

아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 옥수수 생육에 미치는 영향

李鍾八* · 朴魯權* · 金福鎮**

Influence of Heavy Metal Contents in Soils Near Old Zinc-Mining Sites on the Growth of Corn

Jong-Pal Lee*, No-Kwuan Park* and Bok-Jin Kim**

Abstract

This research was carried out to investigate how the growth of corn was affected by the heavy metal contents in soils near the old zinc-mining sites, by analyzing correlation between the growth of corn and heavy metal contents in soils collected from Yonghari Ilwoulmyun YongyangGun in Kyeongpook province in 1993. The results obtained were summarized as follows.

1. The contents of heavy metals such as Zn, Cu, Pb, Cd, and as in the Youngyang area were very high compared with those in a normal area. Heavy metal contents in soils collected from 2.0~2.5Km distance from the mining area were the highest, and those from 3.0 Km than those from 1.5 Km were even higher.

2. For heavy metal contents in leaves of all surveyed crops, Zn, Pb, Cu and As were the highest in soybean, followed by corn and rice.

3. Growth parameters of corn in polluted fields were comparatively poor and heavy metal contents in soils of the respective sites were higher than those in fields where rice was cultivated 8 years ago and irrigation was not done previously.

4. Heavy metal contents in the leaf part of corn plant showed a similar tendency to those in soils, being the highest among the different parts of corn plant, and they were in the decreasing

* 경상북도 농촌진흥원(Kyeongpook Provincial Rural Development Administration, Taegu, Korea)

** 영남대학교 농축산대학(College of Agriculture and Animal Science, Yeongnam University, Gyongsan, Korea)

order of Zn > Cu > As > Cd > Pb in each part. But the differences of metal contents in each part varied.

5. Generally, a negative relationship existed between the growth of corn and heavy metal contents in soil, of which Cu and Pb were significantly correlated with plant height, ear height, diameter of stem, ear length and yield of corn.

6. There existed a positive correlation between the contents of Pb, Cd and As in soils and those in the different parts of corn plant. The higher contents of Pb, Cd, and As in soil, the more those in corn plant increased. The contents of Pb and As in corn grains showed a highly significant positive correlation with Cd and As contents in soils.

서 론

인구가 증가하고 산업의 급속한 발전과 더불어 도시화되면서 환경오염 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다^{1,2,3}. 환경오염을 크게 나누면 대기오염, 수질오염, 토양오염 등⁴으로 구분할 수 있다.

중금속에 의한 토양오염의 주된 원인은 광산 및 광제련소의 폐수, 분진, 광미사와 중금속이 함유된 원료나 첨가물질을 사용하는 도금공장, 합금공장, 안료공장 및 고무공장 등에서 배출되는 폐수, 분진, 폐기물 등이 토양에 유입됨으로서 초래된다고 알려져 있다^{5,6,7,8,9}. 중금속이 오염된 토양층에는 Cd, Cu, Pb, Zn, As, Cr 등과 같은 이십 여종 이상의 중금속 원소들이 문제가 되는데¹⁰ 이들 중금속 원소들은 저농도에서도 생물체에 유해하며, 오염시에는 이들을 제거하기 어려울 뿐만 아니라 동식물 및 인간체내에 축적되는 성질이 있고^{11,12,13,14,15} 또한 food chain(식품 연쇄)에 의해서 그 농도가 농축되기 때문에 인체에 중독증상을 일으키기도 한다. 토양중 중금속 오염에 의한 피해는 직접적으로 농작물의 생육을 저해시켜 수량을 감소시키는 직접적 피해보다는 중금속이 오염된 농산물을 섭취하는 인체에 만성적인 중독증상을 일으키는 간접적 피해가 실제로 더 큰 문제를 야기시키고 있다^{16,17,18}. 중금속에 의한 중독증상으로 그 대표적인 것이 Hg에 의한 “미나마타” 병과 Cd에 의한 “이따이 이따이” 병이

며, 최근에 중금속 오염에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 우리 나라에서도 광산 및 제련소 인근 지역에 대한 중금속 오염도 및 농작물 피해조사와 농작물에 대한 피해 경감방법²⁰ 구명 등에 많은 연구가 이루어지고 있다.

