

## 한강둔치에서 栽培된 農作物 中の 微量金屬 含量에 관한 研究(Ⅱ)

식품안전성팀

김연천 · 전옥경 · 최선희 · 양혜란 · 한선희 · 이강문

### **A Study on the Contents of Trace Metals in the Crops cultivated in Han-riverside(Ⅱ)**

*Food Safety Team*

**Youn-cheon Kim, Ock-kyoung Chun, Sun-hee Choi, Hye-ran Yang, Sun-hee Han  
and Kang-moon Lee**

#### **Abstract**

This study was conducted to determine the content of trace metals in crops cultivated in Han-riverside, Anyang stream and Jungrang stream.

Trace metals(Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Cu) were detected in 8 crops, 300 samples by Atomic Absorption Spectrophotometer.

The average concentration of trace metals in crop samples was in the order of Fe(20.507mg/kg) > Zn(4.942mg/kg) > Mn(4.004mg/kg) > Cu(1.125mg/kg) > Cr(0.195mg/kg) > Pb(0.098mg/kg) > Cd(0.017mg/kg).

In crop samples, the contents of Fe, Zn, Mn, and Cu, which ranges were 0.000 ~ 153.087mg/kg, 0.000 ~ 28.703mg/kg, 0.000 ~ 26.696mg/kg, 0.110 ~ 18.633mg/kg, respectively, were relatively higher than those of Pb, Cd, and Cr which ranges were 0.000 ~ 1.005mg/kg, 0.000 ~ 0.082mg/kg, 0.000 ~ 1.166mg/kg, respectively.

The concentration of trace metals in crop samples was in the order of leafy crops > stem crops > root crops. Korean cabbage and leafy radish had same tendency in the content of Fe, Zn, and Mn.

The order of content in trace metals was green onion, large type > green onion, medium type > leek.

In the root and leaves of Korean radishes, the content of Pb was leaf(0.099mg/kg) > root(0.037mg/kg), that of Cd, leaf(0.019mg/kg) > root(0.010mg/kg), that of Cr, leaf(0.232mg/kg) > root(0.085mg/kg).

Key words : crops, content of trace metals(Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu), Han-riverside.

## 서론

산업 발달의 가속화에 따른 환경 오염의 증가는 생활 수준의 향상과 더불어 일반인들의 식품 안전성 여부에 대한 관심을 고조시켜 왔으며, 특히 모든 식품의 기본 資材라 할 수 있는 농산물의 중금속 잔류 문제는 인체에 의 위해성 연구와 식품의 국제 규격 기준 설정<sup>1)</sup>으로 점차 체계화, 현실화되어지고 있다.

최근의 환경통계 보고서에 의하면, 대기오염 및 수질 오염과 더불어 토양 오염이 진행되고 있지만 우리나라에서는 아직 토양오염의 실태나 위해 정도의 평가도 부족한 실정으로<sup>2)</sup>, 국내의 대기 및 수질 환경 기준과 배출 허용 기준을 살펴보면, 카드뮴, 납, 수은, 비소, 크롬, 구리, 아연, 니켈에 대해 규제 기준이 설정되어 있으나, 농수산물 재배를 제한할 수 있는 오염 기준에 있어서 농산물은 논외의 경우에 한하여 카드뮴, 구리, 비소 및 그 화합물들에 대하여 오염 기준이 설정되어 있을 뿐이다<sup>3)</sup>.

토양이 산성화되면 중금속을 포함한 대부분의 금속류는 용해도가 증가하여 작물이 중금속에 오염될 우려가 있음에도 불구하고 2000년 현재 농산물 중 중금속 잔류 기준이 설정되어 있는 것은 현미를 제외한 쌀에 대하여 카드뮴 0.2mg/kg 이하<sup>4)</sup>인 것이 전부이다.

환경 오염에 따른 농작물의 중금속 오염에 대한 연구는 자동차 배기 가스, 폐수, 폐기물 매립 등에 의하여 오염된 토양과 그 곳에서 재배된 농작물에서의 중금속 함량의 연관성을 중심으로 많은 연구가 진행되어 왔으나<sup>5-13)</sup>, 아직도 많은 논란이 공존하고 있는 실정이며, 보다 체계적인 연구가 필요하다고 본다.

우리나라에서도 국가 연구기관을 중심으로 식품 중의 미량금속 함량에 대한 모니터링 사업이 연차적으로 수행되어 왔으며<sup>14-17)</sup>, 하천 및 토양의 중금속 오염과 식물류의 중금속 오염에 대한 연구<sup>18-21)</sup>도 보고되고 있다.

한강은 서울과 경기지역의 주요 하천으로서 정부의 둔치 조경화 사업으로 보다 체계적으로 관리되기 시작했으며, 농작물 경작 사업도 활발히 진행되고 있으나, 한강 지천을 따라 건설된 간선도로의 과다한 교통량에 의한 배기가스, 낙하 분진 및 하천의 계절적 범람에 따른 수 중 중금속류의 오염 등 여러 안전성 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

본 연구는 1차년도 한강둔치에서 재배된 농작물 중의 중금속 함량에 대한 연구 사업에 이은 2차년도 연구 결

과로서 지천별, 작물별 함량을 분석, 비교하고, 중금속 간의 상관성을 파악함으로써 농작물별 중금속에 대한 위해성 평가 및 안전성 확보의 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재 료

2000년 9월말과 10월초에 걸쳐 한강 둔치와 지천인 안양천, 중랑천등 3개 지역 둔치에서 재배되고 있는 배추, 무, 파, 열무 등 총 8종의 농작물 300건을 채취하여 시료로 사용하였다(Table 1).

### 2. 실험방법

#### 1) 조사대상 금속

조사대상 금속은 납(Pb), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 아연(Zn), 망간(Mn), 구리(Cu)의 7종이었다.

#### 2) 시약

농도 1mg/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<sub>3</sub> 용액을 사용하여 적정 농도로 희석하여 제조하였다.

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

#### 3) 시료의 전처리

채취한 시료는 식용 가능한 부분만을 분리하여 균질하게 마쇄한 후, 폴리에틸렌 비닐 팩에 밀봉 포장하여 -20℃에 보관하면서 분석에 사용하였다.

납(Pb), 크롬(Cr), 카드뮴(Cd), 철(Fe), 아연(Zn),

Table 1. Sample size of the experiment

Areas	sampling sites (No. of samples)
Han-riverside	4(51)
Anyang stream	5(71)
Jungrang stream	5(178)
Total	14(300)

망간(Mn), 구리(Cu)의 분석은 시료 3g 정도를 취하여 예비탄화 시킨 후 진한 질산 2ml를 넣고 건조 후 450°C의 전기로에서 완전 회화시켰다. 회화가 끝나면 회분을 물로 적시고 염산 2~4ml를 가하여 건조장치에서 건조한 다음, 회화된 물질을 0.5N HNO<sub>3</sub>로 용해하여 여과시킨 후 25ml로 정용하였다<sup>22)</sup>. 시료 중의 각 함량은 시료 생중량을 기준으로 산출하였다.

#### 4) 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 표 2와 같았다.

Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu의 분석은 3회 반복 실험을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

한강 둔치 및 지천인 안양천, 중랑천변의 경작지에서 채집된 8종의 작물 300건에 대한 Pb, Cr, Cd, Fe, Zn, Mn, Cu, Hg의 농도를 측정하고 그 결과를 채집 지역 및 작물별로 비교·분석하였다.

