

만경강 유역의 토양과 수도체중 Cd 및 Zn 함량의 변화

김성조 · 백승화 · 김운성* · 윤기운** · 문광현 · 강경원*

Variation of Cadmium and Zinc Content in Rice and Soil of the Mangyeong River Area

Seong-Jo Kim, Seung-Hwa Baek, Un-sung Kim*, Ki-Woun Yoon**,
Kwang-Hyun Moon and Gyeong-Won Kang*

Abstract

To investigate differences in Cd and Zn contents of paddy soils and rice plants polluted by the municipal and industrial waste water in the Mangyeong River Area, soil and plant samples were collected at several distances from the main inlet and at different depths of the soil. Soil samples were extracted with 4M-HNO₃ and plant samples were digested with a mixture of HNO₃ and HClO₄ for analyzing heavy metals by atomic absorption spectrophotometry.

The contents of Cd and Zn in soils ranged from 0.38 to 1.17 and from 33.8 to 464.6mg kg⁻¹, respectively. The average Cd level in 1990 was less than that in 1982, but the Zn level in 1990 was higher than that in 1982 in general. No variation in Cd contents was observed in soils at the different distances from the source of waste water, but Zn contents in soils were lower with the increasing distances from the source of waste water. A significant correlation was observed among Cd content, OM, available silicate, CEC and Ca⁺⁺. Similar results existed among Zn content of 1982, OM and Ca⁺⁺. The Cd content in subsurface soils of 1992 was significantly correlated with Zn, Cu, and Pb in soils, and the Zn content in soils was significantly correlated with the Cu and Pb in soils, regardless of years. The Cd content in leaf blades of rice was more

* 한국식품연구소, Korea Advanced Food Research Institute (Seoul, 137-060, Korea)

** 신양유지(주) 품질관리실, Shinyang Oil and Fat Co., Ltd. Lab of Q.C. (Chungju, 580-080, Korea)

— 원광대학교 농과대학 농화학과, Department of Agricultural Chemistry College of Agriculture, Wonkwang University (Iri, 570-749, Korea)

— 본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구비 지원(KOSEF 90-0700-13)에 의하여 수행되었음.

than seven times higher than that in brown rice. The Zn content in rice was higher than that in leaf blades and in panicle axis. The Cd content in panicle axis and the Zn content in all parts of rice were correlated with Zn, Cu and Pb contents in soils.

The Cd and Zn contents in brown rice ranged from 0.10 to 0.90mg kg⁻¹ and from 4.2 to 95.9mg kg⁻¹ in the Mangyeong River Area, respectively.

서 론

산업활동의 증대 및 도시화로 인한 인구 집중 현상에 의하여 환경오염 물질인 중금속물질이 하천 및 대기중에 증가되고 있다. 이 밖에도 중금속 물질의 증가요인으로 농업용수의 관개¹⁾, 농약과 비료의 사용^{2,3)}, 도시하수 sludge 및 산업 폐기물의 농업자재로의 이용⁴⁾ 등으로 인하여 토양 중 이들 중금속 물질을 증가시키는 결과가 되고 있다⁵⁾.

Dean 등⁶⁾은 폐수로 부터 중금속의 제거에 대하여 보고하였으며 식물독성 또는 먹이연쇄를 통한 환경을 오염시킬 수 있는 원소 10가지로 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn등을 들고 있으며, Boon 과 Soltanpour⁷⁾는 은 광산 지역의 폐기물 처리에 의한 토양오염과 그 지역에서 재배된 12종의 식용작물 중의 Pb, Cd, Zn의 함량을 분석하여 건강에 잠재적인 위험을 줄 수 있다고 발표한 바 있다. 한편 도시하수 및 산업배출수 중에도 이들 중금속 물질이 함유되어 있어서^{8,9)} 이들을 농업용수로 관개하였을 경우 토양 중에서 그 함량이 높아진다¹⁰⁾. 실제로 도시하수 sludge 중에는 이와같은 중금속 물질들이 넓은 분포로 함유되어 있다^{4,11)}.

