

张云菲, 孜比布拉·司马义, 杨胜天, 等. 农田土壤重金属污染特征、生态风险评价与来源分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(4): 266-272.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.04.048

农田土壤重金属污染特征、生态风险评价与来源分析

张云菲¹, 孜比布拉·司马义¹, 杨胜天^{1,2}, 魏漪梦¹, 田甜¹, 毛红云¹, 王显¹

(1. 新疆大学资源与环境科学学院/新疆大学智慧城市与环境建模普通高校重点实验室/新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要:目前,我国经济与工业快速发展,农田土壤重金属污染问题日益严重。采用污染负荷指数(PLI)、潜在生态风险指数(RI)、相关性分析和聚类分析等方法研究新疆乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染现状、空间分布特征、潜在生态风险及其主要来源。结果表明,乌鲁木齐市周边农田土壤重金属Cd、Cr、Cu、Ni、Zn、Hg含量的平均值均超过了新疆土壤背景值,特别是Cr和Zn的含量远超过新疆土壤背景值;乌鲁木齐市周边农田土壤属于轻度污染;乌鲁木齐市周边农田土壤重金属中Hg与Cd是最主要的生态风险因子,研究区生态风险预警指数呈现无警示状态。Cu、Cr、Hg、Ni、As的污染主要是由于污水灌溉,Pb和Cd的污染主要是由于煤矿开采,Zn的污染是由镀锌钢管大棚、机械制造及彩钢制造厂等所造成的。

关键词:农田土壤;重金属;污染负荷指数;潜在风险指数;污染评价

中图分类号: X826; X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)04-0266-07

自从我国进入工业时代以来,工业的不断发展以及城市化进程的不断深入等因素都导致了土壤重金属污染状况的加重。在日常农业生产活动中,污水灌溉、农药及化肥等不合理使用,同时加上周边工业区产生的污染,导致农田土壤中重金属的含量逐渐增加^[1]。农田土壤重金属污染不仅会导致农作物在生长过程中受到影响,更会对人类健康生活产生不利影响。根据我国农业部门的调查,我国农田土壤污水灌溉面积为140万hm²,受到重金属污染影响的面积占总灌溉面积的64.8%,粮食产量每年因重金属污染而减少1000多万t,受到重金属污染的粮食每年达到1200万t,总损失金额至少200亿元^[2]。进入到土壤中的重金属不易降解,其毒性会严重影响作物的生长,其中镉(Cd)、砷(As)等重金属容易被农作物吸收,进入食物链后对人类健康造成危害。党的十九大报告中也提及,要着力解决空气、水、土壤等突出环境问题,强化土壤污染管控和修复。因此,合理分析和评价土壤环境,全

面掌握实际污染状况是十分必要的。

目前,针对于土壤重金属污染物,国内外的研究主要有以下几个方面:污染源调查、污染评价、潜在生态风险评价、污染对人体健康造成的影响以及污染修复等^[3-6]。其中进行土壤重金属污染评价常用的方法有单项污染指数法、污染负荷指数(PLI)法、Nemero指数法和Hakanson潜在生态风险评价法等^[7-9]。地处我国西北部的乌鲁木齐市为新疆的首府城市,居住人口数量较多,经济发展较为迅速,城市化水平较高。与此同时,乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染问题也逐渐受到当地居民的关注。有关数据表明,乌鲁木齐市农田土壤主要受到5种重金属元素[Cd、铬(Cr)、铅(Pb)、As、汞(Hg)]污染,其中除了As和Cr之外,其余重金属元素的含量均超过新疆土壤背景值,表明农田土壤重金属污染在乌鲁木齐市是一个不可忽视的问题^[10]。因此,现阶段研究乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染状况十分重要。

本研究以新疆乌鲁木齐市周边农田土壤为例,在采集表层土壤样品的基础上,测定样品镉、铜(Cu)、铬、镍(Ni)、铅、锌(Zn)、汞、砷在土壤中的浓度。借助污染负荷指数(PLI)法、潜在生态风险指数(RI)法、生态风险预警指数(I_{ER})等分析与评价乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染现状,旨在为城市周边农田土壤重金属污染研究提供更多的案

收稿日期:2018-12-23

基金项目:国家自然科学基金-新疆联合基金重点项目(编号:U1603241)。

作者简介:张云菲(1995—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事土壤生态环境研究。E-mail:feifei1995729@163.com。

