Assessment of Heavy metal(loid)s Pollution in Urban Soil at Street Tree Planting Sites in Chuncheon

Byung-Jun Park¹, Chan-Gyu Lee¹, Seok Soon Jeong², Jung Eun Lim³, Kwon-Rae Kim⁴, Sung Chul Kim⁵, Jae E. Yang⁶, and Hyuck Soo Kim^{7*}

¹Master's Degree, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²PhD Student, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Researcher, Monitoring and Analysis Division, Wonju Regional Environmental office, Wonju 26461, Korea

⁴Professor, Department of Agronomy and Medicinal Plant Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

⁵Professor, Department of Biological Environment and Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

⁶Professor, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

⁷Assistant Professor, Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

*Corresponding author: kimhs25@kangwon.ac.kr

ABSTRACT

Received: January 20, 2021

Revised: February 2, 2021

Accepted: February 2, 2021

Urban soil provides various ecosystem services such as biomass production, climate regulation, carbon storage, nutrient, and water cycling for human society but urban soil is threatened by pollution, compaction, sealing, and decline in organic matter. Especially urban soil near the road can be contaminated by traffic-related emissions. Thus, this study assessed the contamination level of heavy metal(loid)s in urban soil at the street tree planting sites. For this, soil samples were collected from 26 urban tree-planting sites, 23 agricultural areas, and 26 forest areas in Chuncheon city and analyzed using the standard procedures for physicochemical properties and total heavy metal(loid)s concentrations. The urban soils had low clay contents and CEC and high sand contents, indicating low retention of heavy metal(loid)s. However, urban soil Cu and Zn concentrations were higher than agricultural and forest soils and their concentrations had a strong positive linear correlation. This indicates that Cu and Zn could have a common source such as vehicles. Consequently, some traffic-related heavy metals, in particular Cu and Zn, were being accumulated in the urban soil at street tree planting sites, which may warrant some caution regarding the environment issues in the future.

Keywords: Contamination, Copper, Street tree, Urban soil, Zinc

Relationship between the concentrations of Cu and Zn & Cr and Ni in urban soil at street tree planting sites.

Introduction

현재 우리나라는 급격한 도시화로 대도시에서 자본과 인구가 집중되고, 주거, 산업 공간 및 도로 확충에 따른 불투수층이 증가하면서 도시 내 녹지 면적은 줄어들고 있다. 하지만 최근 기후변화, 미세먼지, 열섬현상, 물순환 등 다양한 환경문제 등의 해결책으로 도시숲 등 도시 생태계의 중요성이 증대되면서 2020년 6월 ‘도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률’이 제정되었고, 이로 인해 도시 생태계의 기반이 되는 도시 토양에 대한 관심도 높아지게 되었다.

최근 제정된 ‘도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률’에서의 ‘도시숲 등’에는 도시숲, 생활숲 그리고 가로수가 해당된다. 이 중 가로수는 도시환경의 미기후조절 기능, 환경공학적 기능, 미적 기능 등을 통해 도시민의 일상 생활과 매우 밀접한 관계를 지니며 도시 내 다른 녹지들과 연계하여 녹지 네트워크의 필수 요소로 작용한다 (Georgi and Zafiriadis, 2006; Vailshery et al., 2013; Han et al., 2014; Salmond et al., 2016). 또한 산림청에서 ‘산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률’에 의거하여 2017년 기준 생활권 도시림 면적을 산출한 결과 도시림 중 가로수 등 도로변 녹지가 34.22% (32,857,713 m²)로 가장 높은 면적을 차지하였다 (Korea Forest Service, 2018). 따라서 가로수의 조성 및 관리는 도시 환경 개선에 필수적이라 할 수 있다.

