

鉛(pb) 이온의 浸澱과 植物生長의 抑制에 關한 研究

成 敏 雄
(慶尙大學 科學教育科)

Studies on the Precipitation of Lead Ion
and the Inhibition of Plant Growth

Sung, Min-Wung
(Dept. of Science Education, Gyeongsang National University, Jinju)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the formation of precipitates between lead ion and the essential anions of plants, the effects of lead concentration on seed germination and plant growth in water and soil culture, and the germinating and growing recovery of inhibited seed germination and plant growth by lead.

Four kinds of the seeds (*Glycine max* M., *Triticum vulgare* V., *Setaria viridis* (L) P. De Beauvois, and *Digitaria sanguinalis* (L) Scopoli var) were germinated and grown in water and soil culture included the different concentrations of lead for five days. The seeds and plants inhibited germination and growth by lead were transferred to lead free Hoagland solution and the growing recovery was observed. The precipitates of lead ion were observed in the solution of both acidity and alkalinity included each anion of $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} and MoO_4^{2-} in a room temperature, whereas the precipitates between lead ion and other anions were observed largely in the solution of alkalinity, so that it seemed that lead could be remained in the state of non-soluble in plant and soil. The inhibition of germination and growth in the water culture was observed in 100ppm of lead, whereas the inhibition in the case of the soil culture was observed in 10000ppm of lead. The difference of the effected concentration between water and soil culture in germination and the growth was 100 times. When the seed and plant inhibited the growth in 5000ppm or 10000ppm of lead for five days were transferred to lead free Hoagland solution, the recovery of germination and growth was observed in three days. This growing recovery was different according to the kinds of plant and concentrations of lead. It seemed that plant growth could be inhibited by the inhibition of the metabolism concerned with the precipitates between lead ion and other anions.

結 論

Pb와 植物과의 關係에 對한 研究가 報告된 것은 오래 前이다(Hammett, 1928 a,b,c). 汚染이란 問題로 植物體에 미치는 Pb의 影響에 關한 研究가 活發하였다(Cannon and Bowles, 1962; Schuck and Locke, 1970; Chisolm, 1971; John, 1971; Baumhardt and Welch, 1972; 車, 1974). 土壤에서 Pb의 溶解態와 不溶解態의 贊反兩論을 言及(Singer and Hanson, 1969; 康 및 崔, 1972)한 바 있었으나 不溶解態로서 蓄積된다는 報告가 많다(Hammett, 1928a; Lisk, 1972; Walton, 1973). 最近에는 土壤에서 뿐만 아니라, 植物體內에서 Pb가 不溶解態의 結晶體로 發見된다는 研究로 擴大되었다(Walton, 1973; Malone, et al., 1972). 그러나 Pb의 不溶解態 및 植物生長의 抑制에 對한 機作을 究明한 報告는 거의 찾아 볼 수 없다.

著者는 Pb의 不溶解態에 對한 機作을 究明하기 爲하여 水溶液에서 植物體가 必要로 하는 陰이온들 中에서 어떠한 陰이온들과 Pb二價 陽이온과 反應하여 浸澱物을 形成하는가를 調査하므로써 土壤 및 植物體內에서의 Pb不溶解態 및 植物生長의 抑制에 對한 Pb의 作用機作을 推定코져 하였다. 또한 Pb의 溶解態 可能性이 높은 Pb의 濃度를 달리한 水耕栽培와 그와 다른 土壤栽培를 比較하여 發芽 및 植物生長에 미치는 Pb의 限界濃度를 찾고, Pb로 因한 發芽 및 生長이 抑制 또는 停止된 植物을 Pb를 除去한 培養液으로 移植하였을 때의 生長回復에 對한 Pb의 濃度도 아울러 調査하였다.

材料 및 方法

1975年 6月 市場에서 購入한 콩(*Glycine max* M.)과 밀(*Triticum vulgare* V.), 그리고 1974年 가을에 野外에서 採取한 강아지풀(*Setaria viridis* (L) p. De Beauvois)과 바랭이(*Digitaria sanguinalis* (L) Scopoli var.) 등 4種類의 種子를 實驗材料로 使用하였다.

