

辽宁锦州城区土壤环境质量及潜在生态危害评价

代雅建, 崔健, 郭常来, 李旭光*, 赵岩, 石旭飞, 孙秀波, 江山

DAI Yajian, CUI Jian, GUO Changlai, LI Xuguang*, ZHAO Yan, SHI Xufei, SUN Xiubo, JIANG Shan

中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China

摘要:为研究锦州城区土壤环境质量及潜在生态危害,以城区表层土壤为研究对象,按照2018年发布的土壤环境质量农用地及建设用地土壤污染风险管控标准,分别对城区表层土壤重金属环境质量进行评估,采用潜在生态危害指数法对其潜在生态危害进行评价。结果表明,相对于深层土壤背景值,表层土壤Hg、Cd的元素富集系数较高,分别为2.36、2.27,变异系数Hg、Cd较高,分别为1.28、1.49,城区绿地土壤Hg、Zn、Cu元素含量平均值均高于城郊旱田1.5倍以上;综合评价,锦州城区以一等无风险土壤为主,二等风险可控土壤多分布于城郊,汤河子工业区周边为三等污染风险较高土壤;潜在生态危害评价结果表明,Hg元素易于释放且对生物潜在毒性较大,达到较高生态危害程度,其他元素为低生态危害程度,综合潜在生态危害指数(RI)达到中等生态危害程度。

关键词:土壤环境质量;生态危害;辽宁锦州

中图分类号:P595;S15 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)10-1671-09

Dai Y J, Cui J, Guo C L, Li X G, Zhao Y, Shi X F, Sun X B, Jiang S. Evaluation of soil environmental quality and potential ecological hazards in Jinzhou City, Liaoning Province. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(10): 1671-1679

Abstract: In order to understand the soil environmental quality and potential ecological hazards in Jinzhou urban area, the surface soil of the urban area was taken as the research object; the environmental quality of heavy metals in the surface soil of the urban area was evaluated according to the soil environmental quality control standards for agricultural land and construction land issued in 2018; and the potential ecological hazards were evaluated by the potential ecological hazard index method. The results show that the enrichment coefficients of Hg and Cd in surface soil are 2.36 and 2.27 respectively, and the variation coefficients of Hg and Cd are 1.28 and 1.49 respectively. The average contents of Hg, Zn and Cu in green land soil in urban area are 1.5 times higher than those in dry land in suburban area. The first-class risk-free soil is the main soil in Jinzhou City, and the second-class risk controllable soil is more distributed in the suburb, Tanghezi industrial zone is surrounded by the third-class soil with high pollution risk. The results of potential ecological hazard assessment show that Hg element is easy to release, whose potential toxicity to organisms is relatively high, while other elements are of low ecological hazard, and the comprehensive potential ecological hazard index (RI) is of medium ecological hazard.

Key words: soil environmental quality; ecological hazards; Jinzhou, Liaoning

城市土壤受人类活动强烈影响,它是构成生态系统的重要组成部分,既是污染物的汇集地也是污染源。土壤中的重金属不仅影响和改变城市土壤

的生态功能,而且危害人体健康。工业化和城市化进程的加快,工业、交通、生活等产生的大量污染物进入土壤,使城市土壤的各种性质发生了变化,造

收稿日期:2020-06-07;修订日期:2021-03-21

资助项目:中国地质调查局项目《辽西凌河地区综合地质调查》(编号:DD20189711)

作者简介:代雅建(1980-),男,硕士,高级工程师,从事城市地质调查工作。E-mail:731059585@qq.com

* 通信作者:李旭光(1982-),男,硕士,高级工程师,从事城市地质调查工作。E-mail:john2011@163.com

成城市土壤污染越来越严重。而重金属作为一种持久性的有毒污染物,进入城市土壤环境后不能被生物降解,并能通过扬尘、手-口直接接触等途径进入人体^[1],在人体内积累,危害人体健康。近年,国内外学者已经研究了一些城市土壤重金属的污染状况^[2-5]。1980年,瑞典环境科学家 Hakanson^[2]首次提出潜在生态危害指数评价方法,将重金属生态环境风险与毒理学联系起来,直观地展示了重金属对生态环境的胁迫程度。刘玉燕等^[3]对城市土壤重金属污染的空间、时间差异和污染类型进行了分析。吴新民等^[4]对城市不同功能区的城市重金属污染特征进行了研究。也有不少国内工作者采用 Hakanson 指数法对重金属的潜在生态危害进行了评价研究^[6-8],但是对于锦州城市土壤重金属环境质量及潜在生态危害评价尚未报道,在锦州市城市新一轮城市规划开展之际,有必要全面分析锦州城区土壤重金属污染分布特征及其生态危害。本次研究以锦州城区土壤为对象,分析土壤中的 As、Cd、Hg、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 8 种重金属元素的污染特征,对城区土壤环境质量和潜在生态危害进行评价,揭示城市土壤重金属分布特征,以期为合理规划和利用城市土壤、改善城市环境质量、保障人类健康等

