

doi: 10.11720/wtyht.2021.0064

侯佳渝,杨耀栋,程绪江.天津市城区不同功能区绿地土壤重金属分布特征及来源研究[J].物探与化探,2021,45(5):1130-1134.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0064>

Hou J Y, Yang Y D, Cheng X J. Distribution and sources of heavy metals in greenbelt soil in different functional zones of Tianjin City[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1130-1134. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0064>

# 天津市城区不同功能区绿地土壤重金属分布特征及来源研究

侯佳渝<sup>1</sup>, 杨耀栋<sup>2</sup>, 程绪江<sup>3</sup>

(1. 天津市地质事务中心, 天津 300040; 2. 天津市地质矿产测试中心, 天津 300191; 3. 天津市地质调查研究院, 天津 300191)

**摘要:** 对天津市中心城区内居住文教区、交通绿化带、工业区、公园、河岸 5 类功能区的绿地土壤中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 进行了调查研究。结果表明:天津市绿地土壤中重金属累积程度  $Hg > Cd > Pb > Zn > Cu$ ; As、Cr、Ni 平均含量接近背景值。Pb、Zn、Cu、As 在工业区绿地土壤中含量最高, Cd、Hg、Ni、Cr 在河岸绿地土壤中含量最高。大气沉降是重金属进入绿地土壤的主要途径;大气沉降物质重金属平均含量和土壤背景值的比值与绿地土壤重金属累积系数显著相关。大气重金属沉降量的差异是造成不同功能区绿地土壤重金属差异的主要原因;河岸绿地还受到河道污水灌溉和河道底泥的影响;生产和生活垃圾也可能造成重金属的局部累积。

**关键词:** 功能区;绿地土壤;重金属;分布特征;来源;天津城区

**中图分类号:** P595;X142

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2021)05-1130-05

## 0 引言

随着城市化的不断发展,城市土壤大部分被各类人工建筑物覆盖,绿地是城市暴露土壤的主要存在形式<sup>[1]</sup>,绿地在城市中是重要的生态资源,具有涵养水源、缓冲污染、防风固沙、调节小气候、保持生物多样性的功能,也是城市生态系统元素储存、迁移、转化的重要介质。重金属元素在人类生产、生活中使用广泛,工业“三废”、机动车尾气、生活垃圾、生活污水等都可能造成土壤重金属污染,对城市居民健康和城市的可持续发展带来了隐忧。

近年来,城市土壤重金属累积的问题受到广泛关注,国内外针对城市土壤重金属开展了一系列研究,但针对城市不同功能区绿地的研究还比较少。徐福银等<sup>[2]</sup>认为重庆不同功能区绿地土壤重金属含量整体较低,商业区和交通区受到污染的程度大于居住区和休闲区。陈为峰等<sup>[1]</sup>在山东某城市开

展了研究,发现工业区、风景名胜区、商业区和居民区绿地土壤污染程度较高。赵靛等<sup>[3]</sup>针对北方某城市的绿地土壤重金属开展了空间分析、污染评价,并通过多元统计的方式对重金属来源进行了分析。

本研究对天津市中心城区内的居住文教区、交通绿化带、工业区、公园、河岸等 5 类不同功能区的绿地土壤开展了调查和采样工作,在此基础上对重金属的分布规律和来源进行了分析和研究,旨在进一步了解城市生态系统中污染物质的迁移、转化、赋存规律,为城市生态文明建设提供依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

将绿地分为公园绿地、交通绿化带、工业区绿地、居住文教区绿地、河岸绿地 5 大类。为了兼顾均匀性和代表性,采样点网格化布置,1 km<sup>2</sup> 网格一个点,采样点布置在网格内比较典型的绿地上。共布

收稿日期: 2021-02-03; 修回日期: 2021-04-01

基金项目: 天津市城市地质调查项目(1212010511104)

第一作者: 侯佳渝(1981-),男,高级工程师,硕士学位,从事环境地球化学研究工作。Email:putaodaxian@qq.com

通讯作者: 杨耀栋(1982-),男,高级工程师,硕士学位,从事环境地质研究工作。Email: fivess@139.com

置采样点 267 个,其中居住文教区 102 个,交通绿化带 92 个,工业区 53 个,公园 11 个,河岸 9 个。土壤样品视采样点具体情况选取棋盘法、梅花点法、对角线法或蛇形法进行多点取样并混合,采样深度为 0~20 cm。

