

## 낙동강 하류 유역의 저니토, 토양, 잡초 및 채소 중의 중금속의 분포와 상관관계

정 기 호 · 김 문 순 · 정 종 학

부산대학교 화학과

(1996년 10월 29일 접수)

## Distributions and Correlation of Heavy Metals in the Sediment, Soil, Weeds and Vegetables on the Lower Nakdong River

Gi-Ho Jeong, Moon-Soon Kim and Jong-Hak Jeong  
*Dept. of Chemistry, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea*

(Manuscript received 29 October 1996)

We investigated concentrations of heavy metals(Cr, Cd, Zn, Fe, Pb, Cu, and Mn) and correlations between concentrations of heavy metals in the sediment, soil, weeds, and vegetables on the lower Nakdong river. Concentrations of heavy metals on the lower Milyang river was generally lower than those of other sampling area. In the soil, concentration of Pb is generally larger than that of other heavy metals. Generally, concentrations of heavy metals in the sediment show decreasing tendency as the sampling area moves toward downstream of the river, but those of in the soil and weeds show increasing tendency. There is no significant correlation between concentration of heavy metals in the soil-sediment, soil-vegetables, sediment-weeds, or vegetables-weeds. Only concentrations of Pb in the vegetables and those of in the weeds show very high correlation.

**Key words :** heavy metal, Nakdong river.

### 1. 서 론

급속한 산업화와 공업화의 결과 우리나라의 강과 호수의 수질은 심하게 오염되어 있으며 관련된 토양과 식물도 마찬가지로 오염되어 있다. 공업 폐수, 가정 폐수, 및 농약 등에 의한 피해는 직·간접적으로 우리에게 영향을 미치고 있다. 그런데 강물의 오염도에 대해서는 많은 연구가 수행되고 있고 그 해결책도 광범위하게 모색하고 있지만 관련된 식물 및 저니토 등과 같은 환경에 대해서는 아직 연구가 미흡한 실정이다.

낙동강은 남한에서 가장 긴 강으로 강원도 삼척군 상장면을 기점으로 하여 경남 남부 지역의 곡창지인 창녕, 창원, 밀양 지역을 지나 마산, 김해 평야까지 이어진다. 낙동강의 유역 면적은 전국토의 약 33%를 차지하고 있으며 현재

유역 주거 인구는 전국 인구의 약 20% 정도를 점유하고 있는 우리나라에서는 거대 하천에 속한다. 낙동강 본류 주변의 대규모 산업 공단에서 배출되는 폐수, 유역 인구 활동에 의한 생활하수, 그리고 강 주위의 농경 지역에서 유출되는 농약 등이 낙동강 오염의 주원인으로 작용하고 있다. 낙동강 지류에 설립된 여러 산업 공단들에서 배출되는 폐수에 의해서도 낙동강 본류의 오염이 가중되고 있다. 특히, 1987년에 완공된 낙동강 하구언의 영향 때문에 강물의 유속이 느려지고 체류 시간이 길어져서 거대한 호수화가 진행되어 생태계의 변화(윤해순, 1993)는 물론이고 수질과 주변 저니토의 오염(이유대, 1991)까지 더욱 심해지고 있다. 특히 저니토 중의 중금속은 밀도가 높고 이동성이 작아 일단 유입 측

적되면 자연적 제거가 어려워 반영구적으로 존재한다.

현재까지는 강 자체의 중금속 오염 정도와 강 주변 저니토의 오염도에 관한 연구 결과(이정재 외, 1986; 이유대 외, 1991)들은 있으나 저니토에서의 중금속 오염이 잡초나 채소와 같은 식물에 미치는 영향(소진탁 외, 1991)과 식물로 전이되는 과정에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이것은 기후, 침전물의 양, 및 강우량과 같은 환경적 요인과 종의 종류에 따른 뿌리의 중금속 흡착력의 차이, 성장 속도의 차이, 및 식물의 이온 흡수 메카니즘의 불명확 등과 같은 식물 요인(Petterson et al, 1976), 그리고 저니토 내에서의 중금속의 전이뿐만(Boardman et al, 1975) 아니라 대기 중의 오염 물질의 퇴적에 의한 영향 등 매우 복잡한 요인들이 관련되어 있기 때문에 연구가 쉽지 않기 때문이다.(Van Driel et al, 1995; Verfailli et al, 1977).

본 연구에서는 현재 낙동강물의 직접적인 영향을 받고 있는 저니토와 낙동강 물을 사용하여 농사를 짓고 있는 주변 토양과 이들 환경에서 자라고 있는 잡초 및 식용 채소에 대하여 중금속이 함유된 정도와 이들의 상관성에 대하여 조사하였다(Mays et al, 1973).

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료 채취 지역

시료 채취 지역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 밀양강과 양산천 부근의 낙동강 지류와 본류, 그리고 이들 지류와 본류가 합해지는 부분, 그리고 부산 근교의 낙동강 본류에서 하구언까지이고 시료 채취 지점에 대한 설명은 다음과 같다.

- 밀양강 유입 지역(밀양군 삼랑진) - 하구언으로부터 45 km
  - Site 1. 밀양강 합류 지점으로부터 낙동강 본류쪽 1 km 상류
  - Site 2. 밀양강 합류 지점으로부터 밀양강쪽 1 km 상류
  - Site 3. 밀양강 합류 지점으로부터 낙동강 본류쪽 1 km 하류
- 양산천 유입 지역(양산군 가산리) - 하구언으로부터 20 km
  - Site 4. 양산천 합류 지점으로부터 낙동강 본류쪽 1 km 상류
  - Site 5. 양산천 합류 지점으로부터 양산천쪽

### 1 km 상류

Site 6. 양산천 합류 지점으로부터 낙동강 본류쪽 1 km 하류

· 낙동강 하구언

Site 7. 구포교(하구언으로부터 12 km)

Site 8. 삼락동 좌측 낙동강 본류(모라 지역 하폐수와 낙동강수 완전 혼합 예상 지점)

Site 9. 낙동대교

Site 10. 맥도 나루터 좌측 낙동강 본류(감전 유수지 하폐수와 낙동강수 완전 혼합 예상 지점)

