

辽阳市土壤重金属含量特征及潜在风险评价

汪春鹏¹, 尤建功¹, 孙浩^{1*}, 田野¹, 侯红星¹, 史敬涛¹, 靳胜凯^{1,2}, 王末¹
WANG Chunpeng¹, YOU Jiangong¹, SUN Hao^{1*}, TIAN Ye¹, HOU Hongxing¹, SHI Jingtao¹,
JIN Shengkai^{1,2}, WANG Mo¹

1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:采用污染负荷指数法和生态危害指数法对辽阳城市表层土壤样品中 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 等重金属元素的污染程度及其生态风险进行评价。结果表明,土壤 As 元素基本无污染,其他 7 项重金属元素含量均高于对应的全国土壤背景值,其中 Hg、Cd 为主要污染元素,其污染程度分别为重度、中度,Zn、Pb、Cu、Cr、Ni 元素处于轻度污染。生态风险评价结果显示,Hg、Cd 亦为主要生态风险因子,Hg 属于较强生态风险,Cd 属于中等生态风险。辽阳城区存在轻度重金属元素污染,潜在生态风险水平为中等;新城区土壤生态环境优于老城区,建议进一步发挥新城疏导功能,缓解城市压力。

关键词:辽阳;城市;表层土壤;重金属;风险评价

中图分类号:P595;TU984.1;S15 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)10-1680-08

Wang C P, You J G, Sun H, Tian Y, Hou H X, Shi J T, Jin S K, Wang M. Characteristics and potential risk assessment of heavy metal contents in urban soil, Liaoyang City. Geological Bulletin of China, 2021, 40(10): 1680-1687

Abstract: The contents and pollution degree of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn and other elements in surface soil samples of Liaoyang urban greenbelt were comprehensively analyzed by pollution load index method and ecological risk index method. The results show that, except As, the concentrations of other seven heavy metal elements in soil is higher than the national background value, of which Hg, Cd are the main pollution elements, and the degree of their contamination has reached heavy and moderate respectively. The trace elements of Zn, Pb, Cu, Cr and Ni are in slight pollution, while As is basically free of contamination. The evaluation of the ecological risk shows that Hg and Cd elements are the main ecological risk factors, and Hg and Cd belong to strong and medium ecological risk respectively. In general, Liaoyang City has slight heavy metal element pollution with medium potential ecological risk. The soil ecological environment in the new city is better than that in the old one, and it is recommended to further play the role of dredging function of the new city to relieve the urban pressure.

Key words: Liaoyang; urban greenbelt; surface soil; heavy metal; risk assessment

城市土壤是城市生态系统的重要组成部分,为城市发展提供基础保障的同时,也成为城市各类污染的主要承载者。近年来,随着城镇居民生活水平的不断提升和城市工业化的快速发展,城市生态环境问题日益凸显^[1],城市土壤重金属污染问题也受

到广泛关注^[2-3]。土壤中常见的 8 种重金属元素 Cu、Zn、Cd、Pb、Hg、Cr、Ni、As,污染源主要来自工矿业活动、生活废弃物、交通和农业活动^[3-4]。受元素化学性质及存在形态的影响,不同重金属元素对人体的作用存在一定差异,如 Cu、Zn、Cr 是人体内

收稿日期:2020-07-28;修订日期:2021-06-07

资助项目:中国地质调查局项目《辽阳市多要素城市地质调查》(编号:DD20191025)

作者简介:汪春鹏(1995-),男,助理工程师,从事土地质量地球化学调查评价研究工作。E-mail:17801095680@163.com

* 通信作者:孙浩(1986-),男,硕士,工程师,从事土地质量调查工作。E-mail:672415613@qq.com

不可或缺的微量元素,适量摄入有利于身体健康;而 As、Hg、Pb、Ni、Cd 主要为有毒性元素^[4-5]。查明城市地表土壤重金属元素含量与分布,对城市综合布局有着重要意义^[6-7]。

辽阳市位于辽宁省中部,与沈阳、鞍山两地相接,是沈阳经济区副中心城市之一。境内自然资源丰富,有着“东北第一城”的美誉。然而随着经济社会发展,以石油化工、矿业开发为代表的资源消耗型产业所带来的地质环境问题也日益凸显。辽河流域 1:25 万多目标区域地球化学调查工作^①[8-9]和典型功能区土壤质量调查^②发现,沈阳、鞍山、锦州、铁岭、阜新等老工业城市周边土地存在不同程度的污染,特别是 Cd、Hg 严重超标^[10-12]。因此,本文以 1:5 万土壤质量地球化学调查为工作手段,对辽阳城市土壤重金属污染的分布情况进行研究,并对其潜在危险进行评价,为城市土壤污染防治和生态环境综合治理提供依据^[13]。

1 研究区概况

1.1 区域概况

辽阳属温带大陆性季风气候,年平均气温

8.4℃,年平均降水量 700~800 mm^[14],年平均蒸发量 1700~1800 mm。太子河由西至东贯穿,成为区内的主要水系。城市规划区沿河布局,西侧为旧城区,东侧为新城。