하지만 가로수의 기반이 되는 도시 토양은 답압 및 차폐 (compaction & sealing), 염류화 (salinization) 그리고 오염 (pollution) 등의 위협요인에 노출되어 있다. 그 예로 Yang and Zhang (2011)은 중국 난징의 도시 토양을 대상으로 수분 침투율 (infiltration rate)을 조사했는데, 그 중 일부는 답압으로 인해 침투율이 매우 낮게 나왔다. 결과적으로 이들 답압 지역은 물이 토양 내로 침투하지 못해 표면 유거수 (surface runoff water) 내 양분 (N, P) 함량이 다른 토지 이용 지역에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 캐나다 앨버타 16개 지점을 대상으로 토양의 EC를 모니터링 했을 때, 제설제 살포로 인해 50% 지점의 토양 EC가 2 dS m⁻¹ 이상으로 나타났고, EC가 높은 토양에서 재배된 나무 잎의 Na 함량은 높았으며, 클로로필 (chlorophyll) 함량은 낮은 것으로 나타났다 (Equiza et al., 2017).

특히, 도시 토양은 도로에서 발생한 다양한 중(준)금속이 포함된 분진에 의한 오염 잠재력이 매우 높는데 (Werkenthin et al., 2014), Bi et al. (2018)는 도로변에서 수집한 분진의 Hg 함량은 도로 인근 토양보다 낮았으나, As, Cd, Cu, Pb, Zn 함량은 토양보다 유의하게 높은 것을 확인하였다. 실제로 호주 멜버른 내 도로변 토양은 다양한 도로 배출 물질에 의해 Cd, Cu, Ni, Pb, Zn 등이 축적되었고, 이는 도로 운영 년수, 교통량, 자동차 속도 등의 영향을 받는 것으로 나타났다 (De Silva et al., 2016). 우리나라 경기도 도로변 토양을 대상으로 도로 이격거리 별 중금속 함량을 조사한 결과에서도 토양 Cr, Ni 등의 함량이 도로에 가까울수록 높아지는 경향을 나타냈다 (Kim et al., 2017).

도시 가로수 토양이 중(준)금속으로 오염되면 가로수의 생육 저하 뿐만 아니라, 토양이 지닌 생물다양성 보존, 깨끗한 물 공급 등과 같은 다양한 기능을 상실하게 되고, 도시민 건강에도 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구는 도시 가로수 환경의 지속적인 관리를 위해 도시 가로수 토양의 중(준)금속 함량을 토지 이용 목적이 다른 농경지와 산림 토양과 비교하여 가로수 토양의 중(준)금속 수준을 파악하고, 그 결과에 따른 원인 및 관리방안을 도출하고자 수행하였다.

Materials and Methods

토양시료 채취 도시 가로수 토양의 중(준)금속 함량 수준을 조사하기 위해 2020년 10월 강원도 춘천 지역에서 도시 가로수 토양 26지점을 포함하여 밭토양 22지점, 산림토양 26지점을 hand auger를 이용하여 10 - 20 cm 깊이에서 채취하였다 (Fig. 1). 채취한 토양은 풍건 후 이화학적 특성 및 중(준)금속 분석을 위해 각각 2 mm, 150 µm 체로 거른 후 보관하였다.

토양 이화학적 특성 및 중(준)금속 분석 채취한 토양은 이화학적 분석항목 중 토양내 중금속 흡착, 보유력과 관련된 pH, 유기물, CEC, 모래, 점토 함량을 선정하여 분석하였다 (Vega et al., 2010; Lim et al., 2016). 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 1시간 동안 진탕한 후 pH meter (Model 555A, Thermo-Orion, USA)로 측정하였다. 토양 유기물은 Walkley-Black 법으로 분석하였으며 (Nelson and Sommers, 1996), CEC는 1 M ammonium acetate (pH 7) 추출법으로 분석하였고 (NAS, 2010), 모래, 점토 함량은 비중계법으로 측정하였다 (NAS, 2000).

토양 중(준)금속 총함량은 토양오염공정시험법 (ES 07400.2c)에 준하여 수행하였다. 토양 3 g에 aqua regia (염산 21 mL : 질산 7 mL)를 가하여 흑연블럭상에서 가열, 분해하였다. 분해한 용액은 HM No. 51 여과지로 여과 후 0.5 M HNO₃로 100 mL 표선하여 분석용액으로 사용하였고, ICP-OES로 As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn 함량을 정량하였다. 중(준)금속 분석 결과의 신뢰성 확보를 위해 표준인증물질 (BAM-U112a)를 동일한 방법으로 분석 후 회수율을 확인하였고, 각 중(준)금속 평균 회수율은 90 - 110% 범위를 나타냈다.

