

某废弃厂房和建筑用地表层土壤中重金属的健康风险初探

张鑫^{1,2}, 张敏¹, 任伊凡¹, 魏盾¹, 殷蒙蒙¹, 春甜甜¹, 高一¹, 曹治国¹

(1. 河南师范大学 环境学院; 黄淮水环境污染与防治教育部重点实验室; 河南省环境污染控制重点实验室, 河南 新乡 453007; 2. 环境污染治理与生态修复河南省协同创新中心, 郑州 450000)

摘要:以某废弃厂房和建筑用地作为研究对象, 分析土壤样品中 6 种重金属元素(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni)含量, 并对废弃厂房转为敏感用地可能带来的生态及健康风险进行评估。结果表明, 6 种重金属在两地的污染程度由大到小为 Cd、Ni、Zn、Cr、Cu、Pb, 综合污染指数显示两个地区整体呈现重度污染。除废弃厂房 Cd、Ni 和建筑用地 Cd 存在高生态风险外, 其他重金属生态风险均很低。人体健康风险评价结果显示, 两地区 6 种重金属的非致癌风险指数 HQ 均小于 1, 但若长期处于这种环境, 可能会产生一定的影响。对于 3 种致癌重金属经呼吸吸入致癌风险而言, 其致癌风险指数远小于 10^{-6} , 即风险可以忽略。

关键词:建筑用地; 废弃厂房; 重金属; 生态风险; 健康风险

中图分类号:X53

文献标志码:A

近几十年来, 房地产行业的飞速发展伴随着我国城市建设规模的不断扩大, 使人们愈发关注城市环境质量及其对人类健康的影响^[1-2]。在此过程中, 部分未经任何处理修复的工业用地直接转型为建筑用地^[3]。然而大部分从事于加工、贮存、堆放过化工物质等活动的工业用地, 会造成该区域土壤不同程度的污染, 就近段时间曝光的常州外国语学校毒地事件而言^[4], 土壤重金属和有机物污染对人民的健康财产等方面造成了巨大危害。由于土壤重金属污染的不可逆性和长久性, 一旦存在极难消除, 并多通过农作物、水及呼吸道进入人体, 危害健康, 因此土壤重金属污染在反映城市环境土壤污染中具有重要的意义^[5-9]。

不同类型地区重金属的含量不同, 其对人体的潜在风险也不同。目前, 土壤重金属污染特征及健康风险的研究多集中在通过食物链传递, 对于国内外有关工业用地和建筑用地土壤重金属污染的研究中, 大多是进行类别地区的潜在生态风险或健康风险评价的研究。然而由工业用地向建筑用地转型的对比土壤污染特征及其健康风险分析尚不多见, 表明转型过程可能带来的潜在危害与风险未得到人们的重视^[10-12]。

鉴于此, 为了研究由工业用地到建筑用地转变过程中土壤中 6 种主要重金属元素(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni)的浓度、潜在生态风险及对人体的危害, 以城市中典型的一个废弃厂房和一个由工厂搬迁后过渡为居民小区的建筑用地进行采样调查, 进而对照研究当前普遍存在的土地利用类型和向敏感用地转变中可能存在的风险, 以期为提高城市环境土壤质量及土壤污染防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

研究场地均在新乡市牧野区内, 废弃厂房屋为氧化镉冶炼厂, 工厂停产后实施了搬迁, 将生产器械以及

收稿日期:2018-03-06; **修回日期:**2018-05-04.

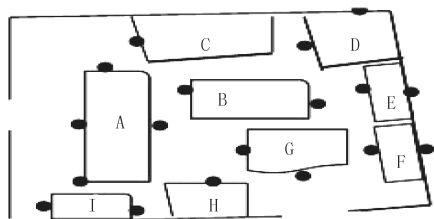
基金项目:国家自然科学基金项目(51604099); 河南师范大学科学基金项目(5101219170109, 5101219170802); 环境污染治理与生态修复河南省协同创新中心开放性基金项目(XTCX-023); 河南省高等学校重点科研项目(17A610007; 16A610002).

作者简介:张鑫(1984-), 女, 河南新乡人, 河南师范大学讲师, 博士, 主要研究方向为环境重金属污染治理及植物修复技术, E-mail: xinzhang2015@126.com.

通信作者:曹治国, E-mail: wq11ab@163.com.

