

Research Article



CrossMark

Open Access

광주 도시텃밭 토양 환경의 건강성 조사

장길식¹, 김연희¹, 최영섭¹, 김승호¹, 김종민¹, 배석진¹, 조영관^{1*}, 구태형²

¹광주광역시보건환경연구원 환경연구부, ²광주광역시농업기술센터 미래농업과

A Research of Soil Environmental Health in Urban Garden, Gwangju

Gil-Sik Jang¹, Yun-Hee Kim¹, Young-Seop Choi¹, Seung-Ho Kim¹, Jong-Min Kim¹, Seok-Jin Bae¹, Young-Gwan Cho^{1*} and Tae-Hyoung Koo² (¹Environmental Research Department, Health and Environment Research Institute of Gwangju, Gwangju 61986, Korea, ²Future Agriculture division, Agricultural Technology Center of Gwangju, Gwangju 62460, Korea)

Received: 12 April 2016 / Revised: 11 May 2016 / Accepted: 23 May 2016

Copyright © 2016 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Gil-Sik Jang

<http://orcid.org/0000-0002-7165-3493>

Young-Gwan Cho

<http://orcid.org/0000-0002-9045-1387>

Abstract

BACKGROUND: The objective of this study is to evaluate the soil quality to cultivate crops in urban garden.

METHODS AND RESULTS: During the period of six month from March to August 2015, measured eight heavy metals, seven Organic items and Fluorine on seventeen urban sites and thirty-one suburban sites in Gwangju city.

METHODS AND RESULTS: The average concentration and range of heavy metal in soil are 0.15 mg/kg(ND-0.6) for Cd, 14.9 mg/kg(1.5-33.3) for Cu, 4.4 mg/kg(0.4-71.8) for As, 0.05 mg/kg(ND-1.366) for Hg, 24.7 mg/kg(13.1-62.7) for Pb, 102.5 mg/kg(49.1-276.4) for Zn and 9.2 mg/kg(ND-90.1) for Ni but Cr⁶⁺ is not detected. The average value and range of soil fertility items are 253.5mg/kg(76.6-1766.0) for fluorine, 6.4(4.8-7.7) for pH, 20.3 g/kg(5.0-44.0) for organic matters, 562.7 mg/kg (28.0-1672.0) for available phosphate, 0.6 cmol⁺/kg (0.1-2.3) for K, 9.7 cmol⁺/kg (2.7-22.0) for Ca, 3.0 cmol⁺/kg (0.9-7.4) for Mg, 1.0 ds/m(0.2-2.9) for conductivity. The concentration of Hg in Suburban area is 0.005 mg/kg lower than 0.134 mg/kg in urban area. Also, the concentration of As, Cd, Ni and Zn is lower than urban area as 32%, 37%, 51%, 71% respectively.

CONCLUSION: According to SPI index of soil contamination, 39 sites are first degree and 8 sites are second degree and 1 site(41th) is fourth degree. Pb and Cd are not detected and As is detected tiny amounts in plants grown polluted soil, so heavy metals have not moved to plants.

Key words: Heavy metal, Organic matter, Soil, SPI index, Urban garden

서론

도시농업이란 도시지역에 있는 토지, 건축물 또는 다양한 생활공간을 활용하여 농작물을 경작 또는 재배하는 행위를 말한다. 그 중 도시텃밭은 도심 내 각종 유휴지 등 다양한 공간을 이용하여 농작물을 재배하는 텃밭을 의미한다.

도시 텃밭은 도시민에게 도시에서 잠시나마 농사를 경험할 수 있게 하며, 주말에는 여가생활의 장소이자, 어린이집이나 유치원 아이들에게 생태학습장이 되기도 한다. 또한 음식물 쓰레기를 퇴비로 만들어 사용할 수 있고 빗물과 하수를 재활용 할 수 있어 자원순환의 효과가 있으며, 노인들이나 가정주부들에게는 일자리 창출의 효과가 있다. 뿐만 아니라 공한지의 포토 유실을 줄이고 쓰레기 무단 투기장화 되는 것을 방지하는가 하면, 여러 곤충들을 볼 수 있게 하는 등 도시에 자연생태계의 요소를 끌어들이는 역할을 하여 도시에 긍정적 효과를 준다(Choi *et al.*, 2014).

*Corresponding author: Young Gwan Cho
Phone: +82-62-613-7570; Fax: +82-62-613-7519;
E-mail: cyg2192@korea.kr

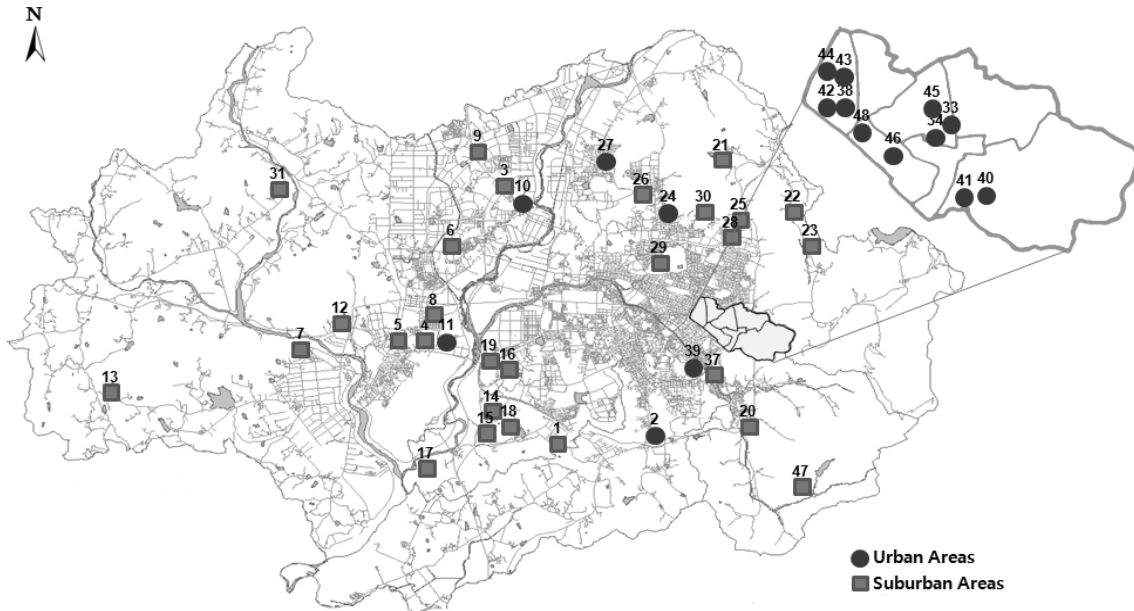


Fig. 1. Sampling sites of Urban and Suburban areas in Gwangju city.