이중 Cd 및 Zn은 토양 중에서 Cu 및 Ni 등과 같이 유기물질과 강한 복합물질을 형성하고, 수산화물과 Phyllosilicate의 표면에 강하게 흡착되기 때문에 토양용액 중에 농도가 낮고 대부분 토양에 이동성이 작은 상태로 축적되고 있다^{3,12,13,14)}. 이와같이 토양 중의 Cd 및 Zn 함량은 토양 pH, CEC, 중금속물질간의 상호작용, 유기물질 함량등과 관계가 있음이 알려져 있는데, Chaney 등¹⁶⁾은 토양 pH 증가

는 작물에 의한 Cd의 흡수축적을 현저히 감소시키게 한다고 하였고, Zn의 첨가는 대두의 잎 중 Cd농도를 증가시키면서도 대두 중의 Cd 함량을 감소시키는 결과를 나타내고 있음을 보고하고 있다.

우리나라의 경우 아연광산 주변 농토양의 표토층에는 최고치로 Cd이 14.67 ppm, Zn이 1,763 ppm의 함량을 나타낸 곳도 있음을 보고하고 있다¹⁾.

토양표면의 퇴적물중 중금속 물질의 농도에 있어서 정도의 차이는 있겠으나 도시하수 및 공단배출수가 유입되는 하천유역의 농토양에서 관개수에 의한 중금속물질의 유입으로 토양 중에 다른 중금속과 함께 Cd 및 Zn 함량은 증가 하는 경향을 보이고 있었다⁹⁾.

본 연구는 수질오염에 따른 토양 중 Cd 및 Zn의 함량변화를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단배출수의 영향을 받는 만경강 유역의 농토양을 중심으로 1982년도와 1990년도에 표토와 심토로 구분하여 채취한 토양시료, 그리고 그 토양에서 재배된 수도채 중 Cd 및 Zn 함량을 분석하여 변화 요인을 추적 분석하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시료의 채취 및 조제

전라북도 만경강 유역에 공업단지로부터 배출되는 배수로와 도시하수 배출의 영향을 받는 전주천이 연결되는 지점을 기점으로 하여 하류방향으로 만경강유역의 제방내에서 1km 간격으로 전보의¹⁵⁾ 그림 1에서와 같이 각 30개지점을 선정하여 1982년에는 4월 30일부터 2주간, 1990년에는 10월 6일부터 1주

간에 걸쳐 층위별로 표토(0-15 cm : A)와 심토(15-30 cm : B)로 구분하여 토양시료를 채취하였다. 토양시료를 그늘진 곳에서 풍건 후 2mm체에 통과시켜 Polyethylene 병에 보관하였다가 분석 하였다. 1982 및 1990년에 채취한 토양을 표·심토 별로 나누어 물리·화학적 성질을 분석한 결과는 전보¹⁵⁾와

같다.

수도체 시료는 수확직전에 토양시료를 채취한 동일지점에서 1990년 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 지상부위 수도체를 채취하였다. 다만 미작지가 아닌 지점인 전보¹⁵⁾ 그림 1의 1 위치에서는 수도체의 채취가 불가능하였다. 수도체는 음전한 것을 50°C에