为了研究大气沉降物质对绿地土壤的影响,在城区共布置 13 个大气沉降接收装置,接收装置尽量均匀分布,保证每个区至少一个装置。接收装置安放于 15 m 高以上的屋顶平台上,周围 25 m 内无遮挡物,100 m 内没有供热站、工厂等污染源,放置时长一年。

## 1.2 样品分析

土壤样品在实验室用无污染球磨机研磨至 200 目,大气沉降样品不需研磨。称取 0.5 g 样品,用王水溶解样品,采用原子荧光法测定 As、Hg;称取 0.1 g 样品,用硝酸、盐酸、氢氟酸、高氯酸四酸溶样,采用等石墨炉原子吸收法测定 Cd,采用等离子体发射光谱法测定 Ni、Cu;称取 3.0 g 样品,粉末压饼法处理,采用 X 射线荧光光谱法测定 Cr、Pb、Zn。样品分析中的准确度和精密度、报出率、重复性检验等各项质量指标均满足要求。

## 2 结果与分析

### 2.1 绿地土壤重金属含量总体特征

天津市中心城区绿地土壤重金属元素含量统计数据如表 1。累积系数为绿地土壤元素平均含量与

土壤背景值的比值,反映土壤重金属元素的累积程度。土壤背景值采用天津市 1:25 万地球化学调查数据<sup>[4]</sup>。总体来看,天津市绿地土壤中 Hg、Cd 累积程度最高,累积系数分别为 7.66 和 3.15;其次是 Pb、Zn、Cu,累积系数分别为 1.85、1.81、1.61;As、Cr、Ni 累积系数都接近 1,平均含量接近背景值。

变异系数可以反映样品中重金属元素含量的离散程度。Cd 的变异系数为 3.39,远高于其他元素,分析数据显示多个采样点 Cd 含量大幅度高于其他点位,其中最大为  $20\ 664 \times 10^{-6}$ ,是天津市土壤背景值的 168 倍。Hg、Pb、Zn、Cu 的变异系数分别为 1.34、1.23、1.05、1.01;Cr、As、Ni 元素变异系数较低,分别为 0.27、0.25、0.17。

将天津绿地土壤重金属含量与国内外其他城市对比,由表 2 可见,与国内城市比较,北京公园绿地土壤 Hg 含量是天津绿地的 4.97 倍;香港公园绿地土壤 Cd 含量是天津绿地的 5.63 倍;其他元素的差异不突出。与国外城市都柏林、雅典比较,除 Cr 高于都柏林外,天津绿地土壤各重金属含量都相对更低。

相对于北京、雅典这样历史悠久的城市,以及香港、都柏林这类早期工商业较发达的城市,天津受到人类活动的影响更小,因此绿地土壤重金属累积程度更低。随着天津城市的进一步扩张和发展,我们需要提高污染防治的意识,避免或者减缓土壤重金属的持续累积。

依据《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)对绿地土壤进行

表 1 天津市绿地土壤重金属含量统计值

Table 1 Statistical parameters of heavy metals in greenbelt soil of Tianjin

参数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
平均值	11	387	81	45	175	33	44	148
最大值	26	20664	287	688	2020	69	810	2233
最小值	5	61	42	14	12	18	15	47
背景值 <sup>[4]</sup>	11	123	79	28	23	34	24	82
变异系数	0.25	3.39	0.27	1.01	1.34	0.17	1.23	1.05
累积系数	1.01	3.15	1.02	1.61	7.66	0.96	1.85	1.81

注: Cd、Hg 含量单位为  $10^{-9}$ ,其他元素为  $10^{-6}$ 。

表 2 天津市与其他城市土壤重金属的对比

Table 2 Comparison of urban soil heavy metal content in Tianjin and other cities

地区	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
天津绿地	11	387	81	45	175	33	44	148
北京公园 <sup>[5]</sup>	12	490		35	870	27	36	146
南京城区 <sup>[6]</sup>		290	80	47		35	46	134
重庆绿地 <sup>[2]</sup>			41	30	144		29	88
香港公园 <sup>[7]</sup>		2180		25			93	168
都柏林城区 <sup>[8]</sup>	16	1770	44	51	339	41	123	248
雅典城区 <sup>[9]</sup>	43	450	95	72		131	157	174

注: Cd、Hg 含量单位为  $10^{-9}$ ,其他元素为  $10^{-6}$ 。

评价,只有一个点的 Pb 含量略微超过筛选值,其他各点各元素含量都在筛选值以下,总体上可以认为天津市绿地土壤中的重金属对人体健康风险非常小。

### 2.2 不同功能区绿地土壤重金属含量特征

不同功能区绿地土壤重金属含量统计数据如表 3。在 5 种功能区中,工业区绿地 Pb、Zn、Cu、As 平均含量最高,Hg 排第 2 位。重金属元素在工业上被广泛使用,工业生产的各个环节都有可能释放出重金属并进入到城市生态系统。

