

## 서울시 도시농업지역 토양의 이화학적 특성 및 중금속 함량

김혁수 · 김영남 · 김진원 · 김계훈\*

서울시립대학교 환경원예학과

## Properties and Heavy Metal Contents of Urban Agricultural Soils in Seoul

Hyuck-Soo Kim, Young-Nam Kim, Jin-Won Kim, and Kye-Hoon Kim\*

Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Republic of Korea

This study was carried out to find out properties and total and phytoavailable contents of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) in 21 urban agricultural soils in Seoul. The investigated urban soils showed  $\text{pH}_{(1:5)}$  6.89,  $\text{EC}_{(1:5)}$  0.14  $\text{dS m}^{-1}$ , organic matter 2.22%, available  $\text{P}_2\text{O}_5$  139  $\text{mg kg}^{-1}$ , cation exchange capacity (CEC) 11.36  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , total nitrogen 0.15% and exchangeable Ca, Mg, K and Na were 6.71, 1.44, 1.06 and 0.30  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ , respectively. Total heavy metal concentrations in urban agricultural soils were lower than those of the warning levels in the area 1 according to the Soil Environmental Conservation Act of Korea. Phytoavailable-Cu, -Pb, and -Zn concentrations of the samples showed 0.02-0.28, N.D-0.09, 0.01-0.43  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectively.

**Key words:** Phytoavailability, Total heavy metal, Urban agriculture

### 서 언

도시농업은 도시민이 도시 또는 도시 인근에서 생업 이외의 목적으로 농작물을 기르는 행위로 정의될 수 있다 (Hwang et al., 2010). 도시민이 상업적 농작물의 안전성에 대한 우려, 생태농업에 대한 관심, 농작물에 대한 가계 지출 절감, 노동의 가치에 대한 재평가로 시작한 도시농업에 대한 각국 정부의 지원과 시민의 관심은 시간이 흐르면서 더욱 증가하고 있다. 이 중 쿠바의 수도 아바나 (Havana)의 도시농업, 독일의 클라인가르텐 (Kleingarten), 영국의 얼랏먼트 (allotment), 그리고 일본의 시민농원 (市民農園) 등은 오랜 역사를 지니고 있다 (Jang, 2009; Na, 2010).

우리나라는 2007년 7월 서울시에서 '서울특별시 친환경 농업 및 주말체험농육성지원에관한 조례'가 제정되어 지방자치단체의 지원 하에 시민들이 도시농업에 관심을 갖게 되었으며, 2009년과 2010년에는 경기도 광명시와 수원시에서 각각 도시농업 관련 조례가 제정되었다 (Na, 2010). 2011년 6월에는 대통령직속 녹색성장위원회에서 도시민의 삶의 질 향상을 위한 '도시농업 활성화 방안'을 마련하였으며, 이는 대규모 도시농업 공간을 확보하여, 도시텃밭, 농업공원, 스쿨팜 (school farm) 등 텃밭 8,000 개소, 녹색공간 3,000 ha를 조성한다는 내용을 포함하고 있다. 이에 따라 최근 도

시농업을 주제로 하는 각종 연구도 크게 증가하고 있으며, 이 중 정책 방안마련 또는 활성화 방안마련을 목적으로 한 조사연구가 주로 보고되고 있다 (Hwang et al., 2010; Jang, 2007; Jang, 2009; Kang et al., 2007; Na, 2010).

하지만 아직 우리나라의 도시농업은 초기단계로 외부 건설현장 등에서 발생한 검증되지 않은 토양이 도시농업지역에 반입될 수 있으며, 반입된 토양의 질에 따라 작물 생산과 농산물 안정성에 많은 영향을 줄 수 있다. 또한 농업에 비전문적인 도시민들이 농업활동을 수행하면서 좁은 면적에 많은 양의 비료를 사용할 우려가 있다. 특히 유기농산물에 대한 관심이 증가하면서 도시농업지역 내에서도 유기질 비료 사용량이 지속적으로 증가하는 추세이므로 적절히 관리하지 않을 경우 주변 환경에 문제를 일으킬 수 있다. Zhou et al. (2005)에 의한 돈분과 계분 처리가 토양 특성 및 식물체 전이에 미치는 연구 결과에 따르면, 돈분과 계분 처리량이 증가할수록 토양의 EC와 Cu와 Zn의 총함량 및 식물유효태 함량이 증가하였고, 돈분을 처리한 토양에서 재배한 무의 Cu, Zn 함량은 각각 1.35, 28.7  $\text{mg kg}^{-1}$ 으로 무처리 0.39, 4.44  $\text{mg kg}^{-1}$ 에 비해 상대적으로 높았으며, 배추 내 Cu, Zn 함량도 각각 무처리 0.34, 2.75  $\text{mg kg}^{-1}$ 에서 돈분 처리 시 0.92, 13.7  $\text{mg kg}^{-1}$ 로 조사되었다.

