

만경강 유역의 농토양과 수도체중 Cu 함량의 변화

김성조 · 이만상 · 류택규 · 김운성* · 윤기윤** · 백승화

Variation of Copper Content in Paddy Soil and Rice from Mangyeong River Area

Seong-Jo Kim, Man-Sang Lee, Taek-Kyu Ryu,
Un-Sung Kim*, Ki-Woun Yoon** and Seung-Hwa Baek

Abstract

To investigate differences with the polluted sources on Cu contents in soils and paddy rices under water pollutions, soils with the distance, the surface(0-15cm depth) and subsurface(15-30cm depth) in 1982 and 1990, and rice plants at the soil sampling sites in 1990 were separately sample at Mangyeong River area under the influence of municipal and industrial waste water from Jeonju city. Soil samples were extracted with 4M-HNO₃ and plant samples were digested with mixture of HNO₃ and HClO₄ for analyzing Cu, Cd, Zn, Pb by atomic absorption spectrophotometry.

Cu contents in soils ranged from 5.20 to 71.70 mg kg⁻¹. Average Cu level in 1990 was higher than that in 1982. Variation of Cu content with the distances from the source of waste water in 1990 was more regularly decreased than that in 1982. A significant correlation was observed between Cu contents in leaf sheath of rice plant and Cu, Zn and Pb contents in soils. Cu contents in soil was correlated with Zn and Pb in soil at area affected by waste water, regardless of years and soil depths.

Cu contents in brown rice ranged from 0.4 to 10 mg kg⁻¹, and it was the lowest in parts of rice plant, and Cu content in panicle axis was 2.3 times higher than that in brown rice.

*한국식품연구소(Korea Advance 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(College of Agriculture, Wonkwang University Iri, 570-749, Korea)

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

서 론

산업활동의 증대 및 도시화로 인한 인구 집중 현상에 의하여 도시하수 및 산업폐수에 의한 Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn 등이 하천 및 대기중에 증가되어 식물독성 또는 식품연쇄를 통한 환경오염을 유발하는 원인이 되고 있다^{1,2)}. 이 밖에도 중금속 물질의 증가요인으로 농업용수의 관개^{3,4)}, 농약과 비료의 사용^{6,7)}, 도시하수 sludge 및 산업폐기물을 농업자재로의 이용^{8,9)} 등을 들수 있으며 이로 인하여 토양 중 이들 중금속이 증가되는 결과가 되었다^{10,11)}.

토양 중에서 Cu는 Mn 및 Fe 의 수산화물과 Phyllosilicate의 표면에 강하게 흡착되어 토양용액 중에서 농도가 낮으며, 유기물질과 결합하여 용해성과 비용해성 복합물질 상태로 축적되고 있는 것으로 알려져 있다^{9,12,13,14)}.

우리 나라의 토양 중 Cu 평균함량을 1987년에 오염원 별로 보고된 바에 의하면 공단하류 지역은 Cu 8.963ppm, 도로변은 5.009ppm, 금속제련지역은 15.117ppm으로 발표되었다⁴⁾.

한편 토양표면의 퇴적물 중 중금속의 함량증가는 정도차이가 있으나 생활하수 및 공단배출수가 유입되는 하천유역의 논 토양은 관개수에 의한 중금속의 유입으로 토양 중에 다른 중금속과 함께 Cu 함량이 증가할 가능성이 높을 것으로 예측되고 있다¹⁰⁾.

본 연구는 수질오염에 대한 소동¹⁵⁾은 공단폐수가

유입되는 지역의 물과 저질토에서 중금속농도가 높다고 보고한 바 토양중 Cu의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단폐수의 배출원으로부터 영향을 받는 만경강 유역의 토양을 중심으로 표·심토로 구분하여 1982년과 1990년의 토양시료를, 그리고 1990년에 토양시료 채취 지역에서 재배된 수도체 중 Cu 함량을 분석하여 그 변화 요인을 분석한 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 시료의 채취 및 조제

전라북도 전주시 공업단지로부터 배출되는 폐수와 도시하수의 영향을 받는 전주천과 만경강이 연결되는 지점을 기점으로 하여 하류방향으로 (그림 1)에서와 같이 만경강유역 제방내의 토양시료를 1 km간격으로 1982년(4월말) 및 1990년(10월초)에 각 30개지점에서 표토(0-15cm: A)와 심토(15-30cm: B)로 구분 채취하였다.