표 3은 조사 대상 농작물의 미량금속 함량을 나타낸 것으로 평균치를 기준으로 볼 때 Fe(20.507mg/kg) > Zn(4.942mg/kg) > Mn(4.004mg/kg) > Cu(1.125mg/kg) > Cr(0.195mg/kg) > Pb(0.098mg/kg) > Cd(0.017mg/kg)

(kg)의 순이었으며 이러한 순위는 작물별로 차이는 있으나 Zn과 Mn을 제외하고는 1차년도 연구 보고서<sup>25)</sup> 및 기존의 연구보고들<sup>12-14)</sup>과 일치하였으며, 곡류 및 두류에서는 Zn의 함량이 Mn보다 높고 채소류와 과실류에서는 Mn의 함량이 Zn보다 높다고 보고된 기존의 결과<sup>15,16)</sup>와 달리 Zn의 함량이 높은 것으로 나타났는데, 이는 이번 대상 시료가 배추, 무류, 파류 등에 한정되었으므로 작물상의 특성에 기인된 것으로 판단되었다.

또한 각 중금속별 최고치는 Pb의 경우 잠실수중보에서 채취한 배추에서 0.098mg/kg, Cd의 경우 중랑천의 무에서 0.082mg/kg, Cr의 경우 여의도 둔치의 배추에서 1.166mg/kg이었는데, 특히 카드뮴의 경우, 이<sup>21)</sup> 등에 의한 토양 중 무에 의한 카드뮴의 이행에 관한 연구 결과에 따르면 토양 중의 카드뮴 농도가 증가할수록 무순과 뿌리 중의 카드뮴 함량이 증가한 반면, 김등<sup>26)</sup>은 자연상태에서 토양 중에 존재하는 중금속이 식물에 의한 특정 중금속의 흡수에 유의성 있는 영향을 주지 않았다고 보고하였다.

그림 1은 각 지역별 농작물 중의 중금속 평균 농도를 나타낸 것으로 Pb의 경우 평균 농도가 0.246 mg/kg으로 안양천의 0.078mg/kg, 중랑천의 0.063mg/kg에 비해 3배 이상 높게 나타났다. 이것은 1차년도의 연구 결과<sup>25)</sup> Pb, Cd 등의 평균 농도가 안양천에서 높게 나타났던 것과는 상이한 결과로서 한강둔치의 경우 특히 잠실수중보 지역 재배 작물에서 미량 금속 전반에 걸쳐 높은 수치를 보이는 것에 기인된 것으로 판단되었다.

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 크지

**Table 2.** Analytical conditions of A.A.S.<sup>23,24)</sup>

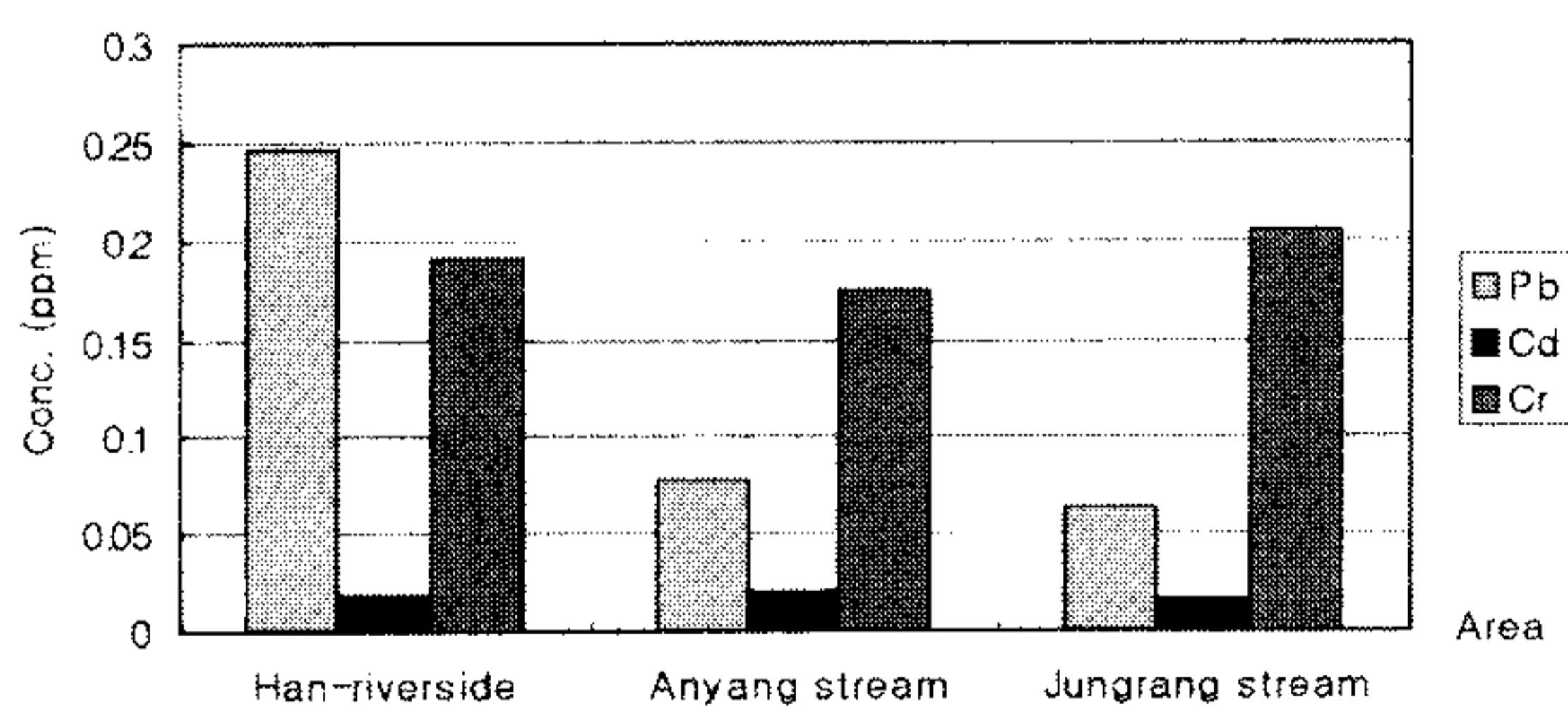
Item	conditions of A.A.S.						
	analysis mode	flame type	carrier/fuel gas flow rate	oxidant gas pressure(kPa)	slit (nm)	lamp current (mA)	wavelength (nm)
Pb	graphite furnace	Ar	30(ml/min)	-	1.3	9	283.3
Cr							228.8
Cd							359.3
Fe	flame	Air-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2.0(L/min)	160	0.2	15	248.3
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

**Table 3.** Concentration of trace metals in crops by sampling areas

(mg/kg, wet base)