2014년 통계청 통계조사 결과를 보면 도시 텃밭의 긍정적 효과로 전체 응답자 중 가장 많은 응답자인 59.3%가 ‘안심하고 먹을 수 있는 먹거리’로 답했다(Ministry of Statistics, 2014). 이러한 결과는 건강을 위하여 친환경, 유기농 농산물 등에 대한 관심이 높아져 있는 요즘 시대에 텃밭에서 직접 재배한 채소를 식탁에 올리는 것은 ‘깨끗하고 안심하고 먹을 수 있는 먹거리를 가족들에게 직접 생산하여 공급한다.’라고 생각하는 것이다.

하지만 아직까지 도시 텃밭의 토양에 대한 연구나 자료는 많지 않다. 문명의 발달과 산업화는 인구의 증가를 불러왔고 이에 따른 인간활동은 다양한 오염물질을 생성하고 배출하여, 도심 내 토양은 이러한 환경 노출에 중심이 되어 있을 것으로 추측된다(Oh and Lee, 2003).

따라서 본 연구에서는 도심 내 텃밭으로 이용되고 있는 토양이 어느 정도 오염되어 있는지, 그리고 토양이 오염되면 우리에게 안심하고 먹을 수 있는 먹거리를 제공할 수 있는지, 실제 도시 텃밭으로 이용되고 있는 지역의 토양이 식물의 생육에 적절함에 대해 살펴보고자 도심지역과 도심외곽지역에 위치한 텃밭 토양의 중금속 함량과 토양 비옥도를 분석하여 토양 건강성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

조사지점

광주 전체를 대표할 수 있는 텃밭을 Fig. 1과 같이 5개구(區)에서 48개 지점을 선정하여 도심지역 17개소와 도심외곽지역 31개소로 두 지역을 구분하여 조사하였다. 도심지역으로는 구청에서 도심 공동화 현상으로 지금은 사람이 살고 있지 않은 집터나 공터에 복토 등으로 조성하여 주민들에게

분양한 텃밭과 도심 주택 인근지역의 텃밭을 지점으로 선정하였고, 도심외곽지역으로는 주말농장과 비교적 도심지에서 원거리에 위치한 곳을 지점으로 선정하였다. 텃밭의 면적은 51 m²-18,000 m²의 범위로 다양하였으나, 도심지역 텃밭의 면적이 평균 1,008 m², 도심외곽지역은 평균 3,613 m²로 도심외곽지역 텃밭이 상대적으로 넓은 면적으로 분포하였다.

시료채취

본 연구의 조사대상 지점에 대한 시료채취는 토양오염공정시험기준에 따라 토양표면의 잡초나 유기물 등 이물질 층을 0-10 cm 제거한 후 0.5 kg 이상 채취하였다. 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해, 지그재그 형으로 5-10개 지점을 선정하여 채취한 후 채취지점과 재배하고 있는 작물을 표기하여 현황도를 작성하였다.

조사항목

텃밭 토양은 사람의 활동과 도시의 환경오염 등에 노출되어 오염도가 나타날 것으로 예측되는 중금속 8항목 (Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺, Zn, Ni)과 불소 함량을 분석하였다. 그리고 식물에 필요한 영양소를 보유하고 있다가 식물이 필요할 때 적절하게 공급하여 생육을 가능하게 하는 토양의 능력인 토양 비옥도를 알아보기 위해 토양 비옥도의 지표가 되는 유기물 등 7항목(산도, 유기물, 유효인산, K, Ca, Mg, 전기전도도)을 분석하였다.

또한 중금속이 토양에서 재배되는 식물로 전이되는 정도를 알아보기 위하여 조사지점 중 중금속이 높게 검출된 지점과 중금속이 낮게 검출된 두 지점의 텃밭에서 주로 재배되고 있는 같은 종류의 식물을 선정하여 분석하였다.

분석방법

중금속 및 불소 함량 측정을 위한 시료는 직사광선이 들지 않는 서늘한 곳에서 7-10일 동안 건조시킨 후, 풍건한 토양을 나무망치로 분쇄하여, 100 mesh체로 sieving하여 분석 시료로 사용하였다. 중금속 분석은 토양오염공정 시험기준에 따라 전처리한 시료를 원자흡광광도계(AAnalyst800, Perkin elmer, USA)로 분석하였으며, 불소는 토양오염공정 시험기준에 따라 불소증류장치(DE/S1, BEHR, Germany)로 전처리하여 분광광도계(UV-1201, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

토양의 pH는 토양화학분석법에 따라 풍건토양 5 g을 50 mL 비이커에 평량하고 증류수 25 mL를 가한 후 pH meter (827 pH lab, Metrohm, Switzerland)로 측정하였다.

유기물 함량의 경우에는 토양시료 0.1-0.5 g(200 mesh 통과시료)을 250 mL 삼각 Flask에 평량하여 전처리 후 0.2 N 황산제1철 암모늄 용액으로 적정하였다. 유효인산은 Lancaster법에 따라 720 nm에서 비색을 분광광도계(UV-2550, Shimadzu, Japan)로 측정하였다.

전기전도도는 100 mL 삼각플라스크에 10 g의 토양을 넣고 전처리하여 전기전도도계(4510, Jenway)로 측정하였다. 식물의 성장에 있어서 필수 요소인 K, Ca, Mg 분석은 풍건토양 5 g을 전처리 후 유도결합플라즈마 ICP(Optima7300DV, Perkin elmer, USA)로 분석하였다.

토양 오염도 평가

조사대상 지역의 토양오염 정도를 파악하기 위하여 토양 오염지표(SPI)를 산출하여 오염도를 평가하였다. 분석한 토양의 중금속 농도의 오염도 분석을 위해 토양오염점수(Soil Pollution Score, SPS)를 산출하였고, 이를 토대로 토양오염 지표(Soil Pollution Index, SPI)를 사용하여 오염도를 평가한다. 토양오염점수는 토양중 중금속 분석농도에 각 중금속의 토양오염 우려기준(1지역 적용)으로 나눈 값을 백분율한 것으로 4등급으로 나누어 오염정도를 판단하였다. 아래식에서 i는 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, As)이다. 원래의 토양오염점수는 Ni 대신 Hg를 사용하였으나, 본 연구에서는 Ni를 사용하여 토양오염점수를 산출하였다.

$$SPS = \sum_i \frac{C_i}{TV_i} \times 100$$

C_i : Heavy metal concentration, TV_i : Soil pollution concerns standards for heavy metals(Local application 1)

토양오염점수를 근거로 토양오염등급(Soil Pollution Class)을 나누면 토양오염점수가 300점 이상이면 4등급으로 오염된 지역으로 구분한다. 300-200점 사이는 3등급, 200-100점 사이는 2등급으로 토양오염이 우려되는 지역이다. 100점 미만은 1등급으로 토양상태가 양호한 지역으로 분류한다(Chang *et al.*, 2003).