提供依据。

1 研究区概况

研究区包括锦州市主城区及其周边城乡结合部位、西南侧汤河子工业区,行政区划归属于锦州市古塔区、凌河区、太和区。女儿河、小凌河由西向东穿过研究区,地貌类型以冲洪积盆地为主,北部边缘为坡洪积扇群。区内第四纪堆积物发育,主要分布于小凌河、女儿河两岸,全新统洪冲积层出露最广泛,分布于各河流一级阶地和山前倾斜平原上,双层结构较明显;前第四纪地层分布于盆地北缘,以砂岩、安山岩为主;盆地南缘分布花岗杂岩和片麻杂岩(图 1)。研究区属暖温带半湿润气候,降水集中、季风明显、风力较大。冶金、石油等工业发达,锦州石化工业区位于城区西北部,中信钛业等冶金工业区位于研究区西南部。

2 材料和方法

2.1 样品采集与测试

样品采集方法参照《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》^[9]和《土壤环境监测技术规范 HJ/T166—2004》^[10]执行。采用网格化均匀布设土

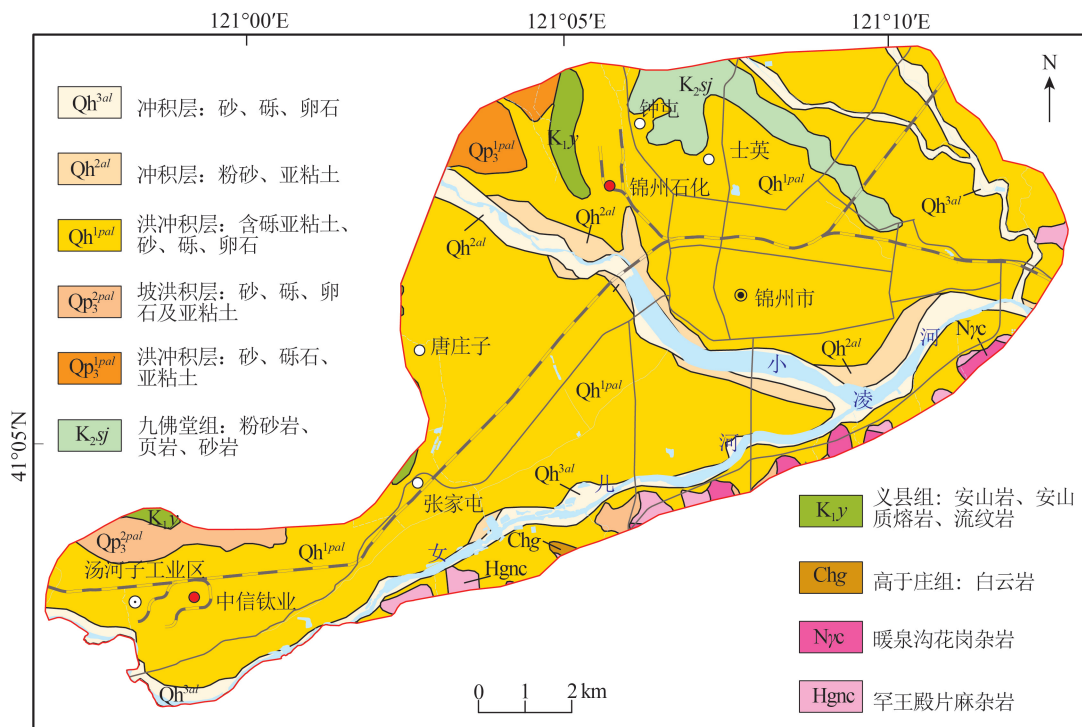


图 1 研究区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

壤采样点,其中表层土壤采样密度为 2 个点/km²,采样深度 0~20 cm,共计表层土壤分析样品 217 个,深层土壤采样密度 1 个点/4 km²,采样深度 40~60 cm,共计深层土壤样品 31 个。土壤样品在采集过程中,利用木铲取样 1 kg 左右,样品取回后装在干净的布袋中贴好标签,置于室内背光处自然风干,研磨并过 0.074 mm 筛,用四分法取约 100 g 作为待测样品。

采集土壤样品全部由自然资源部东北矿产资源监督检测中心化验分析,测试过程中严格按照《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》^[11]进行,测试分析 As、Cd、Hg、Pb、Cu、Zn、Cr、Ni 8 种重金属元素含量,这 8 种重金属元素为农用地土壤污染风险筛选值的全部基本项目和必测项目,其中 As、Cd、Hg、Pb、Cu、Ni 6 种重金属同时也是建设用地土壤污染风险筛选值的基本项目,这些元素的含量基本能够反映研究区的土壤环境质量。其中 As 采用原子荧光光谱法(AFS)测定,Cd、Hg 采用石墨炉原子吸收分光光度法测定,Cr、Pb 用 X 射线荧光光谱法(XRF)测定,Cu、Ni、Zn 用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定。为保证分析结果的可靠有效,采用实验室内、外部质量控制进行监控。实验室内部质量控制主要采用国家一级物质分析标准进行精密度和准确度控制,按所送试样总数随机抽取 5% 试样,编制成密码,进行重复性检验和异常值重复检查;外部质量控制主要采用标准控制样(即配制的标准物质)进行监控。