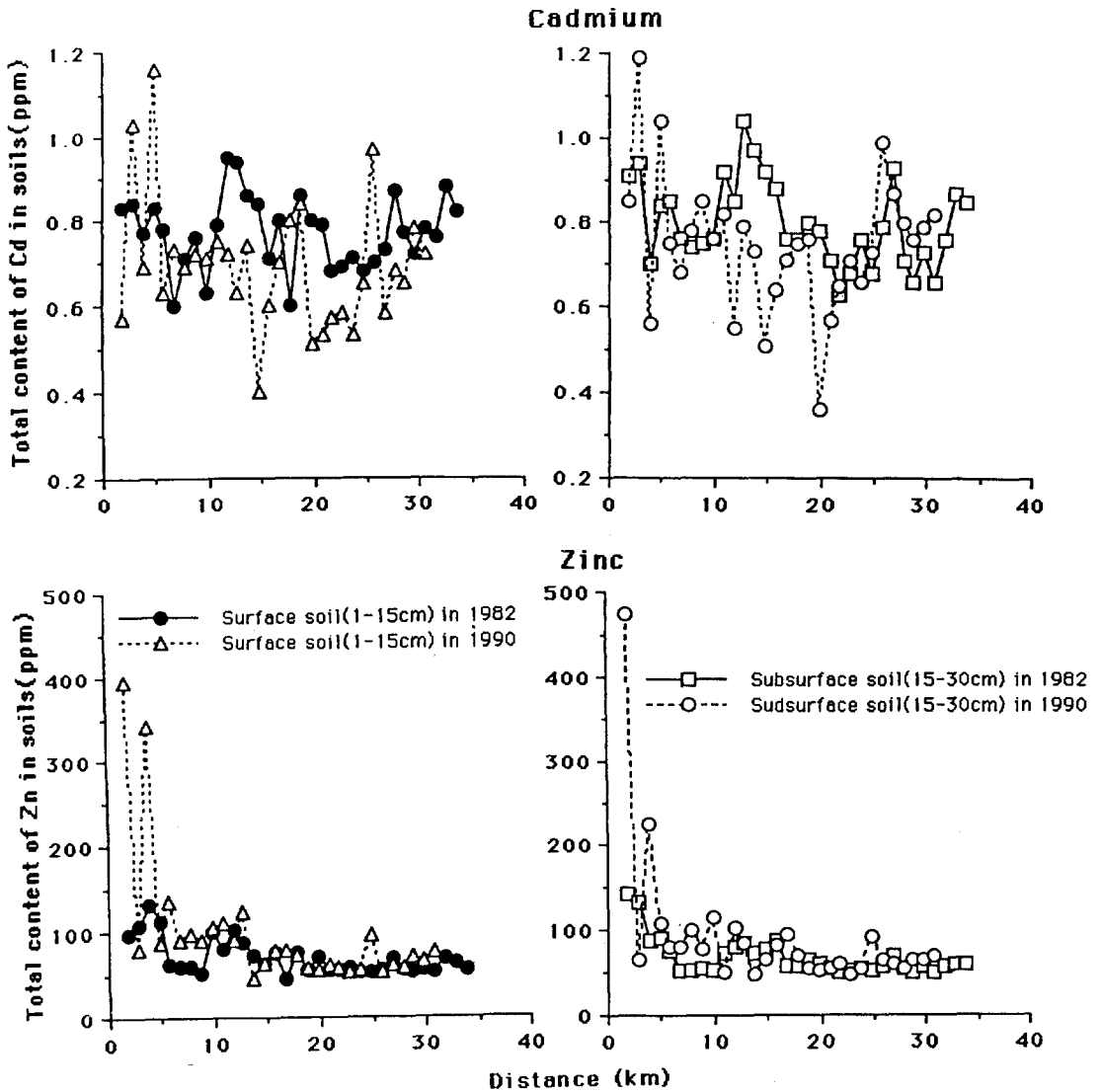


Fig. 1. Variations of Cd and Zn contents in soils with the soil depths and with the distances from the waste-water source in the polluted Mangyeong River area in 1982 and 1990.

서 2시간동안 재건조 하여 엽초, 엽신 줄기, 화서축 및 왕겨는 20mesh, 현미는 60mesh로 분쇄하여 시료로 사용 하였다.

2. 중금속분석

공시토양의 총 중금속함량은 풍건세토 3.5g에 4M HNO₃ 20ml를 가하여 70°C에서 24시간 가열 환류 추출하고 여기에 탈이온 증류수를 가하여 35ml로 정용 후 30분간 진탕시켜 여과한 여액을 원자흡광분광 광도계(Model: Varian SpectraAA 30; Graphite furnace GTA-96)로 분석하였다¹⁷⁾.

수도체 중 중금속함량은 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨 및 현미 각 0.2g에 진한 HNO₃ : 진한 HClO₄ (2 : 1, v/v) 비로 만든 혼합액을 2ml 가하고, 서서히 가온시켜 최종 분해온도를 70°C로 유지하여 분해액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해가 종료 된것으로 하여 60°C 수욕조에서 3시간 증탕 후 탈이온 증류수로 20ml로 정용하고 그 여액을 원자흡광분광 광도계(Model: Varian SpectraAA 30; Graphite furnace GTA-96)로 분석하였다¹⁸⁾.

