

环境监测在公路两旁农田土壤重金属的分析与评价上的应用

黄蕾¹, 商景阁², 刘伟^{1*}, 陈帅¹

¹新疆工程学院化学与环境工程学院, 新疆 乌鲁木齐

²中国药科大学工学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年12月3日; 录用日期: 2024年1月4日; 发布日期: 2024年1月11日

摘要

随着交通运输业的迅速发展, 公路两旁农田表层土壤重金属污染日益突出, 本文选取乌昌快速公路为研究对象, 经过野外调查取样进行室内分析, 依据《土壤和沉积物铜、锌、铅、镍、铬的测定火焰原子吸收分光光度法》(HJ491-2019), 对该路段两侧农田土壤样品中的铜、铬、铅和锌4种金属元素进行了测定。测定结果显示, 该公路两侧农田土壤重金属污染随距路基距离的增加整体呈降低的趋势; 路边防护林和绿化带对重金属的累积和迁移有重要影响; 结合重金属单因子和综合污染指数评价可知, 重金属Cu、Cr、Zn和Pb均未对土壤造成危害, 但Cu有污染土壤的潜在风险, 主要来自于刹车和散热器的腐蚀磨损。

关键词

重金属, 公路交通, 农田土壤, 污染指数评价

Application of Environmental Monitoring in the Analysis and Evaluation of Heavy Metals in Farmland Soils on Both Sides of Highways

Lei Huang¹, Jingge Shang², Wei Liu^{1*}, Shuai Chen¹

¹College of Chemical and Environmental Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi Xinjiang

²College of Engineering, China Pharmaceutical University, Nanjing Jiangsu

Received: Dec. 3rd, 2023; accepted: Jan. 4th, 2024; published: Jan. 11th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 黄蕾, 商景阁, 刘伟, 陈帅. 环境监测在公路两旁农田土壤重金属的分析与评价上的应用[J]. 土壤科学, 2024, 12(1): 17-26. DOI: 10.12677/hjss.2024.121003

Abstract

With the rapid development of transportation industry, heavy metal pollution of farmland topsoil on both sides of highway is increasingly prominent. In this paper, the Wuchang expressway was selected as the research object, and indoor analysis was carried out through field investigation and sampling, and the contents of copper, chromium, lead and zinc in soils samples from farmland on both sides of the road were determined based on the flame atomic absorption spectrophotometer for the determination of copper, zinc, nickel and chromium in soils and sediments (HJ491-2019). The results showed that the heavy metal pollution of farmland soil on both sides of the highway decreased with the increase of the distance from the roadbed, roadside shelterbelts and green belts had an important effect on the accumulation and migration of heavy metals. Combined with the evaluation of single factor and comprehensive pollution index of heavy metals, it can be seen that heavy metals Cu, Cr, Zn and Pb do not harm the soil, but Cu has the potential risk of polluting the soil, mainly from the corrosion and wear of brakes and radiators.

Keywords

Heavy Metals, Road Traffic, Farmland Soil, Pollution Index Evaluation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济全球化带动了交通业和运输业的快速发展,全球的机动车和道路数量急剧上升,同时繁忙的交通也让道路两旁的土壤重金属污染越来越突出。这些重金属污染物主要来自机动车辆燃料的燃烧、汽车引擎以及刹车时的磨损,冷却剂的渗漏和腐蚀等[1] [2]。由于重金属难以降解,一旦进入环境就很难消除,具有不可逆性。当土壤重金属含量超过了它自身的自净能力时,就会改变土壤自身原有的系统平衡,导致土壤的组成结构和功能性质发生变化,然后更进一步致使土壤的生产能力下降,影响农作物质量和产量,也可导致大气和水等环境质量恶化,并通过食物链危机人类生存[3] [4] [5] [6]。乌鲁木齐至昌吉公路(乌昌快速)作为一条主要交通干道,交通繁忙,而两侧也存在农田,土壤环境质量与当地居民的健康有着密切的联系,因此有必要开展公路沿线土壤重金属污染研究。

