

银川市城市绿地土壤重金属分布特征及其生态风险评价

孙变变, 赵银鑫, 常 丹, 吴文忠, 张 勇, 田硕丰

(宁夏回族自治区地质调查院, 银川 750021)

摘 要:为掌握银川市城市绿地土壤重金属的空间分布特征及其生态风险状况,分析测定了 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Hg、Cd 和 Pb 含量,利用单因子、内梅罗污染指数法和 Hakanson 潜在生态风险指数法对不同绿地土壤重金属的污染程度和潜在生态风险进行了评价。结果表明:银川市绿地土壤中除 Cr 外,其他 7 种重金属元素的平均含量均超过了银川市土壤背景值,其中 Hg、Cd、Pb 超标严重,重金属在道路绿地和生产绿地中富集现象最明显。绿地土壤各重金属元素的空间分布特征较为一致,高值区主要集中在中部、东部以及东北部,主要受工业生产、交通、商业、养殖场等人类活动的影响。污染评价表明,Hg 属于中度污染,其他重金属元素均属于轻微污染或警戒水平,5 种绿地类型土壤重金属均属于轻度污染。研究区 5 种绿地土壤重金属综合潜在生态风险指数大小排序为:道路绿地>生产绿地>公园绿地>居住绿地>防护绿地,其中道路绿地、生产绿地和公园绿地均处于中等生态风险,居住绿地和防护绿地处于轻微生态风险。8 种重金属元素单项潜在生态风险指数(E_r^i)平均值大小顺序为:Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn,Hg 为强生态风险级别。银川市绿地土壤总体处于中等生态风险,Hg 是最主要的生态风险元素,应引起重视。

关键词:绿地土壤; 重金属; 潜在生态风险; 银川市

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0262-07

Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Green Spaces of Yinchuan City

SUN Bianbian, ZHAO Yinxin, CHANG Dan, WU Wenzhong, ZHANG Yong, TIAN Shuofeng

(Geological Survey Institute of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to understand the spatial distribution characteristics and ecological risk of heavy metals in green space of Yinchuan City, the contents of Cr, Ni, Cu, Zn, As, Hg, Cd and Pb were determined. The pollution levels and potential ecological risks of soil heavy metals in different types of green space were evaluated by single factor, Nemero pollution index and Hakanson potential ecological risk index methods. The results show that except for Cr, the average contents of the other seven heavy metal elements exceeded the background values of Yinchuan City, and the Hg, Cd, Pb exceeded the standard seriously; heavy metals are mainly accumulated in road green space and production green space; the spatial distribution characteristics of heavy metal elements in green space are relatively consistent, and areas with the high values of heavy metal contents mainly concentrate in the central, eastern and northeastern parts, which are mainly affected by human activities such as industrial production, transportation, commerce, farming, and so on. Pollution evaluation shows that Hg is moderate pollution, other heavy metal elements are slight pollution or warning level, and all the green spaces belong to slight pollution grade. The comprehensive potential ecological risk indices of heavy metals in five types of green space decrease in the order: road green space>production green space>park green space>residential green space>protective green space, among which road green space, production green space and park green space are at moderate ecological risk, residential green space and protective green space are at slight ecological risk. The average of the individual potential ecological risk index (E_r^i) of each of the eight heavy metals decreases in the order: Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn, Hg has reached the strong ecological risk level. All in all, the green space soil in Yinchuan City is at moderate

收稿日期:2019-12-11

修回日期:2020-01-07

资助项目:宁夏回族自治区财政厅财政专项“银川市都市圈城市地质调查项目”([2017]320 号)

第一作者:孙变变(1989—),女,宁夏银川人,助理工程师,硕士,主要从事土壤污染调查与评价工作。E-mail:474988907@qq.com

ecological risk, Hg is the main element of potential ecological risk, which should be paid attention to.

Keywords: green space soil; heavy metal; potential ecological risk; Yinchuan City

城市绿地是城市生态的重要载体,兼具生态环境、人体保健、景观游憩、防灾减灾等重要功能^[1-2],一般可分为公园绿地、防护绿地、广场绿地、附属绿地以及区域绿地等类型。近年来,随着工业发展以及城市化进程的推进,大量重金属通过工业生产、垃圾焚烧、污水灌溉、农药、化肥的不合理施用、大气降尘和机动车排放等方式释放到绿地土壤中^[3-5],积累到一定程度,不仅导致土壤质量的退化,影响植被的生长和生物多样性,而且可通过扬尘或手口直接接触对人体健康造成危害^[6-7]。

