

數種植物의 生育에 미치는 重金屬의 影響에 關한 研究

1. Cadmium, Lead의 影響

金 炳 宇

(尙志大學 科學教育科)

Studies on the Effect of Heavy Metal on the Growth of Various Plants

1. The Effect of Cadmium and Lead

Kim, Byung Woo

(Dept. of Science Education, Sang-Ji College)

ABSTRACT

Uptake and effects of treated Cd and Pb in rose moss and tomato were studied in pot cultures. Three horticultural plants on the roadside were tested to determine the contents of heavy metals in plant parts.

Yields of rose moss were increased by the increase Pb concentrations in soil. Yields of rose moss by Cd treatment were decreased in 1,000 ppm group, but increased in 500 ppm group. *Portulaca grandiflora* Hook. proved to be tolerant of Pb and Cd added in soil. Yields of tomato were decreased by an increase of Pb concentration in soil, and tomato proved to be weak for Pb added in soil.

Pb contents in root, stem, leaf, and flower and seed of rose moss were increased by an increase of Pb concentration in soil. Pb content in root was the highest among them. Pb content was the highest in root of tomato, but the lowest in the stem.

Among the heavy metal contents of three horticultural plants collected by roadside, it was the *Chrysanthemum* which had the highest contents of heavy metal among them. The heavy metal contents in stem were less than in the other plant parts in all three plants.

The number of flowers in rose moss was decreased by an increase of Pb, and Cd concentration in soil, but in tomato it was increased by an increase of Pb concentration in soil.

Amount of rose moss seeds which were collected after cultivation was decreased by Pb, and Cd treatment in soil.

緒 論

植物의 生長은 氣候要因, 土壤要因 및 生物的 要因에 의하여 環境의 지배를 끊임없이 받고 있다. 오늘날 産業發達과 人口集中에 따른 都市環境은 生物的, 化學的, 物理的인 면에서 큰 變化를 가져오고 있다. 各種 植物들의 生存에 관련된 物質循環에 對해서는 阻害作用을 하는 많은 要因들이 있는 데 生物圈에서 生産者로서의 위치에 있는 綠色植物은 尙상 環境과의 相互作用

에 크게 依存하고 있다. 그러므로 車輛排氣 gas 나 기타 要因에 의한 大氣汚染, 土壤汚染은 都心地의 道路邊이나 金屬鑛地帶에 있는 植物들의 重金屬 吸收를 加重시키는 데, 이에 잘 適應해 가는 植物이 있는 반면에 生理的 障害現象을 일으키는 경우도 있다(辰己修三 1973; Chang & Mok, 1977).

植物의 重金屬汚染源은 카드뮴(Cd), 납(Pb), 그리고 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn) 등의 物質들인데, 이들은 특히 道路邊 土壤에 蓄積되어 있고, 濃度는 交通量이 적고 道路邊에서 멀어질수록 土壤內에서 減少되며,

土壤層에서는 深度에 따라서 검출량의 差異가 생긴다 (Warren & Delavault, 1962; Cannon & Bowles, 1965; Kloke & Riebarsch, 1964; Singer & Hanson, 1969; Motto *et al.*, 1970). 이러한 現象은 車輛의 排氣物과 타이어의 殘留物에 主로 기인되며, 이러한 重金屬物質은 道路邊에 가까운 곳일수록, 深度가 낮을수록(5~10cm) 많은 量이 蓄積된다(Lagerwerff & Specht, 1970).

植物의 重金屬吸收에 關한 研究는 Maclean, *et al.* (1969), Patel & Wallace(1976), Lagerwerff(1971), Jastrow & Koeppe(1980) 등이 發表한 바 있다.

Zn, Fe, Mn은 植物體內 生理的 機能에 必須的인 要素들이나, 反面에 이들이 過剩蓄積되거나 Cd, Pb가 蓄積되면 식물체에 有害하게 된다(Page & Bingham, 1973).

Pb와 Cd는 Mn, Zn과 달리 植物의 生育初期에서 生理的 毒性이 實驗的으로 證明된 바 있고, 動物에 있어서는 微量으로도 극히 有毒한 것으로 알려져 있다. 最近에는 Pb가 遺傳者 頻度에 미치는 影響에 대해서도 研究되고 있다. Pb는 anti-knocking agents로서 tetraethyl lead($Pb(C_2H_5)_4$)와 tetramethyl lead($Pb(CH_3)_4$)의 형태로 自動車 揮發油에 galon당 3~7ml씩 含有되고 있다. 自動車 排氣 gas와 더불어 粒子化된 Pb는 結果的으로 土壤에 蓄積된다. 이에 따라 植物에 미치게 되는 影響으로 葉의 黃褐色 症狀이나 黃化現象(Chlorosis)이 나타나며, 落葉現象도 수반된다(Cha & Kim, 1975). 根에서는 Pb에 의한 生長阻害가 生育初期에 현저한데, 黑色의 뿌리와 根毛가 多數 發生하여 伸張을 抑制한다.

初期生育中인 植物들의 栽培土壤에 Pb를 투여하여 본 結果, Pb의 濃도가 높을수록 葉에서의 Pb의 含量이 증가되었다(Rolfe, 1973). 道路邊 植物들의 Pb汚染에 關해서는 이미 많은 研究들이 되어 있다(Shuck *et al.*, 1970; Ter haar, 1970). Pb의 有毒性은 土壤에서 一次的으로 음이온들과 Pb 복합염 形成에 依해 不溶態가 되거나, 二次的으로는 植物根에 의하여 吸收된 後 植物體內에서 음이온과 Pb 복합염을 形成 함으로써 나타난다. Pb 有毒性 機作인 SH基를 가진 대사물질 혹은 효소와 Pb가 복합물을 형성할 기회가 적어지는 것이 Pb 含量이 높은 植物에서도 때때로 피해증상이 나타나지 않는 원인을 밝혔다(Sung *et al.*, 1977).