Metals		Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	Mean±S.D.	0.246±0.268 <sup>a</sup>	0.078±0.051 <sup>b</sup>	0.063±0.065 <sup>b</sup>	0.098±0.141
	MIN	0.018	0.008	0.000	0.000
	MAX	1.005	0.210	0.549	1.005
Cd	Mean±S.D.	0.018±0.012	0.020±0.014	0.016±0.016	0.017±0.015
	MIN	0.006	0.000	0.001	0.000
	MAX	0.068	0.065	0.082	0.082
Cr	Mean±S.D.	0.191±0.237	0.175±0.115	0.204±0.176	0.195±0.177
	MIN	0.037	0.004	0.000	0.000
	MAX	1.166	0.535	0.824	1.166
Fe	Mean±S.D.	28.175±29.909 <sup>a</sup>	16.419±12.259 <sup>b</sup>	19.940±18.824 <sup>b</sup>	20.507±20.298
	MIN	3.993	0.855	0.000	0.000
	MAX	153.087	54.283	95.373	153.087
Zn	Mean±S.D.	6.431±2.820 <sup>a</sup>	5.419±4.093 <sup>a</sup>	4.325±3.180 <sup>b</sup>	4.942±3.460
	MIN	2.091	0.000	0.002	0.000
	MAX	13.198	28.703	22.753	28.703
Cu	Mean±S.D.	0.706±0.333 <sup>b</sup>	2.276±2.553 <sup>a</sup>	0.786±0.361 <sup>b</sup>	1.125±1.432
	MIN	0.256	0.110	0.150	0.110
	MAX	1.730	18.633	1.900	18.633
Mn	Mean±S.D.	10.790±6.254 <sup>a</sup>	0.737±0.377 <sup>c</sup>	3.362±2.973 <sup>b</sup>	4.004±4.746
	MIN	1.843	0.000	0.000	0.000
	MAX	26.696	1.517	15.686	26.696

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



**Fig.1.** Average concentrations of Pb, Cd, and Cr in crops by areas.

만 공장이 밀집되어 있는 공단이 하천의 상류에 자리잡고 있을 경우 각종 산업장과 자동차 등에서 배출되는 산업폐수, 대기 방출 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.

표 4는 각 지역에서 채취한 작물의 미량금속 함량을 나타낸 것으로 Fe은 0.000~153.087 mg/kg, Zn은 0.000~28.703mg/kg, Mn은 0.000~26.696mg/kg, Cu는 0.110~18.633mg/kg으로 비교적 고농도로 존재하고 있는 반면 유해중금속류인 Pb은 0.000~1.005mg/kg, Cd은 0.000~0.082mg/kg, Cr은 0.000~1.166mg/kg으로 비교적 미량으로 존재함을 알 수 있었다.

또한 Fe의 경우 한강둔치의 배추가 153.087mg/kg, Zn은 안양천의 부추가 28.703mg/kg, Cu는 안양천의 대파가 18.633mg/kg, Mn은 한강둔치의 대파가 26.696mg/kg으로 최고치를 나타냈는데, 이들 미량 금속류는 환경에 의한 오염물질이라기 보다는 작물 고유의 함량에 기

**Table 4. Concentration of heavy metals in crops by season and sampling area**

(mg/kg, wet base)

Area	Item	No. of sample	Concentration (Minimum~Maxium) of Trace metals (mg/kg, wet base)						
			Pb	Cd	Cr	Fe	Zn	Cu	Mn
A	cabbage, Korean	14	0.248 (0.060~1.005)	0.022 (0.012~0.038)	0.357 (0.111~1.166)	50.639 (12.033~153.087)	7.457 (2.091~11.216)	0.746 (0.396~1.313)	8.224 (2.856~17.944)
	leafy radish	5	0.407 (0.138~0.783)	0.017 (0.010~0.034)	0.296 (0.065~0.577)	55.268 (39.129~93.840)	7.394 (4.010~13.198)	0.938 (0.761~1.509)	8.734 (5.388~15.001)
	Korean radish, leaves	2	0.180 (0.115~0.245)	0.012 (0.012~0.012)	0.283 (0.184~0.381)	45.776 (32.158~59.394)	8.362 (5.300~11.424)	1.001 (0.758~1.244)	7.258 (3.429~11.086)
	green onion, large type	16	0.217 (0.018~0.807)	0.014 (0.006~0.025)	0.059 (0.037~0.093)	8.665 (3.993~15.967)	5.746 (3.186~10.917)	0.517 (1.256~1.198)	12.948 (5.197~26.696)
	green onion, medium type	10	0.189 (0.035~0.722)	0.022 (0.007~0.068)	0.105 (0.044~0.205)	11.998 (8.306~16.016)	4.749 (2.225~9.377)	0.534 (0.337~0.741)	13.727 (1.843~23.553)
	leek	4	0.327 (0.050~0.804)	0.014 (0.006~0.035)	0.177 (0.072~0.339)	25.367 (15.561~46.587)	7.608 (4.500~9.692)	1.316 (1.780~7.017)	8.127 (3.668~15.778)
B	cabbage, Korean	10	0.096 (0.052~0.135)	0.032 (0.017~0.065)	0.192 (0.106~0.257)	17.565 (5.937~28.349)	6.724 (4.710~10.850)	2.405 (0.025~0.025)	0.855 (0.440~1.367)
	leafy radish	9	0.100 (0.023~0.149)	0.030 (0.005~0.055)	0.265 (0.049~0.408)	28.945 (4.590~54.283)	5.352 (0.000~7.707)	2.180 (1.000~3.530)	0.931 (0.420~1.313)
	Korean radish, roots	9	0.019 (0.008~0.046)	0.008 (0.001~0.013)	0.053 (0.022~0.111)	3.508 (0.923~6.025)	3.101 (1.967~5.417)	0.397 (0.110~0.780)	0.199 (0.000~0.303)
	Korean radish, leaves	9	0.147 (0.097~0.210)	0.026 (0.017~0.033)	0.294 (0.167~0.452)	25.612 (5.967~48.040)	6.515 (5.113~10.743)	2.749 (1.520~4.553)	0.874 (0.437~1.310)
	radish	10	0.098 (0.047~0.165)	0.021 (0.010~0.031)	0.211 (0.119~0.535)	20.995 (11.733~43.753)	7.119 (3.417~22.570)	3.299 (1.137~8.707)	0.669 (0.367~0.950)
	green onion, large type	9	0.019 (0.012~0.025)	0.015 (0.004~0.060)	0.070 (0.054~0.091)	5.762 (3.057~8.356)	4.032 (2.463~7.513)	3.029 (0.297~18.633)	0.570 (0.077~1.203)
	green onion, medium type	9	0.039 (0.014~0.090)	0.009 (0.000~0.017)	0.110 (0.004~0.187)	10.096 (0.8555~17.018)	2.354 (0.000~4.363)	1.361 (0.267~2.807)	0.694 (0.407~1.133)
	leek	6	0.115 (0.085~0.140)	0.023 (0.013~0.039)	0.207 (0.124~0.333)	19.140 (11.380~36.495)	9.023 (4.560~28.703)	2.856 (0.343~5.527)	1.282 (0.817~1.517)
C	cabbage, Korean	25	0.072 (0.005~0.223)	0.017 (0.002~0.045)	0.246 (0.054~0.755)	35.228 (10.591~95.373)	4.479 (0.016~8.627)	1.013 (0.291~1.900)	4.004 (1.395~15.686)
	leafy radish	25	0.106 (0.003~0.549)	0.020 (0.001~0.063)	0.334 (0.015~0.808)	33.592 (10.329~74.840)	2.863 (0.002~11.305)	0.880 (0.150~1.830)	3.403 (0.670~14.530)
	Korean radish, roots	18	0.046 (0.000~0.121)	0.012 (0.002~0.082)	0.100 (0.025~0.236)	4.794 (0.000~14.993)	4.227 (0.007~8.337)	0.521 (0.162~1.143)	0.531 (0.000~1.557)
	Korean radish, leaves	26	0.077 (0.004~0.140)	0.017 (0.002~0.045)	0.206 (0.002~0.576)	29.620 (11.633~56.900)	7.962 (4.488~22.753)	0.856 (0.390~1.547)	4.266 (1.837~9.370)
	radish	20	0.081 (0.035~0.363)	0.019 (0.001~0.074)	0.160 (0.000~0.511)	26.516 (0.000~71.613)	4.990 (2.850~8.073)	0.758 (0.412~1.473)	4.101 (1.430~8.173)
	green onion, large type	26	0.027 (0.000~0.067)	0.011 (0.002~0.046)	0.109 (0.025~0.385)	5.154 (0.000~12.730)	2.656 (0.003~5.000)	0.550 (0.203~1.032)	2.924 (0.563~14.737)
	green onion, medium type	25	0.032 (0.001~0.268)	0.018 (0.004~0.067)	0.188 (0.000~0.824)	7.268 (0.000~16.433)	3.219 (0.009~7.545)	0.685 (0.427~1.553)	3.661 (0.367~14.135)
	leek	13	0.068 (0.001~0.171)	0.011 (0.006~0.019)	0.307 (0.125~0.581)	9.729 (0.000~20.512)	4.150 (0.006~7.587)	1.100 (0.777~1.270)	3.329 (1.600~5.970)