研究区位于辽阳市老城区和河东新城交汇地段,交通便利,总面积约 120 km²。辽阳工业发展迅速,区内有多家大型制造及化工企业,譬如东南部的辽阳石化、忠旺集团、英华有机化工公司,西北部的辽阳市化学厂等。

区内地层以第四系砂、土、砾石为主,西南部丘陵区出露少量寒武系灰岩、南华系砂页岩,西北部零星分布少量奥陶系白云岩(图 1)。

1.2 区域土壤地球化学背景

辽河流域土壤背景值与全国土壤丰度^①比较,Cd 元素含量很高,富集系数 K 值大于 1.2,显著高于全国土壤丰度;Pb 元素含量略高于全国土壤背景值,K 值为 1~1.2;Cr、Ni、Hg 等元素含量略低于全国背景值,K 值为 0.8~1;Zn、Cu、As 元素显著低于全国背景值,K 值小于 0.8(表 1)。

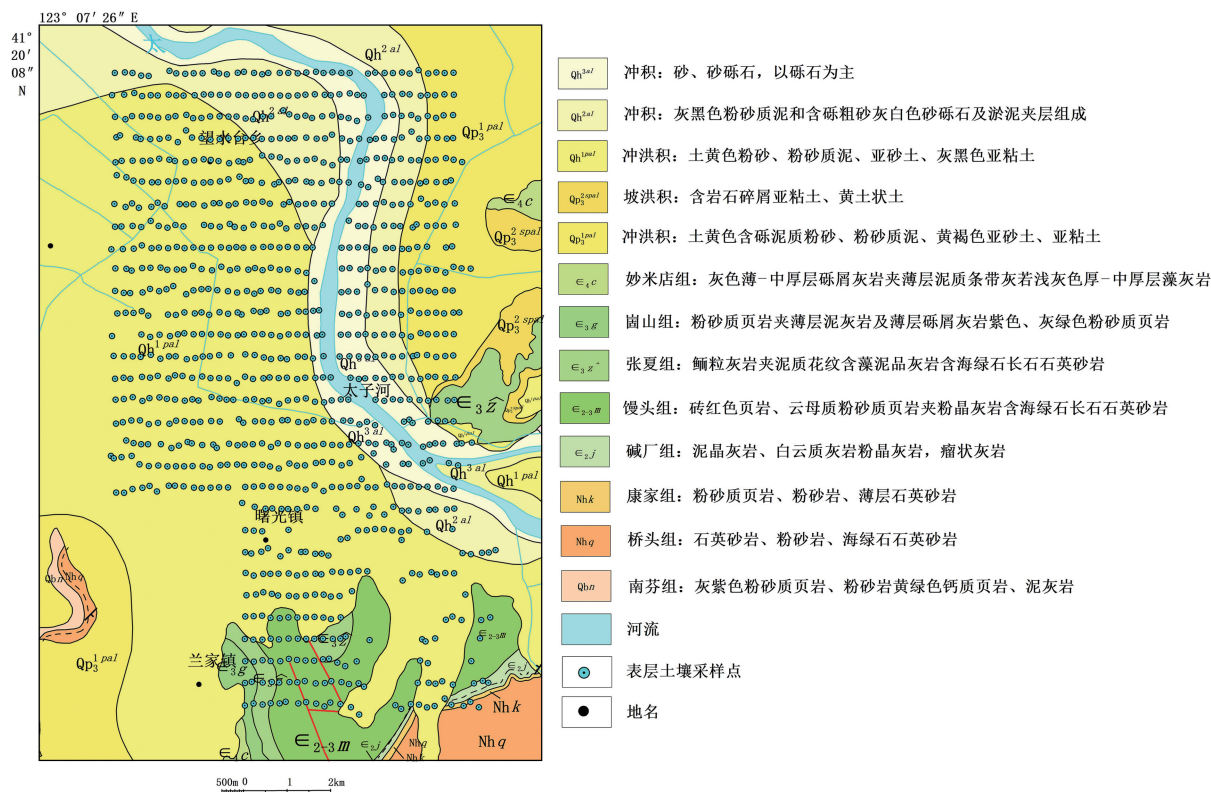


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological map of the study area

表 1 辽河流域土壤背景与全国土壤丰度比值统计

Table 1 Cartogram of the ratio of soil background in the Liaohe River Basin to the national soil abundance

元素	辽河流域背景值 /(mg·kg ⁻¹)	全国土壤丰度 /(mg·kg ⁻¹)	K 值
Hg	0.03	0.04	0.83
Cd	0.13	0.09	1.43
Zn	54.00	68.00	0.79
Pb	24.00	23.00	1.03
Cu	18.70	24.00	0.78
Cr	60.00	65.00	0.92
Ni	23.05	26.00	0.89
As	6.72	10.00	0.67