植物에 있어서 Pb의 흡수를 억제하기 위해 lime, nitrogen(N)을 施用하여 방지효과를 얻을 수 있으며 土壤 pH와도 관계가 있는 것으로 밝혀지고 있다(Cha & Kim, 1975; John *et al.*, 1972).

실험실제에 의한 人工的인 Pb의 투여로 植物에 미치는 影響을 調査한 研究는 많이 있다(Ter Haar *et al.*, 1969; Baumhardt *et al.*, 1972; John, 1972; Smith, 1972; Cox, *et al.*, 1972). 그 외에 農耕地 土壤의 Pb汚染에 關한 研究(John, 1971; Martin *et al.*, 1966)가 있으나 植物 着花, 結實期 까지의 重金屬 Pb에 關한 研究는 없다.

Cd는 보통 亞鉛礦에 含有되어 있고 用度는 自動車 tire, 乾電池, 染色原料 등에 利用되며 Pb보다 심한 阻害를 받는 植物도 있다(patel *et al.*, 1976). 食用植物에 過多한 蓄積은 人體에 有害한 것으로 알려지고 있다. 무와 상치를 栽培하여 濃度別로 Cd를 처리한 結果 高濃度處理區일 수록 Cd의 吸收量이 많았으나 lime을 處理한 後 Cd의 含量이 감소되는 傾向을 나타냈다(John, 1972). 그림에서의 Cd의 影響에 關한 研究에서는 줄기에서 보다 根部에서의 Cd 吸收量이 훨씬 더 많았다(John, 1972), 植物에 대한 Cd의 高濃度處理에 따른 生産量 감소에 대한 結果는 많다(Page *et al.*, 1972; Page & Bingham, 1973). 대부분의 作物에서도 Cd 吸收에 있어서 葉에서 보다는 뿌리에서 含量이 많았다(John, 1973). Cd의 濃도가 높을수록 根部 및 全體生産量이 낮아졌으며 콩, 보리, 밀에서도 施用한 Cd의 濃도가 높을수록 生産量이 감소 되었다.

一般的으로 重金屬에 대한 植物의 耐性은 單子葉植物보다 雙子葉植物이 비교적 強한 것으로 알려져 있으며, 多肉植物도 強한 편에 속한다. 대부분의 植物에 대한 重金屬 處理實驗은 發芽期, 生育初期, 生長期에 시행된 研究가 많으며, 여러 種의 植物들이 實驗材料 되었다. 그러나, 植物의 開花 및 結實期 까지의 影響은 究明된 바 없으므로, 植物의 收穫期 까지의 Pb와 Cd의 影響에 關한 結果를 얻고자 本實驗에서는 長期間의 試驗栽培를 했으며, 對象植物로서 開花期間이 持續的이며 果實이나 種子를 收穫할 수 있는 園藝植物中에서 토마토와 菜松花를 택하여 生長, 開花 및 結實에 미치는 Pb와 Cd의 影響에 關하여 밝히고자 했다.

tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill)와 菜松花(*Portulaca grandiflora* Hook)는 分類學的으로 被子植物綱, 雙子葉植物 亞綱에 속하며 原產地는 南美洲서 꽃잎을 갖고 있는 栽培植物이다(Lee, 1964).

菜松花는 높은 溫度와 乾燥狀態에 매우 強하며 原產地는 Argentina이며 花盆用, 花壇用으로서 家庭이나, 公園, 街路邊에 많이 栽培되고 있는 꽃의 色狀이 多彩로운 中心子目(Centrospermae) 쇠비름科(Portulacaceae)

의 園藝植物이다.

tomato는 好溫性 園藝作物으로서 30°C 이하 13°C 이상의 適溫에서 生育 開花 및 結實이 良好하며 果實에는 vitamin C가 많은 南美 Peru가 原產地인 合瓣花植物目 가지科에 속하는 園藝作物이다.

生育期間中에 Pb와 Cd의 投與量 水準에 따른 生理 生態的 結果와 重金屬 蓄積效果에 따른 植物部位別 含量과 土壤內의 含量을 比較하고자 시도했다.

植物體內 重金屬의 蓄積은 重金屬 處理된 水溶液이나 土壤을 通하여 또는 大氣 中에서 이루어지나, 本實驗에서는 土壤을 媒體로 한 植物의 重金屬 吸收에 關係 研究하였다.

本 研究에서는 上記의 세분야의 實驗을 通하여 植物의 重金屬 吸收를 조사 하였다. 環境要因에 의한 重金屬 吸收와 植物部位別 重金屬의 蓄積現象 및 栽培를 通하여 生長, 開花, 結實期에 이르기 까지 重金屬의 植物에 대한 吸收와 影響에 關係하여 밝히고져 했다.

實驗材料 및 方法

1. 菜松花의 實驗

試藥 및 處理濃度: 本 實驗에서 使用된 植物은 菜松花(*Portulaca grandiflora* Hook.)이다.

Pb의 供給源으로는 $Pb(NO_3)_2$ 를 택하여 處理 했으며 濃度는 植物體의 結實期 까지의 生長期間을 고려하여 高濃度 처리를 하였다.

Pb의 處理濃度는 500ppm, 1,000ppm으로 區分 했으며, 各 濃度別 反應을 比較調査하기 위하여 土壤에 均等히 혼합 처리하였다.

Cd의 供給源으로는 $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ 를 使用處理 했으며 處理濃度는 Pb과 同一하게 했다.

實驗設計: 菜松花에 대한 Pb, Cd의 處理區는 Control, 500ppm區, 1,000ppm區로 3 處理區, 4 反復으로 시행 하였다.