Pb의 浸澱反應 實驗은 土壤과 植物體內에서 Pb復合物 形成에 依한 不溶解態를 推定하기 爲하여 植物體가 必要로 하는 Hoagland溶液의 構成物質을 蒸溜水에 各 各 溶解시켜 이온狀態로 만들고 여기에 이온狀態의 Pb⁺⁺溶液을 한 방울씩 떨어 뜨렸다. 이때 된 浸澱物이 形成될 때를 (+), 浸澱物을 形成하지 않을 때를 (-)로 表示하여 前者를 不溶解態形成 後者를 溶解態로 判定하였다. 이 反應은 0~40°C의 室溫 및 pH 1~12에서 實施하였다.

發芽試驗은 濾過紙를 한 장씩 낀 사체에 formalin으로 消毒한 콩種子 50粒, 其他의 種子는 各 各 200粒씩 넣고 여기에 PbCl₂와 Pb(NO₃)₂로 0, 1, 10, 100,

1000, 5000 및 10000ppm Pb의 濃度를 담은 Hoagland液 10cc씩 넣어 室溫 28°C의 室內에서 發芽시켜 發芽率을 調査하고 發芽後 5日間 生長시켜 植物體의 身長과 根의 長이를 測定하였다.

Pb로 因하여 發芽 및 生長이 抑制된 材料의 生長回復 實驗은 Pb의 濃度를 달리하여 5日間 發芽 및 生長시켰을 때 發芽 및 生長이 抑制된 種子와 植物體를 Pb를 除去한 Hoagland液으로 옮겼다. 移植後 3日 만에 發芽 및 植物生長이 回復되었을 때 發芽의 回復率과 植物生長이 回復된 莖 및 根의 身長을 測定하였다.

土壤栽培는 野外에서 採取한 Pb汚染이 없는 粘土(pH 6.3)를 實驗室에서 自然乾燥시켜 10g씩 各 사체에 넣고 發芽와 植物生長의 實驗과 同一한 方法으로 하였다. 그리고 이를 水耕栽培와 比較하였다.

結果 및 考察

1. Pb浸澱物의 形成

土壤과 植物體內에 汚染된 Pb가 各種 陰이온과 結合하여 Pb復合物로 浸澱되므로 많은 量의 Pb가 汚染되어도 Pb의 植物體內의 吸收가 減少된 結果 그 被害症狀에 對한 報告가 적은 것이 아닌가 生覺되어 이를 推定하기 爲하여 水溶液에서 Pb²⁺와 陰이온과의 浸澱反應을 試圖하였다.

植物體가 必要로 하는 이온들은 Table 1에 나타낸 Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ 및 NH₄⁺ 등의 陽이온들과 NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻, BO₃²⁻ 및 MoO₄²⁻ 등의 陰이온들이다. Pb²⁺는 陽이온

Table 1. The formation of precipitates between lead ion and each anion

Chemicals	Anions	pH range					
		1~3	3~5	5~7	7~9	9~12	
KH ₂ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	+	+	+	+	+	
Na ₂ HPO ₄	HPO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	
Na ₃ PO ₄	PO ₄ ³⁻	+	+	+	+	+	
Na ₂ SO ₄	SO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	
Mg SO ₄	SO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	
Mn SO ₄	SO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	
H ₂ MoO ₄	MoO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	
Ca(NO ₃) ₂	NO ₃ ⁻	-	-	+	+	+	
KCl	Cl ⁻	-	-	+	+	+	
H ₃ BO ₃	BO ₃ ³⁻	-	-	+	+	+	
KI	I ⁻	-	-	+	+	+	

(+); Formation of precipitates,

(-); No formation of precipitates.

Table 2. The comparison of germination rate in the different concentration of lead

Seeds	Pb(ppm)				
	0	1	10	100	1000
<i>Glycine max</i>	95.5	95.9	95.0	95.3	00.0
<i>Triticum vulgare</i>	97.9	97.8	97.5	96.9	00.0
<i>Setaria viridis</i>	95.3	95.4	96.0	93.4	00.0
<i>Digitaria sanguinalis</i>	96.9	96.2	96.5	90.7	00.0

Unit: %

이므로 이들陰이온과 쉽게反應하여 復合物을 形成하여 浸澱物이 될 것으로 生覺되었다.