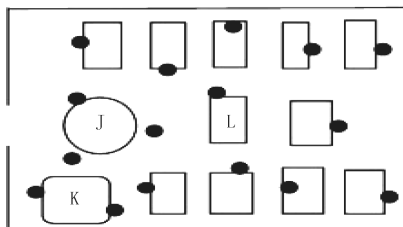
相关各种用品等进行了清运,但是由于当时产品及污水的排放造成该厂附近周围土壤污染严重,目前该区域土地处于闲置.近些年,新乡市已有多处工厂迁址后原厂区变为居民小区,例如现在的塞纳春天小区原为中原纱厂,上宅小区处于原760工厂位置等.本研究采样的建筑用地为某工厂搬迁后,土地转给某房地产开发商,经开发后目前该区域为居民小区.

1.2 样品采集与分析



A. 办公室;B. 产品仓库;C. 锅炉房;D. 包装车间;E. 产品车间;F. 原料车间;G. 废物堆放;H. 配电房;I. 员工宿舍.

(a) 废弃厂房样点分布图



J: 花园;K: 公共活动区域;L: 住房.

(b) 建筑样点分布图

图1 研究区域采样分布图

于2016年10—11月对该废弃厂房和建筑用地的周边区域进行样品的采集,其中两地土壤pH均大于8,有机质含量为 $1.6\sim 6.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.废弃厂房土壤采样采用网格—系统布点法,以 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 网格采集表层($0\sim 15\text{ cm}$)土壤(18个);建筑用地土壤采用梅花形布点法就表层 $0\sim 15\text{ cm}$ 土壤进行采样(16个)^[13-14].除去土壤样品中的混杂石块及其他杂物等^[15],放于室内晒干,用研钵磨细后过80目筛,封存供备用.

取干燥粉碎后的土壤样品 0.2 g ,依次加入 H_2O 、 HCl 、 HNO_3 、 HF 及 HClO_4 ,样品采用3步升温法在DS-360型石墨加热消解仪中消解,随后将消解液用质量分数为2%稀硝酸溶液进行定容,分析的6种重金属(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni)通过电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行定量检测^[16-17].为保证实验结果准确可靠,样品处理中所使用的工具均不含金属成分,并用超纯水作为实验用水,优级纯试剂用于实验分析^[18];在样品测试过程中,每批次做3次空白样和平行样,取均值用于数据处理,并使用国家标准土壤参比物质(GSS-1)进行质量控制^[19].

1.3 评价标准和方法

本研究以河南省土壤背景值为参照^[20],将两地区土壤的重金属含量进行对比分析,探究废弃厂房向一般建筑用地转型所带来的潜在危害,以及一般建筑用地的污染现状.

(1) 土壤重金属综合污染评价

运用单因子污染指数法和内梅罗指数法进行污染状况的评价及土壤质量等级的评定^[21-24].公式如下:

$$\text{单因子污染指数法: } P_i = \frac{C_i}{S_i},$$

$$\text{内梅罗指数法: } P_{N_j} = \sqrt{\frac{(\max \frac{C_i}{S_i})^2 + (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i})^2}{2}},$$

式中, P_i ——土壤单项污染指数; P_{N_j} ——土壤综合污染指数; C_i ——污染物实测浓度($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); S_i ——污染物质量标准值($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).具体评价标准如表1所示^[25].

(2) 土壤重金属生态风险评估

土壤重金属生态风险评估通过单因子(商值法)进行^[22],其计算公式为 $Q_i = \frac{C_i}{S_i}$,式中, Q_i 为污染物的生态风险指数(商值).

(3) 土壤重金属健康风险评价

土壤重金属主要是通过摄食、吸入土壤重金属颗粒及与皮肤接触以上3种途径对人体产生一定的危

害^[6,24].上述3种途径可通过平均每日剂量(E)进行估算,其计算公式^[26-31]如下:

$$E_{\text{ing}} = \frac{C \times R_{\text{ing}} \times F_E \times D_E}{W_B \times T_A} \times 10^{-6}, E_{\text{inh}} = \frac{C \times R_{\text{inh}} \times F_E \times D_E}{F_{\text{PE}} \times W_B \times T_A} \times 10^{-6},$$

$$E_{\text{derm}} = \frac{C \times A_S \times L_S \times F_{\text{AB}} \times F_E \times D_E}{W_B \times T_A} \times 10^{-6},$$

式中: E_{ing} 为重金属经口摄食的日均暴露量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); E_{inh} 为重金属经鼻腔吸入的日均暴露量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); E_{derm} 为重金属与皮肤接触途径的日均暴露量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); C 为重金属含量; R_{ing} 为每日摄取率; R_{inh} 为每日吸入率; F_E 为暴露频率; D_E 为暴露时长; W_B 为平均体质量; T_A 为平均时间; F_{PE} 为颗粒物释放因子; A_S 为皮肤暴露面积; L_S 为皮肤黏附因子; F_{AB} 为皮肤吸附因子.以上所用公式的其他参数数值详见表2^[29].