1980年 6月 6日 播種 했고 完全生育後 7月 14日 砂質壤土 1kg을 넣은 花盆에 移植하였다. 活着後에 처리 수준별로 Pb와 Cd를 處理하고 日照量을 확보하기 위해 簡易溫室에서 9週間 栽培하였고 溫度는 18~27°C를 維持하였다.

實驗期間中 Pb, Cd의 溶脫을 防止하기 위하여 관수는 주의 깊게 했다.

週期的으로 生長을 調査하고 9月 30日 收穫 했으며 70°C에서 乾燥하여 地上部와 地下部를 분리하여 生産

量을 測定했다.

植物體의 貴金屬 含量分析: 이들 重金屬의 植物體內 含量調査는 Dithizone 四鹽化炭素法에 依했으며 Sample 1g을 取하여 窒酸過鹽素酸($NH_3 \cdot HClO_4$)을 加하여 試料를 分解하고 filter paper No. 5B로 濾過해서 Ammonia 水 (NH_4OH)로 中和하여 pH 6.5 상태하에서 Dithizone (Diethyle thio carbazon), 四鹽化炭素溶液(0.01w/v%)으로 推出하여 다시 HNO_3-HCl_4 로 分解하여 酸濃度 0.1-1N로서 처리후 Atomic absorption spectro-photometer (IL-251)로 測定했다(千葉, 黑田, 1972).

土壤의 重金屬 含量分析: 土壤內의 Pb, Cd의 分析은 Sample 10g을 取하여 0.1N HCl 50ml을 加하여 30°C에서 1時間 흔들면서 溶出시키고 Filter paper No. 5B로 濾過한 다음 Dithizone 四鹽化炭素溶液(0.01w/v%)으로 抽出後 植物體分析方法和 同一한 方法으로 處理하여 Atomic Absorption sepectrophometer(IL-251)로 分析했다(山本, 1969).

Table 1. Instrumental parameters

Conditions	Metals	Lead	Cadmium
Light source		Hollow cathode	Hollow cathode
Lamp current		5mA	3mA
wave length		217.0nm	228.8nm
Band pass		1nm	1nm
Burner head		single slot	single slot
Flame		Air-acetylene	Air-acetylene

土壤調査는 植物을 收穫한 後 花盆 上端部로부터 5cm 이하층의 土壤을 採取하여 氣乾시킨 後 分析했다.

土壤分析에서 Total Nitrogen은 Kjeldahl法, 有效인산은 Lancaster法, K와 Na는 Flame Photometric法, Ca와 Mg은 Chelate 적정법, 유기물은 Turin法으로 測定했다.

2. Tomato의 實驗

試藥 및 處理濃度: 本 實驗에서 使用된 植物은 Tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill., 大型福壽)이다.

Pb의 供給源으로는 $Pb(NO_3)_2$ 를 使用處理 했으며 Pb의 處理濃度는 500ppm, 1,000ppm으로 區分 했으며 濃度別 反應을 調査하기 위해서 均等히 土壤에 混合했다.

Tomato에 대한 處理區는 Control, 500ppm 1,000ppm으로 3 處理區 4 反復으로 行했다.

播種 및 栽培: 播種은 1980年 4月 17日 播種했고 完

全 生育後 5月 11日 移植 했으며 「成熟期의 反應을 보 기 위해서 7月 14日 2kg의 土壤이 담긴 花盆에 Pb를 처리한 후 簡易溫室에서 栽培 했으며 9月 30日 收穫 했다.

植物栽培 管理 및 材料의 採取 調查方法은 實驗 1과 同一했다.

生育調查 및 分析方法은 實驗 1에서와 同一하게 行 했다.

3. 原州市 道路邊의 花壇植物 調査

採集地의 概況 : 太白山脈으로 부터 뻗친 雉岳山과 白雲山을 頂上으로 둘러 쌓인 原州市는 이 두 山의 各 溪谷을 源泉으로 하는 영광천, 홍양천, 단계천 등 작은 河川이 合流하여 漢江의 支川인 原州川을 이루며 市街의 外緣으로 農地는 狹少한 편이나.

發展 도상에 있는 山間都市로서 交通의 要地이며 商業이 發達하였고 近來에 들어서 高速道路 등 産業施設 및 都市 확장이 크게 이루어 졌다.

原州市는 겨울에는 乾燥하고 늦봄에 비가 내리는 滿州 氣候區 下端部에 속하며 1月 平均 氣溫이 -5.1°C 이며 8月이 24.5°C 인 大陸性 氣候이다.

盆地로서의 特性을 지닌 곳이며 비교적 寒冷하고 晝夜間의 氣溫의 差가 있으며 夜間에는 氣溫이 현저하게 低下됨으로 서리가 일찍 내리는 편이다.

Table 2. Sampling sites and samples.

- *SC: Stems of CHRYSANTHEMUM
- *FC: Flowers of CHRYSANTHEMUM
- *LC: Leaves of CHRYSANTHEMUM
- *LP: Leaves of PORTULACA
- *SP: Stems of PORTULACA
- *FP: Flowers of PORTULACA
- *ST: Stems of TAGETEGS
- *FT: Flowers of TAGETEGS
- *LT: Leaves of TAGETEGS

Sites	Samples	Traffic volume
1. Express bus Tollgate	SC*, FC*, LC*, LP*, SP*, FP*	
2. Weonju rail-road station	SC, FC, LC, LT*, ST*, FT*	heavy
3. post office	SC, FC, LC	
4. Taejang dong	SC, FC, LC, LT, ST, FT	average
5. Weonsung county office	SC, FC, LC, LT, ST, FT	low

*sampling date: september 1980.