注:K 值为平均含量和辽河流域背景值比值。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

此次调查区面积约为 100 km²,采样密度约为 10 件/km²^③,布置样点时远离主干道路、铁路,避免了明显污染或外来土的影响。样品采集时采取了 0~20 cm 的土柱,由 3~5 处去除杂草、根系、砾石等杂质的子样,等量均匀混合成 1 件样品,每件样品质量 1~1.5 kg。采集的表层样品用布袋装好后,放置在通风干燥处晾干。经充分晾晒、揉搓、过筛后,将 300 g 加工后样品装入牛皮纸袋,按顺序装箱送至实验室。

2.2 样品测试

土壤样品测试均由辽宁省地质矿产研究院有限责任公司承担,测试方法参照《DZ/T 0258—2014 多目标区域化学调查规范(1:250 000)》,Cr、Cu、Pb 等元素采用 X 射线荧光光谱法(XRF)分析,Hg、As 采用原子荧光光谱法(AFS)分析,Ni 和 Zn 则用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES),Cd 元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)分析(表 2)。

表 2 土壤元素分析及检出限

Table 2 Analysis methods and detection limits of soil elements

元素	分析方法	检出限/(mg·kg ⁻¹)
As	原子荧光光谱法(AFS)	0.5
Cd	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)	0.02
Cr	X 射线荧光光谱法(XRF)	1.8
Cu	X 射线荧光光谱法(XRF)	0.9
Hg	原子荧光光谱法(AFS)	0.0003
Ni	电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)	1.5
Pb	X 射线荧光光谱法(XRF)	1
Zn	电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)	0.3

通过加入标准样、密码样、监控样等多种手段测定土壤中各类重金属元素,多项措施共同保证了分析质量的可靠性,结果显示,各元素的分析方法及检出限、合格率均满足《DZ/T 0258—2014 多目标区域化学调查规范(1:250 000)》规定标准。

2.3 数据分析

本次研究所有的数据采用 Excel 软件进行预处理,依托 SPSS 软件完成数据分析,研究区样点分布图及表层土壤样品 PLI 和 RI 空间分布图均采用 MapGIS 软件制作完成。

3 评价方法

3.1 重金属污染等级评价

3.1.1 污染负荷指数法

通过污染负荷指数法(PLI)^[15]计算土壤中重金属污染等级,计算公式如下:

$$CF_i = C_i / C_j \quad (1)$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (2)$$

式中:CF_i为重金属*i*元素的污染指数;C_i为重金属*i*元素的实测值的平均值;C_j为重金属*i*元素的背景值,在本次研究中采用全国土壤元素地球化学背景值。其中重金属污染等级分级标准为:CF≤1 为无污染(Ⅰ),1<CF≤2 为轻度污染(Ⅱ),2<CF≤3 为中度污染(Ⅲ),CF≥3 为重度污染(Ⅳ)。污染负荷指数法是 Tomlinson 等^[14-15]在从事重金属污染水平的分级研究中提出的一种评价方法,不同学者^[16-17]对 PLI 的污染分级有不同的标准,大部分学者将 PLI<1 定为无污染,PLI>1 定为污染,本次在前人研究基础上,将 PLI 调整为 PLI≤1 为无污染(Ⅰ),1<PLI≤2 为轻度污染(Ⅱ),2<PLI≤3 为中度污染(Ⅲ),PLI>3 为重度污染(Ⅳ)。

3.1.2 地累计指数法

地累计指数法^[18]是德国科学家 Muller 在 1969 年提出的,近些年被国内外专家广泛用于人类活动产生的重金属元素对土壤污染的评价。地积累指数计算公式如下:

$$I_{geo} = \log_2 (C_i / k B_i)$$

式中:C_i为元素*i*在沉积物中的实测含量;B_i为元素*i*的地球化学背景值,本文采用辽河流域地区背景值;k 是为消除各地岩石差异可能引起背景值的变动转换系数,取常量 1.5。

地累计指数可被分为 0~6 级:当 I_{geo}>5 时,设

置为 6 级,属于极严重污染;当 $4 < I_{\text{geo}} \leq 5$ 时,为 5 级,属于强污染—极严重污染;当 $3 < I_{\text{geo}} \leq 4$ 时,为 4 级,属于强污染;当 $2 < I_{\text{geo}} \leq 3$,为 3 级,属于中度污染—强污染;当 $1 < I_{\text{geo}} \leq 2$ 时,为 2 级,属于中度污染;当 $0 < I_{\text{geo}} \leq 1$ 时,为 1 级,属于轻度—中度污染;当 $I_{\text{geo}} \leq 0$ 时,地累计指数为 0 级,属于无污染。

3.2 潜在生态风险评价

采用指数法(RI)^[19] 对土壤中重金属元素潜在生态风险进行评价,根据重金属元素的性质及其环境行为特点,从沉积学角度对土壤或沉积物中的重金属污染进行评价,此方法将重金属的生态效应、环境效应与毒理学联系在一起,具有很强的实用性^[20]。计算公式如下:

$$RI_i = \sum_{j=1}^n E_{ij}^j = \sum_{j=1}^n (T_j \times CF_j) = \sum_{j=1}^n (T_j \times \frac{C_{ij}}{C_{nj}})$$

(3)