表1 污染指数及污染等级分类

污染等级	单因子污染指数	污染评价	内梅罗指数	污染评价	生态风险指数	污染评价
I	$P_i \leq 1$	清洁	$P_{N_j} \leq 0.7$	无污染	$Q_i \leq 1$	无风险
II	$1 < P_i \leq 2$	轻污染	$0.7 < P_{N_j} \leq 1$	轻度污染	$1 < Q_i \leq 3$	低风险
III	$2 < P_i \leq 3$	中污染	$1 < P_{N_j} \leq 2$	污染	$3 < Q_i \leq 6$	中等风险
IV	$P_i > 3$	重污染	$2 < P_{N_j} \leq 3$	中度污染	$Q_i > 6$	高风险
V			$P_{N_j} > 3$	重度污染		

土壤重金属参考美国环保署(US EPA)的健康风险模型进行人体健康风险评价,计算公式如

下: $I_H = \sum Q_H = \sum \frac{E}{D_{\text{Rf}}}$, $R_C = \sum I_{\text{AD}} \times F_S$, 式

中 I_H 为非致癌风险指数; R_C 为致癌风险指数; Q_H 为一种重金属的非致癌指数,当 $Q_H < 1$ 时,表示非致癌健康风险为人体接受范围内;当其 $Q_H > 1$ 时,表示存在非致癌健康风险; D_{Rf} 为参考剂量; F_S 为斜率系数.对于6种土壤重金属不同暴露途径的 D_{Rf} 和 F_S 如表3所示^[27].

参照《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)^[31],通过暴露风险贡献率来进行不确定性分析,公式如下:

$$P_{Q_{H_i}} = \frac{Q_{H_i}}{I_{H_n}} \times 100\%, P_{R_{C_i}} = \frac{R_{C_i}}{R_{C_n}} \times 100\%,$$

式中: $P_{Q_{H_i}}$ 为一种重金属经第 i 种暴露途径非致癌风险贡献率; $P_{R_{C_i}}$ 为一种重金属经第 i 种暴露途径致癌风险贡献率; Q_{H_i} 一种重金属经第 i 种暴露途径的危害指数; R_{C_i} 为一种重金属经第 i 种暴露途径的致癌风险; I_{H_n} 为一种重金属经所有暴露途径的危害指数; R_{C_n} 为一种重金属经所有暴露途径的总致癌风险.

2 结果与分析

2.1 土壤重金属的综合污染评价

本研究中废弃厂房6种土壤重金属Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni含量范围分别介于:88.2~119 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 274~512 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 49.5~67.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 242~335 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 75.8~377 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 259~674 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;建筑用地6种土壤重金属含量范围分别介于:49.9~276 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 15.9~46.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 43.7~82.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 0.4~10.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 19.6~32.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 相比于其他有关废弃厂房及建筑用地土壤重金属的研究,该废弃厂房土壤重金属含量范围相对偏高^[32-34],建筑用地土壤重金属含量与其他相关研究结论大致相符^[28,36].

表2 健康风险评价模型暴露参数

参数	单位	数值	
		儿童	成年
R_{ing}	$\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$	200	100
F_E	$\text{d} \cdot \text{year}^{-1}$	350	350
D_E	years	6	25
W_B	kg	15.9	56.8
T_A	d	262 809(非致癌); 9 125(致癌)	
R_{inh}	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	7.5	14.5
F_{PE}	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}$	1.36×10^9	1.36×10^9
A_S	cm^2	2 800	5 700
L_S	$\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$	0.2	0.007
F_{AB}	无	0.001(非致癌); 0.01(致癌)	