本文以乌昌快速公路为研究对象,利用火焰原子吸收分光光度法,对公路两侧土壤中铜、铬、铅和锌4种金属元素的总量进行了测定,探讨了公路两侧土壤重金属污染的空间分布规律,运用单因子和综合污染指数评价了土壤重金属的污染程度,揭示了重金属对土壤环境产生污染的影响程度,为公路两侧土壤的合理使用和污染防治提供了科学依据。

2. 材料和方法

2.1. 采样断面的布置

本文研究区域选取乌昌快速公路,具体选取路段为新疆大光华国际学校至新疆生产建设兵团兴新职业技术学院。根据地形特征,研究断面以公路为对称轴设立三组断面(图1),其中,1号断面位于靠近昌吉市方向新疆生产建设兵团兴新职业技术学院附近的开阔地带,均为农田,周围无重点污染源;2号断

面位于亚心文旅产业园和交警大队附近，向北延伸到五一农场，向南有亚心花海，3号断面位于新疆大光华国际学校附近，近靠乌昌立交桥，南北与乌奎高速并行，附近有机场高速等主要交通干线，日常交通运输繁忙。



Figure 1. Sampling section distribution
图 1. 采样断面分布

2.2. 样品的采集及制备

样品采集采用的是等间距采样方法[7]。在选择具有代表性的采样断面上，避开人工填充物，如沙层、砖瓦砾石、混凝土碎屑、生活垃圾等。以公路为对称轴布三组断面，在每个断面上按距路肩 5 m、10 m、20 m、30 m、50 m、75 m、100 m 的距离，在道路两侧对称布置。在采样断面每个采样点单元内采用梅花形布点法采集 5 个子样，每个采样点采集约为 100 g 左右的土壤表层样品，最后将各个采样点的样品充分混合，按“四分法”获得 0.5 kg 左右的土壤混合样品，然后装在聚乙烯袋中带回实验室。

将土壤样品置于阴凉通风、无阳光直射的室内，使其均匀干燥。在风干过程中，砾石、植物残渣等杂质被挑出。用四分法分离所需土样，研磨通过 0.149 mm (100 目) 尼龙筛。将筛选后的土样装入样品瓶或袋中，及时填写标签。

2.3. 仪器与试剂

火焰原子吸收分光光度计采用北京普析 TAS-990 (附带所测元素的空心阴极灯)；电子天平由梅特勒-托利多集团生产，型号为 ME104E，精度达到 0.0001 g。铜、铬、锌和铅 4 种金属标准溶液均购于国家有色金属及电子材料分析测试中心；硝酸、氢氟酸、高氯酸均购于国药集团药业股份有限公司(优级纯)。

2.4. 土壤样品的预处理及分析

土壤样品采用电热板-坩埚消解法[8]。用电子天平称取 0.5000 g 样品于聚四氟乙烯坩埚中，加入 10 mL 硝酸，10 mL 氢氟酸，5 mL 高氯酸，置于电热板上在 175℃ 下加热，开始冒白烟后，升温至 200℃ 继续赶酸至无白烟，加入 8 mL 王水，继续加热赶酸，待坩埚内剩极少量王水时取下，冷却后转移至 50 mL

容量瓶内，定容后测其含量。

分析方法采用火焰原子吸收分光光度计(北京普析 TAS-990)测定土壤重金属 Cu、Cr、Zn 和 Pb 总量 [9]，为保证土壤重金属含量测定结果的可靠性，测定过程中加入定量的待测金属元素标准物质进行质量控制，按金属元素的测定步骤分析。pH 值用 1:2.5 水土比浸提 pH 玻璃电极法测定 [10]。

2.5. 数据处理方法

2.5.1. 标准曲线

铜、铬的标准系列溶液浓度均为 0.00 mg/L、0.10 mg/L、0.30 mg/L、0.50 mg/L、0.70 mg/L、1.00 mg/L；铅的标准系列溶液浓度为 0.00 mg/L、0.50 mg/L、1.00 mg/L、3.00 mg/L、5.00 mg/L、7.00 mg/L。锌的标准系列溶液为 0.00 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、0.20 mg/L、0.30 mg/L、0.40 mg/L；由低浓度到高浓度依次测定标准系列溶液的吸光度，重金属的浓度为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制标准曲线。曲线回归方程如表 1 所示。