Site 11. 낙동강 하구언 동쪽 정체 수역

Site 12. 낙동강 하구언 서쪽 정체 수역

### 2.2. 시료 채취 방법

시료는 1994년 5월과 10월 2회에 걸쳐 채취하였다. 시료 채취 대상은 크게 낙동강 주변의 흙과 식물로 구분된다. 흙은 낙동강물의 직접적인 영향을 받고 있는 저니토와 낙동강 물을 원수로 사용하여 농사를 짓고 있는 주변 토양으로 나눈다. 저니토와 토양의 채취 깊이는 10~30cm이고 플라스틱 삽을 사용하여 채취하였다. 식물은 낙동강물의 영향을 직접 받고 있는 저니토에서 자라나는 잡초들과 강 주변 토양에서 재배되고 있는 채소로 구분된다. 저니토와 잡초, 토양과 채소 등의 시료들은 서로의 상관성을 살펴보기 위하여 동일한 장소에서 채취하였다. 채소 시료 중에서 비식용 부분은 제거하였고, 채소와 잡초의 영향을 동등하게 비교하기 위하여 잡초도 채소와 마찬가지로 뿌리 부분을 제거한 후 시료로 취했다. 시료 채취 방법은 환경처에서 고시한 환경오염 공정시험법을 따랐다(김종택, 1992).

### 2.3. 분석 방법

시료 전처리 과정에서 흙인 경우는 왕수 분해법, 식물인 경우는 질산-황산 분해법을 사용하였다(김종택, 1992). 질산-황산 분해법의 실험시 Pb 실험은 분해 후 7% 초산 암모늄 용액을 사용하였다. 시료 전처리 과정에서 시료는 Milipore Water System을 이용하여 제조한 증류수를 사용하여 충분히 행구어 주었다. 실험에 사용되는 시약은 Junsei 회사 제조의 특급 시약을

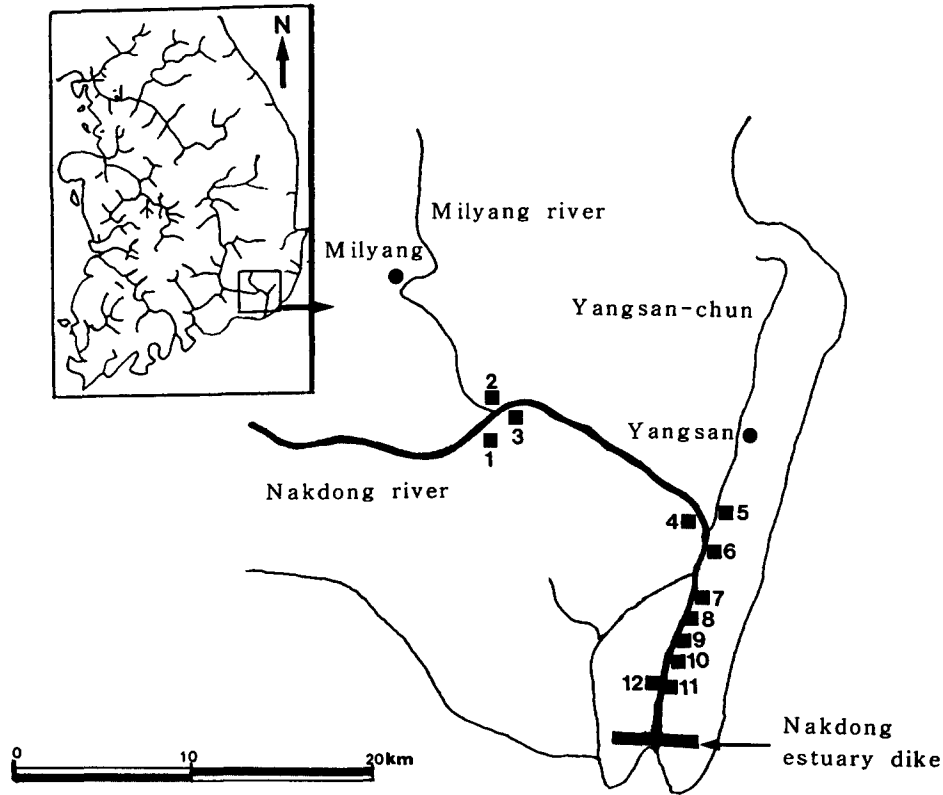


Fig. 1. Locations of the sampling sites along the Nakdong river.

사용하였다. 중금속은 Spectra 1200-A 유도 결합 플라즈마(ICP) 원자 방출 분광 광도계(일본 Seiko 사)를 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 저니토에 대한 중금속 오염도

Table 1.과 Fig. 2는 낙동강 하류 지역의 저니토에 함유된 중금속 농도에 대한 자료를 정리한 것이다. Table 1.에 나와 있는 금속 중에서 Zn, Mn, 및 Fe은 다른 금속들과 비교하여 농도 차이가 매우 크거나 또는 유해 정도가 낮기 때문에 모든 Fig.에 포함시키지 않았다. 밀양강 주변(Site 1~3)의 오염도는 시료를 채취한 다른 지역에 비하여 전반적으로 오염도가 낮게 나타났다.

밀양강 하류(Site 2)에서는 중금속 중 Cr(2.38  $\mu\text{g/g}$ ), Zn(13.06), 및 Mn(50.46)은 오염도가 낙동강 본류 상류쪽(Site 1)의 Cr(5.09), Zn(21.90), Mn(165.9)보다 약 2~3배 낮게 나타났다.

반면에 밀양강 하류에서의 Pb(6.68), Fe(7018), 및 Cu(5.03)는 낙동강 본류 상류쪽의 Pb(4.53), Fe(6265), 및 Cu(4.16)보다 높게 나타났으며 Cd의 농도는 거의 비슷하게 나타났다. 특히 Pb의 농도가 낙동강 본류 상류쪽보다 높게 나타난 것은 밀양강 근처에 난립해 있는 무허가 폐기물 처리장의 영향을 받은 것으로 생각된다.

양산천과 낙동강 본류가 합류하기 전인 Site 4 및 Site 5 지점에서의 오염도를 비교해 보면 7가지 중금속 모두 양산천 하류(Site 5)에서 1.5~4.5배 정도 높은 오염도를 보이고 있다. 밀양강 하류(Site 2)와 양산천 하류(Site 5)를 비교하면 Cu, Fe, 및 Cd은 약 2~5배, 그리고 나머지 중금속들은 약 5~15배 정도 양산천 하류 저니토의 오염도가 높다. 이는 양산천 부근에 많이 조성된 공업 단지의 영향 때문인 것으로 생각된다.