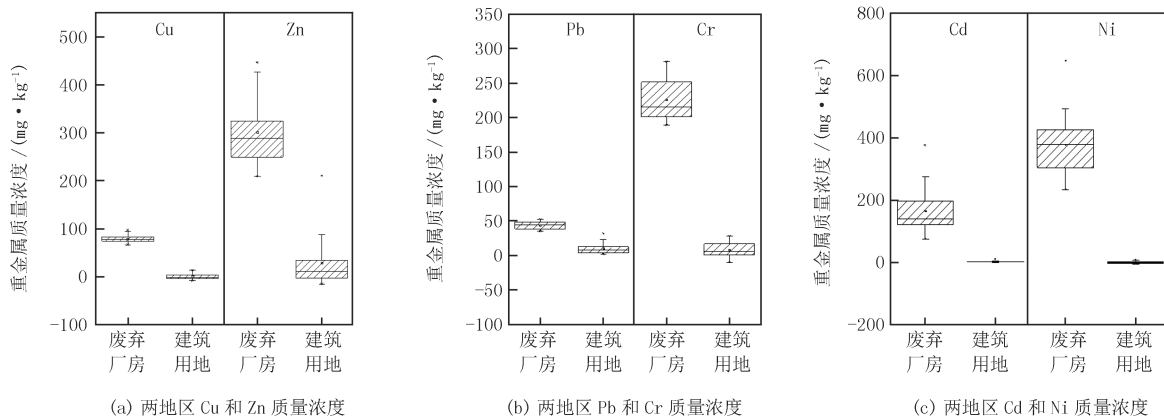
注:参数 T_A 和 F_{AB} 的值同时适用于儿童和成年人

以上表明在利用方式转变过程中,该废弃厂房可能存在更高的潜在风险.

表 3 土壤重金属分别于 3 种暴露途径的 D_{Rf} 和 F_s

重金属	$D_{Rf}/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$			$F_s/(\text{kg} \cdot \text{d} \cdot \text{mg}^{-1})$		
	经口摄食	呼吸吸入	皮肤接触	经口摄食	呼吸吸入	皮肤接触
Cu	4.00×10^{-2}	4.02×10^{-2}	1.20×10^{-2}	—	—	—
Zn	3.00×10^{-1}	3.00×10^{-1}	6.00×10^{-2}	—	—	—
Pb	3.50×10^{-3}	3.52×10^{-3}	5.25×10^{-4}	—	—	—
Cr	3.00×10^{-3}	2.86×10^{-5}	6.00×10^{-5}	—	4.20×10	—
Cd	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}	—	6.30	—
Ni	2.00×10^{-2}	2.06×10^{-2}	5.40×10^{-3}	—	8.40×10^{-1}	—

图 2 列出了废弃厂房和建筑用地的 6 种土壤重金属含量分布,6 种重金属均呈现出了废弃厂房大于建筑用地,建筑用地和废弃厂房的 6 种重金属污染程度由大到小排序分别为: Cd、Pb、Zn、Cr、Cu、Ni, Cd、Ni、Zn、Cr、Cu、Pb,其中废弃厂房土壤中 Cd 和 Ni 的平均含量水平分别是国家土壤二级标准的 276、5.7 倍;是河南省土壤背景值的 1 840、16.3 倍,建筑用地 Cd 的平均含量超出河南省土壤背景值的 27.9 倍^[35-36],两地区 Cu、Zn、Cr、Pb 含量均显示达标.



图中 0 点代表各重金属土壤背景值

图 2 两地区 6 种土壤重金属含量分布情况

两地重金属根据单因子污染指数所呈现污染程度由大到小依次为: Cd、Ni、Zn、Cr、Cu、Pb.其中废弃厂房中 Cd、Ni 的平均单因子污染指数分别为 269、6.6,建筑用地中 Cd 的平均单因子污染指数为 4.2,对研究区域附近土壤已造成了重污染;废弃厂房 Cu、Zn、Cr 的平均单因子指数分别为 1.0、1.2、1.1,属于轻污染;废弃厂房 Pb 和建筑用地 Ni、Cu、Zn、Cr、Pb 的含量都属于清洁范围内.废弃厂房各重金属元素污染综合指数最大值为 430,最小值为 90.7,平均值为 206;建筑用地各重金属元素污染综合指数最大值为 14.0,最小值为 0.7,平均值为 3.4,整体上两地区平均综合污染指数显示为重度污染.

总体上,由于废弃厂房早期是一个金属镉的冶炼厂,在其生产过程中存在产品的冶炼和废渣的堆放以及污染废气的沉降等,使该区域土壤质量下降,导致土壤污染^[37-38],最终呈现出了废弃厂房的土壤重金属污染程度普遍高于建筑用地的结果.由综合污染评价显示,两地污染最大的为 Cd,呈现重度污染,其中废弃厂房的其他 5 种重金属分别属于污染和中度污染;建筑用地其他 5 种重金属元素相对于废弃厂房较小,属于轻度污染,该废弃厂房向建筑用地转型应该进行相应的修复来降低对人的健康威胁.