채취한 시료는 그늘진 곳에서 풍건 후 2mm체를 통과시켜 polyethylene병에 보관하였다가 분석 하였다.

수도체 시료는 수확직전에 토양시료를 채취한 제방내 동일지점에서 1990년 10월 6일부터 1주간에 걸쳐 지상부위 수도체를 채취하였다. 다만 미작지가 아닌 지점인 그림 1의 1번 위치는 수도체의 시료채취가 불가능 하였다. 수도체의 시료는 음건한 상태

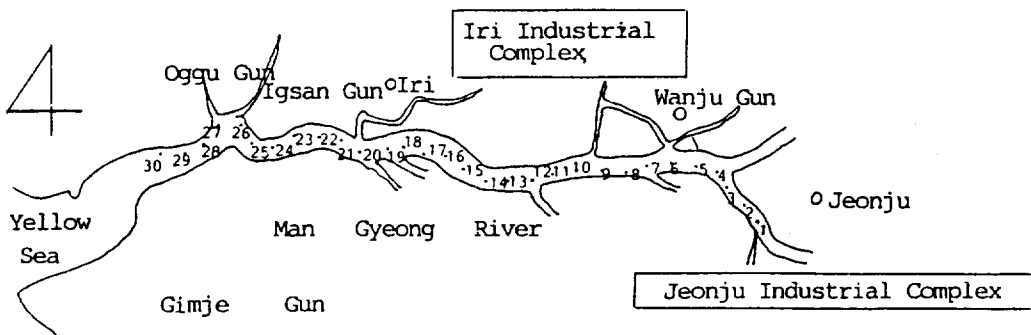


Fig. 1. Sampling sites at the Mangyeong River area.

Table 1. Selected physico-chemical properties of surface and subsurface soils from the Mangyeong River area in 1982 and 1990.

Item of analysis	1982		1990		
	Range	Mean*	Range	Mean*	
Surface soil(0-15 cm)					
Clay(%)	5.00 - 25.00	17.27	1.50 - 23.50	16.07	
pH	4.60 - 6.10	5.21	4.60 - 5.90	5.24	
Organic matter(%)	0.80 - 2.70	1.99	0.70 - 6.50	2.12	
Available P ₂ O ₅ (ppm)	32.00 - 434.00	159.77	4.00 - 450.00	168.70	
Available SiO ₂ (ppm)	19.00 - 74.00	38.50	49.00 - 234.00	85.17	
C.E.C.(me/100g)	7.90 - 14.70	10.36	2.20 - 22.20	12.11	
Exchangeable Cation (me/100g)	K	0.13 - 0.99	0.48	0.17 - 0.82	0.75
	Ca	3.10 - 5.47	4.23	0.78 - 6.16	2.28
	Mg	0.30 - 5.52	1.27	0.23 - 16.50	1.43
	Na	0.01 - 1.51	0.10	0.01 - 0.81	0.08
Sub soil(15-30 cm)					
Clay(%)	3.50 - 43.00	21.45	2.50 - 27.50	17.73	
pH	4.90 - 7.20	5.90	4.90 - 7.20	5.95	
Organic matter(%)	0.50 - 2.50	1.27	0.60 - 4.80	1.69	
Available P ₂ O ₅ (ppm)	13.00 - 249.00	77.06	45.00 - 447.00	150.90	
Available SiO ₂ (ppm)	22.00 - 105.00	48.87	24.00 - 229.00	70.87	
C.E.C.(me/100g)	7.70 - 13.70	10.13	2.40 - 16.10	7.49	
Exchangeable Cation (me/100g)	K	0.14 - 0.83	0.38	0.15 - 1.37	0.45
	Ca	3.28 - 5.21	4.33	1.30 - 6.17	3.08
	Mg	0.06 - 4.77	1.44	0.21 - 6.71	1.68
	Na	0.01 - 0.77	0.09	0.01 - 0.95	0.17

* Data are average with value analytical of samples.