式中: RI_i 为重金属潜在生态风险指数,以 i 样点为例; E_{ij} 为 i 样点重金属 j 的单项潜在生态风险指数; T_j 为重金属 j 的毒性系数($T_{\text{Hg}} = 40 > T_{\text{Cd}} = 30 > T_{\text{As}} = 10 > T_{\text{Cu}} = T_{\text{Pb}} = T_{\text{Ni}} = 5 > T_{\text{Cr}} = 2 > T_{\text{Zn}} = 1$); CF_j 为重金属 j 的污染指数; C_{ij} 为 i 样点土壤重金属 j 的实测含量; C_{nj} 为重金属 j 的背景值。 E_{ij} 和 RI 的分级标准见表 3。

4 结果与分析

4.1 土壤重金属元素含量

对辽阳中心城区土壤重金属元素含量与辽河流域背景值进行对比(表 4),结果显示, Hg 、 Cd 、 Zn 、 Pb 、 Cu 、 Cr 、 Ni 等元素的平均含量均高于辽河流域背景值,呈富集和超富集状态。显著性分析表明,土壤很可能受到重金属元素的污染。

土壤中各金属变异系数, $\text{Hg}(2.46) > \text{Cd}(1.35) >$

$\text{Cu}(1.25) > \text{Cr}(1.01) > \text{Pb}(0.89) > \text{Zn}(0.65) > \text{Ni}(0.36) > \text{As}(0.24)$, 其中 Ni 和 As 元素的变异系数较小,属于中低度变异,反映出这 2 种元素在空间分布上差异性较少,即离散程度小,主要受到土壤背景含量的影响,人为影响较弱。而表层土壤中 Hg 、 Cd 、 Cu 、 Cr 、 Pb 、 Zn 等元素的变异系数较大,说明以均数为准变异程度大,在空间分布上有较大差异。在进行数据统计分析时,如果变异系数过大时,要考虑该数据可能不正常,应该剔除。研究区表层土壤 Hg 、 Cd 、 Cu 、 Cr 、 Pb 、 Zn 等元素的变异系数值均大于 0.5,自然条件下很难形成此现象,表明人类活动已经对城市表层土壤的化学组成产生了较大影响。

4.2 土壤重金属污染和分布特征

根据污染负荷指数法获知表层土壤中 8 种重金属元素平均 CF 值: $\text{Hg}(4) > \text{Cd}(2.22) > \text{Zn}(1.59) > \text{Pb}(1.57) > \text{Cu}(1.38) > \text{Cr}(1.29) > \text{Ni}(1.11) > \text{As}(0.95)$ 。结果显示, Hg 元素属于重度污染, Cd 元素属于中度污染, Zn 、 Pb 、 Cu 、 Cr 、 Ni 元素属于轻度污染, As 元素属于基本无污染。

在研究区的 966 个样点中, CF 值达到Ⅳ级的 As 元素样点个数最少,数量为 1 个,占比 0.1%; Hg 元素的样点个数最多,为 343 个,占比 35.51%,如表 5 所示。 Cd 、 Cr 、 Cu 、 Ni 、 Pb 、 Zn 这 6 种元素 CF 值达到Ⅳ级样点的个数分别为 151 个、36 个、22 个、7 个、23 个、57 个; CF 值达到Ⅲ级的 As 元素样点的个数最少,数量为 1 个,占比 0.1%; Cd 元素的样点个

表 4 辽阳市与辽河流域背景值对照

Table 4 Comparison of background values between Liaoyang City and Liaohe River Basin

元素	平均含量 /(mg·kg ⁻¹)	变异系数	辽河流域背景值 /(mg·kg ⁻¹)	K 值
Hg	0.14	246%	0.03	4.67
Cd	0.18	135%	0.13	1.38
Zn	101.96	65%	54.00	1.89
Pb	34.39	89%	24.00	1.43
Cu	31.16	125%	18.70	1.67
Cr	72.34	101%	60.00	1.21
Ni	28.23	36%	23.05	1.22
As	9.46	24%	6.72	1.4

注: K 值为平均含量和辽河流域背景值比值

表 3 重金属污染潜在生态风险指数法分级标准

Table 3 Classification standard of potential ecological risk index for heavy metal pollution

单一金属潜在 风险因子(E_{ij})	多金属潜在生态 风险指数(RI)	危害程度
$E_{ij} < 40$	$RI < 150$	轻微生态危害(Ⅰ)
$40 \leq E_{ij} < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等生态危害(Ⅱ)
$80 \leq E_{ij} < 160$	$300 \leq RI < 600$	较强生态危害(Ⅲ)
$160 \leq E_{ij} < 320$	$RI \geq 600$	很强生态危害(Ⅳ)
$E_{ij} \geq 320$		极强生态危害(Ⅴ)

数最多,为 236 个,占比 24.43%。大部分样点的 Pb、Cu、Zn 和 Ni 属于 II 级,II 级污染样点数分别为 761 个、631 个、613 个和 617 个,占比分别为 78.78%、65.32%、63.87% 和 63.46%。CF 值达到 I 级的 As 元素样点数最多为 622 个,占比 64.39%,污染程度较轻。其中 Hg 和 Cd 是主要的污染元素(表 5)。