2.2 土壤重金属风险评价

废弃厂房和建筑用地 6 种土壤重金属生态风险等级分布如图 3 所示.在两地区 6 种重金属生态风险评估中,废弃厂房 Cd、Ni 和建筑用地 Cd 的平均生态风险指数大于 6,存在高风险,其余土壤重金属存在低生态风险或不存在风险,产生的影响较小.

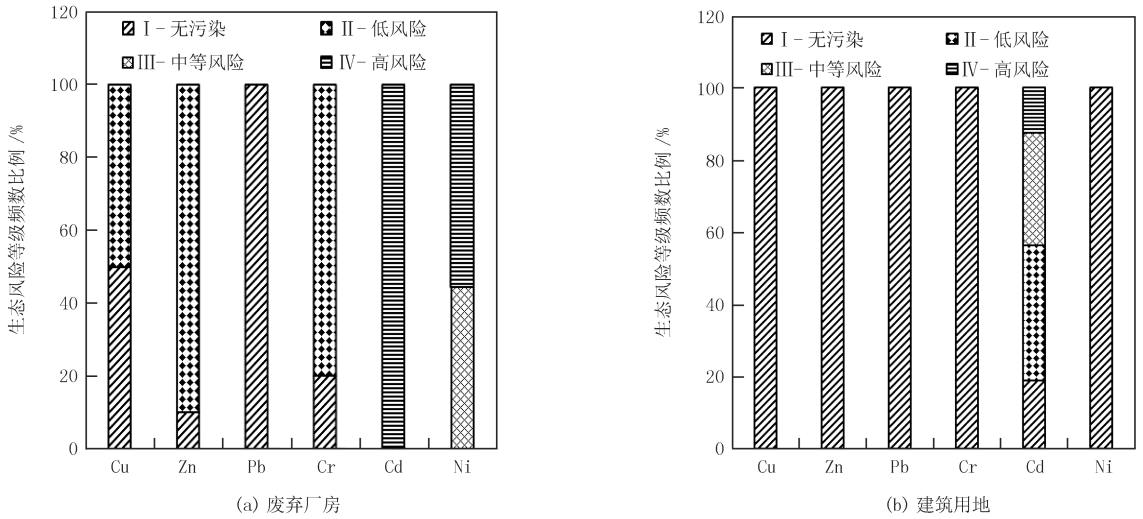


图3 废弃厂房和建筑用地土壤重金属生态风险等级分布情况

对于两地区的儿童和成年人,各重金属元素呈现的非致癌风险指数 Q_H 见图 4.废弃厂房 6 种重金属 Q_H 由大到小呈现为:Cr、Pb、Cd、Ni、Cu、Zn;建筑用地 6 种重金属 Q_H 由大到小呈现为: Cd、Cr、Pb、Ni、Cu、Zn.两地区各重金属 Q_H 均呈现为儿童 > 成人,其中废弃厂房儿童和成年人的 Q_H 分别介于 $1.04 \times 10^{-4} \sim 6.01 \times 10^{-2}$, $0.60 \times 10^{-4} \sim 2.49 \times 10^{-2}$;建筑用地 6 种重金属对儿童和成年人的 Q_H 分别介于 $1.89 \times 10^{-5} \sim 3.70 \times 10^{-3}$, $1.09 \times 10^{-5} \sim 2.16 \times 10^{-2}$,总体而言,两地 Q_H 均小于 1,表明对于两类人群不存在非致癌风险,但处于这种环境足够长时间,可能会产生一定毒害作用.