實驗材料의 채취 : 本 實驗은 原州市內 都心地 美化를 위하여 道路邊에 設置된 花壇에 심어 놓은 菊花

Table 3. Monthly variation of weather condition(Weonju, Kang weon-do. 1979)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Temperature($^{\circ}\text{C}$) H	4.6	5.3	11.6	16.6	22.2	26.4	29.3	29.9	24.3	20.9	10.7	5.2
L	-6.1	-5.9	-1.9	4.1	8.6	17.2	20.0	20.6	12.6	5.4	2.6	-5.5
Humidity(%)	71	71	64	65	67	78	78	80	82	77	73	77
Precipitation(mm)	22.5	23.8	76.6	125.5	86.8	336.5	200.9	333.0	81.8	21.3	32.4	35.1
Dyration to sunshine(Hr)	194.7	174.5	249.7	256.2	315.8	240.5	299.4	307.3	265.8	283.0	209.5	204.8

Table 4. Monthly variation of weather condition(Weonju, Kang Weon-do 1980)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July.	Aug.	Sep.
Temperature($^{\circ}\text{C}$) Ave	-5.8	-5.0	4.0	9.4	15.8	21.3	22.4	21.4	16.8
H	0.1	1.4	10.9	15.9	22.8	26.6	27.1	26.4	24.0
L	-11.1	-11.0	-2.2	2.8	8.9	16.9	18.9	17.9	11.3
Humidity(%)	66	63	63	69	66	77	85	86	82
Precipitation(mm)	28.8	32	28.0	210.9	101.4	188.5	457.1	174.2	62.4
Duration of sunshine(Hr)	203.8	250.3	276.4	394.6	310.2	268.1	226.8	224.2	260.9

(*Chrysanthemum morifolium* R.), 菜松花(*Portulaca grandiflora* Hook) 및 孔雀草(*Tagetes patula* L.)를 Table 2에서와 같이 꽃줄기 잎을 分析用으로 1980年 9月末 採取하였다. 採取地域은 交通量이 매우 많은 곳과 많은 곳, 그리고 적은 곳의 세 地域으로 區分하여 5個 支所를 採하였다(Table 2).

實驗 1에서와 같은 方法으로 採集된 植物體를 分析하였다.

結果 및 考察

1. 生産量에 미치는 影響

園藝植物인 菜松花 및 園藝作物인 Tomato 등에 대하여 Pb 및 Cd를 土壤에 施用한 結果 植物體에 나타나는 影響은 다음의 Table 5, 6, 7과 Fig. 1, 2에서 볼 수 있다.

菜松花의 生産量에 미치는 土壤에 施用한 Pb의 影響은 Table 5와 같다.

Pb의 濃度가 짙을수록 地上部, 地下部 및 全體植物의 生産量은 對照區에 비하여 높은 値를 나타냈다.

Table 5. The effect of Pb concentration on yield of rose moss(g in dry matter)

Treatment	Soil pH	Top	Root	Plant	Top/Root
Control	5.4	3.7653	0.134	3.8993	28.1
500ppm	4.3	3.9228	0.154	4.0768	25.4
1,000ppm	4.8	4.0208	0.179	4.1998	22.5
L.S.D. 5%	—	0.2130	—	0.2315	—
1%	—	—	—	—	—

T/R値에서 볼 때 對照區에 비하여 Pb 500ppm 및 Cd 1,000ppm 처리구가 낮다는 것은 高濃度에서 地下部の 生産量 증가에 비하여 地上部の 生産量 증가율이 낮으므로 이같은 結果가 나타났다. 그러나 8月과 9月 2個月 동안의 開花期間에 着花數를 비교해 보면 對照區와 處理區間에 큰 차이가 있으며 處理區에서 감소된 現象을 나타냈다(Table 16).

이러한 現象은 Pb 처리구의 植物은 生産量으로는 높은 値를 나타내고 있으나 着花數에 있어서는 Pb의 濃度가 높아짐에 따라 감소되는 것으로 보아 生理的인 影響이 있는 것으로 생각된다.

8月中에는 對照區와 1,000ppm 處理區의 着花數의 차이는 對照區가 2배이며 9월에 접어들어서는 Pb 處理

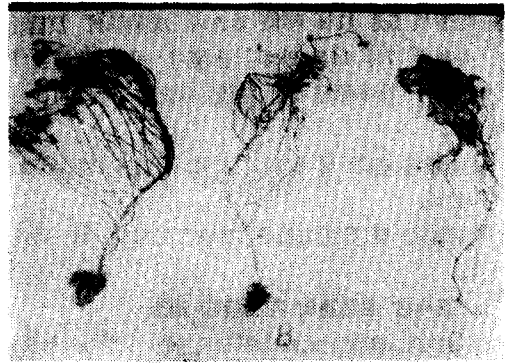


Fig. 1. Effect of different concentration of Pb on the growth of rose moss.

A: Pb 1,000ppm B: Pb 500ppm C: Control

區의 着花數가 다소 증가하는 것으로 보아 Pb의 高濃度處理에 따른 生理的 障害現象이 Pb 處理後 時間이 경과함에 따라 다소 회복되는 것으로 생각된다.

菜松花의 生産量에 미치는 土壤에 施用한 Cd의 影響은 Table 6에서 볼 수 있다.

Table 6. The effect of Cd concentration on yield of rose moss(g in dry matter)

Treatment	pH	Top	Root	Plant	Top/Root
Control	5.4	3.7653	0.134	3.8993	28.1
500ppm	4.6	4.4853	0.2355	4.7208	19.1
1,000ppm	5.1	3.612	0.149	3.761	24.2
L.S.D. 5%	—	0.1256	0.094	0.1437	—
1%	—	0.4763	0.125	0.6374	—

500ppm 處理區가 Pb 處理區에서와 마찬가지로 全體 生産量에 있어서 對照區보다 많았고 반면에 1,000ppm 處理區의 生産量이 제일 적었다. T/R値에서도 500ppm 處理區가 對照區, 1,000ppm 處理區에 비하여 훨씬 낮았다.