결과 및 고찰

중금속 및 불소 농도

조사지점 토양의 중금속 및 불소 분석결과, Fig. 2와 같이 나타났다. 카드뮴은 ND-0.6 mg/kg의 범위로, 0.6 mg/kg의 카드뮴 농도로 나타난 10번 텃밭은 도심지역으로 도로 바로 옆에 위치한 텃밭이었다. 카드뮴은 자동차 타이어의 마모 등에 직접적인 영향을 받아 축적된 것으로 추정된다(Song *et al.*, 2010). 조사지점의 평균 카드뮴 농도는 0.15 mg/kg로, 환경부 토양오염측정망 '14년 전국 밭토양의 평균 0.14 mg/kg와 비슷하였으며 토양오염 우려기준 4 mg/kg에 모두 적합한 것으로 나타났다.

구리는 1.5-33.3 mg/kg 범위로 나타났으며, 평균 14.9 mg/kg로 전국 밭토양의 평균 23.4 mg/kg 보다는 낮게 나타났다. 27번 텃밭은 33.3 mg/kg으로 이 지점은 주택을 허물고 빈 공간에 조성된 텃밭이었다.

비소는 평균 4.4 mg/kg으로 나타났으나 41번 텃밭 토양에서 71.8 mg/kg으로 밭의 토양오염 우려기준인 25 mg/kg를 훨씬 초과한 농도로 나타났다. 이 지점은 도심지에 위치한 곳으로 예전 집터였으나 가옥 철거후의 잔류물이 일부 남아있고 생활쓰레기를 소각한 흔적을 볼 수 있어 공기를 텃밭으로 조성하여 영향을 받은 결과로 보인다. 그 외 지역은 0.4-15.8 mg/kg 범위였다.

수은 평균은 0.05 mg/kg, ND-1.366 mg/kg 범위로 조사되었고, 모두 우려기준 4 mg/kg 이내로 적합하였다. 비소가 높게 검출되었던 41번 지점에서 수은 함량도 1.366 mg/kg으로 조사지점 중 가장 높게 나타났고, 9개 지역에서 만 미량 검출 되었을 뿐 38개 지역에서는 검출되지 않았다.

납은 평균 24.7 mg/kg이었으며, 조사범위는 13.1-62.7 mg/kg로 토양오염 우려기준 200 mg/kg 보다 낮았다. 이 중 23, 40, 41번의 3개 지점에서 53.1-62.7 mg/kg으로 검출되어 다른 지점에 비하여 조금 높게 나타냈다.

아연은 평균 102.5 mg/kg로 49.1-276.4 mg/kg의 범위로 조사되었고, 41번 텃밭이 276.4 mg/kg로 우려기준인 300 mg/kg에 근접하게 나타났으며, 순환도로 부근에 위치한 2번 텃밭이 171.4 mg/kg, 27번 텃밭은 176.8 mg/kg, 도심지인 48번 텃밭은 169.5 mg/kg의 함량을 보이고, 나머지 지역에서는 경미하게 검출되었다. 아연은 자동차의 고무 타이어에 포함되어 있다고 한다. 도로 주행 시 도로의 노면 상태에 따라, 도로주변에 배출됨으로써 주변 환경에 대한 피해가 있는 것으로 보고되고 있다(Yoo *et al.*, 2010).

니켈은 ND-90.1 mg/kg로 10번 지점의 텃밭에서 토양오염 우려기준인 100 mg/kg에 근접한 90.1 mg/kg으로 나타났다. 이 지점의 텃밭 위치는 도로와 바로 인접해 있는 텃밭으로 차량 브레이크 및 타이어 마모가 원인인 것으로 추정된다(Kim *et al.*, 2015). 나머지 토양은 검출되지 않거나 미량으로 나타났다.