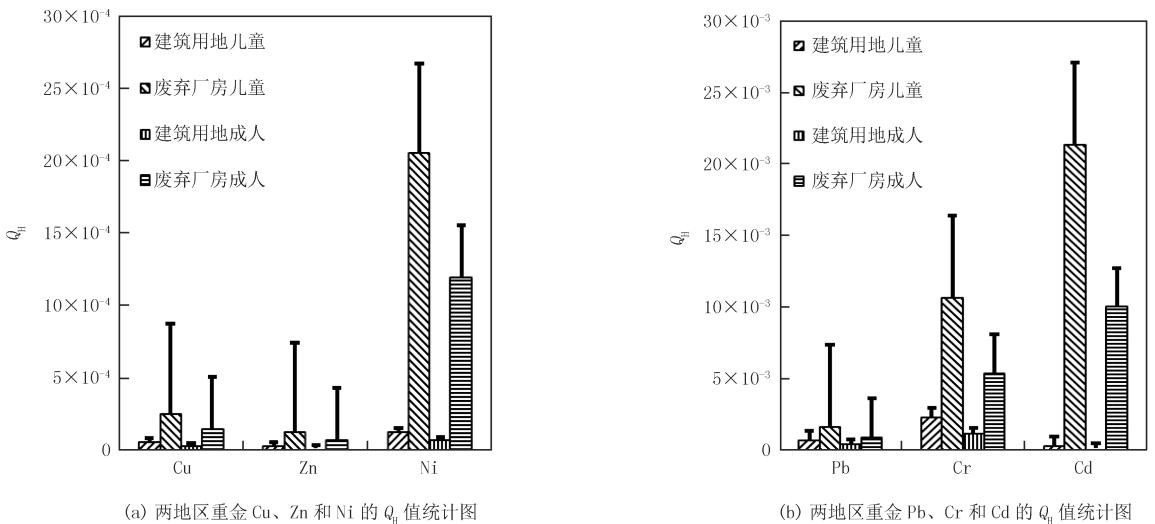


图4 两地重金属非致癌风险 Q_H 值描述

两地区经呼吸吸入的 3 种致癌重金属对儿童和成年人的致癌风险指数 R_c 见图 5.两地区 3 种致癌重金属呼吸吸入致癌暴露风险 R_c 均表现为成人大于儿童,而且呼吸吸入致癌风险废弃厂房远大于建筑用地的表现较为显著.对于 3 种致癌重金属元素,废弃厂房和建筑用地的儿童和成人呼吸吸入的致癌风险由大到小呈现为:Cr、Cd、Ni,Cr、Ni、Cd.与土壤背景值相比而言,Cd 的污染水平高于 Cr,但 Cd 的含量普遍低于 Cr 且 Cr 的毒性更强,因此表现为 Cr 具有更高的致癌风险.整体上,两地儿童和成年的呼吸吸入致癌风险 R_c 均小于 10^{-6} ,属于人体可接受范围内.由于本研究只考虑 3 种致癌重金属的呼吸吸入致癌风险,没有考虑摄食和皮肤接触风险.据此,两地土壤重金属致癌风险相比于实际评估可能具有更大的致癌风险.

2.3 健康风险评价不确定性分析

在非致癌风险贡献率方面,废弃厂房 Cr 经口摄食贡献率介于 8.77×10^{-1} ~ 9.6×10^{-1} ,呼吸吸入暴露风险贡献率介于 1.18×10^{-8} ~ 2.54×10^{-9} ,皮肤接触贡献率介于 0.2×10^{-10} ~ 0.12×10^{-9} ,其余 5 种重金属经口摄食暴露风险贡献率介于 1.00×10^{-1} (Cu) ~ 6.97×10^{-1} (Cd),呼吸吸入暴露风险贡献率介于 2.63×10^{-11} (Ni) ~ 1.92×10^{-9} (Cd),皮肤接触贡献率介于 0.40×10^{-3} (Cu) ~ 3.30×10^{-1} (Cd);建筑用地 Cd 经口摄食贡献率介于 7.80×10^{-1} ~ 9.63×10^{-1} ,呼吸吸入暴露风险贡献率介于 2.15×10^{-9} ~ 1.03×10^{-8} ,皮肤接触贡献率介于 0.04×10^{-9} ~ 0.22×10^{-9} ,其余 5 种重金属经口摄食暴露风险贡献率介于 8.21×10^{-1} (Cr) ~ 1.00 (Ni),呼吸吸入暴露风险贡献率介于 2.38×10^{-12} (Cr) ~ 1.10×10^{-10} (Zn),皮肤接触贡献率介于 3.00×10^{-5} (Pb) ~ 1.45×10^{-1} (Ni);对于致癌风险贡献率,因 3 种致癌重金属只计算呼吸途径的致癌风险,故不予计算^[29]。

