한국환경위생학회지, 제20권 제2호 (1994)
Kor. J. Env. Hlth. Soc., Vol. 20, No. 2, pp. 55~63 (1994)

서울市 一部地域에서 栽培한 菜蔬類 및 土壤中 重金屬 含量에 關한 硏究

강주성 · 박석환 · 정문식
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

A Study on Heavy Metal Contents in Vegetables and Soil at Seoul Area

Joosung Kang, Suakhwan Park and Moonshik Zong
Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

While environmental pollution being developed, there have been some cases that residents on certain parts of Seoul area have cultivated vegetables in a small scale, and consumed the produce of theirs thinking them not polluted. Therefore the need for study about whether those vegetables and soil were polluted was growing. In this study, Seoul area (Tobong-dong, Chang-dong, Wolgye-dong, P'il-dong, Oksu-dong, and Karibong-dong) and Kyŏnggi area (Changhŭng, P'och'ŏn, Kap'yŏng, Yangp'yŏng) where pollution was thought to be less severe than that of the former were selected for the sampling area. Cabbage, pumpkin and young pumpkin were sampled and dried to be analyzed the contents of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, and moisture content was also analyzed. And at the same time 0.1 N-HCl soluble heavy metal content of soil was measured, and the results obtained were descrived as follows. Heavy metal contents of soil in Seoul and Kyŏnggi were Cd 0.184 ppm, 0.118 ppm, Cr 2.355 ppm, 0.441 ppm, Cu 29.16 ppm, 3.331 ppm, Ni 1.650 ppm, 0.829 ppm, Pb 26.77 ppm, 4.696 ppm, Zn 57.47 ppm, 14.94 ppm respectively. Heavy metal contents of cabbage in Seoul and Kyŏnggi were Cd 0.407 ppm, 0.241 ppm, Cr 0.388 ppm, 0.402 ppm, Cu 6.853 ppm, 4.486 ppm, Ni 1.479 ppm, 0.878 ppm, Pb 0.812 ppm, 0.258 ppm, Zn 112.2 ppm, 54.86 ppm respectively. Heavy metal contents of pumpkin in Seoul and Kyŏnggi were Cd 0.011 ppm, 0.011 ppm, Cr 0.262 ppm, 0.197 ppm, Cu 3.302 ppm, 2.539 ppm, Ni 0.717 ppm, 0.369 ppm, Pb 0.257 ppm, 0.083 ppm, Zn 28.75 ppm, 14.01 ppm respectively. Correlation between heavy metal contents of soil and those of vegetables was represented high as a whole. In all heavy metals cabbage had higher values of concentrations than those of pumpkin ($p<0.001$). Concentrations of young pumpkin were higher than those of big pumpkin. It was probably due to the fact that young pumpkin containing not only inner part of pumpkin but also seeds was used as a sample. When classified by region, relatively high concentrations were observed in the samples of Karibong-dong, and in the sample of Junglang riverside Cd was higher, and in the sample of Namsan Pb was higher than any other district.

Keywords : Heavy metal contents, soil, cabbage, pumpkin.

I. 緖 論

人間의 生活水準을 向上시키려는 努力으로 人類가 이룩하여 왔던 産業發達과 도시화는 수많은 각종 環境汚染物質을 다시 인간의 생활환경에 되돌려 줌으로써 인간의 생활수준을 크게 惡化시켰다. 우리나라도 1960년대 이후 연속적인 經濟發展에 따른 産業活動의 結果 刮目할만한 經濟成長을 이룩하여 왔으나, 부수적으로 환경오염을 가중시켜 이로 인한 健康影響을 염려하게 되는 새로운 局面을 招來하였다. 특히 서울의 경우, 좁은 면적에 우리나라 총 인구의 1/4이상이 密集되어 있어 환경오염이 매우

심각한 실정이다.

각종 생활환경 중 토양은 대기환경 및 수질환경 오염의 緩衝作用을 하면서 부분적으로 環境의 自淨作用을 담당해 왔다. 그러나 이제는 대기나 수질환경의 오염속도가 너무 빨라서 더 이상 토양이 緩衝作用을 해내지 못하고 토양자체가 심각하게 오염되기에 이르렀다.[1] 토양은 일단 오염되면 오염물질이 자연적으로 除去되지 않고, 半永久的으로 토양에 存在하면서 각종 動·植物을 汚染시키고, 사람이 오염된 動 植物을 장기간 계속해서 攝取할 경우 慢性的인 각종 危害를 일으킨다. 특히 土壤汚染物質 중 重金屬類는 타 汚染物質과는 달리 非分解性으로 한번 土壤을 汚染시킬 경우 장기간에 걸쳐 殘留蓄積되고 거의 永久的인 汚染이 되므로 土壤汚染物質 중 重金屬이 가장 문제시 되고 있다.[2-7] 人口가 集中된 大都市의 경우, 土壤汚染物質 중 重金屬은 자동차, 바람 등으로 인해 發生한 먼지를 통해 呼吸器를 경유하여 인체에 吸入될 수 있다. 특히 서울市 一部地域에서 小規模로 菜蔬 등을 栽培하여 攝取하고 있는데, 토양오염이 날로 심각해져 가고 있는 현시점에서, 이들 채소류의 重金屬汚染이 매우 우려되고 있다. 현재 서울시민은 大氣汚染, 水質汚染, 地下空間 大氣汚染 등 환경오염의 負荷를 過度하게 받고 있는 가운데, 小規模로 경작한 채소류를 無公害라는 槪念속에서 아무런 抵抗感없이 攝取하고 있는 實情이다.[8-11]