随着推进“绿色、高端、和谐、宜居”的城市建设理念,我国对绿地土壤重金属污染的研究越来越多,初始阶段多数学者是将绿地土壤作为一个整体,用传统思路进行某几种重金属的污染评价^[8-9],近几年来已有研究者突破传统思路,按照不同功能区或者不同绿地类型进行绿地土壤重金属特征的研究,杨少斌等^[10]探讨了北京城区绿地土壤重金属污染评价与空间分析,结果表明公园绿地土壤重金属属于轻度污染,道旁绿地、居住绿地和附属绿地均未受到重金属污染;卢德亮等^[11]采用野外调查与室内试验分析相结合的方法研究哈尔滨市不同绿地功能区土壤重金属污染情况,研究表明由重到轻的顺序为工业区绿地>市区公路两旁绿地>松花江沿岸绿地>城市公园绿地>农业用地>森林与苗圃绿地。银川市对于不同类型绿地土壤重金属的分布及生态风险评价还相对较少,因此,本文对银川市不同类型城市绿地土壤 Cr, Ni, Cu, Zn, As, Hg, Cd 和 Pb 共 8 种重金属进行测试分析,研究其空间分布特征,采用单因子及内梅罗污染指数法和 Hakanson 生态风险指数法对不同绿地土壤重金属的污染状况及生态风险进行评价,为银川市不同类型绿地土壤重金属污染防治与修复提供理论依据,为银川市绿地系统规划提供有益的指导。

1 研究区概况

银川市为宁夏回族自治区首府,位于黄河上游宁夏平原中部,北纬 38°08′—38°53′,东经 105°49′—106°35′,东踞鄂尔多斯西缘,西依贺兰山,黄河从市境穿过,是深入实施西部大开发战略的重点经济区。银川气候属温带大陆性气候,年均气温 8.5℃左右,年均日照时数 2 800~3 000 h,是全国太阳辐射和日照时数最多的地区之一,年均降水量 200 mm 左右,无霜期 185 d 左右。气候具有四季分明,昼夜温差大,

雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥等特点。截至 2017 年底,银川市绿地率 42.04%,绿化覆盖率 42.07%,森林覆盖率 16%,建成区人均公园绿地面积 16.83 km²。本次研究范围为银川市绕城高速以内,面积约 400 km²,主要包括兴庆区、西夏区以及金凤区城区部分,交通发达,结构复杂,为人口、商业、经济和文化高度集中的区域。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集与测试

为方便采样并确保样品的代表性,研究区土壤样品按照我国《城市绿地分类标准》(CJJ/T85—2017)中绿地类型进行布设,采样点位分布在公园绿地、防护绿地、道路绿地、居住绿地以及生产绿地中。根据研究区地形地貌、绿地利用状况,在综合考虑经济、社会、行政等因素的基础上,利用卫星影像图以及结合实地勘察结果,确定出 32 个公园绿地样点,23 个防护绿地样点,67 个道路绿地样点,42 个居住绿地样点,74 个生产绿地样点,与 2018 年 6—7 月最终累积采集土壤样品 238 个,每个采样点的经纬度均用 GPS 定位,采样点分布见图 1。土壤样品采集使用无污染的用具(如竹勺、木勺等),刮去地表薄层浮土(<1 cm 即可),采样深度为 0—20 cm,并去除杂草、草根、砾石、砖块、肥料团块等杂物,尽量避免采集新近搬运的堆积土、垃圾土和明显污染的土壤,选择采集第四系自然土,将采集土样在常温下风干后,装入密封袋中待测。研究区绿地植物种类多以本土树种为主,公园绿地、居住绿地及道路绿地绿化植物以国槐、圆柏、青海云杉、垂柳、玫瑰、马兰花、金银木等为主,防护绿地绿化植物为国槐、刺槐、沙枣树、丁香、紫藤、爬山虎等,生产绿地为本土树种提供幼苗,多以上述植物种类为主。

采集的土壤样品全部由宁夏地质调查院宁夏地矿中心实验室化验分析,测试过程严格按照《区域地球化学样品分析方法》^[12]进行,其中 Cr, Zn 选用 X 射线荧光光谱法(XRF)测定, Cu, Ni, Cd, Pb 选用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定, As, Hg 选用氢化物—原子荧光光谱法(HG-AFS)测定。

2.2 评价标准与方法

2.2.1 土壤重金属污染评价 采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法评价研究区绿地土壤重金属的污染状况。单因子污染指数法能直接反映土

壤中某一种重金属的累积污染程度^[13],其表达式为:

$$P_i=C_i/S_i$$
 (1)

式中: P_i 为土壤中污染物*i*的污染指数; C_i 为污染物*i*的实测值; S_i 为污染物*i*的评价标准,本文选用银川市土壤背景值^[14]作为污染评价标准。内梅罗综合污染指数法可全面反映土壤中各污染物的平均污染水平以及环境质量^[15],突出高浓度污染物对土壤环境造成的影响,其计算公式为:

$$P_{\text{综}}=\sqrt{\frac{(P_i)^2+(P_{i\text{max}})^2}{2}}$$
 (2)

式中: $P_{\text{综}}$ 为土壤重金属元素的综合污染指数; $\overline{P_i}$ 为重金属元素的单因子污染指数的平均值; $P_{i\text{max}}$ 为重金属元素中单因子污染指数最大值。土壤重金属污染评价分级具体见表 1。

