J. Fd Hyg. Safety 15(3), 209–218 (2000)

한강둔치에서 재배된 농작물 중의 미중금속 함량에 관한 연구

김연천 · 전옥경† · 양혜란 · 최영희 · 한선희 · 이강문
서울특별시 보건환경연구원 식품안전성팀

A Study on the Contents of Trace Metals in the Crops cultivated in Han-riverside

Youn Cheon Kim, Ock Kyoung Chun†, Hae Ran Yang, Young Hee Choi, Sun Hee Han, and Kang Moon Lee
Food Safety Team, Seoul Metropolitan Reaserch Institute of Public Health and Enverонment, Seoul 137-030, Korea

ABSTRACT - This study was conducted to determine the content of trace metals in crops cultivated in Han-riverside, Anyang stream, Tan stream, and Jungryang stream. Trace metals (Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Cu, Hg) were detected in 36 crops, 285 samples by Atomic Absorption Spectrophotometer and Mercury Analyzer. The average concentration of trace metals in crop samples was in the order of Fe (34.592 ppm)>Mn (11.071 ppm)>Zn(8.853 ppm)>Cu(1.795 ppm)>Cr(0.237 ppm)>Pb(0.100 ppm)>Cd(0.011 ppm)>Hg (0.003 ppm). In crop samples, the contents of Fe, Cu, Mn, and Zn, which ranges were 0.004~203.083 ppm, 0.017~22.727 ppm, 0.000~74.373 ppm, 0.080~37.166 ppm, respectively, were relatively higher than those of Pb, Cd, Cr, and Hg, which ranges were 0.000~0.654 ppm, 0.000~0.270 ppm, 0.000~1.229 ppm, 0.000~0.037 ppm, respectively. The concentration of trace metals in crop samples was in the order of leafy vegetables > stem vegetables > root vegetables > fruity vegetables. In the root vegetables, such as radish, the content of Pb was leaf(0.055 ppm)>root(0.035 ppm), that of Cr, leaf (0.118 ppm)>root(0.031 ppm), that of Cd, leaf(0.004 ppm)>root(0.001 ppm), that of Hg, leaf(0.004 ppm)>root(0.001 ppm). As the results, it could be thought that root is the organ which doesn't accumulate the heavy metal ions, but absorb them.

Key words □ Crops, Content of trace metals, Han-riverside.

급속한 인구의 증가와 산업의 발달에 따른 환경오염의 증가는 그로 인한 오염물질의 인체 유입 가능성을 증가시켜 왔으며,[1,2] 특히 산업폐기물등의 농경지 오염에 따른 농작물의 중금속 및 농약오염과 이에 따른 인체에의 유해 여부에 대한 논란은 세계무역기구(WTO) 협정에 따른 수출입 교역의 확대와 더불어 세계적인 통상문제로까지 대두되어 식품의 국제규격기준이 설정되기에 이르렀다.

미량금속은 일반적으로 극히 미량으로 동식물의 영양에 관여하는 원소로서 인체 또는 동물의 생존에 필요한 철, 아연, 구리, 망간 코발트 등과 식물에 필요한 망간, 아연, 붕소, 규소, 몰리브덴 등의 필수금속과 수은, 납, 비소, 카드뮴 등과 같이 독성을 나타내는 유해금속으로 분류할 수 있다.[3] 특히 유해금속류는 적은 양으로도 인체에 중독증상을 나타내는 것들이 많고 토양에서 분해되지 않고 장기간 잔류하게 되므로 그 지역에서 재배되는 농작물에 흡수되어 피해를 줄 뿐만 아니라 중금속이 흡착된 농작물을 식용으로 하는 인간과 가축의 체내에 잔류 축적되기 때문에 토양오염물질 중 가장 문제시 되고 있다.[4-8]

농작물의 중금속 오염은 토양에만 기인하는 것은 아니고, 농업용수의 오염이나 대기오염물질 등에 의한 여러 가지 환경인자에 영향을 받게 되지만 결국 토양오염을 수반하게 되므로 토양오염은 농작물 오염의 중요한 지표가 될 수 있어 토양의 오염정도를 파악함은 농작물 재배의 타당성을 평가하는 기준이 될 수 있다.

지금까지의 토양과 농작물의 중금속 오염에 대한 연구는 미국에서 고속도로 주변 토양중의 납(Pb) 함량 조사[9-12]를 시작으로 토양과 쌀의 중금속 오염에 관한 조사,[13,14] 토양과 채소의 중금속 오염에 대한 조사[15-17] 등이 수행되고 있다.

우리나라도 식품 중의 미량금속 함량 모니터링 사업을 연차적으로 수행해 왔으며[18,19] 하천 및 토양의 중금속 오염과 식물류의 중금속 오염에 대한 연구[20-23]도 보고되고 있다.

†Author to whom correspondence should be addressed.

한강과 그 지천은 서울, 경기지역의 주요 하천으로 정부의 시책에 의해 둔치의 조경화 사업과 생태공원 조성 등 다양한 사업이 추진되고 있으며 일반인에 의한 소규모 경작과 구단위의 경작화 사업도 진행되고 있다. 그러나 한강은 연중 유량의 변화 폭이 크고 특히 장마철 둔치의 범람에 따른 수중의 중금속 성분의 오염 및 공장과 자동차에 의한 배기가스등 대기오염 물질의 침적에 의한 토양 및 경작물의 오염 가능성이 우려되므로 재배 농작물에 대한 중금속 오염 여부와 둔치의 토양 중금속 오염 수준이 작물 중의 중금속 함량에 미치는 영향등에 대한 연구 등 기초연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 한강 및 지천 둔치에서 재배되고 있는 농작물에 대하여 지천별, 작물별 중금속함량을 측정 비교하고, 장마 전후의 중금속 함량의 변화를 파악하며 작물 부위별 중금속 수준 및 중금속간의 상관성을 파악 함으로써 중금속 위해성 평가의 기초자료로 사용하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

1999년 장마철을 전후한 7월과 9월말 2차에 걸쳐 한강 고수부지와 지천인 안양천, 탄천, 중랑천등 4개 지역 둔치에서 재배되고 있는 배추, 무, 고추, 파, 깻잎 등 총 36종의 농작물 285건을 채취하여 시료로 사용하였다(Table 1, 그림 1).

실험방법

조사대상 금속 : 조사대상 금속은 납(Pb), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 아연(Zn), 망간(Mn), 구리(Cu), 수은(Hg)의 8종이었다.

시약 : 농도 1 mg/ml의 원자흡광용 금속 표준원액(Wako Pure Chemical Industry Ltd, Japan)을 사용하였고, 납(Pb), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 아연(Zn), 망간(Mn), 구리(Cu)는 0.5N HNO_3 용액을 사용하여 적정 농도로 희석하였으며, 수은(Hg)은 0.001% L-cystein 용액으로 희석하여 제조하였다.