양산천 아래쪽의 낙동강 본류(Site 6~9)의 중

Table 1. Concentrations of heavy metals in the sediment on the lower Nakdong river

Site number <sup>1)</sup>	Cr	Zn	Pb	Cd	Mn	Fe	Cu
1	5.09	21.90	4.53	0.95	165.9	6265	4.16
2	2.38	13.06	6.68	1.10	50.46	7018	5.03
3	0.97	5.15	ND <sup>2)</sup>	0.13	83.39	2738	0.59
4	9.25	62.89	15.20	2.97	407.3	10280	3.95
5	34.14	132.20	70.41	4.98	827.6	15600	10.43
6	21.62	112.00	72.12	5.31	987.6	10720	23.30
7	12.52	79.82	62.37	1.78	418.9	16710	28.08
8	- <sup>3)</sup>	-	-	-	-	-	-
9	4.99	30.62	21.75	0.63	200.0	5938	8.38
10	12.26	59.62	26.53	1.89	398.0	12010	16.07
11	4.12	24.93	12.83	0.39	29.10	1037	4.47
12	13.58	63.24	7.97	2.50	223.1	13760	12.52

Site number: see Fig. 1 2) ND: none detected 3) - : no sample was collected

금속 오염도는 양산천과의 합류 지점(Site 6)에서 가장 높고, 구포교(Site 7)와 낙동대교(Site 9)까지 내려가면서 저니토에서의 중금속 함유량이 대체로 3~5배 정도 감소한다. 이런 경향은 양산천에 의하여 본류가 크게 오염되며, 낙동대교까지 강물의 희석 효과에 의하여 중금속 농도가 감소한 결과로 생각된다.

한편, 맥도 나루터 부근(Site 10)에서는, Pb를 제외하면, 저니토에 함유된 중금속의 농도가 감소하는 경향이 반전되어 다시 2~3배 정도 증가한다. 이것은 감전동에서 배출되는 폐수와 사상공단에서 나오는 공장 폐수에 기인하는 것 같다. 하구언 동쪽 정체 구간(Site 11)과 서쪽 정체 구간(Site 12)을 비교해 볼 때 대체적으로 서쪽 정체 구간의 오염도가 더 높은 것으로 나타났다. 삼락동 좌측(Site 8)은 저니토를 채취하지 못하여 측정 자료를 얻을 수 없었다.

### 3.2. 토양에 대한 중금속 오염도

Table 2와 Fig. 3은 토양에 함유된 중금속 농도를 나타낸 것이다. 밀양강 하류(Site 2)와 양산천 하류(Site 5)를 비교하면, 저니토와는 달리

두 지점의 토양에 함유된 중금속의 양은 약 0.9~1.3배 정도로 비슷하게 분포되어 있다. 다만, Cd은 양산천 하류의 토양에서 약 18배 정도 높게 나타나고, Cu는 밀양강 하류에서 2배 정도 높게 나타난다. 이것은 농사를 짓는 토양에 대한 오염 경로와 저니토의 오염 경로가 다르며, 토양은 저니토에 비하여 강물의 직접적인 영향을 덜 받는다는 것을 의미한다. 낙동강 하류 유역(Site 7~9)의 토양에 함유된 중금속 농도는 대체로 다른 지역에 비하여 높게 나타났다. 이것은 하류로 내려오면서 강물 속의 중금속이 토양에 축적되고 저니토에서의 희석 작용과는 달리 토양에서는 중금속이 계속 축적되는 경향이 크기 때문인 것 같다. Table 1과 2를 비교해 보면 밀양강 주변(Site 1~2)에서는 토양에서의 중금속 오염도가 저니토보다 더 높게 나타난다. 강에 인접한 저니토는 강물이 출입하므로 중금속이 강물에 씻겨 내려가는 경향이 있다. 그러나 토양은 강물을 원수로 사용하여 농사를 짓기 때문에 중금속이 계속 축적될 가능성이 더 크다. 그러나 양산천 하류 유역에서는 밀양강 하류 유역과는 다른 경향을 나타낸다. 양산천 부근 낙

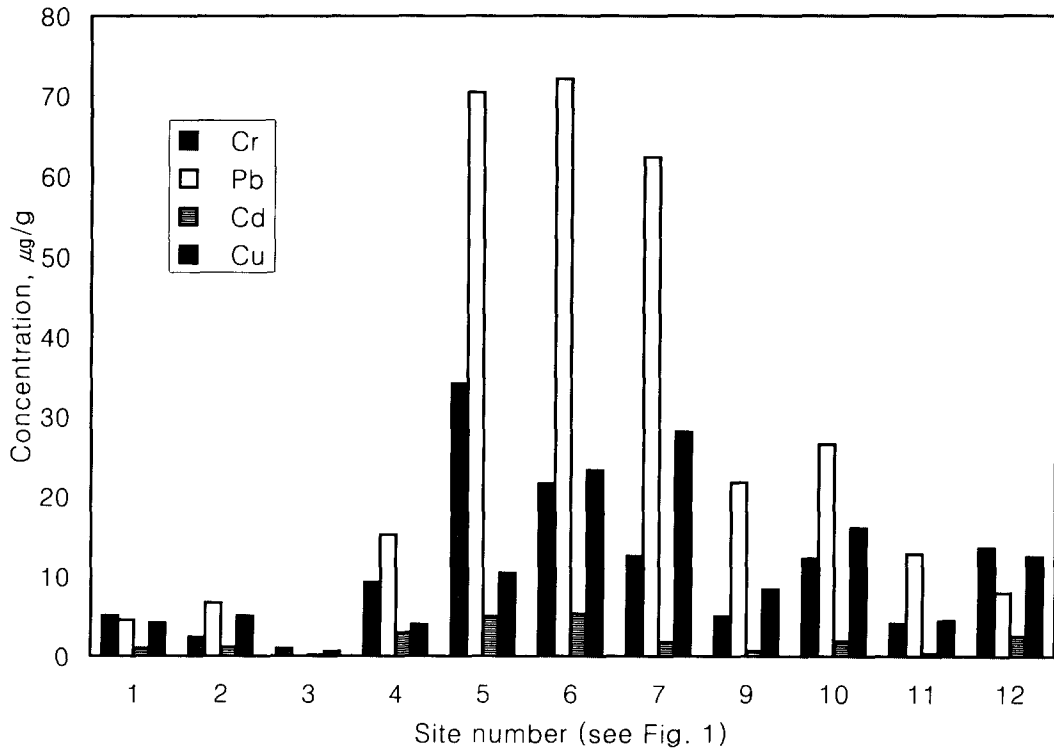


Fig. 2. Concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the sediment on the lower Nakdong river.

