

# 武汉钢铁公司周边地区土壤和蔬菜重金属含量分析

万田英 霍庆 祁志福 曹艳丽 胡红青

华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070

**摘要** 以武汉钢铁公司周边地区为研究区,对采集的23个土壤样品和8个蔬菜样本中重金属(Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni)含量及土壤性质进行测定分析,结果表明:4个采样区(S1、S2、S3和S4)土壤受Cd污染严重,单项污染指数分别为4.66、2.75、6.60、3.20;4个采样区Pb、Cr、Ni的几何均值都低于湖北省土壤元素背景值;土壤Cu、Zn略有积累;4个采样区的综合污染指数分别为3.37、2.01、4.77、2.32,达到了中污染或重污染程度;研究区的Cu、Zn、Pb两两之间及Ni与Cd之间具有显著或极显著的相关性;土壤Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni与土壤有机质及粘粒含量也存在相关性;以有机质和粘粒为控制变量,S4的阳离子交换量(cation exchange capacity,CEC)与Cu、Zn偏相关性显著;对样本进行Q型聚类分析:聚类I主要包括S1与S4的部分样本,污染程度最低;聚类IV由S2部分样本组成,污染程度最高;聚类II和III包括S3及部分S4的样本,污染程度中等。

**关键词** 重金属;钢铁公司;土壤;蔬菜;污染指数

**中图分类号** X53 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0077-07

土壤重金属污染不仅破坏土壤的正常功能,阻碍作物的生长,而且会通过食物链或人体直接吸入等途径而危害人类健康<sup>[1-4]</sup>。环境保护部和国土资源部近期公布的全国土壤污染状况调查结果显示,土壤污染状况总体不容乐观,部分地区较严重,全国土壤总的点位超标率为16.1%。土壤重金属污染主要是人为因素产生的,包括垃圾填埋、机动车尾气排放、工矿及农耕活动等。Zhai等<sup>[5]</sup>对博茨瓦纳首都Gaborone的耕层土壤重金属进行研究,结果显示Cd、Pb、Cu、Zn和Ni的关联度较大,很可能由工矿等人为活动引起。Hernandez等<sup>[6]</sup>研究发现,在远离污染源的地方土壤重金属含量仍很高。研究表明<sup>[7-9]</sup>,我国的长江三角洲、珠江三角洲等经济发达地区土壤重金属均有不同程度的积累。武汉市近年经济发展迅速,但主城区和重点工矿区是否存在一些环境污染问题尚不清楚,针对武汉市重金属污染的研究主要集中在水体和沉积物上<sup>[10-11]</sup>,而对土壤重金属的污染状况报道较少,影响市民对城市环境和食品安全的认识。笔者以武汉钢铁公司周边区域土壤和蔬菜为研究对象,探讨该地区的重金属污染状况、来源及其潜在危害,以期在城市重工业区周边

土壤的安全利用及城市发展规划、建设生态城市提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

武汉市属北亚热带季风性气候,年均气温15.8~17.5℃,年降水量1150~1450mm,主要土壤类型为水稻土、黄棕壤、潮土、红壤和石灰土。武汉钢铁公司位于武汉市东郊、长江南岸,于1958年建成投产,占地面积21.17km<sup>2</sup>。

### 1.2 样品采集与分析

1)样品采集及预处理。在研究区域内根据地形、排污管道、农业利用等因素选取有代表性的采样区4个:S1、S2、S3、S4(图1)。每个采样区在一定面积(约50m×50m)内用梅花形采样法取4~5个农田表层土壤(0~15cm)单样制成混合土样,同时采取相应土壤上的蔬菜(可食部位),共计23个土壤样品,8个蔬菜样品。土壤样品置于阴凉通风处风干,去除杂物,研磨,分别过0.75mm和0.149mm孔径筛,密封贮存于塑料袋中备用。蔬菜样品用自来水充分冲洗,去除粘附于植物样品上的泥土和污物,

收稿日期:2014-02-24

基金项目:国家“863”项目(2012AA101402)

