

Short Communication



CrossMark

Open Access

공단 인근 농경지 토양 중 중금속 함량 평가

윤순강¹, 채미진¹, 김유학¹, 공명석¹, 정하일¹, 김석철¹, 김명숙¹, 박성진¹, 이창훈¹, 양재익²,
김성철³, 김기인⁴, 김권래⁵, 정구복^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 토양비료과, ²강원대학교 농업생명과학대학 환경융합학부,

³충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과, ⁴국립목포대학교 자연과학대학 원예학과,

⁵경남과학기술대학교 생명과학대학 농학한약자원학부

Evaluation on Heavy Metal Contents in Agricultural Soils around Industrial Complexes in Korea

Sun-Gang Yun¹, Mi-Jin Chae¹, Yoo-Hak Kim¹, Myung-Suk Kong¹, Ha-il Jung¹, Suk-Cheol Kim¹, Myoung-Suk Kim¹, Seong-Jin Park¹, Chang-Hoon Lee¹, Jae-E Yang², Sung-Chul Kim³, Gi-In Kim⁴, Gwon-Rae Kim⁵ and Goo-Bok Jung¹ (¹Soil and Fertilizer Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Department of Environment Convergence, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea, ³Department of Biological Environment and Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea, ⁴Department of Horticulture Science, College of Natural Science, Mokpo National University, Muan 58554, Korea, ⁵Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, College of Bioscience, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea)

Received: 14 June 2018/ Revised: 20 June 2018/ Accepted: 25 June 2018

Copyright © 2018 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

Sun-Gang Yun

<http://orcid.org/0000-0002-0901-8632>

Goo-Bok Jung

<http://orcid.org/0000-0002-7680-4131>

Abstract

BACKGROUND: Agricultural soils are vulnerable from contamination of heavy metal derived from industrial waste. Monitoring on heavy metals on agricultural soils around industrial complexes and evaluation on distributional state on the concentrations of heavy metals in soil have been carried out for problem assessment on soil condition.

METHODS AND RESULTS: Soil samples of 1,200, were collected from sixty site of industrial complexes located Gyeonggi, Chungbuk, Cheonbuk, and Gyeongnam provinces. Total concentration of Cu, Pb, Zn, Ni, and As were analyzed. Heavy metal concentrations in most soil samples were below warning criteria, except 1 site of Pb, Ni, and As, separately. The comparison of mean values of

heavy metal concentrations between soils around industrial complexes and paddy soils, showed similar levels of heavy metals, except Pb. The concentrations of lots of heavy metals were distributed between from warning criteria to one fifth level of warning criteria. However, in the case of Cu and Pb, more than 30% were distributed below one twenties level of warning criteria. These results were very similar with the distribution state of heavy metals in upland soils. The concentrations of heavy metals in surface soil and subsoil were similar among the heavy metals in soils around industrial complexes.

CONCLUSION: The concentrations of heavy metals in soils around industrial complexes were distributed close to warning criteria. Long term and continuous monitoring and evaluation on heavy metals in agricultural soils are required for food safety and sustainable soil management.

*Corresponding author: Goo-Bok Jung

Phone: +82-63-238-2440; Fax: +82-63-238-3822;

E-mail: gjung@korea.kr

Key words: Heavy metal, Industrial complexes, Soil

Table 1. Investigated industrial complexes

Provinces (4)	Name of industrial complexes (60)
Gyeonggi	Hakun, Yulsaeng, Mokdong, Dongducheon, Ojeong, Yangcheon, Namyeon, Yonghyeon, Jangwon, Gajang, Jangan-1, Paltan, Chupal, Pyeongtaek, Eoyeonhansan, (15)
Chungbuk	Cheomdan, Judeok, Jaechon, Geumwang, Maengdong, Jeungpyeong-2, Sincheok, Sansu, Jincheon, Sungjae, Oksan, Balhyosikpum, Boeun, Youngdong, Okcheon (15)
Cheonbuk	Poongsan, Sinpyeong, Wanju, Gunsan-2, Okgu, Sungsan, Wangung, Gosu, Nongso, Bukmyeon, Julpo, Ansong, Janggae, Cheoncheon, Yeonjang (15)
Gyoungbuk	Youngilman-2, Gyoungsan-2, Donam, Punggak, Jangsu, Goha, Apo, Gisan, Sajyang, Bukan, Boncheon, Angang, Seokgae, Yaecheon, Hanchang (15)

서론

지속가능한 농업을 위해서는 농산물의 생산기반인 농경지의 건전한 관리가 필수적이다. 산업 활동은 생산과정에서 대기, 수질에 영향을 주는 각종 부산물들이 발생되고 지속적으로 직간접적인 경로를 통하여 토양이나 수계에 유입되어 토양이나 재배되는 작물에 허용되는 범위를 초과하여 오염의 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 농경지 토양의 비옥도 유지를 통한 작물 생산성 향상을 위한 토양관리도 중요하지만, 농경지에 오염물질의 상태파악을 통한 농산물의 안전성을 유지하는 노력도 필요하다.