Table 1. Sample size of the experiment

Areas	Sampling sites (No. of samples)	
	Early July	Late September
Han-riverside	6(43)	6(55)
Anyang stream	7(27)	6(60)
Tan stream	3(15)	5(16)
Chungrang stream	1(12)	11(57)
Total	17(97)	28(188)

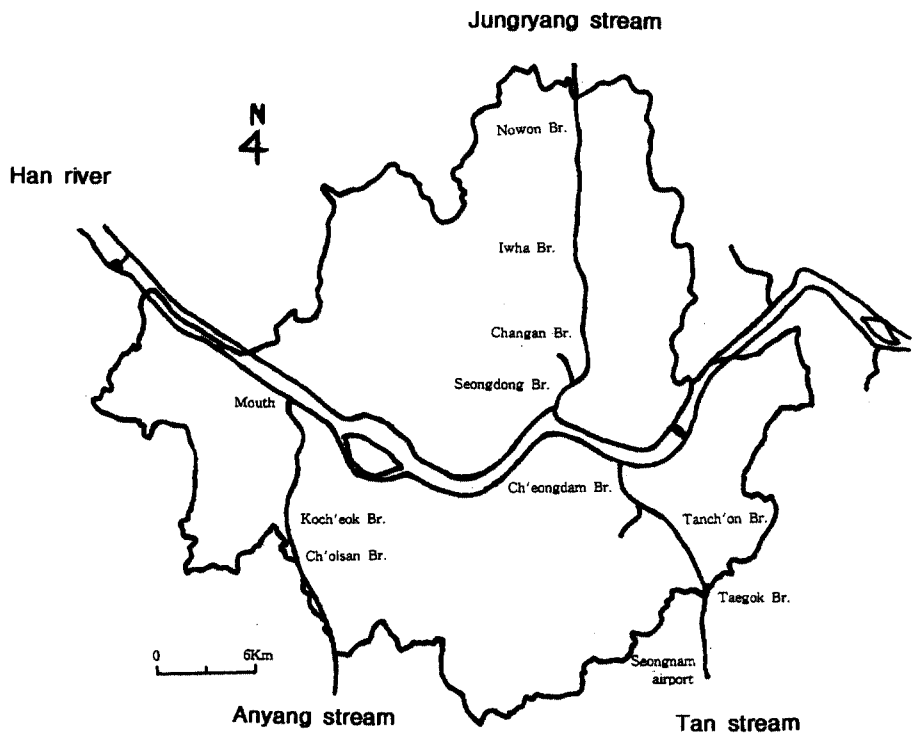

Fig. 1. Locations of sampling sites along the Han river ● indicates the sites.

Table 2. Analytical conditions of A.A.S.[25,26]

Item	Conditions of A.A.S.						
	Analysis mode	Flame type	Carrier/fuel gas flow rate	Oxidant gas pressure(kPa)	Slit(nm)	Lamp current(mA)	Wavelength(nm)
Pb	graphite furnace	Ar	30(/min)	-	1.3	9	283.3
Cr							228.8
Cd							359.3
Fe	flame	Air-C_2H_2	2.0(L/min)	160	0.2	15	248.3
Zn			2.2(L/min)	160	0.4	9	279.6
Mn			2.0(L/min)	160	1.3	6.5	213.9
Cu			2.2(L/min)	160	1.3	9	324.8

Hg 분석용 첨가제(M)는 sodium carbonate와 calcium hydroxide anhydrous를 1 : 1(w/w)로 혼합한 것(Nippon Instrument Co., Japan)을 사용하였고, 첨가제(B)는 Aluminium oxide anhydrous (Nippon Instrument Co., Japan)를 800°C에서 2시간 가열한 후 냉각하여 사용하였다.

Nitric acid, hydrochloric acid, sulfuric acid는 유해금속 측정용 특급시약(Junsei chemical Co., Ltd., Japan)을 사용하였다.

시료의 전처리 : 채취한 시료는 식용 가능한 부분만을 분리하여 균질하게 마쇄한 후, 폴리에칠렌 비닐 팩에 밀봉 포장하여 −20°C에 보관하면서 분석에 사용하였다.

납(Pb), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 아연(Zn), 망간(Mn), 구리(Cu)의 분석은 시료 3 g 정도를 취하여 예비탄화시킨 후 진한 질산 2 ml를 넣고 건고 후 450°C의 전기로에서 완전회화시켰다. 회화가 끝나면 회분을 물로 적시고 염산 2~4 ml를 가하여 건조장치에서 건조한 다음, 회화된 물질을 0.5N HNO_3로 용해하여 여과시킨 후 25 ml로 정용하였다.[24] Hg 분석용 시료는 50 mg 정도를 정확하게 취하여 건조 후 사용하였다. 시료 중의 각 함량은 시료 생중량을 기준으로 산출하였다.

분석 조건 : Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometry(Hitachi Z-5700, Z-5300, Hitachi Co., Japan)를 사용하여 Pb, Cr, Cd은 Graphite Furnace Atomization법으로 분석하였고, Fe, Mn, Zn, Cu는 Flame Atomization법으로 분석하였다. 분석조건은 Table 2와 같았다.

Hg의 분석은 Mercury Analyzer(Model Sp-3A, Nippon Instrument Co., Ltd., Japan)를 사용하여 가열증기화-금아말감법으로 분석하였고,[24] Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu의 분석은 3회 반복 실험을, Hg의 분석은 2회 반복 실험을 실시하였다.

결과 및 고찰

한강 고수부지 및 지천인 안양천, 탄천, 중랑천변의 경작지에서 채집된 36 작물 285건의 농작물에 대하여 Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu, Hg의 농도를 측정하고 그 결과를 채집 시기, 채집 지역 및 작물별로 비교 · 분석하였다.

Table 3에서 보듯이 농산물 중의 미량금속 함량은 평균치를 기준으로 볼 때 Fe(34.592 ppm)>Mn(11.071 ppm)> Zn(8.853 ppm)>Cu(1.795 ppm)>Cr(0.237 ppm)>Pb(0.100 ppm)>Cd (0.011 ppm)> Hg(0.003 ppm)의 순이었으며 이러한 순위는 작물별로 차이는 있으나 기존의 연구보고들[17-19]과 일치하였는데 곡류 및 두류에서는 Zn의 함량이 Mn보다 높고 채소류와 과실류에서는 Mn의 함량이 Zn보다 높은 기존의 결과[27,28]와 유사한 양상을 나타냈다.

또한 각 중금속별 최고치는 Pb의 경우 안양천의 깻잎에서 0.654 ppm, Cd의 경우 안양천의 부추에서 0.077 ppm, Hg의 경우 안양천의 토란에서 0.037 ppm, Cr의 경우 탄천의 호박잎에서 1.229 ppm이었는데, 안양천변 작물이 유해중금속 농도가 높게 나온 것은 기존의 서울시 일원의 토양중금속 오염 보고[29,30] 및 한강수계 지천 수질 오염도 조사보고[31,32]등에서 공업폐수 및 매연, 배기가스 등 각종 오염물질에 다량 노출되어 있는 공단지역의 중금속 오염정도가 높으며 특히 안양천 유역의 수질 중금속 함량이 높다는 결과와 연관이 높을 것으로 판단된다. 그림 2는 각 지역별

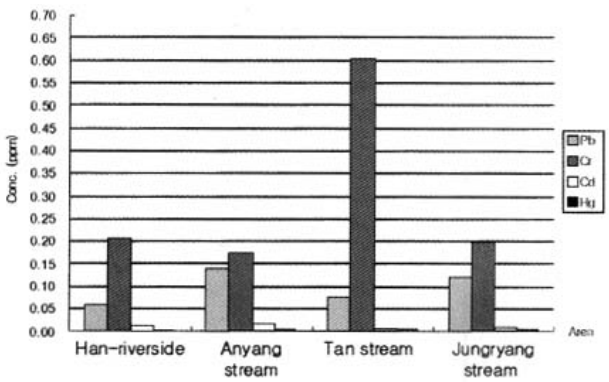

Fig. 2. Average concentrations of heavy metals in crops by areas.

