

植物體에 미치는 鉛·亞鉛(Pb·Zn)의 影響

朴 奉 奎·金 玉 鏡

(梨花女子大學校 自然科學大學 生物學科)

Ecological Effects of Zinc and Lead on Plants

Park, Bong Kyu and Ok-Kyung Kim

(Dept. of Biology, Ewha Womans University)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of Zn and Pb concentration on seed germination and plant growth in water and soil culture, and the frequency of chlorosis in vegetation and the relationship between plants and soil in the Sambo mine.

The inhibitions of germination were observed in 1000ppm of Zn, 10ppm of Pb and 5000ppm of Zn+Pb, but germination was more stimulated in 10ppm of Zn than control. The symptoms of chlorosis and abnormality were occurred in plant leaves grown in the soils treated with more than 1000ppm of Pb. Reasons of chlorosis were considered as an antagonistic effect of other metals towards uptake of iron by the plant in Zn treatment.

The contents of Zn and Pb in fruits were lower than those of leaves, and that was remarked in case of Pb. With increasing rate of Zn and Pb treatment, chemical components of soils in pot culture were accompanied by slight decrease in pH, total nitrogen and exchangeable K.

Chlorotic individuals of 10 species were shown in the areas of the Sambo mine. Chlorotic symptoms were especially extensive and severe in *Sophora angustifolia*, *Populus alba*, *Spiraea prunifolia*, *Amorpha fruticota*, *Lespedeza bicolor* and *Salix dependens*. Plants in the investigated areas grew in soils containing Zn of 311ppm and Pb of 151ppm on an average, and accumulated Zn of 2084ppm and Pb of 49ppm.

서 론

광산지대에 있는 임야나 농경지들은 광산 폐기물의 유입으로 널리 오염되고 있다. 최근에는 중금속으로 인한 토양·수질오염으로 인해 농작물 및 해산물 등에 농축되며, 나아가서는 인간생존에도 위협을 준다는 사실이 밝혀졌다. Schroeder(1966)는 음식을 통하여 Cd이 체내에 흡수되면 심장병을 일으킨다고 했으며, Chisolm(1971)은 Pb이 뇌종양의 유발 또는 적혈구의

수명을 단축시킨다고 보고하였다. 식물체에 있어서는 토양 중의 중금속 이온이 다량으로 존재하면, 백화현상 및 뿌리의 신장이 위축되며, 독특한 표징색이 나타난다고 보고한 바 있다(Kayano, 1971).

Cu나 Pb, Zn의 양이 많은 토양에서 자라는 식물군집들은 식물생장이 억제되고 특수한 형태를 지니는 사문암지대의 식물상과 유사한 점을 가지고 있다고 한다(Schwickerath, 1931; Robyns, 1932; Baumeiste, 1954; Schwanitz and Hahn, 1954a). 식물체가 중금속에 대해 나타내는 독특한 반응들로 일찌기 1828년 이

후 광물탐사를 위한 지표종으로 사용해 오기도 하였다 (Cannon, 1960). 본 연구는 중금속 중 Zn과 Pb이 식물에 미치는 영향을 조사하기 위하여 1982년 3월부터 7월까지 실험실에서 종자의 발아 및 생장에 미치는 Zn과 Pb농도의 영향을 조사하고, 농도별로 처리한 토양 재배실험에서 식물의 생장과 그 피해증상의 관찰 및 식물체의 축적량을 분석하였다. 그리고 경기도 화성군 삼보광산(연·아연광) 지역의 식물의 생육상태, 식피조사, 식물체 및 토양의 화학성분을 조사하였다.