2.2 研究方法

土壤重金属污染风险评价的常用方法主要有单项污染指数法、综合污染指数法、地累积指数法、潜在生态风险指数法、主成分分析法等。单项污染指数法目标明确,易于计算,可以确定主要污染物及其危害程度;综合污染指数法尤其是内梅罗综合污染指数法可以客观地评价土壤重金属的综合污染状况;地累积指数法在一定程度上反映了重金属元素的自然分布特征,并且可以评价人类活动对重金属污染的影响;潜在生态风险指数法可以综合地反映重金属对土壤的污染情况;主成分分析方法具有减少原始数据信息的损失、简化数据结构、避免主观随意性的优点^[12-14]。

土壤重金属污染的研究是一项复杂的工程,在具体分析时须结合实际情况选择合适的单一的或

组合的方法进行评价,能对土壤重金属污染程度判断更准确,对后期土壤重金属污染防治起到重要的指导作用。2018 年 8 月 1 日,《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)废止,实施《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》^[15]、《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》^[16] 2 项国家环境质量标准,依据此项标准,单个元素的污染程度直接影响土壤管控措施的调整,因此本次研究采用单项污染指数法,以单指标土壤环境地球化学等级及综合等级划分方法对研究区土壤环境质量状况进行评价,并用潜在生态危害指数法对研究区重金属的生态风险程度进行评价。

2.2.1 土壤环境质量评价方法

依据《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600—2018)和《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618—2018),分别对锦州城区表层土壤环境质量进行评价,划分单指标土壤地球化学等级,划分方式见表 1。

土壤环境地球化学综合等级采用“一票否决”的原则,每个评价单元的土壤环境地球化学综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差的等级。

2.2.2 土壤重金属污染生态效应的评价方法

土壤重金属污染生态效应的评价方法很多,其中潜在生态危害指数法被广泛使用。该方法是根据重金属元素性质及环境行为特点提出的对土壤或沉积物中重金属污染进行评价的方法。该方法不仅考虑土壤重金属含量,而且将重金属的生态效应、环境效应与毒理学联系在一起,采用具有可比性的、等价属性的指数分级法进行评价。

其中,单项重金属潜在生态危害系数为:

$$E_i = T_i \times C_i / C_0$$

式中: T_i 、 C_i 、 C_0 分别为某重金属 i 的毒性响应系数、重金属含量、参考值。 T_i 为某重金属的毒性响

表 1 单指标土壤环境地球化学等级划分方法
Table 1 Classification method of single index soil environmental geochemistry

土壤环境地球化学等级	一等	二等	三等
污染风险	无风险	风险可控	风险较高
划分方法	$C_i \leq S_i$	$S_i < C_i \leq G_i$	$C_i > G_i$

注: C_i 为土壤中 i 指标的实测浓度; S_i 为农用地(或建设用地)土壤污染风险筛选值; G_i 为农用地(或建设用地)土壤污染风险管控值

应系数,反映重金属的毒性水平及土壤对重金属污染的敏感性。Hakanson^[2]根据元素丰度原则和元素稀释度,认为某一重金属的潜在毒性与其丰度成反比、与其稀释度成正比。某一重金属的潜在生物毒性也与元素的释放度(在水中含量与在沉积物中含量的比值)有关,易于释放者对生物体的潜在毒性较大,参考相关研究,As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 的毒性相应系数分别为 10、30、2、5、40、5、5、1。关于 C_0 参考值,本次采用锦州城区土壤重金属背景值。

某区域多个重金属的潜在生态危害指数 RI 为各重金属潜在生态危害系数之和。

土壤重金属元素潜在生态危害系数、潜在生态危害指数与潜在生态危害程度的对应关系见表 2。

3 结 果

3.1 土壤元素地球化学参数统计特征

锦州城区土壤重金属质量比统计结果见表 3。从表 3 可以看出,土壤 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Cd、As、

Hg 的平均值分别为 33.05 mg/kg、37.94 mg/kg、128.99 mg/kg、115.28 mg/kg、31.89 mg/kg、0.41 mg/kg、7.89 mg/kg、0.16 mg/kg。以受人类活动影响较小的深层土壤数据无限剔除后的平均值称为深层土壤元素背景值,表层土壤元素含量平均值与深层土壤元素背景值的比值为表层土壤元素富集系数,其中,表层土壤 Hg、Cd 的元素富集系数最高,分别为 2.36、2.27,Cu、Pb、Zn、Cr 的富集系数较高,分别为 1.42、1.52、1.78、1.59,As、Ni 表层土壤平均含量与深层土壤元素背景值差别不大。Cr、Hg 出现了极端异常值,表明城市土壤重金属含量已经受到城市人类活动的剧烈影响。