따라서 본 연구는 경상북도 영양군 일월면 용화리에 소재하고 있는 폐광된 아연광산 인근지역의 토양중 중금속 함량이 농작물의 생육에 미치는 영향을 구명하여 이들 지역의 토양 관리를 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 조사한 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 공시시료의 채취

경상북도 영양군 일월면 용화리에 위치한 폐광된 아연광산의 인근 지역을 조사대상으로 하여 1993년 8월 중순~9월 상순에 광구 및 선광장을 기점으로 하천 인근지역의 좌우에 있는 토양을 거리별로 표토(0~15cm), 심토(15~30cm)로 구분하여 시료를 채취하였으며, 비오염지 대조시료는 칠곡지역에서 시료를 채취하였다. 식물체 시료는 토양과 동일한 지점에서 채취하였으며, 채취한 시료수는 옥수수 재배지 10개 포장에서 토양 및 식물체시료를 각각 10점, 콩재배지 8개 포장에서 식물체 시료를 8점, 벼 재배지 8개 포장에서 식물체 시료 8점을 채취하였다.

2. 공시시료의 조제

가. 토양

토양시료는 온실내에서 풍건 쇠토한 후, 20mesh 체에 통과시킨 것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석시료로 사용하였다.

나. 식물체

식물체 시료는 1N-CH₃COOH 용액으로 가볍게 씻은 다음 맑은 물로 깨끗히 씻은 후, 건조기(80°C)에서 건조시킨 것을 분쇄하여 28mesh체에 통과시킨 것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석용 시료로 사용하였다.

3. 공시시료의 분석

가. 토양

조제된 공시시료 10g을 삼각 flask에 평량한후 0.1 N-HCl용액 50ml를 가하고 상온에서 회전 진탕기로 1시간 진탕한 후에 No.6 여과지로 여과한 다음 그 여액을 Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer 2380)로 Cd, Cu, Pb, Zn함량을 측정하였으며^{20,21)}, As는 토양 10g에 1N-HCl용액 50 ml를 가하고 1시간 진탕한 후에 No.6 여과지로 여과한 다음 그 여액을 Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer(Jobin Yuon JY50)로 측정하였다²²⁾.

나. 식물체

조제된 공시시료 25g을 증발접시에 평량하여 전 열판상에서 가열회화시킨 후 이를 다시 550°C 전기로 내에서 탄화물이 없을 때까지(약 8시간) 회화시킨 다음 냉각후 Conc-HClO₄ 및 Conc-HNO₃를 각각 5ml씩 가한 다음 시계접시로 덮고 전열판 상에서 증발 건조한 다음에 1N-HCl 25ml를 가하여 용해시킨 것을 No.6 여과지로 여과한 후 그 여액을 토양과 같은 방법으로 측정하였다^{20,21,22)}.

4. 생육 및 수량조사 방법

조사지역에서 작물별 생육조사를 농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준에²⁴⁾ 준하여 1993년 8월 중순~9월 상순경에 옥수수는 각 포장별로 임의로 10 주씩 선정하여 초장, 엽수, 착수고 및 자수굽기를 조사하였고 자수굽이와 수량은 생육조사중에서 수확한 시료를 실내에서 조사하여 평균을 구하였다.

결과 및 고찰

1. 토양중 중금속함량

영양군 일월면 용화리에 위치한 아연광산 하류지역의 토양내 중금속 증가정도를 알기 위하여 오염지역인 영양과 비오염지역인 칠곡지역의 토양중 중금속 원소별 전체평균 함량은 표 1과 같으며, 칠곡 지역에 비해 오염 지역인 영양에서 각 원소 공히

Table 1. Contents of heavy metals in soils of the experimental sites.