크롬은 토양 오염 측정 시 독성이 강한 Cr⁶⁺를 측정하였

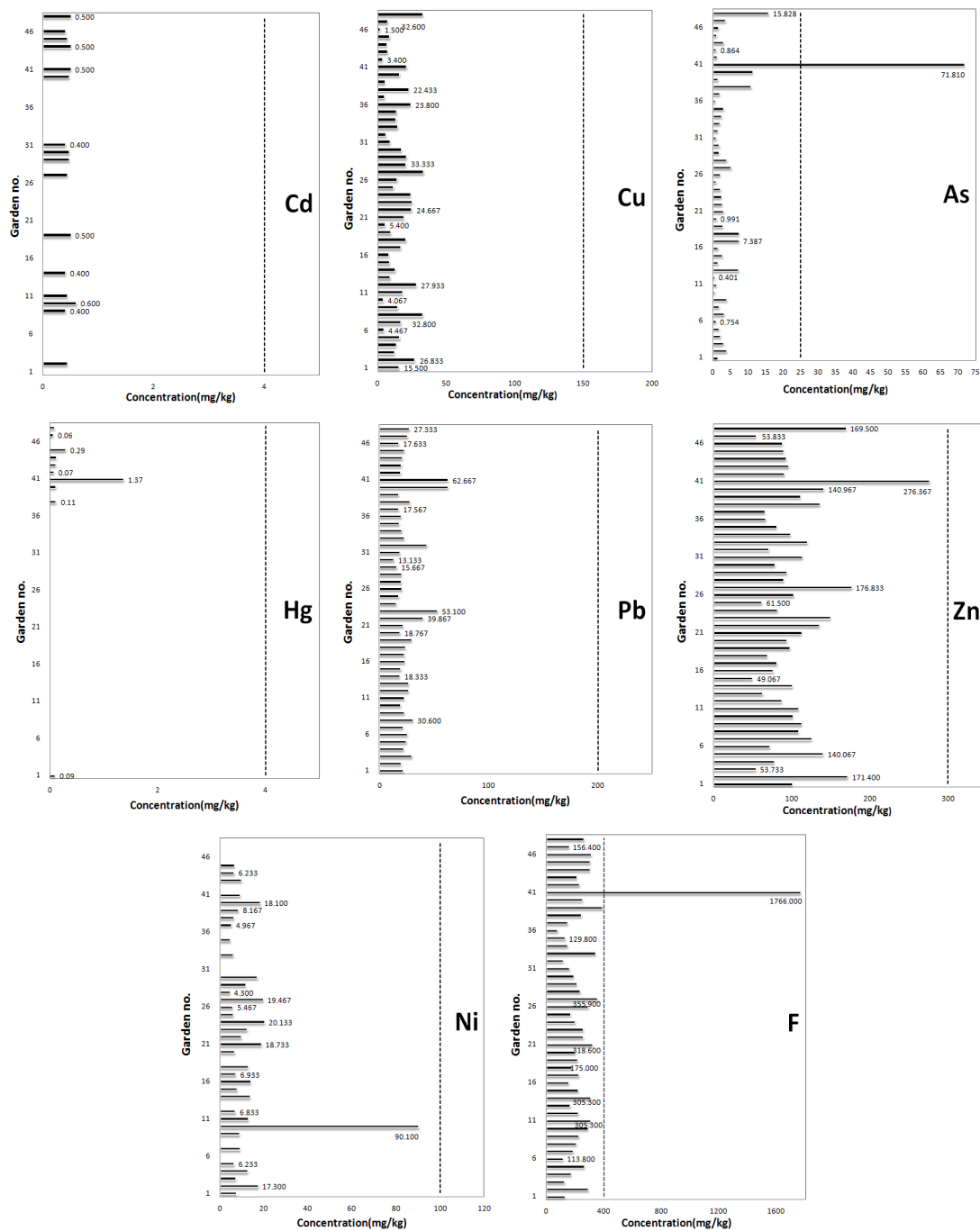


Fig. 2. Distribution of heavy metal and Fluorine in 48 sites.

다. Cr^{6+} 은 우려기준이 4 mg/kg으로서 납과 구리 등에 비해서는 기준치가 낮은 편에 속하며, 이번 조사에서도 모든 지점에서 검출되지 않았다.

불소는 평균 253.5 mg/kg으로 나타났고 76.6-1766.0 mg/kg의 범위로 조사되었다. 41번 텃밭 토양에서 1766.0 mg/kg으로 토양오염 우려기준인 400 mg/kg에 훨씬 초과한 것으로 나타났으며, 그 외 대부분의 지역은 양호하였다. 토양 중에 존재하는 불소는 암석성분의 일부로서 토양의 구성성분이지만 일반적으로 사람의 활동에 따라 오염도가 축

적되는 항목으로 평가한다(Oh and Lee, 2003).

중금속 분석결과, 41번 지점의 비소와 불소가 토양오염 우려기준을 초과하였고 수은과 아연 함량도 높아 도심지역에서 주택을 멸실시키고 복토 과정을 거치지 않고 바로 텃밭으로 이용하여 주택철거시 각종 건축자재의 잔재물에서 유입된 물질들이 토양에 유출되어 중금속이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 다른 조사지점의 텃밭들은 우려기준을 상회하는 수치를 보이지 않고 있어서 우려할 만한 수준의 오염형태는 없다고 볼 수 있다.

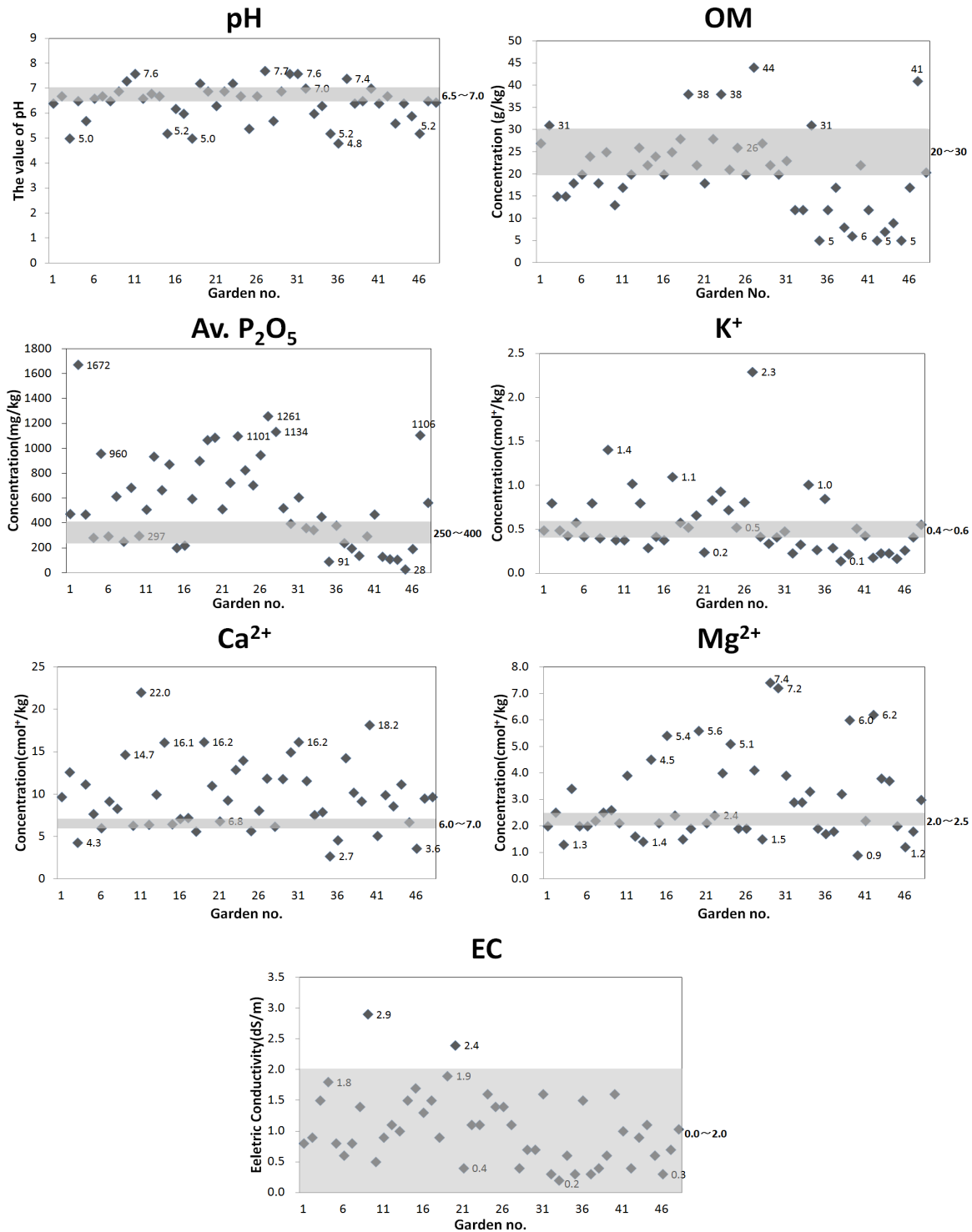


Fig. 3. The value of pH, oranic matter, available phosphoric acid, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and conductivity in 48 sites.