菜松花는 Fig. 2에서 보는 바와 마찬가지로 Cd에 대한 反應이 민감하지 못한 耐 Cd性이라 할 수 있으나 Pb 處理區에서의 反應 보다는 민감한 것으로 생각된다.

着花數는 對照區에 비하여 500ppm 處理區 1,000ppm 處理區가 훨씬 더 적었으며 1,000ppm區는 生産量에서 뿐만 아니라 着花數에서도 제일 적었다.

Tomato의 生産量에 미치는 土壤에 施用한 Pb의 濃度에 의한 影響은 Table 7과 Fig. 3에서 볼 수 있다.

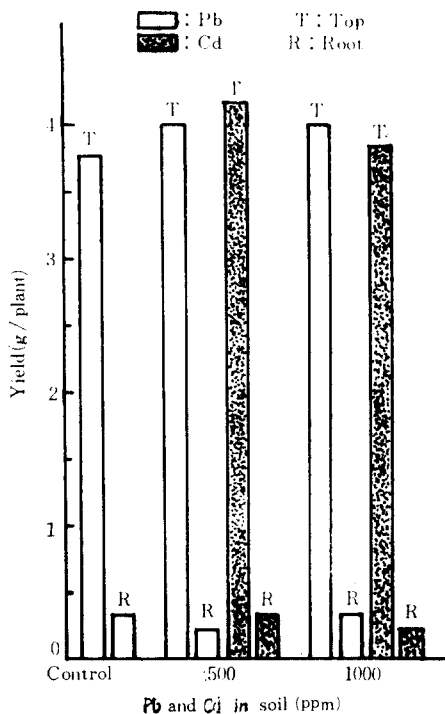


Fig. 2. Effect of Pb and Cd concentration on yield of rose moss.

Pb 濃度가 짙을 수록 地上部 地下部 및 全體植物의 生産量은 낮은 値를 나타내고 있다. T/R值에서 볼 때 高濃度에서 地上部の 生産量이 크게 감소되었으며 500ppm 處理區에서 T/R值가 제일 높았다. 對照區에서 地下部 生産量이 제일 높았다.

2. 土壤成分의 調査

Pb의 濃度別 土壤成分의 差이 별로 나타나지 않아 濃度別 平均値만 기재하였다.

Pb의 處理에 의한 菜松花栽培後 栽培土壤에 미치는 無機成分 分析 結果를 Table 8에서 볼 수 있다.

處理期間의 有機物含量 差이 없었고 平均値는 2.

Table 8. Comparison of soil components after rose moss, which treated with lead has been cultivated

Treatment	Content pH	Total nitrogen (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Organic matter (%)	Exchangeable(m. e.)				Cation exchange capacity(m. e)
					K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
Control	5.9	0.197	268.61	2.59	0.61	0.48	5.23	0.63	8.57
Pb 500ppm	5.4	0.174	192.57	2.73	0.53	0.37	4.18	0.61	7.32
Pb 1,000ppm	5.5	0.167	193.56	2.21	0.60	0.51	4.36	0.73	7.51

Table 7. The effect of Pb concentration on yield of tomato(g in dry matter)

Treatment	pH	Top	Root	Plant	Top/Root
Control	5.1	39.4755	4.5365	44.012	8.7
500ppm	5.6	35.8898	3.5092	39.399	10.2
1,000ppm	4.8	26.7488	3.4278	30.1766	7.8
L.S.D. 5%		1.2051	0.8439	5.2478	—
1%		8.2470	—	—	—

51%였으며 유효인산의 量은 193.56~268.61ppm 사이에 분포되었으며 Pb 處理區가 약간 낮은 편이었다.

反面에 對照區가 제일 높았다. N 含量은 평균 0.18% 정도로 처리기간에 差이 없었다. Ca 含量은 對照區가 5.23m. e로 제일 높았고, 기타 處理區는 4.27m. e로

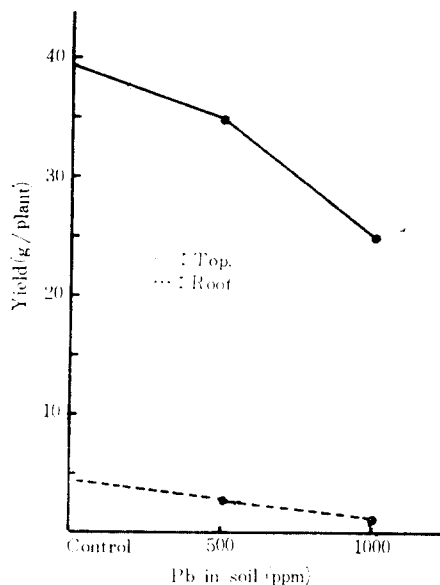


Fig. 3. Effect of Pb concentration on yield of tomato.

Table 9. Comparison of soil components after rose moss, which treated with cadmium, has been cultivated

Treatment	Content PH	Total nitrogen (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Organic matter (%)	Exchangeable(m.e.)				Cation exchange capacity(m.e.)
					K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	
Control	5.9	0.197	268.61	2.59	0.61	0.48	5.32	0.63	8.57
Cd 500ppm	5.5	0.161	186.24	2.45	0.49	0.42	5.01	0.82	7.84
Cd 1,000ppm	5.3	0.153	217.52	2.78	0.30	0.41	3.97	0.72	7.31

Table 10. Comparison of soil components after tamato, which treated with lead, has been cultivated

Treatment	Content PH	Total nitrogen (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Organic matter (%)	Exchangeable(m.e.)				Cation exchange capacity(m.e.)
					K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
Control	5.1	0.159	216.14	1.98	0.32	0.12	2.10	0.51	4.21
Cd 500ppm	4.9	0.163	192.52	2.82	0.35	0.19	2.81	0.91	5.83
Pb 1,000ppm	5.0	0.152	165.21	1.78	0.29	0.15	1.97	0.87	3.89

큰 차가 없었다.

pH值에서도 對照區와 處理區間에 큰 차이가 없었다. Cd를 處理하여 菜松花를 栽培한 後 土壤成分을 分析한 結果는 Table 9와 같다. 全질소 含量은 Control이 0.197%로 약간 높았으나 他處理區와 큰 차이는 없었다. 유효인산 含量은 268.61~186.24ppm 사이에 分布되고 有機物은 2.78~2.45%를 나타내고 있으며, 치환성 Ca은 5.32~3.97m.e였다.