Table 3. Concentration of trace metals in crops

Group	Item	No. of sample	Concentration (MaxiumMinimum) of Trace metals (mg/kg, wet base)							
			Hg	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Cr	Pb
A	Leaves of pumpkin	15	0.004 (0.009~0.001)	2.512 (8.860~1.485)	16.355 (35.770~2.640)	12.580 (26.791~1.443)	25.691 (48.7601~1.394)	0.010 (0.027~0.002)	0.349 (1.229~0.000)	0.185 (0.4500.055)
	Chinese cabbage	28	0.002 (0.004~0.000)	0.878 (2.090~0.025)	10.164 (57.814~0.893)	9.469 (37.166~1.688)	51.099 (111.900~1.605)	0.011 (0.024~0.001)	0.223 (0.896~0.020)	0.100 (0.292~0.015)
	Perilla leaf	29	0.005 (0.0200.000)	4.105 (21.492~1.640)	18.604 (62.867~3.813)	14..777 (28.917~3.813)	43.316 (203.083~17.269)	0.005 (0.010~0.001)	0.341 (1.218~0.000)	0.196 (0.654~0.039)
	Lettuce	19	0.003 (0.011~0.001)	1.966 (12.239~0.467)	11.857 (34.032~2.147)	8.983 (17.144~1.267)	52.831 (132.800~5.983)	0.020 (0.055~0.008)	0.407 (1.2130.039)	0.093 (0.228~0.035)
	Mallow	5	0.006 (0.013~0.002)	2.653 (4.846~1.737)	17.081 (60.479~3.820)	22.279 (27.437~16.028)	41.845 (69.087~27.090)	0.047 (0.063~0.030)	0.453 (0.965~0.081)	0.156 (0.214~0.073)
	Leaves of sweet potato	2	0.005 (0.005~0.004)	2.685 (2.820~2.550)	8.609 (11.678~5.540)	5.102 (5.277~4.927)	34.821 (36.167~33.475)	0.006 (0.006~0.005)	0.151 (0.222~0.080)	0.143 (0.161~0.125)
	Melon leaves	1	0.004 (0.004~0.004)	1.917 (1.917~1.917)	5.707 (5.707~5.707)	8.295 (8.295~8.295)	45.270 (45.270~45.270)	0.020 (0.020~0.020)	0.253 (0.025~0.025)	0.170 (0.170~0.0170)
	Rape leaves	6	0.003 (0.005~0.002)	1.086 (1.665~0.625)	5.146 (9.927~2.820)	6.724 (11.128~3.367)	40.232 (97.257~13.925)	0.011 (0.024~0.003)	0.189 (0.594~0.039)	0.097 (0.210~0.050)
	Crown daisy	8	0.004 (0.007~0.002)	2.840 (5.047~1.669)	18.719 (45.345~4.503)	14.926 (32.167~4.973)	41.926 (70.083~10.613)	0.026 (0.072~0.007)	0.373 (1.112~0.061)	0.090 (0.154~0.054)
	Leak	7	0.002 (0.006~0.001)	3.718 (18.496~0.970)	9.400 (32.676~2.773)	6.516 (11.402~0.851)	17.199 (23.937~13.103)	0.017 (0.077~0.002)	0.081 (0.138~0.037)	0.044 (0.186~0.014)
	Radish leaves	30	0.003 (0.0060.001)	0.801 (2.9440.398)	6.458 (23.650~0.000)	6.903 (18.130~0.401)	45.061 (129.003~4.685)	0.007 (0.024~0.002)	0.294 (1.117~0.000)	0.079 (0.263~0.002)
	Chard	4	0.003 (0.006~0.002)	1.233 (1.625~0.660)	20.017 (47.909~5.473)	12.470 (18.904~7.030)	36.301 (62.543~16.340)	0.036 (0.067~0.007)	0.212 (0.447~0.054)	0.124 (0.275~0.016)
	Chicory	3	0.002 (0.004~0.001)	1.679 (2.035~1.355)	11.614 (23.036~5.073)	11.054 (18.907~5.129)	78.725 (102.545~55.695)	0.047 (0.058~0.026)	0.456 (0.636~0.308)	0.180 (0.443~0.044)
	Buck wheat	3	0.003 (0.005~0.002)	1.283 (1.418~1.087)	17.685 (25.730~10.655)	11.567 (13.471~9.765)	22.839 (27.250~19.926)	0.013 (0.189~0.066)	0.117 (0.189~0.066)	0.118 (0.199~0.034)
	Leaves of taro	4	0.011 (0.037~0.002)	1.515 (2.299~0.977)	19.285 (36.873~10.820)	4.268 (7.486~2.875)	16.165 (28.410~9.115)	0.006 (0.012~0.001)	0.395 (1.221~0.042)	0.105 (0.302~0.018)
	Gyuja-chae	1	0.002 (0.002~0.002)	2.253 (2.253~2.253)	28.960 (28.960~28.960)	15.137 (15.137~15.137)	128.810 (128.810~128.810)	0.019 (0.019~0.019)	0.697 (0.697~0.697)	0.427 (0.427~0.427)
	Leaves of soybean	4	0.007 (0.013~0.001)	8.020 (22.727~2.980)	18.455 (43.363~5.260)	13.959 (22.739~3.217)	50.926 (60.236~38.373)	0.016 (0.029~0.006)	0.177 (0.260~0.000)	0.199 (0.465~0.080)
	Spinach	1	0.001 (0.001~0.001)	1.130 (1.130~1.130)	6.460 (6.460~6.460)	8.342 (8.342~8.342)	36.381 (36.381~36.381)	0.037 (0.037~0.037)	0.111 (0.111~0.111)	0.234 (0.234~0.234)
	Castor-oil plant	3	0.008 (0.010~0.001)	1.992 (2.173~1.130)	31.494 (74.373~5.260)	10.997 (14.637~3.217)	26.891 (31.973~19.013)	0.004 (0.009~0.001)	0.123 (0.141~0.000)	0.083 (0.091~0.072)
	Mustard leaves	8	0.004 (0.008~0.002)	1.199 (1.993~0.810)	8.000 (13.453~3.117)	6.220 (10.000~4.112)	87.066 (168.920~43.013	0.008 (0.013~0.004)	0.312 (0.921~0.000)	0.152 (0.270~0.0051)
B	Green onion	33	0.001 (0.003~0.000)	0.780 (3.500~0.017)	7.126 (28.863~0.249)	6.272 (20.740~0.485)	16.385 (59.824~0.536)	0.007 (0.045~0.000)	0.143 (1.130~0.000)	0.034 (0.215~0.005)
	Sweet potato stalk	13	0.003 (0.006~0.001)	1.970 ()4.813~0.643	11.083 (30.073~1.540)	3.797 (7.513~0.793)	30.383 (73.187~4.670)	0.005 (0.011~0.000)	0.218 (1.207~0.011)	0.095 (0.352~0.009)
	Celery	1	0.003 (0.003~0.003)	0.876 (0.876~0.876)	15.557 (15.557~15.557)	11.172 (11.172~11.172)	37.943 (37.943~637.943)	0.024 (0.024~0.024)	0.301 (0.301~0.301)	0.114 (0.114~0.114)
	Rape stalk	2	0.001 (0.001~0.000)	0.358 (0.418~0.298)	1.507 (1.641~1.374)	3.617 (4.007~3.228)	6.442 (8.622~4.262)	0.003 (0.004~0.002)	0.039 (0.056~0.002)	0.015 (0.023~0.007)
	Taro stalk	11	0.003 (0.006~0.001)	0.793 (1.378~0.373)	16.584 (41.243~3.385)	6.207 (16.230~0.815)	14.3~12 (24.9272.895)	0.010 (0.025~0.000)	0.116 (0.236~0.027)	0.030 (0.075~0.007)
	Water dropwort	3	0.003 (0.004~0.002)	1.993 (2.112~1.853)	18.694 (35.010~9.028)	11.159 (16.044~8.385)	51.252 (62.962~31.584)	0.008 (0.010~0.005)	0.235 (0.310~0.152)	0.172 (0.329~0.080)
C	Radish root	8	0.002 (0.006~0.000)	0.444 (0.903~0.063)	2.718 (6.960~0.197)	6.479 (19.230~2.013)	23.780 (85.467~2.600)	0.007 (0.042~0.000)	0.145 (0.660~0.013)	0.118 (0.614~0.001)
	Carrot	3	0.002 (0.003~0.001)	0.734 (1.020~0.500)	7.091 (8.966~3.313)	5.739 (6.997~5.084)	9.289 (15.376~4.537)	0.020 (0.024~0.013)	0.049 (0.067~0.014)	0.016 (0.025~0.008)