중금속이 농경지 토양에 유입되어 오염을 유발하는 과정은 여러 가지 경로가 있다. 특히 휴폐광산에서 외부에 노출되어 있는 광미사 등에서 강우시 빗물과 함께 중금속 등이 유출되고, 깡내수 등이 지하침투나 하천을 통해서 농경지에 유입될 수 있다. 그리고 각종 산업폐기물이나 생활폐기물에 의한 오염이 있을 수 있다. 산업시설에서 발생하는 각종 분진과 매연, 폐수 중에 중금속의 유입을 통한 토양 축적 가능성도 잠재적이라고 할 수 있다. 최근 국내에서도 산업단지 인근 농경지 중에 중금속 상태에 대한 연구(Min et al., 2016; Kim et al., 2016; Park et al., 2016)도 상당수 진행되어 왔다. 그리고 환경부에서 실시하는 국가산업단지 토양오염도 조사결과에 따르면 조사지점의 상당수에 토양 중 중금속 농도가 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다 (Ministry of environment, 2014). 미국의 사례로는 공장지역과 토양오염의 거리 간 상관성이 높다고 보고(Aelion et al., 2009)하였으며, 스페인의 연구사례에서는 산업화지역에 토양 중 중금속은 크롬, 카드뮴, 납이 주종을 이루고 시멘트, 금속, 전지제품 산업시설 인근 토양에서는 아연이 주종을 이루고 있음을 보고(Acosta et al., 2011)하였다. 중국의 연구사례로는 산업단지 인근 토양에 중금속 중에서 구리, 아연, 납, 카드뮴이 주로 인위적인 요인에 따라 축적되었음을 보고(Hu et al., 2013)된 바 있다.

산업단지에서 발생하는 오염원 중 유기성 물질은 시간이 경과함에 따라 생물학적이거나 화학적 과정을 통하여 농도와 양이 줄어들지만 중금속은 유입과정을 반복하면서 토양에 축적되기 때문에 토양관리에 있어서 중요한 오염물질로 평가될 수 있다. 본 연구는 산업단지 인근에 농경지 토양 중 중금속 함

량을 비교 분석하기 위하여 2017년 경기, 충북, 전북, 경북에 위치한 공업단지 60개 지역(각 지역별 15개 공단)에 인근 농경지 600지점(표토, 심토)에 대한 토양 중금속 조사결과이다.

재료 및 방법

경기, 충북, 전북, 경북 지역에서 지역별로 각 15개씩 총 60개 공단(Table 1)을 선정하였다. 공단 선정은 공단의 특성과 지형 및 농경지 분포 등을 감안하여 실시하였다. 중금속 분석을 위한 토양시료 채취는 조사 대상 공단마다 공단의 영향권 이내 (공단외곽으로 부터 떨어진 거리 1 km 이내)에 있는 농경지에서 10개 필지 농경지를 선정하고 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm)의 토양을 채취하였다. 총 1,200개 토양시료(60개 공단, 공단마다 10개 토양시료, 표토와 심토)를 채취하였다. 토양시료 채취 방법은 1개의 농경지 필지에서 5반복의 토양을 채취하여 혼합 후 필지를 대표하는 1개의 시료로 사용하였다. 채취한 토양을 풍건시킨 후 2 mm 체에 통과시켜 중금속 분석을 위한 토양시료로 사용하였다. 토양의 중금속 분석은 토양오염 공정시험법에 준하여 왕수환류냉각 분해법(MOE 2013)으로 시료조제 후에 유도결합 플라즈마 발광광도법으로 중금속 전 함량을 정량하였다. 중금속 분석에 대한 정도관리를 위하여 표준물질 (CRM041-30G)을 분석과정에 투입하여 분석된 결과를 평가하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