Table 1. Standard curve regression equation

表 1. 标准曲线回归方程

重金属元素	回归方程	相关系数 r
铜	$y = 0.215x + 0.002$	0.9995
铬	$y = 0.119x + 0.002$	0.9997
铅	$y = 0.122x + 0.002$	0.9998
锌	$y = 0.560x + 0.001$	0.9990

仪器测定条件见表 2 所示。

Table 2. Instrument measurement conditions

表 2. 仪器测定条件

项目	铅	锌	铜	镉
测定波长	283.3	213.8	324.7	228.8
燃气	乙炔	乙炔	乙炔	乙炔
助燃器	空气	空气	空气	空气
测定相	有机相	水相	水相(或有机相)	有机相
火焰类型	氧化型	氧化型	氧化型	氧化型
曲线范围	0.5~10.0	0.5~10.0	0.5~10.0	0.05~1.0

2.5.2. 评价标准与方法

1) 评价标准

本文采用了单因子指数法和综合污染指数法 [11] 对农田土壤受污染程度进行分析和评价。各个采样断面中的 pH 值范围均在 7.1~7.5 之间，土壤 pH 值总体偏碱性。因此采用 GB15618-2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》中风险筛选值 $6.5 \leq \text{pH} \leq 7.5$ 。重金属筛选值如表 3 所示。

Table 3. Heavy metal screening values (mg/kg)

表 3. 重金属筛选值(mg/kg)

元素	Cu	Cr	Zn	Pb
浓度(mg/kg)	100	200	250	120

2) 评价方法

单因子指数法所用公式为[12]:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式(1)中: P_i 为土壤中污染物 i 的污染指数; C_i 为调查点污染物 i 的实测浓度(mg/kg); S_i 为污染物 i 的评价标准(mg/kg)。若 $P_i \geq 1$ 则存在污染; 反之若 $P_i < 1$ 则不存在污染。

综合污染指数法计算公式为[13]:

$$I = \left\{ 1/2 \left[\text{average}(C_i/S_i)^2 + \max(C_i/S_i)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (2)$$

式(2)中, I 为土壤重金属综合污染指数; $\text{average}(C_i/S_i)$ 为土壤各重金属污染分指数的平均值; $\max(C_i/S_i)$ 为土壤重金属污染指数中最大的污染指数。

土壤重金属综合污染指数法的分级标准为:

$I_i \leq 1$ 非污染, $1 < I_i \leq 2$ 轻污染, $2 < I_i \leq 3$ 中污染, $I_i > 3$ 重污染[14]。

3. 结果与讨论

1) 表层土壤重金属测定结果

对采自乌昌快速公路两侧的表层土壤样品重金属进行监测分析, 结果见表 4 所示。

Table 4. Statistical results of heavy metal content in surface soil of farmland on both sides of Wuchang expressway
表 4. 乌昌快速公路两旁农田表层土壤重金属含量统计结果

采样断面 编号	距路基距离(m)	重金属含量(mg/kg)			
		Cu	Cr	Zn	Pb
1 北	0	72.74	61.72	189.91	70.13
	5	58.62	62.50	162.30	62.93
	10	68.23	77.35	162.86	44.51
	20	67.70	75.92	163.09	43.31
	30	72.72	56.02	155.38	41.50
	50	57.60	54.93	132.44	41.04
	75	57.33	49.03	128.45	35.25
	100	55.12	27.81	126.75	34.31
	均值	63.75	58.16	152.65	40.62
1 南	0	63.77	38.46	185.62	59.91
	5	67.55	50.39	247.78	60.26
	10	78.03	51.06	299.16	76.92
	20	59.53	63.52	168.23	53.32
	30	52.92	24.56	132.95	50.92
	50	51.31	23.50	112.72	37.04
	75	50.22	22.69	110.52	35.26
	100	49.25	21.47	109.43	35.05
	均值	59.07	36.96	170.80	51.09
2 北	0	88.73	55.41	306.62	103.39
	5	83.73	62.71	326.52	82.25
	10	68.56	73.77	317.23	76.99
	20	104.21	49.51	236.56	69.11
	30	110.08	25.74	251.04	64.10
	50	82.08	25.09	243.81	62.53
	75	63.45	19.92	164.92	55.04
	100	43.37	12.17	132.97	48.05
	均值	80.53	40.54	247.45	70.18