Region ¹⁾	Depth(cm)	Heavy metal contents(ppm)				
		Zn	Cu	Pb	Cd	As
Youngyang	0-15	276.04	24.38	38.08	5.66	23.74
	15-30	234.79	20.32	26.71	5.94	22.21
	Mean	255.42	22.35	32.40	5.80	22.98
Chilgok	0-15	3.46	2.71	2.60	0.13	0.52

1) Already mentioned in the text.

Table 2. Contents of heavy metals in soils collected at the different distance from Zinc-Mining site located at Youngyang area.

Distance (km)	Depth (cm)	Heavy metal contents in soils (ppm)				
		Zn	Cu	Pb	Cd	As
1.5	0~15	113.90	5.86	5.37	2.82	12.03
	15~30	138.14	6.75	4.88	4.59	15.45
	Mean	126.02	6.31	5.13	3.71	13.74
2.0	0~15	332.87	44.67	49.07	6.42	30.11
	15~30	298.54	36.16	42.77	6.42	26.54
	Mean	315.71	40.42	45.92	6.42	28.33
2.5	0~15	278.92	35.58	39.01	5.89	26.90
	15~30	214.79	16.84	20.99	5.97	22.32
	Mean	246.86	26.21	30.00	5.93	24.61
3.0	0~15	174.85	14.59	28.86	5.20	22.31
	15~30	180.85	12.50	10.11	5.94	20.91
	Mean	177.85	13.55	19.49	5.57	21.61

함량이 월등히 높았으며, 표토와 심토간에는 큰 차이는 없었지만 표토에서 대체적으로 높았다. 영양의 아연광산 인근지역의 토양중 중금속 함량은 김 등⁹⁾이 보고한 장항 제련소 인근 토양에서의 Cu가 40.81 ppm, Pb가 52.21 ppm 함유되었다는 것보다는 적었지만 일본의 천연부존량이나 김 등²³⁾이 보고한 우리나라 밭토양의 자연함유량 Cd : 0.157 ppm, Cu : 3.053 ppm, Pb : 4.165 ppm, Zn : 8.499 ppm, As : 0.493 ppm 등과 서 등^{24,25)}이 아연광산 인근 논토양에서 Cd : 0.143 ppm, Cu : 15.71 ppm, Pb : 17.29 ppm, Zn : 40.40 ppm 함유되어 있다는 보고들보다 현저히 높은 것으로 보아 Zn, Cu, Pb, Cd, As 등 중금속 원소들이 많이 증가되었음을 알 수 있다.

표 2는 영양지역 아연 광산의 광구로부터 수계에 따른 거리별 토양중의 중금속 함량으로서 그 평균 함량을 보면 2Km지점 > 2.5km지점 > 3Km지점 > 1.5Km지점의 순위로 낮았는데 이는 아연광산에서 발생한 중금속 오염원이 상당히 먼거리까지 이

동되었음을 알 수 있다. 토심별 중금속 함량은 1.5 Km지점을 제외한 대부분의 지점에서 심토에서 보다 표토에서 중금속 함량이 높았는데 이는 중금속 오염지의 중금속 함량은 심토에서 보다 표토에서 높게 나타난다고 보고한 다른 연구자들의 결과와 유사하였다²⁶⁾.

2. 식물체중 중금속 함량

영양군 일월면 용화리에 소재한 아연광산 인근의 조사지역 내에서 재배된 주요작물은 벼, 옥수수, 콩으로서 이들 주요작물별 식물체중 중금속 평균 함량은 표 3에서와 같이 작물별 중금속 함량은 콩 > 옥수수 > 벼 순이었으며, 특히 벼보다 콩, 옥수수에서 중금속 함량이 아주 높았던 것은 작물별 생리적 특성에 따른 차이에 기인된 것으로 생각된다.

Table 3. Mean contents of heavy metals in leaves of the three crops cultivated at near Zinc-Mining site.