치환성 Mg는 평균 0.72m.e로 處理區間에 큰 차이가 없었다. K는 약 0.45m.e이고 Na는 평균 약 0.45m.e로 모두 처리간에 큰 차이가 없었다. 이들 成分으로 보아 균일한 土壤條件에서 成長 했다고 볼 수 있다.

Pb를 處理하여 tomato를 栽培한 後 土壤成分을 分析한 結果는 Table 10과 같다. 全질소 含量은 Pb 500ppm區가 0.63%로 약간 높았으나 타처리구와 큰 차이가 없었다. 유효인산 含量은 216.14~165.21ppm으로 Pb 1,000ppm區가 제일 낮았다.

有機物은 2.8~1.78%를 나타내며 치환성 Ca은 2.81~1.97m.e였다. 치환성 Mg는 평균 0.76m.e., K는 약 0.32m.e이고 Na는 평균 0.15m.e로 모두 處理區間에 큰 차이가 없었다.

이상의 分析結果로 보아 栽培된 植物들은 대체로 균일한 土壤條件하에서 生育 했다고 볼 수 있다.

3. 植物體 및 土壤內 重金屬含量

Pb 처리 후 栽培된 菜松花의 部位別 Pb의 含量은 Table 11에서와 같다.

1,000ppm區에서 모든 部位別로 含量이 제일 많았으며 500ppm, 1,000ppm區에서 共히 뿌리, 줄기, 잎, 꽃씨앗 순으로 含量이 감소 되었다. 1,000ppm區의 뿌리에서 445.55ppm으로 가장 높은 値를 나타냈으며 500ppm區 씨앗에서는 3.1ppm으로 가장 작은 値를 나타내었다.

Table 11. Lead uptake by rose moss as function of soil lead contents(ppm)

Treatment	Parts				
	Root	Stem	Leaf	Flower	Seed
Control	—	—	trace	—	—
500ppm	135.78	54.31	48.69	19.3	3.1
1,000ppm	445.55	123.58	114.90	24.5	15.0

Cd處理 後 栽培된 菜松花의 部位別 Pb의 含量은 Table 12와 같다.

1,000ppm區에서 뿌리를 제외한 모든 部位에서 含量이 제일 높았으며 500ppm, 1,000ppm區에서 共히 含量 順位는 뿌리>줄기>잎>꽃>씨앗의 順位로 나타났다. 500ppm區의 뿌리에서 111.07ppm으로 가장 높은 値를 나타냈으며 역시 500ppm區 씨앗에서 20.4ppm으로 가장 낮은 値를 나타냈다.

Pb處理 後 栽培된 도마토의 部位別 Pb 含量은 Table

Table 12. Cadmium uptake by rose moss as function of soil cadmium contents(ppm)

Treatment	Parts				
	Root	Stem	Leaf	Flower	Seed
Control	—	—	trace	—	—
500ppm	111.07	58.8	60.47	24.1	20.4
1,000ppm	106.48	77.88	108.46	35.2	45.4

13에서와 같다. 1,000ppm區에서 모든 部位에서 含量이 제일 높았으며 뿌리에서 含量이 제일 높았고 잎, 줄기 順으로 줄기에서의 含量이 제일 적은 現象이 나타났다.

1,000ppm區의 뿌리에서 128.6ppm으로 제일 높은 値를 나타냈으며 500ppm區 줄기에서 4.45ppm으로 제일 낮은 値를 나타냈다.

Pb와 Cd를 處理하여 菜松花와 도마도를 栽培한 後 土壤中の Pb 및 Cd의 含量을 測定한 結果는 Table 14

Table 13. Lead uptake by tomato as function of soil lead contents(ppm)

Treatment	Parts		
	Root	Stem	Leaf
Control	—	—	—
500ppm	45.1	4.45	41.1
1,000ppm	128.6	4.52	40.5

Table 15. Comparison of various heavy metal contents in parts of each plant(ppm)

Plants	Plant parts	Sampling sites*	Elements			
			Zn	Mn	Fe	Pb
<i>Chrysanthemum morifolium</i> R.	Leaves	1, 2, 3, 4, 5.	76	95	572	57
	Stems	1, 2, 3, 4, 5.	72	67	111	34
	Flowers	1, 2, 3, 4, 5.	102	152	675	72
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Leaves	1.	55	53	318	39
	Stems	1.	61	55	92	26
	Flowers	1.	91	97	289	68
<i>Tagetegs patula</i> L.	Leaves	2, 4, 5.	38	45	116	35
	Stems	2, 4, 5.	50	49	52	18
	Flowers	2, 4, 5.	68	82	182	54

*Sampling sites: See Table 2.

와 같다.

Pb 1,000ppm區에서 356.58ppm으로 토양내 Pb 含量이 가장 높았으며 Cd 1,000ppm區에서 68.08ppm으로 토양내 Cd 含量이 가장 높았다.