결 과

1. 토양 중 Cd 및 Zn 함량

토양 중의 Cd 및 Zn 함량을 표토와 심토 및 년도 별로 범위, 평균값을 나타낸 것은 표 1과 같다.

토양 중 Cd 평균 함량이 1982년도보다 1990년도가 낮은 반면 Zn의 토양중 농도는 1990년도 토양

시료중의 것이 1982년도 보다 높았다. 토심에 따른 농도차이는 평균치로 Cd는 15-30cm내의 함량이 0-15cm 중의 함량 보다 많은 반면 Zn의 경우는 표토가 다소 높았다.

그림 1은 만경강 유역의 토양중 Cd 및 Zn 함량을 년도, 표·심토 및 거리별로 나타낸 것이다.

도시하수 및 전주공업단지로부터 유입되는 전주천과 만경강이 합류되는 지점부근의 표토 중 Cd농도는 1990년도 시료 토양에서 높았고, 이리공단지역 부근인 20km 지점에서 Cd 함량이 비교적 높았으며 1982년도 토양과 함량변화에 차이가 4km 이내의 경우를 제외하고는 거리별 분포가 낮아지는 경향이 있으나 함량변화 정도는 유사하였다. 심토에서는 1982년도에 비해 1990년도 토양에서 대체로 낮아지는 Cd 함량 분포를 나타내었다.

또한 이 지역의 수질오염형에 의한 토양 중 Zn 함량은 표·심토 모두 도시하수 및 공단폐수가 유입되는 지점에서 멀어질 수록 함량이 적어지고 있으며 그 현상은 1990년도 토양의 경우에 보다 잘 나타나고 있었다.

표 2는 토양 중의 Cd 및 Zn 함량과 시료채취 년도별, 토양의 깊이에 따른 상관관계를 조사한 것이다.

토양 중 Cd농도는 년도간 상관성은 없었고 표·심토간의 상관성이 인정되었으며 토양 중 Zn농도는 년도간 및 표·심토간 모두 유의한 상관성을 나타내고 있었다.

Table 1. Contents of Cd and Zn in soils with depths taken from the polluted Mangyeong River area in 1982 and 1990.

Heavy metal	Soil depth (cm)	1982		1990	
		Range	Mean	Range	Mean
..... (mg kg ⁻¹)					
Cd	0-15	0.58- 0.93	0.75	0.38- 1.13	0.68
	15-30	0.61- 1.02	0.78	0.49- 1.17	0.73
Zn	0-15	36.10-103.00	58.60	33.80-383.80	86.37
	15-30	39.60-133.50	57.75	36.30-464.60	80.41

2. Cd 및 Zn의 토양 중 잔류와 토양특성과의 관계

토양의 몇가지 물리화학적 성질과 토양 중 Cd 및 Zn 함량과의 상관관계를 나타낸 것은 표 3과 같다.

년도에 관계 없이 토양 중 Cd의 잔류에 영향을 주는 토양 인자로서는 유기물 함량, 유효규산, CEC, 치환성 Ca⁺⁺이 주 요인으로 되고 있어 토양 중 Cd 함량과 상관관계가 있었고, Zn의 경우는 1982년도 토양에서 OM과 치환성 Ca⁺⁺이 Zn의 토양중 축적에 영향을 미치는 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Pearson correlation coefficient(r) for Cd and Zn between soil samples of different depths and sampling years taken from the polluted Mangyeong River area.

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	1982		1990
			0-15	15-30	0-15
Cd	1982	0-15	-		
		15-30	0.417*	-	
	1990	0-15	0.205	0.329	-
		15-30	0.124	0.246	0.755**
Zn	1982	0-15	-		
		15-30	0.712**	-	
	1990	0-15	0.584**	0.618**	-
		15-30	0.451*	0.664**	0.919**

* : P<0.05, ** : P<0.01

또한 토양 중에서 년도, 토심별로 Cd 및 Zn 함량과 Cd 및 Pb 상관관계를 나타낸 것은 표 4이다.