Crops	Heavy metal content in leaves (ppm)				
	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Rice	70.04	2.31	0.38	2.18	0.84
Soybean	2988.34	15.01	0.98	19.99	64.12
Corn	1937.02	14.33	0.60	8.58	14.00

Table 4. Growth status of corn grown at the different distance from Zinc-Mining site and harvested in middle August.

Distance (km)	Grwoth ¹⁾ status	Plant height (cm)	No.of leaves/plant	height of earing (cm)	Dia.of stem (cm)	Ear		
						length (cm)	Dia. (cm)	Yield (g)
1.5	Good	198.3	12.7	67.0	2.46	22.9	4.75	261.5
	Bad	40.0	6.9	25.5	1.43	15.2	3.60	95.7
2.0	Middle	135.0	10.4	44.0	2.13	19.3	4.52	173.3
	Good	157.0	11.6	48.7	2.13	21.8	4.59	249.3
	Mean	110.7	9.6	39.4	1.90	18.8	4.24	172.8
2.5	Bad	63.0	6.0	35.0	1.72	16.6	4.09	138.3
	Middle	151.0	11.2	42.0	2.20	22.0	4.68	275.1
	Good	163.0	11.4	68.0	1.88	20.8	6.71	264.5
	Mean	125.7	9.5	48.3	1.93	19.8	5.16	226.0

1) Good : Normal growth to all appearance, Middle : Abnormal growth, Bad : Very poor growth.

Table 5. Growth status of corn and contents of heavy metal in soil collected at the different distance from Zinc-Mining site.

Distance (km)	Grwoth ¹⁾ condition	Heavy metals content in soils (ppm)				
		Zn	Cu	Pb	Cd	As
1.5	Good	187.36	2.64	0.49	1.81	6.35
	Bad	373.79	66.94	11.91	9.48	26.96
2.0	Middle	391.38	54.84	5.50	10.69	30.79
	Good	374.21	23.50	2.57	11.69	33.15
	Mean	379.79	48.43	6.66	10.62	30.30
2.5	Bad	399.04	97.23	3.66	9.44	26.87
	Middle	386.48	19.17	1.86	8.22	23.05
	Good	300.48	10.15	1.32	5.35	15.82
	Mean	362.00	42.18	2.28	7.67	21.91

1) Good : Normal growth to all appearance, Middle : Abnormal growth, Bad : Very poor growth.

Table 6. Growth status and heavy metal contents in the different part of corn grown in response to the distance from Zinc-Mining site.

Dis- tance (km)	Growth status ¹⁾	Heavy metals contents in corn (ppm)																			
		Zn			Cu			Pb			Cd			As							
		L	S	B	L	S	B	L	S	B	L	S	B	L	S	B					
1.5	good	542.88	171.71	153.52	34.37	13.70	4.22	2.38	1.65	0.59	0.34	0.36	0.40	5.37	2.42	1.20	0.10	7.10	3.42	1.91	0.17
	bad	2371.99	1209.48	294.42	73.19	18.91	4.99	2.10	2.40	0.99	0.62	0.34	0.42	9.87	9.88	1.01	0.94	11.72	16.55	1.75	1.53
2.0	middle	3005.26	1039.04	279.10	65.45	18.49	3.25	3.66	2.12	0.63	0.47	0.53	0.40	10.22	6.23	1.07	0.43	24.67	9.66	1.72	0.71
	good	1238.77	868.60	280.28	66.42	17.66	5.88	3.44	2.14	0.59	0.44	0.44	0.36	10.33	12.35	3.10	0.70	21.40	18.01	4.90	1.81
	Meen	2205.34	1039.04	284.60	68.35	18.35	4.71	3.07	2.22	0.74	0.56	0.44	0.39	10.14	9.49	1.73	0.69	19.26	14.74	2.79	1.35
	bad	3155.24	1005.46	271.19	56.06	8.83	5.55	2.39	1.88	0.50	0.48	0.65	0.65	9.01	6.05	2.16	0.65	7.51	9.11	3.29	0.72
2.5	middle	1201.90	1247.35	229.78	48.88	11.01	3.27	4.11	1.35	0.42	0.46	0.74	0.94	5.54	6.72	2.44	0.94	5.82	7.45	2.82	0.39
	good	648.93	411.58	220.69	38.60	11.22	3.88	3.48	1.96	0.42	0.53	0.71	0.74	5.54	8.08	3.31	0.74	2.87	11.25	4.79	0.44
	Meen	1668.69	888.13	240.55	47.85	10.35	4.23	3.33	1.73	0.45	0.50	0.64	0.78	6.70	6.95	2.64	0.78	5.40	9.27	3.63	0.52
	Total Meen	1472.30	699.63	226.22	50.19	14.13	4.39	2.93	1.87	0.59	0.47	0.48	0.52	7.40	6.29	1.86	0.54	10.59	9.14	2.78	0.68