\* Group criteria, A, B, and C symbolizes Han-riverside, Anyang stream, and Jungrang stream, respectively.

인하는 것으로서 Fe은 배추, 열무, 무청 등의 잎작물에 많이 함유되어 있으며, Zn은 무청과 부추에 많이 존재하는 것으로 판단되었다.

그림 2는 대상 작물을 가식 부위를 기준으로 하여 배추와 열무, 무청은 잎작물, 대파, 쪽파, 부추는 줄기작물, 그리고 무와 알타리는 뿌리작물로 분류하여 Pb, Cd, Cr 등의 중금속 평균 농도를 비교한 것이다.

그림 2에 의하면 잎작물의 중금속 함량이 전반적으로 가장 높았으며, 줄기작물, 뿌리작물의 순으로 나타났는데, 이는 1차년도<sup>25)</sup>의 결과와 동일한 것으로 이러한 결과는 뿌리를 통해 이온 상태로 흡수된 미량금속류가 줄기를 지나 잎에 축적되는 특성과 함께 지천을 따라 간선도로변에 조성되어 있는 작물 경작지가 자동차 배기 가스 및 부유분진의 낙하, 침착에 의해 오염될 경우, 표면적이 가장 넓고 표면 상태가 굴곡이 많은 작물이 영향을 가장 많이 받으며, 강우나 바람에 의한 제거율도 낮은 것으로 판단되었다.

표 5~9는 배추, 열무, 대파, 쪽파, 부추를 대상으로 각 미량금속의 지역별 평균 함량을 분석한 결과이다.

배추는 우리나라의 대표적인 전통 발효식품이라 할 수 있는 김치의 주재료로서 비타민 A, C 및 Ca, P, Fe 등 각종 무기 성분이 다량 함유되어 있으며 우수한 섬유질 식품이기도 하다<sup>27)</sup>.

김등<sup>26)</sup>의 연구에 의하면 배추 중의 Pb은 모두 불검출이었으나 이번 연구에서는 한강둔치>안양천>중랑천의 순으로 평균 0.127mg/kg이었으며 이 것은 1차년도<sup>25)</sup>의 0.100mg/kg 및 김등<sup>17)</sup>의 0.069mg/kg에 비해 높은 결과였다.

또한 Cd과 Cr의 평균 함량도 각각 0.021mg/kg, 0.267mg/kg으로 1차년도의 0.011mg/kg, 0.223보다 높

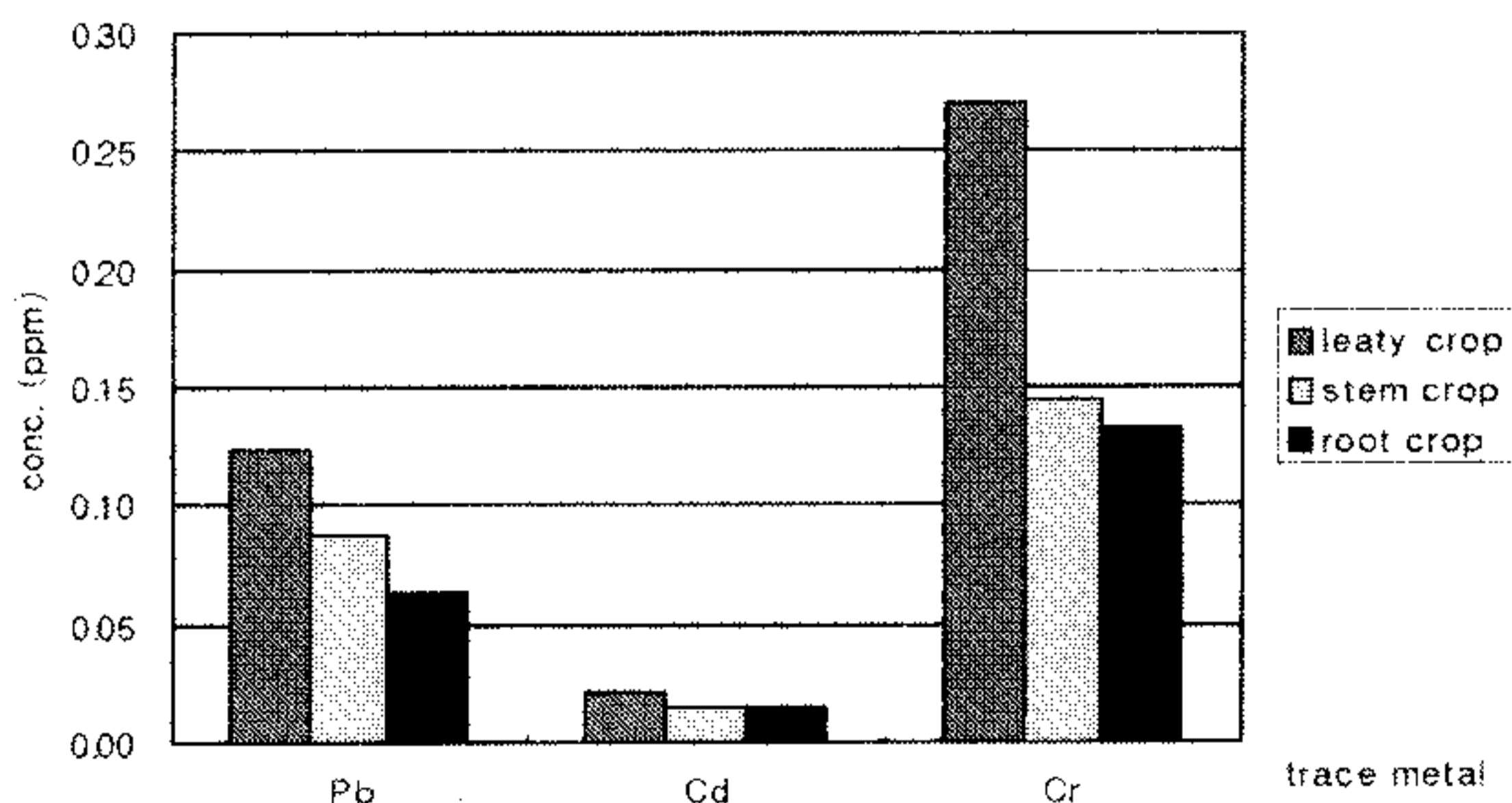


Fig. 2. Concentration of Pb, Cd, and Cr by sections.