공업단지 인근에 위치한 농경지 중에 중금속 함량은 Table 3과 같다. 조사된 공단인근 농경지에 토양 중금속 Cu, Zn 은 토양환경보전법에서 제시하고 있는 농경지 중에 중금속의 토양오염 우려기준 이하 수준이었다. 그러나 Ni, As 는 전체 조사지점 중에서 각 1지점의 표토와 심토에서 토양오염 우려기준을 초과하였고, Pb 는 1지점의 표토와 심토에서 토양오염 대책기준을 초과하였다. 토양오염 우려기준과 대책기준을 초과한 농경지 필지에 대하여는 농산물 안전성 검사를 정책건의 하였다. 공단의 영향에 의한 토양 중금속 함량의 변동을 간접적으로 진단해 보기 위하여 조사된 공단 인근 농경지 전체 토양시료의 중금속 함량 평균값과 공단의 영향이 상대적으로 미약하거나 없는 우리나라 일반농경지 농토양(시료

Table 2. Recovery rate of standard material (CRM041-30G)

Elements	Cu	Pb	Zn	Ni	As
Certified value(mg kg ⁻¹)	75.5	198.0	198.0	10.1	10.3
Observed value(mg kg ⁻¹)	70.6	181.6	176.8	8.7	9.4
Recovery rate (%)	93.4	91.8	89.2	86.0	91.9
Standard deviation	6.06	13.71	9.93	0.38	1.81

Table 3. Total concentration of heavy metals in soil around industrial complexes

Elements	Cu	Pb	Zn	Ni	As
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Mean	13.3	28.2	64.4	13.8	4.40
Max.	98.4	963.9	296.3	208.3	57.10
Min.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Median	11.0	16.1	60.9	11.4	3.83
95%-P	31.3	71.4	118.7	33.2	9.58
99%-P	46.0	88.0	175.1	45.1	16.21
Paddy land ¹⁾	14.9	16.7	56.8	14.0	3.68
Warning criteria ²⁾	150	200	300	100	25

¹⁾ Heavy metal in paddy land (sample number 2,070). (2015)

²⁾ Ministry of environment, 2010.

수 2,110개)에 중금속 함량 평균값(Table 3)을 비교해 보았다. Cu는 일반농경지 농토양에서 보다 공단인근 농경지에서 10.7%p 낮았고, Ni은 1.4%p 낮은 결과를 보였다. 반면 Pb, Zn 과 As는 일반농경지 농토양에서 보다 공단인근 농경지에서 각각 68.8%p, 13.3%p, 그리고 19.6%p 높은 결과를 나타내었다. 조사된 결과를 바탕으로 공단 인근에 농경지의 중금속함량 상태의 정도는 Pb> As> Zn> Ni> Cu 순이었다. 이러한 결과는 공단지역 인근 토양 중금속 종류별 농도 상태의 수준을 알아 볼 수 있는 것으로서 금후 농경지의 건전한 관리를 위한 대책 수립 시에 참고할 수 있을 것으로 생각된다. 한편 Pb, Ni, As 가 각각 다른 지역에서 1지점씩 토양오염 우려기준을 초과한 곳이 있어서 관련절차에 따라 토양개량과 농산물 안전성검사 요청을 하였으며, 금후 공단 인근 농경지 토양의 이화학적 조건과 기상자료 등을 종합한 바탕 위에서 공단의 오염요소별 영향에 대한 조사가 필요하다고 사료된다.

공단의 생산과정 차이와 발생할 수 있는 오염물의 종류가 다양하고 공단으로부터 비산 등으로 배출되는 경로와 풍속, 풍향 등 기상여건에 따라 차이가 있으나 인근 토양이나 하천 등에 오염물이 유입되는 경우가 보고된 바 있다 (Babel *et al.*, 2003). 공단의 종류에 따라 인근 토양이나 하천에 중금속 오염의 특징이 달라지는데 광산이나 체련소 인근에서 오염의 정도가 심하고 (Martley *et al.*, 2004), 금속공장 인근에서는 Mn, Zn 그리고 Cr 의 농도가 높으며 (Vousta *et al.*, 1996) 화학공장 인근 토양에서는 Cd, Pb, As 의 농도가 높고 (Nadal. *et al.*, 2009), 섬유공장과 피혁공장 인근 토양에서는 각각 Pb, Mn, Cu, Fe (Deepali *et al.* 2010) 과 Cr

(Tariq *et al.*, 2006) 농도가 높은 것으로 보고된 바 있다. 한편 공단으로부터 이격거리 1 km 이내의 농경지 토양에서 이격거리와 토양 중 중금속 농도 간에는 유의한 상관관계가 없는 것으로 보고된 바 있다 (Park *et al.*, 2016).