토양 중 중금속 상호간 존재 함량의 영향을 보면 1982년도 시료 중 심토의 Cd 함량과 다른 Cu, Pb 함량과 유의한 상관관계를 볼 수 있었으나 1990년도 표·심토의 Cd 함량과 Cu, Pb 함량 사이에 상관관계를 인정할수 없었다. 또한 토양중 Zn의 함량과 Cu와 Pb 함량 사이에 토심 및 년도에 관계 없이 고도의 유의성 있는 상관관계를 나타내었다.

3. 수도체 중 Cd 및 Zn 함량

1990년도 수도체에 대하여 부위별 Cd 및 Zn 함

Table 4. Correlation coefficient(r) between contents of heavy metals in soils of different depths and sampling years.

Metal	Year	Soil depth (cm)	Heavy metals in soil	
			Cu	Pb
Cd	1982	0-15	0.293	0.190
		15-30	0.588**	0.727**
	1990	0-15	-0.063	0.032
		15-30	0.308	0.047
Zn	1982	0-15	0.955**	0.889**
		15-30	0.958**	0.671**
	1990	0-15	0.984**	0.909**
		15-30	0.824**	0.837**

* : P<0.05, ** : P<0.01

Table 3. Correlation coefficient(r) between contents of Cd and Zn in soils and soil properties.

Heavy metal	Year	Soil depth (cm)	Clay	pH	OM	Av-P ₂ O ₅	Av-SiO ₂	CEC	Exchangeable cation			
									Ca	Na	K	Mg
Cd	1982	0-15	-0.034	-0.053	0.285	0.123	0.453*	0.662**	0.447*	0.187	0.333	0.171
		15-30	0.031	-0.201	0.444*	-0.031	0.213	0.206	0.598**	0.009	-0.101	-0.197
	1990	0-15	-0.001	0.085	0.674**	0.331	0.770**	0.664**	0.795**	0.371*	0.207	0.337
		15-30	0.327	-0.059	0.665**	0.299	0.456*	0.569**	0.783**	0.186	0.248	0.176
Zn	1982	0-15	-0.458*	-0.055	0.467*	0.180	0.118	-0.050	0.426*	-0.223	-0.215	-0.382*
		15-30	-0.159	-0.430*	0.439*	0.283	-0.065	0.210	0.484**	-0.144	-0.215	-0.228
	1990	0-15	-0.418*	0.250	-0.038	0.187	-0.051	-0.170	0.180	-0.175	-10.415*	-0.182
		15-30	-0.004	-0.111	0.083	0.183	0.074	-0.233	-0.092	-0.051	-0.221	-0.209

* : P<0.05, ** : P<0.01

Table 5. Contents of heavy metals in different parts of rice grown on soils of the Mangyeong River area in 1990.

Parts of plant	Cd		Zn	
	Range	Mean	Range	Mean
 (mg kg ⁻¹)			
Leaf blade	0.10-3.00	0.986(7.09)*	21.9-503.5	136.148(5.22)
Leaf sheath	0.40-1.10	0.772(5.55)	16.9-48.5	28.003(1.07)
Stem	0.20-1.60	0.652(4.69)	10.2-160.3	36.476(1.40)
Panicle axis	0.20-1.50	0.768(5.53)	16.6-171.3	56.038(2.15)
Rice bran	0.10-0.60	0.238(1.71)	6.7-71.7	30.621(1.17)
Brown rice	0.10-0.90	0.139(1.00)	4.2-95.9	26.072(1.00)

* (): Values in parenthesis indicate the relative value based on Cd, Zn contents in brown rice.

Table 6. Correlation coefficient(r) between Cd and Zn contents in different parts of rice and contents of heavy metals in soils of the Mangyeong River area in 1990.