Table 3. (continued)

Group	Item	No. of sample	Concentration (MaxiumMinimum) of Trace metals (mg/kg, wet base)							
			Hg	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Cr	Pb
D	Peanuts	2	0.002 (0.002~0.001)	3.990 (6.367~1.613)	6.325 (7.063~5.587)	16.626 (17.373~15.878)	13.155 (17.593~8.717)	0.028 (0.046~0.011)	0.072 (0.118~0.027)	0.036 (0.038~0.034)
	Potato	2	0.001 (0.001~0.001)	1.325 (1.560~1.090)	2.027 (2.487~1.567)	1.635 (1.9631.307)	8.493 (11.453~5.533)	0.000 (0.000~0.000)	0.010 (0.012~0.009)	0.002 (0.003~0.001)
	Egg plant	9	0.000 (0.001~0.000)	1.005 (2.036~0.017)	2.735 (7.730~0.097)	4.533 (25.802~0.080)	3.663 (7.097~0.108)	0.011 (0.035~0.002)	0.046 (0.126~0.010)	0.015 (0.049~0.004)
	Tomato	5	0.000 (0.001~0.000)	0.740 (1.437~0.031)	2.320 (6.774~0.040)	2.233 (4.800~0.093)	4.407 (8.112~0.174)	0.002 (0.004~0.001)	0.026 (0.043~0.011)	0.043 (0.092~0.005)
	Green pepper	7	0.000 (0.001~0.000)	1.593 (4.115~1.047)	2.112 (5.253~1.047)	3.085 (6.585~1.700)	5.663 (10.641~3.780)	0.008 (0.028~0.002)	0.204 (1.212~0.000)	0.017 (0.054~0.004)
	Green peas	2	0.001 (0.002~0.000)	4.071 (5.717~2.426)	13.403 (19.773~7.033)	19.963 (20.898~19.028)	33.072 (36.827~29.317)	0.011 (0.012~0.011)	0.079 (0.130~0.028)	0.262 (0.516~0.008)
	Castor bean	2	0.002 (0.003~0.002)	2.157 (3.563~0.751)	9.650 (16.607~2.693)	12.260 (18.850~5.670)	10.743 (15.397~6.090)	0.001 (0.002~0.000)	0.020 (0.022~0.018)	0.007 (0.012~0.003)
	Kyul myungja	1	0.001 (0.001~0.001)	1.810 (1.810~1.810)	6.193 (6.193~6.193)	10.650 (10.650~10.650)	9.260 (9.260~9.260)	0.002 (0.002~0.002)	0.033 (0.033~0.033)	0.022 (0.022~0.022)
Total	Mean	285	0.003	1.795	11.071	8.853	34.592	0.011	0.237	0.100
	Max		0.037	22.727	74.373	37.166	203.083	0.077	1.229	0.654
	Min		0.000	0.017	0.000	0.080	0.108	0.000	0.000	0.001

* Group criteria, A, B, C, and D symbolizes leafy, stem, root,. and fruity crops, respectively.

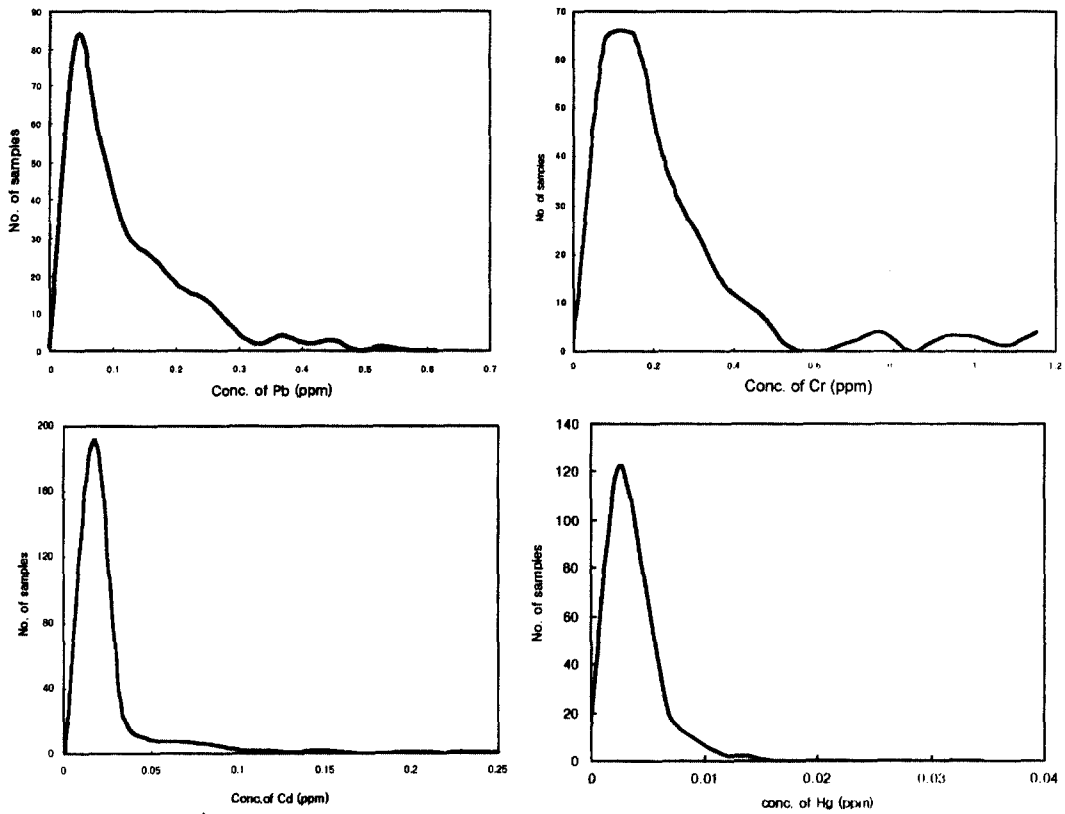

Fig. 3. Distribution by concentration of Pb, Cr, Cd, Hg in crop samples.