1) Refer to Table 4, Table 5 for the legend explanation.

2) L=leaf, S=stem, B=bracts, G=grain.

3. 토양중 중금속 함량이 작물생육에 미치는 영향

가. 옥수수의 생육 및 수량

아연광산 광구로부터 1.5Km 떨어진 지점은 8년 전까지 벼를 재배하였던 포장으로 옥수수가 정상적으로 생육하고 있는 포장과 1992년까지 벼를 재배하다가 1993년 가끔 하천수를 관개수로 이용하는 2.0~2.5Km지점의 옥수수 포장의 생육 및 수량은 표 4에서와 같다. 옥수수 생육상황은 초장, 엽수, 착수고, 줄기굵기 등 모두가 2.0Km 및 2.5Km 지점의 포장에서보다 1.5Km지점의 포장에서 좋았으며, 수량 및 수량구성요소도 같은 경향이였다.

나. 옥수수 재배지 토양과 식물체중 중금속 함량

옥수수 생육 및 수량을 조사한 지점의 토양중 중금속 함량 조사 결과는 표 5와 같이 아연 광산 광구로부터 거리별 옥수수 포장의 토양중 중금속 함량은 1.5Km < 2.5Km < 2.0Km 순위로서 중금속 함량이 적은 포장일수록 옥수수의 생육 및 수량이 양호하였다. 이는 중금속 함량이 옥수수의 생육 및 수량에 영향을 주었음을 시사해 주고 있다.

옥수수의 식물체 부위별 중금속 함량은 표 6에서와 같이 중금속 함량이 많을수록 옥수수 생육이 불량해지는 경향을 보였고 부위별로는 잎 > 줄기 >

포엽 > 곡실 순이었다. 김 등²³⁾이 보고한 우리나라 발토양에서 재배되고 있는 옥수수의 중금속 자연평균 함량과 비교하면 Zn의 22.945 ppm 보다 월등히 높았고 Cu의 10.044 ppm, Pb의 1.026 ppm 보다는 적었으며 Cd의 0.05 ppm과 As의 0.081 ppm보다 다소 높은 경향을 보였고, 吉川¹⁰⁾은 중금속의 중독을 일으킬 수 있는 성인 체중 1kg 당 섭취함량이 As가 5~50 ppm, Cd가 3 ppm, Cu가 250~500 ppm 정도라고 보고한 것 보다는 다소 낮은 경향을 보였으나 앞으로 계속 연구해야 할 과제라고 생각된다.

다. 옥수수 생육 및 수량과 토양중 중금속함량의 상관관계

토양중의 중금속 함량이 작물의 생육에 미치는 영향을 알기 위하여 토양과 식물체내의 중금속 함량간의 상관 분석 결과는 표 7에서와 같다. 대체적으로 중금속 함량이 많으면 옥수수 생육이 저해되는 부의 상관관이 있었다.

Zn, Cu, Pb, Cd, As 함량과 착수고와는 모두 부의 유의한 상관관이 인정되었고, Cu와 Pb가 초장, 착수고, 줄기굵기, 자수길이, 수량과 각각 부의 유의한 상관관이 있어 옥수수 생육저해에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으나 이 등²⁷⁾은 토양중의 Cd와 Zn가 옥수수 근권과 상관있다고 한 것과는 차이

Table 7. Correlation coefficient(r) between contents of heavy metal in soils and growth parameters of corn plant.