续表

2 南	0	59.78	57.25	119.77	69.45
	5	66.05	67.83	137.38	73.29
	10	69.34	94.46	149.05	76.62
	20	48.20	98.70	152.88	66.80
	30	49.053	46.97	151.77	47.45
	50	44.03	34.73	135.50	46.23
	75	43.16	32.89	130.36	45.79
	100	40.76	29.26	127.89	44.78
	均值	52.55	57.76	138.08	58.80
3 北	0	75.67	86.59	216.49	166.50
	5	86.43	115.17	255.67	158.88
	10	78.52	203.06	261.10	117.09
	20	77.30	115.69	168.08	112.58
	30	61.63	107.46	144.70	107.61
	50	54.05	39.64	120.23	75.95
	75	52.67	37.89	116.45	70.67
	100	40.23	35.15	107.14	68.34
	均值	65.81	92.58	173.73	109.70
3 南	0	110.60	97.57	201.88	129.20
	5	122.71	126.08	225.20	130.99
	10	110.17	190.59	236.65	101.48
	20	121.86	126.91	214.70	80.34
	30	65.34	70.27	156.23	78.62
	50	60.89	68.56	136.38	76.56
	75	59.25	66.48	110.15	73.28
	100	57.45	65.83	90.79	70.12
	均值	88.53	101.54	171.50	92.57

3 个采样断面均是土壤重金属 Zn 含量较高, 而 Cu、Cr 和 Pb 含量均较小。其中, Cu 含量的分布范围在 40.23~122.71 mg/kg 之间, 均值为 68.37 mg/kg, Cr 含量的分布范围在 12.17~203.06 mg/kg 之间, 均值为 64.59 mg/kg; Zn 含量的分布范围在 90.79~326.52 mg/kg 之间, 均值为 175.70 mg/kg, Pb 含量的分布范围在 34.31~166.50 mg/kg 之间, 均值为 71.49 mg/kg。结合表 3 重金属的标准值可知, 四种重金属的均值均小于其相对应的标准值。

2、公路两侧土壤 Cu 含量水平分布

重金属 Cu 在公路两侧土壤中的水平分布如图 2 所示。公路两侧土壤重金属 Cu 含量整体上随着距路基距离的增加处于减少的趋势。

在公路北侧 1、2 号断面上重金属 Cu 呈先降低后增长再降低的趋势, 原因是这两个断面 20~30 m 处均另有一辅路, Cu 的变化显得比较大。3 号断面上 5 m 处出现峰值, 应该是 1~5 m 处绿化带阻滞了重金属的迁移, 导致其含量累积增长。

在公路南侧 1、2 号断面呈先增长再降低的趋势, 说明道路边绿化带起到了阻滞作用, 在 3 号断面出现了两个增加峰值, 分别在 5 m 和 20 m 处, 导致第一个峰出现的原因是 5 m 处有绿化带阻滞, 重金属沉降下来, 第二个峰出现在 20 m 处, 原因在于有工业区, 工业区的排放对其有一定的影响。