通信作者:孜比布拉·司马义,博士,教授,硕士生导师,主要从事资源利用与城乡规划研究。E-mail:zibibulla3283@sina.cn。

例依据;另外分析农田土壤重金属污染的源头,提出防止污染的办法,并为建设更好的乌鲁木齐市提出一些建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

乌鲁木齐市位于丝绸之路经济带的核心区域,是新疆的政治、经济、文化、科教和交通中心,有“亚心之都”之称。乌鲁木齐市地处天山山系北部,天山西段与东段的结合部,其地理位置为 $86^{\circ}37'33'' \sim 88^{\circ}58'24''E$ 、 $42^{\circ}45'32'' \sim 44^{\circ}08'00''N$,位于天山北麓以及准噶尔盆地南缘,深处亚欧大陆腹地,属温带半干旱气候,昼夜温差大,寒暑变化剧烈,平原降水少^[11]。

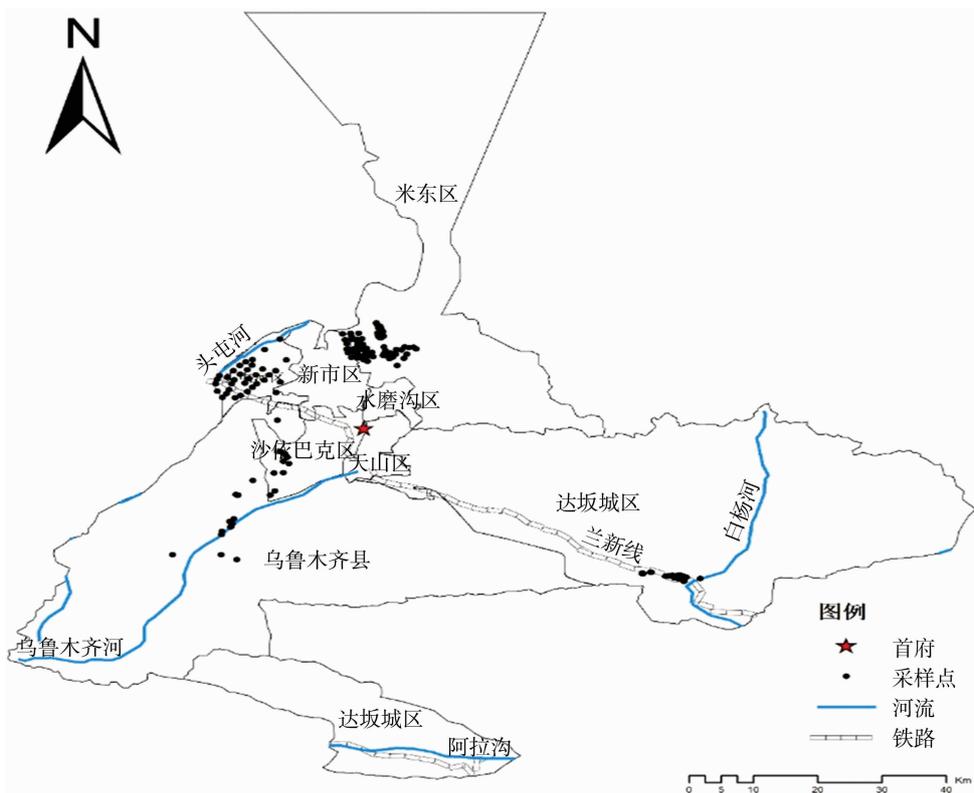


图1 乌鲁木齐市周边农田土壤采样点分布示意

1.3 样品处理与重金属含量测定

首先将采集到的土壤样品进行阴干处理,然后清除枯枝落叶、砖瓦块和垃圾等杂物;接着用木棍将样品碾碎,全部过 100 目筛子;最后将其充分混合,保存待测。

称取 0.5 g 土壤样品,分别加入 10 mL 硝酸、10 mL 氢氟酸、2 mL 高氯酸进行电热板消解,然后将其移至 50 mL 容量瓶中,并用去离子水定容,摇

匀。采用火焰原子吸收分光光度法测定 Cd、Cu、Cr、Ni、Pb、Zn 含量。

1.2 样品采集

利用乌鲁木齐市地图,按 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 网格在乌鲁木齐市周边农田进行布点,其中根据实际情况选出有效网格 178 个。在每个网格中心附近采集农田土壤样品,并使用全球定位系统(GPS)进行定位,如图 1 所示。在每个样点上,先在 4 m^2 的范围内,按梅花形布设 5 个子样点,再分别用塑料铲收集表层(0~20 cm 土层)土壤子样品,将 5 个子样品充分混合,得到该样点的土壤样品。