따라서 본 연구는 서울시 내에서 현재 운영 중인 21개 지역 도시농업 토양의 이화학적 특성 및 중금속 함량 (전함량, 식물유효태함량) 조사를 통하여 토양의 질과 오염 정도를 파악하기 위해 수행하였다.

접수 : 2011. 11. 16 수리 : 2011. 12. 16

\*연락처 : Phone: +82222102605

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

## 재료 및 방법

연구를 위하여 서울에 위치한 21개 (도봉구 6개, 서초구 6개, 강동구 3개, 강서구 2개, 양천구, 종로구, 중랑구, 노원구 각각 1개)의 텃밭농원을 선정하고, 각 텃밭의 5-10개 지점에서 3반복으로 표토 (0-15 cm)를 채취하였다. 채취한 토양의 pH, EC는 토양과 증류수 비율을 1:5로 하여 측정하였고, 유기물 함량은 Walkley-Black법 (Nelson and Sommers, 1996), 유효인산은 Bray No. 1법 (Kuo, 1996)에 따라 분석하였다. 전질소 함량은 Kjeldahl 분해장치를 이용한 분석법 (Bremner, 1996)에 준하여 측정하였으며, 양이온교환용량 및 치환성 양이온은 1 M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0)를 이용한 분석법 (Sumner와 Miller, 1996)에 따랐다. 토성은 마이크로펄렛법 (Miller and Miller, 1987)으로 분석하였다.

토양 중 중금속 (Cd, Pb, Zn, Cu) 함량은 전함량과 식물유효태함량으로 구분하여 측정하였다. 중금속 전함량은 토양오염공정시험법 (MOE, 2009), 중금속 식물유효태함량은 1 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 침출법 (DIN, 1995)에 따라 침출한 후 ICP-AES (Optima 3100-XL, Perkin-Elmer)를 이용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

본 연구 대상지인 21개 도시농업 지역 평균 분양면적은

4276.45 m<sup>2</sup>였다. 각 지역에서는 이 면적을 평균 330개의 구좌로 나누어 개인 또는 단체에 분양하였으며 각 구좌당 평균 분양면적은 12.81 m<sup>2</sup>이었다.

도시농업 토양의 이화학적 특성 및 중금속 전함량 분석 결과는 Table 1, 2와 같다. 본 연구에서 조사한 도시농업 토양의 평균 pH (6.89)와 치환성 Ca 함량 (6.71 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)은 농촌진흥청 농업과학기술원 (NIAST, 2006)에서 조사한 2000년대 밭토양의 pH (5.9)와 치환성 Ca (5.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)보다 상대적으로 높게 조사되었다. 이는 토양에 석회를 지속적으로 사용한 결과로 판단된다. 그 밖에 유기물 (2.22%), 치환성 Mg (1.44 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), K (1.06 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) 등은 우리나라 밭토양 평균 (유기물: 2.3%, 치환성 Mg: 1.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 치환성 K: 1.09 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)과 비슷한 수준으로 조사되었다. 하지만 도시농업 토양의 유효인산함량 (139.32 mg kg<sup>-1</sup>)은 우리나라 밭토양의 평균 함량에 비해 상대적으로 낮아 인산 비료의 적정시비가 필요한 것으로 나타났다.