根据地累计指数法,计算得到研究区土壤重金属的地累计指数和污染程度(表 6)。8 种重金属元素均不同程度污染,其中 Hg 污染程度较高,超标样点 830 个,所占比例为 82.18%,轻度—中度污染、中度污染、中度—强度污染、强—极严重污染、极严重污染所占比例分别为 33.86%、27.23%、14.06%、4.65%、1.68% 和 0.69%。As 超标样点有 344 个,所占比例为 34.06%,主要为轻度—中度污染;Cd 超标样点有 360 个,所占比例达到 35.64%,主要为轻度—中度污染和中度污染,分别占 30% 和 4.95%;Cr 超标样点有 146 个,所占比例达到 14.46%,主要为轻度—中度污染;Cu 超标样点有 515 个,所占比例达到 50.99%,主要为轻度—中度污染和中度污染,分别占比 46.04% 和 4.46%;Ni 超标样点有 125 个,所占比例为 12.38%,呈轻度—中度污染;Pb 超标样点有 340 个,所占比例为 32.67%,以轻度—中度污染为主;Zn 超标样点有 606 个,所占比例为 60.30%,轻度—中度污染和中度污染,所占比例分别为 50.69% 和 7.82%。

4.3 土壤重金属潜在风险评价

对辽阳城市绿地 966 个表层土壤样点重金属元素数据进行分析表明,Hg 元素属于较强生态危害,Cd 元素属于中等生态危害,其余元素属于轻微生态危害。就单个样点而言,As、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 的大部分样点均为轻微生态危害;所有样点中 Cu 和 Pb

表 5 研究区不同污染级别样点占总样点数比例
Table 5 Proportion of samples with different pollution levels in the study area to the total samples

评价指标	%			
	无污染 (I)	轻度污染 (II)	中度污染 (III)	重度污染 (IV)
CF	As	64.39	35.40	0.10
	Cd	11.28	48.65	24.43
	Cr	45.45	48.14	2.69
	Cu	25.78	65.32	6.63
	Hg	13.46	32.30	18.74
	Ni	34.89	63.46	0.93
	Pb	7.87	78.78	10.97
	Zn	18.43	63.87	11.80
PLI	13.66	74.22	9.73	2.38

注:CF 为重金属污染指数;PLI 为污染负荷指数

元素达到很强生态危害的样点各有 1 个,所占比例均为 0.10%;土壤中 Hg 元素的潜在生态风险程度最高,达到很强和极强风险的样点数分别为 153 个和 88 个,所占比例分别为 15.84% 和 9.11%;其次是 Cd,达到很强和极强风险的样点数分别为 21 个和 5 个,占比为 2.17% 和 0.52%,由此能推断 Hg 和 Cd 元素为主要生态风险因子(表 7)。

5 讨论

5.1 辽阳市污染等级与潜在生态风险

根据 I_{geo} 值(表 6)分析,研究区土壤重金属污染主要为 Hg 元素,所占比例高达 82.18%。其他 7 种重金属元素主要为轻度污染和中度污染。对 Hg 元素污染应予以重视。

根据 PLI 值(表 5)分析,研究区轻度污染的区域占比 74.22%,中度污染区域占比 9.73%,重度污

表 6 辽阳市土壤重金属地累计指数

Table 6 Accumulation index of heavy metals in soil in Liaoyang City

地累计指数	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} > 5$
污染程度	无污染	轻度—中度污染	中度污染	中度—强污染	强污染	强—极严重污染	极严重污染
样点/个	As	666	342	2	0	0	0
	Cd	650	303	50	5	0	1
	Cr	864	105	20	16	5	0
	Cu	495	465	45	3	1	0
	Hg	180	342	275	142	47	7
	Ni	885	118	5	2	0	0
	Pb	680	311	18	0	0	1
	Zn	401	512	79	15	3	0

注: I_{geo} 为重金属地累计指数

表 7 不同生态风险级别样点占总样点比例

Table 7 Proportion of samples with different ecological risk levels to total samples

评价指标	轻微生	中等生	较强生	很强生	极强生
	态危害 (I)	态危害 (II)	态危害 (III)	态危害 (IV)	态危害 (V)
E_{ij}					
As	100	0	0	0	0
Cd	31.78	45.45	20.08	2.17	0.52
Cr	100	0	0	0	0
Cu	99.79	0.10	0	0.10	0
Hg	13.46	32.30	29.30	15.84	9.11
Ni	100	0	0	0	0
Pb	99.90	0	0	0.10	0
Zn	100	0	0	0	0
RI	31.68	41.72	19.15	7.45	

注: E_{ij} 为单一金属潜在风险因子; RI 为多金属潜在生态风险指数

染区域占比 2.38%。区域内, 8 种重金属元素的 PLI 的平均值为 1.45, 属于轻度污染^[21-22]。其中, Hg 和 Cd 作为主要污染因子, 平均含量分别是全国土壤背景值的 3.41 倍和 2.04 倍, 污染指数较高。前人研究认为, 表层土壤中 Hg 、 Cd 污染多来源于工业生产、烟尘干湿沉降、交通污染、农业施肥等人类活动^[23-26]。调查区西部为旧城区, 人口密度大、车辆活动频繁; 南北分布有大型制造厂、化工厂、热电厂, 化石燃料燃烧、工业生产过程排放, 带来的废烟、废气, 极有可能导致了周围区域的 Hg 、 Cd 污染。

