

# 草木植物의 重金屬 抵抗性에 關한 研究 — Cadmium, Lead 處理 土壤에 의한 反應 —

金炳宇·朴鍾先\*

尙志大學校 自然科學大學 生物學科 · 尙志大學校 農科大學 農學科\*

## Study on the Resistance of Various Herbaceous Plants to the Effect of Heavy Metals — Responses of Plants to Soil Treated with Cadmium and Lead —

Kim, Byung-Woo and Jong-Sun Park\*

Department of Biology, Sang-ji University and Department of Agriculture, Sang-ji University\*

### ABSTRACT

Three horticultural herbaceous plants and a natural herbaceous plant were tested to determine the growth responses, biomass and uptake of cadmium(Cd), lead(Pb) by application of Cd and Pb soil treatment in pot culture. The ecological effects on the growth of the plants were investigated to determine the tolerance for the heavy metal pollutants Cd and Pb.

The marginal concentration of Cd treatment on the growth of the each plant was below the 1,000 ppm treatment of Cd. The marginal concentration of Pb treatment was below the 1,000 ppm treatment of Pb in cultivation of *Salvia splendens* Ker., *Celosia cristata* L. and below the 3,000 ppm treatment of Pb in cultivation of *Portulaca grandiflora* Hook., *Sedum sarmentosum* Bunge. The resistance for Cd of *Sedum sarmentosum* Bunge, *Celosia cristata* L., *Portulaca grandiflora* Hook. and *Salvia splendens* Ker. was in the listed order. The resistance for Pb was in order of *Sedum sarmentosum* Bunge, *Portulaca grandiflora* Hook., *Salvia splendens* Ker. and *Celosia cristata* L.. The wilting by Pb treatment inhibited the elongation of *Salvia splendens* Ker. and *Celosia cristata* L. stems.

The flowering of *Portulaca grandiflora* Hook. was sustained in the Pb 1,000 ppm treated group only. The higher the concentration of Pb in the soil cultivated the plants was, the less the content of leaf chlorophyll in each plant was. The number of stomata per unit leaf area was the highest in *Salvia splendens* Ker. and in order of *Celosia cristata* L., *Sedum sarmentosum* Bunge., *Portulaca grandiflora* Hook.. The higher the Cd and Pb concentration in the pot soil was, the severer the response of stomatal closing was. The higher concentration of Cd and Pb treatment was, the more the content of Cd and Pb in the part of each plant increased. The content of Cd and Pb in the stems of *Salvia splendens* Ker. was the highest in the 1,000 ppm -treated group and in order of the roots, the leaves and the flowers. The higher the Pb concentration was, the more the

本 研究는 1989年度 文教部 學術研究造成費에 依하여 研究되었음.

biomass of *Portulaca grandiflora* Hook. and *Sedum sarmentosum* Bunge were decreased gradually. *Sedum sarmentosum* Bunge and *Portulaca grandiflora* Hook. were strong in the tolerance for Cd and Pb. *Celosia cristata* L. and *Salvia splendens* Ker. were found sensitive to Cd and Pb.

## 緒 論

植物은 生長過程에서 環境條件에 많은 影響을 받는다. 産業의 發達과 交通量의 增加등으로 因한 有毒性 重金屬에 의한 公害現象은 自然生態系와 人間環境에 有害한 要素로 대두되고 있다.

植物의 重金屬 吸收에 關한 研究는 Maclean, *et al.* (1969), Patel and Wallace (1976), Lagerwerff (1971), Cha and Kim (1975), Jastrow and Koeppe (1980), Kim (1982, 1987) 등이 發表한 바 있다.

重金屬에 대한 耐性은 單子葉植物보다 雙子葉植物이 比較的 강하며 (Bremner, 1965), 多肉植物도 강한 편에 속한다 (Kim, 1984; Cha and Kim, 1975) 고 했다. 특히, Pb 處理 土壤에서 栽培된 무궁화와 아가시나무는 黃白化現象이 나타났으며 落葉現象이 다른 식물에 比하여 빨랐고 1,000 ppm 處理에서 生育初期의 콩과 밀은 對照區에 比하여 生産量이 50% 減少했으며 꽃기린은 Pb 500 ppm에서 Chlorosis 現象이 나타났고 濃도가 높을수록 障礙現象이 심했다고 했다.

交通量이 많고 通風이 少되는 地域, 高速道路邊의 土壤이나 植物體內에 Pb의 含量이 높은 것으로 나타나고 있다. (Haar, 1970; Lagerwerff and Specht, 1970; Page *et al.*, 1972; Page and Ganje, 1970; Chung and Lee, 1987; Chang, 1990; Chang and Lee, 1990; Chang, *et al.*, 1990)

Rolfe (1973)는 吸收된 Pb는 植物의 物質代謝와 生長에 影響을 준다고 했다.

Pb의 有毒性은 土壤에서 一次的으로 음이온과 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 나타나며 SH基를 가진 대사물질이나 효소와 Pb가 복합물을 형성할 기회가 적어지는 것이 Pb 含量이 높은 植物에서도 때때로 피해증상이 나타나지 않는 원인임을 밝혔다 (Sung and Jeong, 1977).

Jastrow (1980) 등은 植物의 生産量과 Cd 吸收量과의 比는 Cd의 植物에 대한 有毒性 여부와 관계가 있다고 했으며 같은 條件에서 Cd 吸收에 대한 植物 種間差는 遺傳的 影響이 있음을 지적했다. Cd 處理 土壤에서의 栽培植物의 生産量을 比較해본 結果 옥수수과 밀에 比하여 콩, 보리가 현저히 감소되었으며 Cd 80 ppm 處理區와 Pb 1,000 ppm 處理區에서의 콩, 보리의 감소된 生産量은 유사했다 (Kim, 1984). 菜松花에 Cd, Pb를 各各 500 ppm, 1,000 ppm 處理한 區의 生産量은 對照區의 것과 유사하였으며 tomato에 Pb를 500 ppm, 1,000 ppm 處理區에서의 生産量은 對照區의 것에 比하여 다소 감소되었다 (Kim, 1982). Cd 處理한 水稻에서 7.2 ppm, 花卉作物은 71.7 ppm, 왕골에서 58.3 ppm, 목화에서 15.1 ppm의 Cd가 검출되었다고 했다 (Kim *et al.*, 1980). 土壤의 Zn 含量이 30 ppm인 亞鉛鑛山부근에서 棲息하는 아연꽃, 패랭이꽃은 1,300~1,400 ppm의 Zn을 含有한다고 했으며 (Chang and Mok, 1977) 日本의 Cd 含量이 7.9 ppm 地域에서 서식하는 백고사리는 Cd 含量이 1,241 ppm으로 다른 식물보다 월등히 높았다고 했다.

植物의 重金屬 吸收는 重金屬에 잘 適應하는 植物이 있는 반면에 生理的 障礙現象을 일으키는 種類도 있다 (辰己修三, 1973.; Chang and Mok, 1977).