河岸绿地中 Hg、Cd 平均含量显著高于其他功能区,Pb、Zn 含量也仅次于工业区。本研究认为这是因为河岸绿地相对其他区域还额外受到了河道污水灌溉和河道底泥的影响。

居民区机关文教单位绿地、交通绿化带和公园绿地中的重金属富集程度整体上相对工业区和河岸绿地更低。交通绿化带中的 Cd 平均含量排第 2 位,原因是受到最高值点的影响,如将该点剔除平均值将下降 48%,位于末位。

从变异系数来看,Cu、Ni、Pb、Zn 变异系数在工业区中最高,这 4 种元素在工业生产中广泛应用,区内不同类型工业的布局和排放特征导致了绿地土壤

中元素的不均匀累积。Cd、Hg 在居住文教区的变异系数最高,居住文教区人口密度最大,受到人类活动的影响最频繁,不规范的垃圾处置、废水排放等带来的局部污染导致了较高的变异系数。

### 2.3 绿地土壤重金属来源分析

经过调查认为,从区域上来看重金属进入绿地土壤的途径与农业区相似,主要包括:大气沉降、灌溉水和肥料 3 种途径。依据已有的研究成果,天津市郊区农用地土壤中的重金属主要来自于大气沉降物质<sup>[10]</sup>。本研究开展的调查显示单位面积绿地土壤使用的肥料量低于郊区农用地;灌溉水除了河岸绿地较多使用河水灌溉外,其他各种绿地主要使用自来水灌溉<sup>[11]</sup>,而自来水重金属含量整体低于农业灌溉水;同时,城市大气沉降物质重金属的年沉降量高于农业区<sup>[12-13]</sup>。从上述比较可以判断:相对于农业区,进入城市绿地土壤中的重金属有更高比例来自于大气沉降物质。因此认为大气沉降物质是天津市城市绿地重金属的主要输入途径。

表 4 列出了大气沉降物质重金属含量统计数据,其中平均值与天津市土壤背景值的比值可以反映大气沉降物质重金属的累积程度以及大气沉降物质落地后对土壤重金属含量影响的大小。大气沉降

表 3 不同功能区绿地土壤重金属含量统计参数

Table 3 Statistical parameters of heavy metals in greenbelt soil in different functional areas

功能区	样本量	参数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
居住、文教区	102	平均值	10	290	77	40	190	32	37	128
		最大值	16	4834	114	154	2020	44	113	458
		最小值	6	74	42	16	12	18	20	56
		变异系数	0.20	1.62	0.13	0.42	1.49	0.14	0.39	0.47
		累积系数	0.98	2.36	0.98	1.41	8.34	0.94	1.52	1.56
交通绿化带	92	平均值	11	467	77	40	123	32	36	120
		最大值	26	20664	118	203	628	43	222	417
		最小值	5	61	53	14	12	21	15	47
		变异系数	0.29	4.58	0.13	0.64	0.97	0.16	0.67	0.50
		累积系数	0.99	3.79	0.97	1.42	5.37	0.93	1.49	1.46
工业区	53	平均值	11	402	91	65	217	34	74	241
		最大值	20	2436	287	688	1509	69	810	2233
		最小值	6	84	59	16	18	23	18	51
		变异系数	0.23	0.90	0.40	1.40	1.13	0.23	1.49	1.30
		累积系数	1.08	3.27	1.15	2.30	9.51	0.99	3.10	2.95
公园	11	平均值	11	265	78	44	181	34	38	120
		最大值	17	395	93	87	795	44	60	167
		最小值	8	179	70	27	47	27	27	85
		变异系数	0.23	0.33	0.09	0.42	1.25	0.14	0.29	0.25
		累积系数	1.06	2.15	0.98	1.58	7.91	1.00	1.57	1.46
河岸	9	平均值	11	731	102	52	281	37	55	143
		最大值	18	3528	251	140	1224	49	166	358
		最小值	8	125	69	22	32	30	21	74
		变异系数	0.28	1.51	0.58	0.72	1.35	0.17	0.82	0.60
		累积系数	1.05	5.95	1.29	1.86	12.31	1.08	2.28	1.75

注: Cd、Hg 含量单位为 10<sup>-9</sup>, 其他元素为 10<sup>-6</sup>。

表 4 城区大气沉降物质重金属浓度统计值

Table 4 Statistical parameters of heavy metal concentration in atmospheric deposit