表 1 土壤重金属污染分级标准

等级划分	I	II	III	IV	V
单因子污染指数(P_i)	$P_i\leq 0.7$	$0.7<P_i\leq 1$	$1<P_i\leq 2$	$2<P_i\leq 3$	$P_i\geq 3$
内梅罗污染指数($P_{\text{综}}$)	$P_{\text{综}}\leq 0.7$	$0.7<P_{\text{综}}\leq 1$	$1<P_{\text{综}}\leq 2$	$2<P_{\text{综}}\leq 3$	$P_{\text{综}}\geq 3$
污染等级	清洁(安全)	尚清洁(警戒限)	轻度污染	中度污染	重污染

2.2.2 生态风险评价 采用 Hakanson 潜在生态风险指数法^[16]评价银川市绿地土壤重金属风险程度,该方法结合土壤重金属含量、生物毒理、环境化学及生态学等方面的内容,是从沉积学角度出发建立的一套评价重金属潜在生态危害的方法^[17],计算公式为:

$$C_f^i=\frac{C_i}{C_n^i}$$
 (3)

$$E_r^i=T_r^i\times C_f^i$$
 (4)

$$RI=\sum_{i=1}^m E_r^i$$
 (5)

表 2 Hakanson 潜在生态风险等级

风险程度	轻微生态风险	中等生态风险	强生态风险	很强生态风险	极强生态风险
E_r^i	$E_r^i<40$	$40\leq E_r^i<80$	$80\leq E_r^i<160$	$160\leq E_r^i<320$	$E_r^i\geq 320$
RI	$RI<150$	$150\leq RI<300$	$300\leq RI<600$	$RI\geq 600$	

3 结果与分析

3.1 绿地土壤重金属含量描述性统计

研究区绿地土壤 8 种重金属含量描述性统计见表 3,结果显示,Cr,Ni,Cu,Zn,As,Hg,Cd,Pb 元素的平均含量分别为 60.26,25.66,21.17,55.48,11.90,0.04,0.15,22.78 mg/kg,分别为银川土壤背景值的 0.99,1.03,1.11,1.07,1.08,2.12,1.28,1.20 倍,除 Cr 元素外,其他重金属元素含量平均值均高于银川土壤背景值。Hg,Pb,Cd 超出银川土壤背景值的点位率较大分别为 82.35%,75.21%,70.59%,Cu,As,Zn,Ni 点位超标率分别为 62.19%,61.34%,57.14%,53.78%,Cr 元素点位超标

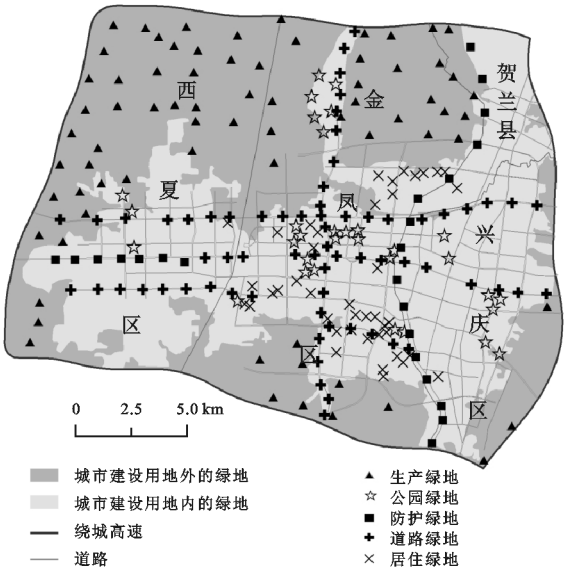


图 1 研究区土壤样点分布

式中: C_f^i 为单项污染系数; C_i 为样品中污染物*i*的实测值; C_n^i 为污染物*i*的参比值,本文采用银川市土壤背景值^[14]作为参比值; T_r^i 为污染物*i*的毒性相应系数,各重金属的毒性系数大小分别为:Hg=40>Cd=30>As=10>Cu=Ni=Pb=5>Cr=2>Zn=1^[18]; E_r^i 为污染物*i*的单项潜在生态风险指数;RI 为区域多种重金属综合潜在生态风险指数。Hakanson 对 E_r^i 和 RI 的范围进行了划定并确定了详细的污染等级,具体分级见表 2。

率不足 50%。说明研究区绿地土壤已表现出重金属富集的特征,Hg,Pb,Cd 元素最为明显。与中国土壤背景值相比,As 和 Cd 平均含量超过了中国土壤背景值,其他 6 种元素均未超标。

分析 8 种重金属元素在不同类型绿地土壤中的平均含量,发现 Cr,Ni,Zn,Cd 在生产绿地中含量最高,Cu,As,Hg,Pb 在道路绿地中含量最高,说明道路绿地和生产绿地土壤中重金属富集现象最严重。与银川市土壤背景值相比较,Cr 只在生产绿地中的含量超过了银川土壤背景值,平均值达到 62.29 mg/kg;Ni 和 Zn 在道路绿地、居住绿地和生产绿地土壤中的平均值均高于银川市土壤背景值,在公园绿地、