동강 본류(Site 4)에서는 밀양강과 같은 경향을 나타내어 Cr을 제외하면 토양이 저니토보다 중금속 오염도가 더 크다. 그러나 양산천 하류(Site 5)와 인근 낙동강 본류(Site 6)에서는 반대로 저니토의 오염도가 토양보다 대체로 2~6배 높다. 한편, Fe은 비슷한 정도로 분포되어 있으나, Cd은 저니토보다 토양에서 6배 정도 오염도가 높은 것은 주목할만 하다. 양산천 하류와 이것의 영향을 받는 인근 낙동강 하류에서, 저니토에 비하여 토양의 오염도가 낮은 것은 양산천 공업 단지가 조성된 시일이 오래 되지 않아 양산천 하류의 영향을 직접 받는 저니토의 오염도가 더욱 심하고 토양에는 아직 중금속의 축적이 덜 된 것 같다. Site 3과 Site 10~12에서는 강 유역에 농사 짓는 토양이 없었기 때문에 시료를 채취하지 못하였다.

### 3.3. 잡초와 채소에 대한 중금속 오염도

Table 3과 Fig. 4에서는 잡초에 함유된 중금속 농도를 나타낸 것이다. 밀양강 하류 유역(Site 1~3)에서 Pb과 Cd은 검출되지 않았고, 밀양강

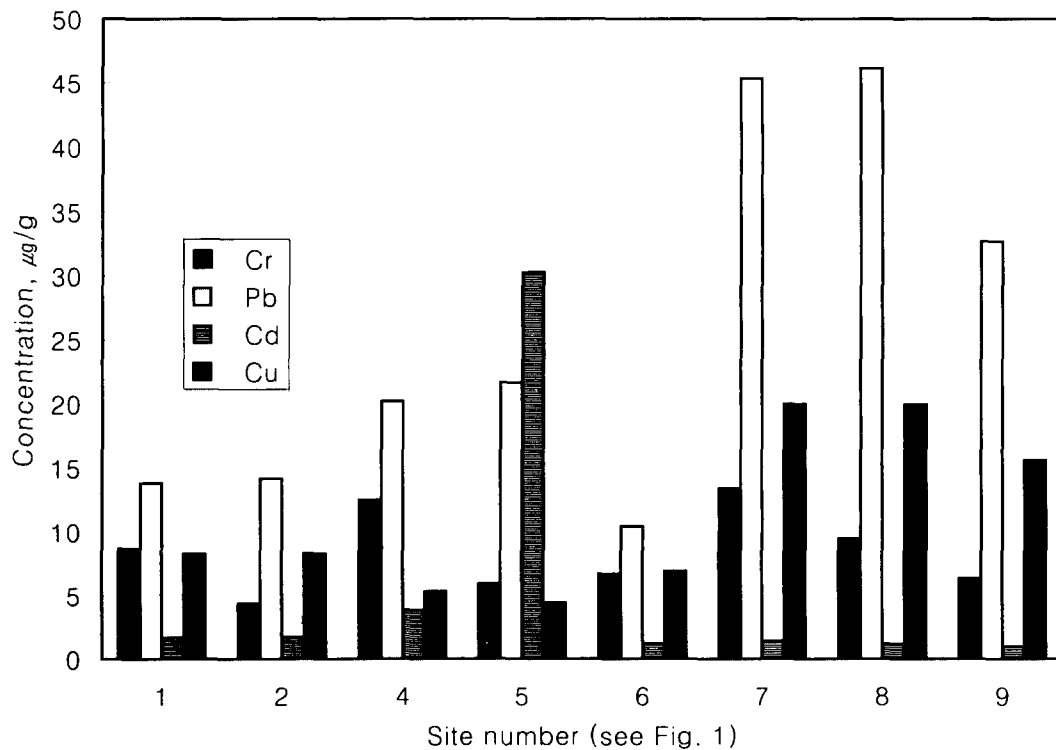
하류(Site 2)에서 Cr과 Zn의 오염도는 밀양강과 합류하기 직전의 낙동강 본류보다 낮았다. 양산천 하류(Site 4~6)와 밀양강 하류를 비교하면 Cr, Zn, 및 Cd은 밀양강에서 오염도가 더 낮지만, Mn, Fe, 및 Cu는 밀양강에서 오염도가 더 높다. 이것은 저니토의 오염 경로와 여기서 자라는 잡초의 오염 경로 사이에 상관성이 낮음을 의미한다. 반면, 낙동강 하류로 가면서 저니토의 중금속 농도는 줄어드는데, 잡초의 경우에는 Zn와 Fe을 제외하면 줄어드는 경향을 보이지 않으며 Pb은 하류에서 오히려 크게 증가한다. 이것은 잡초는 저니토에서 보이는 희석 효과보다 잡초 내에 축적되는 효과가 더 크기 때문일 것으로 생각된다. 결과적으로, Fig. 6에 나타난 바와 같이 저니토와 여기서 성장하는 잡초에 함유된 중금속 농도 사이에는 상관관계가 보이지 않는다.