작물 중의 중금속 평균 농도를 나타낸 것으로 Table 3에서의 결과와 유사하게 Cr을 제외한 Pb, Cd, Hg의 경우 안양천이 높은 것으로 나타났다.

Table 4는 각 지역에서 7월 및 9월에 채취한 작물의 미

Table 4. Concentration of heavy metals in crops by season and sampling area **(mg/kg, wet base)**

Classification		Early July				Late Septemper			
		Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream
Pb	AVG	0.075	0.125	0.110	0.129	0.045	0.146	0.040	0.119
	MAX	0.256	0.340	0.228	0.427	0.465	0.654	0.104	0.614
	MIN	0.007	0.002	0.013	0.049	0.003	0.004	0.000	0.001
Cr	AVG	0.176^{b}	0.205^{b}	1.179^{a}	0.122^{b}	0.229^{b}	0.174^{b}	0.062^{a}	0.212^{b}
	MAX	0.883	0.965	1.229	0.697	1.117	0.508	0.141	0.948
	MIN	0.010	0.028	0.998	0.035	0.018	0.015	0.011	0.000
Cd	AVG	0.016b	0.016^{a}	0.006^{c}	0.008^{c}	0.007^{b}	0.044^{a}	0.003^{c}	0.007^{c}
	MAX	0.063	0.072	0.013	0.019	0.046	0.270	0.011	0.042
	MIN	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000
Fe	AVG	30.953	31.017	29.778	26.316	29.832	35.789	19.530	49.776
	MAX	203.083	76.266	0.133	128.810	129.003	102.545	50.970	168.920
	MIN	0.108	3.335	0.005	0.004	2.887	3.566	1.722	2.600
Zn	AVG	11.642^{a}	13.272^{a}	5.765^{b}	7.518^{b}	8.033^{a}	8.891^{a}	6.443^{b}	7.175^{b}
	MAX	37.166	32.167	10.713	15.137	22.739	24.814	17.373	26.250
	MIN	0.080	4.277	1.700	2.047	1.500	0.401	0.793	1.307
Mn	AVG	17.855^{a}	8.838^{b}	12.300^{b}	11.066^{b}	15.584^{a}	8.713^{b}	6.197^{b}	6.187^{b}
	MAX	62.867	34.180	28.723	28.960	74.373	35.010	19.710	26.813
	MIN	0.040	1.851	1.233	1.107	0.000	1.597	0.893	0.197
Cu	AVG	1.403	2.269	1.936	1.333	1.116	3.071	1.559	1.304
	MAX	5.400	5.047	3.354	3.340	3.563	22.727	6.367	9.617
	MIN	0.017	0.550	0.833	0.650	0.373	0.465	0.267	0.063
Hg	AVG	0.002^{b}	0.005^{a}	0.002^{b}	0.001^{b}	0.002^{b}	0.003^{a}	0.003^{b}	0.003^{b}
	MAX	0.005	0.013	0.004	0.005	0.013	0.037	0.008	0.020
	MIN	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

* a, b, c : Values in a row with different superscript letters are significantly different ($p<0.05$).

Table 5. Concentration of heavy metals in korean cabbage by seasons and sampling areas. **(mg/kg, wet base)**

	Early July				Late Septemper			
	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream
Pb	0.071±0.032	0.062±0.046	-	0.114±0.099	0.044±0.026	0.145±0.090	0.048±0.034	0.163±0.074
Cr	0.192±0.078	0.190±0.159	-	0.073±0.012	0.363±0.282	0.194±0.120	0.103±0.026	0.264±0.139
Cd	0.012±0.008	0.008±0.001	-	0.016±0.001	0.008±0.005	0.016±0.008	0.006±0.002	0.010±0.007
Fe	54.358±50.811	44.112±32.804	-	16.757±4.702	51.057±25.961	52.495±28.592	21.350±27.757	61.364±27.533
Zn	20.837±12.592	10.311±0.735	-	9.820±3.342	9.986±5.0512	6.674±1.716	2.683±1.406	6.322±1.821
Mn	23.881±24.089^{a}	3.857±0.721b	-	14.058±1.718^{ab}	14.769±7.487^{a}	4.083±1.039^{b}	2.978±2.949^{b}	5.582±11.903^{ab}
Cu	0.988±0.874	1.151±0.190	-	0.952±0.173	0.759±0.222	1.012±0.349	0.432±0.233	0.802±0.189
Hg	0.002±0.001	0.002±0.000	-	0.002±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001	0.001±0.000	0.003±0.001

* a, b : Values in a row with different superscript letters are significantly different ($p<0.05$).

량금속 함량을 나타낸 것으로 Fe은 0.004~203.083 ppm, Cu은 0.017~22.727 ppm, Mn은 0.000~74.373 ppm, Zn은 0.080~37.166 ppm으로 비교적 고농도로 존재하고 있는 반면 유해중금속류인 Pb은 0.000~0.654 ppm, Cd은 0.000~0.270 ppm, Cr은 0.000~1.229ppm, Hg은 0.000~0.037 ppm으로 비교적 미량으로 존재함을 알 수 있었다(그림 3).

Fe, Zn, Mn, Cu는 생체를 구성하는 필수원소로서 식물체내에 비교적 다량 존재하지만 인간이 지나치게 과량 섭취할 경우 질병을 유발시키기도 한다. Mn은 스테인레스 제조공정, 건전지 제조, 용접봉, 망간철 제조과정에서 배출되며 호흡기 및 소화기를 통하여 인체에 흡수되어 폐렴, 불면

Table 6. Concentration of heavy metals in perilla leaf by season, sampling area. (mg/kg, wet base)

