

# 河南省某高校校园表层土壤重金属污染状况与评价

张雪娇,何禹龙,陈辰慧,张发文

(河南农业大学 林学院,郑州 450001)

**摘要:**为了解和评价高校校园不同功能区和新老校区表层土壤重金属污染状况,在河南某校园多个校区采集了 91 个表层土壤样品,利用 BCR(European Community Bureau of Reference)连续提取法提取校园表层土壤中重金属的化学形态,并采用单因子污染指数法和内梅罗污染指数法对其污染状况做出评价.结果表明:校园不同功能区的表层土壤重金属 Pb、Zn、Cd 和 Cu 的平均含量分别为 116.37、95.08、0.64 和 39.89  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,均高于河南省土壤背景值,4 种元素的残渣态均占有较大比例,其中 Pb 在土壤中除残渣态之外,酸可提取态、可还原态和可氧化态含量在土壤中都占有相当的比例,具有潜在的环境风险;生物有效性分析表明,Cd 和 Pb 易被生物利用的量相对较大,潜在危害性较大,Zn 和 Cu 不易被外界生物所利用;绿化区各重金属元素之间均不存在相关性,Zn-Cd 在校门口、教学区和建筑区都呈显著正相关,Pb-Zn 在生活区与教学区中呈显著正相关关系,Pb-Cd 在实验区呈极显著正相关.内梅罗综合污染平均指数为 0.54.高校校园表层土壤重金属含量处于安全级别.

**关键词:**校园;表层土壤;重金属;化学形态

**中图分类号:**X825

**文献标志码:**A

土壤和我们的生活息息相关,所以对于土壤的各项性质的研究分析就显得尤为重要,特别是高校校园,人口密集,人类活动较多,师生会通过呼吸吸入或从手到口的途径摄入土壤重金属,使身心健康受到影响.因此,开展高校校园土壤的重金属分析对于完善和加强校园绿化工作以及保障学生身体健康有着至关重要的作用<sup>[1]</sup>.

近几十年来,国内外许多学者开始关注校园土壤重金属污染情况并对其累积程度、空间分布特征进行研究.结果发现,淮南<sup>[2]</sup>、开封<sup>[3]</sup>、南京<sup>[4]</sup>等地校园土壤重金属大多超过当地土壤背景值,人类活动与自然源为校园土壤重金属污染主要来源,人类活动为主.不同生活场所由于人类活动<sup>[5]</sup>和交通运输的不同,污染程度也有所不同,表现出一定的空间差异性.但目前来说,对高校校园土壤质量的研究仍然较少,大多针对多种重金属元素分布及污染源进行研究,但至今未有对不同功能区和新老校区表层土壤重金属含量水平差异的分析和研究.本文以河南农业大学为研究对象,对校园不同区域表层土壤重金属总量及其生物有效性进行分析,并采用内梅罗指数法对校园不同功能区及不同校区表层土壤重金属污染现状进行评价,为学校以后的规划建设和广大师生的健康保障提供重要的依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于河南省郑州市内,主要包括郑州市河南农业大学的文化路校区、龙子湖校区、桃李园学生公寓以及第二、三生活区.河南农业大学文化路校区建于 1966 年,坐落在两条交通要道交叉口,与高架公路相邻,周围商铺、居民区等建筑较多,人流量与车流量较大.桃李园学生公寓和第二生活区域中大多为学生居住

收稿日期:2018-09-03;修回日期:2019-03-04.

基金项目:国家自然科学基金(30400387)

作者简介:张雪娇(1994—),女,河南安阳人,河南农业大学硕士研究生,研究方向为环境科学与资源利用, E-mail: 1094050661@qq.com.

通信作者:张发文, E-mail:7870271@qq.com.

的宿舍楼,第三生活区为教职工生活区和部分实验田.龙子湖校区建于2014年,周围环绕着各大高校与施工建筑,相对文化路校区人流量与车流量较少,教学楼与宿舍楼都集中而建.郑州市属北温带大陆性季风气候,全年平均降雨量542.15 mm,研究地土壤主要类型为潮土,质地变化较多,土壤腐蚀积累过程较弱,采样地土壤呈弱碱性(如表1所示),有机质含量为9.23~21.9 mg·kg<sup>-1</sup>.