Table 4와 Fig. 5에 채소에 함유된 중금속 농도를 나타내었다. Fig. 7에 나타난 것처럼 토양과 채소에 함유된 중금속 농도 사이에는 상관관계가 보이지 않는다. 양산천 하류의 저니토에

**Table 2. Concentrations of heavy metals in the soil on the lower Nakdong river**

Site number <sup>1)</sup>	Cr	Zn	Pb	Cd	Mn	Fe	Cu
1	8.66	29.45	13.81	1.69	352.8	9193	8.28
2	4.36	20.95	14.16	1.72	277.0	9680	8.28
3	— 2)	-	-	-	-	-	-
4	12.48	36.85	20.17	3.83	526.4	13050	5.31
5	5.90	22.76	21.65	30.27	256.1	11690	4.43
6	6.68	20.24	10.42	1.20	213.6	7416	6.91
7	13.37	85.40	45.34	1.43	331.4	12110	19.98
8	9.47	59.92	46.12	1.20	337.7	10700	19.96
9	6.34	39.45	32.71	1.00	104.1	10340	15.60
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-

1) Site number : see Fig. 1 2) ND: none detected

**Fig. 3. Concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the soil on the lower Nakdong river.**

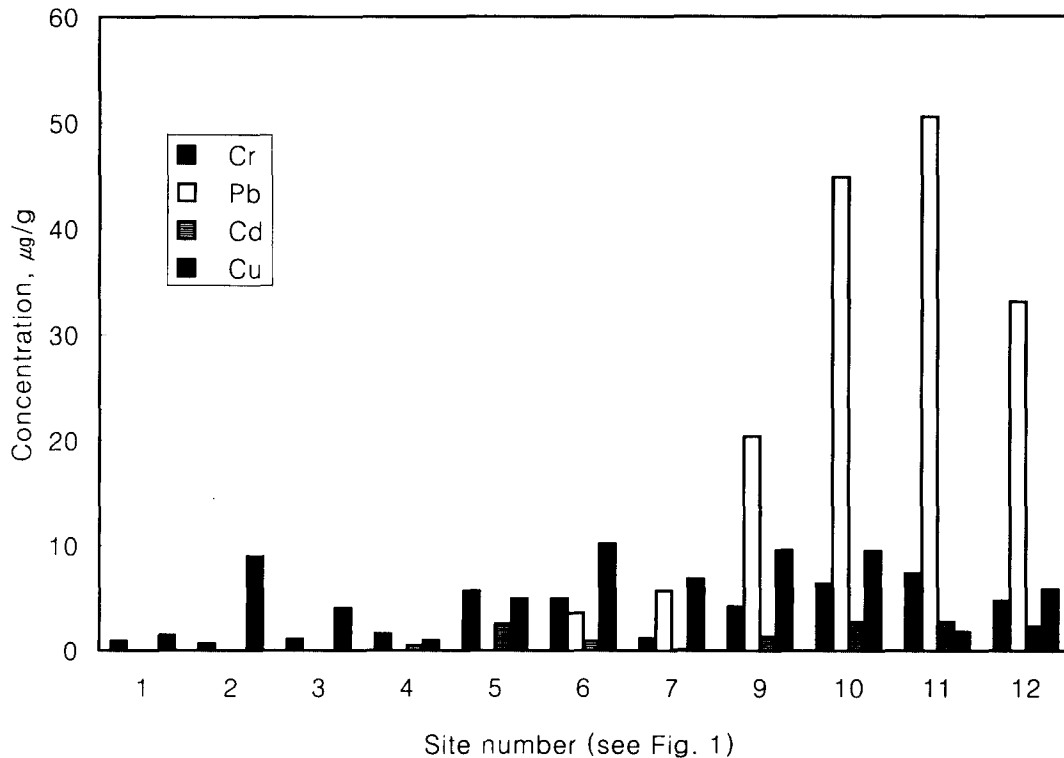
낙동강 하류 유역의 저니토, 토양, 잡초 및 채소 중의 중금속의 분포와 상관관계

**Table 3. Concentrations of heavy metals in the weeds on the lower Nakdong river**

Site number <sup>1)</sup>	Cr	Zn	Pb	Cd	Mn	Fe	Cu
1	0.92	61.02	ND <sup>2)</sup>	ND	358.4	454.8	1.48
2	0.66	46.34	ND	ND	594.9	372.4	8.97
3	1.12	50.29	ND	ND	1402.	69.33	4.06
4	1.63	42.20	ND	0.48	349.2	104.7	0.96
5	5.70	299.2	ND	2.53	178.8	258.6	4.96
6	4.98	207.9	3.62	0.92	219.6	424.7	10.21
7	1.19	77.33	5.72	0.10	179.4	64.62	6.89
8	- <sup>3)</sup>	-	-	-	-	-	-
9	4.23	142.0	20.40	1.38	227.4	166.4	9.61
10	6.39	62.38	44.85	2.75	47.25	130.6	9.54
11	7.37	57.29	50.49	2.77	150.9	158.8	1.83
12	4.77	57.27	33.11	2.35	262.0	375.3	5.89

