

土壤中 重金屬含量이 파, 상치의 重金屬吸收 및 生育에 미치는 影響

金福榮

Effect of Heavy Metal Contents in Upland Soil on the Uptake by Green onion and Lettuce and their growth

Bok-Young Kim

Abstract

The heavy metal contents of soils which had been contaminated with mine residues and green onion and lettuce which were grown on these soils were analyzed. The results obtained are summarized as follows:

1. Heavy metal contents in the soil where green onion and lettuce died back or were poor in growth were unusually high.
2. Heavy metal contents in the plants grown in the soil of high level of metals were also high, in the order of root > leaf > stem. In case of Mn, however, the content was the highest in the leaf.
3. Contents of Cd, Cu, Zn and Ni in soil were positively correlated with those in plant. In case of Pb, there was no consistent relationship between the contents in soil and plant.
4. Even in the soils where plant growth appeared to be normal the heavy metal contents both in soil and in plant were higher than the national average.

Key word: heavy metal, green onion, lettuce, cadmium, copper, lead, chromium, nickel, iron, manganese.

緒 言

중금속에 의한 농경지 오염은 중금속을 함유한 폐기물 또는 폐수가 농경지에 유입되거나 대기분진 등에 의해서

오염되어 진다^{1,2,3,4,5}. 중금속으로 오염된 토양에서 자란 식물들은 중금속성분을 많이 함유할 뿐만 아니라 생육에 장애를 초래한다는 보고가 있다^{6,7,8}. 광산활동으로 인한 농경지 오염은 그 역사가 오래되었으며 우리나라와 농

업환경이 비슷한 일본에서 1955년 富山縣 神通川 流域에서 지역 주민들이 중금속이 오염된 물이나 쌀을 먹어서 신체중의 뼈가 구부러진다거나 기침만으로 가슴뼈가 갈라지는 비참한 병인 아프다 아프다(이따이 이따이) 병이 발생되었다⁹⁾. 이를 계기로 일본에서 토양오염방지법이 제정되었고 토양오염에 대한 대책사업이 해당지역의 지방자치단체를 중심으로 활발히 수행되고 있다.

우리나라도 과거에 전국적으로 많은 금속광산이 산재되어 있었으나¹⁰⁾ 이들 광산은 경제성의 악화로 대부분이 휴광되거나 폐광되어 있어 이들 주변의 농경지 오염이 우려되고 있으며 농작물의 피해도 예상된다. 따라서 이들지역에 대한 조사와 논을 중심으로한 연구가 관련 연구기관이나 학계에서 이루어지고 있으나^{12,3,4)} 원예작물에 대한 중금속의 피해양상이나 흡수정도 등은 조사 보고된 바가 거의 없는 실정이다.

따라서 본연구는 중금속으로 오염된 토양에 파와 상치를 재배할 때 중금속에 의한 파와 상치의 피해양상과 이들중 중금속 함량을 조사하였다. 또한 토양중 중금속함량과 식물체중 함량과의 관계를 구명하여 중금속오염 피해해석의 기초자료로 활용코자 본조사를 실시하였다.

재료 및 방법

가. 시료채취

시료채취 지역은 경기도 시흥군으로서 광산에서 버려지는 광미사가 발인근에 퇴적 되었다가 밭 토양에 광미사가 많이 혼입된 곳은 파와 상치의 생육이 매우 불량하였고 적게 혼입된 곳은 정상생육을 하고 있었다. 이들의 생육 상황을 보아 파 밭은 지점을 I, II, III, IV, V로 5등분, 상치 밭은 I, II, III, IV, V, VI으로 6등분하여 각각의 토심 15cm까지의 토양과 생육하고 있는 파와 상치의 식물체를 채취하였다.

나. 시료조제 및 분석방법

채취한 토양시료는 비닐하우스내에서 풍건하여 마쇄

하고 체목 20메쉬 체를 통과시켜 pH는 초자전극법으로 측정하였고, EC는 EC meter를 이용하여 측정하였다. 토양의 Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Fe, Mn 등은 시료 10g을 250ml 삼각 플라스크에 칭량하여 0.1N-HCl(Pb의 경우 1N-NH₄OAc) 용액 50ml를 가하고 실온에서 1시간 왕복진탕기로 진탕한 후에 여과하여 그 여액을 원자흡광분석기(IL-250)로 측정하여 표준액과 비교하여 각각의 함량을 산출하였다^{11,12,13,14,15)}.

식물체는 물에 깨끗이 세척한 후에 파는 잎과 뿌리로, 상치는 잎, 줄기, 뿌리로 분리하여 음지에서 건조후 건조기내에서 재건조하여 식물체 분쇄기로 분쇄하였다. 분말 3g을 칭량하여 삼각플라스크에 취하고 Ternary solution(HNO₃ : HClO₄ : H₂SO₄ = 10 : 4 : 1) 20ml를 가하여 열판상에서 가열 분해하여 그 분해액에 물을 가하여 희석하고 No.6 여지로 여과하였다. 그 여액을 원자흡광분석기(IL-250)를 이용하여 Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr 등 중금속을 측정하고 표준액과 비교하여 각각의 함량을 산출하였다^{11,12,13,14,15)}.