万田英,硕士,工程师.研究方向:环境污染治理. E-mail: wantianying@mail.hzau.edu.cn

通信作者:胡红青,博士,教授.研究方向:土壤环境化学. E-mail: hqhu@mail.hzau.edu.cn

再用去离子水冲洗,105 °C 杀青 15 min,65 °C 烘干至恒质量,粉碎待用。

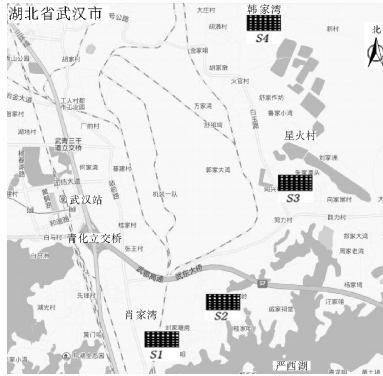


图 1 采样区分布图

Fig.1 Map of sampling sites for soils and plants in the experiment

2) 土壤基本理化性质测定。土壤基本理化性状分析参照文献 [12], 其中土壤有机质采用浓  $H_2SO_4-K_2CrO_4$  磷酸浴外加热法; pH 值采用电位

法(土水质量比 1 : 2.5); 阳离子交换量(cation exchange capacity, CEC)采用 1 mol /L  $NH_4OAC$  交换-凯氏定氮法; 土壤质地采用吸管法(卡庆斯基制), 土壤基本理化性质见表 1。

3) 重金属含量测定。土壤用  $HCl-HNO_3-HClO_4$  消解, 测定 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 6 种重金属含量; 蔬菜样品采用干灰化法, 测定 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 5 种重金属含量。土壤及蔬菜样品 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 含量采用美国瓦里安公司的 VISTA-MPX 型电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)测定; Cd 含量采用石墨炉原子吸收法测定。所有数据取 2 次测定平均值。

### 1.3 统计分析

数据分析采用 SPSS 11.5 For Windows 统计软件。由于样本重金属含量服从对数正态或近似对数正态分布, 其统计值采用几何均值与几何标准差表示。样本的 Q 型聚类分析以 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 为变量, 用最远邻居(Furthest neighbor)距离法进行分析。

表 1 供试土壤的基本理化性质<sup>1)</sup>

Table 1 Basic physico-chemical properties of soils tested

采样区 Sampling site	样本数 Sample size	pH		有机质/(g/kg) Organic matter		CEC/(cmol/kg)		物理性粘粒/% Clay	
		范围 Range	$M \pm S_d$	范围 Range	$M \pm S_d$	范围 Range	$M \pm S_d$	范围 Range	$M \pm S_d$
S1	2	6.45~7.30	6.86±1.09	24.20~25.76	24.97±1.05	17.89~17.94	17.91±1.00	37.80~39.20	38.49±1.03
S2	8	7.21~7.98	7.58±1.04	27.62~47.17	35.24±1.19	17.30~23.60	19.88±1.10	33.62~42.10	38.94±1.08
S3	7	4.82~7.81	6.92±1.18	26.21~40.40	35.54±1.31	14.07~28.86	19.26±1.25	26.21~40.40	35.28±1.17
S4	6	7.35~7.79	7.57±1.02	25.80~32.10	20.36±1.10	7.69~11.16	9.12±1.16	25.80~32.10	28.65±1.09

1)CEC: 阳离子交换量 Cation exchange capacity.

## 1.4 评价方法

1) 单因子污染评价法。单因子污染指数采用  $P_i = C_i/S_i$  计算, 式中  $P_i$  为第  $i$  种重金属的污染指数;  $C_i$  为重金属  $i$  的实测含量, mg/kg;  $S_i$  为重金属  $i$  的评价标准, mg/kg, 选用土壤环境质量二级标准<sup>[13]</sup>。

2) 不同采样区土壤污染综合指数评价法。综合污染评价采用公式:  $P_{ij} = \{[\text{Max}(C_i/S_{ij})^2 + 1/n \sum (C_i/S_{ij})^2]/2\}^{1/2}$ , 式中  $P_{ij}$  为不同采样区土壤重金属综合污染指数,  $j$  为采样区的编号,  $i$  为重金属种类;  $C_i$  为重金属  $i$  的实测含量;  $S_{ij}$  为参考的土壤环境背景值(选用土壤环境质量二级标准);  $n$  为重金属种类数( $n = 6$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同采样区的土壤重金属分布

由表 2 可知, 4 个采样区中 Cd 污染最严重, 几

何均值分别为 1.40、1.65、1.98、1.92 mg/kg, 达湖北省土壤背景值<sup>[14]</sup>的 12.3~17.4 倍, 是国家土壤环境质量三级标准<sup>[13]</sup>的 1.4~2.0 倍; 4 个采样区的 Pb、Cr、Ni 均低于背景值, S2、S3 样区 Cu 含量分别是背景值的 1.5、1.2 倍, Zn 含量是背景值的 1.4 倍。若以背景值为标准, S2 的 8 个样本中 Cu、Zn、Pb 超标率分别为 100.0%、87.5%、25.0%; S3 的 7 个样本中 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 均超标, 超标率分别为 100.0%、85.7%、28.6%、14.3%、14.3%; S4 有 16.7% 的 Cu 和 16.7% 的 Zn 超标; S1 的 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 均未出现超标现象。综上可知, Cu、Zn、Cd 为研究区土壤的主要重金属污染物。