菜蔬의 重金屬 汚染은 土壤에만 起因하는 것이 아니고 여러 가지 環境因子에 影響을 받으며 특히 大氣汚染의 影響을 많이 받는다. 그런데 이러한 大氣汚染은 결국 土壤을 汚染시키므로, 土壤의 重金屬汚染은 菜蔬의 重金屬汚染의 중요한 指標가 될수 있다. 즉 土壤의 汚染 程度를 把握함으로써 農作物의 栽培 妥當性을 間接的으로 判定할 수 있다. 重金屬 중 Cd, Cr은 植物의 成長에는 큰 피해는 주지 않으나 人體에 매우 有害하며 Cu, Ni, Zn, Pb 등은 一定濃度 以上에서 植物의 成長에 큰 被害를 주는 것으로 알려져 있다. Cr은 Cr^{6+}일 경우 그 被害가 매우 크지만 一般的으로 自然狀態에서는 쉽게 Cr^{3+}로 還元되는 것으로 알려져있다.[4,12-17] 土壤汚染과 穀物 특히 쌀에 關한 硏究가 매우 많이 修行되었으며[18] 더불어 一部 土壤汚染과 菜蔬와의 關聯性에 관한 硏究도 수행되었다.[19-21] 특히 쓰레기 埋立地域의 土壤 및 栽培作物體 中 重金屬含量에 관한 硏究가 수행되는 등[22] 土壤汚染과 그에 따른 農作物의 重金屬 汚染이 硏究되고 있으나, 서울시와 같이 인구가 密集되고 交通量이 많으며 一部 工團地域이 形成되어 있는 등 토양오염이 深刻한 지역에서, 小規模로 栽培하는 菜蔬類에 대한 硏究는 아직 未洽한 實情이다.

서울市를 事前 調査한 結果 배추와 호박이 많이 栽培되고 있었으며, 旣存의 硏究 結果 배추의 重金屬 吸收가 무우와 더불어 가장 많았고, 호박은 낮은 편이었다. 본 硏究에서는 서울市 一部 遊休地에서 栽培되는 배추 및 호박과 그 土壤 中 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 含量을 分析하여, 이들을 相對的으로 土壤汚染이 덜 되었다고 判斷되는 京畿地域과 比較함으로써, 현재 서울市 一部地域의 土壤과 菜蔬類의 汚染實態를 알아보고자 한다.

II. 實驗對象 및 方法

1. 實驗對象

1) 實驗對象 地域

실험대상 지역은 서울시에서 소규모로 채소를 재배하면서, 토양오염이 심각할 것으로 판단되는 도봉동, 창동, 월계동, 필동, 옥수동, 가리봉동지역을 選定하였고 상대적으로 토양오염이 적을 것으로 판단되는 지역으로 경기도 장흥, 포천, 가평, 양평지역을 선정하였다(Fig. 1 참조). 서울지역은 도심에서 소규모로 농작물을 재배하는 지역이며, 경기지역은 농업지역 농토에서 채소를 재배하는 지역이었다.

2) 試料採取 方法 및 期間

배추(*Brassica pekinensis*)는 실험대상 지역에서 3곳을 지정하여 4~6주 재배된 배추(Chinese cabbage, 이하 Cabbage)를 가능한 한 토양이 묻지않게 채취한 후 뿌리를 제거하고 폴리에칠렌 봉지에 넣어서 시료명을 기입하고 봉하였다.

호박(*Cucurbita moschata*)은 각 실험대상 지역에서 3곳을 지정하여 약 3~4주 재배된 애호박(Young pumpkin)과 약 8주 재배된 큰호박(pumpkin)을 채취한 후 폴리에칠렌 봉지에 넣어서 시료명을 기입하고 봉하였다. 채취의 어려움으로 인해 애호박이

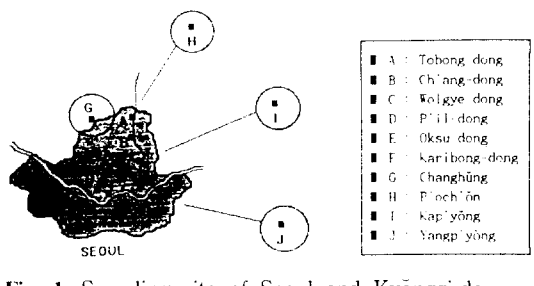

Fig. 1. Sampling site of Seoul and Kyŏnggi-do.

없는 경우가 몇개 지역 있었다.

각 배추시료에 대한 토양은 환경처 고시 수질오염 공정시험법 토양편[23]의 시료채취 방법에 따라 각 지역에서 배추시료와 동일지점 3곳을 선정하여, 각 지점에서 꽃삽을 이용하여 15 cm 깊이의 토양을 2 kg이상 채취한 후 준비한 폴리에틸렌 봉지에 넣고 시료명을 기입하였다. 각 호박시료에 대한 토양은 동일 채취방법에 따라 각 지역에서 호박시료와 동일지점 3곳을 선정하여 각 지점 및 1 m 반경 4곳에서 꽃삽을 이용하여 15 cm 깊이의 토양을 2 kg 이상 채취한 후 준비한 폴리에틸렌 봉지에 넣고 시료명을 기입하였다. 시료채취는 1993년 8월 28일부터 9월 21일까지 실시하였다.