Fig. 1. Soil sampling sites in Chuncheon city.

Table 1. Indices of PI and PI_{Nemerow} used to define the level of soil pollution.

Pollution indices	Classification	Level of soil pollution
PI	PI < 1	Unpolluted
	1 < PI < 2	Low polluted
	2 < PI < 3	Moderately polluted
	3 < PI < 5	Highly polluted
	PI > 5	Very Highly polluted
PI _{Nemerow}	PI _{Nemerow} ≤ 0.7	Clean
	0.7 < PI _{Nemerow} < 1	Warning limit
	1 < PI _{Nemerow} < 2	Slight pollution
	2 < PI _{Nemerow} < 3	Moderate pollution
	PI _{Nemerow} ≥ 3	Heavy pollution

중(준)금속 오염도 평가 도시 가로수 토양의 중(준)금속 오염도를 평가하기 위해 single pollution index (PI) 와 Nemerow pollution index ($PI_{Nemerow}$)를 산출하였다. PI는 우리나라 9개 지질단위를 고려한 산림토양 중 중금속의 배경농도 (Yoon et al., 2009)를 이용하여 산출하였으며 식은 Eq. 1과 같다. $PI_{Nemerow}$ 는 중금속 별 (n개 항목)로 산출된 PI를 통해 통합적인 오염도를 평가하는 방법은 산출방법은 Eq. 2와 같으며, 산출된 PI와 $PI_{Nemerow}$ 값은 Table 1과 같이 1 - 5등급으로 분류하였다 (Chen et al., 2015).

$$PI = \frac{\text{Heavy metal(loid) concentration in soil}}{\text{Heavy metal(loid) concentration of background soil}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI\right)^2 + PI_{max}^2}{n}} \quad (\text{Eq. 2})$$

데이터 처리 실험 결과는 토지 이용별로 평균값과 표준편차를 도출하여 그래프를 작성하였다. 처리별 유의성 분석은 SAS 프로그램 (SAS version 9.4, SAS Inc., USA)을 이용한 분산분석 (ANOVA)을 통해 토지 이용별로 토양의 이화학적 특성 및 중금속 함량이 유의한 차이가 있는지 확인하였다.

Results and Discussion

도시 가로수 토양의 이화학적 특성 토지 이용별 토양의 모래 함량은 도시 가로수 토양이 농경지와 산림 토양에 비해 유의하게 높았고, 점토 함량은 도시 가로수 토양이 가장 낮았다 (Fig. 2). 이는 가로수 조성 시 주변 건설현장에서 발생한 마사토가 주로 사용된 결과로 보여진다. 도시 가로수 토양의 평균 pH는 농경지 (6.6), 산림 (5.4) 토양에 비해 상대적으로 높은 7.3으로 (Fig. 3A), 이는 NaCl 등의 제설제 또는 석회가 함유된 시멘트, 콘크리트 파편 등이 유입되어 도시 토양의 pH가 상승한 것으로 보여진다 (Yang and Zhang, 2015; Equiza et al., 2017). 또한 가로수 토양 관리를 위해 주기적으로 투입된 유기 자재에 의해 평균 유기물 함량은 농경지 토양과 유의적 차이가 없었다 (Fig. 3B). 비록, 도시 가로수 토양의 유기물 함량이 농경지 토양과 비슷한 수준이었으나, 도시 가로수 토양의 CEC는 가장 낮은 수준을 보였는데 (Fig. 3C), 이는 도시 가로수 토양의 모래 함량이 많고, 점토 함량이 상대적으로 낮았기 때문이다.

Fig. 2. Soil sand (left) and clay (right) contents.

Fig. 3. Soil pH (A), organic matter (B) and CEC (C).