Table 14. Lead and cadmium contents in soil after rose moss and tomato, which treated lead and cadmium, have been cultivated(ppm)

Treatment	Heavy metals	Rose moss		Tomato
		Pb	Cd	Pb
Control		trace	trace	trace
Pb 500ppm		269.2	0.3	105.39
Pb 1,000ppm		356.58	0.39	149.86
Cd 500ppm		35.28	62.13	—
Cd 1,000ppm		56.94	68.08	—

道路邊의 국화, 채송화, 공작초의 部位別 重金屬 含量의 測定 結果는 Table 15와 같다. 표의 수치는 平均 値이다.

국화에서는 꽃에서의 重金屬 含量이 제일 높았으며 채송화 공작초에서도 같은 경향을 나타내고 있다. Fe의 含量이 다른 重金屬보다 많은 경향이 나타났다. 또한 植物體의 줄기 部位에서의 重金屬含量이 감소된 경향이였다.

4. 薺花에 미치는 影響

Cd, Pb處理 後 菜松花의 着花數와 꽃의 색갈別 分布

Table 16. Numbers and color of flowers in experimental groups of *Portulaca grandiflora* Hook.

*R : Red Y : Yellow P : Pink
O : Orange W : White

Treatment	Color	August	September	Total
Control	R	60	140	200
	Y	27	93	120
	P	24	92	116
	O	36	23	59
	W	2	4	6
	Total		149	352
Pb 500ppm	R	31	106	137
	Y	2	3	6
	P	22	104	126
	O	1	2	3
	W	2	33	35
	Total		58	248
Cd 500ppm	R	63	91	154
	Y	19	26	45
	P	23	83	106
	O	9	5	14
	W	6	13	9
	Total		120	218
Pb 1,000ppm	R	25	64	89
	Y	10	56	66
	P	14	85	99
	O	23	3	26
	W	2	56	58
	Total		74	264
Cd 1,000ppm	R	28	72	100
	Y	31	95	126
	P	13	45	5
	O	3	1	4
	W	9	26	35
	Total		84	239

는 Table 16과 같다. 着花數는 Control의 501個를 기준으로 하여 Pb 500ppm區 306個, Pb 1,000ppm區는 338

個였으며 Cd 500ppm區는 338個, Cd 1,000ppm區는 323個였다. Pb 500ppm區가 가장 작은 值였다.

着花의 月別 비교에서는 8月 보다는 9월에 着花數가 상당히 증가되었고 많은 月별 着花數 차이를 나타내는 區는 Pb 500ppm區, Pb 1,000ppm區, Cd 1,000ppm區였다.

꽃색 別에서는 Control에서는 붉은색이 200個로서 제일 많았고 흰색이 6個로서 제일 적었다.

Pb 500ppm區에서는 붉은색이 106個로서 제일 많았고 분홍색이 104個였고 오렌지색이 3個로서 제일 적었다.

Cd 500ppm區에서는 역시 붉은색이 154個로서 제일 많았고 오렌지색 꽃이 14個로서 제일 적었다. Pb 1,000ppm區에서는 붉은색이 89個로 제일 많았고 오렌지색이 26個로서 제일 적었다. Cd 1000ppm區에서는 노랑색이 126個로 제일 많았고 오렌지색이 4個로서 제일 적었다.

Pb 處理한 土壤에서 栽培된 도마도의 着花數는 Table 17에서 볼 수 있다. Control에서는 8月, 9月間의 着花數가 큰 차이가 없으나 Pb 500ppm區와 Pb 1,000ppm區의 차이는 몹시 심했으며 8月보다 9월에 급격히 着花數가 증가되었다.

Table 17. The effect of Pb concentration on the number of flowers in tomato

Treatment	Date	
	August, 1980	September, 1980
Control	27	35
Pb 500	25	60
Pb 1,000	9	95

菜松花 種子의 수확량은 Control이 6,559粒으로 제일 높았으며 그 다음이 Cd 1000ppm區로서 5,316粒이었고 Cd 500ppm區가 2,023粒으로 제일 적었다.

摘 要

本 實驗은 菜松花와 tomato를 生育하여 花盆에 移植한 後 濃度別로 Pb와 Cd를 施用하여 着花 및 結實期까지의 Pb, Cd의 吸收와 影響을 調査하였고, 道路邊 畵단의 菊花, 菜松花 및 孔雀草를 採取하여 部位別 重金屬 含量을 測定比較 하였다.

菜松花의 生産量은 Pb의 濃度가 질을수록 증가 했으며 Cd는 1,000ppm處理區에서 對照區의 生産量보다 약간 감소되었으나 500ppm區에서는 증가했다. 따라서 多肉植物인 菜松花는 Pb, Cd에 대하여 저항성이 강한 것으로 나타났다. tomato의 生産量은 Pb의 濃度가 질을수록 감소했으며 Pb에 대한 反應이 민감했다.

菜松花의 各 部位別 Pb 含量은 高濃度일수록 증가했다. Cd 處理區에서도 같은 結果였다. 특히 뿌리에서의 含量이 가장 많았다. 도마토의 各 部位別 Pb 含量은 뿌리에서 제일 높았고 줄기에서 제일 낮았다.

道路邊의 菊花, 菜松花, 孔雀草의 部位別 重金屬 含量은 菊花에서 제일 높았고 各 植物體의 줄기에서는 감소되는 경향을 나타냈다.

菜松花의 着花數는 對照區에서 제일 많았으며 Pb, Cd 處理區에서는 감소되었다. 8月보다 9月에 各 處理區에서 급격히 증가하는 現象을 나타냈다.

菜松花의 種子 收穫量은 Pb, Cd의 各 處理區가 對照區에 비하여 감소된 傾向을 나타냈다.

本實驗을 통하여 重金屬 汚染地域에 植物을 移植하여 結實期까지 栽培할 경우 生育初期보다는 成熟期에 移植하는 것이 生長阻害를 감소시키며 道路邊 土壤內의 Pb, Cd의 汚染度를 저하시키는 方法의 하나로는 重金屬 吸收力이 강한 菜松花와 같은 多肉植物을 花壇에 栽培하는 것이 効果的인 것으로 생각된다.