결과 및 고찰

1. 파, 상치잎의 피해증상

파나 상치는 한필지의 밭에 재배되고 있었으나 비닐 하우스는 다르며 동일한 하우스에서도 한쪽은 피해가 심하여 파종한 실파는 거의 생육을 못하였고 일부생육이 된 것도 노란색으로 거의 고사 상태이며 피해지점에서 거리가 멀어질수록 생육이 왕성하여 정상생육을 하고 있었다(사진 1). 파의 피해증상은 비 잎에 중금속 함량이 많을때 토양에 뿌리가 활착을 못하고 하얗게 말라죽는 것과 유사한 증상¹⁶⁾을 나타내고 있었다.

상치는 어린묘를 이식한 것으로서 동일한 하우스 내에서 한편에는 적갈색으로 잎의 크기도 작고 거의 생육을 하지 못하고 있으며 피해지점에서 멀어질수록 상치잎도 커다랗게 자라고 있어 다른편에서는 정상생육을 하고 있었다.

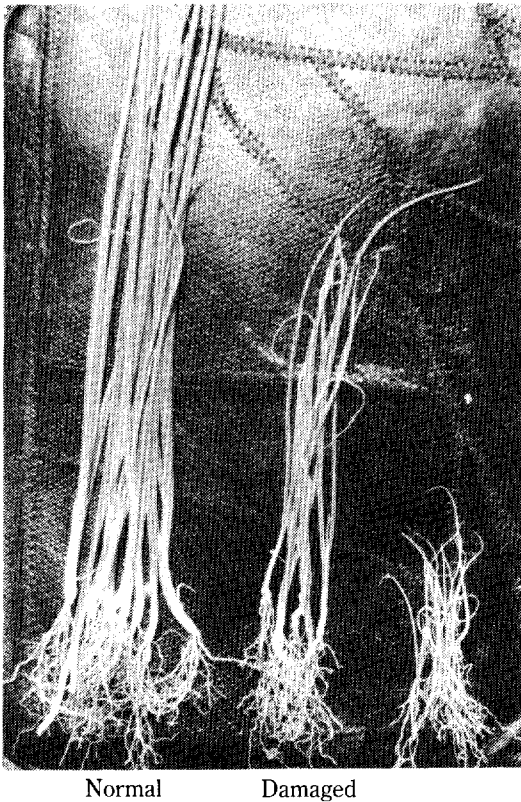


Photo. 1 Symptoms of heavy metal toxicity to green onion

2. 토양의 pH, EC 및 중금속 함량

토양중 pH는 표1과 같이 파는 6.0~6.5, 상처는 5.6~6.9이며 파나 상처 모두 피해가 심한 부위가 pH가 낮고 정상생육을 하는 부위가 높은 경향이었다. EC는 파는 0.17~0.78dS/m, 상처는 0.14~0.91dS/m로서 동일포장인데도 EC농도의 차이가 매우 심한 편이었다. EC가 높은데도 pH가 낮은 것은 광미사중 중금속의 영향으로 생각되었으며 농작물 피해가 심한 곳에서 EC의 농도가 높은 경향으로 나타나고 있으나 농작물에 정상 한계농도로 알려진 2dS/m¹⁷⁾보다는 낮았다.

중금속중 카드뮴의 경우는 파에 피해가 거의 없이 정상으로 자라는 토양은 0.3mg/kg이며 피해가 심한 지점의 토양은 3.05mg/kg으로 10배 이상 차이가 있었고 상처 발 토양은 0.44에서 0.92mg/kg으로 2배 이상의

차이를 보여 파발이 오염도가 심하였다. 구리의 경우 파발은 무피해 지점에서 7.3mg/kg인데 비하여 피해가 심한 I 지점 626.1mg/kg으로 약 9배 이상의 차이를 보였으며 상처 발은 무피해지점 IV이 6.8에서 피해지점 I은 680mg/kg으로 역시 10배의 함량 차이를 보이고 있었다. 납의 경우는 파발은 무피해 지점에서 0.9에서 피해가 심한 지점은 121mg/kg으로 무피해 지점에 비해 피해 지점이 120배 정도 높았고 상처 발은 1.3에서 61.8 mg/kg으로 약 5배의 차이를 보이고 있었다. 아연의 경우에는 파발은 198에서 631mg/kg으로 약 3배, 상처 발은 260에서 633mg/kg으로 2.4배의 정도 차이를 보이고 있었다. 크롬, 니켈, 망간도 피해지점이 높고 무피해 지점이 낮은 경향이었으나 철함량은 일정한 경향이 없는 것으로 나타나서 김¹¹⁾이 보고한 연, 아연광산폐수 오염지 토양중 중금속 함량 최고치 카드뮴 17.9, 구리 69.9, 납 434.2 아연 868.1mg/kg과 비교하면 카드뮴, 납과 아연은 낮고 구리는 높게 나타나서 광산 폐수 오염지와 유사하게 높았다. 카드뮴, 구리, 납, 아연, 크롬, 니켈, 망간 등 모든 원소가 농작물에 피해가 심한 지점은 모든 원소가 함께 오염되어진 것으로 판단되었으며 특히 아연은 무피해 지점에서도 일반농경지의 자연함량(8.5mg/kg)¹⁸⁾과 채소원예지 토양(16.23mg/kg)¹⁹⁾ 보다 월등히 높은 것으로 나타났고 카드뮴, 구리, 크롬, 니켈 등도 자연함량¹⁸⁾과 채소원예지 토양¹⁹⁾ 보다는 높게 나타났으나 납만은 일반 농경지²⁰⁾ 보다 낮은 함량이었다. 따라서 대부분의 중금속이 정상생육 지점에서도 오염되어진 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 농작물 피해농도인 구리 125, 아연 150~500, 니켈 3~10mg/kg을²¹⁾ 초과하였다. 따라서 파와 상처에 피해가 발생된 것은 구리와 아연, 니켈에 의하여 피해가 발생되었다고 할 수 있으나 이들의 성분은 한가지 성분만이 높은 것이 아니고 모든 성분이 같이 높기 때문에 이들이 복합적으로 피해가 유발되었다고 생각되어진다.