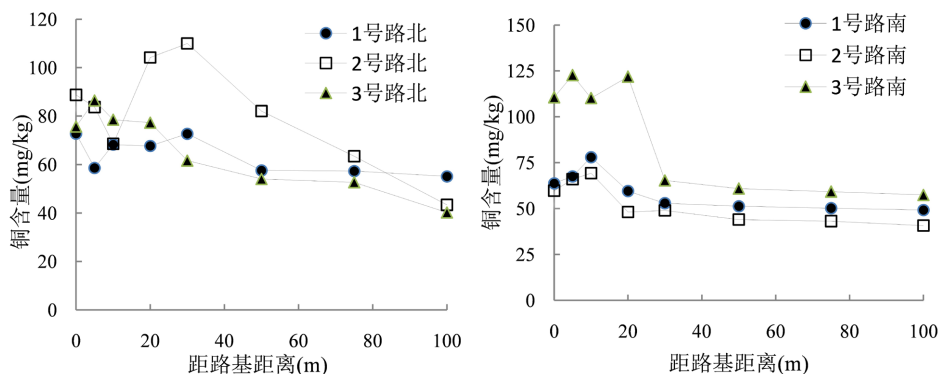


Figure 2. Horizontal distribution of Cu in soil on both sides of the road

图 2. Cu 在公路两侧土壤中的水平分布

3、公路两侧土壤 Cr 含量水平分布

不同断面重金属 Cr 在公路两侧土壤中的水平分布如图 3 所示。由图 3 可以看出，整个公路两侧土壤重金属 Cr 含量整体上处于减少的趋势。

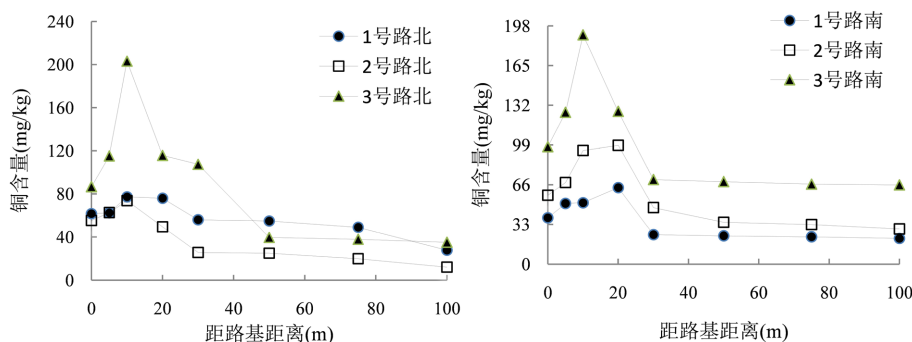


Figure 3. Horizontal distribution of Cr in soil on both sides of the road

图 3. Cr 在公路两侧土壤中的水平分布

1 号、2 号和 3 号断面路基处虽有防护林的遮挡，但 Cr 容易被粒径较小的颗粒吸附，因而 Cr 具有较强的迁移能力，能穿过防护林沉降下来，因而 1 号、2 号和 3 号断面 Cr 含量峰值并不是出现在路基处，而是出现在距路基 10 m 远的地方，之后含量随着距路基距离的增大而逐渐减小。

4、公路两侧土壤 Zn 含量水平分布

不同断面重金属 Zn 在公路两侧土壤中的水平分布如图 4 所示。

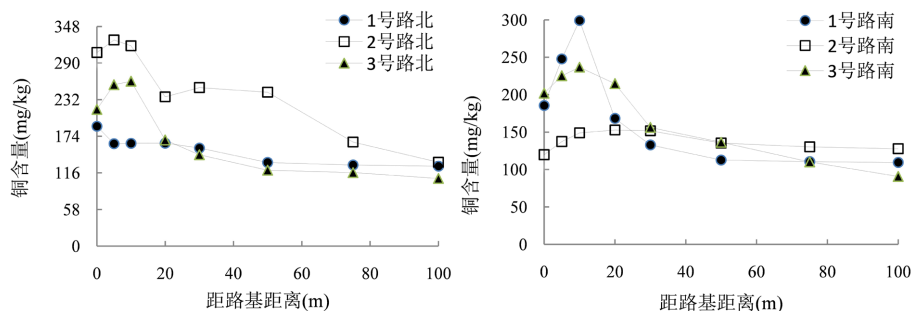


Figure 4. Horizontal distribution of Zn in soil on both sides of the road

图 4. Zn 在公路两侧土壤中的水平分布

由图4可知,重金属Zn在各断面变化差异巨大,南北两侧和各断面之间都有不同,在北侧1号断面处呈下降趋势,2号断面先增长后降低,而北侧交警大队车辆集中,进出车辆对Zn的影响较大。3号断面呈先增长后降低趋势,是因为5m处有绿化带阻滞迁移导致,Zn含量在5m处出现了峰值,随后含量逐渐降低。