토양의 비옥도

토양의 비옥도를 알아보기 위하여 산도 및 유기물 등 7항목을 조사한 결과, Fig. 3과 같이 나타났다. 48개 텃밭토양의 평균 pH는 6.4(범위 4.8-7.7)로 농촌진흥청 작물생육(상추기준) 적정범위인 6.5-7.0에 비해 약간 낮게 조사되었고, 37개 텃밭 토양의 pH는 4.8-6.9 사이로 약 산성으로, 11개 지점

토양에서는 약 알칼리성으로 나타났다. 특히 가장 낮은 pH를 나타낸 3, 15, 18, 37번 4지점의 텃밭 토양은 산림과 인접한 토양이었다. 즉 산림과 가까운 토양일수록 토양이 산성화 되어있음을 알 수 있었다. 토양 산성화는 철이나 알루미늄, 망간 등과같은 성분의 용해도를 높여 작물생육을 저해하거나 뿌리에 직접피해를 주게 되며, 타성분들의 흡수를 억제한다는

보고도 있어 토양개량을 위한 시비방법이 절실히 필요하다 (Ponnamperume, 1978).

유기물 평균 함량은 20.3 g/kg, 범위는 5.0-44.0 g/kg으로, 특히 27번 텃밭은 비료를 살포한 흔적이 많았으며, 산으로 둘러싸인 텃밭으로 유기물 함량이 44.0 g/kg으로 높게 나타났다. 48번 텃밭도 단독주택 뒤쪽의 사람의 손길이 많이 가는 지역으로 다른 곳에 비해 유기물질을 많이 함유한 기름진 토양으로 나타났다. 전체텃밭의 41.7%인 20개 텃밭이 적정범위인 20-30 g/kg보다 낮았고, 특히 35, 39, 45번 3개 지점은 텃밭은 형성되어 있으나 작물을 재배한 흔적이 오래되어 보였으며, 유기물함량도 부족한 것으로 조사되었다.

유효인산의 평균함량은 562.7mg/kg이고, 범위는 28.0-1672.0 mg/kg으로, 적정범위의 한도인 400 mg/kg을 초과한 텃밭이 28개 텃밭으로 전체 텃밭의 58.3%로 나타났다. 특히 2, 27, 47번의 3개 텃밭에서 적정범위인 250-400 mg/kg에 비해 유효인산 함량이 매우 높게 나타났다. 인산함량이 높게 나온 텃밭은 작물 재배를 위해 비료가 많이 살포되어 있는 흔적을 볼 수 있었고, 유효인산 함량이 많은 이유는 일반작물에 비해 채소작물이 계분, 돈분, 우분 및 퇴구비 등의 유기물질과 인산고농도 및 유기질비료의 복합비료를 위주로 한 화학비료 시용이 배 이상 많이 시비하는 것으로 추정된다(Kim et al., 2010). 유기물 함량과 같이 35과 45번 텃밭은 유효인산 함량이 낮아 작물재배 시 퇴비와 인산함량이 높은 비료 사용이 필요한 것으로 보인다.

칼륨 평균함량은 0.6 cmol⁺/kg 최소는 0.1 cmol⁺/kg, 최대는 2.3 cmol⁺/kg 범위로, 여기에서 칼륨 함량 단위인 cmol⁺는 토양의 치환성 양이온 농도를 표시할 때 쓰는 단위로 K의 원자량은 39.1로 K의 1 cmol⁺/kg는 391 mg/kg이다. 전체 텃밭에서 0.4 cmol⁺/kg 미만이 37.5%, 적정범위인 0.4-0.6 cmol⁺/kg인 텃밭이 33.3%로 분포했고, 29.2% 텃밭이 0.6 cmol⁺/kg을 초과하였다. 27번 텃밭은 유기물과 함께 칼륨 함량 2.3 cmol⁺/kg로 많이 함유 되어 있었다. 칼륨은 작물의 팽압을 유지하는 역할을 하며 수분 흡수와 관련이 있고, 특히 뿌리 생육을 촉진하여 뿌리작물에 중요한 성분으로 알려져 있다. 칼리질 비료는 물에 잘 녹기 때문에 작물이 흡수하기 쉽고, 유실될 우려가 있으므로 웃거름으로 나누어 주어야 할 필요가 있다(Rural Development Administration, 2015).

칼슘의 평균함량은 9.7 cmol⁺/kg 최소 2.7 cmol⁺/kg에서 최대 22.0 cmol⁺/kg 범위로 조사됐다. 토양의 칼슘 함량 적정범위는 6.0-7.0 cmol⁺/kg으로, 전체텃밭의 약 68.8%인 33개 텃밭에서 7.0 cmol⁺/kg을 초과하여 많은 칼슘함량을 보유하고 있었다. 8개(16%)의 텃밭에서 6.0 cmol⁺/kg보다 적은 함량이 나타났으며, 특히 35번과 46번 텃밭은 칼슘 함량이 많이 부족하게 나타났다. 칼슘이 부족하면, 작물의 단백질, 에너지수준, 무기질(Minerals)도 떨어질 수 있다. 칼슘 함량을 높이기 위해서 석회질 비료 살포가 필요한 것으로 나타났다.

토양에서 마그네슘 적정함량은 2.0-2.5 cmol⁺/kg이고 조사결과, 텃밭 토양의 평균 함량은 3.0 cmol⁺/kg 범위는

0.9-7.4 cmol⁺/kg으로 조사됐다. 전체 텃밭에서 41.7%인 20개 텃밭 토양에서 마그네슘 함량이 2.5 cmol⁺/kg을 초과하였다. 특히 29번 텃밭은 7.4 cmol⁺/kg, 30번 텃밭이 7.2 cmol⁺/kg으로 높게 나타났으며, 40번과 46번 텃밭은 Mg²⁺(고토) 함량이 부족한 것으로 조사됐다.

전기전도도는 평균 1.0 ds/m, 범위는 0.2-2.9 ds/m으로 나타났으며, 적정 전기전도도는 0.0-2.0 ds/m로 96%인 46개 텃밭이 적정한 전기전도도를 나타냈다. 2.0 dS/m 이상인 텃밭이 4%였으며, 9번과 20번 텃밭이 각각 2.9 dS/m와 2.4 dS/m로 적정범위보다 약간 높게 나타났다.

조사지점의 토양 비옥도 지표들의 조사결과, 전체텃밭의 77%인 37개 텃밭이 약 산성으로 나타났다. pH가 낮은 토양은 인산, 칼슘, 마그네슘, 붕소 등의 유효도가 낮아져 작물 생육에 불리 할 수 있어, 석회질비료와 퇴비를 살포하거나 새흙 넣기(객토), 깊이갈기(심경), 땅 뒤집기 등을 통해 pH 교정이 필요하다.

48% 텃밭이 유기물 함량이 적정범위보다 낮게 나타났고, 특히 작물을 재배한지 오래되어 보이는 3개 텃밭에서는 유기물 함량이 아주 낮게 검출되었다. 토양에서 유기물은 토양의 척박함과 기름짐을 나타내는 지표로 유기물은 토양의 물리성 개선과 미생물 활성화에 영향을 미친다.