3. 파일 및 뿌리중의 중금속 함량

파 잎과 뿌리중의 중금속 함량은 표 2에서와 같이 토양중에 중금속 함량이 많았던 I 지점이 가장 많았고

Table 1. Heavy metal contents extracted with 0.1N HCl of upland soil. Lead was extracted with 1N-NH₄OAc.

Point	pH (1 : 5)	EC dS/m	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Fe	Mn	
											(mg/kg)
Green onion	I	6.0	0.78	3.05	626.1	120.8	631.0	2.83	13.18	73.6	129.7
	II	5.8	0.35	1.16	126.3	15.5	216.1	1.65	6.04	135.0	62.5
	III	6.2	0.38	0.52	13.2	1.3	330.6	2.20	3.85	88.8	74.0
	IV	6.4	0.18	0.48	10.2	1.6	233.4	1.65	6.04	117.9	70.2
	V	6.5	0.26	0.30	7.3	0.9	198.8	1.83	5.48	122.0	70.2
	Mean	6.2	0.39	1.02	156.6	28.0	322.0	2.03	6.92	107.5	81.3
Lettuce	I	6.2	0.91	0.92	680.5	61.8	633.1	2.64	7.14	86.6	111.6
	II	5.6	0.94	0.51	129.3	8.4	553.2	1.54	12.63	128.1	82.3
	III	6.2	0.46	0.41	18.6	1.9	337.1	1.65	6.87	108.0	66.4
	IV	6.2	0.45	0.42	11.1	1.3	259.3	1.84	4.46	136.4	68.3
	V	6.5	0.14	0.34	12.0	15.4	285.2	1.75	5.57	115.8	69.2
	VI	6.9	0.21	0.44	6.8	3.9	280.9	0.92	5.11	15.9	52.3
	Mean	6.3	0.52	0.51	143.1	15.5	391.5	1.72	6.93	98.5	75.0

정상생육을 하던 V 지점에서 가장 낮았으며 모든 성분이 뿌리에서 높은 경향이었는데 김^{22, 23)}의 보고에서도 뿌리중 함량이 높은 것으로 나타나 본 조사와 같은 경향을 나타냈다.

토양중 카드뮴함량이 높은 지점에서도 뿌리에서 12.1 mg/kg이 축적되었고 잎에서는 1.67mg/kg이었으나 낮은 지점에서는 뿌리에서 2.86mg/kg이나 잎에서는 0.36mg/kg으로 모두 뿌리에서 8배정도 더 많았다.

구리의 경우는 토양중 높은 지점에는 뿌리에서 372.4 mg/kg이나 잎에서는 43.0mg/kg으로 8배 정도이며, 낮은 지점에서는 뿌리에서 26.6mg/kg이었으나 잎에서는 9.9 mg/kg으로 3배 정도가 높아서 농도가 높은 곳에서 뿌리에 축적율이 높게 나타났다.

납의 경우에도 높은 농도에서 뿌리는 14.99mg/kg으로 잎의 3.33mg/kg보다 4배 정도가 높은 반면 일부지점의 시료에서는 뿌리에서 검출되지 않았고 잎에서 1.33인데 뿌리에서 9.99mg/kg의 농도를 나타내는 경우도 있어 일정한 경향이 인정되지 않았다.

아연의 경우도 뿌리에서 잎보다 많이 검출 되었는데 높은 농도에서는 1.5~2배 정도이고 낮은 농도에서는

잎에서 26mg/kg인데 반하여 뿌리에서는 255mg/kg으로 약 10배 정도 많이 검출되어 함량이 높을 수록 이행비율은 낮아졌으나 그 함량은 2,400mg/kg으로 매우 높았다.

크롬의 경우는 뿌리중 함량은 토양중 함량과 별 차이가 없으나 잎에서는 높은 지점에서 도리어 불검출되는 경향을 나타내어 이행이 잘 안되었는데 이는 타성분의 흡수에 의하여 이행이 방해가 되었기 때문인 것으로 생각되었다. 니켈의 경우는 높은 함량에서는 뿌리에 축적이 이루어지고 있으나 낮은 함량에서는 뿌리의 축적이 이루어지지 않고 있는 경향이였다.