参数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
最大值	55	5690	400	459	4745	88	770	5677
最小值	17	1708	116	75	191	34	141	487
平均值	28	3688	192	142	894	58	234	1171
平均值/土壤背景值 <sup>[4]</sup>	2.80	22.74	2.42	4.66	22.46	1.69	8.94	13.57

注: Cd、Hg 含量单位为  $10^{-9}$ , 其他元素为  $10^{-6}$ 。

物质 Cd、Hg 分别达到土壤背景值的 22.74 和 22.46 倍;其次是 Zn、Pb、Cu, 分别是土壤背景值的 13.57、8.94 和 4.66 倍;As、Cr、Ni 都在 3 倍以下。大气沉降物质重金属含量显著高于绿地土壤, 但不同元素的累积特征和绿地土壤非常相似。表 4 中大气沉降物质重金属平均值与土壤背景值的比值与表 1 中绿地土壤重金属累积系数呈现出极强的相关性, 二者相关系数达到 0.80, 这也从侧面证实大气沉降物质是天津市城市绿地累积重金属的主要来源。

大气沉降物质中的重金属含量与人类活动密切相关, 不同区域的大气沉降物质重金属含量有明显差异, 工业区重金属的年沉降量一般高于居住和文教区<sup>[12]</sup>, 这是造成不同类型绿地重金属累积程度不一的主要原因。

河岸绿地因为大量使用河道污水灌溉, Hg、Cd、Pb、Zn 的富集程度明显高于绿地均值。天津市河道内的污水来自于上游工业和生活污染源, 重金属元素含量偏高, 根据已有的调查成果, 在城区周边长期使用污水灌溉的农用地土壤 Hg、Cd、Pb、Zn 等也有不同程度的累积<sup>[14]</sup>。

相对于农业用地和生态用地, 城市绿地土壤受到人类活动的影响更大, 出现重金属含量异常高值的概率更高。这些出现异常高值的点位往往受到了局部的污染。河岸绿地在河道清淤的时候堆积的河道底泥, 居民区绿地上丢弃的温度计、电池、灯泡, 工业区内丢弃的半导体零件、蓄电池等都可能造成重金属在局部地区高水平累积。

### 3 结论

1) 天津市绿地土壤重金属累积程度  $Hg > Cd > Pb > Zn > Cu$ , 其中 Hg、Cd 累积系数高达 7.66 和 5.95; As、Cr、Ni 平均含量接近背景值。

2) Pb、Zn、Cu、As 在工业区绿地土壤中含量最高, Cd、Hg、Ni、Cr 在河岸绿地土壤中含量最高。居住文教区绿地、交通绿化带、公园绿地土壤重金属累积程度相对更低。

3) 大气沉降是重金属进入绿地土壤的主要途径; 大气沉降物质重金属平均含量和土壤背景值的比值与绿地土壤重金属累积系数显著相关。

4) 大气重金属沉降量的差异是造成不同功能区绿地土壤重金属差异的主要原因; 河岸绿地还受到河道污水灌溉和河道底泥的影响; 生产和生活垃圾也可能造成绿地土壤重金属的局部累积。

### 参考文献 (References):

- [1] 陈为峰, 孙其远, 宋希亮, 等. 不同城市功能区绿地土壤重金属分布及其生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 148-153.  
Chen W F, Sun Q Y, Song X L, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metal elements in soils of green spaces at different urban functional areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 148-153.
- [2] 徐福银, 胡艳燕. 重庆市不同功能区城市绿地土壤重金属分布特征与评价[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 227-231.  
Xu F Y, Hu Y Y. Distribution and pollution assessment on heavy metals in urban soils of different functional areas in Chongqing[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(1): 227-231.
- [3] 赵靓, 梁云平, 陈倩, 等. 中国北方某城市城市绿地土壤重金属空间分布特征、污染评价及来源解析[J]. 环境科学, 2020, 41(12): 5552-5561.  
Zhao L, Liang Y P, Chen Q. Spatial distribution, contamination assessment, and sources of heavy metals in urban green space soil of a northern city in China[J]. Environmental Science, 2020, 41(12): 5552-5561.
- [4] 曹淑萍. 天津市水土环境地球化学调查成果报告[R]. 天津市地质调查研究院, 2009.  
Cao S P. Report of soil and water environment geochemical survey in Tianjin[R]. Tianjin Institute of Geological Survey, 2009.
- [5] 刘玲玲. 北京城市公园表层土壤重金属污染评价及风险评估[D]. 合肥: 安徽大学, 2020.  
Liu L L. Heavy metal(loid)s pollution in surface soil of Beijing urban park and their risk assessment[D]. Hefei: Anhui University, 2020.
- [6] 黄顺生, 吴新民, 颜朝阳, 等. 南京城市土壤重金属含量及空间分布特征[J]. 城市环境与城市生态, 2007(2): 1-4.  
Huang S S, Wu X M, Yan C Y, et al. Heavy metal concentration and their spatial distribution in urban soils of Nanjing[J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2007(2): 1-4.
- [7] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban



- soils and street dusts in Hong Kong [J]. *Applied Geochemistry*, 2001, 16(11):1361-1368.
- [8] Glennon M M, Harris P, Ottesen R T, et al. The Dublin SURGE Project: Geochemical baseline for heavy metals in topsoils and spatial correlation with historical industry in Dublin, Ireland [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2014, 36(2):235-254.
- [9] Kelepertzis E, Argyraki A. Geochemical associations for evaluating the availability of potentially harmful elements in urban soils: Lessons learnt from Athens, Greece [J]. *Applied Geochemistry*, 2015, 59:63-73.
- [10] 侯佳渝,申燕,曹淑萍,等.天津市郊区菜地土壤重金属通量的研究[J].*安徽农业科学*,2013,41(13):5764-5773.  
Hou J Y, Shen Y, Cao S P, et al. Heavy metal flux research in Tianjin suburb vegetable farmland [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(13):5764-5773.
- [11] 胡颖,马波,冯婷.天津住宅小区景观用水问题探析[J].*现代农业科技*,2009(1):72-74.  
Hu Y, Ma B, Fen T. Analysis of landscape water use in residential district of Tianjin [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009(1):72-74.
- [12] 侯佳渝,刘金成,曹淑萍,等.天津市城区大气干湿沉降地球化学研究[J].*地质调查与研究*,2013,36(2):131-135.  
Hou J Y, Liu J C, Cao S P, et al. Study on the dry and wet atmospheric deposition in the urban area of Tianjin [J]. *Geological Survey and Research*, 2013, 36(2):131-135.
- [13] 王卫星,曹淑萍,李攻科,等.津北大气干湿沉降重金属元素通量与评价研究[J].*环境科学与管理*,2017,42(5):46-51.  
Wang W X, Cao S P, Li G K, et al. Sedimentation flux and its evaluation of dry and wet atmospheric deposition of heavy metal elements in North Tianjin [J]. *Environmental Science and Management*, 2017, 42(5):46-51.
- [14] 张云霞,曹淑萍,程绪江,等.中华人民共和国多目标区域地球化学图集(天津市)[M].北京:地质出版社,2016:70.  
Zhang Y X, Cao S P, Chen X J, et al. Multi-purpose regional geochemical atlas (Tianjin) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2016:70.

## Distribution and sources of heavy metals in greenbelt soil in different functional zones of Tianjin City

HOU Jia-Yu<sup>1</sup>, YANG Yao-Dong<sup>2</sup>, CHENG Xu-Jiang<sup>3</sup>

(1. Tianjin Center of Geological Affairs, Tianjin 300042, China; 2. Tianjin Geological Mineral Test Center, Tianjin 300191, China; 3. Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** This study investigated the elements of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn in greenbelt soil in five types of functional zones in the urban area of Tianjin City, namely residential and educational zones, traffic greenbelts, industrial zones, parks, and river banks. The results are as follows. The overall accumulation of heavy metals in the greenbelt soil is in the order  $Hg > Cd > Pb > Zn > Cu$ , with the average content of As, Cr, and ni approximating to the background values. Pb, Zn, Cu, and as have the highest content in the greenbelt soil in industrial zones, while Cd, Hg, Ni, and Cr have the highest content in river banks. Heavy metals mainly migrate into greenbelt soil by means of atmospheric deposition. Moreover, the accumulation coefficient of heavy metals in greenbelt soil is significantly correlated with the ratio of the average content of heavy metals in atmospheric deposition and the background value of the heavy metals in the soil. Meanwhile, the difference in heavy metal content between the greenbelt soil in different functional zones are mainly caused by the difference in the quantity of the heavy metals in the atmospheric deposition. Besides, the greenbelt soil on river banks is also affected by sewage irrigation and river sediments, and industrial and household waste may also cause local accumulation of heavy metals.

**Key words:** functional zone; greenbelt soil; heavy metal; distribution characteristics; source; Tianjin City

(本文编辑:蒋实)