匀。采用火焰原子吸收分光光度法测定 Cd、Cu、Cr、Ni、Pb、Zn 含量。

称取 0.5 g 土壤样品,加入 5 mL 王水(浓盐酸与浓硝酸体积比为 3:1)和 5 mL 蒸馏水,沸水浴 2 h,自然冷却后,将其移至 50 mL 容量瓶中,并用去离子水定容,摇匀。利用原子荧光光度法测定 Hg、As 含量。

在试验过程中所有样品均平行测定 3 次。

1.4 农田土壤重金属污染评价方法

本研究采用污染负荷指数 (PLI)^[12-13] 来评价乌鲁木齐市周边农田重金属污染状况,其计算公式如下:

$$CF_i = \frac{c_i}{c'_i}, i=1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

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

式中: CF_i 指金属元素 i 的污染指数; c_i 指金属元素 i 的实际测量浓度, mg/kg; c'_i 指金属元素 i 的土壤背景值, mg/kg; PLI 为重金属污染负荷指数; n 为参加评选的重金属元素个数, 个。本研究所采用的土壤背景值均为新疆土壤背景值。根据 CF 重金属元素的污染分级标准如下: $CF \leq 1$ 为无污染 (I); $1 < CF \leq 2$ 为较轻污染 (II); $2 < CF \leq 3$ 为中度污染 (III); $CF > 3$ 为严重污染 (IV)。根据 PLI 重金属元素的污染分级标准如下: $PLI \leq 1$ 为无污染 (I); $1 < PLI \leq 2$ 为较轻污染 (II); $2 < PLI \leq 3$ 为中度污染 (III); $PLI > 3$ 为严重污染 (IV)^[14]。

采用 Hakanson 提出的潜在生态风险指数 (RI)^[15] 分析乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染的潜在生态风险,其计算公式如下:

$$RI_j = \sum_{i=1}^n E_j^i = \sum_{i=1}^n T^i \times C_j^i = \sum_{i=1}^n T^i \times \frac{c_j^i}{c_r^i}. \quad (3)$$

式中: RI_j 指 j 采样点中多种金属元素的综合潜在生态风险指数; E_j^i 指 j 采样点中金属元素 i 的单项潜在生态风险指数; C_j^i 指 j 采样点中金属元素 i 的污染指数; c_j^i 指 j 采样点中金属元素 i 的实测含量, mg/kg; c_r^i 为金属元素 i 的参比值^[16], mg/kg; T^i 指金属元素 i 的毒性系数, 表示金属元素在液相、固相和生物相之间的相互关系, 同时, 也可以全面地表现出金属元素的毒性、污染等级以及污染的敏感度^[17]。本研究选用新疆农田土壤背景值, 金属元素 Cd 的毒性系数是 30; 金属元素 Cr 的毒性系数是 2; 金属元素 Cu、Ni、Pb 的毒性系数均是 5; 金属元素 Zn 的毒性系数是 1; 金属元素 Hg 的毒性系数是 40; 金属元素 As 的毒性系数是 10。根据 E_j^i 单项重金属元素潜在生态风险的分级标准如下: $E_j^i \leq 40$ 属于较轻风险; $40 < E_j^i \leq 80$ 属于中等风险; $80 < E_j^i \leq 160$ 属于较高风险; $160 < E_j^i \leq 320$ 属于高度风险; $E_j^i > 320$ 属于超高风险。根据 RI_j 多种重金属元素综合潜在生态风险的分级标准如下: $RI_j \leq 150$ 属于较轻风险; $150 < RI_j \leq 300$ 属于中等风险; $300 < RI_j \leq 600$ 属于较高风险; $600 < RI_j \leq 1200$ 属于高度风险;

$RI_j > 1200$ 属于超高风险。

本研究借助 Rapant 等提出的生态风险预警指数 (I_{ER})^[18] 预警评价乌鲁木齐市周边农田土壤生态风险状况, 采用 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》^[19] 中的土壤二级标准 (pH 值 > 7.5) 作为本研究预警指数的参照值, 对农田土壤重金属污染生态风险进行预警评价, 其计算公式如下:

$$I_{ER} = \sum_{i=1}^n I_{ERi} = \sum_{i=1}^n (C_{Ai}/C_{Ri} - 1). \quad (4)$$

式中: I_{ER} 指生态风险预警指数; I_{ERi} 指超过临界值金属元素 i 的环境风险指数; C_{Ai} 指金属元素 i 的实际浓度, mg/kg; C_{Ri} 指金属元素 i 的浓度临界值, mg/kg。根据 I_{ER} 重金属元素生态风险预警的分级标准如下: $I_{ER} \leq 0$ 属于无警示状态; $0 < I_{ER} \leq 1$ 属于预警状态; $1 < I_{ER} \leq 3$ 属于轻警状态; $3 < I_{ER} \leq 5$ 属于警示状态; $I_{ER} > 5$ 属于重警状态^[20]。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量分析