2. 試藥 및 器機

토양 및 채소의 중금속 溶出에 사용된 HCl은 일본 MITSUBISHI사 有害金屬測定用이며, 표준용액은 KATAYAMA사 原子吸光分析用으로써 3차 蒸溜水로 10 ppm, 1 ppm, 0.1 ppm으로 稀釋하여 사용하였다. 중금속(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 분석은 미국 Thermo Jarrell Ash사 모델 PolyScan 61E의 ICP AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)를 사용하였다. 분석은 각 시료당 3회 반복 測定하여 平均값을 구하였다. 溶出한 試料溶液에 대하여 ICP AES로 分光學的 妨害影響이 가장 적은 波長에서 實施하였다.[24]

3. 實驗方法

시료로 채취한 배추와 호박 및 그 토양 중의 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn분석과 토양의 pH, 채소의 수분을 다음의 前處理와 實驗方法으로 實施하였다.

1) 試料의 前處理

(1) 배추

채취한 배추를 실험실에서 수돗물로 깨끗이 2회 씻고 다시 증류수로 1회 씻은 후 물을 충분히 제거하여 열풍건조기에서 7시간 이상 충분히 건조한 다음 배추 전체를 Polyprophylene통에 넣고 나무절구로 분쇄하여 Polyethylene시료병에 담아서 시료로 사용하였다.

(2) 호박

채취한 호박을 실험실에서 수돗물로 깨끗히 2회 씻고 다시 증류수로 1회 씻은 후 물을 충분히 닦은 다음 플라스틱도마에서 스텐레스스틸 칼로 잘게 잘라서 열풍건조기에서 10시간 이상 충분히 건조하여 호박 전체를 Polyprophylene통에 넣고 나무절구로 분쇄하여 Polyethylene시료병에 담아서 시료로 사용하였다.

(3) 토양

채취한 토양시료를 잘 분쇄 혼합하고 통풍하기 좋으며, 직사광선이 닿지않는 장소에서 잘 헤쳐놓고 자연 건조하였다. 건조한 토양을 비금속 표준체(9 mesh)를 통과시켜 2 mm 이상의 돌이나 식물뿌리를 걸어내었다. 이를 다시 60℃ 열풍건조기에서 5시간 건조시켜 polyethylene시료병에 담아 최종시료로 사용하였다.[23]

2) 重金屬 分析

(1) 배추와 호박

환경처 수질오염 공정시험방법[23]에 의거, 준비한 건조채소 5 g을 50 ml 도가니에 넣고 Hot plate에서 충분히 회화시킨 후 HCl(1 : 1) 10 ml을 넣고 열판에서 가열하여 잔류물을 녹여 5B 여과지에 거르고 온수10ml로 다시 씻어서 여과지에 걸러서 최종액이 25 ml이 되게한 후 ICP로 분석하였다.

(2) 토양

환경처 토양측정망운영지침[25]에 의거, 준비한 건조토양 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 취한 후 0.1 N-HCl 용액 50 ml을 넣고 30℃ 진탕기에서 1시간 진탕한 후 5B 여과지(Whatman No. 40)로 여과한 후 ICP로 분석하였다.

3) 菜蔬 水分 測定

蒸溜水로 씻은 배추를 화장지로 잘 닦아 表面을 공기 중에서 가볍게 乾燥시킨 후 무게를 재고 60℃ 熱風乾燥機로 7시간 이상 충분히 건조시켜 무게를 재었다. 호박은 잘게 썰어 그 무게를 재고 동일 건조기에서 10시간 이상 충분히 건조시킨 후 무게를 재었다.

4) 統計處理

각 토양과 채소에 대해서, 서울과 경기지역으로 분리하여 각각의 중금속 함량의 차이에 대해 分散分析을 실시하여 平均間 有意性 與否를 檢討하였고, 각 토양과 채소간 相關關係를 구하여 보았다. 자료의 處理는 SAS(Statistical Analysis System) 統計 package를 利用하였다.[26-30]

III. 成績 및 考察

서울과 京畿地域의 배추, 호박, 애호박에 관한 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 分析實驗의 結果를 각 重金屬 項目別로 살펴보면 다음과 같다. 土壤의 重金屬 含量은 0.1 N-HCl 可溶性量이며, 배추와 호박의 重金屬 濃度는 乾燥菜蔬量에 대한 總量이다.

Table 1. Heavy metal content of each item in Seoul-Kyŏnggi district (Unit : ppm)