實驗結果 Table 1과 같이 Pb^{2+} 溶液을 한방울 떨어트리자 곧 浸澱物을 形成하여 Pb^{2+} 는 不溶解로 되었다. Pb^{2+} 는 알칼리성에서 모두陰이온과 浸澱反應을 나타냈으나, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} 및 MoO_4^{2-} 의陰이온 반은 강한 酸性에서도 浸澱反應을 나타내어 pH의 광범한 條件에서 Pb^{2+} 는 이들陰이온과 不溶解로 結合된다는 것을 알 수 있었다.

Pb의 含量이 높은 植物에 磷酸이 存在하게 되면 Pb가 浸澱되어 Pb의 機能이 弱화된다고 한다(Koeppe and Miller, 1970, 1972). 著者は انسان의 SO_4^{2-} 및 MoO_4^{2-} 도 同一하다고 生覺된다. 이러한 報告를 引用한다면 著者の Table 1에 調査된 것과 같이 Pb^{2+} 와 一價, 二價 三價의 磷酸은 모두 浸澱反應을 나타내므로 植物體內에서도 同一한 結果를 나타낸다고 할 수 있다. Pb^{2+} 와 浸澱物을 形成할 수 있는 條件의 pH에서 浸澱反應을 나타낸 이들陰이온은 植物體內에 存在하므로 Pb^{2+} 와 結合하여 Pb의 機能이 弱化되어 Pb 含量이 많은 植物에서도 Pb의 過剩症이 輕減된다고 推定할 수 있으리라 生覺된다.

Pb가 一般적으로 植物體內 吸收가 어려운 金屬이라는 點(Lisk, 1972)은 Table 1의 浸澱反應을 나타낸陰이온들이 土壤에 存在하므로 土壤에 Pb가 汚染했을 때 이들陰이온들이 pH의 條件에 따라 가장 쉽게 Pb

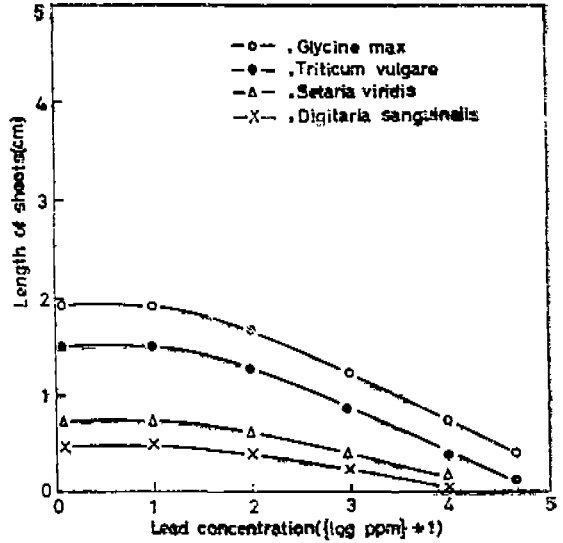


Fig. 1. The growth of plants in the different concentration of lead.

와 浸澱物을 形成하여 不溶性의 形態로 存在하므로 植物에 吸收가 어려운 金屬이라 補充說明할 수 있다고 生覺된다. Pb의 植物體 吸收의 障害은 알칼리성일 수록 더욱 加速化된다고 推定된다(Table 1).

육수주 組織內에서 Pb가 細胞膜 또는 dictyosome의 表面이나 細胞質內에서 結晶體로 存在한다는 報告(Malone, 1974)는 Pb가 細胞內의 이들陰이온과 形成된 浸澱物이 아닌가 生覺된다. 浸澱反應을 나타낸陰이온 중에서 磷酸이온, SO_4^{2-} 및 MoO_4^{2-} 은 DNA, NADP, ATP 및 蛋白質合成에 關係하는陰이온이므로 Pb는 이들 物質代謝에 異常을 가져오게 할 수 있을 것이라 生覺된다. 이러한 代謝過程의 異常은 곧 植物生長의 抑制乃至 停止라는 結果를 超來할 것이라 生覺된다.