在南侧,1号、2号和3号断面Zn含量随距路肩距离的增加基本呈先增后降的趋势,主要是因为绿化带稠密度对重金属的富集迁移程度影响较大。

5、公路两侧土壤Pb含量水平分布

不同断面重金属Pb在公路两侧土壤中的水平分布如图5所示。

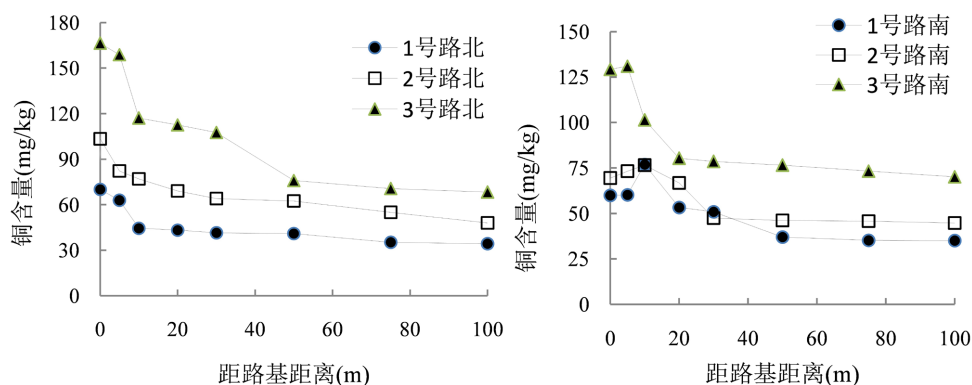


Figure 5. Horizontal distribution of Pb in soil on both sides of the road

图5. Pb在公路两侧土壤中的水平分布

1号、2号和3号断面北边路基处有防护林,防护林有较强的阻挡作用,可以有效保护路侧0~10m范围内的土壤。Pb微粒遇到防护林的阻挡,便沉降下来,于是路基处Pb含量较高,穿过防护林后Pb含量便逐渐减少。南侧Pb含量先增加后减少,主要原因在于绿化带的作用。

6、土壤重金属污染程度评价

根据采样点的实际情况和测得的土壤pH值,根据选择的评价标准对土壤重金属污染程度进行评价。评价结果见表5所示。

Table 5. One-way pollution index and comprehensive pollution index of heavy metals in surface soil of farmland on both sides of Wuchang expressway

表5. 乌昌快速公路两旁农田表层土壤重金属单向污染指数和综合污染指数

采样断面编号	单向污染指数(P_i)				综合污染指数(I)
	Cu	Cr	Zn	Pb	
1 北	0.64	0.29	0.61	0.34	0.56
1 南	0.59	0.18	0.68	0.43	0.58
2 北	0.81	0.20	0.98	0.58	0.83
2 南	0.53	0.29	0.55	0.49	0.51
3 北	0.65	0.46	0.69	0.91	0.81
3 南	0.88	0.51	0.69	0.77	0.80

从各采样断面的单项污染指数分析:重金属的污染次序中,1号断面路北表现为Cu > Zn > Pb > Cr; 1号断面路南、2号断面路北和路南均表现为Zn > Cu > Pb > Cr; 3号断面路北表现为Pb > Zn > Cu > Cr;

3号断面路南表现为 $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr}$ 。

各断面南北两侧土壤重金属的单项污染指数均小于 1，说明其实际含量均低于标准值，表明重金属 Cu、Cr、Zn 和 Pb 均未对土壤造成危害。

从各断面的综合污染指数来看，不同断面土壤重金属污染程度顺序为：2号断面北侧 > 3号断面北侧 > 3号断面南侧 > 1号断面南侧 > 1号断面北侧 > 2号断面南侧；各断面土壤重金属综合污染指数均小于 1，与单项污染指数结果相同，表明土壤均未受到重金属 Cu、Cr、Zn 和 Pb 的污染。

土壤虽未受到重金属的污染，但由表 5 可知，1号、2号断面和 3号断面路南土壤中 Cu 的含量较高，存在潜在的污染风险。依据[15][16][17] Cu 主要来自刹车和散热器的腐蚀磨损，Cr 主要来自废气和轮胎磨损，Zn 主要来自轮胎磨损，Pb 主要来自废气可知，公路交通对路旁土壤环境的污染主要来自机动车的刹车和散热器的腐蚀磨损，排放到空气中的 Cu 扩散后对土壤存在潜在的污染风险。