Factors	Correlation coefficient(r)				
	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Plant height	-0.6370	-0.8936**	-0.8023**	-0.5374	-0.5315
No. of leaves	-0.5810	-0.5158	-0.6472	-0.4403	-0.4344
Earing height	-0.7819*	-0.7978*	-0.7880*	-0.7285*	-0.7190*
Dia. of stem	-0.5264	-0.6983*	-0.7485*	-0.4267	-0.4222
Earing length	-0.5379	-0.8863**	-0.8250**	-0.4599	-0.4604
Dia. of Earing	0.1375	0.0534	0.2357	0.2345	-0.2536
Yield	-0.4756	-0.8788**	0.8729**	-0.4852	-0.4917

* and ** significant at the 5%, 1% level.

Table 8. Correlation coefficient(r) between contents of heavy metal in soils and those in different parts of corn plant.

Heavy metal	Part of corn	Heavy metals				
		Zn	Cu	Pb	Cd	As
Zn	Leaves	0.7063*	0.9360**	0.6149	0.6666*	0.6727*
	Stems	0.1586	0.4083	0.2271	0.3443	0.3455
	Bracts	0.1918	-0.3001	-0.5162	-0.0964	-0.1135
	Grains	0.6463	0.2364	0.4415	0.5151	0.4908
Cu	Leaves	0.9117**	0.6111	0.6058	0.8091**	0.7951*
	Stems	0.2998	-0.4269	-0.4384	0.2237	0.2162
	Bracts	0.0626	-0.0132	-0.2650	-0.3455	-0.3648
	Grains	0.4129	0.2283	0.3852	0.7039*	0.7242*
Pb	Leaves	0.8819**	0.7829*	0.7170*	0.9465**	0.9478**
	Stems	0.2894	0.4248	0.7559*	0.5271	0.5456
	Bracts	0.6231	0.6434	0.6817*	0.8477**	0.8613**
	Grains	0.5318	0.2667	0.5984	0.7262*	0.7286*
Cd	Leaves	0.7249*	0.6051	0.8136**	0.8880**	0.8930**
	Stems	0.1184	0.3571	0.9029**	0.3116	0.3217
	Bracts	0.5707	0.1407	0.4312	0.7266*	0.7234*
	Grains	0.1451	-0.3211	-0.5439	0.1001	0.0860
As	Leaves	0.7199*	0.3522	0.7011*	0.8580**	0.8635**
	Stems	0.6411	0.3951	0.6387	0.7163*	0.7129*
	Bracts	0.1127	-0.3201	-0.5790	0.0349	0.0219
	Grains	0.4885	0.3305	0.6135	0.7408*	0.7428*

* and ** significant at the 5%, 1% level.

가 있었는데 조사포장의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

라. 옥수수 식물체중 중금속함량과 토양중 중금속 함량과의 상관관계

토양중의 중금속함량과 식물체부위별 중금속함량과의 관계는 표 8에서와 같이 토양중 Zn는 식물체 잎의 Cu, Pb, Cd, Zn, As와 유의한 상관관계를 보였으며 토양중 Cu 함량은 식물체잎의 Zn, Pb 사이에서 상관관계를 볼 수 있었다. 토양중 Pb는 잎의 Pb, Cd, As, 줄기의 Pb, Cd, 포엽의 Pb에서 상관관계를 보였으며, 토양중의 Cd는 잎의 Zn, Cu, Pb, Cd, As, 줄기의 As, 포엽의 Cd, Pb, 곡실중 Cu, Pb,

As와, 토양중의 As는 잎의 Zn, Cu, Pb, Cd, As와 줄기의 As, 포엽 Pb, 곡실의 Cu, Pb 및 As 함량과 각각 유의한 정의 상관관계를 보였다.