	Early July				Late Septemper			
	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream
Pb	0.140 ± 0.081^{b}	0.247 ± 0.065^{a}	0.135 ± 0.027^{b}	0.211 ± 0.044^{ab}	0.100 ± 0.067^{b}	$0.316 \pm 0.249a$	0.098 ± 0.034^{b}	0.217 ± 0.079^{ab}
Cr	0.328 ± 0.295^{b}	0.384 ± 0.296^{b}	1.144 ± 0.126^{a}	0.143 ± 0.030^{b}	0.230 ± 0.070^{b}	0.2740.106b	$0.094 \pm 0.015a$	$0.178 \pm 0.106b$
Cd	0.007 ± 0.004	0.006 ± 0.003	0.003 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.0050.003	0.002 ± 0.002	0.0040.002
Fe	73.019 ± 87.544	47.152 ± 22.635	20.691 ± 3.301	36.802 ± 0.557	23.647 ± 5.992	38.588 ± 10.735	30.027 ± 9.413	50.068 ± 26.729
Zn	21.434 ± 7.279	15.881 ± 7.720	8.582 ± 1.313	12.157 ± 0.474	13.203 ± 4.2162	12.791 ± 6.651	13.880 ± 4.134	15.375 ± 6.010
Mn	38.040 ± 24.264^{a}	13.612 ± 7.222^{b}	13.958 ± 6.854^{b}	15.423 ± 0.506^{b}	28.273 ± 19.199^{a}	12.927 ± 6.766^{b}	19.710 ± 6.550^{b}	11.072 ± 8.193^{b}
Cu	3.292 ± 1.783	3.646 ± 0.649	2.904 ± 0.415	3.340 ± 0.167	2.964 ± 0.510	7.937 ± 9.058	4.265 ± 1.380	3.961 ± 2.568
Hg	0.003 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.002 ± 0.002	0.001 ± 0.000	0.006 ± 0.003	0.005 ± 0.004	0.006 ± 0.003	0.003 ± 0.001

* a, b : Values in a row with different superscript letters are significantly different ($p<0.05$).

Table 7. Concentration of heavy metals in lettuce by season, sampling area. (mg/kg, wet base)

	Early July				Late Septemper			
	Han	Anyang	Tan stream	Jungryang stream	Han-riverside	Anyang stream	Tan stream	Jungryang stream
Pb	0.087 ± 0.024	0.088 ± 0.033	0.114 ± 0.099	0.211 ± 0.044	0.035 ± 0.010	0.074 ± 0.007	-	0.117 ± 0.055
Cr	0.245 ± 0.108^{b}	0.136 ± 0.075^{b}	1.205 ± 0.012^{a}	0.143 ± 0.030^{b}	0.705 ± 0.146	0.341 ± 0.155	-	0.243 ± 0.118
Cd	0.025 ± 0.011	0.024 ± 0.016	0.010 ± 0.002	0.002 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.025 ± 0.026	-	0.020 ± 0.016
Fe	43.834 ± 39.436	26.896 ± 15.101	63.595 ± 60.589	36.802 ± 0.557	51.900 ± 5.993	54.653 ± 17.820	-	82.792 ± 21.782
Zn	13.283 ± 2.057^{a}	11.724 ± 3.326^{a}	4.313 ± 1.569^{b}	12.157 ± 0.474^{ab}	4.837 ± 0.186^{a}	7.144 ± 5.154^{a}	-	8.251 ± 4.422^{ab}
Mn	31.069 ± 4.241^{a}	5.000 ± 2.5894^{b}	10.473 ± 6.170^{b}	15.423 ± 0.506^{b}	8.625 ± 0.290^{a}	11.066 ± 11.711^{b}	-	8.459 ± 2.863^{b}
Cu	1.713 ± 0.916	1.496 ± 0.372	1.477 ± 0.402	3.340 ± 0.167	0.467 ± 0.049	4.899 ± 6.357	-	1.287 ± 0.210
Hg	0.003 ± 0.001	0.006 ± 0.003	0.003 ± 0.002	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.003 ± 0.001	-	0.003 ± 0.001

* a, b : Values in a row with different superscript letters are significantly different ($p<0.05$).

증, 두통, 관절통, 돌진증 등을 유발하는 독성물질로 작용할 수 있다.[33-37] Cu는 과잉 축적되면 위장관 자극, 황달, 용혈성 빈혈, 갑상선 기능 항진 등을 유발할 수 있고, Zn은 필수 미량원소로서 결핍시 단백질 합성의 감소에 따른 식욕부진 초래, 성장 감퇴 등을 유발하며 독성은 비교적 적은 것으로 알려져 있다.[38, 39]

반면 유해 중금속으로 알려진 Pb, Cr, Cd, Hg은 앞서의 필수금속류에 비해 상대적으로 저농도로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이 중 납은 인간에게 알려진 가장 오래된 중금속의 하나로 그 독성은 heme 합성장애, 혈색소량의 감소와 이에 따른 적혈구의 생존기간 단축 등이다.[36, 39-41] 즉 -ALA에서 Prophobilinogen으로 전환하는데 필요한 ALA-dehydrase 효소작용을 억제하므로 혈중의 -ALA 농도를 증가시켜 heme 합성의 중간 단계인 CPG3에서 PPG3으로의 전환에 필요한 Coprophyrinogen decarboxylase 효소의 작용을 억제시킴으로써 heme 합성이 감소되고 전구물질이 증가하게 된다.[34, 42] 또한 혈액 중의 납 농도가 증가하면 K와 수분의 손실을 가져와 삼투압이 증가되며 적혈구는 위축되고 그에 따른 적혈구내 전해질의 감소로 적혈구 생존기간이 짧아지고 골수에 조혈기능이 항진되어 망상 적혈구와 호염기성 적혈구가 증가된다. 그리하여 고농도의 납에 장기간 폭로될 경우 말초신경조직에 segmental demylination이 생기고 Schwann's cell과 mitostreamdria 손상을 입힌다는 보고가 있다.[35, 43]

카드뮴은 주로 아연을 제련하는 공정에서 배출되며 금, 은, 비스무스 등과 합금할 때 사용하고 카드뮴 축전지, 치과용 아말감, 합성 도자기 착색원료, 합성수지 제조공정에서 합성 촉매제로 사용하는 등 다양한 산업에 응용되며 일반적으로 대기 및 수질에 농축되어 인체에 유입된다. 또한 수 중에 배출된 카드뮴은 주위 토양을 오염시키며 이곳에서 재배되는 농작물 및 어패류에 농축되어 최종적으로 인체에 전이되며 질병을 유발할 수 있다고 보고되고 있다.[33, 44-45]

채소류 중의 중금속은 분진 및 매연 등의 대기오염 물질의 강하, 도시 생활하수 및 산업폐수의 유입, 도시 쓰레기 및 산업폐기물의 유입 등 여러 환경적 요인이 다양한 변수에 의해 작용되므로 그 영향도 매우 편차가 크지만 공장이 밀집되어 있는 공단이 하천의 상류에 자리잡고 있을 경우 각종 산업장과 자동차 등에서 배출되는 산업폐수, 대기 방

Table 8. Concentration of heavy metals by section

(mg/kg, wet base)

	leaf	stem	root	fruit
Pb	0.130 (0.002~0.654)	0.056 (0.005~0.352)	0.068 (0.001~0.614)	0.039 (0.003~0.516)
Cr	0.317 (0.000~1.229)	0.154 (0.011~1.207)	0.106 (0.009~0.660)	0.088 (0.010~1.212)
Cd	0.013 (0.001~0.072)	0.009 (0.000~0.077)	0.011 (0.000~0.046)	0.007 (0.000~0.035)
Fe	46.107 (1.605~203.083)	20.253 (0.536~73.187)	17.789 (2.600~85.467)	7.367 (0.108~36.827)
Zn	10.689 (0.401~37.166)	6.002 (0.485~20.740)	6.932 (1.307~19.230)	5.718 (0.080~25.802)
Mn	13.086 (0.000~74.373)	10.464 (0.249~41.243)	4.140 (0.197~8.966)	3.973 (0.040~19.773)
Cu	2.095 (0.025~22.727)	1.343 (0.017~18.496)	1.049 (0.063~6.367)	1.468 (0.017~5.717)
Hg	0.003^{a} (0.000~0.020)	0.002^{b} (0.000~0.037)	0.001^{cb} (0.000~0.006)	0.001^{c} (0.000~0.003)

* a, b, c : Values in a row with different superscript letters are significantly different ($p<0.05$).