은 결과를 나타냈다.

그림 3은 배추와 열무의 미량금속 함량을 비교한 것으로서 두 작물 모두 Fe, Zn 및 Mn이 유사한 경향으로 나타났다. 또한 그림 4는 대파, 쪽파, 부추에 있어서의 미량금속 함량을 비교한 것으로 전반적으로 부추>쪽파>대파의 순으로 높았으며, 특히 Fe의 함량의 경우 각각 14.903mg/kg, 8.921mg/kg, 6.363mg/kg으로 이러한 차이는 식품성분표<sup>27)</sup> 상의 Fe 함량이 부추(29mg/kg)>쪽파(10mg/kg)>대파(8mg/kg) 순이라는 점에서 유사한 경향을 나타내었으며, 또한 작물 전체의 표면적도 부추>쪽파>대파의 순이므로 토양 및 대기 중의 낙하 분진에 의해 혼입되었을 가능성도 생각할 수 있었다.

그림 5는 무와 무청에 있어서의 미량금속 함량을 비교한 것으로 1차년도<sup>25)</sup>의 결과와 유사하게 전반적으로 무청에서 높은 수치들을 나타내었는데, Pb은 잎(0.099mg/kg)>뿌리(0.037mg/kg), Cd은 잎(0.019mg/kg)>뿌리(0.010mg/kg), Cr은 잎(0.232mg/kg)>뿌리(0.085mg/kg)으로 뿌리보다 잎에 많은 것으로 나타났으며 이것으로 뿌리는 금속 이온이 흡수되는 기관일 뿐 축적은 잎에 비해 상대적으로 적게 됨을 알 수 있었다.

Zn은 식물 생육의 필수 원소이며 식물 체중의 8~10mg/kg 정도 존재하지만 200mg/kg을 넘을 경우에는 식물의 생육에 유해하여 장애가 일어난다<sup>28)</sup>. Cd은 greenokite나 monteponite 등과 함께 단일 물질로도 존재하나 주로 아연광에서 부수적으로 산출되기 때문에 일반적으로 농경지에서의 Cd의 오염은 아연과의 복합 오염으로 나타난다.

Cd과 Zn은 화학적 성질이 매우 유사한 원소로서, 이들 원소간의 비율이 일정 수준 이상에서는 서로 경합하는 성질을 가지고 있어 작물 및 재배 환경에 따라 다소 상이

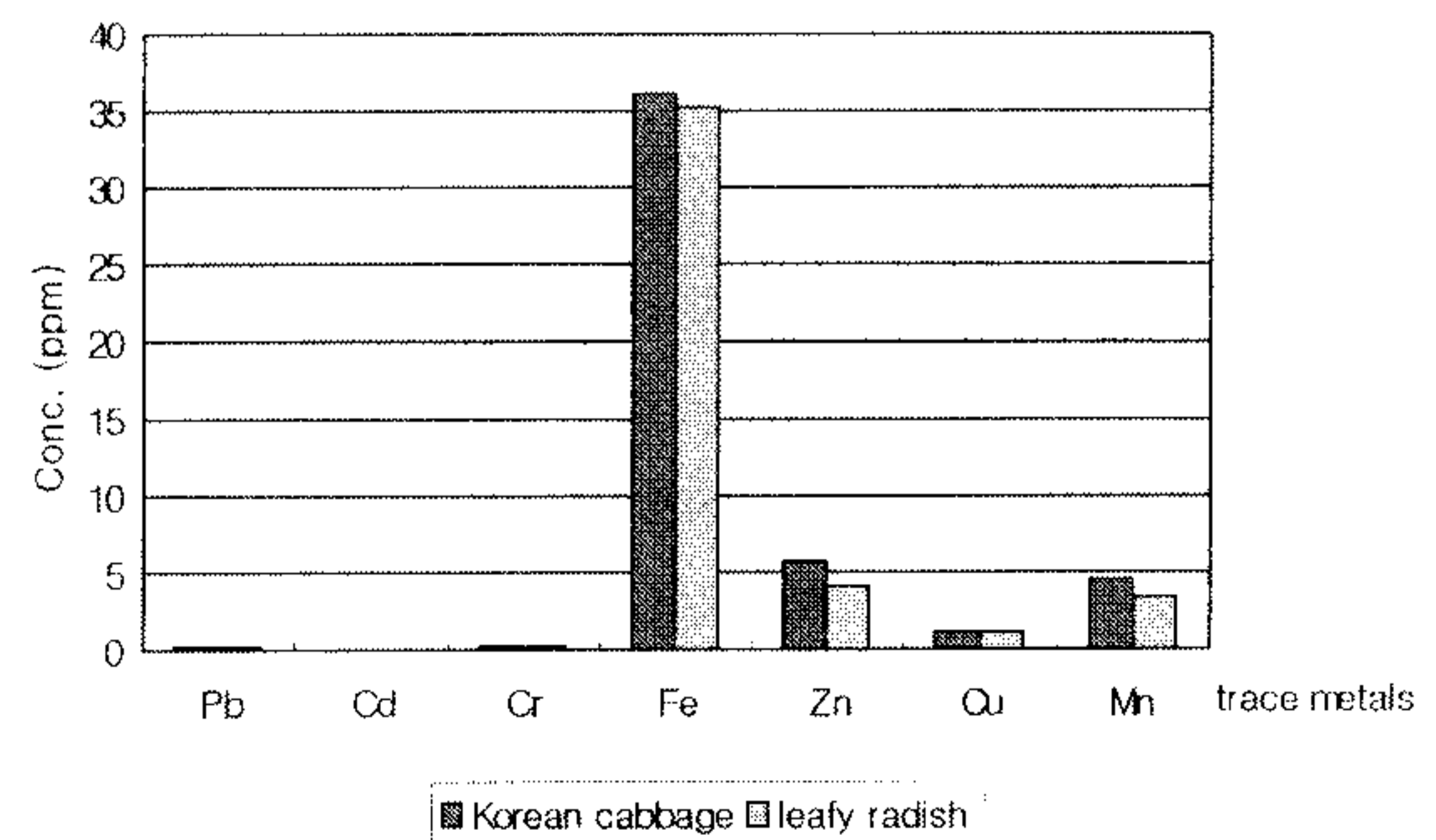


Fig. 3. Comparison of trace metals in Korean cabbage and leafy radish.

**Table 5.** Concentration of trace metals in Korean cabbage by sampling areas.

(mg/kg, wet base)

	Concentration (mean±S.D.)			
	Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	0.248±0.228 <sup>a</sup>	0.096±0.025 <sup>b</sup>	0.072±0.049 <sup>b</sup>	0.127±0.149
Cd	0.022±0.007 <sup>b</sup>	0.032±0.015 <sup>a</sup>	0.017±0.012 <sup>b</sup>	0.021±0.013
Cr	0.357±0.349	0.192±0.048	0.246±0.173	0.267±0.233
Fe	50.639±39.938 <sup>a</sup>	17.565±6.372 <sup>b</sup>	35.228±18.718 <sup>ab</sup>	36.026±27.815
Zn	7.457±2.698 <sup>a</sup>	6.724±1.738 <sup>a</sup>	4.479±2.653 <sup>b</sup>	5.788±2.853
Cu	0.746±0.287 <sup>b</sup>	2.405±1.724 <sup>a</sup>	1.013±0.441 <sup>b</sup>	1.221±1.050
Mn	8.224±5.058 <sup>a</sup>	0.855±0.292 <sup>c</sup>	4.004±3.361 <sup>b</sup>	4.567±4.459

\* a, b, c : Values in a row with different superscript letters are significantly different (p&lt;0.05).