일반적으로 토양의 모래, 점토 함량과 pH, 유기물 함량, CEC 등은 토양 중 양이온성 중금속의 흡착 또는 보유능과 관련성이 높다 (Zhang et al., 2008; Vega et al., 2010). 따라서 위 도시 가로수 토양의 이화학적 특성을 볼 때, 도시 토양이 중금속을 보유하는 능력은 농경지와 산림 토양보다 낮아 도로에서 발생한 중금속이 도시 가로수 토양으로 유입 되면 지하수 등의 주변 환경으로 쉽게 확산될 수 있을 것으로 판단된다.

도시 가로수 토양의 중(준)금속 함량 본 연구에서 분석한 토지 이용별 토양의 중(준)금속 함량은 도시 가로수 토양 2지점의 Zn 함량을 제외하고는 모두 우리나라 토양오염우려기준보다 낮았으며, 도시 가로수 토양의 As, Cd, Cr, Ni 함량은 농경지 또는 산림 토양보다 평균 함량이 낮아 도시 환경 특히, 도로 분진에 의한 이들 중(준)금속이 가로수 토양에 미치는 영향은 미미했다 (Table 2). 토지 이용별 토양 평균 Pb 함량은 도시 가로수 토양이 36 mg kg^{-1} 로 가장 높았으나, 산림 토양과는 유의적 차이가 없는 것으로 보아, 현재까지는 As, Cd, Cr, Ni과 마찬가지로 연구 대상 가로수 지역 토양에 도로 분진 중 Pb의 영향도 낮은 것으로 보인다 (Table 2).

하지만 도시 가로수 토양의 평균 Zn 함량은 166 mg kg^{-1} 로 농경지, 산림 토양에 비해 1.7 - 1.9배 높았다 (Table. 2). 또한 Cu의 평균 함량도 도시 가로수 토양이 가장 높았으며 (Table. 2), 도시 가로수 토양의 Cu와 Zn 함량 간에 높은 양의 상관성을 보였다 (Fig. 4). 농업환경에서 사용되는 퇴비 중에는 Cu와 Zn 함량이 높아 퇴비 처리량에 따라 농경지 토양은 이들 중금속 영향을 받을 수 있다 (Nicholson et al., 1999; Ko et al., 2008). 도시 가로수 토양에도 주기적으로 토양 관리를 목적으로 퇴비 등 유기 자재를 투입하기 때문에 Cu와 Zn 함량이 높아질 수 있으며, 연구지역 도시 가로수 토양의 Cu와 Zn 간 상관성을 볼 때 동일한 공급원에 의해 영향을 받은 것으로 보인다. 또한 도시 가로수 토양의 Cu와 Zn 함량은 투입된 유기 자재 외에도 다른 요인의 영향을 받은 것으로 판단된다.

그동안 선행연구를 통해 도로 위 달리는 자동차에서 자동차 부품 부식, 윤활제, 타이어 마모 등에 의해 다양한 물질이 발생, 비산되고 이들 중에는 Cu, Zn 함량이 높은 것으로 나타났다 (Christoforidis and Stamatis, 2009; Nazarpour et al., 2019; Hong et al., 2020). Lee et al. (2020)는 중금속이 배출될 것으로 예상되는 자동차 각 부위에서 시료를 채취해 중금속 함량을 분석했는데, 자동차 휠, 브레이크, 타이어, 배기통 등을 통해 배출된 시료 중에 Cu와 Zn 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 자동차 정비소 창틀 및 바닥 분진 및 도로 주변 가로수 토양 내에도 Cu와 Zn이 다른 중금속에 비해 높았다. 이를 통해 본 연구 대상 지역 가로수 토양의 Cu와 Zn이 높은 이유도 자동차 내, 외부에서 배출된 Cu와 Zn이 유입, 축적된 결과라 할 수 있다. 이 외에도 도시 가로수 토양의 Cr과 Ni 함량은 다른 토지 이용별 토양보다 낮은 수준이었으나, 가로수 토양 Cr과 Ni 함량 간에 높은 양의 상관성을 보였고 (Fig. 4), Cr과 Ni이 자동차 제조 시 사용되는 합금강 등 다양한 부품 원료로 사용되기 때문에 (Kim et al., 2017; Jo et al., 2020) 도시 가로수 토양 내 Cu와 Zn 뿐만 아니라 Cr과 Ni에 대해 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다.