1) Site number : see Fig. 1 2) ND: none detected

3) - : no sample was collected

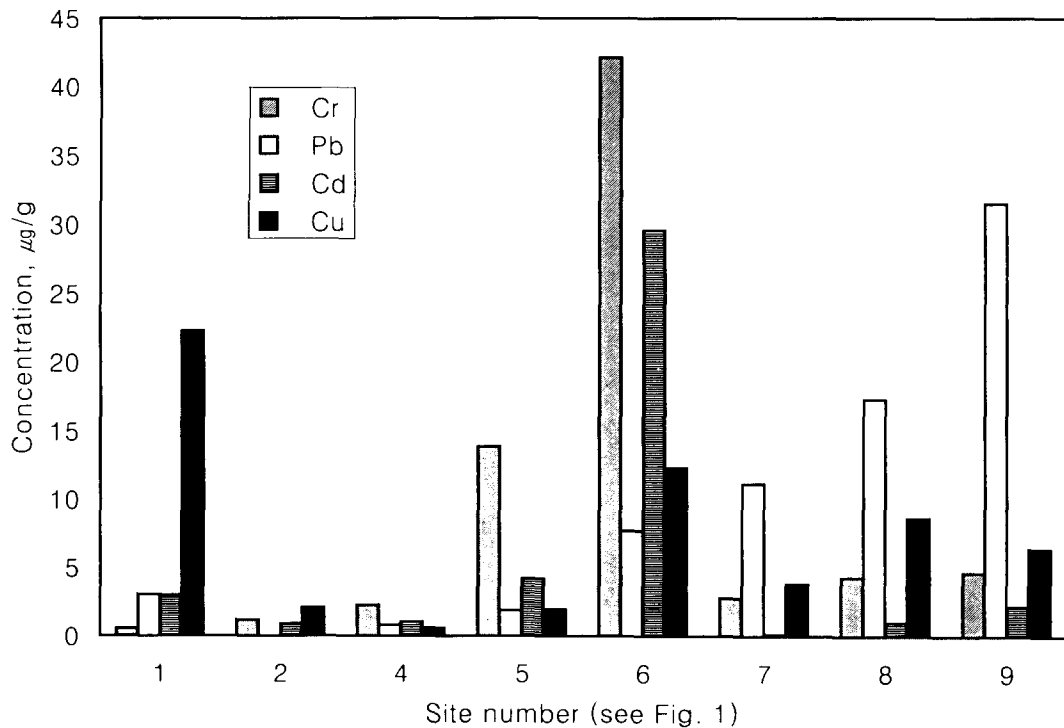


**Fig. 4. Concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the weeds on the lower Nakdong river.**

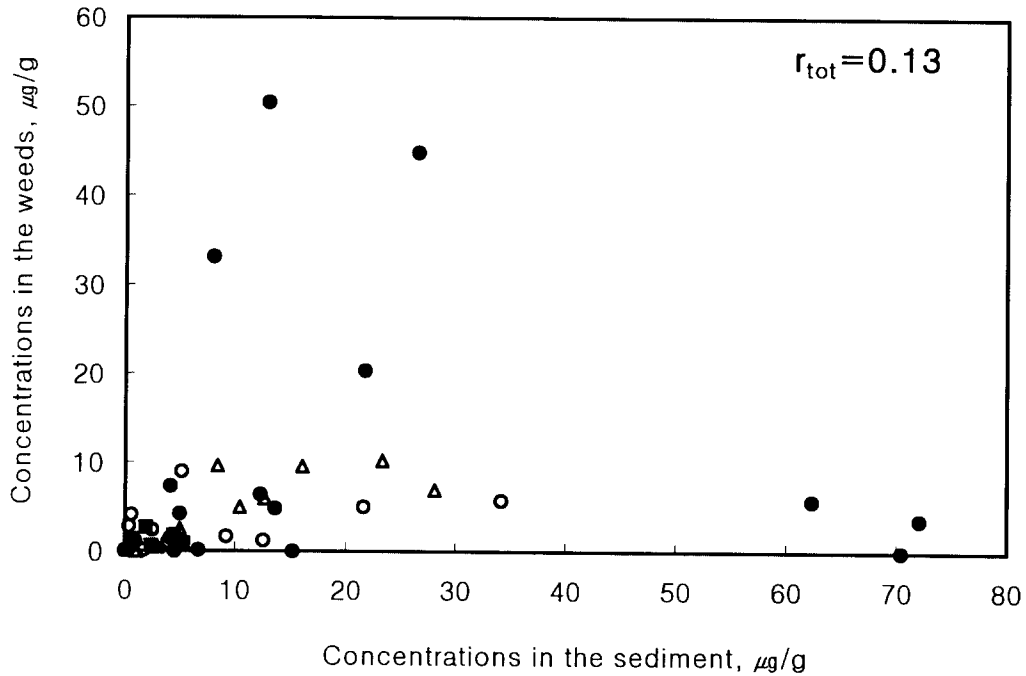
**Table 4. Concentrations of heavy metals in the vegetables on the lower Nakdong river**

Site number <sup>1)</sup>	Cr	Zn	Pb	Cd	Mn	Fe	Cu
1	0.55	345.3	3.04	2.98	1569	853.2	22.28
2	1.19	105.7	ND <sup>2)</sup>	0.90	117.3	256.3	2.11
3	- <sup>3)</sup>	-	-	-	-	-	-
4	2.26	142.7	0.81	1.03	651.6	134.8	0.60
5	13.88	262.5	1.88	4.22	600.5	687.9	1.95
6	42.12	1076	7.73	29.59	4915	5853	12.30
7	2.78	60.46	11.15	0.13	20.86	251.3	3.80
8	4.30	88.26	17.33	0.99	162.4	391.0	8.66
9	4.65	181.9	31.55	2.19	587.0	223.1	6.43
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-

1) Site number : see Fig. 1 2) ND : none detected 3) - : no sample was collected

**Fig.5. Concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the vegetables on the lower Nakdong river.**





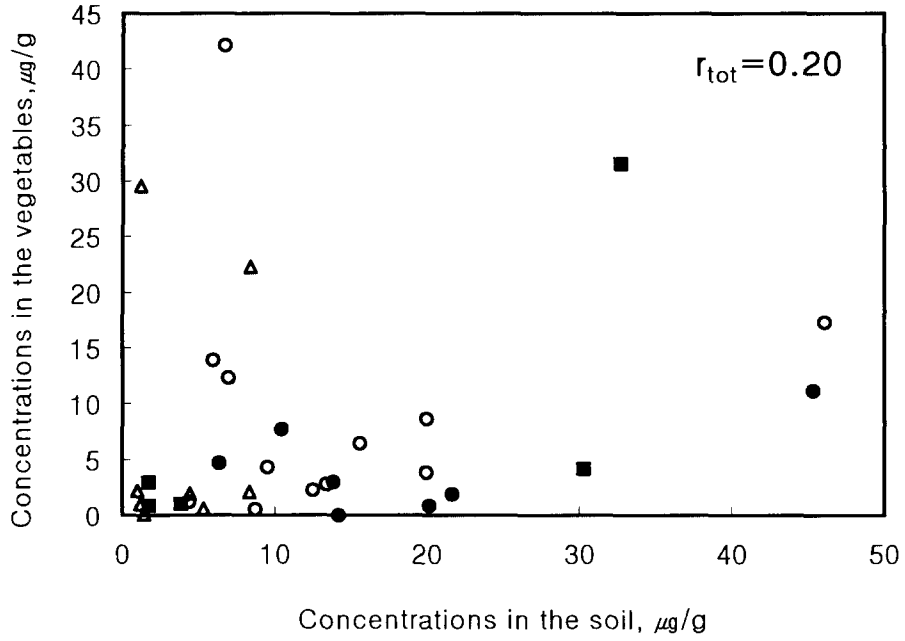
○:Cr( $r=0.44$ ), ●:Pb( $r=-0.21$ ), ■:Cd( $r=0.22$ ), △:Cu( $r=0.57$ )

Fig.6. Correlation between concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the sediment and weeds.