**Table 6.** Concentration of trace metals in leafy radish by sampling areas.

(mg/kg, wet base)

	Concentration (mean±S.D.)			
	Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	0.407±0.285 <sup>a</sup>	0.100±0.036 <sup>b</sup>	0.106±0.112 <sup>b</sup>	0.143±0.170
Cd	0.017±0.009	0.030±0.013	0.020±0.016	0.022±0.016
Cr	0.296±0.227	0.265±0.113	0.334±0.253	0.313±0.227
Fe	55.268±19.883 <sup>a</sup>	28.945±13.907 <sup>b</sup>	33.592±19.422 <sup>b</sup>	35.298±19.985
Zn	7.394±3.426 <sup>a</sup>	5.352±2.149 <sup>ab</sup>	2.863±2.842 <sup>b</sup>	4.018±3.236
Cu	0.938±0.288 <sup>b</sup>	2.180±0.828 <sup>a</sup>	0.880±0.387 <sup>b</sup>	1.187±0.749
Mn	8.734±3.354 <sup>a</sup>	0.931±0.287 <sup>c</sup>	3.403±2.825 <sup>b</sup>	3.516±3.409

\* a, b, c : Values in a row with different superscript letters are significantly different (p&lt;0.05).

**Table 7.** Concentration of trace metals in green onion, large type by sampling areas.

(mg/kg, wet base)

	Concentration (mean±S.D.)			
	Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	0.217±0.283 <sup>a</sup>	0.019±0.005 <sup>b</sup>	0.027±0.020 <sup>b</sup>	0.085±0.182
Cd	0.014±0.005	0.015±0.016	0.011±0.010	0.012±0.011
Cr	0.059±0.016 <sup>b</sup>	0.070±0.013 <sup>ab</sup>	0.109±0.077 <sup>a</sup>	0.086±0.061
Fe	8.665±3.138 <sup>a</sup>	5.762±1.850 <sup>b</sup>	5.154±3.381 <sup>b</sup>	6.363±3.463
Zn	5.746±2.376 <sup>a</sup>	4.032±1.585 <sup>b</sup>	2.656±1.460 <sup>c</sup>	3.868±2.272
Cu	0.517±0.219 <sup>b</sup>	3.029±5.527 <sup>a</sup>	0.550±0.170 <sup>b</sup>	0.977±2.515
Mn	12.948±6.453 <sup>a</sup>	0.570±0.364 <sup>b</sup>	2.924±3.192 <sup>b</sup>	5.653±6.583

\* a, b, c : Values in a row with different superscript letters are significantly different (p&lt;0.05).

**Table 8.** Concentration of trace metals in green onion, medium type by sampling areas.

(mg/kg, wet base)

	Concentration (mean±S.D.)			
	Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	0.189±0.264 <sup>a</sup>	0.039±0.021 <sup>b</sup>	0.032±0.051 <sup>b</sup>	0.069±0.147
Cd	0.022±0.022	0.009±0.006	0.018±0.018	0.017±0.018
Cr	0.105±0.055	0.110±0.049	0.188±0.162	0.153±0.133
Fe	11.998±2.681 <sup>a</sup>	10.096±5.723 <sup>ab</sup>	7.268±4.689 <sup>b</sup>	8.921±4.981
Zn	4.749±2.302 <sup>a</sup>	2.354±1.446 <sup>b</sup>	3.219±2.224	3.390±2.258
Cu	0.534±0.118 <sup>b</sup>	1.361±0.714 <sup>a</sup>	0.685±0.224 <sup>b</sup>	0.789±0.473
Mn	13.727±6.809 <sup>a</sup>	0.694±0.260 <sup>b</sup>	3.661±4.216 <sup>b</sup>	5.342±6.531

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

**Table 9.** Concentration of trace metals in leek by sampling areas.

(mg/kg, wet base)

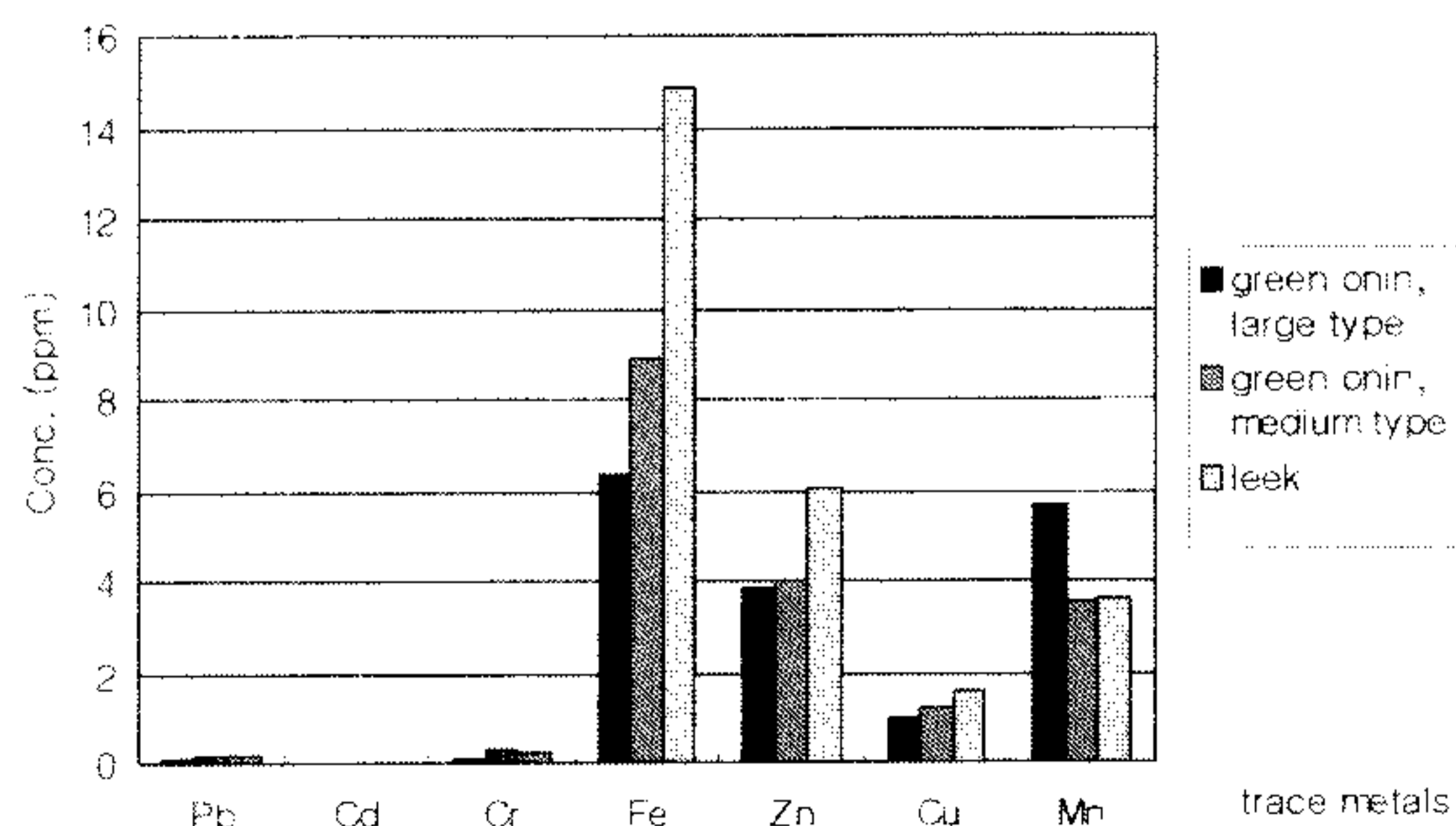
	Concentration (mean±S.D.)			
	Han-riverside	Anyang stream	Jungrang stream	Total
Pb	0.327±0.291 <sup>a</sup>	0.115±0.018 <sup>b</sup>	0.068±0.059 <sup>b</sup>	0.125±0.160
Cd	0.014±0.012 <sup>ab</sup>	0.023±0.009 <sup>a</sup>	0.011±0.004 <sup>b</sup>	0.014±0.009
Cr	0.177±0.105	0.207±0.082	0.307±0.131	0.258±0.128
Fe	25.367±12.469 <sup>a</sup>	19.140±8.622 <sup>ab</sup>	9.729±7.757 <sup>b</sup>	14.903±10.922
Zn	7.608±1.922	9.023±8.816	4.150±2.873	6.022±5.509
Cu	1.316±0.243 <sup>b</sup>	2.856±1.546 <sup>a</sup>	1.100±0.114 <sup>b</sup>	1.595±1.099
Mn	8.127±4.833 <sup>a</sup>	1.282±0.224 <sup>b</sup>	3.329±1.383 <sup>b</sup>	3.629±3.188