### 1.2 样品的采集与处理

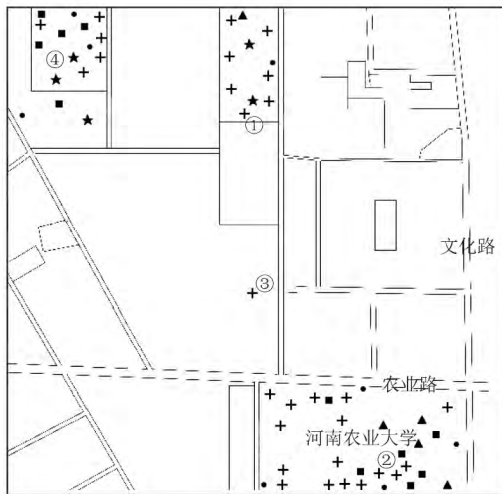
土壤样品于2017年3月进行采集.河南农业大学文化路校区、桃李园和第二、三生活区在同一区域附近,使用年限为50年左右,这4个区域为校园老区;龙子湖校区正在建造,使用年限较短,这个区域为校园新区.校园老区取样点分布如图1所示(桃李园生活公寓、文化路校区、第二生活区、第三生活区分别为①、②、③、④),校园新区取样点分布如图2所示(龙子湖校区为⑤),总共获得91个土壤样品.按照取样地的属性和用途将其分为校门口(样点

10个)、教学区(样点7个)、生活区(样点45个)、绿化区(样点13个)、实验区(样点11个)和建筑区(样点5个)6个功能区,取地表0~10 cm的表层土进行研究.为了使所选取的土壤样品更具有代表性,在取样时采用随机多点采样混合的方式,通过四分法混匀.样品采集后带回实验室进行风干.为了减少对重金属元素含量测定的影响,将风干土样未分解的有机残体除去.将土样用木棒压碎,捡出杂物,过100目尼龙筛,置于密封袋中待用.

表1 河南农业大学校园土壤基本理化性质

Tab.1 Basic physical and chemical properties of the soil in Henan Agricultural University

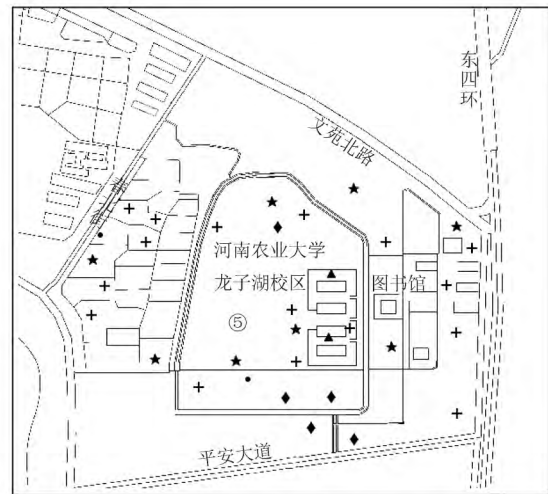
采集区域	含水率/%	pH	有机质/(mg·kg <sup>-1</sup> )
文化路校区	3.22	7.54	21.9
龙子湖校区	2.01	7.95	9.23
桃李园学生公寓	3.09	7.99	21.14
第二生活区	3.10	7.98	21.19
第三生活区	1.45	7.95	21.88



•校门口 ▲教学区 +生活区 ★绿化区 ■实验区

图1 校园老区采样示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling ground in campus old area