Table 2. Total As, Cd, Cr, Ni and Pb concentrations in the collected soil samples.

Land use		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		----- mg kg ⁻¹ -----						
Urban soil	Ave.	4.0b [†]	0.39a	45.3b	25.0a	11.4b	35.9a	166.3a
	Max.	9.2	0.69	67.1	58.7	21.2	71.9	466.9
	Min.	2.4	0.24	23.9	6.8	3.8	24.9	83.2
Agricultural soil	Ave.	4.8ab	0.38a	44.7b	15.9b	14.5b	26.4b	99.9b
	Max.	12.8	0.64	98.6	34.3	43.4	43.1	167.1
	Min.	1.7	0.20	8.9	2.6	1.6	17.4	61.7
Forest soil	Ave.	6.1a	0.43a	59.4a	20.6ab	25.2a	33.5a	87.8b
	Max.	11.9	0.78	121.9	72.9	75.9	54.3	170.6
	Min.	1.7	0.26	6.7	3.9	5.4	14.7	46.6
Natural abundances [‡]		6.8	0.29	25.4	15.3	17.7	18.4	54.3

[†] Means in each column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$) among land uses.

[‡] Yoon et al. (2009).

Fig. 4. Relationship between the concentrations of Cu and Zn (right) and Cr and Ni (left) in soils.

도시 가로수 토양의 중(준)금속 오염도 평가 토지 이용별 토양의 중(준)금속 오염도를 PI값으로 산출한 결과는 Table 3과 같다. 모든 토지 이용별 토양에서 As의 PI는 ‘낮은 오염수준 (Low polluted)’ 이하로 분류되었고, Cd은 도시 96%, 농경지 91%, 산림 93%가 ‘낮은 오염수준’ 이하로 분류되었다. 이를 통해 대상지역 모두 인위적 요소에 의한 As와 Cd 오염 영향은 미미한 것으로 보인다. Cr과 Ni의 PI는 도시 가로수 토양에서 농경지 또는 산림 토양에 비해 오염도가 낮은 것으로 나타났으나, 앞에서 언급한 바와 같이 도로 배출 분진에 의한 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 관리는 지속적으로 필요할 것이다. 도시 가로수 토양과 산림 토양의 Pb 함량은 통계적으로 유의차가 없었으나 (Table 2), PI 산출 결과에서 도시 가로수 토양 중 8% (2지점)가 ‘높은 오염수준 (Highly polluted)’으로 분류되어 일부 가로수 토양은 도로 배출 분진의 영향을 받는 것으로 보여진다.

Cu와 Zn 함량은 도시 가로수 토양에서 농경지와 산림 토양보다 상대적으로 높았고, 차량 이동에 따른 영향을 받았을 것으로 추정되어 PI 산출 결과에서도 높은 등급을 나타냈다. 특히, 도시 가로수 토양 Zn의 평균 PI는 3.1으로 ‘높은 오염수준’으로 분류되었고, 도시 가로수 대상 토양 중 77%가 Zn에 대해 $PI > 2$ (중간 오염수준, Moderately polluted)로 분류되어 다른 토지 이용별 토양 (농경지: 27.0%; 산림: 19.2%)보다 월등히 오염도가 높았다. Cu에 대한 PI도 도시 가로수 토

Table 3. Percentages of soil heavy metal (loid) pollution level classified by the single pollution index (PI).