防护绿地土壤中未超标;Cu 和 As 除了在防护绿地中处于安全状态,在其他 4 种绿地类型中的平均含量均标;Hg,Cd,Pb 在 5 种绿地类型中的平均含量均已超过了银川土壤背景值,形势严峻。

表 3 不同类型绿地土壤重金属含量

绿地类型	项目	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Hg	Cd	Pb
公园绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	57.12	24.11	19.61	51.54	11.69	0.04	0.13	22.22
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	12.28	6.58	6.36	15.26	3.00	0.03	0.05	4.38
	变异系数/%	21.50	27.29	32.43	29.61	25.66	78.95	35.43	19.71
防护绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	58.06	22.85	18.49	50.70	10.66	0.03	0.14	21.50
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	7.18	3.67	3.51	13.52	1.65	0.02	0.05	5.26
	变异系数/%	12.37	16.06	18.98	26.67	15.48	59.38	32.14	24.47
道路绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	60.55	26.26	21.99	57.27	12.57	0.04	0.16	23.97
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	12.37	6.74	6.11	14.92	2.96	0.02	0.06	6.00
	变异系数/%	20.43	25.67	27.79	26.05	23.55	61.54	34.38	25.03
居住绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	59.80	25.94	21.36	54.93	11.47	0.04	0.13	21.05
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	6.83	3.83	3.96	9.82	1.61	0.02	0.03	3.50
	变异系数/%	11.42	14.76	18.54	17.88	14.04	56.76	20.31	16.63
生产绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	62.29	26.50	21.83	57.37	12.00	0.03	0.18	23.33
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	11.76	6.91	6.36	16.33	2.40	0.02	0.06	6.08
	变异系数/%	18.88	26.08	29.13	28.46	20.00	70.59	34.09	26.06
银川市绿地	平均值/(mg·kg ⁻¹)	60.26	25.66	21.17	55.48	11.90	0.04	0.15	22.78
	标准差/(mg·kg ⁻¹)	11.00	6.18	5.77	14.65	2.53	0.02	0.05	5.46
	变异系数/%	18.25	24.08	27.26	26.41	21.26	66.67	35.29	23.97
银川市土壤背景值/(mg·kg ⁻¹)		61.00	25.00	19.00	52.00	11.00	0.02	0.12	19.00
点位超标率/%		48.74	53.78	62.19	57.14	61.34	82.35	70.59	75.21
中国土壤背景值/(mg·kg ⁻¹)		61.00	26.90	22.60	74.20	11.20	0.07	0.10	26.00
点位超标率/%		48.74	43.28	41.60	9.24	60.50	8.40	87.82	23.95

变异系数可以表征土壤重金属含量的波动、离散情况以及受人为活动影响的程度,其值越大说明受人类活动干扰越强烈^[19],根据林俊杰等^[20]对变异程度的分类,研究区 8 种重金属变异系数大小顺序为: Hg>Cd>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cr,其中 Hg,Cd 变异系数分别为 66.67%,35.29%为强变异,其他重金属变异系数均属于中等变异。在不同绿地类型上,各元素高变异的有:公园绿地中的 Cu,Hg 和 Cd,防护绿地、道路绿地、生产绿地中的 Hg 和 Cd,居住绿地中的 Hg,由此可知这些元素在不同绿地土壤重受人

类活动干扰强烈。
3.2 绿地土壤重金属空间分布特征

利用 SPSS 16.0 软件对研究区绿地土壤重金属含量进行 K-S 正态分布检验,结果显示 Cr,Ni,Cu,Zn,As 符合正态分布,Hg 对数转换后符合正态分布,Cd 和 Pb 既不符合正态分布也不符合对数正态分布(表 4)。在此检验的基础上,采用 ArcGIS 10.7 软件对各重金属含量进行克里金插值分析,其中 Hg 元素在插值前进行了对数转换处理,Cd,Pb 只对其进行了分级符号显示(图 2)。

表 4 绿地土壤重金属元素 K-S 正态分布检验结果

项目	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Hg	Cd	Pb
正态分布 sig(2-tailed)	0.062	0.095	0.454	0.483	0.303	0	0	0
对数转换 sig(2-tailed)						0.913	0.002	0

由图 2 可知,Cr,Ni,Cu,Zn,As 有相似的空间分布特征,在研究区东部和东北部方向上呈现出重金属偏高现象,同时在中部含量也较高;Hg 除了在研究区东部、中部含量较高外,在西部也出现了富集趋势。Cd 高值点主要分布在研究区东部、东北部以及西部;Pb 在研究区东部、东北部以及中部浓度较高。总体上,研究区各重金属含量高值区主要分布在研究区中部、东部以及东北部,呈条带状及片状分布,表现出由东向西递减的趋势。

