實驗에서 發芽初期에 葉의 症狀은 콩에서 黃褐色 甚하면 白色으로 나타나며 옥수수의 境遇는 主로 白色으로 나타났다. 根의 Pb 被害症狀은 콩에서 褐色 및 伸長障害로서 根毛의 發生이 抑制되었으나 옥수수에는 이러한 根의 症狀이 콩에서 보다 輕微하여 植物의 種類에 따라 Pb의 耐性差異를 認定할 수 있었다. 그러나 이러한 Pb의 症狀은 時日이 經過 할 수록 減少하여 生長後期에는 그 症狀을 찾아볼수 없었다. 生長後期에 土壤의 Pb含量은 表土에 3773 ppm이 였으나 地上部에는 152ppm(콩), 및 311ppm(옥수수)였다. 또한 表土 0~10cm에 3773ppm의 Pb가 蓄積되며, 根의 生長이 活潑한 10~20cm 表土에서 平均 22 ppm이 存在하여 植物體內의 Pb含量은 植物體의 Pb有毒症狀을 나타낼 습윤에 未達되며 表土以下에서 Pb含量도 Pb의 有毒症狀을 誘起시킬 量에 未達되어 結局 生長後期에 이르러 Pb有毒症狀은 나타나지 않았다고 生認된다. 特히 報告된 바에 依하면 2價金屬이온은 磷酸 및 炭酸이 많은 土壤에서 물에 잘 溶解되지 않으므로 土壤깊이 洗脫되지 않기 때문에 表土層에 Pb의 含量이 높다(Lagerwerff and Specht, 1970)는 報告와 Pb가 植物體에 吸收이 되기가 어려운 點(Lisk, 1972) 및 植物의 發芽와 生長에 抑制影響을 미친 Pb의 限界濃度는 水耕栽

Table 9. Composition of mineral elements in the experimental soil

pH	Soil	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Pb
	Depth(cm)	%	ppm	ppm	me/100g	me/100g	ppm
Control	0-20	0.07	68	88	4.2	0.6	8.5
Acidity	0-10	0.03	48	66	0.8	1.0	3773
	10-20	0.06	50	55	2.7	1.1	23
Neutrality	0-10	0.03	62	55	0.6	1.2	3773
	10-20	0.03	87	88	2.0	0.6	22
Alkalinity	0-10	0.05	52	88	0.5	1.7	3773
	10-20	0.03	50	42	2.9	0.7	21
Average	0-10	0.04	54	70	0.6	1.3	3773
	10-20	0.04	62	62	2.5	0.8	22

培에서 100ppm였으나, 土壤栽培의 境遇 1000ppm이였으며 5000~10000ppm에서 生長이 抑制된 植物을 Pb 除去한 control로 移植한 後 3日째에 發芽 및 生長의 回復이 可能하였다는(Sung, 1976) 點으로 Pb는 여러 陰이온에 依하여 一次的으로 土壤에서 復合物을 形成하여 植物體에 吸收되기 어려운 狀態로 存在하며 二次的으로 吸收된 後에도 植物體內的 여러 陰이온에 依하여 다시 Pb復合物을 形成하여 植物에 障害症狀을 誘起시킬 機會는 드물다고 할 수 있겠다.

다른 報告에 依하면 벼는 1000ppm의 Pb(염기성 탄산鉛)를 處理한 土壤에서 生育障害는 보이지 않았다. 이때의 벼의 Pb含量은 水田區 59ppm, 水田落水區 145ppm이었다. 순무는 10000ppm의 Pb處理區에서 根重이 半減되고, 시금치는 2000ppm에서 生育低下, 5000ppm부터 生育低下가 顯著하다. 生育低下가 認定되는 最初의 植物體內 Pb含量은 순무(5000ppm區)의 葉部 50ppm, 根部 128ppm이며, 시금치(200ppm區)의 葉部 113ppm, 根部 2970ppm이었다. 一定濃度(2500ppm)의 處理에서 시금치의 葉中 Pb吸收量의 順序는 높은 것부터 硝酸鉛(2044ppm) > 鉛(482ppm) > 硫化鉛(165ppm) > 硫酸鉛(116ppm) > 磷酸鉛(48ppm)의 낮은 順으로 나타났다. 體內的 Pb含量이 높은 境遇에 障害가 나타나기 어렵거나 나타나지 않은 境遇도 있다고 한다(清水 등, 1973).