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

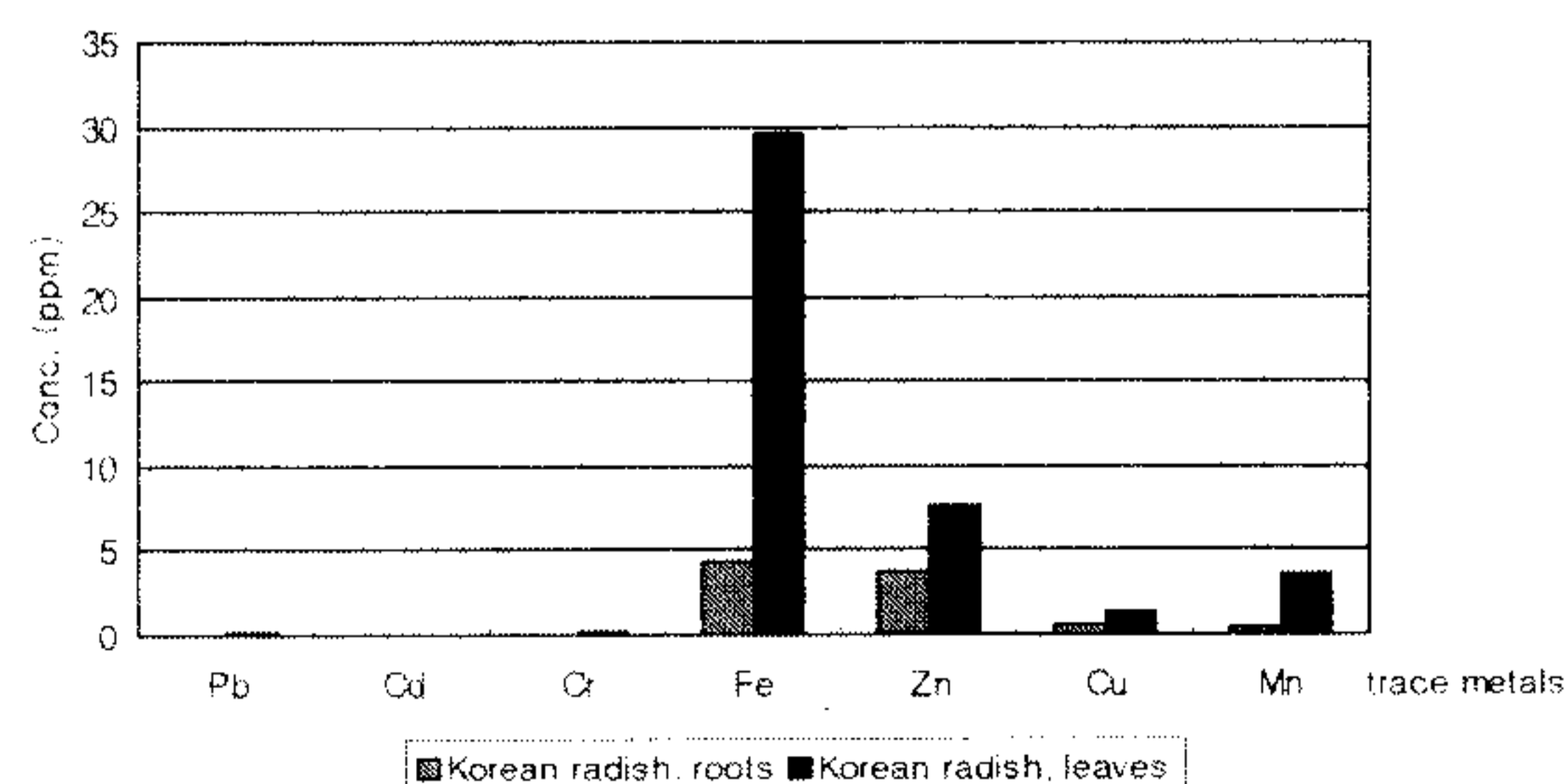
하나 서로 길항작용을 하는 것으로 알려져 있다<sup>29)</sup>.

그러나 본 실험에서의 분석대상 작물중 Cd와 Zn의 함량 분포를 분석한 결과에서는 뚜렷한 상관성을 찾아볼 수 없었다. 또한 실험결과로 나타난 미량금속류 간의 상

관관계를 분석한 결과, 1차년도와 2차년도의 결과와 유사하게 미량 금속류간의 상관관계를 찾아볼 수 없었으며, 일부 연구 결과들에서 볼 수 있었던 특정 금속류간의 상관성도 볼 수 없었다.



**Fig.4.** Comparison of trace metals in large and medium type green onion and leek.



**Fig.5.** Comparison of trace metals in Korean radish roots and leaves.



## 결론

2000년 9월말과 10월초에 걸쳐 한강 둔치와 지천인 안양천, 중랑천 등 3개 지역 둔치에서 재배되고 있는 배추, 무, 파, 열무 등 총 8종의 농작물 300건을 채취하여 Pb, Cd, Cr, Fe, Zn, Mn, Cu의 농도를 분석한 결과, 평균치를 기준으로 볼 때 Fe(20.507mg/kg) > Zn(4.942mg/kg) > Mn(4.004mg/kg) > Cu(1.125mg/kg) > Cr (0.195mg/kg) > Pb(0.098mg/kg) > Cd (0.017mg/kg)의 순이었으며 이러한 순위는 작물별로 차이는 있으나 Zn과 Mn을 제외하고는 1차년도 연구 보고서 및 기존의 연구보고들과 일치하였다.

또한 Pb의 경우 잠실수중보에서 채취한 배추에서 0.098mg/kg, Cd의 경우 중랑천의 무에서 0.082mg/kg, Cr의 경우 여의도 둔치의 배추에서 1.166mg/kg이었으며, Fe의 경우 한강둔치의 배추가 153.087mg/kg, Zn은 안양천의 부추가 28.703mg/kg, Cu는 안양천의 대파가 18.633mg/kg, Mn은 한강둔치의 대파가 26.696mg/kg으로 최고치를 나타냈다.