Metal	Area	Statistics	Soil*	Cabbage	Pumpkin	Young pumpkin
Cd	Seoul	Mean	0.184	0.407	0.011	0.016
		S.D	0.181	0.446	0.012	0.025
	Kyŏnggi	Mean	0.118	0.241	0.011	0.003
		S.D	0.031	0.105	0.013	0.006
		(p-value)**	(0.0175)	(0.2191)	(0.9879)	(0.2374)
Cr	Seoul	Mean	2.355	0.388	0.262	0.244
		S.D	1.829	0.164	0.075	0.089
	Kyŏnggi	Mean	0.441	0.402	0.197	0.245
		S.D	0.184	0.050	0.064	0.018
		(p-value)	(0.0001)	(0.7751)	(0.0184)	(0.9788)
Cu	Seoul	Mean	29.16	6.853	3.302	4.873
		S.D	22.08	4.468	1.944	1.553
	Kyŏnggi	Mean	3.331	4.486	2.539	3.619
		S.D	1.461	0.851	0.742	0.736
		(p-value)	(0.0001)	(0.0822)	(0.2063)	(0.0823)
Ni	Seoul	Mean	1.650	1.479	0.717	1.433
		S.D	0.717	1.455	0.503	0.886
	Kyŏnggi	Mean	0.829	0.787	0.369	0.310
		S.D	0.285	0.363	0.224	0.250
		(p-value)	(0.0001)	(0.1200)	(0.0328)	(0.0085)
Pb	Seoul	Mean	26.77	0.812	0.257	0.292
		S.D	15.13	0.555	0.252	0.689
	Kyŏnggi	Mean	4.696	0.258	0.083	0.237
		S.D	3.312	0.206	0.103	0.337
		(p-value)	(0.0001)	(0.0027)	(0.0324)	(0.8588)
Zn	Seoul	Mean	57.47	112.2	28.75	38.46
		S.D	31.12	87.93	14.35	15.78
	Kyŏnggi	Mean	14.94	54.86	14.01	16.40
		S.D	9.794	14.27	4.928	1.434
		(p-value)	(0.0001)	(0.0342)	(0.0020)	(0.0039)

*The mean of each three vegetable soil.
**p-value of Seoul vs Kyŏnggi for each item.

1. 土壤과 菜蔬 中의 重金屬濃度

1) 카드뮴(Cd) 濃度

Table 1에서 볼수 있는 바와 같이 토양의 경우, 서울지역 평균 Cd농도는 0.184 ppm이었고 경기 지역 Cd농도는 0.118 ppm으로 서울 地域이 有意하게 높았다($p<0.05$). 배추의 서울지역 Cd농도는 평균 0.407 ppm이었고 경기지역의 Cd농도는 0.241 ppm으로 서울지역이 높았으나 統計的으로 有意하지는 않았다($p=0.219$). 호박의 서울지역 Cd농도는 평균 0.012 ppm이었고 경기 지역 Cd농도는 0.011 ppm으로 두 지역이 별다른 차이를 보이지 않았다($p=0.988$). 애호박의 경우 서울지역의 Cd농도는 전체평균 0.016 ppm이었고 경기지역은 0.003 ppm으로 서울지역이 다소 높았으나 유의하지는 않았다($p=0.237$). 배추는

호박에 비해 Cd농도가 매우 높아서 기존의 연구결과와 일치하고 있다($p<0.001$). 애호박의 Cd농도가 큰호박보다 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Cd농도가 남산지역(필동, 옥수)과 구로공단지역(가리봉동)이 높게 나타났다. 배추와 토양간의 Cd농도에 대한 상관계수 $r=0.284$($p=0.426$), 호박과 토양간의 상관계수 $r=0.412$($p=0.237$)로써 상관성이 낮게 나타났다.

2) 크롬(Cr) 濃度

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 土壤의 경우, 서울지역 평균 Cr농도는 2.355 ppm이었고 경기지역의 Cr농도는 0.441 ppm으로써 서울지역이 有意하게 높았다($p<0.001$). 배추의 서울지역의 Cr농도는 평균 0.388 ppm이었고 京畿地域의 Cr농도는 0.402 ppm으로써 서울지역이 오히려 낮았다.호박의 서울지역의 Cr농도는 평균 0.262 ppm이었고 경기지역의 Cr농도는 0.197 ppm으로써 두 지역이 유의한 차이를 보이고 있었다($p<0.05$). 애호박의 경우 서울지역의 Cr농도는 평균 0.244 ppm이었고 경기 지역은 0.245 ppm으로써 두 지역이 유사하게 나타났다($p=0.979$). 배추는 호박에 비해 Cr농도가 매우 높아서 기존의 연구결과와 일치하고 있다($p<0.001$). 애호박의 Cr농도가 큰호박 보다 약간 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Cr농도가 중랑천변(도봉동, 창동, 월계동)과 구로공단지역(가리봉동)이 높게 나타났다. 배추와 토양간의 Cr농도에 대한 상관계수 $r=0.105$($p=0.580$)로써 낮았으나 호박과 토양간의 상관계수 $r=0.400$($p<0.05$)로써 상관성이 다소 높게 나타났다.

3) 구리(Cu) 濃度

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 토양의 경우 서울지역의 Cu농도는 전체평균 29.164 ppm이었고 京畿地域의 Cu농도는 3.331 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추의 서울지역 Cu농도는 전체평균 6.853 ppm이었고 경기지역 Cu농도는 4.486 ppm으로써 서울지역이 다소 높게 나타났다 ($0.05<p<0.1$). 호박의 서울지역 Cu농도는 평균 3.302 ppm이었고 경기지역의 Cu농도는 2.539 ppm으로써 두 지역이 다소 차이를 보이고 있으나 유의하지는 않았다($p=0.206$). 애호박의 서울지역 Cu농도는 평균 4.873 ppm이었고 경기지역은 3.619 ppm으로써 서울지역이 다소 높게 나타났다($0.05<p<0.1$). 배추는 호박에 비해 Cu농도가 높게 나타났다($p<0.001$). 애호박의 Cu농도가 큰호박 보다 약간 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Cu농도가 중랑천변(도봉동, 창동, 월계동)과 구로공단지역(가리봉동)이 높게 나타났다. 경기지역은 그 水準이 대체로 유사하게 나타났다. 토양과 배추간의 Cu농도에 대한 상관성은 매우 높은 것으로 나타났고($r=0.872$, $p<0.001$), 토양과 호박간의 상관성도 높은 것으로 나타났다($r=0.600$, $p<0.001$).