使用单因子和综合污染指数对研究区土壤质量进行评价(表 3), S1、S2、S3、S4 的 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 单因子污染指数均在 0.04~0.51 之间, 土壤污染等级为安全; 而 4 个采样区 Cd 的单因子污染指数分

表 2 不同采样区土壤中重金属含量<sup>1)</sup>  
Table 2 Heavy metals contents of soils in sampling sites

mg/kg

重金属种类 Heavy metal species		采样区(样本数) Sampling site(Size)			
		S1(2)	S2(8)	S3(7)	S4(6)
Cu(28.2)	范围 Range	25.71~25.90	31.32~54.07	31.25~89.88	27.30~34.69
	M±S <sub>d</sub>	25.80±1.01	41.14±1.23	39.57±1.46	30.28±1.10
	R/%	0.0	100.0	100.0	83.3
Zn(77.5)	范围 Range	63.47~65.17	62.21~139.10	55.25~536.10	61.19~83.73
	M±S <sub>d</sub>	64.31±1.02	95.52±1.29	105.10±2.09	71.27±1.11
	R/%	0.0	87.5	85.7	16.7
Pb(25.7)	范围 Range	13.58~16.11	13.75~33.28	13.85~99.04	11.58~16.36
	M±S <sub>d</sub>	14.79±1.13	21.78±1.36	24.34±1.93	13.58±1.16
	R/%	0.0	25.0	28.6	0.0
Cr(79)	范围 Range	25.68~27.77	19.96~34.14	24.42~90.97	19.37~23.13
	M±S <sub>d</sub>	26.70±1.06	26.77±1.20	33.26±1.58	20.88±1.08
	R/%	0.0	0.0	14.3	0.0
Cd(0.113 7)	范围 Range	1.35~1.45	1.52~1.82	1.55~5.36	1.78~2.08
	M±S <sub>d</sub>	1.40±1.05	1.65±1.06	1.98±1.56	1.92±1.07
	R/%	100.0	100.0	100.0	100.0
Ni(34.7)	范围 Range	25.09~25.17	23.23~29.85	21.46~39.12	21.53~25.84
	M±S <sub>d</sub>	25.13±1.00	25.36±1.08	25.51±1.22	23.02±1.09
	R/%	0.0	0.0	14.3	0.0

1)R 为各采样区超标样本占总样本的比例,以当地土壤背景值为标准(元素符号后括号中数据为湖北省土壤各元素背景值,mg/kg)。R is exceed the standard sample proportion of total sample in each sampling area, the soil background value of local standards,data in parentheses is the soil background value of each element of Hubei Province,mg/kg.

表 3 各采样区综合污染指数及不同重金属的单因子污染指数  
Table 3 Pollution index and degrees for the soil sampling sites

采样区 Sampling site	单因子污染指数 Single factor pollution index						综合污染指数 Comprehensive pollution index	污染程度 Pollution level
	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni		
S1	0.26	0.26	0.05	0.13	4.66	0.50	3.37	重度 Heavy
S2	0.41	0.32	0.06	0.11	2.75	0.42	2.01	中度 Medium
S3	0.40	0.42	0.08	0.17	6.60	0.51	4.77	重度 Heavy
S4	0.30	0.24	0.04	0.08	3.20	0.38	2.32	中度 Medium

别为 4.66、2.75、6.60、3.20,污染等级为中污染或重污染;由于 Cd 的污染较严重,S1、S2、S3、S4 的综合污染指数分别为 3.37、2.01、4.77、2.32,达到中污染或重污染程度。

### 2.2 蔬菜样品重金属含量

蔬菜样品 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 的含量见表 4,其中包菜、竹叶菜及苦瓜中 5 种重金属的含量显著高于其他蔬菜的含量;绿豆和刀豆等豆类中重金属含量相对较低。从研究的 8 个蔬菜样本(7 种蔬菜)可以看出,不同种类蔬菜中同一重金属的含量不同,其中叶菜类最高,豆类最低;7 种蔬菜中 Zn 含量都较