출 오염물질이 타지역에 비해 많기 때문에 인근의 환경이 Pb, Cd, Cr, Hg 등의 중금속에 오염될 기회가 많아지게 되며, 주변에 대규모 아파트단지나 인구밀집지역이 자리잡고 있는 경우 생활하수에서 오는 오염과 쓰레기 소각, 가정용 연료 사용에서 오는 오염이 주를 이루는 것으로 보고되고 있다.

Table 5~7은 시료 중 국민 다소비 식품인 배추, 깻잎, 상추를 대상으로 각 중금속의 시기별, 지역별 농도를 분석한 결과이다.

이 결과에 의하면 배추 중의 Cd 함량은 평균 0.011 ppm으로 김등[28]의 결과와는 동일하였으나 김등[7]이 한강유역, 안양천변, 중랑천변으로 분류하여 측정한 결과보다는 전체적으로 낮은 결과를 나타낸 반면, Pb의 경우는 0.100 ppm으로 김등[28]의 결과치인 0.069 ppm보다 높았으며 김등[7]에 의한 결과에서 모두 불검출이었던 것과는 다른 결과를 나타내었다.

한편 깻잎의 경우 Pb의 함량은 7월과 9월 모두 안양천과 중랑천이 다른 두 지역에 비하여 높게 나타난 반면 배추와 상추에 있어서는 이러한 유의한 차이를 볼 수 없었는데 이는 깻잎의 경우 잎 표면의 특성의 차이에 기인한 것으로 판단되었다.

대상 농작물을 잎, 줄기, 뿌리, 열매로 분류하여 미량금속 함량을 분석한 결과 Table 8과 같았으며, 분석 대상 금속의 농도가 잎>줄기>뿌리>열매의 순으로 나타났다. 이것은 뿌리를 통해 이온 상태로 흡수되는 미량 금속류가 줄기를 지나 잎에 축적되며 열매에는 영향을 많이 미치지 못함을 알 수 있었으며 이러한 양상은 특히 콩과식물류에서 뚜렷하게 나타나는 것으로 안양천에서 채취한 콩을 부위별로 분석한 결과 Pb의 함량이 콩잎(139.973 ppm)>콩껍질(80.387 ppm)>콩(7.807 ppm)이고 Cd함량이 콩잎(29.423 ppm)>콩(10.617 ppm), Hg함량이 콩잎(0.009 ppm)>콩껍질(0.001 ppm)>콩(0.000 ppm)으로 나타나 콩과식물을 이용하여 토양 중의 중금속을 제거하는 기존의 연구 이론과 일치하는 경향을 나타내었다.

또한 무, 고구마 등의 뿌리 작물에 있어서 미량 금속 함량이 무우의 Pb은 잎(0.055 ppm)>뿌리(0.035 ppm), Cr은 잎(0.118 ppm)>뿌리(0.031 ppm), Cd은 잎(0.004 ppm)>뿌리(0.001 ppm), Hg은 잎(0.004 ppm)>뿌리(0.001 ppm)으로 뿌리보다 잎에 많은 것으로 나타났는데 이러한 결과로 보아 뿌리는 금속 이온이 흡수되는 기관일 뿐 축적은 잎에 비해 상대적으로 적게 됨을 알 수 있었다.

국문요약

한강 고수부지 및 지천인 안양천, 탄천, 중랑천변의 경작지에서 채집된 36종 285건의 농작물에 대한 Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu, Hg의 농도를 측정하고 그 결과를 채집 시기, 채집 지역 및 작물별로 비교, 분석한 결과, 작물 중의 중금속 함량은 평균치를 기준으로 볼 때 Fe(34.592 ppm)>Mn(11.071 ppm)>Zn(8.853 ppm)>Cu(1.795 ppm)>Cr(0.237 ppm)>Pb(0.100 ppm)>Cd(0.011 ppm)>Hg(0.003 ppm)의 순으로 곡류 및 두류에서는 Zn의 함량이 Mn보다 높고, 채소류와 과실류에서는 Mn의 함량이 Zn보다 높은 양상을 나타냈다. 또한 각 지역에서 채취한 작물의 미량금속 함량의 경우 Fe은 0.004~203.083 ppm, Cu은 0.017~22.727 ppm, Mn은 0.000~74.373 ppm, Zn은 0.080~37.166 ppm으로 비교적 고농도로 존재하고 있는 반면 유해중금속류인 Pb은 0.000~0.654 ppm, Cd은 0.000~0.270 ppm, Cr은 0.000~1.229 ppm, Hg은 0.000~0.037 ppm으로 비교적 미량으로 존재함을 알수 있었다. 대상 농작물을 잎, 줄기, 뿌리, 열매로 분류하여 미량금속 함량을 분석한 결과, 분석 대상 금속의 농도가 잎>줄기>뿌리>열매의 순으로 나타났다. 무등의 뿌리 작물에 있어서 Pb은 잎(0.055 ppm)>뿌리(0.035 ppm), Cr은 잎(0.118 ppm)>뿌리(0.031 ppm), Cd은 잎(0.004 ppm)>뿌리(0.001 ppm), Hg은 잎(0.004 ppm)>뿌리(0.001 ppm)으로 뿌리보다 잎에 많은 것으로 나타