如图 2、表 1 所示, 土壤中 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Hg、As 的平均含量分别为 0.500、85.600、29.238、37.637、13.156、126.470、0.090、8.433 mg/kg。重金属 Cd、Cr、Cu、Ni、Zn、Hg 含量的平均值均超过了新疆土壤背景值, 其中 Cr 和 Zn 的含量远超过新疆土壤背景值, 并表现出明显的富集现象。虽然 Pb 与 As 的含量平均值低于新疆土壤背景值, 但部分样品中它们的测定值远超背景值。因此, 以上数据表明, 土壤重金属元素累积主要是来自非自然的外部条件, 观察它们的极大值与极小值发现, 各元素的极差很大。

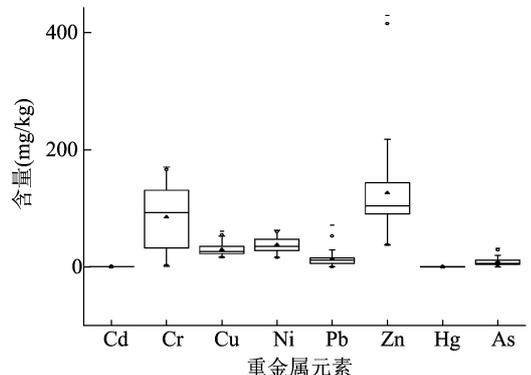


图2 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属含量箱线图

偏度系数是指描述数据分布情况的统计数据, 其绝对值越小, 表示数据分布趋势的偏斜度越小。峰度系数是指描述全部数据中取值分布情况陡斜

表 1 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属含量特征

指标	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	偏度系数	峰度系数	变异系数 (%)	背景值 (mg/kg)
pH 值	8.530	6.680	7.830	0.281	-0.76	1.40	3.58	—
Cd 含量	1.331	0.010	0.500	0.211	1.09	2.70	42.28	0.120
Cr 含量	170.580	1.220	85.600	50.020	-0.10	-1.42	58.44	49.300
Cu 含量	60.905	16.437	29.238	8.214	0.97	0.74	28.09	26.700
Ni 含量	62.620	15.922	37.637	12.010	0.33	-1.16	31.91	25.200
Pb 含量	71.581	0.072	13.156	10.809	1.99	6.10	82.16	19.140
Zn 含量	429.600	37.200	126.470	64.650	2.30	6.68	51.12	68.800
Hg 含量	0.915	0.001	0.090	0.109	4.33	24.89	121.95	0.017
As 含量	31.867	0.025	8.433	5.413	1.48	2.69	64.19	11.200

程度的统计数据^[21-22],其绝对值越小,表示数据分布趋势的陡缓度与正态分布的差异程度越小^[23]。从表 1 可以看出,土壤中 Pb、Zn、Hg 含量的偏度系数与峰度系数较大,表示在部分土壤样品中 Pb、Zn、Hg 含量及累积状况较高。变异系数(CV)用于描述样品中金属元素平均变异度,其值越小,表示金属元素在空间分布越均匀,出现点源污染情况的概率越低^[24]。乌鲁木齐市周边农田土壤中的 Cr、Pb、Zn、Hg、As 含量呈现强变异性(CV > 50),表明 Cr、Pb、Zn、Hg、As 的累积受某些局部污染源影响较为明显;农田土壤中的 Cd、Cu、Ni 含量呈中等变异性

(25 < CV < 50),表明人为因素对于 Cd、Cu 及 Ni 的累积有一定影响。本试验监测的乌鲁木齐市周边农田土壤重金属含量的变异系数均未呈弱变异性,表明自然因素对这 8 种重金属元素的累积影响较为不明显。

2.2 土壤重金属污染特征及分布

乌鲁木齐市周边农田土壤中重金属的平均 CF 排列顺序为 Cd(3.72) > Hg(3.32) > Zn(1.67) > Ni(1.42) > Cr(1.30) > Cu(1.06) > As(0.62) > Pb(0.46)。由表 2 可知,Cd 和 Hg 呈严重污染状态,Zn、Ni、Cr 及 Cu 呈较轻污染,As 与 Pb 呈无污染。