		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Urban soil	Unpolluted	96	4	4	23	85	-	-
	Low polluted	4	92	54	42	15	69	23
	Moderately polluted	-	4	42	31	-	23	50
	Highly polluted	-	-	-	4	-	8	19
	Very Highly polluted	-	-	-	-	-	-	8
Agricultural soil	Unpolluted	77	23	14	50	68	9	-
	Low polluted	23	68	55	41	23	86	73
	Moderately polluted	-	9	27	9	9	5	23
	Highly polluted	-	-	5	-	-	-	5
	Very Highly polluted	-	-	-	-	-	-	-
Forest soil	Unpolluted	62	12	12	42	42	4	8
	Low polluted	38	81	35	38	35	65	73
	Moderately polluted	-	8	38	12	15	31	15
	Highly polluted	-	-	15	8	8	-	4
	Very Highly polluted	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 5. Comparisons of the percentages of $PI_{Nemerow}$ among different land uses.

양 중 35%가 ‘중간 오염수준’ 이상으로 분류되어 농경지 (9%), 산림 (20%) 토양보다 Cu 오염도가 높은 수준이었다.

Nemerow pollution index ($PI_{Nemerow}$)는 중(준)금속별 산출된 PI를 활용하여 통합적인 오염도를 평가하는 방식으로 산출한 토지 이용별 $PI_{Nemerow}$ 비율은 Fig. 5와 같다. 전체 도시 가로수 토양 시료 중 8%가 ‘심한 오염수준 (Heavy pollution)’으로 분류되긴 했지만 평균적으로는 도시 가로수 토양 $PI_{Nemerow}$ 값이 1.5로 농경지 토양 (1.1), 산림 토양 (1.4)과 같이 모두 ‘미미한 오염수준 (Slight pollution)’으로 분류되었다.

PI와 $PI_{Nemerow}$ 결과를 통해 춘천 도시 가로수 토양은 Cu와 Zn과 같은 일부 특정 중금속의 오염도가 높지만, 통합적인 중(준)금속 오염도는 농경지, 산림 토양과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 이는 Cu와 Zn이 포함된 도로 배출 분진의 토양 유입을 최소화하고, 가로수 토양 중 Cu와 Zn의 지속적인 관리가 필요함을 시사한다.

Conclusion

도시 가로수 토양은 외부에서 유입된 중금속을 보유할 수 있는 능력이 낮아 대부분의 중금속 함량은 농경지, 산림 토양에 비해 낮은 것으로 나타났다. 하지만 Cu와 Zn 등과 같은 중금속 함량은 상대적으로 높았으며, 이들 중금속은 자동차 배출 물질에 의해 축적된 것으로 보여진다. 또한 도시 토양 중 Cr과 Ni 함량 간 상관관계가 높고, 이들 중금속이 도로로부터 유래될 수 있는 점을 고려할 때 지속적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 지속적인 가로수 환경 관리를 위해서는 우선적으로 교통량이 많은 지역 인근 토양부터 Cu, Cr, Ni, Zn 등과 같은 중금속 함량 모니터링이 수행되고 확대되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 한국환경산업기술원 표토보전관리기술개발사업 (No: 2019002820004)의 지원을 받아 수행되었음.

References

- Bi, C., Y. Zhou, Z. Chen, J. Jia, and X. Bao. 2018. Heavy metals and lead isotopes in soils, road dust and leafy vegetables and health risks via vegetable consumption in the industrial areas of Shanghai, China. *Sci. Total Environ.* 619-620:1349-1357.
- Chen, H., Y. Teng, S. Lu, Y. Wang, and J. Wang. 2015. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Sci. Total Environ.* 512-513:143-153.
- Christoforidis, A. and N. Stamatis. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma* 3-4:257-263.
- De Silva, S., A.S. Ball, T. Huynh, and S.M. Reichman. 2016. Metal accumulation in roadside soil in Melbourne, Australia: Effect of road age, traffic density and vehicular speed. *Environ. Pollut.* 208:102-109.
- Equiza, M.A., M. Calvo-Polanco, D. Cirelli, J. Señorans, M. Wartenbe, C. Saunders, and J.J. Zwiazek. 2017. Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada. *Urban For. Urban Green.* 21:16-28.
- Georgi, N.J. and K. Zafiriadis. 2006. The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosyst.* 9:195-209.
- Han, B.H., J.I. Kwak, S.C. Park, and J.Y. Hur. 2014. A Study on Planning of Roadside Green for Enhancing Urban