도시농업지역 토양의 중금속 (Cd, Pb, Cu, Zn) 전함량을 분석한 결과 Cd 0.97-3.17, Pb 8.10-46.27, Cu 8.97-133.40, Zn 38.97-180.06 mg kg<sup>-1</sup>로 조사되었으며, 우리나라 토양 환경보전법에 제시된 제 1지역 토양오염 우려기준은 모두 초과하지 않았다 (Table 2). 하지만 식물유효태 중금속 분석 결과 Site 3의 식물유효태 Zn 함량 (0.43 mg kg<sup>-1</sup>)은 중금속 전함량이 전체 평균 함량에 비해 상대적으로 낮았음에도 불

**Table 1. Chemical properties of urban agricultural soils used in this study.**

Sampling site	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation			
					Ca	Mg	K	Na
	(1:5)	(1:5), dS m <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
Site 1	6.79	0.14	3.54	151.44	7.58	1.20	1.08	0.26
Site 2	6.87	0.13	0.68	36.95	4.96	1.35	0.64	0.39
Site 3	6.82	0.05	1.16	236.28	3.27	0.74	0.87	0.10
Site 4	6.79	0.18	0.82	26.91	8.10	2.20	0.89	0.61
Site 5	6.64	0.88	1.29	57.47	8.86	1.07	1.10	0.83
Site 6	7.09	0.05	3.27	124.95	5.24	0.86	0.90	0.08
Site 7	6.21	0.08	3.74	345.12	5.06	0.96	1.33	0.08
Site 8	6.76	0.07	2.52	242.18	7.54	1.09	0.76	0.07
Site 9	6.75	0.10	3.20	384.91	8.92	1.86	1.51	0.19
Site 10	6.82	0.04	3.40	202.49	7.48	0.93	1.53	0.31
Site 11	7.11	0.07	1.29	147.96	5.07	0.94	0.93	0.29
Site 12	6.82	0.09	4.42	202.49	5.72	1.07	1.24	0.12
Site 13	7.10	0.15	3.06	57.81	7.30	1.87	1.61	0.46
Site 14	7.02	0.15	0.88	52.16	7.25	1.75	0.52	0.55
Site 15	7.18	0.05	0.95	31.53	6.03	2.09	0.62	0.38
Site 16	6.90	0.19	0.95	74.44	7.24	1.94	0.52	0.43
Site 17	7.08	0.10	1.91	109.26	6.33	2.07	1.13	0.28
Site 18	6.95	0.06	2.79	89.16	6.14	0.98	1.58	0.27
Site 19	7.00	0.05	1.77	132.39	6.75	1.16	1.03	0.08
Site 20	6.92	0.07	4.08	194.32	6.38	2.26	2.03	0.23
Site 21	7.00	0.19	0.88	25.46	9.74	1.91	0.51	0.26
average	6.89	0.14	2.22	139.32	6.71	1.44	1.06	0.30

구하고 가장 높게 측정되었다 (Fig. 1). 이는 비교적 최근에 외부에서 유입된 불안정한 상태의 물질 중 1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  추출성 Zn 함량에 의한 영향으로 판단된다. 또한 이 지역은 전체 도시농업 토양의 식물유효태 Pb 함량 범위 N.D-0.09  $\text{mg kg}^{-1}$  중 가장 높은 값으로 측정되었다. 도시농업지역 토양의 식물유효태 Cd은 전 지점에서 측정되지 않았지만, 식물유효태 Cu 평균 함량은 0.09  $\text{mg kg}^{-1}$ 로 조사되었으며, 이