表 2 不同污染级别样点数占样点总数的百分比

污染级别	各元素不同级别污染指数样本点比较(%)								不同污染级别污染负荷指数样本点比例(%)
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As	
无污染	1.68	35.96	50	13.48	81.46	3.93	8.99	73.59	17.98
轻度污染	5.61	20.79	48.88	65.73	14.61	68.54	6.74	24.16	66.29
中度污染	8.42	31.46	1.12	20.79	3.37	17.42	23.59	2.25	15.73
重度污染	84.29	11.79	0	0	0.56	10.11	60.68	0	0

从表 2 可以看出,由每种重金属的不同污染程度样点数占全部样点数的比率发现,绝大多数样点 Pb、As 的污染指数属于 I 级,未发生污染,I 级样点数分别占总样点数的 81.46%、73.59%。大多数样点 Cr、Cu、Ni、Zn 的污染指数属于 I 级和 II 级,其中 II 级样点数分别占总样点数的 20.79%、48.88%、65.73%、68.54%。大多数样点 Cd、Hg 的污染指数属于 III 级和 IV 级,IV 级污染样点数分别占总样点数的 84.29%、60.68%,表明 Cd 和 Hg 是最主要的污染因子。

乌鲁木齐市土壤中 8 种重金属的平均 PLI 为 1.36,属于轻度污染。由表 2 可知,无污染的样点数占 17.98%,II 级污染样点数占 66.29%,III 级污染

样点数占 15.73%,没有发生重度污染。

为了充分反映乌鲁木齐市周边农田土壤重金属的 PLI 空间分布,在 ArcGIS 10.0 软件支持下,通过普通克里格(ordinary kriging)^[25]空间插值技术得到图 3。从图 3 可以看出,PLI 的高值区分布于乌鲁木齐市北部的米东区,水磨沟区的 PLI 次之,低值区分布于乌鲁木齐县和达坂城区。

2.3 潜在生态危害评价

根据生态风险分类标准,以新疆农田土壤背景值^[26]作为参比值,对乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染进行潜在生态风险评价。结果(表 3)表明,乌鲁木齐市周边农田土壤重金属单项潜在生态风险指数的平均值排列顺序如下:Hg > Cd > As > Ni >