를 50°C에서 2시간동안 재건조하여 엽초, 엽신, 줄기, 화서축 및 왕겨등은 20 mesh, 현미는 60mesh로 분쇄하여 분석 하였다.

2. 일반분석 및 중금속분석

공시토양의 일반적 이화학적 성질은 점토함량, 토양산도(pH), 유기물함량, 유효인산, 유효규산, 양이온치환용량(CEC) 및 치환성양이온 등을 분석하였고¹⁶⁾, 토양 중의 총 중금속함량은 풍건세토 3.5g에 4M HNO₃ 20ml를 가하여 70°C 에서 24시간 가열 환류추출하고 여기에 탈이온 증류수를 가하여 35ml로 정용 후 30분간 진탕시켜 여과한 여액을 원자흡수분광광도계(Model: Varian SpectrAA 30; Graphite

furnace GTA-96)로 분석하였다¹⁷⁾.

1982 및 1990년에 채취한 토양의 물리화학적 특성은 표 1과 같다.

수도체중 중금속함량은 엽초, 엽신, 줄기, 화서축, 왕겨 및 현미 각 0.2g에 진한 HNO₃ : 진한 HClO₄ (2:1, v/v) 혼액을 2ml가하고, 서서히 가온시켜 최종 분해온도를 70°C로 유지, 분해액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해가 종료된 것으로 하여 60°C 수욕조에서 3시간 진탕후 탈이온 증류수로 20ml 되게 정용하고 그 여액을 원자흡수분광광도계(Model : Varian SpectrAA 30 ; Graphite furnace GTA-96)로 측정하였다¹⁸⁾.

Table 2. Copper contents in soils with the soil depths and distance at the Mangyeong River area in 1982 and 1990.

Heavy metal	Soil depth (cm)	Distance of sampling site(km)	1982		1990		
			Range	Mean*	Range	Mean*	
(mg kg ⁻¹)							
Cu	0-15	1-5	10.50-21.30	15.92±5.26	16.00-71.70	40.14±24.51	
		6-18	6.00-20.50	13.35±3.75	6.50-23.60	15.59±4.76	
		19-30	8.00-14.60	10.42±2.13	9.70-20.60	13.18±3.34	
		Mean		12.61		17.72	
	15-30	1-5	8.54-31.40	19.27±10.12	9.80-54.00	31.74±16.42	
		6-18	6.40-16.10	11.92±2.82	5.50-20.90	13.50±4.69	
		19-30	7.50-14.00	10.08±20.06	5.20-18.10	10.85±3.62	
		Mean		12.41		15.48	
				LSD 4.815			LSD 10.763

* Data are average with value analytical of sampling site.

LSD : Least significant difference at 1% level.

결 과

1. 토양 중 Cu 함량

토양 중 Cu 함량 토양층의 Cu 함량을 오염물질 유입권역을 3곳으로 나누어 분포범위, 평균을 나타낸 것은 표 2와 같다.

폐수유입지역을 권역화하여 Cu의 함량을 보면 유입지역으로 부터 하류로 갈수록 감소하는 경향이였다. 또한 시료채취년도에 따른 토양 중 평균 Cu의 함량은 1982년에 표·심토에서 각각 12.61mg kg⁻¹, 12.41mg kg⁻¹이었고 1990년도 표·심토의 함량이 17.72mg kg⁻¹, 15.48mg kg⁻¹으로 평균적으로 더 증가하는 결과였다.

그림 2는 만경강 유역의 토양중 Cu 함량을 년도별, 표·심토별 및 거리별로 나타낸 것이다.

도시하수 및 공단폐수가 만경강에 유입되는 지점이 가까운 5km이내의 지점에서 표토중 Cu함량이 높았으며 거리가 멀어질수록 낮아지는 경향이었는데 이 현상은 1990년도 토양이 1982년도 토양보다 잘 나타나고 있었다. 즉 1990년도 토양중 Cu함량이 1982년도 토양보다 거리별로 따른 변화에서 보다 높은 값을 나타내고 있었고, 심토 중의 Pb함량은

거리별 변화에서 표토 중의 것과 동일한 경향이였다.