망간의 경우는 뿌리보다는 잎에서 그 함량이 높았는데 이는 김 등²²⁾의 보고서에서도 똑같은 경향을 나타내 망간은 식물체에서 이행이 매우 용이한 것으로 판단되고, 정²⁴⁾의 보고에 의하면 야생 식물체엔 고마리와 망초의 경우 카드뮴과 아연의 함량은 잎 줄기 뿌리의 순으로 낮았으며 구리는 뿌리 잎 줄기의 순으로 낮아 식물의 종류나 증감속 성분에 따라서 차이가 있는 것으로 생각된다.

철의 경우는 잎 보다 뿌리에서 4~5배 정도 높았으나

Table 2. Heavy metal contents in leaf and root of green onion.

(Unit : mg/kg)

Point	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Fe	Mn	
Leaf	I	1.67	43.0	3.33	2,400	0.00	11.17	68.0	164.2
	II	0.83	17.3	1.67	1,482	0.00	4.76	54.0	155.0
	III	0.29	12.6	2.33	334	3.83	4.76	39.5	93.6
	IV	0.19	10.3	1.67	80	4.60	4.76	39.9	86.0
	V	0.36	8.9	1.33	26	5.82	4.76	37.0	41.7
Mean	0.67	18.4	2.07	86	2.85	6.04	47.7	108.1	
Root	I	12.13	372.4	14.99	3,732	20.68	30.76	341.9	72.9
	II	11.35	215.6	Nd	3,052	5.52	14.29	250.5	47.9
	III	4.21	61.6	Nd	445	27.57	0.55	195.1	63.6
	IV	2.14	53.5	Nd	343	22.98	2.75	239.5	44.3
	V	2.86	26.6	9.99	255	22.98	Nd	225.3	41.6
Mean	6.54	193.8	5.00	1,565	19.95	9.67	250.5	54.1	

* Nd : Not detected

함량의 차이에 따라서는 일정한 경향이 없었는데 이는 토양의 함량이 일정한 경향이 없었기 때문으로 생각된다. 광산오염지에서 콩잎은 카드뮴이 19.99, 구리는 15.0, 납은 0.98, 아연은 2,988ppm 이라고 보고한 이²⁵⁾의 보고와 비교하면 구리와 납은 높고 카드뮴과 아연은 매우 낮는데 이는 작물이 다르기 때문으로 생각된다.

이들의 정상적 중금속 함량은 우리나라 과일류의 중금속 자연함량인¹⁹⁾ 카드뮴 : 0.044, 구리 : 2.5, 크롬 : 0.46, 니켈 : 0.82mg/kg보다 높았고 납은 자연함량 1.03 mg/kg과 유사하고 아연은 자연함량 54.1mg/kg 보다 도리어 월등히 낮게 나타나고 있었다. 아연과 납을 제외하고는 정상생육지점 V에서도 오염이 이루어진 것으로 생각된다.

4. 상처잎 줄기 및 뿌리중의 중금속 함량

카드뮴을 잎, 줄기, 뿌리별로 보면 뿌리에서 2.39mg/kg으로 가장 높고 다음이 잎, 줄기의 순이었으며 토양중 높은 농도에서는 뿌리에서 높았으나 낮은 농도와 잎과 줄기에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(표 3)

뿌리에서 구리는 낮은 지점에서는 30.8mg/kg이나 높은 지점에서는 약 500mg/kg이며 잎에서는 16.8~28.5 mg/kg이고 줄기에서는 16.8~48.4mg/kg으로 나타나서 토양에서 낮은 함량은 낮게 나타났고 높은 함량은 뿌리의 축적이 많았으며 잎과 줄기에서는 뿌리에서 보다

함량의 차이가 적었다.

납의 경우는 농도나, 잎, 뿌리, 줄기 등 식물체 부위와는 일정한 관계가 없이 불규칙하게 나타났으며 많은 량이 축적되지 않은 것으로 나타났다.

아연의 경우는 뿌리, 줄기, 잎 모두 토양중 낮은 농도에서 낮게 나타났고 높은 농도에서 높게 나타났으며 뿌리에서 그 축적이 많고 다음이 잎, 줄기 순으로 나타나고 있다.

크롬은 뿌리에서는 I 지점과 V 지점에서만 많은 량이 검출되고 잎과 줄기에서는 토양중 농도와 관련없이 불규칙하게 나타나고 있어 뿌리에서 잎과 줄기의 이행은 잘되고 있으나 토양중 농도가 많더라도 식물체에 많은 경향은 없었다.

니켈은 뿌리에서 많이 축적되는 경향이나 토양중 함량에 따라서는 식물체에 일정한 경향을 나타내지는 않았다.

망간은 파에서와 마찬가지로 잎에서의 함량이 가장 많고 뿌리 줄기의 순이며 토양중에 함량이 많은 I, II 지점이 식물체중 함량이 높고 토양중 함량이 적은 V, VI 지점이 식물체중 함량이 낮은 것으로 나타나서 식물체의 이행은 매우 잘되는 것으로 판단되었다.