실험재료 및 방법

발아실험

보리(*Hordeum vulgare* var. *hexastichon* Aschers.) 종자를 재료로 사용하여 50% H₂SO₄에서 외피를 벗겨낸 후, 여과지를 한 장씩 칸 샤프에 brom수로 소독한 종자 20粒씩을 넣고 ZnSO₄·7H₂O와 PbCl₂로 각각 0, 1, 10, 100, 1,000, 5,000, 및 10,000ppm의 Zn과 Pb용액을 만들어 20ml씩 또는 각각 10ml(Zn+Pb)를 함께 공급하여 26°C에서 발아시켜 발아율을 조사하고, 발아 후 5일간 성장시켜 식물체의 신장을 측정하였다.

재배실험

붉은 강남콩(*Phaseolus multiflorus* Willd.) 종자를 부엽토로 채운 화분에 15개씩 심어 2주간 성장시킨 후 0, 500, 1,000, 5,000, 10,000ppm 농도의 Zn과 Pb용액 500ml씩을 15일 간격으로 각 화분에 공급하고 각 용액의 농도에 따른 식물체의 생육상태를 관찰하였다. 관찰 후 각 화분 별로 식물체의 잎과 열매, 토양을 채취하여 그 무기화학 성분을 조사하였다. 채취된 식물체는 증류수로 잘 세척하여 70°C oven에서 건조시켜 550°C furnace에서 회분으로 만든 후, HCl로 용해시켰다. K, Ca, Na, Zn과 Pb은 각각 spectrophotometer, flamephotometer, atomic absorption spectrophotometer로 분석하였고, total-N은 micro-Kjeldahl법으로 정량하였다.

야외조사

a. 조사지 개요 : 조사지는 경기도 화성군 봉담면의 삼보광산으로서 지질은 편마암이며 원광의 품위는 Zn 6.83%, Pb 2.94%, BaSO₄ 21.72%로서 월생산량은 Zn 600t, Pb 150~200t에 이른다. 식생은 채광장이 위치한 지역에서는 떡갈나무(*Quercus dentata* Thunb.)와 김의 털(*Festuca ovina* L.)이 우점되어 있었고 그 주변의 산은 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)가 우점

종으로 나타났다.

b. 식생 및 토양환경 조사 : 폐석처리장(Site I), 채광지역(Site II), 논과 길가 주변(Site III), 폐석처리장 우편의 소나무가 우점되어 있는 산(Site IV)을 중심으로 식생 list를 작성하고 백화현상이 일어난 종을 표시하였다. 식물체는 종 별로 백화현상이 일어난 잎과 정상잎을 구분채취하였고, 토양은 1×1m quadrat 별로 총 42개 시료를 채취하였다. 식물체분석은 上記된 재배실험과 동일하며, 토양시료는 실온에서 일주일 동안 풍건시켜 0.5mm mesh 체로 친 것을 사용하였다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:2.5의 비율로 토양용액을 만들어 측정하였으며, total-N은 micro-Kjeldahl법으로 정량하였다. 유효 P는 Bray Kurtz법으로, K, Ca, Na 및 Zn과 Pb함량은 pH 7.0의 1N ammonium acetate로 추출한 후 flamephotometer와 atomic absorption spectrophotometer로 측정하였다.

결과 및 고찰

발아실험

Zn의 농도에 따른 발아율은 1,000ppm부터 영향이 나타나기 시작하여 10,000ppm에서는 억제현상이 매우 뚜렷하였다(Fig. 1). Zn 10ppm에서는 control에서보다 오히려 발아가 약간 촉진되었다.

Pb용액에서는 1ppm에서 발아율에 약간의 증가를 보이다가 10ppm에서부터 억제되었으며, 고농도로 갈

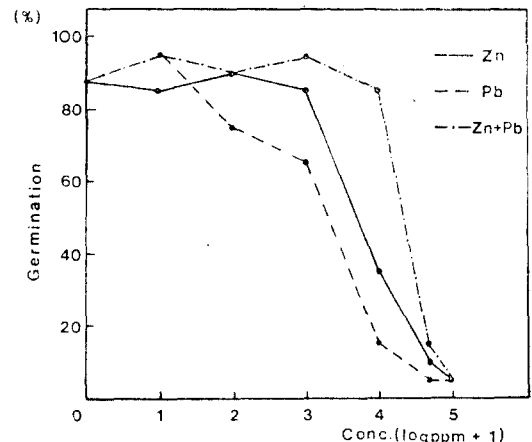


Fig. 1. Germination rate of barely in different concentration of Zn and/or Pb.