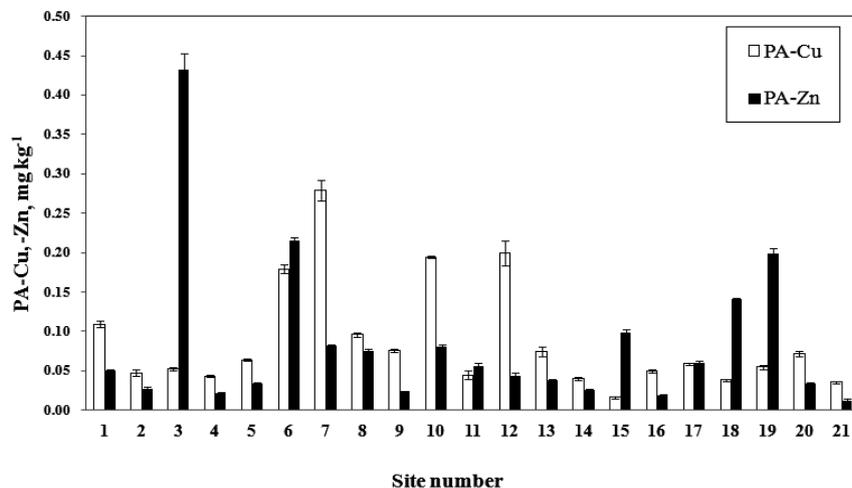
는 Kim et al. (2010)이 보고한 중금속으로 오염된 광산 인근 밭토양의 식물유효태 Cu 함량 0.05-0.1  $\text{mg kg}^{-1}$  정도 범위와 비슷한 수준인 것으로 조사되었다.

Nam et al. (2010)은 총 1,900점의 퇴비를 조사하여 돈분 퇴비에서는 구리와 아연 함량이 다른 종류의 퇴비에 비해 가장 높다고 보고하였고, Jung et al. (1998)도 퇴비의 종류 및 사용량에 따라 토양 내 Cu, Zn 함량이 많은 영향을 받는

**Table 2. Properties and total heavy metal contents of urban agricultural soils used in this study.**

Sampling site	Texture	CEC	T-N	Total heavy metal content			
				Cd (4) <sup>†</sup>	Pb (200)	Cu (150)	Zn (300)
		$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	%	$\text{mg kg}^{-1}$			
Site 1	Sandy loam	10.82	0.16	2.63	14.27	26.73	127.00
Site 2	Sandy loam	6.74	0.03	1.33	8.10	12.70	38.97
Site 3	Loamy sand	7.06	0.06	1.17	9.47	17.77	55.70
Site 4	Sandy loam	10.58	0.04	2.00	21.63	8.97	73.30
Site 5	Sandy loam	13.48	0.10	2.00	15.20	12.93	77.63
Site 6	Loamy sand	7.76	0.14	1.00	21.23	24.33	58.33
Site 7	Sandy loam	13.56	0.24	1.37	46.27	71.30	78.77
Site 8	Loamy sand	10.90	0.29	1.07	40.77	133.40	180.06
Site 9	Sandy loam	17.95	0.34	0.97	22.23	55.00	96.50
Site 10	Sandy loam	10.74	0.22	1.23	17.00	46.90	129.57
Site 11	Sandy loam	10.35	0.13	1.07	19.07	33.20	63.37
Site 12	Sandy loam	11.37	0.21	1.07	19.30	39.10	95.83
Site 13	Sandy loam	13.25	0.14	2.40	14.60	29.67	93.57
Site 14	Sandy loam	9.88	0.08	3.17	13.93	26.27	122.90
Site 15	Sandy loam	11.37	0.07	2.80	11.57	32.63	90.20
Site 16	Sandy loam	8.94	0.08	2.57	12.80	28.83	92.00
Site 17	Sandy loam	11.37	0.12	2.93	9.37	28.40	142.50
Site 18	Sandy loam	12.47	0.15	2.60	20.97	42.73	91.37
Site 19	Sandy loam	11.84	0.16	1.33	40.70	46.47	135.00
Site 20	Sandy loam	19.13	0.22	2.17	22.93	54.70	104.13
Site 21	Sandy loam	9.09	0.06	2.73	17.77	33.80	105.60
Average		11.36	0.15	1.89	19.96	38.37	97.73

<sup>†</sup>The numbers in parenthesis represent the warning level of soil contamination in the area I according to the legislated guideline of the Soil Environmental Conservation Act of Korea.