经实地调查发现,研究区东部分布着德胜工业园区,工业生产中“三废”排放导致了附近道路绿地土壤中的重金属富集现象,这与冯亚亮^[21]、王幼奇^[3]等的研究相一致。研究区东北方向上丰登镇附近建有牛场等农场,Cu,As,Cr,Zn,Ni 等重金属会随畜禽粪尿排出^[15]从而造成附近生产绿地土壤重金属超标。研究区中部以及东部,人口、火车站、大型商业区、企业以及产业园集中,能源消耗及排污量也较大,从而造成周围公园绿地、居住绿地、道路绿地土壤中重金属浓度较高。

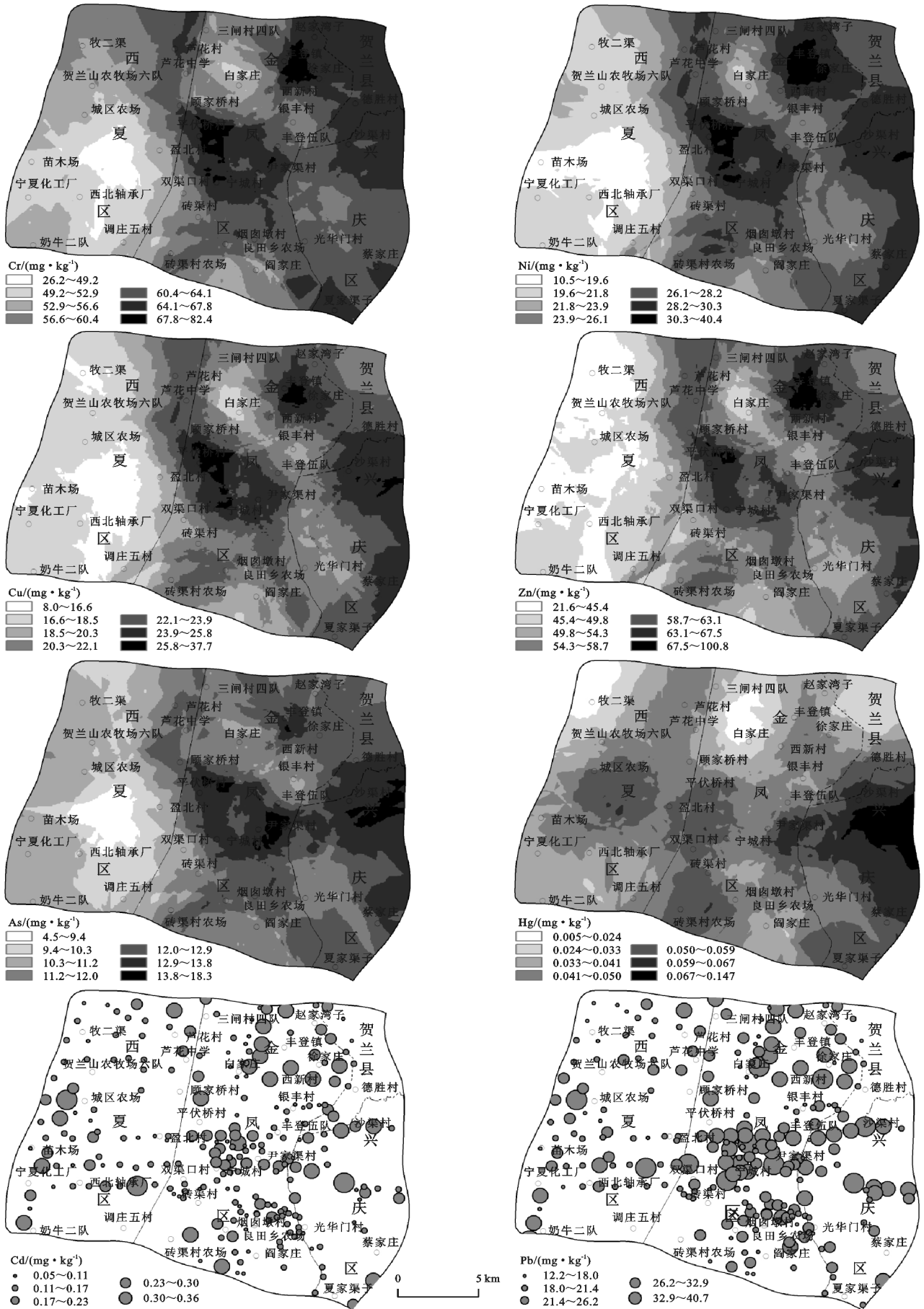


图 2 银川市城市绿地土壤各重金属含量空间分布

3.3 绿地土壤重金属污染评价

以银川市土壤背景值作为评价标准计算出各重金属的污染指数(表 5),从单因子污染指数来看,Cr 单因子污染指数为 0.99,为警戒水平;Hg 单因子污

染指数 P_i 值为 2~3,属于中度污染;其他元素单因子污染指数 P_i 值为 1~2,属于轻微污染。不同重金属污染程度依次为: $Hg>Cd>Pb>Cu>As>Zn>Ni>Cr$ 。