2. 發芽實驗

水耕培養에서 Pb의 濃度別로 發芽를 시켰을 때 100

Table 3. The recovery of germination rates after seeds were transferred from inhibited conditions by lead to lead free Hoagland solution

Seeds	Pb(ppm)						
	0	1	10	100	1000	5000	10000
<i>Glycine max</i>	95.5	96.1	96.0	95.5	95.0	75.6	45.5
<i>Triticum vulgare</i>	98.0	97.8	97.7	97.3	97.0	77.3	50.0
<i>Setaria viridis</i>	95.3	96.5	96.3	92.0	56.1	11.9	00.0
<i>Digitaria sanguinalis</i>	97.0	97.7	97.0	95.2	61.7	15.6	00.0

Unit: %

Table 4. The germination of seeds treated with the different concentrations of lead in the soil

Seeds	Pb(ppm)						
	0	1	10	100	1000	5000	10000
<i>Glycine max</i>	96.5	95.9	95.4	95.7	95.5	95.8	85.0
<i>Triticum vulgare</i>	97.1	97.5	97.8	97.3	97.2	97.5	87.5
<i>Setaria viridis</i>	95.0	96.6	95.2	96.1	94.5	95.3	75.1
<i>Digitaria sanguinalis</i>	96.1	96.9	96.3	95.5	96.2	95.7	83.7

Unit: %

ppm부터 發芽率에 影響을 나타내기 始作하여 1000ppm에서는 發芽가 되지 않았다. 100ppm Pb에서 發芽率에 미치는 影響은 植物의 種類에 따라 差異가 있었다. 콩과 밀은 control과 比較할 때 100ppm에서 別差異가 없었으나 강아지풀과 바랭이는 100ppm에서 影響을 받기 始作하였다.

이와 같은 Pb의 높은 濃度에서 發芽率의 減少는 Pb가 미토콘드리아의 呼吸作用을 抑制한 報告(Koeppel and Miller, 1972)로 說明될 수 있으나, 著者の 浸潤反應實驗으로 미루어 미토콘드리아내의 $ADP + P \rightarrow ATP$ 로 되는 反應의 磷酸을 Pb^{2+} 가 빼앗아 浸潤物을 形成하므로 ATP形成이 阻害되어 오히려 呼吸作用이 抑制되는 것으로 生覺되었다. 그러나 Pb가 細胞內로 吸收되기 前에 原形質連絡系나 dictyosome의 週圍에 먼저 浸潤物을 形成(Malone, 1974) 하므로 오히려 Pb의 높은 濃度에서도 磷酸이 多量으로 存在한다면 이러

한 ATP의 形成阻害는 減少되고 呼吸作用의 抑制가 部分的으로 減少할 것으로 生覺 된다.

100ppm Pb에서 發芽抑制된 種子를 Pb를 除去한 培養液으로 移植하였을 때 3日만에 發芽가 正常的으로 回復되기 始作하였다. Table 3에 依하면 Table 2에서 發芽가 全然되지 않았던 1000ppm Pb에서 最下 59% (바랭이)에서 最高 99%(콩)까지 發芽回復이 可能하였고, 5000ppm에서 最下 12%(바랭이) 最高 79%(밀)까지 發芽回復되었으며 10000ppm Pb에서도 回復可能하였다. 이와 같은 發芽回復의 現象은 Pb의 濃度, Pb에 汚染된 時間, 種子의 種類에 따라 差異가 있었다. 發芽回復에 有意한 Pb의 濃度는 50% 以上の 回復으로 본다면 平均 1000ppm Pb以下라 生覺된다. 回復의 機作은 回復前 種子에서 外部 溶液의 Pb濃度가 높을 때 種子內에 Pb^{2+} 가 얼마나 吸收되었나 하는 二次的인 量的 問題와 左右된다고 生覺된다.

土壤에서 發芽率을 調査한 結果 Table 4와 같이 5000 ppm Pb에서 control과 比較할 때 거의 正常發芽를 할

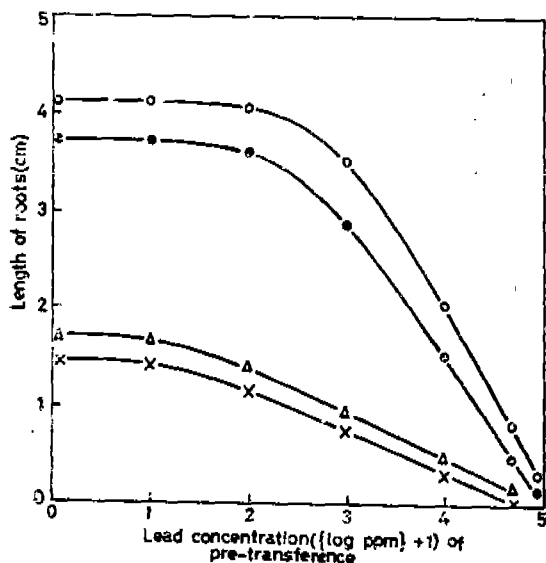


Fig. 2. The growing recovery of plants transferred to lead free Hoagland solution. —○—, *Glycine max*; —●—, *Triticum vulgare*; —△—, *Setaria viridis*; —×—, *Digitaria sanguinalis*.