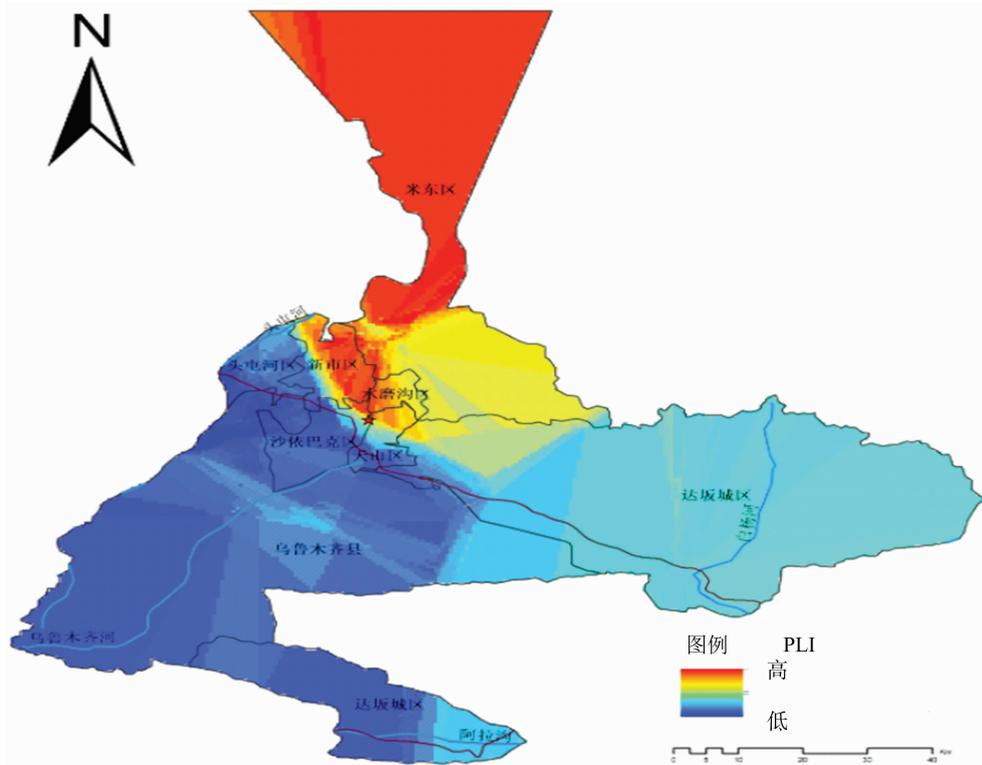


图3 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属的 PLI 空间分布

表3 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属潜在生态风险评价

统计值	单项潜在生态风险指数								潜在生态风险指数	生态风险预警指数
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	As		
最小值	2.50	0.05	3.08	3.16	0.02	0.54	2.59	0.02	91.07	-6.61
最大值	310.83	6.92	11.41	12.42	18.70	6.24	751.29	28.45	1 177.43	-2.91
均值	124.56	3.45	5.48	7.47	3.44	1.84	210.94	7.53	364.70	-4.94

$Cu > Cr > Pb > Zn$ 。所有样点重金属 As、Ni、Cu、Cr、Pb、Zn 的单项潜在生态风险指数均小于 40, 呈现较轻风险状态。Hg 与 Cd 的单项潜在生态风险指数相对较高, 因此, Hg 与 Cd 是本研究区域内首要的生态风险因子。

乌鲁木齐市周边农田土壤重金属综合潜在生态风险指数 (RI) 变化范围在 91.07 ~ 1 177.43 之间, 平均值为 364.70, 表现为较高生态风险。47.75% 样点的 RI 属于中等生态风险级别, 41.57% 样点的 RI 属于较高生态风险级别。乌鲁木齐市周边农田土壤重金属生态风险预警指数 (I_{ER}) 变化范围在 -6.61 ~ -2.91 之间, 平均值为 -4.94, 表现为无警示状态, 所有样点的生态风险预警指数呈现无警示状态。

2.4 农田土壤重金属来源分析

如表4所示, Cd 与 Cr、Cd 与 As、Cd 与 Cu、Cr 与 Hg、Ni 与 Zn、Ni 与 Hg、Hg 与 As 含量之间在 0.01 水

平上存在显著相关性, 但相关系数较低 (绝对值低于 0.3)。Cr 与 Cu、Cr 与 Ni、Cu 与 Ni 含量之间呈极显著正相关关系, As 与 Cr、Cu、Ni 含量之间也存在极显著正相关关系, 说明这些元素之间可能有相似的污染来源。

聚类分析结果 (图4) 显示, Cu、Cr、Hg、Ni、As 聚为一类, Pb 和 Cd 聚为一类, 说明这 2 类元素在土壤中有相似的来源和相近释放的规律。本研究区域内有多家混凝土公司、建材耐火材料厂、有色金属冶炼以及机械制造厂, 同时在米东区区域附近有石油化工以及煤化工企业, 工业废水及生活污水排放到河流中, 再灌溉到农田中, 导致了农田 Cu、Cr、Hg、Ni、As 污染的产生。研究区附近有煤矿产业, 煤矿排水或雨水进入土壤, 会造成土壤重金属污染现象发生^[27-28], 煤矿的开采和矿泥的排放导致了土壤中 Pb 和 Cd 的污染。Zn 的污染是由于研究区内有镀锌钢管大棚、机械制造及彩钢制造厂等, 即使镀锌钢

表 4 农田土壤重金属皮尔逊相关性分析

	Cd 含量	Cr 含量	Cu 含量	Ni 含量	Pb 含量	Zn 含量	Hg 含量	As 含量
Cd 含量	1							
Cr 含量	-0.269 **	1						
Cu 含量	-0.252 **	0.554 **	1					
Ni 含量	-0.191 *	0.659 **	0.626 **	1				
Pb 含量	0.341 **	-0.045	0.147	0.033	1			
Zn 含量	0.141	0.051	0.088	0.221 **	-0.007	1		
Hg 含量	-0.071	0.235 **	0.180 *	0.262 **	-0.020	-0.023	1	
As 含量	-0.257 **	0.503 **	0.570 **	0.749 **	0.044	0.083	0.211 **	1