Heavy metal in soil	Soil depth (cm)	Heavy metal contents in parts of plant					
		LB	LS	ST	PA	RB	BR
	 Cd					
Cd	0-15	-0.000	-0.171	0.217	0.123	-0.232	0.251
	15-30	-0.053	-0.081	0.074	-0.043	-0.152	0.245
Zn	0-15	0.204	0.219	0.382*	0.505**	-0.119	0.060
	15-30	0.232	0.264	0.322	0.477**	-0.190	0.025
Cu	0-15	0.140	0.241	0.346	0.462*	-0.053	0.049
	15-30	0.135	0.100	0.353	0.286	-0.206	0.075
Pb	0-15	0.314	0.212	0.367*	0.525**	-0.137	-0.003
	15-30	0.206	0.215	0.240	0.409*	-0.253	-0.030
	 Zn					
Cd	0-15	0.083	0.354	0.153	0.149	0.236	0.085
	15-30	-0.120	0.270	-0.024	-0.057	0.097	-0.081
Zn	0-15	0.663**	0.591**	0.844**	0.701**	0.649**	0.481**
	15-30	0.627**	0.507**	0.737**	0.622**	0.547**	0.614**
Cu	0-15	0.538**	0.558**	0.790**	0.621**	0.595**	0.384*
	15-30	0.447*	0.551**	0.591**	0.543**	0.639**	0.187
Pb	0-15	0.532*	0.481*	0.690	0.643**	0.541**	0.446*
	15-30	0.428*	0.381*	0.548	0.490**	0.435*	0.510**

LB : leaf blade, LS : leaf sheath, ST : stem, PA : panicle axis, RB : rice bran, BR : brown rice

* : P<0.05, ** : P<0.01

량을 범위, 평균 및 중앙 값을 나타낸 결과는 표 5와 같다.

수도체가 흡수한 Cd 및 Zn의 함량은 Cd의 경우 엽신, 엽초, 줄기 중에서 높았고, 왕겨와 현미 중의 함량은 적었다. 특히 현미 중의 Cd 함량은 엽신 중 함량에 비하여 1/7 농도로 축적율이 낮았다. 그러나 현미 중의 Cd가 최고 0.9ppm의 농도 축적을 보인 것은 토양 중 Cd 함량 범위가 0.38-1.17ppm 범위에서도 높은 축적작용을 나타내는 결과였다.

4. 토양 중 중금속 함량과 수도체중 Cd 및 Zn 함량과의 관계

토양 중 중금속함량과 수도체에 흡수된 부위별 Cd 및 Zn 함량과의 상관관계를 조사한 결과는 표 6과 같다.

토양 중 Cd의 함량과 수도체 부위별 Cd 사이에는 유의성 있는 상관을 볼 수 없었고 화서축의 Cd 함량과 토양 중 Zn, Pb 및 Cu 함량과는 상관관계가 인정되었으나 토양 중 Cd 함량이 0.38-1.17mg kg⁻¹ 범위로 편차가 비교적 좁은 수준이어서 토양 중 Cd 함량과 수도체 부위별 Cd 함량간의 상관관계가 인정되지 않았다. 또한 토양 중의 중금속 함량과 수도 부위별 Zn 함량과의 상관관계를 보면 토양 중 함량의 차이가 비교적 컸던 Cd를 제외한 Zn, Cu 및 Pb의 함량간에 유의성이 인정되었고 그 중 화서축의 Zn 함량과 높은 상관성(P<0.01)이 인정되었는데 이러한 결과는 토양중 중금속이 많이 존재하면 수도체의 Zn 함량 역시 증가에 영향을 끼치는 것으로 예측 할 수 있었다.

고 찰

1. 토양 중 Cd 및 Zn 함량

1990년도 토양 중 Cd 함량이 1982년도 보다 낮아졌고, 토양 중 Zn 함량은 오히려 1982년도 보다 1990년도 토양 중에서 많아 년도가 지남에 따라 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 이와 같은 결과는 배출 수 중 중금속 함량 및 그 종류가 달라진 때문일 것

이고, 토양 중 Cd 및 Zn 함량이 표·심토간에 차이가 적었는데, 이는 Levy 등¹⁹⁾의 광산폐수로 인한 오염토양에서 보는 바와 같이 이들 중금속은 이동성이 크게 나타났던 연구 결과와 유사하였다.