토양환경보전법에서 제시하고 있는 토양오염 우려기준을 근거로 공단 인근 농경지 토양에 중금속별 농도의 분포상태 수준을 평가하기 위하여 일반농경지 밭 토양에 중금속 농도별 분포와 비교한 것이 Table 4이다. 전체 토양시료(공단인근 농경지 토양 1,200점, 일반농경지 농 토양 2,070점, 2015)에 대하여 분석된 토양 중금속 농도를 토양오염 우려기준을 기준으로 하여 1/5>, 1/10>, 1/15>, 그리고 1/20> 수준으로 구분하고 각 시료의 농도 값에 해당되는 범위의 분포 비율을 나타낸 것이다.

공단 인근 농경지 토양에서 Cu 는 1/5> 과 1/20> 수준에서 32% 정도였고 1/10~1/15 수준에서는 1.3~17.0% 였다. 그러나 일반농경지 밭 토양에서는 우려기준 이하부터 1/5 수준에서 69.3% 가 분포하고 있어서 오히려 우려기준에 근접한 Cu 농도 분포를 나타내었다. Pb 의 경우에는 공단 인근 농경지 토양의 경우 우려기준에 근접한 농도 분포가 29% 로 높았으며, 1/20> 농도 수준에서도 30.3% 에 달하였다. 공단인근 농경지 토양에 Pb 농도 분포가 토양오염 우려기준 대비 높거나 아주 낮은 양상을 나타낸 것이다. 반면 일반농경지 밭 토양에서는 1/20> 수준에서 34.7% 의 높은 분포를 보였으며 나머지 수준들에서는 14.4~19.5% 수준으로 유사하였다. Zn 의 경우에는 공단 인근 농경지와 일반농경지 밭 토양에서 공히 우려기준~1/5> 수준의 농도 범위에서 각각 89.0% 와

Table 4. Distribution rate of heavy metal concentrations in comparison with warning criteria in soil around industrial complexes

Soils	Elements	Distribution rate (%)					Warning Criteria	
		1/20 ¹⁾ >	1/15 >	1/10 >	1/5 >	WC >		WC <
Soil around industrial complexes (1,200)	Cu	32.4	12.3	17.0	32.7	5.6	0.0	150
	Pb	30.3	11.2	17.3	11.8	29.0	0.3	200
	Zn	2.8	0.5	7.8	38.3	50.7	0.0	300
	Ni	19.6	8.8	15.3	35.7	20.4	0.2	100
	As	12.0	3.6	11.5	39.9	32.8	0.2	25
Paddy soil	Cu	6.6	6.4	17.7	42.3	27.0	0.0	150
	Pb	34.7	14.9	19.5	16.5	14.4	0.0	200
	Zn	0.5	0.1	0.7	23.5	75.1	0.0	300
	Ni	9.6	7.9	16.6	37.3	28.6	0.0	100
	As	25.9	4.9	8.5	27.3	33.4	0.1	25

¹⁾ Concentration of heavy metal in soil/warning criteria * 100

Table 5. Comparison of heavy metal concentrations at different depths in soil around industrial complexes

Soil depth	Elements	Cu	Pb	Zn	Ni	As
		----- mg kg ⁻¹ -----				
Surface soil (0~15 cm)	Mean	14.0	28.9	66.5	13.9	4.45
	Max.	98.4	963.9	296.3	201.2	57.10
	Min.	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	95%-P	31.8	71.9	122.5	33.8	9.63
Sub soil (15~30 cm)	Mean	12.7	27.4	62.3	13.6	4.36
	Max.	57.8	879.0	293.5	208.3	42.70
	Min.	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	95%-P	29.4	70.8	115.5	33.1	9.45

* Soil sample numbers are 1,200 (surface and subsoil).

98.6%의 높은 분포 비율을 나타내었고 다른 농도 범위에서는 매우 낮은 분포를 나타내었다. Ni와 As의 경우에도 Zn의 경우와 유사하게 공단 인근 농경지와 일반농경지 밭 토양의 경우 우려기준~1/5> 수준의 농도 범위에서 Ni는 각각 56.1%와 65.9%, 그리고 As는 각각 72.9%와 60.7%의 농도 분포 비율을 나타내었다. Zn, Ni, As는 공단 인근 농경지나 일반농경지 밭 토양에서 중금속 함량의 수준이 토양오염 우려기준에 근접한 농도의 분포를 나타낸 것이었다.