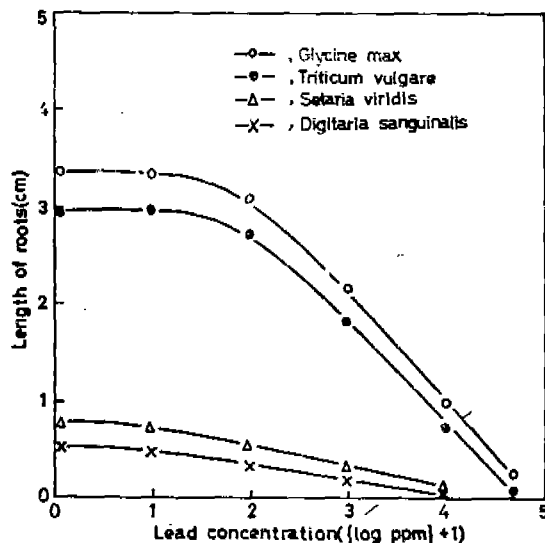


Fig. 3. The length of roots grown in the different concentration of lead.

수 있었다. 이 濃度는 水耕培養液에서 發芽시켰을 때 100ppm Pb에서 發芽할 수 있었던 濃度와 比較하면 50배 높은 濃度이다. 土壤栽培에서 이와 같은 差異는 土壤에 Pb濃度가 높을 수록 植物에 依해 吸收되는 Pb의 量은 折半으로 減少한다고 引用(金 등, 1975)한 것으로도 알 수 있다.

3. 植物生長

Pb의 濃度를 달리하여 發芽시킨 植物體를 繼續 5日間 生長시켜 莖의 身長을 測定한 結果 Fig.1과 같이 100ppm Pb에서 植物의 生長은 最下 25%에서 最高 50%까지 抑制되었으며, 1000ppm에서 강아지풀과 바랭이는 生長이 停止되었다. 그러나 콩과 밀은 各各 5000 ppm Pb에서 75%에서 97%까지 生長이 抑制되었다. 이는 Pb가 光成作用을 抑制한다는 報告(Huang, 1974)와 Pb가 NADP에 影響을 미친다는 報告(Koeppe and Miller, 1972; Miles et al., 1972) 및 著者の 浸潤實驗의 結果로 미루어 植物體內의 磷酸은 光磷酸化作用의 ATP 및 NADP 形成의 構成物이므로 Pb²⁺와 結合하여 浸潤되어 光合成作用에 阻害를 받으므로 植物生長이 抑制된다고 生覺된다.

植物生長은 抑制되었으나 Pb의 外形의 뚜렷한 症狀이 없었고 다만 側根의 生長이 停止되고 弱變하는 症狀은 뚜렷하였으며 이러한 症狀은 Pb의 濃度가 1000 ppm 以上에서 濃度增加에 따라 더욱 顯著하였다.

水耕栽培에서 Pb로 因한 生長抑制의 生長回復實驗

의 結果는 Fig. 2와 같이 바랭이와 강아지풀의 境遇에 1000ppm Pb에서 生長이 停止된 植物體가 Pb除去한 control로 移植한 3日 만에 正常生長으로 回復하게 되었으며 그 보다 5배 높은 5000ppm Pb에서 生長이 停止된 植物도 生長이 回復되기 始作하였다. 콩과 밀은 10000ppm에서 生長이 停止된 植物體가 control로 移植後 生長의 回復이 觀察되었다. 이러한 移植後의 生長回復은 移植前의 100ppm Pb에서 자란 植物의 境遇에 最下 25%에서 最高 50%였다. 이와 같이 高濃度 Pb에서 生長抑制되었으나 移植後 生長回復이 可能한 것은 Pb가 一般의 植物에 吸收가 어려운 金屬이라고 報告(Lisk, 1972)한 點으로 미루어 植物體外部의 Pb로 因한 生長이 一時的으로 停止된 것이며 Pb의 植物體內部의 吸收는 적었기 때문이라 生覺된다.