2. 토양 중 Cu의 함량과 다른 중금속과의 관계

토양 중에서 Cu의 함량과 다른 중금속과의 상관관계를 나타낸 것은 표 3과 같다.

토양 중 Cu 함량과 다른 금속들과의 관계를 보면 Cd은 1982년 심토 만이 상관성을 나타내고 있는데 비하여 Pb 및 Zn의 함량과는 년도 및 토심과 관계 없이 고도의 유의성 있는 정상관을 나타내고 있어, 토양 중에서 Cu함량이 많아지면 Zn, Pb 및 Cd함량도 증가될 수 있음을 예측 할 수 있었다.

3. 수도체 중 Cu 함량

1990년도 수도체에 대하여 부위별 Cu 함량을 범위, 평균 및 중앙값을 나타낸 결과는 표 4와 같다.

생활하수 및 공단폐수 유입권별로 나누어 Cu의 수도체 흡수량 비율을 보면 엽신, 엽초의 함량은 농도는 낮으나 표 2의 1990년 토양의 함량과 유사한 경향을 보였으나, 그 외의 줄기, 화서축, 왕겨에서는 6-18km 지역의 함량이 낮았는데 반하여 현미의 경우는 6.69±2.97mg kg⁻¹으로 비교적 높았다.

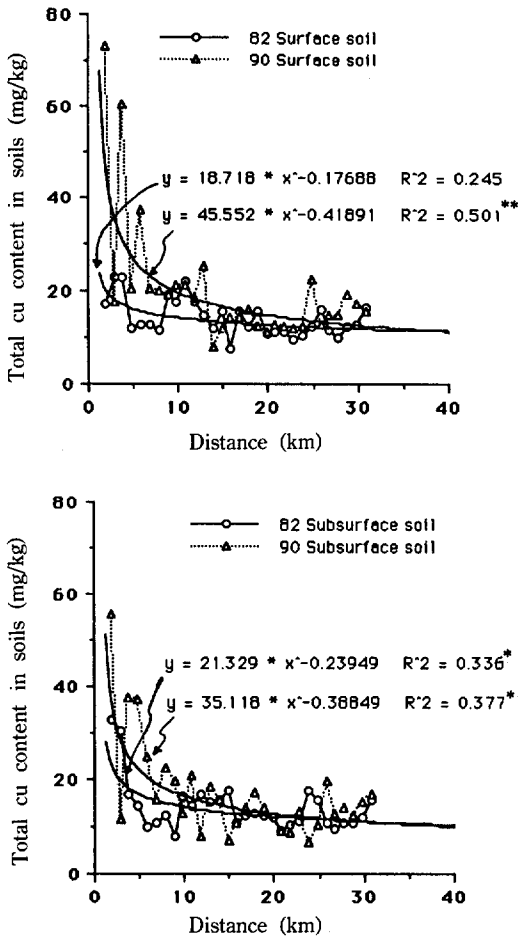


Fig. 2. Variation of copper contents in soils with the soil depths and the distances from the waste-water source at the Mangyeong River area in 1982 and 1990.

수도체에 흡수된 평균 Cu의 함량은 엽신이 10.18 mg kg⁻¹, 화서축은 10.76mg kg⁻¹이어서 다른 수도체 부위의 거의 2배 가까운 함량을 나타내고 있고, Cu의 현미 중 농도가 4.66mg kg⁻¹으로 엽초, 줄기, 왕겨 등의 평균함량보다 약간 낮았다.

4. 토양중 중금속 함량과 수도체중 Cu 함량과의 관계

토양 중 중금속 함량과 수도체에 흡수된 부위별

Table 3. Correlation coefficient(r) between contents of Cu and other heavy metals in soils taken from the Mangyeong River area at different depth and years.

Metal	Year	Soil depth (cm)	Heavy metals in soil		
			Cd	Pb	Zn
Cu	1982	0-15	0.293	0.907**	0.955**
		15-30	0.588**	0.862**	0.958**
	1990	0-15	-0.063	0.923**	0.984**
		15-30	0.308	0.765**	0.824**

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

Cu함량과의 상관관계를 조사한 결과는 표 5와 같다.