2. 토양 중 Cd 및 Zn 함량과 토양 특성과의 관계

토양 중 유기탄소 또는 유기물 함량과 토양 중 중금속의 축적작용과 밀접한 관계가 있음은 Boekhold 등²⁰⁾이 경작지 토양에서 유기탄소의 함량과 HNO₃ 추출성 Cd 함량과 높은 유의성이 있음을 보고한 결과와 유사하였다. 특히 치환성 Ca⁺⁺과의 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있었는데 이는 King¹³⁾이 행한 연구에서 토양 중 Cd 함량이 토양의 치환성 Ca⁺⁺과 CEC와 밀접한 관계가 있다고 한 결과와 동일하였다.

3. 수도체 중 Cd 및 Zn 함량

수질 오염형 토양 중 Cd 및 Zn 물질들은 식물에 의한 흡수가 비교적 잘되는 것으로 볼 수 있었는데, 이는 토양 중 Cd 함량이 0.38-1.17mg kg⁻¹ 범위에서 자란 수도체의 현미 중 농도가 0.9mg kg⁻¹에 이를 수 있는 것으로 알 수 있었다.

4. 토양 중 중금속 함량과 수도체중 Cd 및 Zn 함량과의 관계

토양 중 Cd의 함량과 식물체중의 Cd 사이에는 상관성이 없는 것으로 나타나고 있는데 이는 Cd의 특성에도 있으나 토양 중 Cd 농도가 수준이 낮았던 결과로 생각되었다. 또한 토양 중의 중금속 함량과 수도 부위별 Zn 함량과의 관계를 보면 토양 중 함량이 비교적 낮았던 Cd를 제외한 Zn, Cu 및 Pb 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내고 있는데, 이는 Leita 등²¹⁾의 광산지역의 식물체 중의 Zn 함량이 토양 중의 다른 중금속 함량과 상관성을 나타내었던 결과와 유사하였고, Taylor 등²²⁾이 행한 연구에서 추출방법에 관계없이 광산폐수오염 토양 중 Zn량과 대두등과 같은 식물체 중의 Zn 함량과 높은

상관성을 나타냈던 결과와 유사하였다.

요 약

수질오염에 따른 Cd 및 Zn의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단배출수의 영향을 받는 만경강 유역의 논토양을 중심으로 1982년도와 1990년도에 표토와 심토로 구분하여 채취한 토양시료를 그리고 1990년도의 토양시료 채취지역에서 재배된 수도체 시료중 Cd 및 Zn 함량을 분석하여 그 변화를 분석하였다.

만경강 유역의 토양 중 이들 중금속 분포는 Cd이 0.38-1.17, Zn이 33.8-464.6mg kg⁻¹이었다. 년도별 함량변화에서 Cd 함량은 1990년도 토양이 1982년도 보다 낮았고, Zn 함량은 반대로 1982년도 토양이 1990년도 토양 보다 낮았다. Cd의 경우 도시하수 및 공장폐수 배출지로부터 거리별 변화가 분명하지 않았으나, 토양의 유기물함량, 유효규산, CEC, 치환성 Ca⁺⁺ 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었다. 또한 이 지역의 토양 중 Cd 함량은 1982년도 심토 중 Cd 함량은 토양 중 Zn, Cu 및 Pb 함량과 유의한 상관관계를 나타내었다. Zn의 경우는 거리가 멀 수록 그 함량이 낮아지는 경향이 있었으며, 1982년도 토양 중에서 유기물 함량과 치환성 Ca⁺⁺ 함량과, 그리고 년도에 관계없이 토양 중 Cu와 Pb 함량과 유의성있는 상관관계를 나타내었다. 한편 이 지역의 수도체 부위별 Cd 함량은 현미중 농도에 비해 엽신 중의 농도가 최고 7배 이상이 되었고, Zn의 경우는 엽신과 화서축 중에서 흡수축적량이 높았으며, 토양 중 Zn, Cu, Pb의 존재는 수도체의 화서축 중의 Cd 함량과 또 수도체의 모든 부위별 Zn 함량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었다.

만경강유역의 현미 중 Cd의 함량은 0.10-0.90mg kg⁻¹이었고, Zn의 함량은 4.2-95.9mg kg⁻¹범위였다.