**Fig. 1. Phytoavailable (1 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  extractable) Cu and Zn contents in soils from 21 sites of urban agriculture (PA, phytoavailable; Error bar indicates standard deviation).**

것으로 보고하였다. 이들의 연구결과와 본 연구결과를 비교할 때 도시농업에는 일반농업에 비해 상대적으로 많은 양의 퇴비를 사용할 가능성이 있으므로 도시농업 토양 내 Cu, Zn 함량이 증가할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

## 결 론

도시농업에 사용되는 토양은 오랜 경작활동의 결과로 조성된 농경지 토양이 아닌 외부에서 유입된 다양한 물질로 조성된 토양일 가능성이 높다. 일반적으로 도시농업은 작은 면적의 토지에서 많은 시민이 다양한 형태로 작물을 재배하는 특징을 지니고 있다. 이러한 이유로 도시농업에 사용되는 토양과 비료관리 체계는 일반적인 농경지 토양 및 비료관리 체계보다 더욱 복잡한 형태를 나타낼 수 있으며, 이에 대한 적절한 운영 및 관리가 필요하다. 최근 유기농업에 대한 관심이 증가하면서, 다양한 종류의 유기질 비료를 도시농업에 사용하게 되고, 적정시비량 이상의 비료를 사용하게 됨에 따라 향후 환경오염 및 작물 독성현상을 일으킬 수 있다. 본 연구 대상 도시농업지역 전체 토양의 중금속 함량은 제 1지역 대한 토양오염우려기준 이하였으나, 몇몇 도시농업지역의 토양에서는 식물체로 전이될 수 있는 Cu의 함량이 선행연구를 통해 보고된 광산 인근 중금속으로 오염된 밭토양의 식물유효태 Cu 함량과 비슷한 수준으로 조사되었다. 이러한 결과는 유기질 비료의 과다사용으로 유발되었을 가능성이 있으므로, 지속적인 연구와 지도를 통해 도시농업 지역의 토양관리 및 시비처방기준에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ0073742011 및 PJ907114)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. p. 1085-1122. In D.L. Sparks et al. (ed.). *Methods of soil analysis. part 3. Chemical method.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- DIN (Deutsches Institut für Normung). 1995. Soil quality extraction of trace elements with ammonium nitrate solution. DIN 19730. Beuth Verlag, Berlin, Germany (In German).
- Hwang, J.I., Y.J. Choi, B.G. Jang, and S.Y. Rhee. 2010. Segmentation and characteristic analysis of urban farmers behavior. *Korean J. Community Living Science.* 21:619-631.
- Jang, D.H. 2007. Study on farming status and continuation possibility of urban agriculture (with special reference to Jeonju-city). *Korean J. Association of Regional Studies.* 15:79-102.
- Jang, D.H. 2009. Policy implication for improving urban agriculture. *Journal of Industrial Economics and Business.* 22:979-994.
- Jung, G.B., H.C. Kim, K.Y. Jung, B.K. Jung, and W.I. Kim. 1998. Heavy metal contents in upland soils and crops of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:225-232.
- Kang, K.N., J.K. Lee, K.H. Kim, and M.H. Lee. 2007. Revitalization planning of urban farming based on vegetable gardens. *Journal of the Institute of Construction Technology.* 26:167-176.
- Kim, K.R., J.S. Park, M.S. Kim, N.I. Koo, S.H. Lee, J.S. Lee, S.C. Kim, J.E. Yang, and J.G. Kim. 2010. Changes in heavy metal phytoavailability by application of immobilizing agents and soil cover in the upland soil nearby abandoned mining area and subsequent metal uptake by red pepper. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:864-871.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. p. 869-919. In D.L. Sparks et al. (ed.). *Methods of soil analysis. part 3. Chemical method.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Miller, W.P. and D.M. Miller. 1987. A micro pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 18:1-15.
- MOE (Ministry of Environment). 2009. Standard test method for soil pollution. Gwacheon, Korea.
- Nam, Y., S.H. Yong, and K.K. Song. 2010. Evaluating quality of fertilizer manufactured (livestock manure compost) with different sources in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:644-649.
- Na, Y.E. 2010. Driving projects of urban agriculture for the energy independence. *Korean J. Environ. Agric.* 29:304-308.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D.L. Sparks et al. (ed.). *Methods of soil analysis. part 3. Chemical method.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- NIASST. 2006. Fertilizer recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Koera.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p. 1201-1230. In D.L. Sparks et al. (ed.). *Methods of soil analysis. part 3. Chemical method.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Zhou, D.M., X.Z. Hao, Y.J. Wang, Y.H. Dong, and L. Cang. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere* 59:167-175.