城市土壤变异系数可以反映样品中各采样点的平均变异程度,锦州城区表层土壤重金属变异系数总体较高,可划分为 3 个层次:Cr、Hg 的变异系数在 100% 以上,反映了局部人为活动对土壤元素含量的影响较强,Cu、Zn、Cd 的变异系数在 50%~100% 之间,Pb、Ni、As 的变异系数在 30%~50% 之间,反映了土壤自然变异和人为活动影响叠加。8 种重金属的平均变异程度由高到低依次为 Cr、Hg、Zn、Cd、Cu、Pb、Ni、As,其中 Cr 的变异系数最高,达 1.49,其次 Hg 为 1.28,而 As 的变异系数最低,为 0.32。

对锦州城区表层土壤重金属元素含量平均值按照不同土地利用分类统计对比,结果见表 4。结果显示,城区绿地 Hg、Zn、Cu 元素显著高于城郊其他土地利用类型,城市绿地土壤 Hg、Zn、Cu 元素含量平均值均高于旱田 1.5 倍以上,说明城区人类生活及工业生产活动导致以 Hg、Cu、Zn 代表的重金属元素在土壤中富集。

表 2 Hakanson 潜在生态危害指数法污染程度划分
Table 2 Classification of the potential ecological hazard suggested by Hakanson

单元素潜在生态危害系数(E_i)		潜在生态危害指数(RI)	
<40	低生态危害	<150	低生态危害
40~80	中等生态危害	150~300	中等生态危害
80~160	较高生态危害	300~600	高生态危害
160~320	高生态危害	≥600	极高生态危害
≥320	极高生态危害		

表 3 土壤元素地球化学参数
Table 3 Geochemical parameters of soil elements

类别	mg/kg							
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
最大值	162.00	122.00	966.00	1457.00	119.00	1.91	31.30	1.55
最小值	10.80	15.50	36.50	34.10	14.10	0.10	4.48	0.02
平均值($\bar{X}$)	33.05	37.94	128.99	115.28	31.89	0.41	7.89	0.16
中位数(M)	28.80	34.10	109.00	74.40	29.00	0.37	7.46	0.10
标准离差(S)	17.27	14.94	82.64	171.37	10.63	0.22	2.49	0.21
变异系数(C_v)	0.52	0.39	0.64	1.49	0.33	0.53	0.32	1.28
深层土壤元素背景值	23.26	25.03	72.34	72.43	29.18	0.18	6.79	0.07
表层土壤元素富集系数	1.42	1.52	1.78	1.59	1.09	2.27	1.16	2.36

表 4 不同土地利用类型表层土壤元素地球化学参数

Table 4 Soil element geochemical parameters of different used land types

类别	mg/kg							
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	As	Hg
旱田(<i>n</i> =82)	27.02	33.22	107.01	118.30	31.38	0.39	8.10	0.13
林地(<i>n</i> =14)	28.34	35.77	107.73	125.00	34.51	0.43	6.98	0.10
城市绿地(<i>n</i> =107)	38.75	42.07	150.88	116.46	31.76	0.43	7.92	0.20
果园(<i>n</i> =5)	32.44	37.46	124.40	85.28	40.28	0.53	7.74	0.19
菜地(<i>n</i> =9)	27.90	35.47	104.63	75.29	29.37	0.36	7.07	0.15

3.2 土壤环境质量和空间分布特征

3.2.1 以建设用地土壤环境质量标准评价

依据《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》(GB36600—2018), 对锦州城区表层土壤重金属 As、Hg、Pb、Cd、Cu、Ni 含量进行评估, 6 项重金属含量均低于相应建设用地类型土壤污染风险筛选值, 即作为建设用地, 6 项重金属土壤污染风险一般可忽略。

3.2.2 以农用地土壤环境质量标准评价

依据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618—2018), 锦州城区表层土壤单指标土壤环境地球化学等级以一等、无风险土壤为主, 占比 82.95%~100.00%, 单指标土壤地球化学划分结果见表 5。

全部样品土壤 Hg、Pb、Ni 环境地球化学等级均为一等, 即土壤无 Hg、Pb、Ni 污染风险。

个别样品土壤 As 地球化学等级为二等, 占比仅 0.46%。少量样品土壤 Cr、Cu、Zn 地球化学等级为二等, 占比 1.38%~7.37%。土壤 Cd 地球化学等级为二等的样品数占比最高, 为 17.05%。即等级为二等的样品, 采样点土地类型为农用地时, 可能存在农用地土壤污染风险, 应加强土壤环境监测和农产品协同监测, 可能存在食用农产品不符合质量标准等土壤污染风险, 原则上应采取农艺调控、替代种植等安全利用措施。

仅 2 件样品土壤 Cr 地球化学等级为三等, 采样点位于汤河子工业开发区中信钛业厂区旁绿化带, 为建设用地。即锦州城区农田区表层土壤无三等污染风险较高的土壤分布。