土壤栽培에서 Pb濃度別로 生長한 植物體는 高濃度인 10000ppm Pb에서 control과 比較하여 15%의 生長이 抑制되었다. 이 濃度는 水耕栽培의 100ppm Pb에서 生長抑制와 比較하면 100배에 該當되는 높은 濃度이다. 이와 같은 原因은 土壤栽培의 境遇에 著者の Pb浸潤物 實驗結果와 같이 Pb²⁺가 陰이온들과 結合하여 不溶性으로 土壤에 存在하는 外에 他陽이온과의 拮抗的關係에 依하여 植物體에 吸收가 더욱 어려워지기 때문이라 生覺된다. 또한 水耕栽培가 土壤栽培보다 Pb로 因한 植物生長의 抑制가 더욱 顯著한 原因은 Pb가 이온 形態로 存在할 可能性이 土壤보다 水溶液에서 더 높기 때문이라 生覺된다. 鑛山川에서 자란 어떤 藻類

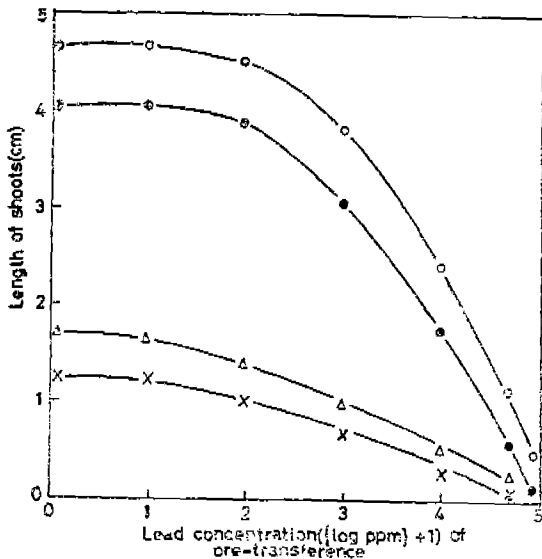


Fig. 4. The growing recovery of roots transferred to lead free Hoagland solution. —○—, *Glycine max*; —●—, *Triticum vulgare*; —△—, *Setaria viridis*; —×—, *Digitaria sanguinalis*.

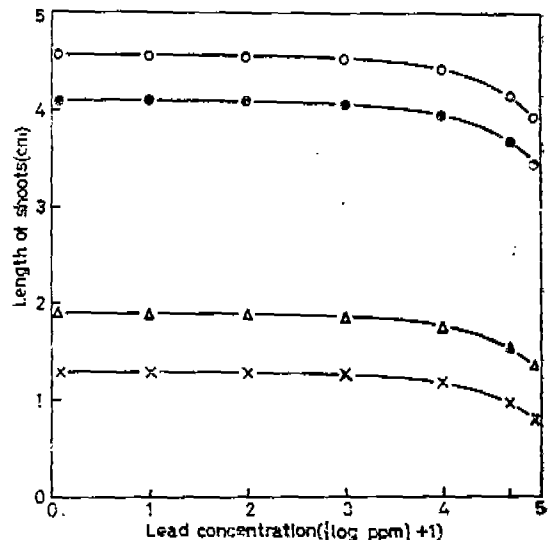


Fig. 5. The growth of plants in the soil treated with the different concentration of lead. —○—, *Glycine max*; —●—, *Triticum vulgare*; —△—, *Setaria viridis*; —×—, *Digitaria sanguinalis*.

는 6600ppm Pb를 함유하면서도 생장한다고 인용한點(金 등, 1975)으로 미루어 浸澱反應에 의한 Pb의陰이온과 結合이 Pb의 有毒性으로부터 植物體를 保護하는 役割을 한다고 解析된다.

土壤에 Pb含量이 높을 수록 植物에 의해 吸收되는 Pb의 量이 漸次로 減少된다고 인용한點(金 등, 1975)은 모두 Pb²⁺와 어떤 復合物의 形成으로 인한 浸澱物 때문이라 生覺되며 이러한 現象은 植物體內에 Pb가 吸收된 後에도 發生될 수 있을 것이므로 Pb含量이 높으면서도 植物生장에 뚜렷한 被害症狀가 自然狀態에서 두드러지게 發見되지 않은 것이 아닌가 生覺된다.