其他重金属高,可能与 Zn 在土壤中的存在形态有关。研究表明<sup>[15]</sup>,Zn 在土壤中主要以溶解态、交换态和有机结合态等高生物有效性形态存在。

### 2.3 土壤重金属之间及其与土壤性质的相关性

S1 只有 2 个样本,未进行相关分析,其他 3 个采样区土壤重金属间的相关性见表 5。S2、S3、S4 的 Cu、Zn、Pb 两两间及 Ni、Cd 之间均显示显著或极显著的正相关。S3 中 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 均存在极显著的正相关,结合表 2 中 S3 的 6 种重金属在土壤中都有不同程度的积累可知,该区 6 种重金属可能来自于同一污染源,考虑采样点实际情况,污染

表 4 蔬菜样品中的重金属含量

Table 4 Heavy metals contents in vegetables tested in the experiment

mg/kg

重金属种类 Heavy metal species	辣椒 Pepper	竹叶菜 Water spinach	绿豆 Bean	刀豆 Sword bean	茄子 Egg- plant	苦瓜 Bitter gourd	包菜 Cabbage	$M \pm S_d$
Cu	20.69	32.83	18.92	16.92	33.81	35.03	33.37	26.46 ± 1.34
Zn	30.47	52.01	38.25	37.65	37.08	87.96	94.79	46.29 ± 1.50
Pb	0.90	2.55	0.62	0.32	0.95	1.43	5.16	1.19 ± 2.34
Cr	0.37	0.94	0.11	0.73	0.21	0.24	2.18	0.48 ± 2.69
Ni	0.92	1.55	1.33	4.32	0.56	3.70	2.08	1.62 ± 1.97

表 5 不同采样区土壤重金属相关性<sup>1)</sup>

Table 5 Relationship coefficients of heavy metals contents in soils for the sampling sites

重金属 Heavy metal		Cu	Zn	Pb	Cr	Cd
S2	Zn	0.736 *				
	Pb	0.938 **	0.718 *			
	Cr	0.824 *	0.789 *	0.790 *		
	Cd	0.336	-0.023	0.282	-0.155	
	Ni	0.508	0.189	0.487	0.158	0.807 *
S3	Zn	0.989 **				
	Pb	0.980 **	0.993 **			
	Cr	0.988 **	0.994 **	0.980 **		
	Cd	0.983 **	0.997 **	0.985 **	0.995 **	
	Ni	0.963 **	0.982 **	0.973 **	0.988 **	0.986 **
S4	Zn	0.948 **				
	Pb	0.965 **	0.888 *			
	Cr	-0.649	-0.545	-0.763		
	Cd	0.755	0.556	0.706	-0.640	
	Ni	0.925 **	0.758	0.940 **	-0.722	0.879 *
总体 Total	Zn	0.908 **				
	Pb	0.940 **	0.976 **			
	Cr	0.891 **	0.969 **	0.961 **		
	Cd	0.807 **	0.950 **	0.903 **	0.893 **	
	Ni	0.859 **	0.879 **	0.897 **	0.859 **	0.832 **

1) \* : 显著水平  $P \leq 0.05$ ; \*\* : 极显著水平  $P \leq 0.01$ , 下表同。\* means significant level  $P \leq 0.05$ ; \*\* means extremely significant level  $P \leq 0.01$ . The same as below.

源可能为武钢排污渠。

土壤有机质、pH、CEC 及物理性粘粒与土壤重金属的相关性见表 6。其中, S2 的 Cu、Zn, S3 的 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 及 S4 的 Cd、Ni 与土壤有机质显示显著或极显著的正相关; S2 的 Cd, S4 的 Cu、Zn、Pb、Ni 与土壤物理性粘粒间具有显著或极显著的正相关; S3 中所有 6 种重金属, S4 的 Cu、Zn、Pb、

Ni 与土壤 CEC 间具有显著或极显著的正相关。

由表 7 可知, S3 及总体中 CEC 与土壤重金属的显著相关性均消失; S4 在有机质为控制变量下 CEC 与 Cu、Zn、Pb、Ni 仍然有显著或极显著的正相关, 在物理性粘粒为控制变量下, CEC 与 Pb 呈显著负相关, 若同时控制有机质和物理性粘粒, 则 CEC 与 Cu、Zn 显示显著正相关。