Table 1. Inorganic components of bean leaf and fruit grown on soils treated with different Zn concentrations

(ppm) Zn Treatment	Plant part	N (%)	P (ppm)	K (%)	Ca (%)	Na (%)	Zn (ppm)
500	L	4.93	142.98	0.65	2.45	0.32	149.44
	F	5.60	189.82	1.40	0.36	0.27	98.94
1000	L	4.20	197.01	1.08	2.29	0.33	356.04
	F	4.88	170.84	1.41	0.33	0.30	114.26
5000	L	3.25	112.71	0.86	2.05	0.40	1021.46
	F	4.09	156.17	2.16	0.18	0.25	674.16
10000	L	2.58	94.38	0.48	1.32	0.22	1264.54
	F	3.52	122.03	0.91	0.09	0.17	834.60

L: Leaf, F: Fruit

수목 현저하였다. Zn과 Pb을 동시에 준 용액에서는 5,000ppm에서 억제를 나타내기 시작하나, Zn과 Pb용액을 독립적으로 공급하였을 때보다는 더 높은 발아율을 보였다. 이같은 현상은 Pb이온이 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 의 SO_4 이온과 침전반응을 일으켜 흡수되기 어려운 불용태를 형성하기 때문인 것으로 생각된다(Sung, 1976). 이 침전반응은 실험시 저농도에서는 나타나지 않던 침전이 고농도로 갈수록 흰침전이 형성되는 것으로 알 수 있었다. 각 농도에서 발아 후 5일간 성장시켜 싹의 평균신장을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. control을 제

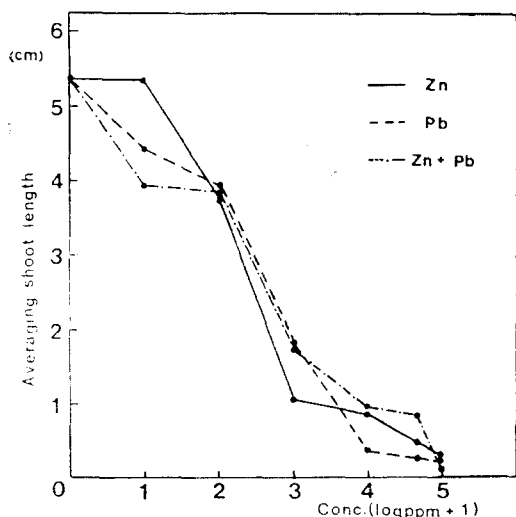


Fig. 2. The growth of barley in different concentration of Zn and/or Pb.

외하고 Zn 1ppm에서 생장이 덜 억제되었고, 농도가 증가 할수록 Pb의 억제효과가 크게 나타났으며, Zn+Pb용액에서는 독립적일 때에 비해 싹의 생장억제가 감소하였다. Zn과 Pb용액 5,000, 10,000ppm에서는 발아는 되었다해도 전혀 길이 생장을 하지 못하였으며, 중자가 갈색으로 변하거나 또는 검게 죽는 것이 관찰되었다. Pb의 고농도에서 발아율의 감소는 Pb이 미토콘드리아 내의 $ADP+P \rightarrow ATP$ 로 되는 반응의 인산과 침전물을 형성하여 ATP 형성이 저해되어 호흡작용이 억제된다(Sung, 1976)는 보고가 이를 뒷받침해 주고 있다고 생각된다. 옥수수에 축적된 Pb의 위치소재를 밝힌 Malone(1974)은 Pb이 원형질 연락계나 dictyosome의 주위에서 관찰된다고 하였는데, 이로써 Pb이 세포내로 흡수되기 전 인산이 다량으로 존재하게 되면 ATP형성저해와 호흡작용의 억제가 부분적으로 감소할 것으로 사료된다.