토양중의 Cd과 As 함량은 식물체의 각 부위별 중금속 함량과의 관계가 동일한 Pattern으로 나타났고 특히 곡실중의 Cu, Pb 및 As의 흡수에 관계가 많았으나 토양중의 Zn, Cu 및 Pb는 곡실중의 중금속함량 증가에 큰 영향을 주지 않은 것으로 보아 토양 중에 어떤 중금속이 많아지면 다른 중금속의 식물체 흡수를 조정하여 더욱 더 작물에 피해를 준다는 것을 알 수 있었다. ^{卓26)}도 논 토양 중의 중금속 함량 상호간에 상관이 있다고 하였으며 앞으로 토양중 중금속 종류별 함량이 식물체, 곡실중의 흡

수에 미치는 영향은 계속 검토되어야 할 것으로 보여진다.

적 요

아연광산 인근지역의 농경지에 중금속의 오염 정도와 옥수수의 생육에 미치는 영향을 조사하여 농작물 피해경감 대책의 기초자료로 활용하기 위하여 1993년에 경상북도 영양군 일월면 용화리 아연광산 수계지역의 토양중 중금속함량과 옥수수의 생육상황 및 토양중 중금속 함량과 식물체내 함량과의 관계에 대하여 조사 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 영양지역의 토양중 중금속 함량은 비오염지역인 칠곡에 비해 Zn, Cu, Pb, Cd, As 함량이 현저히 높았고 광산으로부터 거리별 토양중 중금속함량은 2.0~2.5km 에서 가장 높았으나 3.0km 지점에서도 1.5Km 지점보다 높은 경향이였다.

2. 오염지역의 작물별 엽내 중금속 함량은 Zn, Cu, Pb, Cd, As 함량이 모두 콩에서 가장 높았고 다음은 옥수수, 벼의 순이었다.

3. 오염지역에서 옥수수 생육은 현저히 불량 하였고 토양중 중금속 함량도 월등히 많았다.

4. 옥수수의 부위별 중금속 함량은 토양중 함량과 같은 경향이었고 부위별로는 잎에서 가장 많았으며 원소별로는 Zn > Cu > As > Cd > Pb 순위이었으나, 각원소의 부위별 함량은 다소 차이가 있었다.

5. 토양중의 중금속함량과 옥수수 생육상황과는 전반적으로 부의 상관관계가 있었으나 조사된 원소 중 Cu, Pb 함량과 옥수수의 초장, 착수고, 줄기굵기, 자수길이 및 수량과는 유의한 부의상관이 인정되었다.

6. 토양중 중금속 함량과 식물체 부위별 중금속 함량과의 관계는 대체로 정의 상관 관계를 나타냈으며, 토양중의 Pb, Cd, As 함량이 많으면 식물체내의 Pb, Cd, As 함량이 증가되었고, 곡실중의 Pb와

As 함량은 토양중의 Cd 및 As와 유의한 정의 상관이 인정되었다.

참고문헌

1. 吉野寛, 増鳥博, 松岡義浩. (1979). 第11部内 環境保存. 日土肥誌 **50**(5) : 474~485.
2. 鄭永浩, 金福榮, 李重吉, 한기학. (1973). 環境汚染에 의한 農作物被害 調査 研究. 金泳燮 博士 回甲紀念 論文集 : 61~72.
3. 涉谷政夫, 山漆交雄, 尾形保, 能勢和夫. (1975). 土壤汚染, 環境汚染と 農業 : 137~170.
4. 한기학, 朴呂奎. (1989). 農業環境化學. 東和技術 : 31~45.
5. Lee, R. E. and Jvan Lehinden, D. (1973). Trace metal pollution in the environment. J. Air Pollution control Assoc. **23**(10) : 867~875.
6. Leland, H. V., Copebhaber, E. D. and Cottill, L. S. (1974). Heavy metals and other trace elements. J. Water Poll. Control Fed. **46** : 152~1476.
7. 小林純, 森井子じ, 村本茂樹, 中鳥進 外 2人. (1973). 群馬縣安中市の亞鉛 製煉所を中心とする 土壤中の Cd, Pb, Znの 分布について. 日土肥誌 **44**(12) : 471~485.
8. 淺見輝南. (1972). 日曹金屬 株式會社 會律製煉所の排水含おれるカドミウム, 亞鉛, 鉛および銅 による水田 土壤汚染. 日土肥誌. **43**(9) : 339~343.
9. 金成朝, 梁恒承. (1985). 製煉所 隣近 地域の 土壤 및 水稻體中 重金屬 含量에 관한 조사연구. 韓土肥誌 **18**(4) : 336~347.
10. 吉川博. (1972). 金屬的健康への影響. 公害と對策 **8**(6) : 17~27.
11. 伊藤秀文, 飯村康二. (1971). カドシウム土壤お