Cd나 Pb의 濃度別 處理에 의한 植物의 生育反應에 關한 研究는 많으나 대부분 低濃度 수준에서의 反應차이에 關한 結果이며 生育限界測定을 위한 結實期까지의 生長反應에 關한 研究는 드

물다.

本 研究에서는 栽培植物과 野生植物에 Pb, Cd를 高濃度 處理하여 反應을 調査하고 抵抗性에 對한 要因을 규명하고, 生育限界濃度의 測定, 重金屬 吸收能 評價 및 Pb, Cd의 有毒性을 밝히고자 했다.

## 材料 및 方法

實驗植物은 園藝植物인 被子植物門 雙子葉植物綱 合瓣花亞綱 筒花植物目 꿀풀科 丹蔘屬의 사르비아(*Salvia splendens* Ker.)와 離瓣花亞綱 石竹目 비름科 맨드라미屬 맨드라미(*Celosia cristata* L.), 쇠비름科 菜松花(*Portulaca grandiflora* Hook.), 野生植物인 薔薇目 돌나물科 꿩의 비름屬에 돌나물(*Sedum sarmentosum* Bunge)이며 花盆栽培하여 處理區는 cadmium, lead를 各各 1,000 ppm, 3,000 ppm, 5,000 ppm 區로 구분하여 Cd, Pb를 栽培土壤에 溶液處理하였다. 處理區別 實驗材料植物의 反復數는 pot當 2個體씩 植栽하고 4反復하여 8個體였다.

Cd의 供給源으로  $CdCl_2 \cdot 2\frac{1}{2} H_2O$ 를 使用했고 Pb 供給源은  $Pb(NO_3)_2$ 를 使用하였다.

實驗期間中 花盆土壤內의 Cd, Pb의 溶脫을 防止하기 위하여 簡易溫室에서 9週間 栽培하였으며 溫度는 18~27℃를 維持하고 灌水를 적정량 주의 깊게 조절하였다.

週期的으로 生長反應, 生育調査, 葉綠素含量測定, 氣孔調査를 하였으며 實驗植物들은 收穫 後 70℃에서 乾燥하여 地上部와 地下部를 區別하여 生産量을 測定하였다.

잎의 色素를 抽出한 後 Gilford Response UV-Visible Spectrophotometer(2506 × 72)를 利用하여 645 nm와 663 nm에서의 吸光度를 測定하였으며 Arnon(1949), 金과 李(1983)의 方法으로 葉綠素 含量을 定量하였다.

植物體內와 栽培土壤中의 Cd, Pb 含量分析은 ICP方法에 의한 JARRELL-ASH Model 865A PLASMA AtomComp Spectrophotometer로 하였으며 分析方法은 Official method of analysis of the association of official analytical chemist(A.O.A.C. 1970)에 의해 處理되었다.

## 結果 및 考察

### 植物의 生長反應에 미치는 影響

園藝植物인 사르비아, 맨드라미, 菜松花와 野生植物 돌나물의 花盆栽培土壤에 Cd를 施用한 結果 植物體에 나타나는 影響은 Table 1에서와 같다.

Cd處理 20時間後에 사르비아 5,000 ppm 處理區에서 제일 먼저 反應이 나타나 葉緣에서 萎凋 現象이 시작되어 줄기 상단부 잎들이 영향이 컸으며 잎가운데 부분적으로 褐變壞死現象이 進行되었다. 한 個體에서 1~2장 정도 잎이 떨어졌다.

48時間後에 Cd 3,000, Cd 5,000 ppm 處理區에 枯死現象이 현저하게 나타났다. 다른 處理區는 外部變化가 없었다.

6日後 1,000 ppm 處理區에서는 사르비아는 萎凋現象만 나타났고 맨드라미에서는 70%의 萎凋 및 枯死現象이 병행되었다. 菜松花는 90%가 枯死하였고 돌나물은 20%가 萎凋 및 枯死되었다. 사르비아와 菜松花는 Cd 3,000, Cd 5,000 ppm 處理區에서 枯死되었고 黃白化現象을 수반하였다.

돌나물은 Cd 1,000 ppm 處理區에서 20%의 萎凋, 枯死를 나타내 가장 Cd의 影響이 적었다.

23日後에는 各 處理區의 모든 植物들이 萎凋, 枯死되었다.

**Table 1.** The responses of plant growth to Cd concentration.

Plant species	Cd treatment (ppm)	Responses	
		6 days after Cd treatment	23 days after Cd treatment
<i>Salvia splendens</i> Ker.	1,000	W(100)	W, N(100)
	3,000	W, N(10)	W, N(100)
	5,000	W, N(100)*. C(50)**	W, N(100)
<i>Celosia cristata</i> L.	1,000	W, N(70)	W, N(100)
	3,000	W, N(80)	W, N(100)
	5,000	W, N(90)	W, N(100)
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	1,000	N(90)	W, N(100)
	3,000	N(100), C(100)	W, N(100)
	5,000	N(100), C(100)	W, N(100)
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	1,000	W, N(20)	W, N(100)
	3,000	W, N(70)	W, N(100)
	5,000	W, N(90)	W, N(100)

W, N(100)\* : Wilting(100%) and Necrosis (100%), C(50)\*\* : Chlorosis(50%)

Pb를 施用한 結果 植物에 미치는 影響은 Table 2에서와 같다.

Pb 處理 6日 後에 1,000 ppm 處理區에서는 各 植物 公히 反應이 나타나지 않았으며 사르비아는 3,000 ppm, 5,000 ppm 處理區에서 落葉現象이 나타났고 特히 5,000 ppm 區에서는 葉과 줄기에서 70%가 시들고 凝縮되었다. 모든 處理區에서 枯死現象은 나타나지 않았다. 23日 後에는 사르비아와 맨드라미는 모든 Pb 處理區에서 萎凋, 枯死되었다. 菜松花는 各 處理區에서 落葉이 지고 3,000 ppm 區에서 70%가 枯死하였고 30%가 Chlorosis 現象을 나타냈으며 5,000 ppm 區에서는 모두 枯死하였고 Chlorosis를 수반하였다. 돌나물은 1,000 ppm 區에서 20%의 萎凋現象뿐이었으며 3,000 ppm 區에서는 50%가 枯死되었고, 5,000 ppm 區에서는 10%는 生存하였다.

Pb 處理에 의한 反應은 20日 후 맨드라미, 사르비아, 菜松花, 돌나물 順이었으며 맨드라미는 모든 處理區에서 完全枯死하였고 사르비아는 1,000 ppm 處理區에서 葉 일부가 生存하였다. 돌나물은 새순이 돌아나와 生長했다.

Crassula 肥大草, 菜松花와 등 多肉植物은 Pb 1,000 ppm 處理區에서 反應이 둔한 耐鉛性植物이라고 했다(Kim, 1984).

本 研究結果 菜松花는 3,000 ppm 處理區에서 枯死現象이 나타났다. 따라서 限界濃度는 3,000 ppm 인 것으로 판단된다.