유효인산은 적정범위보다 높게 나타난 텃밭이 58.3%으로 비료가 많이 살포되어 있는 흔적을 볼 수 있었던 텃밭들이었다. 유효인산이 과잉 공급되면 지상부의 생육이 뿌리 생육에 비해 빈약할 수 있고, 마그네슘의 흡수를 방해한다. 인산은 에너지 대사와 단백질 합성에 필수적인 원소이고, 작물의 초기 생육에 중요하다. 35번과 45번 2개 텃밭은 유기물함량과 같이 낮게 조사되어 퇴비와 인산함량이 높은 비료 사용이 필요하였다.

토양의 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 전반적으로 적정범위보다 과잉으로 공급된 텃밭이 많았고, 전기전도도는 2개 텃밭이 적정범위보다 높게 나타났다. 일반적으로 비료가 많이 집적된 곳은 비료성분이 토양으로 녹아들어 전기전도도가 높게 나타난다. 전기전도도를 낮추기 위해서는 땅 뒤집기, 새 흙넣기 등을 실시하고 축분 등을 많이 사용하는 것을 자제해야 한다.

지역별 중금속 분석

도심지역 주택지 인근의 텃밭과 도시외곽지역의 텃밭을 비교·분석해 본 결과는 Fig. 4와 같이 도심 지역의 텃밭에서 중금속 함량이 전체적으로 높은 추세를 보였다. 가장 큰 차이를 보인 중금속은 수은으로 도심지역은 평균함량이 0.134 mg/kg 도심외곽지역은 도심지역보다 매우 낮은 3% 수준인 0.005 mg/kg으로 조사되었다. 비소는 도심 7.964 mg/kg, 도심외곽은 도심지역의 약 32% 수준인 2.519 mg/kg, 카드뮴은 도심 0.276 mg/kg, 도심외곽은 도심지역의 37% 수준인 0.101 mg/kg로 나타났다. 그 외 중금속의 도심외곽지역 평균함량은 니켈은 도심지역의 51%, 불소는 53%, 아연은 71% 수준으로 나타났고, 그 외 구리 98%, 납 94%로 도심과

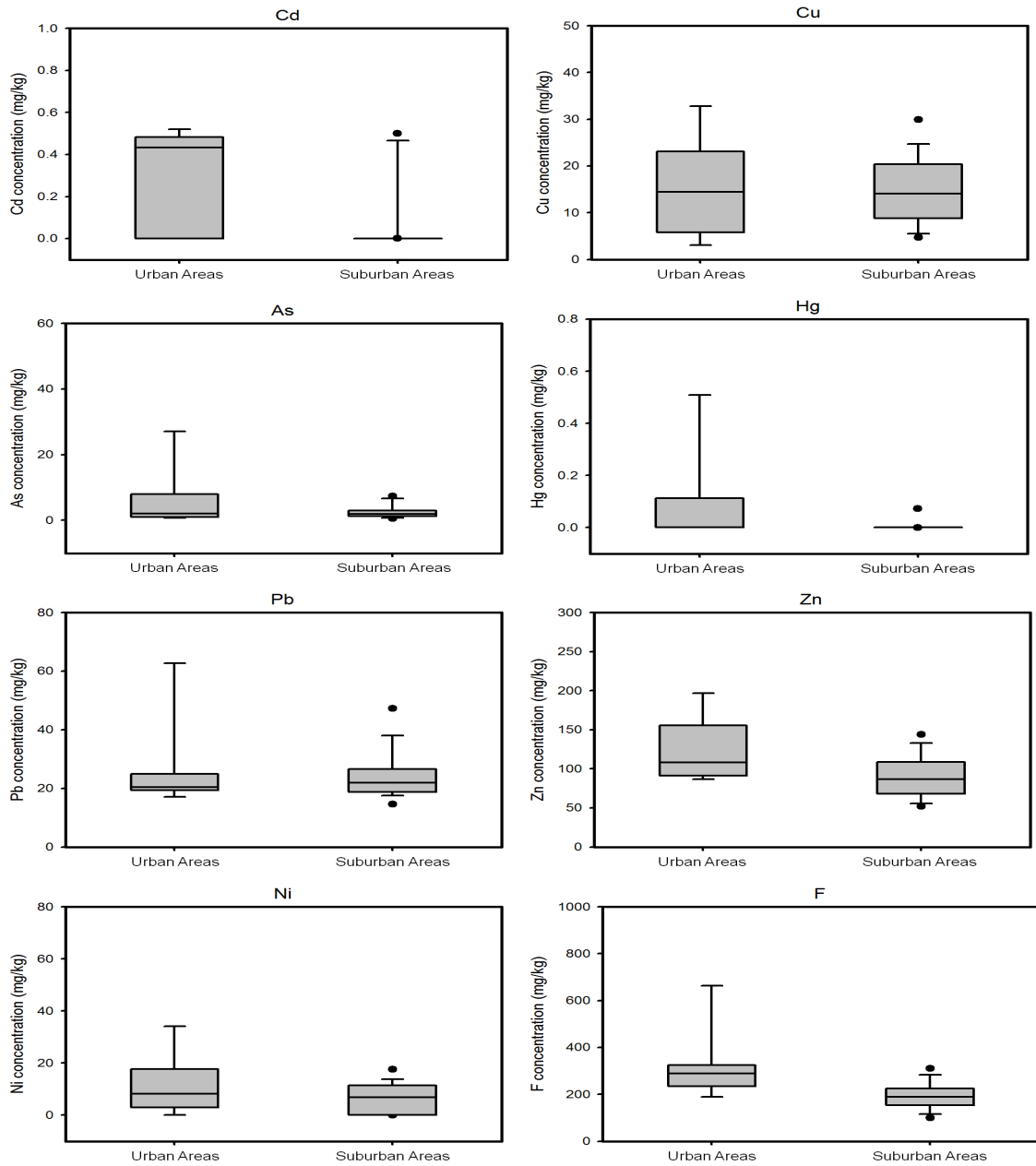


Fig. 4. The distribution of heavy metals in soil samples according to the urban and suburban area sites.

도심외곽 지역의 평균 함량이 비슷하게 나왔다. 도심지역은 도심외곽 지역과 비교하여 개발과 산업화가 많이 이루어져 있고, 자동차 배기가스 등 사람의 활동의 직접적인 영향을 받고 오랜 시간 동안 오염이 축적되어 왔기 때문인 것으로 추정된다.