參考文獻

- Baumhardt, G. R. and L. F. Welch, 1972. Lead uptake and corn growth with soil applied lead. *J. Environ. Quality*, 1(1) : 92~94.
- Cannon, H. L. and J. M. Bowles, 1965. Contamination of vegetation by tetraethyl lead. *Science*, 137 : 765~766.
- Cha, J. W. and B. W. Kim, 1975. Ecological studies of plants for the control of environmental pollution. IV.—Growth of various plant species as influenced by soil applied cadmium. *The Korean J. of Botany*, 18(1) : 23~30.
- Chang, N. K. and C. S. Mok, 1977. Physiological studies of the vegetation on ore Deposits. 1. Znic flora and indicator plants on the 2nd Yunwha Mine. *Korean J. Bot.*, 20 : 45~72.
- Cox, W. J. and D. W. Rains, 1972. Effect of lime on lead uptake by five plant species. *J. Environ. Quality*, 1(2) : 167~169.
- Jastrow, J. D. and D. E. Koeppe, 1980. Uptake and effects of cadmium in higher plants. *Cadmium in the environment* (Part 1) 607~638.
- 千葉盛人・黒田雅之, 1972. 水中의 Cd, Zn, Pb, Cu, Ni, 公害分析指針 4 : 43~55.
- John, M. K., 1971. Lead contamination of some agricultural soils in Western Canada. *Environ. Sci. & Tech*, 5(12) : 199~1203.
- John, M. K., 1972. Effect of lime on soil extraction and on availability of soil applied cadmium to radish and leaf lettuce plants. *Sci. Total Environ.*, 1 : 303~308.
- John, M. K. and C. Van Laerhoven, 1972. Lead uptake by lettuce and oats as affected by lime, nitrogen, and sources of lead. *J. Environ. Quality*, 1(2) : 169~171.
- John, M. K., 1972. Lead availability related to soil properties and extractable lead. *J. Environ. Quality*, 1(3) : 295~298.
- John, M. K., 1973. Cadmium uptake by eight food crops as influenced by various soil levels of cadmium. *Environ. Pollut.*, 4 : 7~15.
- John, M. K., H. H. Chuah, and C. J. Van Laerhoven, 1972. Cadmium contamination of soil and its uptake by oats. *Environ. Sci. & Tech.*, 6(6) : 555~557.
- Kim, B. W., 1980. Study on the zinc, manganese, iron, lead contents in roadside plants. *Research Report of Sang Ji College*, 1 : 95~204.
- Kloke, A. and K. Riebartsch, 1964. Contamination of crops with lead from vehicle exhausts. *Naturwissenschaften*, 51 : 367~368.
- Lagerwerff, J. V., 1971. Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. *Soil Science*, 3(2) : 129~133.
- Lagerwerff, J. V. and A. W. specht, 1970. Contamination of road side soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. & Tech.*, 4(7) : 583~586.
- Lee, C. B., 1964. *Plant Taxonomy*. 228~239.
- Maclean, A. J., R. L. Halstead. and B. J. Finn, 1969. Extract ability of added lead in soils and its concentration in plants. *Can. J. Soil Sci.*, 49 : 327~334.
- Martin, G. C. and P. B. Hammond, 1966. Lead uptake by bromoglass from contaminated soils. *Agronomy Journal*, 58 : (9~10) : 553~554.
- Motto, H. L., R. H. Daines., D. M. Chilko and C. K. Motto, 1970. Lead in soils and plants: Its relationship to traffic volume and proximity to high ways. *Environ. Sci. & Tech.*, 4(3) : 231~237.
- Page, A. L. and F. T. Bingham, 1973. Cadmium residues in the environment. *Residues Reviews*, 48 : 1~44.
- Page, A. L., F. T. Bingham. and C. Nelson, 1972. Cadmium

- absorption and growth of various plant species as by solution cadmium concentration. *J. Environ. Quality*, 1(3) : 288~291.
- Patel, P. M., A. Wallace and R. T. Mueller, 1976. Some effects of copper, cobalt, cadmium, zinc, nickel, and chromium on growth and mineral element concentration in chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 101(5) : 553~556.
- Rolfe, G. L., 1973. Lead uptake by selected tree seedlings. *J. Environ. Quality*, 2(1) : 153~157.
- Schuck, E. A. and J. K. Locke, 1970. Relationship of automotive lead particulates to certain consumer crops. *Environ. Sci. & Tech.*, 4(4) : 324~330.
- Singer, M. J. and L. Hanson, 1969. Lead contamination in soils near highways in the twin cities metropolitan area. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33 : 152~153.
- Smith, W. H., 1972. Lead and Mercury burden of urban woody plants. *Science*, 176 : 1237~1239.
- Sung, M. W. and Y. H. Jeong, 1977. Effect of various anion on absorption and toxicity of lead in plants.
- 辰己修三, 1973. 重金属と樹木. 公害対策, 9(9) : 1~12.
- Ter Haar, G. L. *et al.*, 1969. The lead uptake by perennial ryegrass and radishes from air, water and soil. *Environ. Research*, 2 : 267~271.
- Ter Haar, G. L., 1970. Air as a source of lead in edible crops. *Environ. Sci. & Tech.*, 4 : 226~229.
- Warren, H. V. and R. E. Delavault, 1962. Lead in some food crops and trees. *J. Sci. Food. Agr.*, 13 : 96~98.
- Weonju statistical year book, 1979. Weonju, Kangweon-do.
- Weonsung-Kun monthly report of meteorological branch office, 1980. Weonsung-kun, Kang Weon-do
- 山本茂樹, 1973, 土壤汚染物質の測定方法. 日本環境廳土壤農業課 251~264.

(1982年 9月 20日 接受)