반면에 Cd는 限界濃度가 Pb보다 훨씬 낮은 1,000 ppm 이하인 것으로 本 實驗에서 나타나고 있다. 野生植物인 돌나물은 菜松花보다 抵抗性이 강했다.

實驗植物 모두가 Pb보다 Cd에 민감하며 Cd에 대한 植物들의 限界濃度는 1,000 ppm 이하인 것으로 사료된다.

Cd에 대한 抵抗性은 돌나물, 맨드라미, 菜松花, 사르비아 順이었다.

**Table 2.** The responses of plant growth to Pb concentration.

Plant species	Pb Treatment (ppm)	Responses	
		6 days after Pb treatment	23 days after Pb treatment
<i>Salvia splendens</i> Ker.	1,000	none*	W, N(100)****
	3,000	D(10)**	W, N(100)
	5,000	D(20), W(70)	W, N(100)
<i>Celosia cristata</i> L.	1,000	none	W, N(100)
	3,000	W, C(10)***	W, N(100)
	5,000	W, C(30)	W, N(100)
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	1,000	none	D(100)
	3,000	W(20)	D(100), N(70), C(30)
	5,000	W(40), C(10)	D(100), N(100), C(100)
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge.	1,000	none	W(20)
	3,000	W(20)	N(50)
	5,000	W(30), C(20)	N(90)

none\* : no specific symptom, D(10)\*\* : Defoliation(10%), W, C(10)\*\*\* : Wilting(10%) and Chlorosis(10%), W, N(100)\*\*\*\* : Wilting(100%) and Necrosis(100%)

### 植物生育에 미치는 影響

處理 後에 植物의 줄기 生長을 調査한 結果는 Table 3에서와 같다. 사르비아는 對照區에서 調査期間인 10月2日에서 10月17日 사이에 成長하는 傾向이었으나 處理區에서는 모두 減少되었으며 Pb 5,000 處理區에서는 10月8日 以後부터 萎凋現象과 枯死現象이 나타나기 시작했다. 맨드라미도 같은 傾向이었으며 各 處理區에서 10月8日 이후 급격히 萎凋, 黃化現象이 나타났다.

菜松花, 들나물의 對照區도 調査期間에 成長 추세를 나타냈으나 處理區는 減少傾向이었다. 菜松花는 Pb 3,000 ppm 5,000 ppm 處理區에서 10月8日 以後 萎凋現象이 점차 심해져서 測定이 不可能했다. 들나물에서는 10月17日 前後하여 萎凋現象이 심해졌으나 Pb, 1,000 ppm, 3,000 ppm 處理區에서는 다른 植物보다 줄기 生育이 양호했다.

Cd處理 後에 實驗植物들은 3日 경과된 後 부터 萎凋現象이 나타나기 시작하여 枯死되었다.

10月2日 Pb 處理 前과 10月3日 處理 後에 植物의 葉數를 調査한 結果는 Table 4에서와 같다. 사르비아와 맨드라미는 對照區에서 調査期間中 變化가 없었고 사르비아, 맨드라미 Pb 處理區에서 보다 菜松花, 들나물 處理區에서의 減少추세가 더 현저했다. 사르비아, 맨드라미는 10月3日에서 10月17日 사이 Pb 5,000 ppm 區에서 萎凋가 나타났고 들나물은 Pb 5,000 ppm 區에서 역시 萎凋現象이 나타났다.

사르비아는 Pb 處理 初期에 落葉現象이 나타나 잎의 減少를 가져왔으며 菜松花는 10月15日 以後에 落葉現象이 현저했다. Chang & Jin(1982)에 의하면 菜松花는 CAM植物로서 가을에 잎이 떨어지면 줄기에 氣孔이 나타나고 生長이 더욱 促進된다고 했다.

Cd, Pb 處理 後 菜松花의 1個體當 평균 着花數는 Table 5에서와 같다. 對照區에서는 10月2日에 5개였고 10月9日에서 10月17日까지 6개였다. Cd 1,000 ppm 處理區에서는 變化가 없었으나 3,000 ppm, 5,000 ppm 處理區에서는 萎凋現象이 나타나 生育상태가 부진했다. Pb 1,000 處理區에서는 10月17日까지 개화가 계속되었다. Kim(1982)은 Cd 1,000 處理區에서 菜松花의 着花數를 2個月間 調査한 결과 323個였고 Pb 處理區에서는 338個였다고 했다. Pb 3,000 處理區와 Pb 5,000 處理區는 10月9日 以後에 萎凋現象이 나타나 10月17日에는 枯死現象이 나타나기 시작했다.

**Table 3.** Mean values of stem length of plants treated by Pb. (cm /plant)

Plant species	Pb treatment (ppm)	Dates			
		Oct. 2	Oct. 7	Oct. 13	Oct. 17
<i>Salvia splendens</i> Ker.	Control	17.3	18	18.4	18.8
	1,000	15.5	14.5	14.3	14.1
	3,000	14.5	13.9	13.5	13.2
	5,000	12.5	11.3	W, N**	W, N
<i>Celosia cristata</i> L.	Control	25.4	25.7	26.2	26.2
	1,000	20.1	18.9	W.	W.
	3,000	18.1	17.3	W, C*	W, C
	5,000	15.6	15.4	W, C	W, C
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Control	10.4	10.8	—	10.8
	1,000	10.4	9.7	—	9.9
	3,000	9.1	9.1	—	W.
	5,000	9.5	9	—	W.
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Control	16.8	17.7	—	18.1
	1,000	15.8	15	—	14.2
	3,000	15.5	13.8	—	12.9
	5,000	14.1	13.3	—	W.

W, C\* : Wilting and Chlorosis, W, N\*\* : Wilting and Necrosis

**Table 4.** Mean values of number of leaves of plants treated by Pb. (per plant)

Plant species	Pb treatment (ppm)	Dates			
		Oct. 2	Oct. 7	Oct. 13	Oct. 17
<i>Salvia splendens</i> Ker.	Control	35	38	38	38
	1,000	24	22	22	21
	3,000	20	19	19	18
	5,000	17	12	W, N*	W, N
<i>Celosia cristata</i> L.	Control	15	15	15	15
	1,000	17	16	16	15
	3,000	8	6	6	5
	5,000	9	6	W, C**	W, C
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Control	17	18	—	16
	1,000	17	16	—	14
	3,000	16	12	—	W.
	5,000	18	13	—	W.
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Control	30	27	—	25
	1,000	26	20	—	17
	3,000	27	21	—	18
	5,000	26	18	—	W.

W, N\* : Wilting and Necrosis, W, C\*\* : Wilting and Chlorosis

다.

Cd나 Pb處理에서 1,000 ppm까지는 生育하는 동안 개화가 지속되나 3,000 ppm 以上 處理區에서는 植物體의 全體的인 生理的 障害를 받아 개화에 影響을 주는 것으로 판단된다.