4. 结论

(1) 乌昌快速公路两旁农田表层土壤重金属含量整体上呈现随距路肩距离的增加而减少的趋势；该路段两侧土壤重金属累计峰值集中于 5 m~20 m 之内，路边绿化带是该整体趋势的共性因素。

(2) 结合重金属污染指数评价可知，重金属 Cu、Cr、Zn 和 Pb 的含量均低于土壤环境背景值，均达到污染水平。但 Cu 有对土壤污染的潜在风险，其主要来自于刹车和散热器的腐蚀磨损，受人为来源程度较明显。

基金项目

新疆教育厅教改项目(XJGXPTJG-202265)；新疆教育厅高校基本科研业务费科研项目(XJEDU2023P135)；新疆工程学院校级教学改革项目(XJGCJGB202308)；新疆维吾尔自治区创新训练项目(S202210994036)。

参考文献

- [1] Lee, P.K., Yu, Y.H., Yun, S.T., *et al.* (2005) Metal Contamination and Solid Phase Partitioning of Metals in Urban Roadside Sediments. *Chemosphere*, **60**, 672-689. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.048>
- [2] Nabulo, G., Oryem-Origa, H. and Diamond, M. (2006) Assessment of Lead, Cadmium and Zinc Contamination of Roadside Soils, Surface Films and Vegetables in Kampala City, Uganda. *Environmental Research*, **101**, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.12.016>
- [3] 刘桂岭, 张保森, 冯志国, 等. 大庆市环境质量报告书(2001-2005) [R]. 大庆: 大庆市环境保护局, 2006: 10-97.
- [4] 张丙华. 公路沿线土壤中重金属的含量分布[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(2): 55-56, 118.
- [5] 李艳利, 李成杰, 杨小燕. 焦克公路沿线土壤中重金属的污染分布及形态分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2010, 29(6): 831-836.
- [6] 常鹏云, 谢英荷, 程红艳, 等. 镉对 6 种根菜类蔬菜生长状况及品质的影响研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(1): 126-130.
- [7] 李春鸣. 土壤样品的采集和处理[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2003(3): 74-75.
- [8] 徐泽林. 土壤消解方法的比较[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2018(2): 12-13.
- [9] 刘伟, 刘汉湖, 邱超, 等. 徐州市三环南路沿线土壤重金属污染及相关性分析[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(10): 67-70.
- [10] 李仁英, 张民, 杨浩. 山东省主要果园土壤中 Cu、Zn 的形态、含量及分布[J]. 农村生态环境, 2002, 18(4): 41-44.
- [11] 赵瑞芬, 程滨, 滑小赞, 等. 忻州市灌区土壤重金属污染评价及分布特征分析[J]. 北方园艺, 2021(6): 81-88.
- [12] 黄蕾, 刘伟, 杜伟伟. 某市公路两侧土壤垂直剖面处重金属污染特征研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(21): 101-104.
- [13] Huang, Y., Chen, Q.Q., Deng, M.H., *et al.* (2018) Heavy Metal Pollution and Health Risk Assessment of Agricultural

Soils in a Typical Peri-Urban Area in Southeast China. *Journal of Environmental Management*, **207**, 159-168.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.072>

- [14] 曹雪莹, 张莎娜, 谭长银, 等. 中南大型有色金属冶炼厂周边农田土壤重金属污染特征研究[J]. 土壤, 2015, 47(1): 94-99.
- [15] Van Bohemen, H.D., *et al.* (2003) The Influence of Road Infrastructure and Traffic on Soil, Water, and Air Quality. *Environmental Management*, **31**, 50-68. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2802-8>
- [16] 刘伟, 蔡香丽, 刘汉湖, 等. 徐州市三环南路土壤 Cd 的形态特征及影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(11): 4806-4807, 4810.
- [17] 魏永军. 某市三环南路土壤 Cu 的形态特征及影响因素研究[J]. 广东化工, 2015, 42(2): 43-44+42.