났는데 이러한 결과로 보아 뿌리는 금속 이온이 흡수되는 기관일 뿐 축적은 잎에 비해 상대적으로 적게 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives : Evaluation of certain food additives and contaminants. Technical Report Series(WHO). **776**, 25-35 (1989)
2. 이서래 : 식품첨가물과 오염물질의 안전성 관리. 식품위생학회지. **9**(2), S7-S15 (1994)
3. E.J, Underwood: Trace elements in Human and Animal Nutrition. 48-93, (1962)
4. 공혜정, 박선영, 유재연, 조소희, 주경아, 송숙자, 이진희, 정근희: 쌀, 토양, 물, 그리고 야초의 중금속 함량에 대한 연구. 삼육대학교논문집. **26**, 193-198 (1994)
5. 김상구, 장봉기, 이진우, 김두희: 대구시내 및 인근지역의 토양과 쑥중의 중금속 함량. 경북대학교 환경과학연구소, **7**, 221-234 (1993)
6. 김두희, 송정달: 금호강 유역의 수질, 토양 및 무의 중금속 함량. 경북대학교 산업개발연구소연구보고, **12**, 131-144 (1984)
7. 김재봉, 김동한, 정연보, 오재기, 장성기, 최광수, 강덕희: 중금속에 의한 토양오염과 농작물내 함량의 상관관계에 관한 연구. 국립환경연구소보, **2**, 203-211 (1980)
8. 강주성, 박석환, 정문식: 서울시 일부지역에서 재배한 채소류 및 토양중 중금속 함량에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **20**(2), 55-63 (1994)
9. Warren, H.V. and Delavault, R.E: Lead in some food crops and trees. *J. Sci. Food Agric.*, **13**, 96-98 (1962)
10. Cannon, H.L. and Bowles, J.M.: Contamination of vegetation by tetraethyl lead. Science, **137**, 765-766 (1962)
11. Chow, T.J.: Lead accumulation in roadside soil and grass. *Nature*, **225**, 295-298 (1970)
12. Motto, H.L., Daines, R.H., Chilko, D.M., Motto, C.K.: Lead in soils and plants It's relationship to traffic volume and proximity to highways. Environmental *Science and Technology*, **4**, 231-237 (1970)
13. 유홍일, 서윤수, 김성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수아: 우리나라 논토양 및 현미 중 중금속 자연 함유량에 관한 조사연구. 국립환경연구원보, **10**, 155-163 (1988)
14. 홍현미, 이창균, 김광진, 김준겸, 인치경: 도내 현미 및 논토양중 중금속 함유량 조사연구. 충청남도 보건환경연구원보, **4**, 121-135 (1993)
15. 김동호, 임수길, 권오경: 사과 과수원 토양과 그 잎의 중금속 함량간의 상관관계에 관한 연구. 한국환경농학회지, **8**, 1-6 (1989)
16. 김명미, 고영수: 중금속에 의한 토양오염과 그 작물내 함량에 관한 연구. 식품위생학회지, **1**(1), 51-56 (1986)
17. 김복영, 소규호, 김규식, 우기대, 류순천: 채소작물과 그 재배토양중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구. 농사시험연구논문집, **34**, 56-70 (1992)
18. 김길생, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 김종성, 이해빈: 식품중의 미량금속에 관한 연구. 국립보건원보. **31**, 437-450 (1994)
19. 원경풍, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 김종성, 김형도, 김길생: 식품중의 미량금속에 관한 연구. 국립보건원보. **32**, 456-469 (1995)
20. 崔要漢: 하천 주변 식물의 중금속 오염에 관한 연구. 慶熙大學校 敎育大學院 碩士學位論文 (1996)
21. 이인숙, 조영채, 김동현: 공단지역과 청정지역에서 재배되는 농작물과 토양중 중금속 함량 비교. 충남대학교 환경연구보고. **13**, 33-48 (1995)
22. 유일수, 이종섭, 소진탁: 만경강유역 토양 및 농작물의 중금속 함량에 관한 조사 연구. 大韓保健協會誌. **36**, 77-87 (1992)
23. 李鎭敬, 鄭文鎬: 土壤中에서 무에 의한 카드뮴의 吸收 및 移行에 關한 實驗的 硏究. 大韓保健協會誌. **33**, 61-73 (1990)
24. 韓國食品工業協會: 食品公典. 761-771 (1999)
25. Flame Atomization Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrometry. Hitachi, Ltd. 1st ed. Japan. (1997)
26. Graphite Furnace Atomization Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrometry. Hitachi, Ltd. 1st ed. Japan. (1997)
27. 박건용, 정현주, 두옥주, 전수진, 오영희, 서병태, 한상운, 오수경: 농산물 중의 미량금속 함유량에 관한 조사. 서울특별시 보건환경연구원보 31, 101-108 (1995)
28. 김일영, 김복순, 신기영, 전옥경, 김성단, 장민수, 윤용태, 이은순, 강희곤: 농산물 중의 잔류농약 및 미량금속에 관한 조사. 서울특별시 보건환경연구원보 32, 163-170 (1996)
29. 卞鍾角, 張桂榮, 申正植, 朴相賢, 朴聖培 : 서울市 一圓의 土壤 中 重金屬 汚染度에 關한 調査硏究. 서울특별시 보건환경연구원보 **26**, 248-253 (1990)
30. 金洪濟, 張桂榮, 申正植, 李靜子, 朴相賢, 朴聖培 : 서울市 一圓의 土壤 汚染度 調査. 서울특별시 보건환경연구원보 **25**, 402-408 (1989)
31. 姜熙坤, 李敏煥, 尹重燮, 吉惠卿, 金益洙, 金旻永, 朴相賢 : 서울지역 支川 水質 汚染度 調査硏究. 서울특별시 보건환경연구원보 **26**, 242-247 (1990)
32. 김갑수, 엄석원, 어수미, 신풍식, 이민환, 박형언, 구본관, 오수경 : 한강수계 지천수질 오염도 조사연구. 서울특별시

보건환경연구원보 **25**, 375-383 (1989)

33. Langolf F D, Chaffin D B, Henderson R, Whittle H. P.: Evaluation of workers exposed to elemental mercury using quantitative test to tremor and neuromuscular functions, *Am Ind Hyf Assoc. J.* **39**, 976 (1978)
34. Zielehuis RL. Interrelationship of biochemical responses to the absorption of inorganic lead. *Arch Environ Health*, **23**, 299-311 (1971)
35. Wimeyer, Stanley N., Bernad M. Mulbern, Frank J. Ligas, Richard J. Hensel, John E. Mathisen, Fred C. Robards and Sergei Postuplasky: Residues of organochlorine pesticides, Polychorinated Biphenyls and Mercury in Baldi Eagle Eggs and changes in shell thickness: 1969 and 1990. *Pesticides Monitoring Journal*, **6**, 50-55 (1972)
36. Klomme, D. R. and Johnson, D. R.: Amelroration of mercuric chloridenduced acute renal failure by dithiothreitol, Toxicol. *Appl. Pharmacol.*, **70**, 459-466 (1983)
37. Clarkson, T. W., Small, H. and Noraeth, T.: Excretion and absorption of methylmercury after polythiol resin treatment. *Arch. environ. Health*, **26**, 173-176 (1973)
38. Nakamura K., E. Suzuki, Y. Sugiura: Effects of simultaneous administration of cadmium and zinc on the accumulation and toxicity of cadmium, *Industrial Health*, **17**, 1-9 (1979)
39. Little. C., Olinescu, R., Read, K. G. and Brien. P. J.: Properties and regulation on glutathione peroxidase. *J. Biol. Chem.* **245**, 3632-3636 (1970)
40. Bakir, F., Rustam, H., Tikriti, S., A1-Damluji. S .F, Shihristani. H. : Clinical & epidemiological aspects of methylmercury poisoning. *Postgrad. Med. J.*, **56**, 1-10 (1980)
41. Sakurai H. Sugita M. Tsuchiya K.: Biological response and subjective symptoms in low level lead exposure. *Arch Environ Health* : WHO. **29**, 157-163.
42. Aiert, ED.: Pollution indicator, fish consumption and the accumulation of Mercury in human hair, *Marine Pollution Bulletin*, **15**, 337-340 (1984)
43. Hutzinger, and A. A. M. Roof: Polychlorinated biphenyls and related halogenate compound, Analytical techniques in environmental Chemistry, Pergamon seris on Environmental Science, **3**, 167-184 (1978)
44. Lander, l.: Biochemical model for the biological methylation of mercury suggested frommethylation studies in vivowith neurospora crassa. Mature **230**, 452-454 (1971)
45. Yamada, M. and Tonomura, K.: Formation of methylmercury compounds from inorganic mercury by Clostridium Co chlearium. *J. Ferment Technol*, **50**, 159-166 (1972)