### 葉綠素 含量

사르비아, 맨드라미, 菜松花, 돌나물의 Pb處理別 葉綠素 含量의 測定時期別 平均値는 Table 6에서와 같다.

**Table 5.** Number of flowers of *Portulaca grandiflora* treated by Cd and Pb. (per plant)

Heavy metal treatment	Concentration (ppm)	Dates		
		Oct. 2	Oct. 9	Oct. 17
Cd	Control	5.	6.	6.
	1,000	2.	2.	2.
	3,000	1.	W.*	W.
	5,000	1.	W.	W.
Pb	1,000	5.	5.	6.
	3,000	4.	4.	W.
	5,000	3.	3.	W.

W\* : Wilting.

**Table 6.** Mean values of the total chlorophyll content of 4 plant species treated by Pb. (mg / g)

Plant species	Pb treatment (ppm)	Dates				
		Oct. 2	Oct. 9	Oct. 14	Oct. 17	Oct. 22
<i>Salvia splendens</i> Ker.	Control	0.59	0.52	0.46	0.46	0.43
	1,000	0.38	0.33	0.27	0.20	N*
	3,000	0.43	0.35	0.22	0.18	N
	5,000	0.35	0.27	0.17	0.15	N
<i>Celosia cristata</i> L.	Control	0.37	0.36	0.33	0.31	0.24
	1,000	0.36	0.27	0.21	0.17	N
	3,000	0.29	0.22	0.19	0.14	N
	5,000	0.38	0.21	0.14	0.06	N
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Control	0.31	0.29	0.25	0.23	0.21
	1,000	0.25	0.17	0.16	0.14	N
	3,000	0.23	0.19	0.10	0.09	N
	5,000	0.20	0.16	0.07	0.06	N
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Control	0.30	0.35	0.32	0.30	0.33
	1,000	0.43	0.38	0.25	0.24	0.19
	3,000	0.46	0.32	0.32	0.23	0.14
	5,000	0.41	0.25	0.21	0.16	N

N\* : Necrosis

對照區의 葉綠素含量을 植物別로 比較해 보면 사르비아, 맨드라미, 돌나물, 菜松花의 順이었  
고 野生植物인 돌나물은 10月2日 보다 10月22日에 다소 含量이 늘어났으나 나머지 3種의 植物은  
減少 추세를 나타냈다.

Pb處理區에서의 含量은 對照區에 비해서 10月9日 以後 減少 傾向을 나타냈다. 사르비아 5,  
000 ppm 處理區에서 處理前인 10月2日에 0.35 mg /g에서 10月14日에는 0.17 mg /g, 10月17日에  
는 0.15 mg /g으로 급격히 낮아졌다. 맨드라미에 있어서도 10月2日 0.38 mg /g으로 높은 含量이  
있으나 10月14日 0.14 mg /g, 10月17日에는 0.06 mg /g으로 같은 傾向을 나타내고 있다. 이와 같  
은 5,000 ppm 處理區에서 葉綠素의 含量 減少現象은 菜松花, 돌나물에서도 같았다. 이에 대한  
직접적인 原因은 萎凋現象으로 사료되며 특히 黃化現象은 잎의 葉綠素의 급격한 減少를 초래하  
는 것으로 판단된다.

Pb의 處理濃度가 높아질수록 葉綠素의 含量이 더욱 감소되는 結果를 나타내는데 근본 原因은  
土壤中에 處理된 Pb가 이온화되어 뿌리에 吸收되거나 吸着되어 植物 體內에 生理的인 障礙를  
일으키는 것으로 판단되며 그 被害程度는 1,000 ppm 處理보다는 3,000 ppm 處理에서 심하며 5,  
000 ppm 處理區에서는 극심했다. Cd 處理區에서의 이와 같은 生理的 障礙現象이 Cd處理 後 즉  
시 나타났으며 Pb의 影響보다 훨씬 더 빠르고 치명적이어서 有害度가 높았다.

### 氣孔의 分布와 構造形態

種子植物의 氣孔은 대부분 잎에 있으며 草本의 줄기나 子葉, 被子植物의 꽃, 열매에 분포하는  
경우도 있다. 氣孔이 葉表面에만 있는 것(epistomatous), 裏面에만 있는 것(hypostomatous),  
兩面에 있는 것(amphistomatous)등의 세 類型이 있고 흔히 裏面에만 있거나 表面에서 보다 裏  
面に 더 많은 氣孔이 있다(Meidner & Mansfield, 1968). 氣孔의 크기와 密度에 관하여 研究가  
많다(金, 1986; Cohen 등, 1982; 金과 李, 1972). 氣孔과 蒸散作用 및 植物體內 水分代謝에 관하  
여는 토마토에서(Tal, 1966), 애기똥풀 외 3種의 植物에서(Rentschler, 1974) 각각 氣孔의 密  
度, 크기 및 표피의 왁스층의 두께에 따라 蒸散作用에 차이가 있음을 밝혔다. Winner와  
Mooney(1980)는 SO<sub>2</sub>에 의한 葉被害와 氣孔 特性을 연관하여 研究하였다. CAM植物의 特性을  
지닌 용설란에서 氣孔抵抗과 잎의 溫度와의 관계, 용설란이 밤에 氣孔을 연다는 사실을 밝혔다  
(Nobel, 1976). 張 등(1981)은 氣孔開閉와 孔邊細胞內의 K<sup>+</sup>와 Na<sup>+</sup> 濃度의 影響에 관하여 밝힌  
바 있다.

實驗植物들의 氣孔調査를 重金屬處理 後에 5회에 걸쳐 시행했다. 構造와 形態, 크기는 Photo  
1에서 보는 바와 같다. 分布는 1mm<sup>2</sup>로 換算해서 평균치를 구했다. 사르비아는 213개, 맨드라미  
는 105개, 菜松花는 23개, 돌나물은 44개로서 氣孔密度는 사르비아가 가장 높았고 菜松花가 가  
장 낮은 것으로 나타났다. 氣孔과 인접세포의 形態는 사르비아와 맨드라미에서는 副細胞가 없는  
불규칙형(anomocytic type)이고 菜松花는 평행형(paracytic type)이며 돌나물은 불균등형  
(anisocytic type)이었다. Cd, Pb處理濃度가 높을수록 폐쇄현상이 심하게 나타났으며 菜松花,  
돌나물의 氣孔은 影響이 적은 편이었다. Pb 處理 後 5日이 지난 10月8日 調査에서 폐쇄현상이  
나타났다.