表 6 土壤理化性质与重金属含量间的相关性

Table 6 Relationship among soil properties and contents of heavy metals

采样区 Sampling site		Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni
S2	有机质 Organic matter	0.708 *	0.764 *	0.510	0.633	0.328	0.483
	pH	0.304	-0.055	0.414	0.315	0.187	0.101
	CEC	0.241	0.229	0.233	0.029	0.612	0.521
	物理性粘粒 Clay	-0.268	-0.562	-0.318	-0.660	0.786 *	0.553
S3	有机质 Organic matter	0.890 **	0.921 * *	0.888 **	0.925 **	0.921 **	0.935 **
	pH	0.208	0.329	0.331	0.314	0.377	0.382
	CEC	0.862 *	0.880 **	0.858 *	0.867 *	0.879 **	0.892 **
	物理性粘粒 Clay	0.267	0.238	0.192	0.274	0.229	0.324
S4	有机质 Organic matter	0.696	0.458	0.653	-0.367	0.869 *	0.859 *
	pH	0.443	0.413	0.506	-0.045	0.107	0.437
	CEC	0.988 **	0.896 *	0.965 **	-0.621	0.782	0.960 **
	物理性粘粒 Clay	0.956 **	0.890 *	0.988 **	-0.690	0.666	0.920 **
总体 Total	有机质 Organic matter	0.831 **	0.731 **	0.759 **	0.766 **	0.560 **	0.761 **
	pH	0.154	0.157	0.157	0.068	0.218	0.199
	CEC	0.651 **	0.561 **	0.623 **	0.618 **	0.362	0.678 **
	物理性粘粒 Clay	0.314	0.176	0.228	0.228	0.016	0.455 *

表 7 土壤理化性质与土壤重金属含量间的偏相关性<sup>1)</sup>

Table 7 Partial correlations between soil properties and heavy metal contents

采样区 Sampling site		Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni
S2	A	-0.161	-0.244	-0.017	-0.406	0.548	0.376
	B	0.240	-0.295	0.349	0.150	0.104	0.348
S3	A	0.216	0.185	0.207	0.071	0.176	0.195
	B	0.327	0.446	0.426	0.446	0.493	0.549
S4	A	0.990 **	0.969 **	0.962 **	-0.575	0.334	0.904 *
	B	-0.673	-0.404	-0.908 *	0.684	-0.531	-0.449
总体 Total	A	-0.263	-0.223	-0.116	-0.151	-0.307	0.050
	B	0.235	0.201	0.214	0.121	0.226	0.336

1)A:控制有机质下 CEC 与土壤重金属的偏相关性 Partial correlation of CEC and heavy metals in the soil under the control of organic matter;B:控制物理性粘粒下 CEC 与土壤重金属的偏相关性 Partial correlation of CEC and heavy metals in the soil under the control of physical clay.

### 2.4 样本聚类分析

对 22 个样本(剔除 1 个异常样本:S3-3)进行 Q 型分析(图 2),如图 2 所示,将 22 个样本划分为 4 类,每类的各重金属含量均值及各类包含的样本数见表 8。

聚类 I :Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 含量均较低,污染水平最低;除 Cd 外,另 5 种重金属含量都低于背景值。该类包括 3 个 S4 样本、全部 S1 样本(2 个)、S2 和 S3 各 1 个样本。聚类 II :Cu、Zn 含量显著超

出背景值,且 Cr 含量相对较高,污染水平较高,由 2 个 S2 样本和 1 个 S3 样本组成。聚类 III :Cd 含量最高,Cu、Zn 均高于背景值,污染水平高于聚类 II ,包括 3 个 S4 样本,4 个 S3 样本和 2 个 S2 样本。聚类 IV :Cu、Zn、Pb、Cr、Ni 都相对较高,污染水平最高,由 3 个 S2 样本组成。