表 5 不同类型绿地土壤重金属污染指数

绿地类型	P_i								$P_{\text{综}}$
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Hg	Cd	Pb	
公园绿地	0.94	0.96	1.03	0.99	1.06	2.26	1.06	1.17	1.906
防护绿地	0.95	0.91	0.97	0.98	0.97	1.86	1.17	1.13	1.596
道路绿地	0.99	1.05	1.16	1.10	1.14	2.30	1.33	1.26	1.927
居住绿地	0.98	1.04	1.12	1.06	1.04	2.16	1.06	1.11	1.775
生产绿地	1.02	1.06	1.15	1.10	1.09	2.02	1.46	1.23	1.784
平均值	0.99	1.03	1.11	1.07	1.08	2.14	1.27	1.20	1.820

通过 $P_{\text{综}}$ 可知,不同类型绿地污染指数均为 1~2,属于轻度污染,污染程度由重到轻依次为道路绿地>公园绿地>生产绿地>居住绿地>防护绿地,道路绿地受重金属污染程度最大,公园绿地次之。

3.4 绿地土壤重金属生态风险评价

应用 Hakanson 潜在生态风险指数法,以银川市土壤背景值作为参比值,计算研究区不同绿地土壤中各重金属元素的潜在生态风险指数及其分级情况(表 6)。

表 6 不同类型绿地土壤重金属生态风险指数

绿地类型	单项潜在生态风险指数(E_r^i)								综合潜在生态风险指数(RI)	风险分级
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Hg	Cd	Pb		
公园绿地	1.87	4.82	5.16	0.99	10.63	90.40	31.69	5.85	151.41	中等
防护绿地	1.90	4.57	4.87	0.98	9.69	74.53	35.01	5.66	137.21	轻微
道路绿地	1.99	5.25	5.79	1.10	11.43	92.07	39.82	6.31	163.76	中等
居住绿地	1.96	5.19	5.62	1.06	10.42	86.22	31.71	5.54	147.72	轻微
生产绿地	2.04	5.30	5.74	1.10	10.91	80.61	43.94	6.14	155.78	中等
平均值	1.98	5.13	5.57	1.07	10.81	85.55	38.11	6.00	154.22	中等

从重金属平均单项潜在生态风险指数 E_r^i 来看,研究区 8 种重金属潜在生态风险大小顺序为: $Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn$,As,Pb,Cu,Ni,Cr,Zn 生态风险指数分别为 10.81,6.00,5.57,5.13,1.98,1.07,均属于轻微生态风险,其中 Cr,Zn 单项潜在生态风险指数 E_r^i 平均值均小于 2,危害程度最小;Cd 的生态风险平均值为 38.11,即将超过轻微生态风险临界值,需引起重视;Hg 的潜在生态风险指数最大达到了 85.55,属于强生态风险。在不同绿地类型中,Cr,Ni,Cu,Zn,Pb 在 5 种绿地类型中的 E_r^i 均小于 40,属于轻微生态风险级别;Cd 在生产绿地中的 E_r^i 值大于 40,属于中等生态风险,在其他绿地中均属于轻微生态风险;Hg 在防护绿地中属于中等生态风险,在公园绿地、道路绿地、居住绿地以及生产绿地中均属于强生态风险级别。说明 Hg 元素是研究区绿地土壤中最主要的生态风险元素,重金属中 Hg 的毒性是最强的,Hg 污染对土壤、农作物、人体和经济都有严重的影响,因此要加强 Hg 污染的重视。

整个研究区绿地土壤重金属综合潜在生态风险指数(RI)范围为 45.95~414.72,平均值为 154.22。在此基础上绘制出银川市绿地土壤重金属综合潜在

生态风险分布图(图 3),由图 3 可知,研究区重金属综合潜在生态风险级别主要为轻微生态风险、中等生态风险以及小范围强生态风险。呈中等生态风险的区域呈不规则块状分布在研究区内。呈强生态风险的区域在研究区东部和西部小范围内分布,分布特征与 Hg 元素的空间分布相似性很大,风险指数高值区主要来自 Hg 元素的贡献,进一步证实 Hg 是研究区最主要的生态风险元素。