3.2.3 空间分布

单指标土壤环境质量评价及环境质量综合评价结果见图 2, 锦州城区表层土壤 Ni、Pb、Hg 元素

无污染风险, Cr、Cd 元素污染风险最高, 有污染风险较高的 Cr 三等土壤分布, Cr、Cd 元素污染风险可控的二等土壤分布面积较广, As、Cu、Zn 元素污染风险可控的土壤零散分布。

土壤 Cd 地球化学等级为二等的土壤在锦西机场西侧后张家屯—唐庄子、城区北侧士英街道和钟屯街道一带成片分布, 在城区及汤河子工业区零散分布。

土壤 Cr 地球化学等级为二等的土壤主要集中成片分布于汤河子工业区及周边地区, 其中农田区原则上应采取农艺调控、替代种植等安全利用措施。三等的土壤分布于汤河子工业区的中信钛业厂区及周边, 其中部分为农田, 原则上应采取禁止种植食用农产品、退耕还林等严格管控措施。

综合评价, 锦州城区汤河子工业区土壤污染风险较高, 锦州城区以无风险土壤为主, 风险可控土壤多分布于城郊。

3.3 土壤重金属潜在生态危害评价

采用 Hakanson 潜在生态危害指数评价土壤重

表 5 土壤环境地球化学等级划分结果

Table 5 Results of soil environmental geochemical classification

指标	总样品数	一等, 无风险		二等, 风险可控		三等, 风险较高	
		样品数	比例/%	样品数	比例/%	样品数	比例/%
As	217	216	99.54	1	0.46	0	0.00
Hg	217	217	100.00	0	0.00	0	0.00
Cr	217	199	91.71	16	7.37	2	0.92
Pb	217	217	100.00	0	0.00	0	0.00
Cd	217	180	82.95	37	17.05	0	0.00
Cu	217	214	98.62	3	1.38	0	0.00
Zn	217	210	96.77	7	3.23	0	0.00
Ni	217	217	100.00	0	0.00	0	0.00