정²⁴⁾의 보고에 의하면 야생식물에서 중금속의 부위별 함량은 고마리와 망초에서 카드뮴과 아연의 함량은 잎 줄기 뿌리순으로 낮는데 구리는 뿌리 잎 줄기순으로

Table 3. Heavy metal contents in leaf and root of lettuce.

(Unit : mg/kg)

Point	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Fe	Mn	
Leaf	I	0.476	28.5	0.83	1,085	3.06	4.76	59.6	133.0
	II	1.308	19.6	5.83	1,205	3.37	3.85	54.0	485.3
	III	0.999	21.8	0.17	541	7.66	8.42	75.4	77.5
	IV	0.761	18.0	Nd	321	3.06	6.59	91.6	95.2
	V	0.833	12.9	2.83	289	2.76	2.93	82.8	30.9
	VI	0.880	16.8	8.33	117	6.13	6.77	104.9	17.1
Mean	0.876	19.6	3.00	593	4.34	5.55	78.1	139.8	
Stem	I	0.071	48.4	5.83	813	5.22	8.42	45.4	36.8
	II	0.595	29.1	7.83	790	2.87	2.93	57.7	91.9
	III	1.190	40.1	3.00	564	5.21	Nd	119.7	46.0
	IV	0.547	19.1	5.00	222	3.74	Nd	79.8	39.4
	V	0.238	14.0	1.67	203	4.35	2.93	138.9	31.1
	VI	Nd	16.8	5.50	85	3.31	1.10	124.2	15.0
Mean	0.440	27.9	4.81	446	4.12	2.56	94.3	43.4	
Root	I	4.14	469.0	2.50	3,698	16.08	30.76	920.1	50.2
	II	4.43	495.6	6.00	2,984	Nd	14.28	412.4	86.7
	III	1.43	95.2	2.50	379	Nd	1.10	350.3	33.3
	IV	1.50	60.2	6.00	404	9.19	0.55	288.2	36.3
	V	1.29	30.8	5.00	404	Nd	8.79	328.1	27.6
	VI	1.57	44.2	25.00	208	Nd	19.77	394.6	21.7
Mean	2.39	199.2	7.83	1,347	4.21	12.54	449.0	42.6	

* Nd : Not detected

낮아 식물체나 증금속 성분에 따라서 차이가 있는 것으로 생각된다.

피해증상이 없이 정상생육을 하고 있는 지점 VI에서 상치잎에서는 우리나라의 상치 평균카드뮴 : 0.051, 구리 : 6.41, 납 : 3.85, 아연 : 62.86, 크롬 : 불검출, 니켈 : 1.61mg/kg⁽⁹⁾보다 모두 높게 검출되었으며 발 전체가 높은 함량을 나타내고 있어 발 전체가 오염에 영향이 있는 것으로 생각된다.

5. 토양중 증금속 함량과 식물체함량과의 관계

토양중 함량과 파잎중의 카드뮴함량은 그림 1에서와 같이 $Y=0.53x+0.08$ ($r=0.9801^{**}$)의 직선 상관성이 성립되어 토양중 함량이 높을수록 식물체 잎중 함량이 정비례하여 증가하는 것을 의미하므로 토양중 함량 조사만으로도 파잎의 함량을 추정할 수 있을 것으로 생각되었다.

토양중 구리함량과 파잎중 함량은 그림 2와 같이 $Y=$

$0.05x+10.16$ ($r=0.9960^{**}$)의 직선상관을, 뿌리의 함량과는 그림 3과 같이 $Y=-0.002x^2+1.7x+29.5$ ($r=0.9977^{**}$)의 2차곡선 상관을 나타내어 토양중 함량이 높을수록 파잎이나 뿌리의 함량이 높게 나타났으며 토양중 함량으로 파잎이나 뿌리의 함량을 추정할 수가 있었다.

토양중 니켈함량과 파잎중 함량과는 그림 4와 같이 $Y=0.77x+0.73$ ($r=0.9687^{**}$)의 직선 상관을 나타내고 뿌리중 함량은 그림 5와 같이 $Y=3.4x-13.65$ ($r=0.9264^{**}$)의 직선 상관을 나타내어 토양중 함량이 많을수록 파잎과 뿌리중의 함량이 많은 것으로 나타나서 토양중 함량으로서의 식물체의 함량을 추정할 수 있었다.

토양중 카드뮴함량이 증가함에 따라서 상치 뿌리중 카드뮴함량이 증가되었고 토양중 구리함량과 상치잎중 함량과는 $Y=0.017x+17.2$ ($r=0.8473^{**}$)의 직선 상관을 나타내었는데 그림 6과 같이 20mg/kg미만의 낮은 농도에서 수직분포를 나타내고 있어 높은 농도에서의

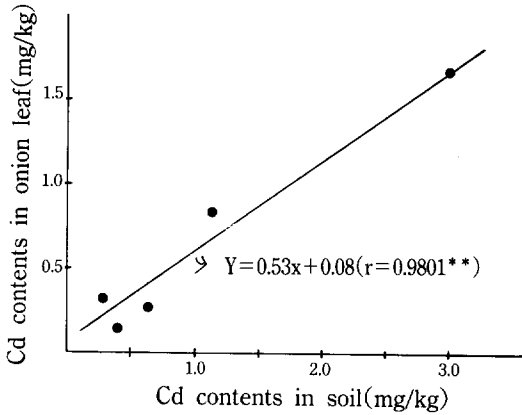


Fig 1. Relationship between cadmium contents in soil and in green onion leaf.