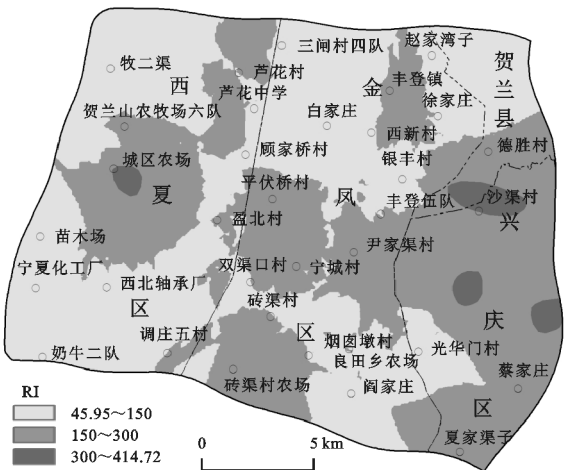


图 3 银川市绿地土壤重金属综合潜在生态风险指数分布

从不同绿地类型上来看,土壤重金属综合潜在生态风险指数 RI 大小排序为:道路绿地>生产绿地>公园绿地>居住绿地>防护绿地,其中道路绿地、生产绿地和公园绿地 RI 值分别为 163.76,155.78,151.41,介于 150~300,处于中等生态风险,居住绿地和防护绿地 RI 值均小于 150,处于轻微生态风险。上述结果表明,研究区道路绿地的污染及风险程度最大,这与冯亚亮等^[21]的研究结论一致,污染物主要来源于交通运输,机动车尾气排放以及车身、轮胎与地面摩擦都会释放出大量 Pb、Zn 和 Cd 等重金属^[22],汽车油漆掉落亦可能在一定程度上对绿地土壤中 Hg 的含量产生影响^[23]。生产绿地和公园绿地中重金属的生态风险仅次于道路绿地,也需引起关注,生产绿地是为城市绿化提供苗木、花草、种子的圃地,污染源主要受农药和化肥不合理的使用^[24]、污水灌溉、周边养殖场^[23]的影响,以及大量使用塑料薄膜^[25]都会造成重金属污染。研究区公园绿地中重金属变异系数最大,说明公园绿地受人类活动干扰强烈,公园绿地周围一般为交通道路、居民区以及商业建筑,建筑装饰材料的风化产物是土壤中 Pb 累积的重要来源^[26],居民随意丢弃的无用的金属包装盒、电子垃圾^[27]、施入绿地的化肥、杀虫剂、除草剂等^[25]都会造成公园绿地的重金属富集。不同类型绿地土壤重金属污染来源有所不同,应在调查分析其含量以及污染来源的基础上进行针对性的防护与治理,以促进绿地生态系统的健康发展。

4 结论

研究区绿地土壤中除 Cr 元素外,其他 7 种重金属元素含量平均值均超过了银川市土壤背景值,其中 Hg、Cd、Pb 超标严重,点位超标率分别为 82.35%,75.21%,70.59%。不同绿地类型中,道路绿地和生产绿地土壤中重金属富集最严重,Cu、As、Hg、Pb 在道路绿地中含量最高,Cr、Ni、Zn、Cd 在生产绿地中含量最高。

受工业生产、交通运输、商业活动、养殖场畜禽粪便的施用等人类的活动的影响,各重金属元素在研究区呈现出明显的条带状及片状空间分布特征,高值区主要集中在研究区中部、东部以及东北部。

8 种重金属在研究区的污染程度依次为: Hg>Cd>Pb>Cu>As>Zn>Ni>Cr, Hg 污染属于中度污染,其他重金属元素均属于轻微污染或警戒水平。5 种绿地类型均属于轻度污染,污染程度为:道路绿地>公园绿地>生产绿地>居住绿地>防护绿地。

研究区绿地土壤总体处于中等生态风险,5 种绿地土壤重金属综合潜在生态风险指数(RI)为:道路

绿地>生产绿地>公园绿地>居住绿地>防护绿地,其中道路绿地、生产绿地和公园绿地均处于中等生态风险,居住绿地和防护绿地处于轻微生态风险。8 种重金属元素单项潜在生态风险指数平均值大小顺序为: Hg>Cd>As>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn, Hg 达到了强生态风险级别,是最主要的生态风险元素,应引起重视。

随着城市化进程的加快,目前银川市绿地土壤环境受到一定程度的污染,今后应加强绿地土壤检测以及重金属污染防治和修复。

参考文献:

- [1] 赵靓,梁云平,陈倩,等.北京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,2019(5):1-13.
- [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.
- [3] 王幼奇,白一茹,王建宇.基于 GIS 的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征[J].环境科学,2016,37(2):710-716.
- [4] 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,2015,36(2):507-515.
- [5] 陈海珍,龚春生,李文立,等.广州市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J].环境与健康杂志,2010,27(8):700-703.
- [6] 魏树和,周启星.重金属污染土壤植物修复基本原理及强化措施探讨[J].生态学杂志,2004,23(1):65-72.
- [7] 秦娟,许克福.我国城市绿地土壤质量研究综述与展望[J].生态科学,2018,37(1):200-210.
- [8] 杜慧慧.银川市城市绿地土壤重金属污染评价[J].宁夏工程技术,2018,17(4):56-59.
- [9] 杨泉,陈明,胡兰文,等.赣州市绿地土壤重金属污染特征及评价[J].土壤通报,2018,49(1):159-166.
- [10] 杨少斌,于鑫,孙向阳,等.北京城区绿地土壤重金属污染评价与空间分析[J].生态环境学报,2018,27(5):933-941.
- [11] 卢德亮,乔璐,陈立新,等.哈尔滨市区绿地土壤重金属污染特征及植物富集[J].林业科学,2012,48(8):16-24.
- [12] 中华人民共和国国土资源部.区域地球化学样品分析方法 DZ/T0279.1-2016—DZ/T0279.34-2016[S].北京:中国地质大学出版社,2016.
- [13] 张鹏岩,秦明周,陈龙,等.黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价[J].环境科学,2013,34(9):3654-3662.
- [14] 成杭新,李括,李敏,等.中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J].地学前缘,2014,21(3):265-306.
- [15] 周勤利,王学东,李志涛,等.宁夏贺兰县土壤重金属分布特征及其生态风险评价[J].农业资源与环境学报,2019,36(4):513-521.