風乾土嘗 Pb含量이 400~500ppm에서 옥수수는 地上部 障害가 發見되며, 100ppm에서 오이는 地上部の 輕微한 生育障害, 500~600ppm에서 벼는 僅少한 生育阻害, 1000ppm 以上에서 벼는 生育減少가 顯著하지 않았고 作物의 種類에 따라 Pb耐性이 다르다고 하였다(田中, 1974).

培地의 Pb處理 濃度 1, 5, 10ppm區에서 10ppm까지 濃度增加에 따라 若干의 生育促進을 認定한다. 벼는 50ppm 處理區에서 地上部の Pb含量이 765ppm, 根部 8700ppm일 때 生長의 抑制가 認定되어 벼는 Pb에 對하여 耐性이 강한 植物임을 알 수 있었다(高橋 등, 1976). 土壤에 100ppm의 Pb를 處理하여 植物의 伸長이 激減한다. 또한 30ppm까지 伸長이 輕減하였다(Wilkins, 1957). 著者の 前報에서도 發芽試驗에서 1ppm에서 10ppm까지 Pb의 濃도가 增加함에 따라 發芽가 若干 促進됨을 알 수 있었다(Sung, 1976).

이상의 여러 研究者들의 報告와 實驗結果로 미루어 自然狀態에서 Pb有毒症狀을 植物體에 나타내는 境遇는 드물며 이는 여러 陰이온이 Pb의 復合物을 形成하므로 Pb의 有毒症狀을 保護한 結果라고 生覺된다.

Pb의 處理는 根瘤의 形成을 抑制하였다. 이는 蛋白

質合成을 Pb가 抑制한다는 報告(Huang et al., 1974) 및 酵素의 SH基와 Pb 間의 結合으로 酵素作用을 抑制한다는 Pb의 影響(Martin, 1962) 등의 報告로도 알 수 있었으며 이러한 Pb의 根瘤形成의 抑制는 陰이온 處理로서 輕減시킬 수 있었다.

一般的으로 Pb는 農耕地 土壤에는 微量으로 約 10ppm에 不過하므로 植物生育에 影響을 미친다는 報告는 거의 없다. Pb는 土壤中 約 10ppm 程度 含有하고 있으나 植物體中 濃度는 2.7ppm이라는 報告(Bowen, 1966)가 있는 反面 野菜類나 穀類는 樹木類에 比하여 Pb濃度는 낮아 0.1~1.0ppm의 範圍에서 1ppm을 넘는 일은 드물다. 그러나 Pb가 많은 環境下에서는 通常濃度의 10倍 혹은 그 以上에 達한다는 報告(Warren and Delavault, 1962)에 比하면 蕎麥의 8.5ppm은 比較的 通常濃度 以上에 達한다고 할 수 있다. 著者の 綜合的인 結論은 Pb에 依한 植物生長의 抑制 및 症狀의 程度는 土壤內의 Pb含量 乃至 植物體內的 Pb含量 그 自體가 問題되는 것이 아니고 植物體內에서 여러 陰이온과 Pb復合物의 形成量이 많으면 SH基를 가진 酵素와 Pb間의 復合物 形成이 減少되어 Pb有毒性은 減少될 것이므로 陰이온은 植物體에 對한 Pb有毒症狀을 保護한다고 生覺된다.

### 摘 要

1976年 5月부터 7월에 걸쳐 土壤에 陰이온의 供給이 植物의 Pb 吸收와 有毒性에 미치는 影響을 調査하였다. 材料 및 方法은 콩(*Glycine max* L.) 및 옥수수(*Zea mays* L.) 種子를 5000ppm의 Pb溶液에 24時間 前處理한 後 野外條件의 花盆에 播種하고 여러 陰이온과 2000ppm의 Pb溶液을 2日間隔 交代로 砂質粘土를 채운 土盆에 一定量 供給하였다. 生長한 植物은 開花 直前に 收穫하여, 105°C에서 乾燥시킨 後 元素分析器 機로 Pb含量을 測定하였다.