참 고 문 헌

1. 유순호, 서윤수. (1990) : 우리나라 농업용수의

수질과 토양오염실태. 환경오염과 농업에 관한 국제 심포지엄 : 96-111.

2. 김동호, 임수길, 권오경. (1989) : 사과 과수원 토양과 그 잎중의 중금속 함량과의 관계에 관한 연구. 한국환경농학회지 8 : 1-6.

3. Rhoads, F. M., S. M. Olson, and A. Manning. (1989) : Copper toxicity in tomato plants. *J. Environ. Qual.* 18 : 195-197.

4. Kim, S. J., A. C. Chang, A. L. Page, and J. E. Warneke. (1988) : Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* 17 : 568-573.

5. 김성조, 양환승. (1985) : 만경강 유역의 토양 및 수도체중 중금속 함량. 한국환경농학회지 5 : 11-23.

6. Dean, J. G., F. L. Bosqui, and K. H. Lanovette. (1972) : Removing heavy metals from wasted water. *Environ. Sci. Technol.* 6 : 518-522.

7. Boon, D. Y. and P. N. Soltanpour. (1992) : Lead, cadmium, and zinc contamination of aspen garden soils and vegetation. *J. Environ. Qual.* 21 : 82-86.

8. Elliott, H. A., B. A. Dempsey, and P. J. Maille. (1990) : Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludges. *J. Environ. Qual.* 19 : 330-344.

9. Leita, L. and M. De Nobili. (1991) : Water-soluble fractions of heavy metals during composting of municipal solid waste. *J. Environ. Qual.* 20 : 73-78.

10. Chambers, J. C. and R. C. Sidle. (1991) : Fate of heavy metals in an abandoned lead-zinc tailings pond : I. Vegetation. *J. Environ. Qual.* 20 : 745-751.

11. Page, A. L. (1974) : Fate and effects of trace elements in sewage sludge when applied to

- agricultural lands. EPA-670/2-74-005. USEPA, Washington, DC.
12. King, L. D. (1988a) : Retention of metals by several soils of the Southeastern United States. *J. Environ. Qual.* **17** : 239-245.
 13. King, L. D. (1988b) : Retention of cadmium by several soils of the Southeastern United States. *J. Environ. Qual.* **17** : 246-250.
 14. Logan, J. J. and R. L. Chaney. (1983) : Utilization of municipal wastewater and sludge on land metals. p. 235-323. In A. L. Page et al (eds) Utilization of municipal wastewater and sludge on land. Univ. of Calif., Riverside, CA.
 15. 김성조, 이만상, 류택규, 김운성, 윤기운, 백승화. (1994) : 만경강유역의 농토양과 수도채증 Cu 함량변화. 한국환경농학회지. **13(1)** : 10-18.
 16. Chaney, R. L., M. C. White and M. V. Tiehnoven. (1976) : Interaction of Cd and Zn in phytotoxicity to and uptake by soybean. *Agron. Abst.* **21**.
 17. Cao, H., A. C. Chang, and A. L. Page. (1984) : Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. *J. Environ. Qual.* **13** : 632-634.
 18. Ganje, T. J., and A. L. Page. (1974) : Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. *At. Absorpt. Newsl.* **13** : 131-134.
 19. Levy, D. B., K. A. Barbarick, E. G. Siemer, and L. E. Sommers. (1992) : Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado. *J. Environ. Qual.* **21** : 185-195.
 20. Boekhold, A. E. and S.E.A.T.M. Van der Zee. (1992) : Significance of soil chemical heterogeneity for spatial behavior of cadmium in field soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **56** : 747-754.
 21. Leita, L., M. De Nobili. (1989) : Anomalous contents of heavy metals in soils and vegetation of a mine area in S.W. Sardinia, Italy. *Water, Air, and Soil Pollution.* Vol. **48** : 423-433.
 22. Taylor, R. W., I. O. Ibeabuchi, K. R. Sistani, and J. W. Shuford. (1992) : Accumulation of some metals by legumes and their extractability from acid mine spoils. *J. Environ. Qual.* **21** : 176-180.