재배실험

Zn처리에 따른 식물체의 축적을 조사하기 위하여 잎과 열매의 Zn함량 및 무기성분을 조사한 결과는 Table 1과 같다. Zn의 흡수량은 고농도처리일수록 잎과 열매에서 높았으며, 잎의 경우, 열매에서보다 높게 나타났다. 열매는 잎에 비해 32.0~66.4%수준으로 이는 식물생장의 증가로 인한 희석효과(Dilution effect)나, 뿌리에서 줄기끝까지 원소들의 translocation에서의 변화에 기인된다는 보고가 있었으나, Haldar and Mandal(1980)의 실험으로 토양의 availability의 변화에 따른 원소들의 흡수변화에 기인된다는 것이 밝혀졌다. N, P, K함량은 잎보다 열매에서 더 높게 나타났으

Table 2. Inorganic components of bean leaf and fruit grown on soils treated with different Pb concentrations

(ppm) Pb Treatment	Plant part	N (%)	P (ppm)	K (%)	Ca (%)	Na (%)	Pb (ppm)
500	L	5.10	184.02	1.00	2.00	0.21	80.37
	F	5.49	197.56	1.50	0.34	0.16	8.60
1000	L	1.51	121.97	1.10	2.80	0.26	160.70
	F	4.85	185.67	1.42	0.36	0.21	53.03
5000	L	18.20	114.51	1.25	2.50	0.24	795.00
	F	19.10	156.49	1.78	0.44	0.20	226.60
10000	L	14.10	85.01	1.18	2.20	0.29	1470.60
	F	18.80	124.11	7.00	0.77	0.40	367.65

L: Leaf, F: Fruit

며, Ca과 Na는 적었다.

Table 2는 Pb의 각 농도별 처리에 대한 잎과 열매의 무기성분을 분석한 것이다. 열매는 잎의 10.6~32.9% 수준으로, 잎과 열매부분에서 Zn보다 Pb이 덜 흡수됨을 알 수 있었다. 이것은 Zn과 Pb의 동량을 식물에 주었을 때, Zn보다 Pb의 더 적은 양이 흡수된다는 Nobbe, et al. (1931)의 결과와 일치하고 있다.

토양의 심도에 따라 Pb의 99.5%가 0~10cm 표토에 축적되고 나머지 약 0.5%미만이 표토 10~20cm에 존재한다(Sung, 1977)는 보고에 따라 재배실험시 Fb이온의 대부분이 표토에 축적되어 그 흡수량이 Zn보다 적다는 것이 타당성이 있다고 생각된다. 특히 2가 금속이온은 인산 및 탄산이 많은 토양에서 물에 잘 용해

되지 않으므로 깊은 토양층까지 세탈되지 않기 때문에 표토층에 Pb의 함량이 높다(Lagerwerff and Specht, 1970)는 보고와 Pb이 식물체에 흡수되기 어려운 금속(Lisk, 1972)이라는 점 등이 이를 잘 뒷받침해 주고 있다. 각 처리농도가 높아질수록 P와 Pb함량은 적게 나타났는데, 이는 PbCl₂의 농도가 증가할수록 식물체에서 증가된 Pb함량이 P의 감소를 수반한다(MacLean et al., 1969)는 보문과 일치하며, 이것은 식물체의 P 흡수에 있어서 Cl이온의 길항작용이거나, 토양에서 P의 감소된 용해도에 의한 결과라고 생각된다.