•校门口 ▲教学区 +生活区 ★绿化区 ■实验区 ◆建筑区

图2 校园新区采样示意图

Fig.2 Schematic diagram of sampling ground in campus new area

### 1.3 样品测定与分析

土壤中重金属全量采用的是 HF-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消解法<sup>[6]</sup> 在电热板上对土样进行消解,重金属有效态含量采用改进 BCR 连续提取法提取土样中重金属的 4 种形态:酸可提取态、可还原态、可氧化态和残渣态<sup>[7-9]</sup>.采用 TAS-990 火焰原子吸收分光光度仪(北京普析)测定土壤中重金属 Pb, Zn, Cd, Cu 的全量和形态<sup>[10]</sup>.为确保实验结果的准确性,同一样品 3 次重复测定的结果求平均值,每隔 5 个样品测定消解空白和国家标准土壤样品(GSS-1,暗棕壤),对土壤样品的测定进行质量控制.每批样品采用 2 个标准土样进行加标回收实验,Pb, Zn, Cd, Cu 的加标回收率分别为 121.00%、108.73%、83.00%和 98.79%.

## 1.4 数据处理

本研究采用运用 Excel2010、SPSS20.0 统计软件对不同校区和不同功能区的表层土壤重金属平均含量进行描述性统计分析及 Pearson 相关性分析。

## 1.5 重金属污染评价方法

仅利用单因子评价法并不能反映土壤重金属的整体污染水平,因此采用单因子污染指数法与内梅罗综合污染指数法相结合的方法来评价土壤受重金属污染的情况.单因子指数( $P_i$ )和内梅罗指数( $P_{综}$ )的计算公式如(1)式、(2)式所示<sup>[11]</sup>.本文以国家土壤环境质量二级标准作为评价标准<sup>[12]</sup>,土壤环境质量污染指数及其分级标准如表 2 所示<sup>[13-14]</sup>.

单因子指数计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i, \quad (1)$$

式中: $P_i$  为土壤中污染物  $i$  的污染指数; $C_i$  为污染物  $i$  的实测浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

内梅罗指数计算公式为:

$$P_{综} = \sqrt{\frac{(C_i + S_i)_{\max}^2 + (C_i + S_i)_{\text{aver}}^2}{2}}, \quad (2)$$

式中: $P_{综}$  为土壤中污染物  $i$  的内梅罗污染指数; $C_i$  为污染物  $i$  的实测浓度,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准,  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

表 2 土壤环境质量污染指数及其分级标准

Tab.2 Soil environmental quality pollution index and its classification standard

等级	单因子污染指数	内梅罗指数	污染等级	污染水平
I	$P_i \leq 0.7$	$P_{综} \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$0.7 < P_{综} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
III	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$1.0 < P_{综} \leq 2.0$	轻度污染土壤	已受污染
IV	$2.0 < P_i \leq 3.0$	$2.0 < P_{综} \leq 3.0$	中度污染土壤	已受中度污染
V	$P_i > 3.0$	$P_{综} > 3.0$	重度污染土壤	已受严重污染

## 2 结果与讨论

### 2.1 校园表层土壤重金属分布特征

#### 2.1.1 校园不同功能区表层土壤重金属含量水平

表 3 为校园内不同功能区表层土壤重金属(Pb, Zn, Cd 和 Cu)的含量分布情况.校园不同功能区表层土壤重金属 Pb, Zn, Cd 和 Cu 的含量范围分别为 82.50~165.60、85.64~101.13、0.59~0.69 和 28.16~53.72  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,平均含量分别为 116.37、95.08、0.64 和 39.89  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .其中,Pb, Zn, Cd 和 Cu 的平均含量分别是河南省土壤背景值<sup>[3]</sup>的 5.21、1.52、9.13、1.99 倍,中国潮土背景值的<sup>[15]</sup>5.31、1.34、6.20、1.66 倍.校园内 Pb 与 Cd 的平均含量远高于河南省土壤背景值,这与校园内人口密集,废弃物排放量大,绿地面积小,车流量大等多种因素有关<sup>[16]</sup>.文化路校区占地 26.8 万  $\text{m}^2$ ,现有学生 8 000 人左右;龙子湖校区占地 128.78 万  $\text{m}^2$ ,学生规模在 24 000 人左右,再加上教职工与校外人员的数量,如此多的人口在有限的区域内进行频繁活动,导致该区域内汽车尾气增加,自行车车胎磨损严重和生活垃圾量增多等后果,势必会对校内表层土壤的重金属含量造成影响.