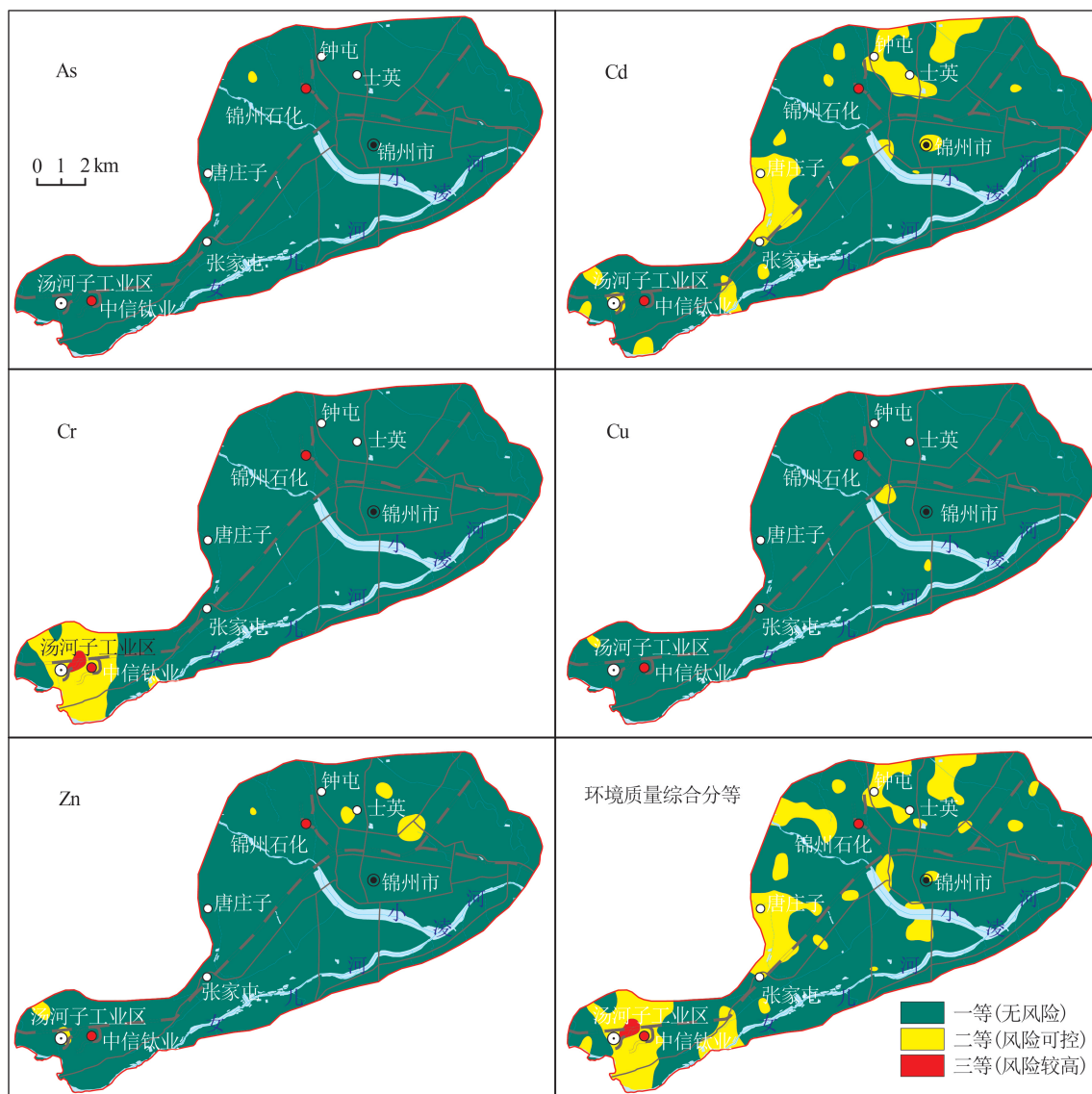


图2 土壤As、Cd、Cr、Cu、Zn单元素环境质量分级及综合分级图

Fig. 2 The soil As, Cd, Cr, Cu and Zn single element environmental quality classification and comprehensive classification map

金属,其采用的参比值主要有全球沉积物中重金属的平均值,区域土壤重金属背景值,国家土壤环境质量标准等。为了反映人类活动影响,本文选择锦州城区深层土壤背景值为参比值,对锦州城区表层土壤重金属进行潜在生态危害评价,结果见表6。

锦州城区各个土壤重金属潜在生态危害系数平均值从大到小依次为 Hg (92.99)、Cd (35.52)、As (10.79)、Cu (6.30)、Pb (5.98)、Ni (5.93)、Cr (3.27)、Zn (1.28)。土壤 Hg 的潜在生态危害程度最高,达到较高生态危害,其潜在生态危害最高指数为 885.71,是最重要的生态危害因子,其他元素均

为低潜在生态危害。综合 8 种重金属元素的锦州城区土壤重金属潜在生态危害指数 (RI) 为 162.06,范围为 36.4~959.65,生态危害级别为中等生态危害。

锦州城区各重金属元素及综合所有元素的潜在生态危害指数频率分布见图 3。从图 3 可以看出,在锦州城区土壤中,重金属 Cu、Pb、Zn、Ni 100% 的样点为轻微生态危害;重金属 As 99.54% 的样品为低生态危害,仅 0.46% 的样品为中等生态危害;Cr 99.08% 的样品为低生态危害,仅 0.92% 的样品为中等生态危害;重金属 Cd 71.43% 的样点为轻微生态危害,26.27% 样点为中等生态危害,1.84% 的样品为

表 6 锦州城区土壤重金属元素潜在生态危害系数

Table 6 Potential ecological hazard coefficient of heavy metal in urban soil of Jinzhou City

地质单元	As	Hg	Cr	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	RI
最大值	42.82	885.71	41.29	19.23	163.71	30.86	9.59	22.14	959.65
最小值	6.13	12.57	0.97	2.44	8.31	2.06	0.36	2.62	36.40
平均值	10.79	92.99	3.27	5.98	35.52	6.30	1.28	5.93	162.06
危害程度	低	较高	低	低	低	低	低	低	中等

较高生态危害,0.46%的样品为高生态危害,整体为低生态危害,这些元素的潜在生态危害较小。重金属 Hg 轻微生态危害、中等生态危害、强生态危害、很强生态危害、极强生态危害的百分比分别为 24.42%、40.09%、26.27%、5.07%、4.15%,整体为很强潜在生态危害。

锦州城区土壤重金属综合潜在生态危害性 (RI) 等级为中等生态危害,其轻微生态危害、中等生态危害、强生态危害、很强生态危害的百分比分别为 0.46%、10.14%、57.14%、25.81%、6.45%,其空间分布见图 4、图 5。中等生态危害区域广泛分布于锦州城区及西南部汤河子工业区,城郊零散分布,强生态危害和很强生态危害区集中分布于老城区、汤河子工业区和市区西北部锦州石化所在工业区,中信钛业等金属冶炼加工、锦州石化等化工工业等工业活动导致土壤重金属潜在生态危害性的提高,同时城区密集人类活动尤其是老城区表层土壤重金属的历史积累均提高了土壤重金属的潜在生态危害性。

锦州城区土壤重金属潜在生态危害的主要影响元素为 Hg 和 Cd,虽然本区表层土壤 Hg 绝对含量不高,均未超过农用地土壤污染危害管控标准中

的筛选值,表层土壤 Cd 也均未达到农用地土壤污染危害管控标准中的管控值,但相对深层土壤背景值,表层土壤 Hg 和 Cd 在本区土壤重金属中最富集,变异系数也最高,受人类活动影响最大,且 Hg 易于释放,对生物的潜在毒性较大,导致土壤 Hg 潜在生态危害最高,土壤 Cd 次之,两者叠加导致综合潜在生态危害总体为中等。