또한 Fe은 0.000~153.087 mg/kg, Zn은 0.000~28.703 mg/kg, Mn은 0.000~26.696mg/kg, Cu는 0.110~18.633 mg/kg으로 고농도로 존재하고 있는 반면, Pb은 0.000~1.005mg/kg, Cd은 0.000~0.082mg/kg, Cr은 0.000~1.166 mg/kg으로 비교적 미량으로 존재함을 알 수 있었다.

대상 작물을 가식 부위를 기준으로 하여 배추와 열무, 무청은 잎작물, 대파, 쪽파, 부추는 줄기작물, 그리고 무와 알타리는 뿌리작물로 분류하여 Pb, Cd, Cr 등의 평균 농도를 비교한 결과, 잎작물의 중금속 함량이 전반적으로 가장 높았으며, 줄기작물, 뿌리작물의 순으로 나타났는데, 이는 1차년도의 결과와 동일한 것으로 이러한 결과는 뿌리를 통해 이온 상태로 흡수된 미량금속류가 줄기를 지나 잎에 축적되는 특성과 함께 지천을 따라 간선도로변에 조성되어 있는 작물 경작지가 자동차 배기가스 및 부유분진의 낙하, 침착에 의해 오염될 경우, 표면적이 가장 넓고 표면 상태가 굴곡이 많은 작물이 영향을 가장 많이 받으며, 강우나 바람에 의한 제거율도 낮은 것으로 판단되었다.

배추 중의 Pb은 한강둔치>안양천>중랑천의 순으로 평균 0.127mg/kg이었으며 이것은 1차년도의 0.100 mg/kg에 비해 높은 결과였으며, Cd과 Cr의 평균 함량도 각각

0.021mg/kg, 0.267mg/kg으로 1차년도의 0.011 mg/kg, 0.223보다 높은 결과를 나타냈다.

배추와 열무의 미량금속 함량은 Fe, Zn 및 Mn이 유사한 경향으로 나타났으며, 대파, 쪽파, 부추에서는 전반적으로 부추>쪽파>대파의 순으로 높게 나타났다.

또한 무와 무청에 있어서는 1차년도의 결과와 유사하게 전반적으로 무청에서 높은 수치들을 나타내었는데, Pb은 잎(0.099mg/kg)>뿌리(0.037mg/kg), Cd은 잎(0.019mg/kg)>뿌리(0.010mg/kg), Cr은 잎(0.232mg/kg)>뿌리(0.085mg/kg)으로 뿌리보다 잎에 많은 것으로 나타났으며 이것으로 뿌리는 금속 이온이 흡수되는 기관일 뿐 축적은 잎에 비해 상대적으로 적게 됨을 알 수 있었다.

대상 작물의 미량금속류 간의 상관관계를 분석한 결과 분석대상 금속류간의 상관관계를 찾아볼 수 없었다.

## 參 考 文 獻

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. 한국의 환경통계 평가 보고서. 통계청, 서울, 215-229(1996)
3. '97 환경총편람. 환경일보, 서울, 163-193(1997)
4. 식품공전. 한국식품공업협회, 46(2000)
5. Warren, H.V. and Delavault, R.E : Lead in some food crops and trees. J. Sci. Food Agric., 13: 96 -98(1962)
6. Cannon, H.L. and Bowles, J.M. : Contamination of vegetation by tetraethyl lead. Science, 137: 765-766(1962)
7. Chow, T.J. : Lead accumulation in roadside soil and grass. Nature, 225: 295-298(1970)
8. 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(3): 231-237 (1970)
9. 유홍일, 서운수, 김성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수아 : 우리나라 농토양 및 현미 중 중금속 자연

- 함유량에 관한 조사연구. 국립환경연구원보, 10: 155-163(1988)
10. 홍현미, 이창균, 김광진, 김준겸, 인치경 : 도내 현미 및 논 토양중 중금속 함유량 조사연구. 충청남도 보건환경연구원보, 4: 121-135(1993)
  11. 김동호, 임수길, 권오경 : 사과 과수원 토양과 그 잎의 중금속 함유량의 상관관계에 관한 연구. 한국환경농학회지, 8(1): 1-6(1989)
  12. 김명미, 고영수 : 중금속에 의한 토양오염과 그 작물내 함량에 관한 연구. 식품위생학회지, 1(1): 51-56(1986)
  13. 김복영, 소규호, 김규식, 우기대, 류순천 : 채소작물과 그 재배토양중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구. 농사시험 연구논문집, 34(2) : 56-70(1992)
  14. 김길생, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 김종성, 이해빈 : 식품중의 미량금속에 관한 연구. 국립보건원보, 31: 437-450(1994)
  15. 원경풍, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 김종성, 김형도, 김길생 : 식품중의 미량금속에 관한 연구. 국립보건원보, 32: 456-469(1995)
  16. 박건용, 정현주, 두옥주, 전수진, 오영희, 서병태, 한상운, 오수경 : 농산물 중의 미량금속 함유량에 관한 조사. 서울특별시 보건환경연구원보 31: 101-108(1995)
  17. 김일영, 김복순, 신기영, 전옥경, 김성단, 장민수, 윤용태, 이은순, 강희곤 : 농산물 중의 잔류농약 및 미량금속에 관한 조사. 서울특별시 보건환경연구원보 32: 163-170(1996)
  18. 崔要漢 : 하천 주변 식물의 중금속 오염에 관한 연구. 慶熙大學校 教育大學院 碩士學位論文(1996)
  19. 이인숙, 조영채, 김동현 : 공단지역과 청정지역에서 재배되는 농작물과 토양중 중금속 함유량 비교. 충남대학교 환경연구보고, 13: 33-48(1995)
  20. 유일수, 이종섭, 소진탁 : 만경강유역 토양 및 농작물의 중금속 함량에 관한 조사 연구. 大韓保健協會誌, 36: 77-87(1992)
  21. 李鎭敬, 鄭文鎬 : 土壤中에서 무에 의한 카드뮴의 吸收 및 移行에 關한 實驗的 研究. 大韓保健協會誌, 33: 61-73(1990)
  22. 韓國食品工業協會 : 食品公典, 761-771(1999)
  23. Flame Atomization Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrometry. Hitachi, Ltd. 1st ed. Japan.(1997)
  24. Graphite Furnace Atomization Analysis Guide for Polarized Zeeman Atomic Absorption Spectrometry. Hitachi, Ltd. 1st ed. Japan.(1997)
  25. 김연천, 전옥경, 양혜란, 최영희, 한선희, 이강문 : 한강둔치에서 재배된 농작물 중의 미량 금속 함유량에 관한 연구. 한국식품위생안전성학회지, 15(3) : 209-218(2000)
  26. 김재봉, 김동한, 정연보, 오재기, 장성기, 최광수, 강덕희 : 중금속에 의한 토양오염과 농작물내 함량의 상관관계에 관한 연구. 국립환경연구소보, 2: 203-211(1980)
  27. 농촌진흥청 농촌생활연구소 : 식품성분표, 제5개정판(1996)
  28. Stanley S. Brown and Yasushikodama : Toxicology of Metal. Clinical and Experimental Research. New York.(1987)
  29. Min Hyo Lee and Bok Young Kim : The effect of Cd and Zn elements applied to soil on the growth and their uptake of corn plant. Korean J. Environ. Agric., 4(1) : 911-17(1985)