Zn 和 Cd 的变异系数较小,分别为 5.71%和 5.31%;而 Pb 和 Cu 的变异系数较大,分别为 21.69%和 22.89%,说明不同重金属受人为因素的影响不同.这些结果表明,Pb, Zn, Cd 和 Cu 这 4 种重金属在整个研究区域内的土壤中都普遍存在累积现象,在个别区域内,土壤重金属含量严重偏高,存在一定的重金属污染风险.Zn 和 Cd 含量都是教学区最高,主要因为教学区人流量最大,同时周围自行车停放较多,而 Zn 主要来自橡胶轮胎的磨损<sup>[4]</sup>,Cd 主要来源于建筑物墙面剥蚀<sup>[17]</sup>.而生活区由于除了学生宿舍外,还包括了操场,超市

等人流量相对较少的区域,所以 Zn 和 Cd 含量低于教学区.由于实验垃圾的不合理处置,造成实验区中的 Cu 的含量相对于其他区域较高.

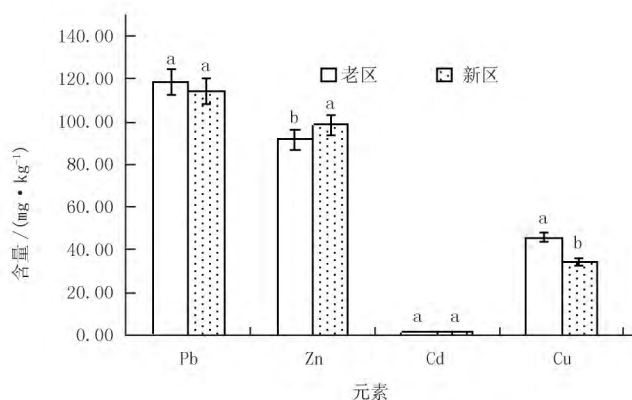
表 3 校园不同功能区表层土壤的重金属含量

功能区及有关参数	Pb	Zn	Cd	Cu
校门口/(mg·kg <sup>-1</sup> )	82.5	85.64	0.61	44.9
教学区/(mg·kg <sup>-1</sup> )	102.9	101.13	0.69	29.23
生活区/(mg·kg <sup>-1</sup> )	117.9	94.49	0.59	37.99
实验区/(mg·kg <sup>-1</sup> )	120.2	91	0.66	53.72
建筑区/(mg·kg <sup>-1</sup> )	109.1	100	0.66	28.16
绿化区/(mg·kg <sup>-1</sup> )	165.6	98.19	0.63	45.31
含量范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	82.50~165.60	85.64~101.13	0.59~0.69	28.16~53.72
平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	116.37	95.08	0.64	39.89
标准差	25.24	5.43	0.034	9.13
变异系数/%	21.69	5.71	5.31	22.89
河南土壤背景值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	22.33	62.51	0.07	19.97
中国潮土背景值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	21.9	71.1	0.103	24.1

### 2.1.2 不同校区表层土壤重金属含量水平

#### 不同校区表层土壤重金属

(Pb, Zn, Cd 和 Cu) 全量分布情况,如图 3 所示.老区和新区表层土壤中各重金属的全量分别为:老区(118.5、86.72、0.64 和 45.74 mg·kg<sup>-1</sup>),新区(114.24、98.44、0.64 和 34.04 mg·kg<sup>-1</sup>).所有重金属全量都高于河南省土壤背景值.老区中只有 Cu 显著高于新区( $P < 0.05$ );老区由于地处郑州金水区农业路、文化路和东风路 3 条交通要道之间,车辆来往频繁,汽车尾气排放较多,所以老区 Pb 和 Cd 全量高于新区;老区使用年限较长,且



a, b 表示同一元素不同校区之间差异 ( $P < 0.05$ ).