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

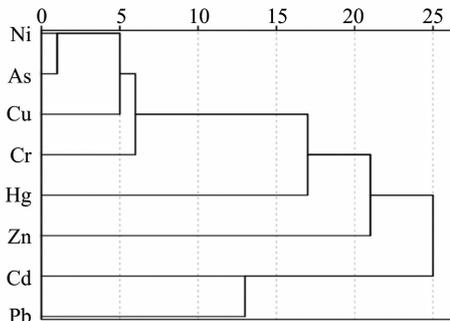


图4 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属含量的聚类分析

架有良好的抗腐蚀性,但长时间在空气、雨雪等环境中暴露,也会被腐蚀进而破裂,产生腐蚀产物,从而剥落于土壤环境中,造成土壤中 Zn 污染^[29]。主成分分析结果(图 5)表明,通过正交旋转使得复杂的因子负荷矩阵变得简明清晰,组分 1 包括 Cu、Cr、Hg、Ni、As,组分 2 包括 Pb 和 Cd,组分 3 包括 Zn,该结果进一步支持聚类分析的结果。

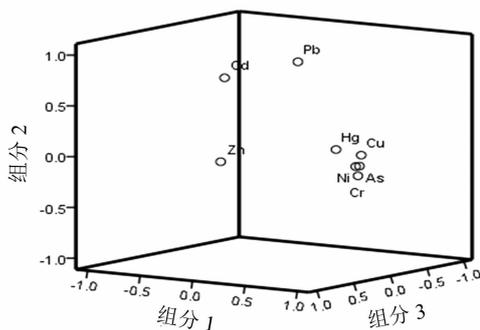


图5 乌鲁木齐市周边农田土壤重金属元素旋转后因子载荷

3 结论与建议

3.1 结论

本研究主要分析乌鲁木齐市周边农田土壤 8 种重金属污染特征及其分布特征,并对重金属污染进行潜在风险及生态预警评价,最后应用相关性分析

和聚类分析研究了重金属的主要来源。主要结论如下。

(1)乌鲁木齐市周边农田土壤重金属 Cd、Cr、Cu、Ni、Zn、Hg 含量的平均测定值均超过新疆土壤背景值,其中 Cr 和 Zn 的含量远超过新疆土壤背景值,并表现出明显的富集现象。虽然 Pb 与 As 的含量平均值低于新疆土壤背景值,但部分样品中它们的含量测定值远超背景值。

(2)乌鲁木齐市周边农田土壤中重金属的平均 CF 排列顺序为 Cd > Hg > Zn > Ni > Cr > Cu > As > Pb,其中 Cd 和 Hg 呈重度污染,Zn、Ni、Cr 及 Cu 呈轻度污染,As 与 Pb 呈无污染。乌鲁木齐市周边农田土壤重金属的平均 PLI 为 1.36,属于轻度污染。

(3)乌鲁木齐市周边农田土壤重金属单项潜在生态风险指数的平均值排列顺序为 Hg > Cd > As > Ni > Cu > Cr > Pb > Zn。所有样点重金属 As、Ni、Cu、Cr、Pb、Zn 的潜在生态风险指数均小于 40,呈较轻风险状态,Hg 与 Cd 的潜在生态风险指数相对较高,表明 Hg 与 Cd 是本研究区中首要的生态风险因子。研究区域土壤重金属的平均生态风险预警指数为 -4.94,呈现出无警示状态。

(4)乌鲁木齐市周边农田土壤各重金属元素含量之间存在较强的相关性,其中土壤中的 Cu、Cr、Hg、Ni、As 主要来源于污水灌溉,Pb 和 Cd 主要来源于煤矿开采,而 Zn 的污染是由镀锌钢管大棚、机械制造及彩钢制造厂等所造成的。

3.2 建议

党的十九大报告提出,坚持人与自然和谐共生和建设生态文明是中华民族持续发展的千年大计。近年来,国家对于土壤重金属污染与防治问题也越加重视^[30]。乌鲁木齐市作为新疆的首府,它周边农田土壤重金属污染也是笔者主要关注的问题之一。

(1)乌鲁木齐市周边农田土壤重金属中的 Pb

和 As 含量平均值小于新疆农田土壤背景值,但还有很多样点的 Pb 和 As 含量高于土壤背景值。乌鲁木齐市米东区土壤重金属污染最为严重,这是由于米东区有工业园区,比其他几个区域更容易造成农田土壤重金属污染。虽然米东区农田土壤重金属污染相对严重,但乌鲁木齐市周边农田土壤重金属污染负荷指数呈轻度污染状态。建议对乌鲁木齐米东区农田土壤重金属污染进行防治,以免后期造成严重污染。

(2)当以不同土壤背景值为参考值时,土壤重金属的生态风险预警结果不同。以新疆农田土壤背景值作为参比值时,乌鲁木齐市周边农田土壤重金属综合潜在生态风险指数呈较强风险状态;但以国家二级土壤标准作为参比值时,乌鲁木齐周边农田土壤重金属的生态风险预警指数呈无警示状态。因此,在评价农田土壤重金属时,可采用不同的土壤背景值进行综合评价。