4 讨 论

- (1)土壤 Cr 的高变异系数、出现极端异常值及较高的富集系数反映了土壤 Cr 受人类活动影响较大,结合空间分布特征,污染区域位于冶金工业区,可以明确土壤 Cr 污染成因为冶金工业粉尘污染,污染扩散方向与主风向一致,且范围限于工业区周边 2 km 内。
- (2)土壤 Hg 的高变异系数、出现极端异常值及最高的富集系数反映了土壤 Hg 受人类活动影响较大,虽未达到污染程度,但形成了以主城区为高值区中心并向外围扩散的形态,显示其来源于高强度的城市中心人类活动。
- (3)土壤 Cd 的高富集系数、低变异系数,反映了土壤 Cd 虽在表层富集,是自然变异和人为活动

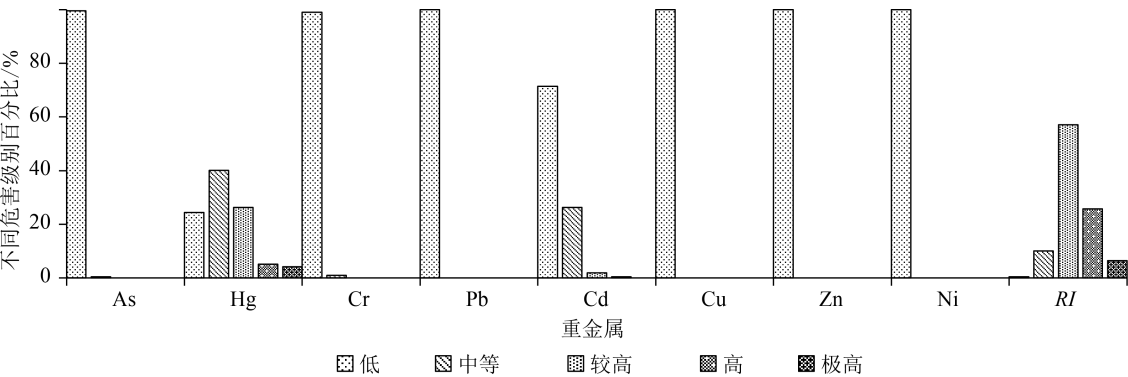


图 3 锦州城区土壤重金属元素潜在生态危害指数频率分布图

Fig. 3 Frequency distribution of potential ecological hazard coefficient of heavy metal in urban soil of Jinzhou City

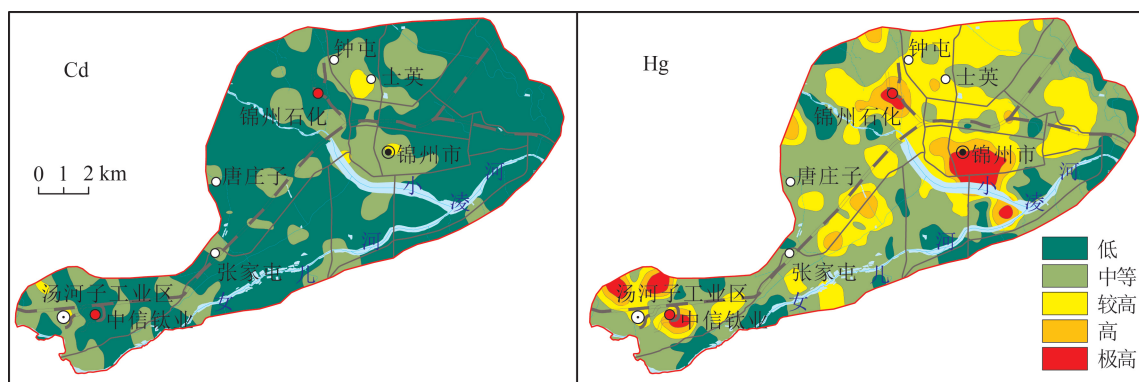


图4 土壤 Cd、Hg 潜在生态危害指数分布图

Fig. 4 Distribution of potential ecological hazard index of Cd and Hg in soil

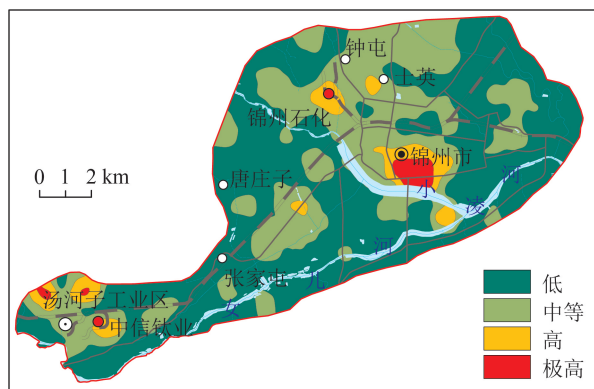


图5 锦州城区土壤重金属潜在生态危害指数空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of heavy metals of RI in urban soil of Jinzhou City