4) 니켈(Ni) 濃度

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 토양의 경우, 서울지역의 평균 Ni농도는 1.650 ppm이었고 경기지역의 Ni농도는 0.829 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추의 경우, 서울지역의 Ni농도는 평균 1.479 ppm이었고 경기지역의 Ni농도는 0.787 ppm으로써 서울지역이 다소 높게 나타났다($p=0.12$). 호박의 서울지역의 Ni농도는 평균 0.717 ppm이었고 경기지역의 Ni농도는 0.369 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.05$).애호박의 경우 서울지역의 Ni농도는 평균 1.433 ppm이었고 경기지역은 0.310 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.01$). 배추는 호박에 비해 Ni농도가 높게 나타났다 ($p<0.05$). 애호박의 Ni농도가 큰호박 보다 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Ni농도가 구로공단지역 (가리봉동)이 높게 나타났다. 경기지역은 각 중금속 농도 수준이 대체로 유사하게 나타났다. 토양과 ($r=0.768$, $p<0.001$). 토양과 호박간의 Ni농도에 대한 상관성도 높은 것으로 나타났다($r=0.580$, $p<0.001$).

5) 납(Pb) 濃度

Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 토양의 경우, 서울지역의 평균 Pb濃度는 26.77 ppm이었고 경기지역의 Pb농도는 4.696 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추의 서울지역 Pb농도는 평균 0.812 ppm이었고 경기지역의 Pb농도는 0.258 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.005$). 호박의 서울지역의 Pb농도는 평균 0.257 ppm이었고 경기지역의 Pb농도는 0.083 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.05$). 애호박의 경우 서울지역의 Pb농도는 평균 0.292 ppm이었고 경기지역은 0.237 ppm으로써 서울지역이 약간 높았다($p=0.859$). 배추는 호박에 비해 Pb농도가 높게 나타났다($p<0.05$). 애호박의 Pb농도가 큰호박 보다 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Pb농도가 도봉동과 구로공단지역 (가리봉동)이 높게 나타났고 서울 전역이 높게 나타났다. 경기지역은 그 수준이 대체로 유사하게 나타났으나 장흥은 높게 나타났는데 이는 시료 채취 지역이 도로변에 인접한 까닭으로 사료된다. 토양과 배추간의 Pb농도에 대한 상관성은 다소 높았으나 유의하지는 않았다($r=0.300$, $p=0.109$). 토양과 호박간의 Pb농도에 대한 상관성은 낮게 나타났다($r=0.249$, $p=0.185$).

6) 아연(Zn) 濃度

Table 1에서 볼수 있는 바와 같이 토양의 서울지역 평균 Zn농도는 57.47 ppm이었고 경기지역의 Zn농도는 14.94 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추의 서울지역 Zn농도는 평균 112.2 ppm이었고 경기지역의 Zn농도는 54.86 ppm으로써 서울지역이높게 나타났다($p<0.05$). 호박의 서울지역의 Zn농도는 평균 28.75 ppm이었고 경기지역의 Zn농도는 14.01 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.005$). 애호박의 경우 서울지역의 Zn농도는 평균 38.46 ppm이었고 경기지역은 16.40 ppm으로써 서울지역이 높게 나타났다($p<0.005$). 배추는 호박에 비해 Zn농도가 높게 나타났다($p<0.001$). 애호박의 Zn농도가 큰호박 보다 높게 나타났다. 지역별로는 토양 중 Zn농도가 구로공단지역(가리봉동)이 가장 높게 나타났고 서울 全域이 높게 나타났다. 경기지역은 각 중금속의 농도 수준이 대체로 類似하게 나타났으나 장흥은 다소 높게 나타났다. 토양과 배추간의 Zn농도에 대한 상관성은 매우 높았다($r=0.691$, $p<0.001$). 토양과 호박간의 Zn농도에 대한 상관성은 매우 높은 것으로 나타났다($r=0.707$, $p<0.001$).

Table 2는 기존의 연구결과로써 본 연구의 결과인 Table 1의 결과와 비슷한 水準이었다. Table 1에서 토양 자료는 각 채소 토양의 평균값이다. 토양의 경우, 모든 금속에 대해서 서울지역이 경기지역 보다 농도가 높게 나왔다($p<0.05$). 배추의 경우, 서울지역과 경기 사이에 대부분의 금속에 대해서 유의하지 않았으나 Pb, Zn은 유의한 차이($p<0.05$)가 있었다. 호박의 경우, 서울지역과 경기 사이에 Cd와 Cu를 제외한 대부분의 금속이 유의한 差異($p<0.05$)가 있었다. 애호박의 경우, 서울지역과 경기 사이에 Ni, Zn에 대해서 유의한 차이($p<0.001$)가 있었다. 일반적으로 Zn/Cd비가 900정도인데 본 연구에서는 서울지역에서 312가 나왔고 경기지역에서는 127로써 다소 낮게 나왔다. 배추의 모든 중금속 농도가 호박보다 높았다. 이는 기존 연구결과와 일치하는 것으로써 도심에서 호박의 재배 적정성을 부분적으로 반영한다. 애호박이 큰호박 보다 대체로 농도가 높았는데 이는 애호박의 경우 속부분을 시료로 같이 취한 반면 큰호박은 속을 除去하였기 때문인 것으로 思料된다. 토양중의 중금속 함량과 채소중의 중금속 함량 사이의 相關關係 分析에서 대체로 有意한 水準의 結果가 나왔으며 이는 土壤 중 重金屬 含量이 높으면 作物體內 重金屬 含有量이 높다는 旣存의 硏究結果와 一致한다. 대체로 배추 中 重金屬은 Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd順으로 높았다. 호박 중 중금속은 Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd順으로 높았다. 애호박 중 중금속은 Zn>Cu>Ni>Pb>Cr>Cd順으로 높았다.