토양 중 Cu의 농도는 수도체의 엽초 중의 농도를 특히 증대시키는 상관관계를 보였고, Cd 존재를 제외한 토양 중 Zn 및 Pb의 존재는 수도체의 엽초중 Cu 함량을 높이는 결과를 나타내고 있었다. 또한 토양중 Pb는 현미중의 Cu 함량을 높이는 결과를 나타내고 있었다.

고 찰

1. 토양 중 Cu 함량

만경강 유역 토양 중 Cu의 함량은 1982년에서 보다 1990년도 토양의 것이 평균적으로 더 많아지고 있어 이는 유와 서⁴⁾가 1990년에 보고한 공단 하류지역의 Cu함량 전국평균이 8.936mg kg⁻¹이었던 것보다 높은 수준임을 보여주는 결과였다. 조사 전지역의 토양 중 함량은 1990년도 토양 중 Cu함량이 1982년도 토양보다 거리별에 따른 변화에서 보다 높은 값을 나타내고 있었다. 또한 제비콩의 경우 25-40mg kg⁻¹ 생육에 저해하였던 결과로 미루어보아¹⁹⁾ 1990년의 경우 수도의 생육에 영향을 끼칠 만한 50ppm이상의 Cu함량을 나타내고 있는 지점도 있었으며, 표·심토간의 Cu함량에서는 표토에서 약간 높았다. 결과적으로 표·심토 간의 토양 중 Cu함량차이가 적었는데, 이와같은 결과는 Levy

Table 4. Copper contents in parts of paddy rice grown on soils of the Mangyeong River area in 1990.

Part of Plant	Distance of sampling site(km)	Cu contents in rice plant		
		Range	Mean	Median
			(mg kg ⁻¹)	
Leaf blade	1 - 5	8.6 - 25.4	16.88 ± 8.60	
	6 - 18	3.7 - 25.9	13.33 ± 7.68	
	19 - 30	0.8 - 9.4	4.54 ± 2.76	
	Mean*		10.18(2.18)**	8.2
Leaf sheath	1 - 5	5.7 - 15.4	9.48 ± 4.15	
	6 - 18	2.1 - 26.6	7.00 ± 6.40	
	19 - 30	0.1 - 9.1	2.53 ± 2.27	
	Mean*		5.49(1.18)	4.0
Stem	1 - 5	3.5 - 12.7	8.25 ± 3.89	
	6 - 18	1.8 - 21.8	6.40 ± 5.96	
	19 - 30	0.5 - 31.0	9.09 ± 10.44	
	Mean		7.77(1.67)	4.9
Panicle axis	1 - 5	5.4 - 24.1	10.9 ± 8.83	
	6 - 18	0.7 - 19.6	5.25 ± 4.88	
	19 - 30	1.1 - 31.8	16.68 ± 7.44	
	Mean*		10.76(2.31)	7.1
Rice bran	1 - 5	3.3 - 7.2	5.48 ± 1.77	
	6 - 18	2.2 - 12.8	4.86 ± 2.68	
	19 - 30	1.4 - 21.1	5.86 ± 5.98	
	Mean*		5.36(1.15)	4.4
Brown rice	1 - 5	2.0 - 6.4	4.30 ± 0.82	
	6 - 18	0.8 - 10.1	6.69 ± 2.90	
	19 - 30	0.4 - 7.9	2.59 ± 2.67	
	Mean*		4.66(1.00)	4.6

* Means are average with value analytical of sampling site.

** Values in parenthesis indicate the relative value based on Cu content in brown rice.

등²⁰⁾의 광산폐수에 오염된 지역의 토양 중 Cu함량 결과와 유사하였으며, 특히 수질오염에 의한 토양 중 Cu의 경우는 토층간의 이동성이 큰 것으로 나타나고 있었다.