研究区不同样点土壤重金属 PLI 值空间分布图(图 2)显示, 高值区域主要位于西北工业区附近, PLI 值大于 3, 达到重度污染水平。其周边为中度污染区, 变化范围在 2~3 之间; PLI 低值区主要位于太子河流域东侧, 基本无污染。

根据 RI 值对辽阳全部土壤样品分析得出, 辽阳城市表层土壤重金属总的潜在危险指数 RI 的平均值为 298.07, 属于中等生态危害水平^[27-32]。其中, 较强生态危害风险占 19.15%, 很强风险占 7.45%; 土壤重金属 RI 空间分布特征见图 3。从图中可以看出, 强生态危害风险区主要位于西北部工业区, 轻微危害区主要位于太子河沿岸及周边

居民区。

5.2 辽阳市主要污染因子

从图 2 和图 3 可以看出, 辽阳市污染区多呈大片集中、小片点状分布的特征。土壤污染主要集中在西北工业区, 化学厂、橡胶厂附近污染最严重, 主要表现为 Hg 元素超标, 与化工生产排放有必然的关系; 中心城区污染呈小片点状分布, 可能与人员

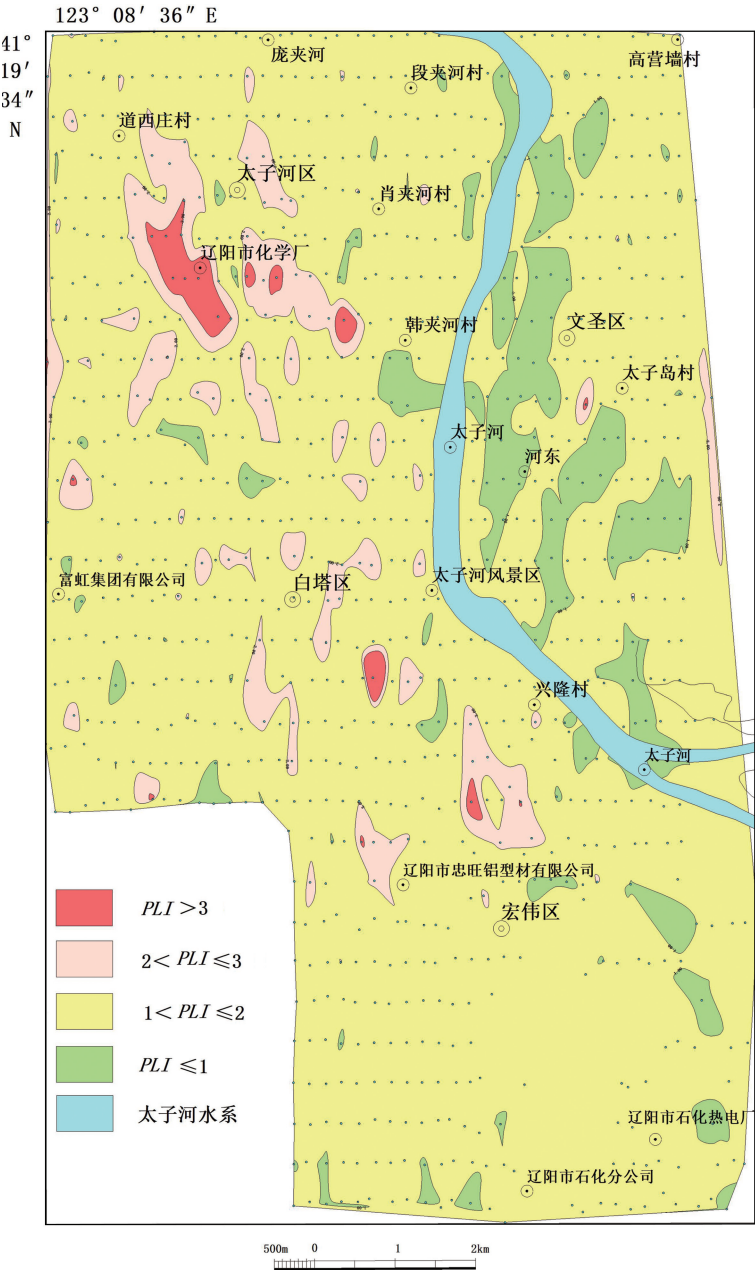


图 2 辽阳城市表层土壤重金属污染等级(PLI)图

Fig. 2 Heavy metal pollution grade of surface soil in Liaoyang City