공단 인근 농경지 토양에 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm) 중에 중금속 농도는 Table 5와 같다. 평균 농도에 있어서 표토에서 심토에 비하여 Cu는 10.2%, Pb는 5.4%, Zn은 6.7%, Ni는 2.2% 그리고 As는 2.1% 높은 결과를 나타내었다. 표토에 비하여 심토에 농도가 중금속 농도가 상대적으로 낮은 것은 여러 경로를 통하여 토양에 유입된 중금속들이 토양입자나 토양교질물 그리고 표토층에 주로 분포하는 유기물 등에 흡착되거나 고정되어 표토에 축적된 것으로 생각된다(Bolan *et al.*, 2013, Kashem *et al.*, 2001). 공단에서 생산과정 중에 발생하는 매연, 입자, 분진, aerosol, 폐수 등

다양한 형태의 배출 형태를 통하여 중금속이 대기 중으로 비산되어 이동하거나 또는 배출수를 통하여 하천으로 유입된 후에 농업용수로 활용될 때 토양에 유입되는 것과 같은 여러 가지 경로를 통하여 축적될 수 있다.

요 약

공단 인근 농경지에 중금속 농도의 상태를 파악하기 위하여 전국에 60개 공단 인근 농경지에서 1,200점(표토, 심토 각각 600점)의 토양시료를 채취하여 전함량 농도를 분석하였다. 토양 중금속 농도는 Pb, Ni, As가 1지점씩 토양오염 우려기준을 초과한 것을 제외하고는 기준이하 수준이었다. 공단 인근 농경지에 표토와 심토 중에 중금속 농도의 평균치는 유사한 수준이었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Project for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01250502 2017)", Rural Development Administration, Republic of Korea in 2017.

References

- Acosta, J. A., Faz, A., Martínez-Martínez, S., & Arocena, J. M. (2011). Enrichment of metals in soils subjected to different land uses in a typical Mediterranean environment (Murcia City, southeast Spain). *Applied Geochemistry*, 26(3), 405-414.
- Aelion, C. M., Davis, H. T., McDermott, S., & Lawson, A. B. (2009). Soil metal concentrations and toxicity: associations with distances to industrial facilities and implications for human health. *Science of The Total Environment*, 407(7), 2216-2223.
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1-3), 219-243.
- Bolan, N., Mahimairaja, S., Kunhikrishnan, A., & Naidu, R. (2013). Sorption-bioavailability nexus of arsenic and cadmium in variable-charge soils. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 725-732.
- Deepali, K. K., & Gangwar, K. (2010). Metals concentration in textile and tannery effluents, associated soils and ground water. *New York Science Journal*, 3(4), 82-89.
- Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., & Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9), 6150-6159.
- Kashem, M. A., & Singh, B. R. (2001). Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61(3), 247-255.
- Kim, D. J., Park, J. H., & Lee, J. H. (2016). assessment of selected heavy metal concentrations in agricultural soils around industrial complexes in southwestern areas of Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(5), 524-530.
- Martley, E., Gulson, B. L., & Pfeifer, H. R. (2004). Metal concentrations in soils around the copper smelter and surrounding industrial complex of Port Kembla, NSW, Australia. *Science of the Total Environment*, 325(1-3), 113-127.
- Min, K., Hong, Y., Choi, W., Kim, D., & Kim, S. (2016). assessment of heavy metal (loid) pollution using pollution index in agricultural field adjacent to industrial area. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(6), 768-775.
- Nadal, M., Mari, M., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2009). Multi-compartmental environmental surveillance of a petrochemical area: levels of micropollutants. *Environment International*, 35(2), 227-235.
- Park H. J., Lee H. H., & Hong C. H. (2016). Monitoring of heavy metal(oids) concentration of arable soils near industrial complexes in Gyeongnam provinces of South Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(5), 589-597.
- Tariq, S. R., Shah, M. H., Shaheen, N., Khaliq, A., Manzoor, S., & Jaffar, M. (2006). Multivariate analysis of trace metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: A case study from Peshawar, Pakistan. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 20-29.
- Voutsas, D., Grimanis, A., & Samara, C. (1996). Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. *Environmental Pollution*, 94(3), 325-335.