图 3 不同校区表层土壤重金属含量分布 (平均值 ± 标准误, n=6)

Fig.3 Concentrations of heavy metals in surface soil of different campus (mean ± SE, n=6)

学校周围生活小区较多,因此校内人口活动量较大,因此,受人为因素影响,老区表层土壤重金属全量大多高于新区,这与卢瑛<sup>[18]</sup>等的研究结果相似.新区中 Zn 显著高于老区 ( $P < 0.05$ ),新区由于在不断建造,经常会有运沙、运石等大型货车进出,货车尾气的排放和其润滑油的滴落泄露导致新区表层土壤中 Zn 的全量高于老区,这与颜钰<sup>[19]</sup>等的研究结果一致.

### 2.2 校园表层土壤重金属形态及生物有效性分析

从图 4 中可以看到,不同的功能区与不同的重金属元素的化学形态组成均有一定的差别.在 6 个不同功能区中, Pb, Zn, Cd 和 Cu 的残渣态占主要组成部分,这与王鹏对北京某公路两侧土壤重金属形态分析的研究结果相似<sup>[20]</sup>,但其形态所占比例顺序由大到小大致为残渣态、可氧化态、可提取态、可还原态,与本文不同. Pb 可还原态和可氧化态所占比例在各个功能区相差不大. Zn 元素的可氧化态所占比例较低,这与陈志凡等的研究结果相同<sup>[21]</sup>,表明 Zn 相对较稳定,性质较不活泼,不易与有机质结合,潜在健康风险较低.在各个功能区中,校园表层土壤中 Cd 是所有元素中有效态比例较高的元素,具有较强的生物活性和可迁移性,与

陈俊等的研究结果类似<sup>[22]</sup>,导致 Cd 在土壤中污染严重,需要加强监测.与其他元素相比,Cu 的残渣态所占总量比例最高,达到 60%以上.残渣态为稳定态,说明 Cu 在自然条件下,性质相对比较稳定,有效态较低.