### 植物體 및 土壤內 cadmium과 lead의 含量

實驗植物에 Cd, Pb處理 後 植物 部位別 Cd, Pb의 含量은 Table 7에서와 같다. 사르비아 Cd,  
Pb 1,000 ppm 處理區에서 줄기, 뿌리, 잎, 꽃 順으로 含量이 적었다. Cd 3,000 ppm區 줄기에서

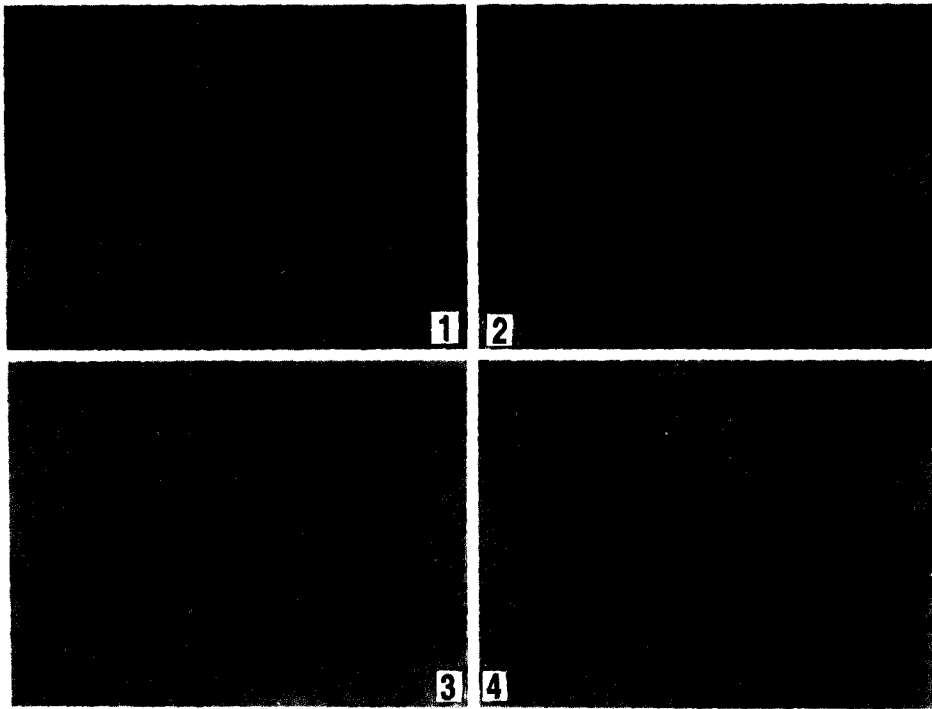


102.53  $\mu\text{g/g}$ , 잎에서 85.48  $\mu\text{g/g}$ 으로 Cd 5,000ppm區의 줄기 잎에서의 흡수량보다 많았다. 그러나 뿌리에서는 46.12  $\mu\text{g/g}$ , 꽃에서 34.26  $\mu\text{g/g}$ 로서 Cd 1,000, 3,000ppm에서의 함량보다 월등히 높았다. Pb 處理區에서는 濃도가 높을수록 部位別 含量이 높았다. 맨드라미 Cd 1,000ppm, Cd 3,000ppm區에서 줄기에서의 흡수량이 다른 部位보다 높았고 Cd 5,000ppm區에서는 꽃에서의 함량이 가장 높았다. Pb 1,000ppm區에서는 잎에서 Pb 含量이 가장 높았으며 Pb 3,000區에서는 뿌리, Pb 5,000ppm에서는 줄기에서 흡수량이 가장 높았다. 菜松花 Cd 1,000ppm區에서는 잎에서 가장 많이 검출되었고 줄기에서 제일 적었다. Cd 3,000ppm, Cd 5,000ppm에서는 잎과 줄기에서 많이 검출되었다.

**Table 7.** Mean values of Cd and Pb uptake of each plant in soil treated with Cd and Pb. ( $\mu\text{g/g}$ )

Plant species	Treatment	Plant parts			
		Root	Stem	Leaf	Flower
<i>Salvia splendens</i> Ker.	Control	T*	T	T	T
	Cd 1,000	5.79	15.60	1.44	0.85
	Cd 3,000	17.88	102.53	85.48	16.97
	Cd 5,000	46.12	93.78	73.22	34.26
	Pb 1,000	2.27	7.61	0.56	0.12
	Pb 3,000	10.47	27.75	5.74	0.87
	Pb 5,000	78.54	48.43	29.13	2.84
<i>Celosia cristata</i> L.	Control	T	T	T	T
	Cd 1,000	20.06	44.58	13.22	10.08
	Cd 3,000	51.71	68.53	37.74	11.48
	Cd 5,000	128.48	71.42	61.80	180.13
	Pb 1,000	3.64	1.92	4.18	0.24
	Pb 3,000	69.11	50.97	16.30	5.71
	Pb 5,000	96.82	104.40	46.41	2.28
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Control	T	T	T	T
	Cd 1,000	15.42	6.40	38.82	7.06
	Cd 3,000	20.68	46.45	87.63	27.88
	Cd 5,000	27.58	72.37	96.68	70.07
	Pb 1,000	4.59	4.14	12.43	23.26
	Pb 3,000	15.61	22.45	55.52	15.07
	Pb 5,000	65.96	42.67	58.37	26.54
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Control	T	T	T	-
	Cd 1,000	31.16	43.33	41.45	-
	Cd 3,000	54.76	100.62	62.81	-
	Cd 5,000	87.52	110.97	79.51	-
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Pb 1,000	4.74	4.50	12.28	-
	Pb 3,000	58.57	22.28	57.60	-
	Pb 5,000	53.71	84.47	93.53	-

T\* : Trace



**Photo 1.** Stomata of four species studied.

① *Salvia splendens* ( $\times 400$ )

② *Celosia cristata*

③ *Portulaca grandiflora*

④ *Sedum sarmentosum*

Pb 1,000ppm區에서는 꽃에서  $23.26 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았고 줄기에서  $4.14 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았다. Pb 3,000區와 Pb 5,000ppm區에서는 잎에서 각각  $55.52 \mu\text{g/g}$ ,  $58.37 \mu\text{g/g}$ 으로 함량이 가장 높았다. Nicklow 등(1983)은 Pb를 5~600ppm處理한 土壤에서 무우, 상치, 당근을 栽培後 植物體를 分析한 結果 濃度가 높을수록 잎과 뿌리에서 Pb함량이 높다고 했다.

이 등(1983)은 非汚染地域에서 自生하는 植物들을 採取하여 Cd함량을 分析한 結果 긴잎곰취, 구릿대는 흔적만 나타났고 원추리가 1.08ppm, 떡쑥이 0.99ppm, 쑥 0.53ppm으로 매우 높은 함량을 나타내는 植物이었다고 했으며 Pb함량이 높은 植物로는 원추리(2.9ppm)였고 植物中 Pb平均함량은 1.07ppm이라고 했다. 잎과 줄기에서의 Cd함량이 흔적으로 나타나는 것은 머위, 곰취였고 벼룩나물은 2.19ppm, 고비 0.61ppm으로 함량이 높은 편이었다. Pb함량이 흔적으로 나타나는 植物은 망초, 벼룩나물이었다고, 수리취는 3.36ppm, 민들레 2.32ppm으로 높은 편이었다.