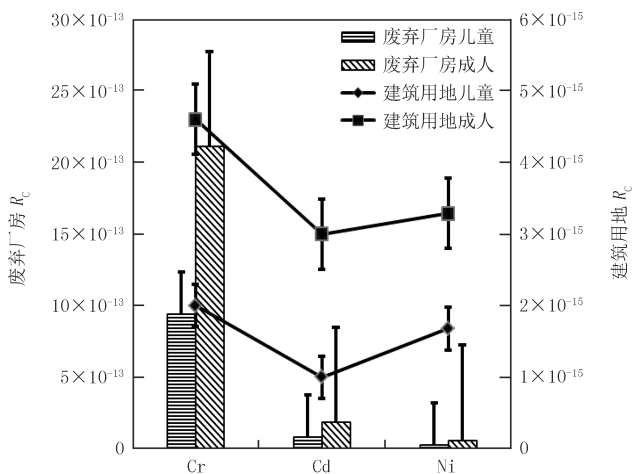


图 5 重金属致癌风险 R_c 值统计描述

3 结 论

从两地各重金属组成成分上看,整体上表现为废弃厂房土壤重金属污染程度大于建筑用地,且两地 6 种土壤重金属平均综合污染指数均大于 3,呈现重度污染;除两地的 Cd 和废弃厂房的 Ni 存在高生态风险外,其余均呈现较低的生态风险.对于非致癌金属元素,其非致癌风险 Q_H 均表现为儿童大于成人,但两者的 Q_H 均属于人体接受范围内,所以对人体不存在影响;对于致癌金属元素,两地区 3 种致癌重金属只考虑了呼吸吸入致癌风险,其 R_c 均小于 10^{-6} ,属于人体接受范围内,但是由于没有考虑 3 种重金属的摄食和皮肤接触致癌风险,而且实际上土壤中还存在其他重金属和有机污染物等^[31],因此两地区土壤可能存在更大的健康风险,应引起重视。

参 考 文 献

- [1] 李小平,王昕.城市典型工业区土壤重金属分布与污染评价[J].干旱区资源与环境,2010,24(10):100-104.
- [2] 张孝飞,林玉锁,俞飞,等.城市典型工业区土壤重金属污染状况研究[J].长江流域资源与环境,2005,14(4):512-515.
- [3] 金铭.“毒地”危害惊人敲响环境警钟[J].生态经济,2012,(10):18-23.
- [4] 刘照普.常州“毒地”事件调查[J].中国经济周刊,2016,17:26-29.
- [5] 蒋海燕,刘敏,黄沈发,等.城市土壤污染研究现状与趋势[J].安全与环境学报,2004,4(5):73-77.
- [6] 单爱琴,张威,周洪英.徐州市不同功能区重金属污染与健康风险评价[J].环境工程,2016,34(9):125-129.
- [7] 李玲,冯新伟,路捷,等.郑州市城市化进程中土壤环境质量评价[J].安全与环境学报,2008,8(5):99-103.
- [8] 杨忠平,赵剑剑,曹明哲,等.长春市城区土壤重金属健康风险评价[J].土壤通报,2015,46(2):502-508.
- [9] Chen H Y, Teng Y G, Lu S J, et al. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China[J]. Science of The Total Environment, 2015(512/513):143-153.
- [10] 王诚曦,王济,蔡雄飞,等.农田土壤环境质量标准值制定与健康风险评估[J].广西农业科学,2009,40(9):1199-1202.
- [11] 肖锦华.中国城市土壤重金属污染研究进展及治理对策[J].环境科学与管理,2009,34(4):25-28.
- [12] 秦鹏,阮丽,包跃跃,等.城市土壤重金属污染源研究[J].环境科学与管理,2014,39(12):38-41.
- [13] 国家环境保护总局.HJ/T166-2004 土壤环境监测技术规范[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [14] 古德宁,李光明,张兆海,等.濮阳工业园区土壤重金属背景值及质量评价[J].中国环境监测,2015,31(1):50-52.
- [15] 何玉生.海口城市土壤重金属污染特征与生态风险评估[J].生态学杂志,2014,33(2):421-428.
- [16] 聂锦霞,熊昌狮,陈明,等.西华山钨矿区菜地土壤重金属污染特征评价与健康风险评估[J].有色金属工程,2016,6(3):78-92.