- よて農作物のにつひて. 中部 土壤肥料研究 **34** : 1~15.
12. Friberg, L. M., Piscator and GNorberg. (1971). Cadmium in the environment. CRC Press, Cleveland, Ohio: 166.
 13. Bemmer, I. (1974). Heavy metal toxicities, Quarterly Rev. Biophysics **7** : 75~1124.
 14. Enviromental Studies Board. (1973). A report of use committee on water quality criteria, EPA. report. 3-73-033, Washington D.C.
 15. 陸昌洙, 趙成鎮. (1980). 水質複合 汚染이 農作物 生育에 미치는 影響에 관한 研究. 農村振興廳 産學協同 : 1~30.
 16. Bingham, F. T., Page, A. L., Mahler, R. J. and Ganje, T. J. (1976). Cadmium availability to rice in sludge-amended soil under "Flood" and "nonflood" culture. Soil Sci. Soc. Am. J. **40** : 715~719.
 17. 齊藤喜亮. (1961). 鑛害地産植物成分に關する研究(第5報) 作物中銅含量について. 日土肥誌 **32** (4)145~148.
 18. Flick, D. F., Kraybill, H. F. and Dimitroff, J. M. (1971). Toxic effect of Cadmium Review Environronmental Research **4**(2) : 71~85.
 19. 金奎植. (1980). 畚土壤에 있어서 石灰施用이 水稻의 Cadmium 吸收에 미치는 影響. 忠北大學校 大學院 論文集 **6** : 179.
 20. 農村振興廳. (1988). 土壤化學 分析法.
 21. 李敏孝, 金福鎮, 朴永善, 鄭榮鎬. (1981). 畚土壤中の Cdmium分析法에 關한 研究. 韓土肥誌 **14** (4) : 230~235.
 22. 農林水産技術會議 事務局. (1972). 土壤および作物體の分析法 (1), (2), (3). 日土肥誌 **43**(7), (8), (9) : 264~270, 305~311, 349~356.
 23. 金福榮, 蘇奎鎬, 金奎植, 趙在規, 趙日換, 禹基大. (1990). 韓國 밭土壤 및 穀物中の 重金屬 自然含有量에 關한 調査研究. 農試論文集(土壤肥料編) **32**(2) : 57~68.
 24. 徐胤洙, 文和會, 金仁基, 金學燁, 金盛煥, 池達頭. (1962). 土壤中 重金屬 自然含有量에 關한 調査報告. 國立環境研究所報 **4** : 198~198.
 25. _____ . (1981). 土壤 重金屬 自然含有量에 關한 研究. - 畚土壤中心으로. 國立環境研究所報告 **3** : 177.
 26. 卓秀範. (1988). 亞鉛鑛山 隣近地域의 重金屬 汚染度 調査. 嶺南大學校 環境大學院 碩士學位論文集 : 1~35.
 27. 李敏孝, 金福榮. 1984, 土壤中 重金屬(Cd, Zn)의 處理가 옥수수 生育 및 吸收에 미치는 影響, 韓國環境農學會 **4**(1) : 11~17.
 28. 農村振興院. (1983). 農事試驗研究調査基準.