잎, 줄기 및 뿌리까지 可食하는 나물類中의 Cd함량이 낮은 것은 도라지, 쑥부장이었고 씀바귀는 1.61ppm, 보리쟁이 0.61ppm이었다고 했으며 Pb함량이 낮은 植物은 도라지와 논냉이 등이었고 높은 것은 잔대 3.19ppm, 보리쟁이 1.53ppm이었다고 했다. 평균 Pb함량은 0.93ppm임을 밝힌바 있다.朴 등(1983)은 광산지대에서 고삼, 싸리, 죽제비싸리, 은백양, 조팝나무잎에 Pb가 75ppm 축적되어 있다고 했다. 돌나무는 Cd處理區에서 모두 줄기에서의 Cd함량이 가장 높

왔고 Cd 1,000 ppm區에서의 各 部位別 含量이 다른 植物에 비해 높았다. Pb 1,000 ppm區와 Pb 5,000 ppm區에서는 잎에서의 含量이 제일 높았고 Pb 3,000 ppm區에서만은 뿌리에서의 含量이 제일 높았지만 잎의 含量과 큰 차이는 없었다. 채송화와 돌나물은 사르비아와 맨드라미에 비해서 잎과 꽃에 Cd와 Pb의 含量이 높은 것으로 나타났다. 菜松花는 生理的 特性으로 보아 體內的 Cd나 Pb가 잎과 꽃이 지면서 外部로 제거되는 것으로 판단되며 돌나물도 많은 量의 Cd나 Pb를 吸收하면서 다른 植物보다 抵抗性이 강하여 이같은 多肉植物이 重金屬汚染地域에 적합한 植物로 판단된다.

Cd와 Pb를 處理하여 사르비아, 맨드라미, 菜松花, 돌나물을 收穫한 뒤 土壤中の Cd 및 Pb의 含量을 보면 Table 8과 같다. 사르비아 Cd 5,000 ppm區에서  $5.98 \mu\text{g/g}$ 으로 土壤內 Cd含量이 가장 높았으며 사르비아 Pb 5,000 ppm區에서  $5.04 \mu\text{g/g}$ 으로 土壤內 Pb含量이 가장 높았다. 菜松花와 돌나물 栽培土壤中の Cd, Pb 殘存量이 사르비아, 맨드라미의 栽培土壤中の 것보다 적은 傾向을 나타내는 것은 多肉植物인 菜松花와 돌나물이 Cd, Pb를 뿌리와 줄기를 통하여 잎, 꽃, 씨앗으로 轉移시켜 外部로 방출하는 結果로 推定된다. Cd의 殘存量이 Pb에 比하여 少量인 것은 Kim(1982)의 研究結果와 일치한다. 高濃度處理區에서 Cd, Pb의 含量이 증가하는 추세를 나타냈다.

**Table 8.** Mean values of Cd and Pb contents in soil treated with Cd and Pb after plant cultivation

Treatment	Heavy metals							
	<i>S. splendens</i>		<i>C. cristata</i>		<i>P. grandiflora</i>		<i>S. saramentosum</i>	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
Control	T*	0.08	T	0.08	T	0.06	T	0.08
Cd 1,000	0.67	—	0.91	—	0.74	—	1.05	—
Cd 3,000	2.54	—	2.93	—	1.98	—	1.34	—
Cd 5,000	5.98	—	4.37	—	3.78	—	2.87	—
Pb 1,000	—	1.14	—	1.29	—	1.39	—	0.55
Pb 3,000	—	3.18	—	3.79	—	2.59	—	0.74
Pb 5,000	—	5.04	—	4.97	—	4.44	—	3.86

T\* : Trace

### 生産量에 미치는 影響

園藝植物인 사르비아, 맨드라미, 菜松花와 野草草木植物인 돌나물의 栽培土壤에 Cd, Pb를 施用한 結果 植物體에 나타나는 影響은 Table 9, Fig. 1과 Fig. 2에서와 같다.

Cd의 濃도가 높을수록 植物體의 地上部, 地下部 및 全體 植物의 生産量은 減少되는 傾向을 나타냈다. Page *et al.* (1972)은 植物들을 栽培하여 生長反應과 植物體內 Cd含量을 調査한 結果 植物種에 따라 一定하지는 않으나 生長이 약 50% 減少되었다고 했다. 이와 같은 現象은 本 實驗結果에서도 같은 傾向을 나타냈고 특히 1,000 ppm處理區에서 급격한 減少現象이 나타났으나 이는 高濃度の Cd處理에 따른 生育阻害로 판단된다. 사르비아를 제외한 맨드라미, 菜松花 및 돌나물은 3,000 ppm, 5,000 ppm 處理區에서 1,000 ppm處理區와 큰 차이가 없었으며 3,000 ppm區에서는 1,000 ppm區보다 약간 증가하는 傾向을 나타냈다. 地上部가 生産量이 높았으며 地下部の 生産량이 對照區의 것에 比하여 매우 낮아 T/R值에서 對照區보다 훨씬 높았다.

Pb의 處理濃度가 높을수록 生産量이 減少되는 現象은 Cd處理區에서도 같았다. Pb 1,000 ppm 區에서 맨드라미와 사르비아의 生産量이 Cd處理區에서와 같이 급격히 낮아졌고 돌나물, 菜松花는 高濃度處理에서도 완만한 減少現象이 나타났다. 地上部의 生産量이 地下部보다 높았으며 地下部에서의 Pb處理에 의한 生産量 減少現象이 地上部보다 더 현저하게 나타났다. T/R値는 對照區에 比하여 增加하는 傾向을 나타냈다. 사르비아, 맨드라미, 菜松花, 돌나물의 Cd處理區의 T/R値가 Pb處理區에서 보다 높은 結果로 보아 Cd의 植物뿌리에 미치는 影響이 Pb보다 큰 것으로 판단되며 Cd의 毒性이 Pb보다 더 큰 것으로 사료된다.

Cd, Pb에 대한 抵抗性은 돌나물이 가장 큰 것으로 판단되며 菜松花, 사르비아, 맨드라미 順으로 抵抗性이 크며 生育反應에서도 같은 傾向을 나타냈다.