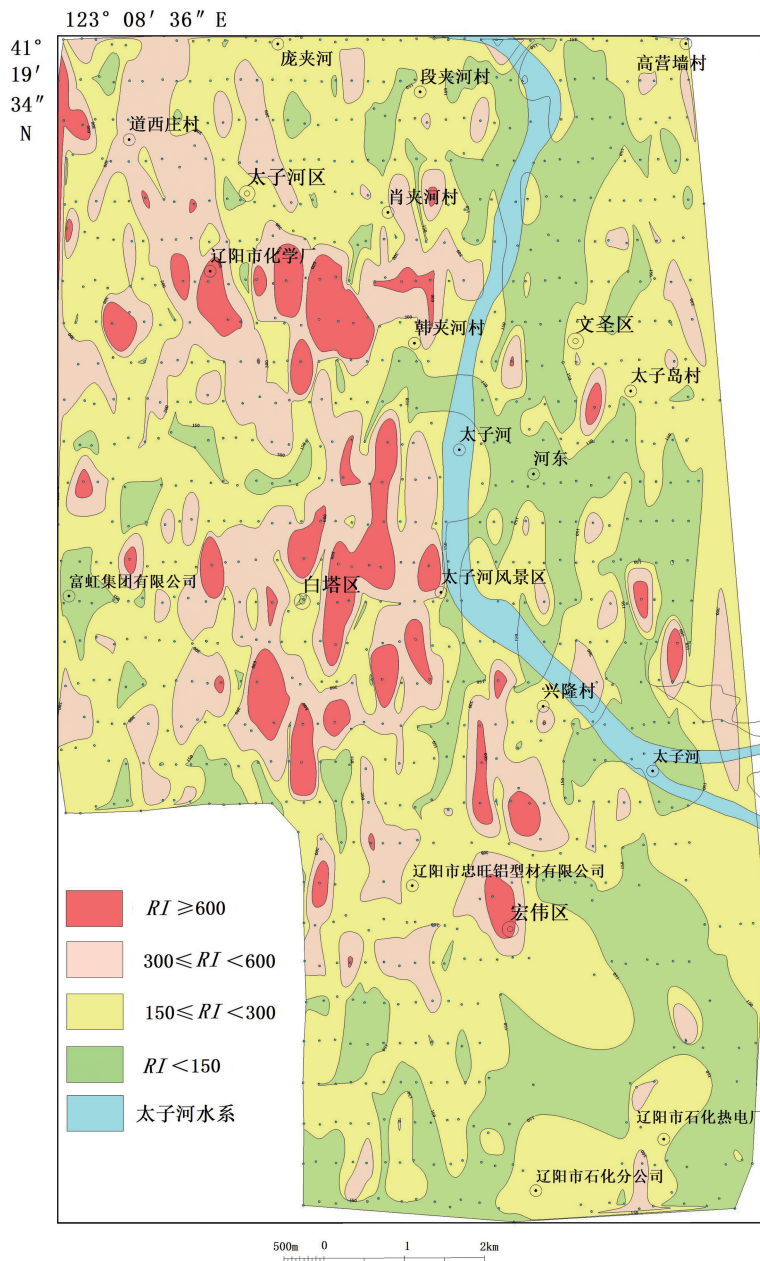


图3 辽阳城市表层土壤潜在生态风险等级(RI)图

Fig. 3 Potential ecological risk grade of surface soil in Liaoyang City

密集活动、城市道路狭窄导致的交通污染有关。表层土地质量较好的区域主要集中在太子河流域东岸,可能与太子河东岸为新城、人员活动少、污染程度小有关。因此辽阳市土壤可能的污染因子为西北工业区导致的工业污染及中心城区人员密集活动、城市道路狭窄导致的交通污染。

6 结 论

(1)研究区表层土壤中8种重金属元素,Hg、

Cd、Zn、Pb、Cu、Cr、Ni 7种元素平均含量高于全国土壤元素背景值,富集程度达到了污染标准。其中,Ni超标主要受成土母质影响,Hg、Cd、Zn、Pb、Cu、Cr元素超标多为人为污染。Hg和Cd为主要的污染因子和生态风险因子,生态风险分别为很强生态风险和中等生态风险。

(2)地累计指数法、PLI法污染等级评价和RI法潜在生态风险评价结果显示,中心城区表层土壤已经受到了重金属元素的轻度污染,整体属于中等生态风险地区。西北工业区附近,污染严重、生态危害风险强;太子河东岸土壤环境质量优、生态风险低。总体上,新城区土壤生态环境优于旧城区。建议进一步发挥河东新城生态休闲功能,将其发展成为生态文明建设示范区域。