- Green Network. Korean J. Environ. Ecol. 28(2):128-141.
- Hong, N., Y. Guan, B. Yang, J. Zhong, P. Zhu, Y.S. Ok, D. Hou, D.C.W. Tsang, Y. Guan, and A. Liu. 2020. Quantitative source tracking of heavy metals contained in urban roaddeposited sediments. *J. Hazard. Mater.* 393:122362.
- Jo, M., M. Lee, and K.R. Kim. 2020. Investigation of soil Cr and Ni contamination in different land uses and tracing the source of contamination. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):510-518.
- Kim, H.S., K.R. Kim, W.I. Kim, G. Owens, and K.H. Kim. 2017. Influence of road proximity on the concentrations of heavy metals in Korean urban agricultural soils and crops. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 72:260-268.
- Ko, H.J., K.Y. Kim, H.T. Kim, C.N. Kim, and M. Umeda. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Manage.* 28:813-820.
- Korea Forest Service. 2018. The statistics of urban forest. Korea Forest Service, Daejeon, Korea.
- Lee, M., N.K. Kim, and K.R. Kim. 2020. Identification of automobile-derived heavy metal(loid)s possibly loaded to soils through air dust deposit. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):558-565.
- Lim, G.H., B.H. Seo, K.H. Kim, H.S. Kim, W.I. Kim, G. Owens, and K.R. Kim. 2016. Transfer functions for estimating phytoavailable Cd and Pb in metal contaminated paddy and upland soils: Implications for phytoavailability based land management. *Geoderma* 270:89-97.
- NAS. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science & Technology. Suwon, Korea.
- NAS. 2010. Method of soil chemical properties analysis. National Institute of Agricultural Science & Technology. Suwon, Korea.
- Nazarpour, A., M.J. Watts, A. Madhani, and S. Elahi. 2019. Source, spatial distribution and pollution assessment of Pb, Zn, Cu, and Pb, isotopes in urban soils of Ahvaz City, a semi-arid metropolis in southwest Iran. *Sci. Rep.* 9:5349.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp.961-1009. In D.L. Sparks et al. (ed.) *Methods of soils analysis, Part 3-Chemical methods*. SSSA Books Series 5, Madison, WI.
- Nicholson, F.A., B.J. Chambers, J.R. Williams, and R.J. Unwin. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresour. Technol.* 70:23-31.
- Salmond, J.A., M. Tadaki, S. Vardoulakis, K. Arbuthnott, A. Coutts, M. Demuzere, K.N. Dirks, C. Heaviside, S. Lim, H. Macintyre, R.N. McInnes, and B.W. Wheeler. 2016. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environ. Health* 15:36.
- Vailshery, L.S., M. Jaganmohan, and H. Nagendra. 2013. Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. *Urban For. Urban Green.* 12:408-415.
- Vega, F.A., M.L. Andrade, and E.F. Covelo. 2010. Influence of soil properties on the sorption and retention of cadmium, copper and lead, separately and together, by 20 soil horizons: Comparison of linear regression and tree regression analyses. *J. Hazard. Mater.* 174:522-533.
- Werkenthin, M., B. Kluge, and G. Wessolek. 2014. Metals in European roadside soils and soil solution – A review. *Environ. Pollut.* 189:98-110.
- Yang, J.L. and G.L. Zhang. 2011. Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. *J. Soils Sediments* 11:751-761.
- Yang, J.L. and G.L. Zhang. 2015. Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61:30-46.
- Yoon, J.K., D.H. Kim, T.S. Kim, J.G. Park, I.R. Chung, and J.H. Kim. 2009. Evaluation on natural background of the soil heavy metals in Korea. *J. Soil Groundw. Environ.* 14(3):32-39.
- Zhang, W., G.O. Brown, and D.E. Storm. 2008. Enhancement of heavy metals retention in sandy soil by amendment with fly ash. *Trans. ASABE.* 51:1247-1254.