- [17] 王彦斌,杨一鸣,曾亮,等.甘肃省榆中县菜地土壤与蔬菜中重金属含量及健康风险评估[J].干旱地区农业研究,2015,33(6):235-241.
- [18] 陈明,杨涛,徐慧,等.赣南某钨矿区土壤中 Cd、Pb 的形态特征及生态风险评估[J].环境化学,2015,34(12):2257-2262.
- [19] 陈露,文方,程艳,等.铅锌尾矿库周边土壤重金属污染特征及环境风险[J].中国环境监测,2017,33(1):82-87.
- [20] 赵小学,姚东平,成永霞,等.铅冶炼区土壤重金属总量和有效态含量的函数分析[J].中国环境监测,2017,33(1):68-74.
- [21] 孔凡彬,刘阳.单因子指数法和内梅罗指数法在土壤环境质量评价中的比较[J].甘肃科技,2014,30(3):21-22.
- [22] 冯乙晴,赵灵飞,肖辉林,等.深圳市典型工业区土壤重金属污染特征及健康风险评估[J].生态环境学报,2017,26(6):1051-1058.
- [23] 息朝庄,戴塔根,黄丹艳.湖南长沙市土壤重金属污染调查与评价[J].地球与环境,2008,36(2):136-141.
- [24] 盛蒂,朱兰保,陈健.蚌埠地区主要谷物重金属含量及健康风险评估[J].安全与环境学报,2014,14(4):263-266.
- [25] 王兰化,李明明,张莺,等.华北地区某蔬菜基地土壤重金属污染特征及健康风险评估[J].地球学报,2014,35(2):191-196.
- [26] 汤洁,陈初雨,李海毅,等.大庆市建成区土壤重金属潜在生态危害和健康风险评估[J].地理科学,2011,31(1):117-122.
- [27] 刘健,曾悦.城市土壤重金属分布特征和健康风险评估研究进展[J].浙江万里学院学报,2016,29(6):75-81.
- [28] 刘蕊,张辉,勾欣,等.健康风险评估方法在中国重金属污染中的应用及暴露评估模型的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(7):1239-1244.
- [29] 谷阳光,高富代.我国省会城市土壤重金属含量分布与健康风险评估[J].环境化学,2017,36(1):62-71.
- [30] 国家环境保护部.HJ/T25.3-2014 污染场地风险评估技术导则[S].北京:中国环境科学出版社,2014.
- [31] 刘小燕,陈棉彪,李良忠,等.云南会泽铅锌冶炼厂周边土壤重金属污染特征及健康风险评估[J].农业资源与环境学报,2016,33(3):221-229.
- [32] 韩军,徐应明,温兆飞,等.重庆某废弃电镀工业园农田土壤重金属污染调查与生态风险评估[J].环境化学,2014,33(3):433-439.
- [33] 厉炯慧,翁珊,方婧,等.浙江海宁电镀工业园区周边土壤重金属污染特征及生态风险分析[J].环境科学,2014,35(4):1509-1515.
- [34] 任文会,吴文涛,陈玉,等.某废弃化工厂场地土壤重金属污染评价[J].合肥工业大学学报,2017,40(4):534-537.
- [35] 谢炜,曾钰茹.城市表层土壤重金属污染风险等级评价[J].数学的实践与认识,2013,43(12):52-57.
- [36] 陈星,马建华,李新宁,等.基于棕地的建筑用地土壤重金属健康风险评估[J].环境科学,2014,35(3):1069-1074.
- [37] 刘灵飞,龙健,万洪富,等.贵州喀斯特山区锡冶炼厂对农业土壤污染特征的影响及风险评估[J].土壤,2013,45(6):1036-1047.
- [38] 李敬伟,湛方栋,何永美,等.云南会泽铅锌矿区土壤理化与生物学性质[J].应用与环境生物学报,2014,20(5):906-912.

A preliminary study on health risk of heavy metals in surface soil of an abandoned factory and construction land

Zhang Xin^{1,2}, Zhang Min¹, Ren Yifan¹, Wei Dun¹, Yin Mengmeng¹, Chun Tiantian¹, Gao Yi¹, Cao Zhiguo¹

(1.School of Environment; Key Laboratory of Yellow River and Huai River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education; Henan Key Laboratory for Environmental Pollution Control, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;
2. Environmental Pollution Control and Ecological Restoration of Collaborative Innovation Center, Henan, Zhengzhou, 450000, China)

Abstract: Taking an abandoned factory and construction land as the research objects, six heavy metal elements (Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni) in soil samples were analyzed, and the ecological and health risks of the conversion from abandoned factory to sensitive land were assessed. The results showed that the order from high to low of the pollution degree of the six heavy metals in both places was Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Pb. The comprehensive pollution index showed that the two areas all belonged to severe pollution. Except Cd and Ni of the abandoned factory and Cd of construction land are high ecological risks, the ecological risk of other heavy metals is very low. The results of human health risk assessment showed that the non-carcinogenic risk index Q_H of the 6 heavy metals in the two regions was less than 1, but if people are in this environment for a long time, it may have a certain effect on their health. For three kinds of carcinogenic heavy metals through inhalation carcinogenic risk, the carcinogenic risk index is much less than 10^{-6} , which means that the risk could be ignored.

Keywords: construction land; abandoned factory; heavy metal; ecological risk; health risk assessment

[责任编辑 赵晓华]