종자발아와 재배실험을 비교하여 볼 때, 금속이온에 대한 종 간의 내성이나 민감도에 차이가 있었으나, 수경재배에서는 Zn 1,000ppm에서 억제현상이 있었으나

Table 3. Chemical analysis of soil in the pot culture of beans

Treatment (ppm)	pH	L.O.I. (%)	C (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	
Zn	500	7.25	4.59	2.65	0.80	3.77	295	2700	270
	1000	7.2	3.96	2.30	0.42	8.73	270	3000	290
	5000	6.9	4.50	2.61	0.39	3.06	185	2500	255
	10000	6.3	3.83	2.22	0.31	4.91	200	2100	240
Pb	500	7.45	4.44	2.57	0.53	8.81	280	3600	230
	1000	7.4	3.91	2.27	0.50	1.94	250	3600	240
	5000	7.3	5.05	2.93	0.43	1.64	240	4250	260
	10000	7.2	3.16	1.83	0.43	0.66	215	3600	255
Control	7.45	4.76	2.76	0.55	3.06	170	2700	270	

Table 3. A comparison of the incidence of chlorosis in four investigated sites, +: chlorosis, -: normal

Species	Sites			
	I	II	III	IV
<i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i> Ohwi	+		-	
<i>Sophara angustifolis</i> S. et Z.	+	-	+	+
<i>Cocculus trilobus</i> DC.	+		-	-
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	+	-	+	+
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.			+	-
<i>Salix dependens</i> Nakai	+		+	
<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss	+	-	-	-
<i>Populus alba</i> L.	+		+	
<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliflora</i> Nakai	+		+	+
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	+		+	

Table 4. The comparison of the amount of chlorophyll between the normal and chlorotic leaves of plants in the area of zinc and lead mine

Species		Chlorophyll a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Chlorophyll b ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Chlorophyll a/b	Total chlorophyll
<i>Cocculus trilobus</i> DC.	N	5.35	5.89	0.91	11.24
	C	2.04	3.07	1.66	5.11
<i>Rhus japonicus</i> L.	N	10.27	7.45	1.38	17.71
	C	9.68	6.90	1.40	16.51
<i>Populus alba</i> L.	N	9.83	7.11	1.38	16.93
	C	3.04	3.76	0.81	6.80
<i>Rhamnus davurica</i> Pall.	N	7.56	6.70	1.13	14.26
	C	3.95	4.22	0.94	8.16
<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliflora</i> Nakai	N	14.32	9.06	1.58	23.37
	C	4.53	3.76	1.21	8.28
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq.	N	18.58	13.13	1.42	31.70
	C	4.76	3.66	1.30	8.41
<i>Sophora angustifolia</i> S. et Z.	N	20.67	12.65	1.63	33.31
	C	4.05	2.95	1.37	7.01

N: Normal, C: Chlorosis

토양재배에서는 10,000ppm에서도 발아 및 생장이 되었으며, Pb용액에서는 수경재배시 10ppm에서 발아 및 신장이 억제되었으나 토양재배에서는 10,000ppm에서도 생장이 가능하였다. 이것은 수경재배 농도와 비교하면 10~1,000배 높은 농도이다.

Zn은 미량영양소로서 식물체에 최소 0.22mg/l가 요

구되거나 다량으로 존재하게 되면 오히려 발아 및 생장이 억제된다는 것이 본 실험결과 나타났다. 이는 길항적 관계에 있는 Fe의 흡수가 상대적으로 어려워져 백화현상을 일으키게 되며 그 증상은 Mn결핍증과 유사하다고 한다(Stiles, 1958). 새로 나오는 어린 잎에서 그 피해는 두드러졌으며, Pb 1,000ppm처리구에서는

잎 가장자리에 부분적인 황백화현상이 일어났고, Pb 5,000ppm처리구에서는 변형잎과 어린잎 끝이 둥그렇게 말리며 부분적인 백화현상이 관찰되었다.