致谢:成文过程中,廊坊自然资源调查局孙浩工程师从选题到写作再到最终定稿给予了很大帮助,审稿专家提出了许多建设性的意见和建议,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 尤建功,靳胜凯,田野,等.辽阳市城市地质工作思考[J].城市地质,2020,15(3): 246-249.
- [2] 李秋燕,魏明辉,戴慧敏,等.锦州市土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].地质与资源,2021,30(4): 465-472.
- [3] 秦鹏,阮丽,鲍跃跃,等.城市土壤重金属污染来源研究[J].环境科学与管理,2014,39(12): 38-41.
- [4] 纪小凤,郑娜,王洋,等.中国城市土壤重金属污染研究现状及展望[J].土壤与作物,2016,5(1): 42-47.
- [5] 黄先飞,秦樊鑫,胡继为.重金属污染与化学形态研究进展[J].微量元素与健康研究,2008,25(1): 48-51.
- [6] 许桂苹,王晓飞,付洁.土壤重金属污染评价方法研究综述[J].农村经济与科技,2014,25(1): 71-74.
- [7] 黄孝钰,叶思源,袁红明,等.辽河三角洲湿地生态系统对表层沉积物重金属元素的移除作用[J].地质通报,2019,38(2/3): 414-425.
- [8] 杨志斌,杨忠芳,冯海艳,等.沈阳市新城子区土壤重金属元素的空间变异性[J].地质通报,2007,26(11): 1480-1485.
- [9] 任家强,汪景宽,杨晓波,等.辽河中下游平原土地质量地球化学评价及空间分布研究[J].沈阳农业大学学报,2011,42(2): 208-211.
- [10] 安婧,宫晓双,陈宏伟,等.沈抚灌区农田土壤重金属污染时空变化特征及生态健康风险评价[J].农业环境科学学报,2016,35(1): 37-44.
- [11] 李名升,佟连军.辽宁省污灌区土壤重金属污染特征与生态风险评价[J].中国生态农业学报,2008,16(6): 1517-1522.
- [12] 金丹,郑冬梅,孙丽娜.辽河铁岭段两岸河岸带土壤重金属分布及

- 风险评价[J]. 沈阳大学学报, 2015, 27(6): 451-356.
- [13] 张磊, 宋凤斌, 王小波. 中国城市土壤重金属污染研究现状及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 258-260.
- [14] Angulo E. The Tomlinson pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: A useful index to assess coastal pollution[J]. Sci. Total Environ., 1996, 187: 19-56.
- [15] Tomlinson D L, Wilson J G, Harris C R, et al. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index[J]. Helgoland Mar Res., 1980, 33: 566-575.
- [16] 王博, 夏敦胜, 余晔, 等. 兰州城市表层土壤重金属污染的环境磁学记录[J]. 科学通报, 2012, 57(32): 3078-3089.
- [17] 张妍, 李玉嵩, 谷志云, 等. 商丘城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(7): 186-190.
- [18] 付泉, 奥勇, 刘思琪, 等. 西安市建设用地土壤重金属空间分布及污染源分析[J]. 土地开发工程研究, 2019, 10(4): 1-6.
- [19] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [20] 田华, 杨柳, 夏紫顿, 等. 西安市临潼区地表颗粒物重金属分布特征及生态风险评价[J]. 生态环境学报, 2018, 27(2): 276-218.
- [21] 孟飞, 张建, 单宝艳. 上海浦东新区农田土壤重金属空间结构及分布特征[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 218-224.
- [22] Clement O, Paul O. Contamination and spatial distribution of heavy metals in topsoil surrounding a mega cement factory[J]. Atmospheric Pollution Research, 2014, 5(2): 270-282.
- [23] 张铭杰, 张璇, 秦佩恒, 等. 深圳市土壤表层汞污染等级结构与空间特征分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(12): 1645-1649.
- [24] 安永龙, 黄勇, 刘清俊, 等. 北京城区表层土壤多元素分布特征及重金属元素污染评价[J]. 地质通报, 2016, 35(12): 2111-2120.
- [25] 章明奎. 浙江省城市汽车站地表灰尘中重金属含量及其来源研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2294-2304.
- [26] 汤奇峰, 杨忠芳, 张本仁, 等. 成都经济区农业生态系统土壤镉通量研究[J]. 地质通报, 2007, 26(7): 869-877.
- [27] 刘芳, 王书肖, 吴清茹, 等. 大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 712-717.
- [28] 戴彬, 吕建树, 战金成, 等. 山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2015(2): 507-515.
- [29] 李小平, 徐长林, 刘献宇, 等. 宝鸡城市土壤重金属生物活性与环境风险[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4): 1241-1249.
- [30] 蔡奎, 段亚敏, 栾文楼, 等. 河北平原农田土壤重金属元素 Pb、Hg 地球化学行为的影响因素[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1420-1428.
- [31] 安永龙, 黄勇, 孙朝, 等. 北京平原区两年内土壤中五种重金属元素化学形态变化及生物有效性[J]. 地质通报, 2018, 37(6): 1142-1149.
- [32] 张开军, 魏迎春, 徐友宁. 小秦岭某金矿区土壤-农作物重金属元素富集规律[J]. 地质通报, 2015, 34(11): 2018-2023.
- ①中国地质大学(北京). 辽宁省辽河流域土地质量地球化学评估成果报告. 辽宁省地质矿产调查院, 2009.
- ②曲亚军, 王文清, 等. 辽宁省辽河流域 1/25 万局部生态地球化学评价成果报告. 辽宁省地质矿产调查院, 2011.
- ③辽阳市环境监测站. 辽阳市 2018 年度生态环境质量报告书. 辽阳市生态环境局, 2019.
- ④中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学评价规范. 2016.