함유된 중금속 농도는 토양보다 높다. 그러나 토양에서 자라는 채소의 경우, Cu를 제외하면, 전반적으로 저니토에서 자라는 잡초보다 중금속 함유량이 높게 나타났다.

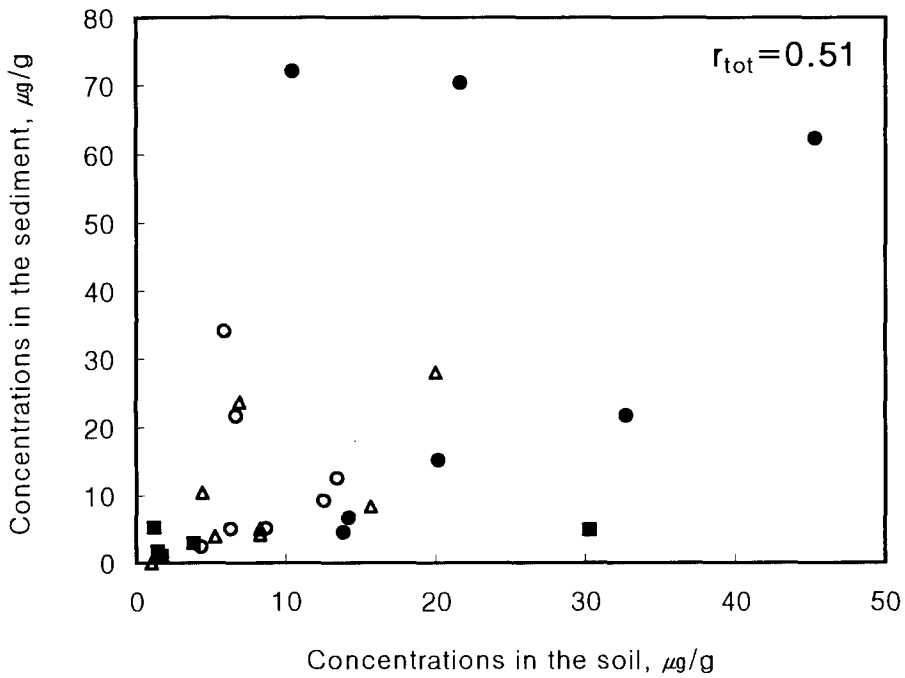
채소와 잡초의 자체 수분 함유량의 차이 등에 기인하여 채소와 잡초가 중금속을 흡수하는 정도에는 차이가 있다(Buchauer et al, 1973 ; Ligerwerff et al, 1970). 토양, 저니토, 채소, 및 잡초를 모두 채취한 7개 지역(Site 1, 2, 4~7, 9)에서 얻은 일곱 가지 중금속농도를 정리하면 49개의 비교 가능한 자료가 생긴다. 비교 대상 자료 49개 중 37개 지점에서 채소가 잡초에 비하여 중금속 오염도가 높게 나타났다. 비교 대상 49개 중 29개 지점에서 토양에서의 중금속 오염도가 저니토보다 높게 나타났다. 한편, 채소의 중금속 오염도가 잡초보다 높게 나타난 37개 지점 중 22개 지점에서만 토양의 오염도가 저니토보다 높다. 이것은 토양과 채소, 그리고 저니토와 잡초의 중금속 오염 정도가 상관성이 낮음을 의미한다. Fig. 6~9는 각각 저니토-잡초, 토양-채소, 토양-저니토, 그리고 채소-잡초 등 관련지

은 두 가지 대상에 함유된 Cr, Pb, Cd, 및 Cu의 농도에 대한 상관 관계를 나타낸 것이다. 상관관계계수( $r$ )와 이에 관련된  $t$ -값들을 Table 5.에 수록하였다. 각 점들은 실험 대상 지역(site)에서의 각 중금속들의 농도를 나타내며, 금속은 종류별로 구별하였다. 관련지은 두 가지 대상에 함유된 네 가지 중금속에 대하여 금속의 종류를 구별하지 않고 구한 상관 관계계수 값( $r_{tot}$ )은 저니토-잡초에서 0.13, 토양-채소에서 0.20, 토양-저니토에서 0.51, 그리고 채소-잡초에서 0.47이다. 즉, 토양-저니토 및 채소-잡초의 경우가 저니토-잡초 및 토양-채소의 경우보다 더 높은 상관성을 나타낸다. 다시 말하면, 성질이 비슷한 시료에 함유된 중금속 농도 사이에 상대적으로 높은 상관성이 나타났다. 그러나 중금속 종류별로 살펴보면 의미있는 상관성은 나타나지 않는다. 토양-채소에 함유된 Pb( $r=0.60$ ), 저니토-잡초에서의 Cu( $r=0.57$ )와 Cr( $r=0.44$ ), 채소-잡초에서의 Cr( $r=0.68$ )과 Pb( $r=1.0$ ), 그리고 토양-저니토에서의 Cd( $r=0.56$ )과 Cu( $r=0.52$ )의 농도에서 상관관계계수가 상대적으로 높다. 이들에 대해서는



○:Cr( $r=-0.30$ ), ●:Pb( $r=0.60$ ), ■:Cd( $r=-0.06$ ), △:Cu( $r=-0.01$ )

Fig.7. Correlation between concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the soil and vegetables



○:Cr( $r=-0.12$ ), ●:Pb( $r=0.24$ ), ■:Cd( $r=0.56$ ), △:Cu( $r=0.52$ )

Fig.8. Correlation between concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the soil and sediment