影响叠加的结果,而空间分布特征显示高值区主要分布于农业区,同时也散布于工业区和城区,显示土壤 Cd 污染的多源性。

(4)城市区及郊区土地利用类型较多样,无法采用同一个土壤环境质量评价标准,宜分别采用农用地和建设用地土壤污染风险管控标准进行评估,评估结果对土地管控较实用。

(5)土壤环境质量评价结果显示,Hg 污染风险较低,为各重金属元素中最低,源于土壤污染风险管控标准值较高;但潜在生态危害评价结果表明,Hg 元素达到较高生态危害程度,为各重金属元素中最高,源于 Hg 元素易于释放且对生物潜在毒性较大,毒性响应系数较高^[17-20]。两者并不统一,因此对于土壤 Hg 的评价标准需要进一步研究。

5 结 论

(1)相对于深层土壤重金属背景值,表层土壤 Hg、Cd 的元素富集系数最高,其次为表层土壤 Cr、Zn、Pb、Cu、As、Ni 的表层土壤平均含量与深层土壤元素背景值差别不大。

(2)城区绿地土壤 Hg、Zn、Cu 元素含量平均值均高于城郊旱田 1.5 倍以上,反映了城区人类生活及工业生产活动导致 Hg、Cu、Zn 等重金属元素在土壤中富集。

(3)依据建设用地类型土壤污染风险筛选值评价,表层土壤无污染风险;依据农业用地土壤污染风险筛选值和管控值评价,表层土壤 Ni、Pb、Hg 均无污染风险,17.05% 点位的土壤 Cd、7.35% 点位的土壤 Cr、个别点土壤 As、Cu、Zn 元素有污染风险但风险可控,汤河子工业区部分点位土壤 Cr 风险较高。

(4)综合潜在生态危害指数(RI)达到中等生态危害程度,主要影响元素为 Hg 和 Cd,其中 Hg 元素达到较高生态危害程度。

致谢:本次研究得到中国地质调查局沈阳地质调查中心城市地质研究团队的大力支持和帮助,在论文的修订过程中,中国地质调查局房浩教授、沈阳地质调查中心蔡贺教授等给予了建设性的意见与建议,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 李敏,林玉锁.城市环境铅污染及其对人体健康的影响[J].环境监测管理与技术,2006,18(5): 6-10.

- [2] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [3] 刘玉燕, 刘敏, 刘浩峰. 城市土壤重金属污染特征分析[J]. *土壤通报*, 2006, 37(1): 184-188.
- [4] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能城区土壤中重金属 Cu, Zn, Pb 和 Cd 的污染特征[J]. *环境科学*, 2003, 24(3): 105-111.
- [5] 李随民, 栾文楼, 魏明辉, 等. 河北省唐—秦地区表层土壤地球化学质量评价[J]. *中国地质*, 2009, 36(4): 932-939.
- [6] 李章平, 陈玉成, 杨学春, 等. 重庆市主城区土壤重金属的潜在生态危害评价[J]. *西南农业大学学报*, 2006, 28(2): 227-230.
- [7] 郭平, 谢忠雷, 李军, 等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. *地理科学*, 2005, 25(1): 108-112.
- [8] 柴立立, 崔邢涛. 保定城市土壤重金属污染及潜在生态危害评价[J]. *安全与环境学报*, 2019, 19(2): 607-614.
- [9] 中国地质调查局. 多目标区域地球化学调查规范(1: 250000, DD2005—01)[S]. 2005.
- [10] 国家环境保护局. 土壤环境监测技术规范(HJ/T166-2004)[S]. 2004.
- [11] 中国地质调查局. 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)(DD2005—3)[S]. 2005.
- [12] 高健翁, 龚晶晶, 杨剑洲, 等. 海南岛琼中黎母山—湾岭地区土壤重金属元素分布特征及生态风险评价[J]. *地质通报*, 2021, 40(5): 808-816.
- [13] 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): 1143-1149.
- [14] 薛强, 赵元艺, 张佳文, 等. 基于农作物食用安全的土壤重金属风险阈值[J]. *地质通报*, 2014, 33(8): 1132-1139.
- [15] 生态环境部国家市场监督管理总局. 土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)(GB36600—2018)[S]. 2018.
- [16] 生态环境部国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB15618—2018)[S]. 2018.
- [17] 崔邢涛, 栾文楼, 牛彦斌, 等. 唐山城市土壤重金属污染及潜在生态危害评价[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1379-1386.
- [18] 代杰瑞, 庞绪贵, 宋建华, 等. 山东淄博城市和近郊土壤元素地球化学特征及生态风险研究[J]. *中国地质*, 2018, 45(3): 617-627.
- [19] 管后春, 李运怀, 彭苗芝, 等. 黄山城市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J]. *中国地质*, 2013, 40(6): 1949-1958.
- [20] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112-115.