2. 수도체 중 Cu 함량

생활하수 유입권인 6-18km 지역에서 재배된 현미의 경우가 공장폐수 유입지역인 1-5km, 19-30km 지역에서 재배된 현미보다 비교적 Cu 함량이 높았

는데, 이에 대한 원인 규명을 위하여 Cu 화합물이 저장조직인 별씨로의 이동되는 기작에 대한 연구가 요망된다. 수도체에 의해 흡수된 Cu의 평균함량은 엽신 및 화서축에서 다른 수도체 부위의 거의 2배 가까운 함량을 나타내고 있고, Cu의 현미 중 농도가 엽초, 줄기, 왕겨 등의 것과 비슷하여 식물체 내에서 Cu가 비교적 이동성이 큰 금속인 것으로 추정 할 수 있었다. 이와 같은 결과는 토양중의 Cu 농도가 비교적 낮았으면서도 수도체로의 흡수가 상당히 높았

Table 5. Correlation coefficient(r) between copper content in parts of paddy rice grown on and contents of heavy metals in soil of the Mangyeong River area in 1990.

Cu in parts of plant	Soil depth (cm)	Heavy metal in Soil			
		Cd	Zn	Cu	Pb
Leaf blade	0 - 15	-0.007	0.174	0.190	0.105
	16 - 30	0.026	0.188	0.287	0.133
Leaf sheath	0 - 15	0.146	0.493**	0.412*	0.402*
	16 - 30	0.041	0.327**	0.440*	0.189
Stem	0 - 15	-0.152	0.037	0.089	0.095
	16 - 30	-0.035	0.050	-0.030	0.196
Panicle axis	0 - 15	0.124	0.168	-0.079	0.004
	16 - 30	0.200	0.099	0.011	0.033
Rice brain	0 - 15	-0.218	0.028	-0.014	0.028
	16 - 30	-0.191	0.003	0.037	-0.095
Brown rice	0 - 15	0.165	0.230	0.226	0.387
	16 - 30	0.057	0.332	0.140	0.400

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

던 Okazaki and Saito²¹⁾의 결과와 유사하였다.

요 약

3. 토양 중 중금속 함량과 수도체 중 Cu함량과의 관계

토양 중 Cu의 농도는 수도체의 엽초 중의 농도를 특히 증대시키는 상관관계를 보였는데, 이는 Levy등²⁰⁾의 연구에서 토양중 Cu함량이 많으면 식물체중 Cu함량이 많아지는 결과와 같았으며, 토양 중 다른 중금속의 존재가 수도체 중 Cu축적과 관계에서는 Cd의 경우를 제외한 토양 중 Zn 및 Pb의 존재가 수도체의 엽초 중 Cu 함량을 높이는 결과를 나타내고 있었다. 그러나 토양중 Cu 존재가 수도체의 엽초를 제외한 다른 부위들의 Cu농도와 상관성을 나타내지 않았던 점이 특이 하였는데, 이는 Taylor 등²²⁾에 연구에서 토양중 Cu형태 및 식물체의 종류에 따라 상관성이 나타나는 경우와 상관성이 없는 경우가 있었다고 한것처럼 이 경우도 식물체 부위에 따라 차이가 있음을 보여주고 있었다.

수질오염에 따른 Cu의 함량변화 차이를 구명하기 위하여 도시하수 및 공단배출수의 영향을 받는 만경강 유역의 논 토양을 중심으로 1982년도에 표 심토로 구분 채취한 것과 1990년도에 채취한 토양시료를, 그리고 1990년의 토양 시료채취 지역에서 채배된 수도체시료 중 Cu 함량을 분석하였다. 만경강 유역의 토양 중 Cu함량은 5.20-71.70mg kg⁻¹였다. 평균함량은 1990년도 토양 중의 것이 1982년도 토양에서 보다 높았다. 도시하수 유입지역으로 부터 거리 별 함량변화가 1982년보다 1990년도 토양이 보다 규칙적으로 감소되는 변화를 나타냈다. 수도체의 엽신부위의 Cu함량과 토양중의 Cu, Zn 및 Pb의 함량간에 유의성이 인정되었다. 토양 중 Cu 함량과 토양 중 Zn 및 Pb함량간에 유의한 상관관계를 나타내고 있어서 Cu가 이들 금속들과 함께 유입되는 오염물질임을 나타냈다. 이 지역에서 채배된 현미