낙동강 하류 유역의 저니토, 토양, 잡초 및 채소 중의 중금속의 분포와 상관관계

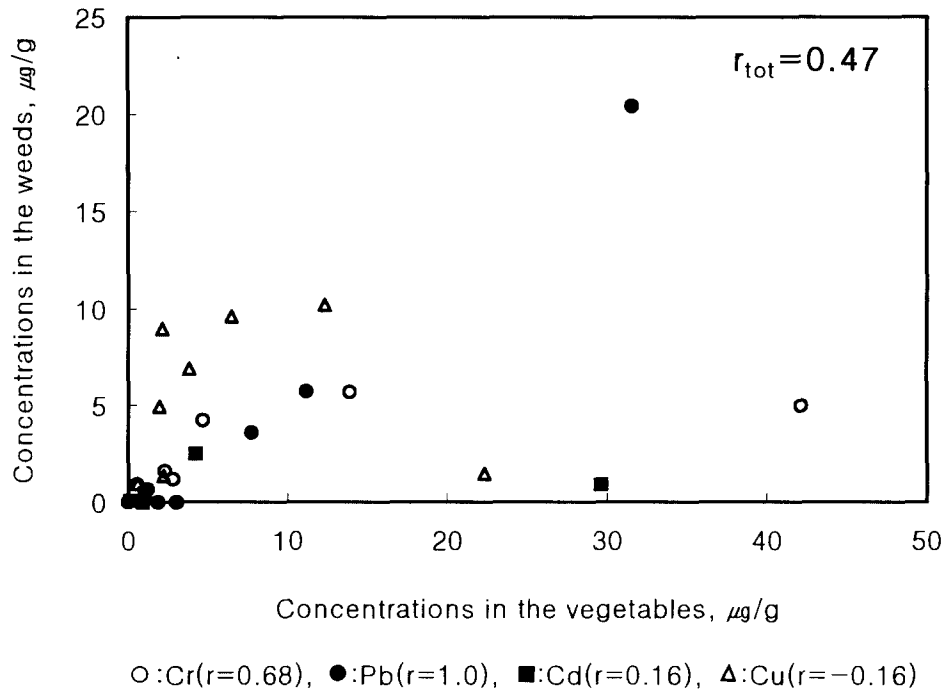


Fig.9. Correlation between concentrations of Cr, Pb, Cd, and Cu in the vegetables and weeds.

귀무가설을 적용하여 유의성 검정을 실시하였다. 여기서 세운 귀무가설은, 예를 들어, 토양과 채소에 함유된 Pb의 농도 사이에는 아무 상관관계가 없다는 것이다. 만일 식 (1)에 따라 계산한 t-값이 정해진 신뢰 수준과 자료수, n에 대한 t의 임계값보다 크면, 귀무가설을 기각한다. 즉, 이 경우 유의한 상관 관계가 존재한다고 말한다 (Miller et al, 1988).

$$t = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \quad (1)$$

Table 5에서  $t_{.95}$ 는 95% 신뢰 수준에서 일정한 자료수에 대한 t의 임계값이며, t-값은 식 (1)에 따라서 계산한 값이다. 대부분 유의한 상관 관계가 발견되지 않았다. 다만, 채소와 잡초에 함유된 Pb의 농도만 유의한 상관 관계( $r=1.0$ )를 가진 것으로 나타났다. 이것은 주목할만한 결과이며, 동일 지역에서 자라는 서로 다른 식물에 함유된 Pb의 농도 및 오염 경로에 대한 더 자세한 연구가 필요한 부분이다.

4. 결 론

밀양강 하류는 시료를 채취한 다른 지역에 비하여 중금속의 농도가 전반적으로 낮다. 다만, Cu는 특이하게 높은 농도를 나타내었다. 양산천 하류는 특히 저니토에 함유된 중금속 농도가 다른 지역에 비하여 매우 높다. 토양에서는 Pb의 농도가 일반적으로 높고, 양산천 하류의 토양에서는 Cd의 농도가 특히 높다. 양산천과 낙동강이 합류하는 지역 일대의 저니토 그리고 낙동대교 아래쪽 낙동강 하류 유역의 잡초, 채소, 및 토양에서는 Pb의 농도가 높은 것이 주목된다. 양산천 하류의 토양과 여기서 낙동강이 합류하는 지역의 채소에서의 Cd의 농도와 같은 지역의 저니토 및 채소에서의 Cr의 농도도 특히 높다. 낙동강 하류로 갈수록 저니토에 함유된 중금속 농도는 감소하는 경향을 나타내지만, 토양과 잡초에 함유된 중금속 농도는 상류보다 하류에서 대체로 증가하는 경향을 나타낸다.

토양, 저니토, 채소, 및 잡초에 함유된 중금속의 농도 사이에는 유의한 상관 관계가 없었다. 다만, 채소와 잡초에 함유된 Pb의 농도 사이에 매우 높은 상관 관계가 발견되었다.

참 고 문 헌

- 김종택, 1992, 환경오염공정시험법 해설, 452-464.
- 소진탁, 이종섭, 안영검, 1991, 만경강 수질오염이 유역 농작물, 수중 생물 및 주민 건강에 미치는 영향 연구, 한국과학재단 보고서, KOSEF 88-2122-1484.
- 윤해순, 1993, 낙동강 하구언 축조 후의 수생 관속 식물의 현재량 변화에 관한 연구, 동아대학교 환경문제연구소 연구보고, 16(1), 83-96.
- 이유대, 김창원, 1991, 낙동강 하구역의 해양 환경 연구, 부산대학교 환경문제연구소 환경연구보, 9, 31-41.
- 이정재, 최정, 1986, 금호강 유역의 수질, 저니토 및 작물체 중의 중금속(Zn, Ca, Cd, Pb) 함량 조사, 한국환경농학회지, 5(1), 24-29.
- Boardman, N.K., E. Nicholas, D.J.D. Egan, and A.R. Egan, 1975, Trace element in soil-plant-animal system, Academic press, New York, 199-212pp.
- Buchauer, M., 1973, Contamination of soil and vegetation near a zinc smelter by zinc, cadmium, copper and lead, Environ. Sci. Technol., 7, 131-135.
- Lagerwerff, J.V. and A.W. Specht, 1970, Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc, Environ. Sci. Technol., 4, 583-585.
- Mays, D.A., A.W. Terman, A.W. and J.C. Duggan, 1973, Municipal compost; Effects on crop yield and soil properties, J. Environ. Qual., 2, 89-92.
- Miller, J.C. and J.N. Miller, 1988, Statistics for Analytical Chemistry, 2nd ed., John Wiley and Sons, 108pp.
- Petterson, O., 1976 Heavy metal ion uptake by plants from nutrients solutions with metal ion, plant species and growth period variations, Plant Soil, 45, 445-449.
- Van Driel, W., B. van Luit, K.W. Smilde and W. Schuurmans, 1991, Heavy-metal uptake by crops from polluted river sediments covered by non-polluted topsoil I, Plant and Soil, 175, 93-104
- Verfailli, G.R.M., 1977, A method for the kinetics of uptake of heavy metal ions by intact plants, Collq. Int. C.N.R.S., 258, 139-145.