hoods [J]. *Ecosystem Services*, 2014,7:10-21.

[18] 胡国建,陈传明,郭连超,等.生态补偿对自然保护区农户生计资本影响分析:以福建闽江源国家级自然保护区为例[J].*生态经济*,2018,34(8):145-149,155.

[19] 周李磊,官冬杰,袁兴中.精准扶贫视角下生态系统服务与贫困人口生计耦合关联分析[J].*生态学报*,2018,38(18):36-46.

[20] 胡蕾,吴健,李海萍.生态系统服务与居民收入的耦合关系及影响因素:以丽江拉市海流域为例[J].*生态学报*,2018,38(18):6402-6411.

[21] 吴乐,靳乐山.生态补偿扶贫背景下农户生计资本影响因素研究[J].*华中农业大学学报:社会科学版*,2018,138(6):61-67,159-160.

[22] Carr E R, Mccusker B. The co-production of land use and livelihoods change: Implications for development interventions [J]. *Geoforum*, 2009,40(4):568-579.

[23] Kalaba F K, Quinn C H, Dougill A J. Contribution of forest provisioning ecosystem services to rural livelihoods in the Miombo woodlands of Zambia [J]. *Population and Environment*, 2013,35(2):159-182.

[24] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].*自然资源学报*,2003,18(2):189-196.

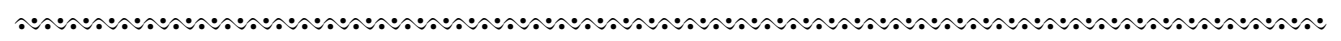
[25] Zhou D, Xu J C, Lin Z L. Conflict or coordination: Assessing land use multi-functionalization using production-living-ecology analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2016,577(15):136-147.

[26] 苏胜亮,吴立峰.宁夏六盘山连片特困区生态环境与经济发展耦合协调研究[J].*水土保持研究*,2019,26(4):286-291,298.

[27] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系[J].*热带地理*,1999,19(2):171-177.

[28] Heubach K, Wittig R, Nuppenau E A, et al. The economic importance of non-timber forest products(NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities; A case study from northern Benin[J]. *Ecological Economics*, 2011,70(11):1991-2001.

[29] Sharma B, Rasul G, Chettri N. The economic value of wetland ecosystem services: Evidence from the Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal[J]. *Ecosystem Services*, 2015,12:84-93.



(上接第 268 页)

[16] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control:a sediment ecological approach[J]. *Water Research*, 1980,14(8):975-1001.

[17] 方晓波,史坚,廖欣峰,等.临安市雷竹林土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].*应用生态学报*,2015,26(6):1883-1891.

[18] 徐争启,倪师军,庾先国,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.

[19] 罗成科,张佳瑜,肖国举,等.宁东基地不同燃煤电厂周边土壤 5 种重金属元素污染特征及生态风险[J].*生态环境学报*,2018,27(7):1285-1291.

[20] 林俊杰,王云智,陈国祥,等.万州老城区楼顶菜地土壤重金属污染特征[J].*环境科学研究*,2011,24(6):679-683.

[21] 冯亚亮,张明鑫.银川市城区城市表层土壤 6 种有害重金属分布规律及其来源分析[J].*国外医学:医学地理分册*,2017,38(4):321-324.

[22] Fakayode S O, Olu-Owolabi B I. Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria: its relationship to traffic density and proximity to highways [J]. *Environmental Geology*, 2003,44(2):150-157.

[23] 王秋丽.畜禽养殖导致土壤重金属污染现状及对策[J].*现代农业科技*,2016(11):245-245.

[24] 骆斌,罗晓梅,张美,等.城市绿地重金属污染模糊综合评价[J].*西南农业学报*,2011,24(3):1009-1012.

[25] 秦鹏,阮丽,包跃跃,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.

[26] 乔雪,邓琳,王今雨,等.齐齐哈尔市主城区城市绿地土壤重金属来源解析与健康风险评价[J].*土壤通报*, 2019,50(1):217-225.

[27] 郭培俊,杨菁.重金属污染土壤的修复与防治研究[J].*科技资讯*,2019,17(3):93-94.