**Table 9.** The effect Cd and Pb concentration on biomass of each plant. (g in dry matter /plant)

Plant species	Treatment (ppm)	Top	Root	Plant	T / R
<i>Salvia splendens</i> Ker.	Control	2.59	1.86	4.45	1.39
	Cd 1,000	0.87	0.48	1.35	1.81
	Cd 3,000	0.89	0.14	1.03	6.36
	Cd 5,000	0.63	0.19	0.82	3.31
	Pb 1,000	1.67	1.09	2.76	1.53
	Pb 3,000	1.98	0.76	2.74	2.61
	Pb 5,000	1.40	0.41	1.81	3.41
<i>Celosia cristata</i> L.	Control	4.18	0.39	4.57	10.71
	Cd 1,000	0.44	0.01	0.45	44.0
	Cd 3,000	0.47	0.01	0.48	47.0
	Cd 5,000	0.40	0.02	0.42	20.0
	Pb 1,000	1.59	0.14	1.73	11.36
	Pb 3,000	0.98	0.10	1.08	9.8
	Pb 5,000	0.85	0.07	0.92	12.14
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Control	0.67	0.05	0.72	13.4
	Cd 1,000	0.28	0.02	0.30	14.0
	Cd 3,000	0.31	0.01	0.32	31.0
	Cd 5,000	0.29	0.03	0.32	9.67
	Pb 1,000	0.59	0.07	0.66	8.43
	Pb 3,000	0.44	0.05	0.49	8.8
	Pb 5,000	0.47	0.05	0.52	9.4
<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge	Control	0.96	0.29	1.25	3.31
	Cd 1,000	0.64	0.02	0.66	32.0
	Cd 3,000	0.91	0.07	0.98	13.0
	Cd 5,000	0.66	0.08	0.74	8.25
	Pb 1,000	0.87	0.25	1.12	3.48
	Pb 3,000	0.79	0.20	0.99	3.95
	Pb 5,000	0.71	0.19	0.90	3.74

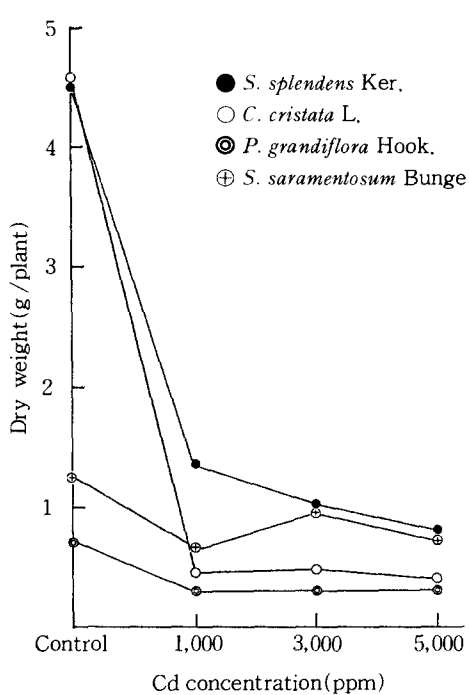


Fig. 1. The effect of Cd concentration on dry weight of each plant.

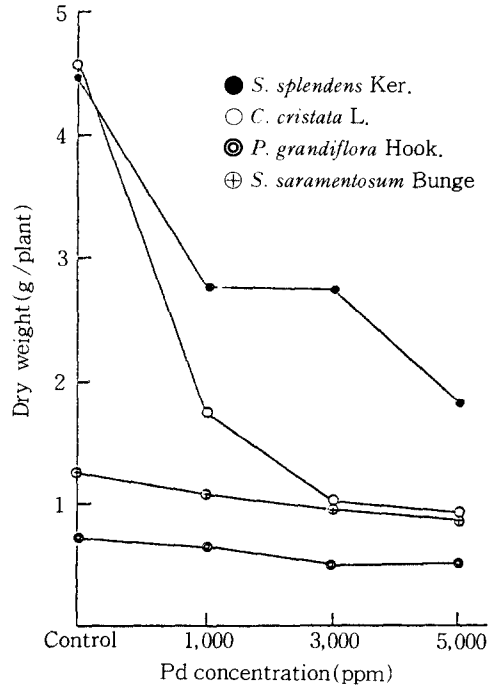


Fig. 2. The effect of Pb concentration on dry weight of each plant.

## 摘要

本 研究은 園藝植物 사르비아(*Salvia splendens* Ker.), 맨드라미(*Celosia cristata* L.), 菜松花(*Portulaca grandiflora* Hook.)와 野生植物 돌나물(*Sedum sarmentosum* Bunge)에 미치는 重金屬 cadmium(Cd)과 lead(Pb)의 土壤處理에 의한 生育反應, 生産量 및 沮害現象, Cd, Pb 吸收能을 測定 調査하여 重金屬 汚染에 對한 植物의 抵抗性을 考察하였다.

사르비아는 Cd處理後 제일 먼저 葉綠에 萎凋現象이 나타났으며 枯死現象을 수반하였다. 黃白化現象은 菜松花와 사르비아의 잎과 줄기에서 나타났다. 枯死現象은 사르비아에서 예민하게 나타났으며 菜松花, 맨드라미, 돌나물 順으로 나타났다. Cd處理를 하여 23日 後에는 모두 枯死되었다. Pb處理 後 사르비아는 일부 落葉現象과 萎凋現象이 나타났고 맨드라미에서는 萎凋現象과 黃化現象이 나타났다. 23日 後에는 모두 萎凋枯死하였다. 菜松花, 돌나물은 초기에는 맨드라미와 비슷한 경향을 나타냈다. 菜松花 5,000 ppm處理區를 제외하고 일부 생존하였다. Pb處理에 의한 反應은 20日 後 맨드라미, 사르비아, 菜松花, 돌나물 順이었다. 植物의 生育反應은 Pb處理區보다 Cd處理區에서 민감하여 조기에 枯死現象을 유발하였다. 生育限界濃度는 Cd處理區에서는 各植物들이 1,000 ppm 以下인 것으로 나타났고 Pb處理區에서는 사르비아, 맨드라미는 1,000 ppm 以下이며, 菜松花, 돌나물은 3,000 ppm인 것으로 판단된다. Cd에 대한 抵抗性은 돌나물, 맨드라미, 菜松花, 사르비아 順이었고 Pb에서는 돌나물, 菜松花, 사르비아, 맨드라미 順으로 나타났다. 돌

나물이 菜松花보다 抵抗性이 強했다.

사르비아, 맨드라미는 Pb處理區에서 줄기의 生長이 萎凋로 인하여 억제되었고 돌나물에서는 減少추세를 나타냈으나 生育이 지속되었다.

사르비아는 맨드라미 Pb處理區에서 보다 菜松花, 돌나물 處理區에서 葉數의 減少추세가 더 顯저했다. 菜松花에서 着花는 Pb 1,000ppm處理區에서만 開花가 지속되었다. 葉綠素 含量은 사르비아가 가장 많았고 맨드라미, 돌나물, 菜松花 順이었다. Pb處理 後에는 모든 植物에서 減少 傾向을 나타냈으며 處理濃度가 높을수록 더욱 減少되었다. 氣孔密度는 사르비아가 가장 높았고 맨드라미, 돌나물, 菜松花 順이었다. Cd, Pb處理濃度가 높을수록 閉鎖現象이 심하게 나타났으며 菜松花, 돌나물의 氣孔은 影響이 적은 편이었다. Pb, Cd의 處理濃度가 높을수록 모든 植物이 部位別 含量이 증가하는 傾向을 보였다. 사르비아 Cd, Pb 1,000ppm 處理區에서 줄기의 含量이 제일 높았고 뿌리, 잎, 꽃 順이었다. 맨드라미 1,000ppm, 3,000ppm區에서 줄기에서의 含量이 제일 높았고 Cd 5,000區는 꽃에서의 含量이 가장 높았다. 채송화와 돌나물은 잎과 꽃에서 Cd, Pb의 含量이 높은 것으로 나타났다. 돌나물은 많은 量의 Pb, Cd를 吸收하면서 抵抗性이 강하여 重金屬 汚染地域에 적합한 植物로 판단된다.