Table 2. Comparison of heavy metal contents of soil and vegetables from other studies in Korea

(Unit : ppm)

Author	Item	Heavy metal					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Kim[a]	Cabbage	0.49	1.56	4.22	2.21	3.16	72.67
	C-soil	0.10	0.36	2.83	1.23	1.87	12.24
	Pumpkin	0.21	0.06	4.79	0.37	1.77	39.13
	P-soil	0.12	0.59	3.02	1.05	1.62	18.14
Rhu[b]	Soil	0.14	0.49	3.99	0.82	5.38	4.36
	Rice	0.06	–	2.31	-	0.44	16.56
Kim[c]	Soil	0.16	–	10.75	–	8.21	22.80
Lim[d]	Soil	3.84	1.3	8.03	3.30	2.77	59.13
	Cabbage	1.13	2.85	8.23	6.36	7.66	52.94
	Pumpkin	0.31	1.52	7.76	3.20	0.87	30.98

[a] Bok-Young Kim *et al.*, Agricultural sciences Institute, 1992.
[b] Hong-Il Rhu *et al.* : National Institute of Environmental Research, 1988.
[c] Hong-Je Kim *et al.* : Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment, 1988.
[d] Joo-Hyun Lim : Hanyang University, 1989.

Table 3. Heavy metal content of each item in each district (Unit : ppm)

District	Item*	Heavy metal					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Junglang (n=9)	Soil	0.129	3.742	29.24	1.562	25.97	52.79
	Cabbage	0.200	0.420	6.48	1.106	0.780	86.15
	Pumpkin	0.008	0.262	3.26	0.372	0.25	17.85
	Young pumpkin	0.015	0.223	3.74	0.628	0.100	26.87
Namsan (n=6)	Soil	0.213	0.449	12.83	1.385	28.14	43.80
	Cabbage	0.241	0.377	3.13	0.617	0.900	61.55
	Pumpkin	0.019	0.221	1.67	0.870	0.200	37.71
	Young pumpkin	0.033	0.286	6.99	2.158	0.06	51.73
Guro (n=3)	Soil	0.266	2.153	58.99	2.673	25.43	99.04
	Cabbage	1.362	0.311	15.42	4.321	0.73	291.67
	Pumpkin	0.007	0.346	6.70	1.447	0.39	43.49
	Young pumpkin	0.002	0.247	5.01	2.316	0.91	48.38
Kyŏnggi (n=12)	Soil	0.114	0.417	3.20	0.797	4.68	13.62
	Cabbage	0.241	0.402	4.49	0.787	0.26	54.86
	Pumpkin	0.011	0.197	2.54	0.369	0.08	14.01
	Young pumpkin	0.003	0.245	3.62	0.310	0.24	16.40

*Soil value is the mean value of three vegetables.

2. 地域別 濃度

본 실험에서는 Table 3에서 보는 바와 같이 서울지역을 河川邊인 중랑천지역(도봉동, 창동, 월계동)과 교통량이 많은 남산지역(필동, 옥수동) 그리고 공업단지인 구로공단지역(가리봉동)으로 나누었다. 지역별로 볼 때 토양의 중금속은 구로공단지역과 중랑천지역이 높았고 경기는 낮게 나왔다. 중랑천지역에서 Cr의 농도가 다소 높게 나왔는데 이는 과거 중랑천변에 皮革工場 및 鍍金工場이 많았었던 까닭으로 사료되며, 남산지역에서 Pb의 농도가 다소 높게 나왔는데 이는 自動車 汚染으로 인한 것으로 豫想된다. 구로공단지역은 대체로 모든 중금속의 농도가 높게 나타났다.

3. 菜蔬中의 重金屬 濃度 考察

菜蔬의 水分含量을 調査한 結果 배추가 평균 95.38%, 호박이 94.90%, 애호박이 92.62%이었다. Table 4는 서울에서 栽培된 채소를 對象으로 乾燥前의 상태 즉 新鮮한 菜蔬에 含有된 重金屬의 量을 나타낸 것이다. 식품에 의한 중금속 중독은 만성중독이 일반적이며 식품중의 중금속함량 허용기준을 설정하기 위해서는 먼저 하루攝取許容量(Acceptable daily intake, ADI)이 정해져야한다. 즉 특정지역 주민의 식생활 패턴에 따라 각각의 식품에 함유된 중금속의 最大許容濃度가 設定되어야 한다. 그러나 사람마다 식생활 패턴이 다르고 식품도 생산지, 계절등에 따라 다르므로 단적으로 식품중의 許容基準을 設定하기는 쉽지가 않다. 일상적인 食餌에서 배추와 호박의 하루평균 섭취량에 대한 조사나 기존의 중금속에 대한

Table 4. Heavy metal contents of fresh vegetables cultivated in Seoul (Unit : ppb)

Heavy metal	Cabbage	Pumpkin	Young-pumpkin
Cd	18.8	0.561	1.18
Cr	17.9	13.4	18.0
Cu	317	168	360
Ni	68.3	36.6	106
Pb	37.5	13.1	21.5
Zn	5184	1466	2838