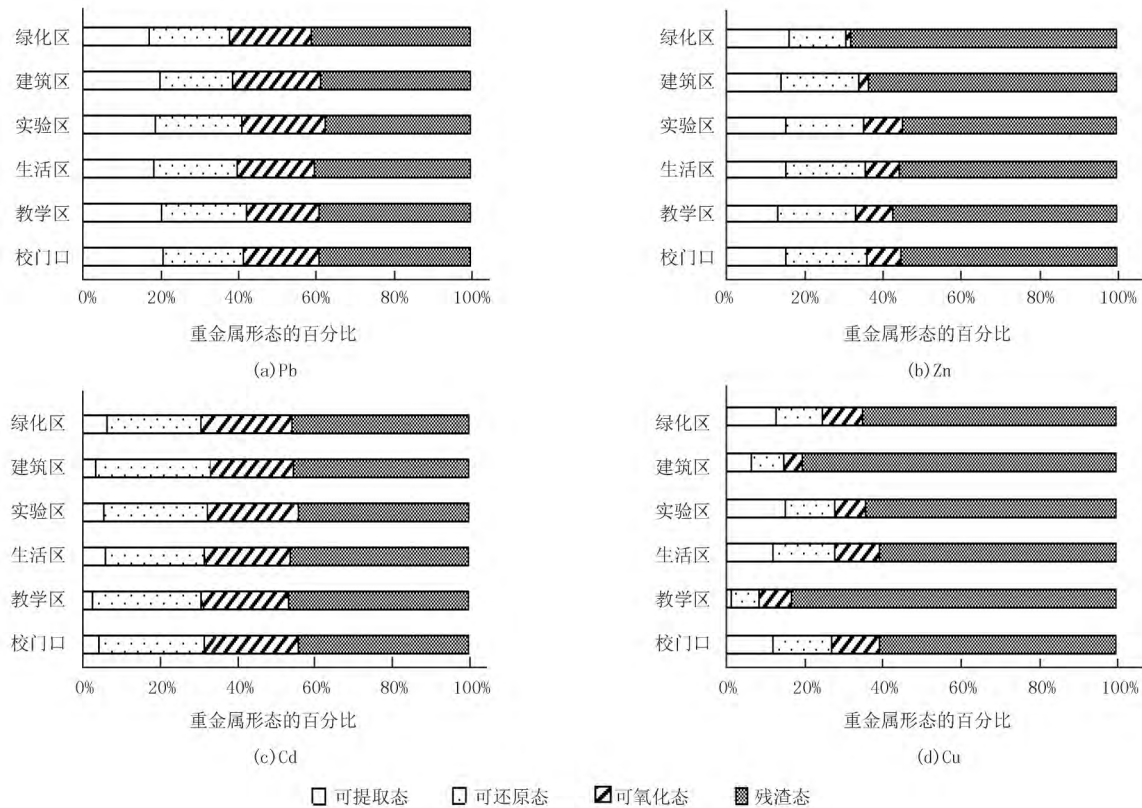


图 4 校园不同功能区表层土壤重金属形态的组成百分比

Fig.4 Chemical fractionation of heavy metals in surface soil of different functional areas on campus

研究表明<sup>[23]</sup>,酸可提取态( $T_1$ ,可交换态和碳酸盐结合态)的重金属容易被生物吸收以及重新释放进入水相;可还原态( $T_2$ ,铁锰氧化物结合态)重金属易在还原和酸性条件下被活化;可氧化态( $T_3$ ,有机物及硫化物结合态)相对较难被生物吸收,但在氧化或碱性条件下会被活化;残渣态( $T_4$ )会长期稳定在沉积物中,对外界环境影响较小.根据重金属形态,可将重金属的生物有效性分为 3 类,分别为可利用态、中等利用态和难利用态<sup>[20]</sup>.分别用生物活性系数  $K_1, K_2$  和  $K_3$  表示 [ $K_1 = T_1 / (T_1 + T_2 + T_3 + T_4), K_2 = (T_2 + T_3) / (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$  和  $K_3 = T_4 / (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$ ].

由表 4 可知,Pb 和 Cd 的生物活性系数变化规律相似,均表现为  $K_2 > K_3 > K_1$ ,说明其在酸性或碱性条件下转化成易被生物利用的量相对较大,易对外界环境造成污染;Zn 和 Cu 的生物活性系数变化规律均为  $K_3 > K_2 > K_1$ , $K_3$  较大,说明其不易被外界生物所利用.

表 4 校园表层土壤重金属的生物有效性

**Tab.4 Bioavailability of heavy metals pollution in the surface soil of the campus**

生物活性系数	Pb	Zn	Cd	Cu
$K_1$	0.192	0.147	0.045	0.104
$K_2$	0.413	0.262	0.499	0.217
$K_3$	0.395	0.591	0.456	0.679

### 2.3 相关性分析

研究重金属之间的相关性可以推断重金属的来源是否相同.如果它们之间存在相关性,那么它们的来源相同,如果不存在,则来源不同.利用 SPSS20.0 对校园不同功能区表层土壤的重金属含量进行 Pearson 相关性分析,结果见表 5.

相关分析表明,绿化区重金属元素之间均不存在相关性.在生活区和教学区,Pb-Zn在 $P=0.05$ 的水平上都呈显著性相关关系,这两个区域人口相对密集,人类活动较多,说明人为活动对Pb和Zn影响较大.在校门口、教学区和建筑区,Zn-Cd都存在不同程度的显著性相关,这3个区域车流量较大,车尾气的排放与橡胶轮胎的磨损都会对Zn和Cd的含量造成影响,因此,在这3个区域,Zn-Cd显著性相关.在实验区,Pb-Cd在 $P=0.01$ 水平上存在极显著相关关系,说明这两种元素同源可能性较大.

#### 2.4 校园表层土壤重金属污染评价

由表6可看出,河南农业大学校园表层土壤不同重金属的单因子污染指数由大到小顺序为: Cd(0.64), Cu(0.40), Pd(0.33), Zn(0.32). Cd的污染指数虽略高于其他重金属,但在安全范围之内.综合污染指数为0.54,为安全级别.所以,要妥善处置科研及其生活中的废弃物,给广大师生创造一个更加和谐安全的校园环境.