야외조사

a. 식생조사 : 삼보광산 주변에 있는 식생에서 백화현상이 일어난 식물들이 자주 발견되었다. 광산주변의 4조사지의 식생 총 78종 가운데 백화현상을 보인 종은 10종이었다(Table 3). 폐석처리장과 논 주변의 Site에서의 백화 현상을 보인 종이 대부분이었고, 채광지역에서는 나타나지 않았다. 이것은 채광경도가 지하 200m에 위치하기 때문에 지상에 있는 식생에는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. Chung(1965)에 따르면, 다량의 Zn이온이 존재하던 *Digitaria sanguinalis* var. *ciliaris*의 잎 끝이 노랗게 나타나고, Pb와 Cu의 경우 *Chenopodium album* var. *centrorubrum*과 *Echinochloa crusgalli*의 잎에 붉은 반점을 띤 백화현상이 나타남을 이미 보고한 바 있다. 특히 백화현상이 뚜렷한 종은 고삼, 싸리, 수양버들, 은백양, 조팝나무, 족제비싸리로서 은백양잎에서는 극심하여 황록의 mosaic pattern이 명확히 나타났으며 그 주변의 다른 수 종과 비교하여 전체적으로 황백색을 띄었다. 고삼의 백화현상은 폐석처리장 주변에서 흔히 볼 수 있었으며, 붉은 반점을 띄고 있었다. 제 2 연화광산지역을 조사한 Chang and Mok(1977)의 보고에서도 조팝나무, 땅비싸리, 참싸리, 조록싸리, 광대싸리 등이 백화현상 증으로 보고된 바 있어 이들 종들이 다른 종에 비해 Zn에 대해 내성이 적은 것으로 생각된다.

삼보광산 주변에 있는 여러 식물들의 정상잎과, 백화현상이 일어난 잎의 chlorophyll함량을 비교한 결과는 Table 4와 같다. 백화현상이 일어난 잎의 chlorophyll a와 chlorophyll b의 함량은 물론 총 chlorophyll 량도 1/5~1/3로 적게 나타났으며, 이것으로 백화현상은 식물잎의 chlorophyll함량을 감소시킨다는 것을 알 수 있었다. 또한 백화현상이 일어난 잎이 Zn과 Pb함량에 있어서 각각 최대 6배, 7배 정도 정상잎에 비해 높게 나타났다(Table 5).

일반적으로 식물체의 회분이 함유하는 Zn량의 범위는 600~1,400ppm이며 Pb는 50~100ppm이다(Cannon,

Table 5. Zinc and lead contents of plant samples in the investigated area

Species		Pb (ppm)	Zn (ppm)
<i>Populus alba</i> L.	N	5139.66	23.10
	C	6060.06	165.20
<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliciflora</i> Nakai	N	1255.10	55.00
	C	1410.86	86.90
<i>Sophora angustifolia</i> S. et Z.	N	712.30	8.60
	C	1196.10	21.32
<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	N	135.99	8.60
	C	761.86	26.00

N: Normal, C: Chlorosis

Table 6. Chemical analysis of soil in the investigated area and control area

Components	I	II	* III	** IV	*** V
Soil pH	5.69	6.76	7.40	6.35	5.80
Water content(%)	9.88	4.88	86.19	2.56	17.47
L.O.I.(%)	6.84	6.45	8.69	7.32	4.86
Organic carbon(%)	3.97	3.74	5.40	4.25	2.82
Total nitrogen(%)	0.30	0.38	0.43	0.38	0.45
Available P(ppm)	3.76	2.57	12.91	17.40	3.39
Exchangeable K(ppm)	224.55	184.93	235.00	670.00	125.00
Exchangeable Ca(ppm)	1459.09	1136.00	2800.00	2450.00	1500.00
Exchangeable Na(ppm)	217.55	215.40	255.00	640.00	260.00
Exchangeable Zn(ppm)	340.01	55.34	891.66	182.95	54.07
Exchangeable Pb(ppm)	268.80	20.21	306.10	23.10	9.33