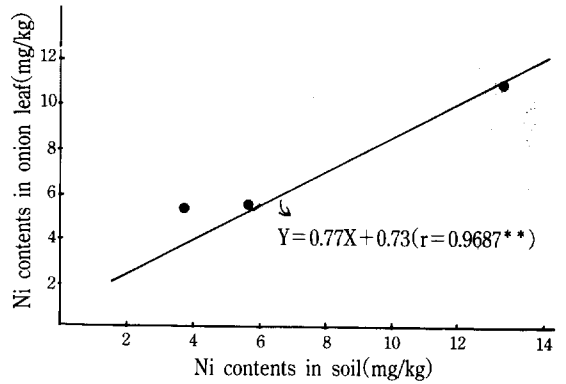


Fig 4. Relationship between nickel contents in soil and in green onion leaf.

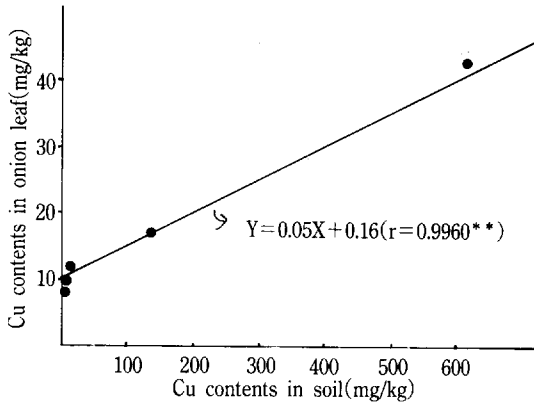


Fig 2. Relationship between copper contents in soil and in green onion leaf.

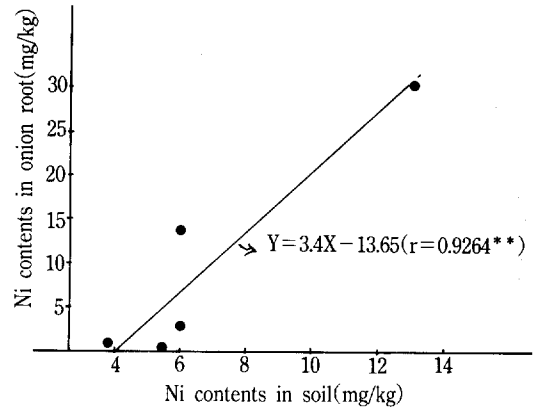


Fig 5. Relationship between nickel contents in soil and in green onion root.

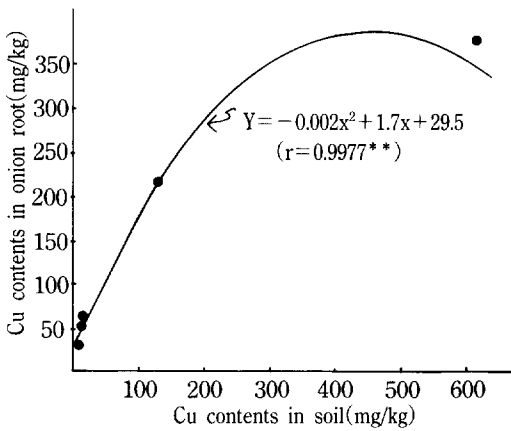


Fig 3. Relationship between copper contents in soil and in green onion root.

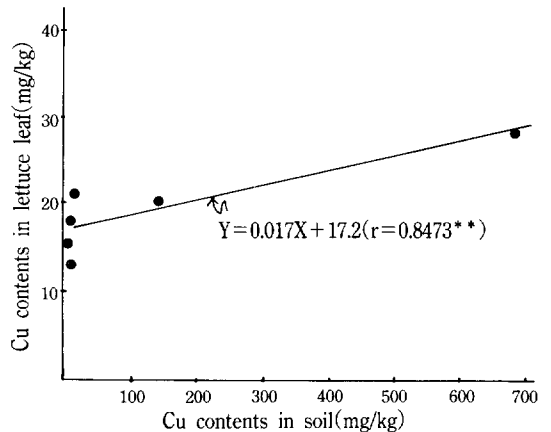


Fig 6. Relationship between copper contents in soil and in lettuce leaf.

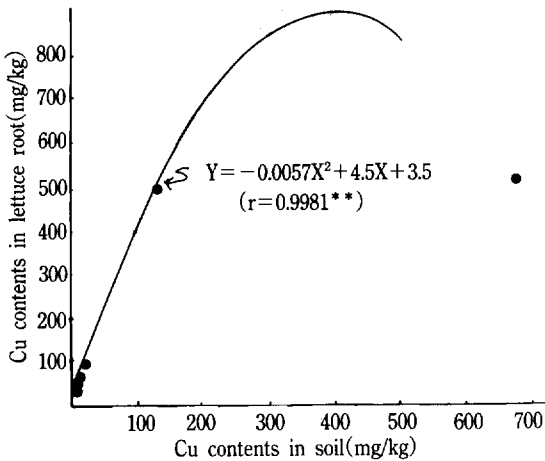


Fig 7. Relationship between copper contents in soil and in lettuce root.