### 3 结论

校园不同功能区表层土壤重金属Pb, Zn, Cd和Cu的平均含量分别为116.37、95.08、0.64和39.89  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,均超过中国土壤背景值和河南省土壤背景值; Cd的污染程度最大. Pb在土壤中除残渣态之外,酸可提取态、可还原态和可氧化态含量在土壤中都占有相当的比例. 计算不同重金属的生物活性系数可知, Cd和Pb易被生物利用的量相对较大,易对外界环境造成

污染; Zn和Cu不易被外界生物所利用. 绿化区各重金属元素之间均不存在相关性, Zn-Cd在校门口、教学区和建筑区都呈显著正相关, Pb-Zn在生活区与教学区中呈显著正相关关系, Pb-Cd在实验区呈极显著正相关. 采用内梅罗综合污染指数法来对校园表层土壤重金属含量进行生态风险评价, 单因子污染指数由大到小顺序为 Cd(0.64), Cu(0.40), Pd(0.33), Zn(0.32), 综合污染指数为0.54, 为安全级别.

表5 校园不同功能区土壤重金属元素之间的相关性分析

Tab.5 Correlation analysis between heavy metals in soil of different functional areas on campus

区域	元素	Pb	Zn	Cd	Cu
校门口	Pb	1			
	Zn	0.431	1		
	Cd	-0.827	0.934**	1	
	Cu	0.153	0.653	0.694	1
教学区	Pb	1			
	Zn	0.842*	1		
	Cd	0.831*	-0.043	1	
	Cu	0.439	0.031	-0.052	1
生活区	Pb	1			
	Zn	0.673	1		
	Cd	0.410	0.856*	1	
	Cu	-0.129	0.315	0.024	1
实验区	Pb	1			
	Zn	0.472	1		
	Cd	0.814**	-0.039	1	
	Cu	0.697	0.381	0.673	1
建筑区	Pb	1			
	Zn	0.326	1		
	Cd	0.731	0.864*	1	
	Cu	-0.297	-0.067	0.513	1
绿化区	Pb	1			
	Zn	-0.379	1		
	Cd	0.601	-0.197	1	
	Cu	0.014	-0.077	0.407	1

注: \* 显著性水平为0.05; \*\* 显著性水平为0.01.

表6 校园表层土壤重金属环境污染评价统计性描述

Tab.6 Description statistical of heavy metals pollution in the surface soil of the campus

	单因子污染指数( $P_i$ )				综合污染指数( $P_{综}$ )
	Pb	Zn	Cd	Cu	
最大值	0.47	0.34	0.69	0.54	0.61
最小值	0.24	0.29	0.59	0.28	0.49
平均值	0.33	0.32	0.64	0.40	0.54

### 参 考 文 献

- [1] 张梦月, 张智博, 刘涛, 等. 莱芜市城区街道灰尘重金属含量及其健康风险评价[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(2): 47-54.
- [2] 武家园, 方风满, 林跃胜, 等. 淮南市校园灰尘重金属污染特征及生物有效性[J]. 环境化学, 2016, 35(7): 1346-1353.