菜松花와 돌나물의 生産量은 Cd 1,000ppm區에서 다소 減少되었으며 Pb處理區에서는 濃度가 높아질수록 점차 減少現象을 보였다. 맨드라미, 사르비아는 1,000ppm處理區에서 급격히 減少現象을 나타냈으며 Cd處理에서 더 심했다. 돌나물 菜松花는 Cd, Pb에 抵抗性이 強하고 맨드라미, 사르비아는 濃度가 높을수록 減少되어 反應에 敏感했다.

## 引用文獻

- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
- Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. Methods of soil analysis, part 2. Agronomy 9, In. A. Black(ed), 1149-1178.
- 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. Bot. 18:23-30.
- Chang, N.K. 1990. Effects of air pollution on precipitation and living organisms in Seoul area. 2. Estimation of relative air pollution by the contents of S, Pb and Cd in the stem cortex of *Salix pseudo-lasiogyne*. Korean J. Ecol. 13(2):143-148.
- Chang, N.K., C.D. Jin. 1982. Characteristics of CAM and seasonal demorphism in the succulent C. Dicot, *Portulaca grandiflora* Hook. Korea J. Ecology 5(2-3):89-99.
- Chang, N.K., C.H. Pae and S.C. Kim. 1990. Effects of air pollution on precipitation and living organisms in Seoul area. 4. Variation of the Pb and Cd contents in the barks of *Pinus densiflora*. Korean J. Ecol. 13(3):173-180.
- Chang, N.K. and C.S. Mok. 1977. Physiological studies of the vegetation on ore deposits. I. Znic flora and indicator plants on the 2nd Yunwha Mine. Korean J. Bot., 20:45-72.
- 張楠基·鄭求興·吳熙穆. 1981. 용설란(*Agave deserti* Engelm)에 있어서 氣孔 開閉와 孔邊細胞

- 丙 K<sup>+</sup>와 Na<sup>+</sup> 濃度變化와의 關係. 서울大學校 科學教育研究論叢 6(2):145-152.
- Chang, N.K. and K.H. Lee. 1990. Effects of air pollution on precipitation and living organisms in Seoul area. 3. Contents of S, Pb and Cd in litters of *Ginko biloba*. Korean J. Ecol. 13(3):165-172.
- Chung, W.H. and H.P. Lee. 1987. Content differences of Pb and Cd by trophic levels of the ecosystem near highways with different traffic volumes. Korean, J. Ecology 10(1):7-16
- Cohen, C.J., D.O. Chilcote and R.V. Frakes. 1982. Leaf anatomy and stomatal characteristics of four tall fescue selection differing in forage yield. Crop Sci. 22:704-728.
- Haar, G.T. 1970. Air as a source of lead in edible crop. Environ. Sci. and Tech. 4:226-229.
- Jastrow, J.D. and D.E. Koeppe. 1980. Uptake and effects of cadmium in higher plants. Cadmium in the environment (Part 1) 607-638.
- 辰己修三. 1973. 重金屬と樹木, 公害對策, 9:1-12.
- Kim, B.W. 1982. Studies on the effect of heavy metal on the growth of various. Plants. 1. The Effect of cadmium and lead. Korean. J. Ecology 5(4):176-186.
- Kim, B.W. 1984. Studies on the resistivity of various plant species to the effect of heavy metals. Research reports, Sang Ji College. 5:174-184.
- Kim, B.W. 1987. Studies on the effect of Lead and Cadmium to the Environment. Research reports, Sang-Ji College. 8:285-301.
- 金奎植·趙在規·金福鎮·李孝承. 1980. 통양중 중금속의 생물학적 제거방법시험, 농업기술연구소, 시험연구보고서 22:37-50.
- Kim, G.T. and D.K. Lee. 1993. A Techinque for selecting superior *Populus alba* × *Populus glandulosa* F1 clones with some physilosomal characters. J. of Korean Forestry Soc. 59:15-30.
- 金鼎錫·李錫求. 1972. 自然 4培體 아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.)의 形態學的 및 細胞學의 特性. 林木育種研報 10:75-65.
- 金守仁. 1986. 韓國產 싸리屬의 系統分類學的 研究. 서울大 博士學位論文. 79pp.
- Lagerwerff, J.V. 1971. Uptake of cadmium, lead and zine by radish from soil air. Soil Science 111:129-133.
- Lagerwerff, J.V., and A.W. Specht. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, and zinc. Environ. Sci. and Tech. 4:583-586.
- 이민효·조재규·김선관·김복영·박천서. 1983. 야생나물중 Cd, Cu, Pb, Zn의 천연부존량에 관한 조사연구, 농사시험연구보고. 25, 69-74.
- Maclelan, A.J., R.L. Halstead, and B.J. Flinn. 1969. Extract ability of add lead in soils and its concentration in plants. Can. J. Soil Sci. 49:327-334.
- Meidner, H. and T.A. Mansfield. 1986. Physiology of stomata. McGraw-Hill, N.Y. 179pp.
- Nicklow, C.W., P.H. Comas-Haezbrouck and W.A. Feder. 1983. Influence of varying soil lead levels on lead uptake of leafy and root vegetabes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108 (2):193-195.

- Nobel, P.S. 1976. Water relations and photosynthesis of a desert CAM plant, *Agave deserti*. *Plant Physiol.* 58:576-582.
- 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* 1:288-291.
- Page, A.L. and T.J. Ganje. 1970. Accumulation of lead in soils for regions of high and low motor vehicle traffic density. *Environ. Sci. and Tech.* 4:140-142.
- 朴奉奎·金玉鏡. 1983. 植物體에 미치는 鉛·亞鉛(Pb, Zn)의 影響, 韓國生態學會誌 6(2):98-105.
- 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.* 101:553-556.
- Rentschler, I. 1974. Electron-microscopial investigation on wax-covered stomata. *Planta.* 117:153-161.
- Rolfe, G.L. 1973. Lead uptake by selected tree seeding. *J. Environ Quality* 2:153-157.
- Sung, M.W. and Y.H. Jeong 1977. Effect of various anion on absorption and toxicity of lead in plants. *Korean J. Bot.* 20:7-14.
- Tal, M. 1966. Abnormal stomatal behaviour in wilted mutants of tomato. *Plant Physiol.* 41:1387-1391.
- Winner, W.E. and H.A. Mooney. 1980. Responses of Hawaiian plants to volcanic sulfur dioxide : Stomatal behaviour and foliar injury. *Science* 210:789-791.
- The Association of American Chemistry, 1970, 411p.

(1992年 11月 28日 接受)