*: Paddy field

** : Cultivated land

***: EHWA Univ.(Comparison area)

1960b). 금속광채상에서 자라는 식물체회분의 최대농도는 Zn의 경우, *Viola calaminaria*가 15,000ppm (Linstow, 1929), Pb의 경우, *Beilschmiedia tawa*가 7,300ppm(Nicolas and Brooks, 1969)을 함유하는 것으로 나타났다. 이 data와 비교할 때, 은백양의 Zn과 Pb함량은 상당히 높다고 할 수 있다. 정상잎의 Zn과 Pb함량도 비교적 높는데 이것은 표본이 조사지에서 채취되어 중금속의 영향을 전혀 받지 않은 곳의 표본과 비교하면 백화현상은 일어나지 않았으나, 중금속에 대한 내성이 생겨 높게 축적되고 있는 것으로 사료된다.

b. 토양환경 : 논과 콩밭은 다른 곳과 비교하여, C, N, P, K, Ca, Na가 모두 높게 나타났는데, 이는 인위적으로 처리한 비료의 영향인 것으로 생각된다(Table 6). 논둑이나 논가에서 많이 볼 수 있었던 어린 조팝나무들은 거의가 극심한 백화현상을 나타냈는데, 그럼에도 불구하고 논에서 자란 벼들은 그와는 대조적으로 잘 자라고 있었다. 이것은 중금속에 대한 식물종 간의 내성의 차이로 설명될 수 있다. 식물의 중금속에 대한 내성은 metal-specific하며, 한 금속에 대한 내성이 자동적으로 다른 금속에 대한 내성을 갖게 하지는 않으며, 그 정도는 토양 중에 존재하는 금속이온의 양과 관련이 있다. (Jowett, 1958; Gregory and Bradshaw, 1965). 정상토에 존재하는 Zn과 Pb함량은 각각 50ppm과 10ppm(Andrew Jones, 1968)으로 비교시의 토양과는 거의 비슷하며, 4지역은 모두 높게 나타났다.

중자실험에서 발아억제가 일어나는 한계 농도와 비교하여 조사지의 토양에서는 평균 Zn 311.88ppm과 Pb 151.20ppm을 함유하므로 Pb이 그 한계농도보다 높긴 하지만 Zn과 함께 토양속에 여러 이온이 공존하므로 이와 침전반응을 일으켜 발아에 억제물 가져오지 않을 것으로 생각된다.

적 요

식물과 토양에 미치는 연·아연의 영향에 관하여 직접처리에 의한 각 농도별 종자의 발아생장 및 토양제배실험에서 식물의 생장과 그 축적량을 분석하였고, 야외조사로 경기도 화성군 삼보광산(연·아연광)에서 그 인접지역의 식물의 생육상태와 식물체 및 토양의 화학성분을 조사하였다.

직접처리에 의한 중자발아는 Zn 1,000ppm, Pb 10 ppm, (Zn+Pb) 5,000ppm에서부터 억제현상이 현저하였고, Zn 10ppm과 Pb 1ppm에서는 control에 비해 오

히려 발아가 약간 촉진되었다. 이들 농도에서의 싹의 생장은 발아 5일 후 control(5.38cm)을 제외하고는 Zn 1ppm(5.35cm)에서 가장 잘 되었다.

처리토양에서 재배된 식물체의 잎과 열매에서의 Zn과 Pb의 축적은 평균 2~33%(건량)였으며, 잎에서의 축적이 더욱 높았다.

식물체는 Pb 1,000ppm이상에서 부분적인 백화현상 및 변형잎이 나타났으며, Zn처리구에서도 백화현상이 관찰되었다.

삼보광산 주변의 토양은 Zn 311ppm과 Pb 151ppm이었는데, 이 지역 식물의 총 78종 중 10종이 백화현상을 나타내었으며, 특히, 고삼, 찌리, 죽제비싸리, 은백양, 조팝나무가 심하였다. 이들 잎은 평균 Zn 2,357ppm, Pb 75ppm을 축적하고 있어 정상잎의 Zn 526ppm, Pb 24ppm보다 높았으며, chlorophyll, total-N, P의 함량은 낮게 나타났다.