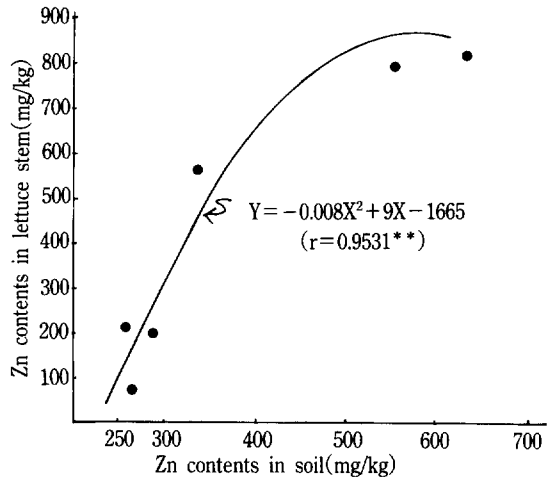


Fig 9. Relationship between zinc contents in soil and in lettuce stem.

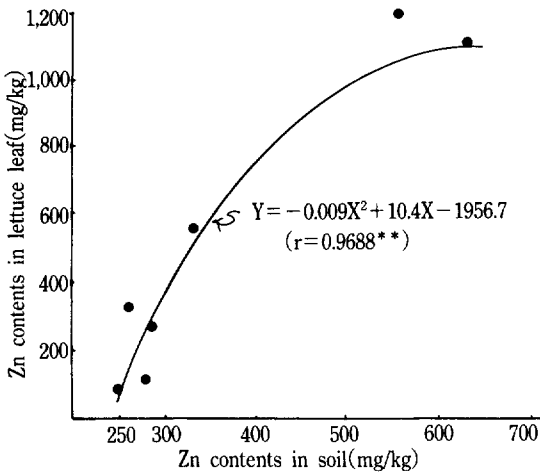


Fig 8. Relationship between zinc contents in soil and in lettuce leaf.

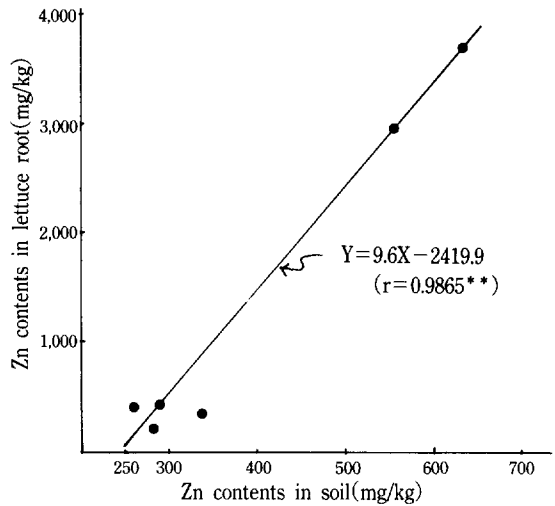


Fig 10. Relationship between zinc contents in soil and in lettuce root.

본포경향과는 차이를 나타내고 있었고 뿌리중 구리함량과는 $Y = -0.0057x^2 + 4.5x + 3.5$ 의 직선 상관을 나타내고 있으며 토양중 함량으로 상치 뿌리중 함량을 추정할 수 있었다.

토양중 아연함량이 증가함에 따라서 상치잎중 아연함량은 그림 8과 같이 $Y = -0.009x^2 + 10.4x - 1956.7$ ($r = 0.9688^*$)로 증가되어 토양중 함량이 증가함에 따라서 식물체중 함량도 증가되었고, 줄기중 함량은 $Y = -0.008x^2 + 9x - 1665$ ($r = 0.9531^{**}$)로 증가되어서 잎과 유사한

경향을 나타내고 있고 뿌리중 함량은 그림 10과 같이 $Y = 9.6x - 2,419.9$ ($r = 0.9865^{**}$)의 직선 상관을 나타내어 토양중에 아연의 함량이 많을 경우에 잎, 줄기, 뿌리 모두에 흡수축적되는 것으로 나타내고 있었다.

토양중 함량과 식물체중 함량과는 일반적으로 카드뮴, 구리, 아연, 니켈에서 유의성이 있는 것으로 나타내고 있고 이²⁵⁾의 보고에 의하면 광산 인근 농경지에서 토양중

중금속 함량과 옥수수 잎과는 대부분이 고도의 유의성이 있는 것으로 보고되어 있어 중금속 오염지에서는 식물체에 흡수축적되는 것으로 생각된다.