摘 要

1975年 6월에 Pb의 不溶解의 機作을 究明하기 爲하여 一次的으로 Pb²⁺의 浸澱反應을 實驗하였다. 또한 콩(*Glycine max M.*), 밀(*Triticum vulgare V.*), 갯지풀(*Setaria viridis (L) P. De Beauvois*) 및 바랭이(*Digitaria sanguinalis (L) Scopoli var.*) 등의 種子를 Pb濃度別로 만든 Hoagland液으로 水耕 및 土壤栽培하여 發芽 및 植物生장을 比較 調査하고 이물 材料를 Pb除去한 Hoagland液으로 移植하였을 때 Pb에 의해 抑制된 發芽 및 植物生장에 對한 生長의 回復에 關한 調査結果는 다음과 같다.

1. pH 2~12 및 室溫에서 Pb²⁺와 浸澱反應을 나타낸 植物生장에 必要한 陰이온은 H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ 및 MoO₄²⁻ 였으나 NO₃⁻, Cl⁻, 및 BO₃³⁻는 알카리성에서 주로 反應하였다.
2. 植物의 發芽와 生長에 影響을 미친 Pb²⁺의 限界濃度는 水耕栽培에서 100ppm였으나 土壤栽培의 境遇 그 보다 100倍인 10000ppm였다.
3. 水耕栽培에서 5日間 5000~10000ppm에서 發芽 및 植物生長이 抑制된 植物을 Pb除去한 control로 移植한 後 3日 만에 發芽 및 生長의 回復이 可能하였다.
4. 植物生長의 抑制는 Pb²⁺의 浸澱反應의 結果로 미루어 植物體內에서 Pb²⁺와 浸澱反應을 나타낼 수 있는 陰이온들이 關係하는 物質代謝에 異常을 가져오기 때문이라 推定된다. Pb²⁺는 거의가 自然狀態에서 不溶解로 存在할 可能性이 높다고 生覺된다.

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.

Cannon, H. L. and J. M. Bowles, 1962. Contamination of vegetation by tetraethyl lead. *Science* 137: 765-766.

車鍾煥. 1974. 環境汚染防止를 위한 植物의 生態學的 研究(Ⅲ). 道路邊 植生과 重金屬含量 및 汚染에 關한 研究. 韓國植物學會誌 4: 158-162.

Chiselm, J. J. 1971. Lead poisoning. *Scientific Amer.* 224 (2): 15-23.

Hammett, F.S. 1928a. The localization of lead by growing roots. *Protoplasma* 4: 183-186.

_____. 1928b. The nature of lead compound deposited in the growing roots. *Ibid.* 5: 547-562.

_____. 1928c. The localization of lead within the cell of the growing roots. *Ibid.* 5: 135-141.

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.

John, M. K. 1971. Lead contamination of some agricultural soils in Western Canada. *Environ. Sci. Technol.* 5: 1199-1203.

康祥榮, 崔恩淑. 1972. 自動車 煤煙煙의 微量金屬이 土壤 및 植物體에 미치는 影響. 韓國植物學會誌 3: 9-13.

金邊敏, 朴奉奎, 李一球, 車鍾煥. 1975. 最新植物生態學, 日新社發行 p. 326-362.

Koepe, D. E. and R. J. Miller. 1970. Lead effects on corn mitochondrial respiration. *Science* 167: 1376-1378.

_____, and _____. 1972. Oxidation of reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate by isolated corn mitochondria. *Plant Physiol.* 49: 353-357.

Lisk, D.J. 1972. Trace metals in soil, plants and animals. *Adv. Agron.* 24: 267-325.

Malone, C., D., E. Koepe, and R. J. Miller. 1974. Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol.* 53: 388-394.

Miles, C. D., J. R. Brande, 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.

Schuck, E. A. and J. K. Locke. 1970. Relationship of automative lead particulates to certain consumer crops. *Environ. Sci. Technol.* 4: 324-330.

Singer, M. and L. Hanson. 1969. Lead accumulation in soil near high ways in the tween cities metropolitan area. *Soil Science. Soc. Amer. Proc.* 33: 152-153.

Walton, J.R. 1973. Granules containing lead in isolated mitochondria. *Nature* 243: 100-101.

(1976. 1. 10. 접수)