하루섭취허용량(ADI)에 대한 연구는 아직 未洽하여 현재 도심에서 경작하는 호박과 배추의 유해성 여부는 판정하기 힘들다. 그러나 호박에 비해 배추의 중금속농도가 상대적으로 높고 일일 섭취량도 많으며, 특히 세척과정에서 대부분의 주부들이 세밀한 세척을 하지않아 過量의 중금속을 순간적으로 섭취할 수도 있어 배추의 재배는 부적절한 것으로 사료된다. 더우기 호박은 장소에 구애받지 않고, 경작시 따로 관리가 필요치 않아 도심에서 호박의 재배가 배추에 비해 더 적절한 것으로 사료된다. 본 실험은 서울시 일부지역과 경기도 일부지역에 대해서만 실시하였으므로 앞으로 이를 전국적인 規模로 擴大하여 調査研究할 必要가 있다고 思料된다. 또한 식품별 섭취량을 보다 자세히 調査하고, 각 식품별 중금속 함량을 綜合的으로 조사하여 섭취되는 전체 중금속량을 파악함으로써 하루섭취허용량을 設定하여, 중금속으로 인한 危害를 事前에 防止해야 할 것으로 思料된다.

IV. 總括 및 結論

本 硏究에서는 서울地域(도봉동, 창동, 월계동, 필동, 옥수동, 가리봉동)과 汚染이 相對的으로 적다고 생각되는 京畿地域(장흥, 포천, 가평, 양평)을 選定하여 1993년 8월 28일부터 9월 21일까지 배추, 호박, 애호박 試料를 採取, 두 地域間 乾燥菜蔬 中 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn의 含量과 水分含量을 分析 比較하고, 同時에 土壤을 採取하여 0.1N-HCl 가용성 重金屬 含量을 測定한 結果 다음과 같은 結論를 얻었다.

① 토양 중 Cd 농도는 서울, 경기 각각 0.184 ppm, 0.118 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.05$). 배추, 호박, 애호박의 Cd농도는 서울과 경기 두 지역간 차이가 있었으나 유의하지는 않았다(각각 $p=0.219$, $p=0.988$, $p=0.237$).

② 토양 중 Cr 농도는 서울, 경기 각각 2.355 ppm, 0.441 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 호박의 Cr농도는 두 지역간 각각 0.262 ppm, 0.197 ppm으로 서울지역이 유의하게($p<0.05$) 높았으나, 배추와 애호박의 경우는 유의한 차이는 없었다(각각 $p=0.775$, $p=0.979$).

③ 토양 중 Cu 농도는 서울, 경기 각각 29.16 ppm, 3.331 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추, 호박, 애호박의 경우에는 두 지역간 유의한 차이가 없었다(각각 $p=0.082$, $p=0.206$, $p=0.082$).

④ 토양 중 Ni 농도는 서울, 경기 각각 1.650 ppm, 0.829 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추의 Ni 농도는 서울, 경기 각각 1.479 ppm, 0.787 ppm으로써 다소 차이를 보이고 있었다($p=0.120$). 호박은 두 지역간 각각 0.717 ppm, 0.369 ppm으로 서울지역이 유의하게($p<0.05$) 높았고, 애호박의 경우는 서울, 경기 각각 1.433 ppm, 0.310 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.01$).

⑤ 토양 중 Pb 농도는 서울, 경기 각각 26.77 ppm, 4.696 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추는 두 지역간 각각 0.812 ppm, 0.258 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.005$). 호박은 두 지역간 각각 0.257 ppm, 0.083 ppm으로 서울지역이 유의하게($p<0.05$) 높았으나, 애호박의 경우는 유의한 차이가 없었다($p<0.859$).

⑥ 토양 중 Zn 농도는 서울, 경기 각 57.47 ppm, 14.94 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.001$). 배추는 두 지역간 각각 112.2 ppm, 54.86 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.05$). 호박은 두 지역간 각각 28.75 ppm, 14.01 ppm으로 서울지역이 유의하게($p<0.005$) 높았고, 애호박의 경우 서울, 경기 각각 38.46 ppm, 16.40 ppm으로써 서울지역이 유의하게 높았다($p<0.005$).

⑦ 토양 중의 중금속 농도와 채소 중의 중금속 농도간의 相關關係는, Cd의 경우 배추, 호박 각각 $r=0.284$($p=0.426$), $r=0.412$($p=0.237$), Cr의 경우 배추, 호박 각각 $r=0.105$($p=0.580$), $r=0.400$($p<0.05$), Cu의 경우 배추, 호박 각각 $r=0.872$($p<0.001$), $r=0.600$($p<0.001$), Ni의 경우 배추 호박 각각 $r=0.768$($p<0.001$), $r=0.580$($p<0.001$), Pb의 경우 배추, 호박 각각 $r=0.300$($p=0.109$), $r=0.249$($p=0.185$), Zn의 경우 배추, 호박 각각 $r=0.691$($p<0.001$), $r=0.707$($p<0.001$)이었다.

⑧ 배추는 호박보다 모든 중금속의 농도가 높았다($p<0.001$). 애호박의 중금속 농도가 늙호박보다 높게 나타났는데 이는 애호박의 경우 씨앗이 포함된 속부분까지 시료로 사용되었기 때문으로 사료된다.

⑨ 지역별로는 구로공단지역의 토양이 모든 중금속 농도에서 비교적 높았으며, 중랑천지역은 Cd농도가 남산지역은 Pb농도가 각각 높았다.