중금속 원소간 상관관계 분석

토양에 함유된 중금속은 자연적으로 유입되기도 하지만 일반적으로 인간 활동에 기인해 오염되기 때문에 중금속 항목들 간의 상관성을 살펴봄으로써 항목들의 배출원에 대한 정보를 얻을 수 있는데, 상관성이 높은 것은 두 원소들 간의 배출원이 유사한 것으로 볼 수 있다. Table 1에 지역별로 중

금속 항목 간 상관계수를 각각 나타냈다. 도심지역의 경우 As와 Hg, Pb, Zn은 0.949, 0.762, 0.862로 Hg과 Pb, Zn, F는 0.700, 0.732, 0.953으로 상관계수가 높게 나타나, 이러한 항목들이 주요 사용되는 도심의 산업자재, 자동차 배기가스 등 사람의 활동으로 인한 오염이 배출원일 가능성이 높은 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2006). 도심외곽지역은 Zn과 F만이 약간의 유의성이 보였을 뿐 상관계수가 낮았다. 중금속과 비옥도 지표 항목간의 상관성을 보면 도심지역에서 Cu와 유기물, 유효인산, 칼륨과의 유의성이 나타났다.

토양 오염도 평가

토양의 종합적인 오염도를 판단하기 위해 SPI지수를 분석

Table 1. Correlation coefficients between analyzed elements in the urban and suburban areas

	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni	F	pH	OM	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Ma ²⁺	EC
Urban	Cd	1.000													
	Cu	.173	1.000												
	As	.284	.301	1.000											
	Hg	.264	.105	.949*	1.000										
	Pb	.344	.202	.762*	.700*	1.000									
	Zn	.383	.606	.862*	.732*	.670	1.000								
	Ni	.382	-.112	-.104	-.109	-.048	-.051	1.000							
	F	.289	.139	.947*	.953*	.644	.795*	-.039	1.000						
	pH	.309	.426	-.016	-.122	.101	.217	.477	-.020	1.000					
	OM	.239	.650*	-.044	-.216	-.010	.296	.070	-.113	.447	1.000				
	P ₂ O ₅	.214	.737*	.047	-.098	-.085	.428	.114	.026	.452	.807*	1.000			
	K ⁺	.180	.615	-.024	-.144	-.080	.304	.094	-.044	.511	.911	.712	1.000		
	Ca ²⁺	.082	.361	-.226	-.307	.121	-.069	-.015	-.292	.651	.275	.297	.169	1.000	
	Ma ²⁺	-.601	-.041	-.255	-.239	-.488	-.264	-.195	-.187	.231	-.151	-.003	.055	.182	1.000
	EC	.280	.471	.201	.130	.395	.235	.050	.085	.399	.383	.362	.335	.589	-.012
Suburban	Cd	1.000													
	Cu	.067	1.000												
	As	-.120	.035	1.000											
	Hg	-.137	-.093	-.049	1.000										
	Pb	.053	.229	.046	-.032	1.000									
	Zn	.357	.455	-.149	-.070	.352	1.000								
	Ni	.218	.235	.057	-.117	-.138	.244	1.000							
	F	.269	.332	.116	-.235	.067	.588*	.487	1.000						
	pH	.536	-.146	-.211	.016	.176	.396	.026	.215	1.000					
	OM	.350	.009	.298	.342	.296	.198	-.024	.286	.279	1.000				
	P ₂ O ₅	.230	.129	.172	.078	.217	.362	-.030	.493	.150	.673	1.000			
	K ⁺	.072	.308	.299	-.100	.182	.297	-.054	.149	.018	.244	.353	1.000		
	Ca ²⁺	.749	-.214	-.143	.014	.055	.320	.079	.223	.834	.341	.205	.002	1.000	
	Ma ²⁺	.574	-.027	-.306	-.140	-.183	.160	.467	.122	.466	-.032	-.082	-.191	.486	1.000
	EC	.263	-.055	-.020	-.166	-.061	.077	-.015	.147	.033	.172	.184	.544	.268	.118

*Correlation at the level of 0.01

Table 2. SPI of heavy metals in soil samples according to the urban and suburban area sites

		Urban	Suburban
SPI index	Mean	117.276	70.828
	Max	446.141	114.487
	Min	46.436	42.622
	S.D. ¹⁾	94.078	17.658
	n	17	31
	Range		
	<100	10(20.8%)	29(60.4%)
	100-200	6(12.5%)	2(4.2%)
	200-300	-	-
	>300	1(2.1%)	-

¹⁾ Standard Deviation

해 본 결과는 Table 2와 같이 나타났다. 41번 텃밭 토양의 SPI지수가 446.141로 4등급인(300초과) 토양오염지역 이었고, 도심지역 6개지점, 도심외곽지역 2개지점인 총 8개 지점에서 토양오염지표가 2등급(100-200)으로 토양오염 우려되는

지역으로 나타났다. 도심지역의 6개 지점중 2개 지점은 주택 밀집가에 위치하여 주택을 허물고 빈 공간에 조성된 텃밭이었고 4개 지점은 자동차 통행량이 많은 도로 근처에 위치한 텃밭이었다. 도심외곽지역 2개 지점은 중심 도심지역과는 원

Table 3. The Concentration of heavy metals in crops according to the urban and suburban area sites (unit : mg/kg)

Garden no.	Standard	Edible herbs.	Pb	Cd	As
			0.3	0.2	-
41		sesame leaf 1	ND	ND	0.412
		Lettuce 1	ND	ND	0.109
		sesame leaf 2	ND	ND	0.409
		Lettuce2	ND	ND	0.172
		sesame leaf 3	ND	ND	0.437
		Lettuce 3	ND	ND	0.242
19		sesame leaf 1	ND	ND	0.626
		Lettuce 1	ND	ND	0.366
		sesame leaf 2	ND	ND	0.460
		Lettuce 2	ND	ND	0.512

거리에 위치하고 있지만 도로 바로 옆에 위치하고 있는 텃밭들이었다. 이들 지역에 대한 텃밭은 복토 등을 통해 토양 개량이 필요한 것으로 판단된다.

식물체내의 중금속 전이 정도

중금속 농도가 높게 나타난 지점인 41번 텃밭, 특히 As 함량이 71.810 mg/kg으로 조사된 텃밭의 작물과 비교적 청정한 것으로 판단되는 19번 텃밭(As 함량 2.741 mg/kg)에서 재배되는 작물을 조사하여 중금속의 식물체로의 전이 정도에 대해 조사하였다.