- [3] 张小磊,孔令惠,何宽,等.河南大学校园土壤中主要重金属状况及其评价[J].洛阳师范学院学报,2006,25(5):145-148.
- [4] 李敏.南京市城区幼儿园和小学校园铅污染特征及其风险分析[D].南京:南京农业大学,2006.
- [5] 武家园.淮南市小学校园不同活动场所灰尘中重金属空间差异研究[D].芜湖:安徽师范大学,2017.
- [6] 史啸勇,郁建桥.微波消解—原子吸收光度法测定土壤中铜锌铅镉镍铬[J].环境监测管理与技术,2003,15(1):32-33.
- [7] 江高鹤,胡恭任,于瑞莲,等.安溪铁观音茶园土壤重金属赋存形态及生态风险评价[J].地球与环境,2016,44(3):359-369.
- [8] Tokalioglu S, Kartal S, Gultekin A. Investigation of heavy—metal uptake by vegetables growing in contaminated soils using the modified BCR sequential extraction method[J]. International Journal of Environment Analytical Chemistry, 2006, 86(6): 417-430.
- [9] Pueyo M, Mateo J, Rigol A, et al. Use of the modified BCR three—step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils[J]. Environmental Pollution, 2008, 152(2): 330-341.
- [10] 王学锋,马鑫.新乡小冀工业区周边土壤重金属污染评价与形态分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(8):148-152.
- [11] 张鑫,张敏,任伊凡,等.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[J].河南师范大学学报(自然科学版),2018,46(6):54-60.
- [12] 国家环境保护局科技标准司.GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [13] 朱秀红,吴晓娜,茹广欣,等.济源某铅厂周边农田土壤重金属污染评价及来源解析[J].河南农业大学学报,2018,52(3):459-463.
- [14] 李黎,陈文德.巴中市土壤重金属 Cd、Pb 的污染评价[J].河南师范大学学报(自然科学版),2014,42(4):91-95.
- [15] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [16] 刘春华,岑况.北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源[J].环境科学学报,2007,27(7):1181-1188.
- [17] 卢瑛,龚子同,张甘霖.南京城市土壤中重金属的化学形态分布[J].环境化学,2003,22(2):131-136.
- [18] 颜钰,李盼盼,陶军,等.北京高校校园道路灰尘重金属污染特征及健康风险评价[J].环境污染与防治,2016,38(1):58-81.
- [19] 王鹏.北京某公路两侧土壤重金属污染现状及风险评价研究[D].北京:北京建筑大学,2014.
- [20] 陈志凡,范礼东,陈云增,等.城乡交错区农田土壤重金属总量及形态空间分布特征与源分析——以河南省某市东郊城乡交错区为例[J].环境科学学报,2016,36(4):1317-1327.
- [21] 陈俊,范文宏,孙如梦,等.新河污灌区土壤中重金属的形态分布和生物有效性研究[J].环境科学学报,2007,27(5):831-837.
- [22] 林淑芬,李辉信,胡锋.蚓粪对黑麦草吸收污染土壤重金属铜的影响[J].土壤学报,2006,43(6):911-918.
- [23] 薛喜成,陈菲,小峪河金矿区土壤、植被重金属污染研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(8):141-148.

## Distribution and evaluation of heavy metals in surface soil in one of universities of Henan province

Zhang Xuejiao, He Yulong, Chen Chenhui, Zhang Fawen

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to investigate and evaluate the heavy metal pollution of topsoil in different functional areas as well as old and new campus, 91 topsoil samples were collected from several campuses of a university in Henan. The chemical forms of heavy metals in the surface soil were extracted by BCR (European Community Bureau of Reference) continuous extraction method. The pollution level of heavy metal was assessed by single pollution index and Nemerow index method. The results showed that the average contents of heavy metals Pb, Zn, Cd and Cu in the different functional areas of the surface soil were 116.37, 95.08, 0.64 and 39.89 mg · kg<sup>-1</sup>. All of the heavy metals exceeded the soil background values of Henan province. The residual states of the four elements all occupied a large proportion. In addition to residue state, acid extractable state, reducible state and oxidizable state content of Pb in soil account for a considerable proportion in soil, with potential environmental risks. Bioavailability analysis showed that Cd and Pb were relatively easy to be utilized by organisms, indicating a serious potential risk. Zn and Cu were not easily used by outside organisms. There was no correlation among heavy metal elements in greening area. Zn—Cd had a significant positive correlation in the doorway, teaching area and building area. Pb—Zn had a significant positive correlation in living area and teaching area. Pb—Cd had a very significant positive correlation in the experimentation area. The Nemerow comprehensive index was 0.54. The content of heavy metals in the surface soil of university campus was at a safety level.

**Keywords:** campus; surface soil; heavy metals; chemical form

[责任编辑 赵晓华 陈留院]