1. 土壤의 pH에 따른 植物體의 Pb吸收는 生長이 比較的 良好한 條件의 pH 5~7에서 가장 높았으며 알카리성 土壤보다 酸性土壤에서 더 잘 吸收되었다.
2. 硝酸이온의 含量이 높은 土壤은 他陰이온의 含量이 높은 土壤보다 植物體가 吸收한 Pb含量이 比較的 낮으며, 他陰이온도 土壤에 含量이 높을 수록 植物體의 根에 依한 Pb吸收는 減少하는 傾向이었다.
3. 土壤에 Pb를 處理했을 때 土層에 따라 蓄積되는 Pb含量은 植物生長 期間中 表土 1~10cm에서 99.5% (3773ppm)가 蓄積되며 表土 10~20cm에서 不過 0.5% (22ppm)가 蓄積된다. 이로부터 植物體의 Pb

- 有毒症狀은 發芽初期에 顯著하였으며 根이 土壤 깊이 生長하는 時期가 經過함에 따라 減少하였다.
4. 土壤에서 Pb의 含量이 3773ppm이었으나 植物體에 吸收된 量은 植物生長 期間中 最下 0.78ppm에서 最高 3.64ppm이었다.
  5. 콩의 Pb有毒症狀은 莖에서 黃褐色 乃至 白色, 根에서 黑褐色이며 根毛의 發生이 抑制되었다. 옥수수 의 症狀은 葉에서 白色, 根의 伸長 抑制로 나타났다. 이들 症狀의 程度는 콩에서 보다 옥수수에서 더욱 輕微하게 나타났다.
  6. Pb로 因한 植物의 被害症狀은 土壤의 陰이온 濃度가 높을 수록 減少하여 植物에 對한 Pb有毒性은 陰이온플로 부터 保護될 수 있었다.
  7. 根瘤의 形成은 Pb로 因하여 抑制되었으나 陰이온의 處理로서 오히려 增加하였다.
  8. Pb의 有毒性은 土壤에서 一次的으로 陰이온들과 Pb復合鹽 形成에 依한 不溶態, 二次的으로 植物根에 依하여 吸收된 後의 植物體內에서 陰이온과의 Pb復合鹽形成으로 因하여 Pb有毒性의 機作인 SH基를 가진 代謝物質 혹은 酵素와 Pb가 復合物을 形成할 機會가 적으므로 Pb含量이 높은 植物에서도 Pb有毒性의 被害症狀이 植物에서 보기 드문 原因이 됨을 알 수 있었다.

### 參 考 文 獻

- Baumhardt, G. R. and L. F. Welch. 1972. Lead uptake and corn growth with soil applied lead. *J. Environ. Qual.* 1 : 92-94.
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace elements in biochemistry. Academic Press, Inc. New York, p.39-204.
- Cha, J. W. 1974. Ecological studies of plants for control of environmental pollution(III). *Korean Jour. Botany* 17 : 153-162.
- 清水武・市倉恒七・前田正男. 1973. 水稻およびそまいの鉛の吸收について. *日本土肥要旨*. 19 : 166.
- Huang, C. Y., F. A. Bazzaz, and L. N. Vanderhoff. 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol.* 54 : 122-124.
- Kang, S. J. and H. S. Choi. 1972. Effect of roadside soil and vegetation with lead and zinc by motor vehicles. *Korean Jour. Botany* 15 : 9-13.
- Koeppel, D. E. and R. J. Miller. 1970. Lead effects on corn mitochondrial respiration. *Science* 167 : 1376-1378.
- Lagerwerff, J. V. and A. W. Specht. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. Technol.* 4 : 583-586.
- Lisk, D. J. 1972. Trace metals in soil, plants and animal. *Adv. Agron.* 24 : 267-325.
- Malone, C., D. E. Koeppel, and R. J. Miller. 1974. Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol.* 53 : 388-394.
- Martin, F. 1962. Fundamentals of microbiology. Saunders Co. p.244-246.
- Miles, C. D., J. R. Brandle, D. J. Daniel, O. Chu-Der, P. D. Schnare, and D. J. Uhlik. 1972. Inhibition of photosystem II in isolated chloroplast by lead. *Plant Physiol.* 49 : 820-825.
- Smith, W. H. 1971. Lead contamination of roadside white pine. *Forest Sci.* 17 : 195-198.
- Sung, M. W. 1976. Studies on the precipitation of lead ion and the inhibition of plant growth. *Korean Jour. Botany* 19 : 1-6.
- 高橋英一・蘆聰明・伴資美・宮下慶一郎・三宅靖人. 1976. 錫, 鉛, 植物生育に與える影響. *日本土肥誌*. 46 : 222-227.
- 田中孝夫ら. 1974. 鉛の植物生理(第1報). *土肥要旨*. 20. p.77.
- Warren, H. V. and R.E. Delavault. 1962. Lead in some food crops and trees. *J. Science Food Agron.* 2 : 96-98.
- Wilkins, D.A. 1957. Technique for the measurement of lead tolerance in plants. *Nature(London)* 180 : 37-38.

(1976년 11월 23일 접수)