参考文献:

- [1] 庄国泰. 我国土壤污染现状与防控策略[J]. 中国科学院院刊, 2015,30(4):476-483.
- [2] 张小敏,张秀英,钟太洋,等. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. 环境科学,2014,35(2):692-703.
- [3] Wu G, Kang H B, Zhang X Y, et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010,174(1/2/3):1-8.
- [4] 尤冬梅. 农田土壤重金属污染监测及其空间估值方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
- [5] Benhaddya M L, Hadjel M. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in surface soils of Hassi Messaoud, Algeria [J]. Environmental Earth Sciences, 2014,71(3):1473-1486.
- [6] Chai Y, Guo J, Chai S L, et al. Source identification of eight heavy metals in grassland soils by multivariate analysis from the Baicheng-Songyuan area, Jilin Province, Northeast China [J]. Chemosphere, 2015,134:67-75.
- [7] 张慧敏. 人类强烈影响地区土壤与灰尘中重金属的污染特征及风险评价[D]. 杭州:浙江大学,2017.
- [8] Qureshi A S, Hussain M I, Ismail S, et al. Evaluating heavy metal accumulation and potential health risks in vegetables irrigated with treated wastewater[J]. Chemosphere, 2016,163:54-61.
- [9] Perrodin Y, Boillot C, Angerville R, et al. Ecological risk assessment of urban and industrial systems: a review [J]. Science of the Total Environment, 2011,409(24):5162-5176.
- [10] 易治伍,王灵,钱翌,等. 乌鲁木齐市农田土壤重金属含量及评价[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(2):150-154.
- [11] 严珊. 乌鲁木齐市城市空间结构演变研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2014.
- [12] 吴呈显. 农业土壤重金属污染来源解析技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [13] Kelepertzis E. Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece [J]. Geoderma, 2014,221/222:82-90.
- [14] 李一蒙,马建华,刘德新,等. 开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境科学,2015,36(3):1037-1044.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980,14(8):975-1001.
- [16] 蔡怡敏,陈卫平,彭驰,等. 顺德水道土壤及沉积物中重金属分布及潜在生态风险评价[J]. 环境科学,2016,37(5):1763-1770.
- [17] 毛志刚,谷孝鸿,陆小明,等. 太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境科学,2014,35(1):186-193.
- [18] Rapant S, Kordik J. An environmental risk assessment map of the Slovak Republic: application of data from geochemical atlases [J]. Environmental Geology, 2003,44(4):400-407.
- [19] 国家环境保护局科技标准司. 中华人民共和国国家标准 土壤环境质量标准:GB 15618—1995 [S]. 北京:中国标准出版社,1995.
- [20] 麦麦提吐尔逊·艾则孜,阿吉古丽·马木提,买托合提·阿那依提,等. 博斯腾湖湿地边缘带农田土壤重金属的污染风险评价[J]. 土壤,2018,50(2):369-375.
- [21] 凡生. 矿集区重金属元素污染累积与风险研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [22] 魏晓. 长江安徽段江心洲土壤地球化学及重金属累积特征[D]. 南京:南京大学,2017.
- [23] 孙超. 崇明岛农田土壤重金属的分布与累积特征[D]. 上海:华东师范大学,2010.
- [24] 雷国建,陈志良,刘千钧,等. 广州郊区土壤重金属污染程度及潜在生态危害评价[J]. 中国环境科学,2013,33(增刊1):49-53.
- [25] 王劲峰. 空间分析[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [26] 斯琴. 乌鲁木齐市郊安宁渠区农田土壤重金属污染现状调查与分析[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2017.
- [27] Li Q, Ji H B, Qin F, et al. Sources and the distribution of heavy metals in the particle size of soil polluted by gold mining upstream of Miyun Reservoir, Beijing: implications for assessing the potential risks [J]. Environmental Monitor Assess, 2014,186(10):6605-6626.
- [28] Xiao J Q, Yuan X Y, Li J Z. Characteristics and transformation of heavy metal pollution in soil and rice of Yangtze River Delta Region [J]. Agricultural Science & Technology, 2010(4):148-151.
- [29] 朱立群,吴坤湖,李卫平,等. 模拟地热水中 304 不锈钢管和镀锌钢管的腐蚀与结垢[J]. 物理化学学报,2010,26(1):39-46.
- [30] 熊孜. 河北农田土壤重金属污染特征及风险评估研究[D]. 北京:中国农业科学院,2017.