우리나라 중금속 자연함량 조사에서는 상치는 구리에서만 유의성이 있고 파에서는 각성분 모두 유의성있는 상관성이 없어¹⁹⁾ 본 조사와는 상이한 결과를 나타내었는데 본 조사지역은 오염지이기 때문에 토양중 중금속 함량이 높아서 유의성이 있고 비오염지는 중금속 함량이 낮아서 유의성이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

요 약

중금속이 오염된 밭토양이 그 토양에서 재배된 파와과 뿌리 및 상치잎, 줄기, 뿌리 시료중 카드뮴, 구리, 납, 아연, 크롬, 니켈, 철, 망간의 중금속 함량을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 파와 상치가 고사 또는 생육이 불량한 지점에서 토양중 중금속 함량이 많이 검출되었다.
2. 토양중 중금속함량이 높은 지점에서 식물체중 중금속이 많이 검출되었으며 일반적으로 뿌리, 잎, 줄기의 순서로 많았으나 망간은 잎에서 많이 검출되었다.
3. 토양중 함량과 식물체중 함량간에는 카드뮴, 구리, 아연, 니켈은 고도의 유의성 있는 증가를 가져왔으나 납은 일정한 경향이 없었다.
4. 파와 상치가 정상생육을 하고 있는 지점의 토양중 중금속 함량이 우리나라 일반 밭토양의 평균 함량보다 높았고 식물체에서도 높은 경향이었다.

參考文獻

1. 金福榮. (1993). 土壤 汚染實態와 改善 對策. 環境 保全型 農業을 위한 土壤 管理심포지엄 韓國土壤 肥料學會 別券: 68~98
2. 金福榮. (1993). 製鍊所 및 鑛山隣近 土 壤中 重 金屬 含量調査. 農作物被害調査(事例編) 農業技術 研究所報告書: 74~94.
3. 金成朝, 梁桓承. (1985). 製鍊所隣近地域 土壤 및

水稻体中 重金屬 含量에 관한 調查研究. 韓國土壤 肥料學會誌 **18**(4):74~77.

4. 柳順昊, 李春寧. (1980). 亞鉛鑛山地域의 鎔 土壤과 玄米中の 카드뮴 및 亞鉛含量. 學術院 論文集 自然 科學編. **19**: 255~266.
5. 金福榮. (1990). 土壤汚染과 改良對策. 農工技術 **7** (2): 135~143.
6. 青峰重範 本莊吉男. (1954). 長崎縣 下縣部 佐順村의 鑛毒土壤에 について, 日本土壤肥料學會誌, **25**(1): 27~30.
7. 出口正夫. (1955). 渡良瀬川 鑛毒에 關する 研究 灌溉水の 性質と 水稻被害의 實體에 について, 日本 土壤肥料學會誌, **26**(3): 81~87.
8. 齊藤喜亮. (1961). 鑛害地産 植物成分에 關する 研究 作物體中 銅含量에 について, 日本土壤肥料學會誌, **32** (4): 145~148.
9. 宮島信夫. (1983). 日本에 있어서의 公害의 歷史와 環境計量證明事業의 現狀에 대하여 韓國技術士會 **16**(4): 74~77.
10. 박용하. (1994). 體·廢鎔 金屬鑛山地域의 汚染管 理對策 韓國環境技術開發院 單行本: 5~14.
11. 農村振興廳. (1980). 土壤化學分析法: 263~275.
12. 環境處. (1983). 土壤編. 環境汚染 公定試驗法(大氣 水質分野): 739~742.
13. 農林水産技術協議事務局. (1972). 土壤および 作物 體の分析法(1) 日本土肥誌 **43**(7): 264~270.
14. 農林水産技術協議事務局. (1972). 土壤および 作物 體の分析法(2) 日本土肥誌 **43**(8): 305~311.
15. 農林水産技術協議事務局. (1972). 土壤および 作物 體の分析法(3) 日本土肥誌 **43**(8): 349~356.
16. 金萬壽. (1985). 農作物環境汚染 被害解析, 單行本: 85~86.
17. 韓基학. (1989). 비닐하우스 農家土壤의 各 成分別 過不足率, 農土培養 10周年事業 綜合報告書: 187.
18. 金福榮, 蘇奎鎬, 金奎植, 趙在規, 趙日煥, 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 調查研究. 農試論文集 **32**(2): 57~68.

19. 金福榮, 蘇奎鎬, 金奎植, 禹基大, (1992). 菜蔬作物과 그 栽培土壤中 重金屬 自然含有量에 關한 調查研究. 農試論文集 **34**(2) : 56~70.
20. 金福榮, 金奎植, 趙栽規, 李敏孝, 金善寬, 朴英善, 金福鎮. (1982). 韓國 논 土壤 및 玄米中 重金屬의 天然賦存量에 關한 調查研究. 農事試驗研究報告 24 : 51~57.
21. 高井夷雄. 外 2人. (1976). 土壤汚染植物營養 肥料 大事典 : 1276~1279.
22. 金福榮, 金奎植, (1986). 農作物에 對한 납(pb)의 吸收 및 被害輕減에 關한 研究 4. 밭 作物의 납 吸收 移行과 石灰 및 磷酸의 影響 韓國土壤肥料科學 會誌 **21**(4) : 426~433.
23. 정기채, 김복진, 한상국. (1993). 아연광산 인근지역 야생식물중의 중금속 함량조사. 한국환경농학회지. **12**(2) : 105~111.
24. 李鍾八, 朴魯權, 金福鎮. (1994). 아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 옥수수 생육에 미치는 영향. 한국환경농학회지. **13**(3) : 241~250.