중 Cu함량의 범위는 0.4-10.1 mg kg⁻¹이었고, 수도체 부위중 최고 Cu함량은 화석층으로 현미에 비하여 2.3배 높았으며, 엽초 중의 Cu함량은 토양 중 Zn 및 Pb 함량과 상관관계를 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Dean, J. G., Bosqui F. L. and Lanovette K. H. (1972) : Removing heavy metals from wasted water. *Environ. Sci. Technol.* **6**, 518-522.
2. Boon, D.Y. and Soltanpour P. N. (1992) : Lead, cadmium, and zinc contamination of aspen garden soils and vegetation. *J. Environ. Qual.* **21**, 82-86.
3. Chambers, J.C. and Sidle R. C. (1991) : Fate of heavy metals in an abandoned lead-zinc tailings pond: I.Vegetation. *J. Environ. Qual.* **20**, 745-751.
4. 유순호, 서윤수. (1990) : 우리나라 농업용수의 수질과 토양오염실태. *환경오염과 농업에 관한 국제 심포지엄*, 96-111.
5. Elliott, H. A., Dempsey B. A. and Maille P. J. (1990) : Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludges. *J. Environ. Qual.* **19**, 330-344.
6. 김동호, 임수길, 권오경. (1989) : 사과 과수원 토양과 그 잎중의 중금속 함량과의 관계에 관한 연구. *한국환경농학회지* **8**, 1-6.
7. Rhoads, F.M., Olson S. M. and Manning A. (1989) : Copper toxicity in tomato plants. *J. Environ. Qual.* **18**, 195-197.
8. Kim, S. J., Chang A. C., Page A. L. and Warneke J. E. (1988) : Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* **17**, 568-573.
9. 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.
10. 김성조, 양환승. (1985a) : 만경강 유역의 토양 및 수도체중 중금속 함량. *한국환경농학회지* **5**, 11-23.
11. 김성조, 양환승. (1985b) : 제련소인근지역의 토양 및 수도체중 중금속 함량에 관한 조사연구. *한국토양비료학회지* **18**, 336-347.
12. Cunningham. J. D., Keeney D. R., and Ryan J. A. (1975b) : Phytotoxicity and uptake of metals added to soils as inorganic salt's or in sewage sludge. *J. Environ. Qual.* **4**, 460-462.
13. King, L. D. (1988) : Retention of metals by several soils of the Southeastern United States. *J. Environ. Qual.* **17**, 239-245.
14. Logan, J. J. and Chaney R. L. (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. 소진탁, 이종섭, 유일수, 유은주, 김환홍. (1992) : 만경강 유역 수질 및 저질토의 중금속 함량에 관한 조사연구. *한국육수학회지*, **24(2)**, 123-128.
16. 한기학, 박준규, 정이근, 이춘수, 윤정희, 김원출, 이상규. (1988) : 토양 화학 분석법, 농업기술 연구소, 삼미인쇄사.
17. Cao, H., Chang A. C. and Page A. L. (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 Page A. L. (1974) : Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption spectrophotometry. *At. Absorpt. Newsl.* **13**, 131-134.
19. Walsh, L.M., Erhardt W. H. and Seibel H. D. (1972) : Copper toxicity in snapbeans(*Phaseolus vulgaris* L.) *J. Environ. Qual.* **1**, 197-200.

20. Levy, D.B., Barbarick K. A., Siemer E. G., and Sommers L. E. (1992) : Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado. *J. Environ. Qual.* **21**, 185-195.
21. Okazaki, M. and Saito S. (1989) : Copper and zinc balance in soils, rice plants and aquatic systems in an area along the fuchu precipice line, Tokyo, Japan. *Water, Air and Soil Pollution* **43** , 265-275.
22. Taylor, R. W., Ibeabuchi I. O., Sistani K. R., and Shuford J. W. (1992) : Accumulation of some metals by legumes and their extract-ility from acid mine spoils. *J. Environ. Qual.* **21**, 176-180.