참 고 문 헌

- 강상준·최희숙, 1972. 자분차 배인 중의 비량금속이 토양 및 식물체에 미치는 영향. 한국 식물학회지, 15: 9~13.
- 성민승, 1976. Pb이온의 침전과 식물생장의 억제에 관한 연구. 한국 식물학회지, 19(1): 1~6.
- 성민승·정영호, 1977. 식물체의 Pb흡수 및 유독성에 미치는 음이온의 영향. 한국 식물학회지, 20(1): 7~14.
- 차종환, 1974. 환경오염 방지란 위한 식물의 생대역의 연구. (Ⅲ). -도모빈 식생과 중금속 함량 및 오담에 관한 연구. 한국 식물학회지, 17(4): 158~162.
- Abe, I. and M. Kanda, 1981. Vegetation structures in the copper polluted area in relation to its edaphic factors(1). Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ., 32: 15~26.
- Abe, I., 1982. Vegetation structures in the copper polluted area in relation to its edaphic factors(2). Bull. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ., 33: 99~106.
- Antonovics, J., A. D. Bradshaw and R. G. Turner, 1971. Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol. Res., 7: 1~85.
- Brar, M. S. and G. S. Sekhon, 1976. Interaction of zinc with other micronutrient cations. I. Effect of copper and zinc absorption by wheat seedlings and its translocation within the plants. Plant and Soil, 45: 137~143.
- Brar, M. S. and G. S. Sekhon, 1976. Interaction of zinc with other micronutrient cations. II. Effect of iron on

- zinc absorption by rice seedlings and its translocation within the plants. *Plant and Soil*, **45** : 145~50.
- Brooks, R. R., 1972. *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*. New York, Harper and Row.
- Chahal, R. S., S. P. Singh and U. C. Shukla, 1979. Uptake and translocation of zinc absorbed through roots and fruiting organs in peanuts. *Plant and Soil*, **51** : 109~115.
- Cannon, H. L., 1960. Botanical prospecting for ore deposits. *Science*, **132** : 591~598.
- Cannon, H. L. and J. M. Bowles, 1962. Contamination of vegetation by tetraethyl lead. *Science*, **137** : 765~766.
- Chang, N. K. and C. S. Mok, 1977. Physiological and ecological studies of the vegetation on ore deposits. I. Zinc flora and indicator plants on the 2nd Yunwha mine. *Korean Jour. Botany*, **20**(1) : 45~52.
- Chang, N. K. and C. S. Mok, 1981. Physiological and ecological studies of the vegetation on ore deposits. II. Incidence of lime-chlorosis in the vegetation of Korea. *Korean Jour. Botany*, **4**(1~2) : 25~32.
- Chow, T. J., 1970. Lead accumulation in roadside soil and grass. *Nature*, **225** : 295.
- Godgil, R. L., 1968. Tolerance of heavy metal and the reclamation of industrial waste. *Jour. Applied Ecol.*, **6** : 247~259.
- Goodman, G. T. and T. M. Roberts, 1972. Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*, **231** : 287~292.
- Haldar, M. and L. N. Mandal, 1980. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice. *Plant and Soil*, **54** : 415~425.
- Huang, C. Y., F. A. Bazzaz and L. N. Vanderhoef, 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant and Soil*, **54** : 122~124.
- Jowett, D., 1959. Adaptation of a lead-tolerant population of *Agrostis tenuis* to low soil fertility. *Nature*, **184** : 43.
- Likens, G. E., F. H. Bormann, R. S. Pierce, J. S. Eaton and N. M. Johnson, 1977. *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. New York, Spring-Verlag.
- Maclean, A. J., R. L. Halstead and B. J. Finn, 1969. Extractability of added lead in soils and its concentration in plants. *Can. J. Soil Sci.*, **49** : 327~334.
- Malone, C., D. E. Koeppel and R. J. Miller, 1974. Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol.*, **53** : 388~394. (1983年 2月 16日 接受)