參考文獻

1. 정문식, 구성회 : 환경위생학, 초판, 신광출판사, 1991.

2. 류홍일, 전성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수아 : 토양오염 기준설정 합리화에 관한 연구. 국립환경연구원보, 제 9 권, pp. 155-166, 1987.
3. 정문식, 정문호, 이진헌, 김영규 : 環境化學, 초판, 신광문화사, 1993.
4. 조성진, 박천서, 엄대익 : 토양학, 3판, 향문사, 1992.
5. 이서래, 안기준 : 온산공단 주변토양의 중금속 농도조사. 한국환경농학회지, **4**(2), 88-94, 1985.
6. 이정재, 최 정 : 금호강 유역의 수질토양 한국환경농학회지, **5**(1), 24-29, 1986.
7. 류순호, 박무언, 노희명 : 아연광산 인근답의 토양 중 중금속함량과 현미중 함량과의 관계. 한국환경농학회지, **2**(1), 18-23, 1983.
8. 김홍제, 김연천, 이정자, 성시경, 최한영, 이승주, 박상현 : 서울시 일원의 토양 중금속오염도 조사. 보건환경연구원보, **22**, 168-173, 1896.
9. 김홍재, 김연천, 이광국, 박상현 : 서울시 일원의 토양 중금속오염도 조사. 대한위생학회지, **3**(2), 91-98, 1988.
10. 조태웅 : 인천시 일원에서 재배된 야채류 중의 중금속 함량에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **12**(1), 1986.
11. 김교붕, 황동진, 성시경, 손승목, 이정자, 박상현 : 서울시 일원의 토양 중 금속오염도 조사(2). 보건환경연구원보, **21**, 128-135, 1985.
12. 서윤수 : 토양 및 농작물 오염. 한국환경농학회지, **4**(2), 1985.
13. 이종섭, 유일수 : 금강유역의 수중, 토양, 쌀 및 주민의 뇨중 중금속 함량에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **18**(1), 69-75, 1992.
14. 류홍일, 김인기, 김학준, 전성환 : 농경지 및 농작물 중 유해물질오염에 관한 연구(2). 국립환경연구원보, **8**, 231-240, 1986.
15. 김복영, 소규호, 김규식, 우기대, 류순천 : 채소작물과 그 재배토양 중 중금속 자연함량에 관한 조사연구. 농사시험연구논문집, **34**(2), 56-70, 1992.
16. 홍사욱, 박승희 : 토양 및 채소 중의 중금속오염에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **10**(1), 33-45, 1984.
17. 고인석, 노창부, 안 철, 권철희, 김길생, 정국희, 송창백 : 식품 중 유해성 미량금속에 대한 연구. 국립보건연구원보, **9**, 389-406, 1972.
18. 류홍일, 서윤수, 김성환, 이민효, 유순주, 허성남, 김수아 : 우리나라 논토양 및 현미중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구. 국립환경연구원보, **10**, 155-163, 1988.
19. 김길생, 원경풍, 김준환, 이달효, 소서변, 안 철 : 야채 및 과실류 중의 미량금속의 분포에 관한 연구. 국립보건원보, **18**, 363-367, 1981.
20. 박권우, 황선구, 김영식 : 도시근교지역의 채소에 대한 중금속 오염에 대한 연구. 한국환경농학회지, **2**(1), 13-17, 1983.
21. 정희동, 이재석 : 채소원의 재배력 차이가 채소 및 토양의 중금속 함량에 미치는 영향. 한국원예학회지, **22**(1), 1-8, 1981.
22. 임주현 : 쓰레기 매립지역의 토양 및 재배작물체 중 중금속 함량에 관한 조사연구. 한양대학교 환경과학대학원 석사논문, 1989.
23. 환경처 : 수질오염 폐기물 공정시험방법. 동화기술, 1991.
24. 김영상, 성학제 : ICP-방출분광법의 기초와 응용. 자유아카데미, 1993.
25. 환경처 : 토양측정망운영지침. 1992.
26. 이승욱 : 통계학의 이해. 자유아카데미, 1992.
27. Schuyler W.Huck, William H. Cormier and William G. Bounds : Reading Statistics and Research, Haper & Row, 1974.
28. Ronald P. Copy and Jeffrey K. Smith : Applied Statistics and the SAS Programming Language, North-Holland, 1991.
29. 성내경 : SAS/STAT-회귀분석. 자유아카데미, 1991.
30. John Neter, Williiam Wasserman and Michel H. Kutner : Applied Linear Statistical Models, IRWIN, 1990.
31. 손진식 : 환경관계법규. 일진사, 초판, 1992.
32. 이두호, 김형철, 김종석 : 인간환경론. 나남출판사, 초판, 1993.
33. Mary O. Amdur, John Doull and Curtis D. Klaassen : Casarett and Doull's Toxicology, McGRAW-HILL, 1992.
34. 환경처 : 環境白書. pp. 208-213, 1992.
35. 조미경 : 우리나라 일부 곡류 중의 미량금속 함량에 관한 조사연구. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 1990.
36. 이진경 : 토양 중에서 무우에 의한 카드뮴의 흡수 및 이행에 관한 실험적 연구. 서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 1990.
37. 성덕화 : 우리나라 일부연안 해산 어류 중의 중금속 함량에 관한 연구.서울대학교 보건대학원 석사학위논문, 1993.
38. 표현구, 최정일, 이건희 : 채소원예각론. 향문사 1992.