식품의약품안전처고시 '식품의 기준 및 규격'에서 농산물 중 엽채류의 중금속 기준은 납은 0.03 mg/kg, 카드뮴은 0.02 mg/kg로 두 항목만이 설정되어 있다. 41번 텃밭과 19번 텃밭에서 재배되고 있는 상추와 깻잎에 대한 검사결과, Table 3과 같이 Pb와 Cd 함량은 두 텃밭 모두 불검출로 나왔고, As의 농도 차이는 크게 나지 않았다. 조사지역의 중금속은 토양에서 작물로 전이 되지 않음을 알 수 있었으나 조사 대상 지역에 재배되고 있는 식물이 상추나 깻잎같은 재배기간이 단기간인 식물인 점을 감안하면 건강에 크게 우려할 수준은 아닌 것으로 판단하기에는 부족한 부분이 많다.

본 연구기간 중에 조사대상지점에 구근 채소나 재배기간이 긴 작물이 재배되지 않아 조사하지 못하였으나 일반적으로 중금속들의 특성상 동 식물들이 섭취하게 되면 생물농축 현상을 일으키며, 생물농축이란 생물이 외부로부터 받아들인 물질을 환경에서의 농도보다 더 높은 농도로 생체 내에 축적되는 것으로 알려져 있으므로, 재배기간이 길거나 구근 작물인 경우에는 토양에서 식물체로 전이가 이루어 질 수 있어 (Choi and Chung, 2003; Lim *et al.*, 2015), 텃밭 토양 개량 후 작물을 재배해야 할 것으로 판단된다.

결론

광주지역의 텃밭 중 도심지역과 도심외곽지역 텃밭 토양

환경 조사를 위해, 텃밭 48개소에 대해 중금속 및 불소 함량을 분석한 결과, 1개 지점의 텃밭을 제외한 47개 지점 텃밭이 토양오염 우려기준 1지역(전, 답) 기준을 적용하여 분석한 결과로는 적합한 토양으로 조사됐다.

토양 검정결과, 전반적으로 약 산성인 토양으로 나타났고, 텃밭으로 조성은 되어있으나 텃밭으로 사용하지 오래된 텃밭 두 곳을 제외한 대부분의 텃밭은 토양 비옥도 항목들의 적정 범위에 적합하게 조사되었다. 적절한 시비법에 따라 토양을 교정하면 건강한 작물을 재배할 수 있을 것으로 판단된다.

조사지점 중 41번 텃밭은 복토하지 않은 공터에 텃밭으로 조성한 곳으로 분석결과, 비소와 불소 두 항목에서 토양오염 우려기준을 초과하였고, 순환도로와 인접한 위치에 있는 10번 텃밭 토양에서 니켈 항목이 우려 기준에 근접하게 나왔을 뿐 다른 지역의 토양은 경미하게 검출되었다.

도심지역이 외곽지역과 비교하여 전반적으로 중금속 함량이 높은 추세를 보였고, 1개 지점에서 SPI지수가 300을 초과하여 토양오염 지역으로 나타났고, 총 8개 텃밭에서 토양오염이 우려되는 지역인 2등급(100-200)으로 결과가 나타났다. 도심지역의 중금속 농도는 도심내 환경오염과 관련성이 높을 것으로 보인다.

중금속 함량이 높았던 도심지역과 낮았던 도심외곽지역 텃밭의 재배 작물에 대한 중금속 농도 차이가 크게 나지 않았고, 농산물 중금속 기준 항목이 설정되어있는 납과 카드뮴은 검출되지 않아 토양에서 식물체로 전이 되지 않았음을 알 수 있었지만, 토양속의 중금속은 재배작물과 재배기간에 따라 식물체에 영향을 미칠 수 있으므로 오염된 텃밭 토양은 개량이 필요할 것으로 보인다.

도심지역 텃밭 토양이 많이 오염되어 있을 거라는 예상과 달리 광주의 도심과 도심 주변 텃밭의 토양은 비교적 건강한 것으로 조사됐다. 하지만 차량 통행량이 많은 도로주변 텃밭은 우려기준에 근접한 농도를 보여 향후 재조사나 모니터링이 필요할 것으로 보이며, 주민들이 도심내 폐가족을 텃밭으로 조성한 토양은 토양오염 우려기준을 초과한 걸로 조사되

었다. 구청에서 공지나 유희지 등을 조성하여 주민들에게 텃밭을 분양할 때는 사전에 분양할 텃밭 토양의 적합성에 대해 조사하여 부적합한 텃밭에 대해서는 복토 등 개량을 한 후 주민들에게 분양해야 될 것으로 판단된다.

Acknowledgment

This research was supported by International Suitability Infrastructure Project in the Environmental Field Testing Inspection (National Institute Environmental Research)

References

- Chang, P. W., Woo, C. W., & Kim, S. P. (2003). A Study on the degree of pollution of stream and reservoir sediments in rural area. *Journal of Korean Society of Rural Planning*, 9(2), 1-6.
- Choi, E. Y., Jeong, Y. N., & Kim, S. Y. (2014). Analysis of the relationship between the importance of urban farming ordinance factors and participation satisfaction as well as sustainability for vitalizing of the urban farming - focused on Seoul City urban farming participants. *Journal of Urban Design Institute of Korea*, 15(6), 173-188.
- Choi, S. N., & Chung, N. Y. (2003). A study on the trace metals in potatoes and root vegetables. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 19(2), 223-230.
- Kim, C. Y., Seo, Y. J., Kwon, T. Y., & Park, J. H. (2010). Improvement in upland soil management on different topographies and crops. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(2), 147-152.
- Kim, S. H., Kim, Y. H., Kim, J. M., Choi, Y. S., Bae, S. J., Cho, Y. G., & Kim, E. S. (2015). Distribution characteristics of PAHs and heavy metals in roadside sediment at Gwangju City area. *Journal of Korea Society of Waste Management*, 32(3), 297-308.
- Kim, Y. H., Chung, D. H., & Cho, K. S. (2006). Contamination characteristics of heavy metals in indoor, outdoor and playground of schools in the Gochang-Gun, Chonbuk Province of South Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(1), 73-82.
- Lim, G. H., Kim, K. H., Seo, B. H., & Kim, K. R. (2015). Heavy metal accumulation in edible part of eleven crops cultivated in metal contaminated soils and their bio-concentration factor. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 34(4), 206-267.
- Oh, H. J., & Lee, J. Y. (2003). A Study on the characteristic evaluation of metals and fluorine concentrations in the southern part of Seoul. *Journal of Soil and Ground Water Environment*, 8(4), 68-73.
- Ponnamperuma, F. N. (1978). Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. *Soils and Rice*, pp. 421-441, Los Batice, Phillippices.
- Song, H. B., Do, H. S., Kwak, J. H., Kim, J. W., Kang, J. H., & Phee, Y. G. (2010). Characteristics of trace element concentrations in dust by facilities and areas in Daegu, Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(3), 287-295.
- Yoo, E. H., Choi, Y. J., & Kim, M. H. (2010). Pollution characteristics of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in deposited road particles of Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*, 20(1), 178-193.