由聚类分析结果可知,S2 和 S3 土壤环境状况较差,主要受到 Cu、Zn、Cd 的污染,而 S1、S4 土壤环境状况较好,各重金属含量都较低。

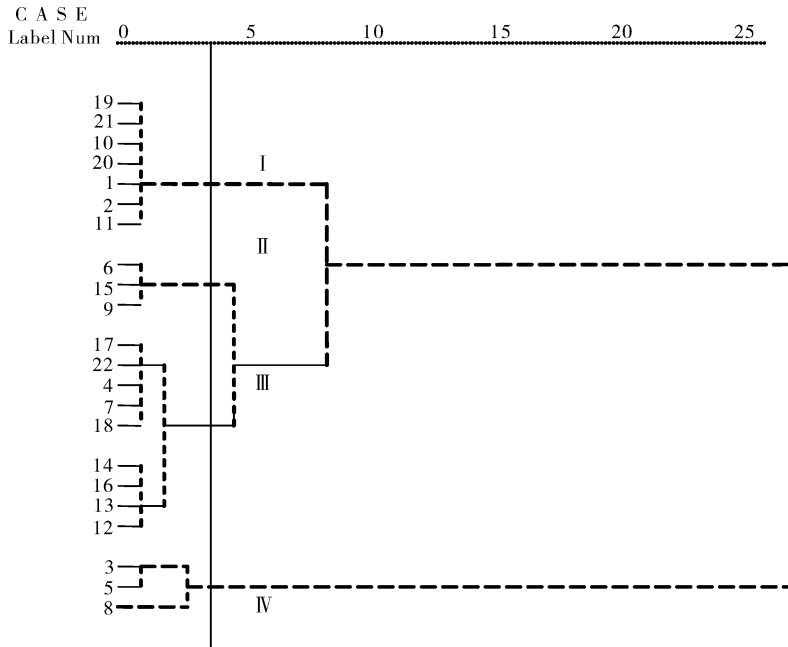


图 2 聚类分析图

Fig. 2 Rescaled distance for cluster combine

表 8 各聚类重金属含量及各类中包含的样本数

Table 8 Heavy metal contents and the sample number in the cluster

聚类 Cluster	重金属含量/(mg/kg) Heavy metal content						各类中包含的样本数 Sample number			
	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni	S1	S2	S3	S4
I	28.57	63.32	13.34	23.78	1.66	22.92	2	1	1	3
II	41.14	97.23	20.87	26.38	1.68	24.73	0	2	1	0
III	33.73	80.89	18.58	24.91	1.78	24.68	0	2	4	3
IV	50.10	122.90	29.63	32.08	1.66	26.09	0	3	0	0

### 3 讨论

以武汉钢铁公司周边地区为研究区,测定了采集的 23 个土壤样本和 8 个蔬菜样本中 Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni 等重金属含量及土壤性质,为了解武汉市中心城区和大型工矿区周边土壤重金属污染现状及农产品安全提供了基本数据资料。研究表明:武汉钢铁公司周边研究区重金属污染物主要是 Cu、Zn 和 Cd,其中 Cd 污染较严重,几何均值是湖北省土壤背景值的 12.3~17.4 倍;4 个采样区的 Pb、Cr、Ni 均低于背景值。综合污染指数分别为 3.37、2.01、4.77、2.32,达到中或重污染程度。包菜、竹叶菜等叶菜类及苦瓜中重金属含量较高,豆类较低。土壤 Cu、Zn、Pb 两两间及 Ni 与 Cd 之间具有显著或极显著的相关性;S3 采样区的重金属有极显著的相关性,可能有共同的来源。由于试验所采集的样本

数量不多,代表性尚不够高,今后应采用网格法布点,增加取土密度、植物种类和部位,结合采用 GPS 方法,完善对城市重点工矿区的环境监测,为城市重工业区周边土壤的利用及制定城市发展规划提供科学依据。

### 参 考 文 献

- [1] 曾希柏,徐建明,黄巧云,等. 中国农田重金属问题的若干思考[J]. 土壤学报,2013,50(1):186-194.
- [2] 陈青云,张晶,谭启玲,等. 4 种磷肥对土壤-叶菜类蔬菜系统中镉生物有效性的影响[J]. 华中农业大学学报,2013,32(1):78-82.
- [3] 晁雷,周启星,陈苏,等. 沈阳某冶炼厂废弃厂区的人类健康风险评价[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1807-1812.
- [4] YUAN G L, SUN T H, HAN P, et al. Environmental geochemical mapping and multivariate geostatistical analysis of heavy metals in topsoils of a closed steel smelter[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 130(1):15-21.

- [5] ZHAI M, KAMPUNZU H A B, MODISI M P, et al. Distribution of heavy metals in Gaborone urban soils (Botswana) and its relationship to soil pollution and bedrock composition[J]. *Environmental Geology*, 2003, 45:171-180.
- [6] HERNANDEZ L, PROBST A, PROBST J L, et al. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 312(1/3):195-219.
- [7] 严连香, 黄标, 邵学新, 等. 不同工业企业周围土壤-作物系统重金属 Pb、Cd 的空间变异及其迁移规律[J]. *土壤学报*, 2009, 46(1):52-60.
- [8] 李达, 周生路, 吴绍华, 等. 经济发达地区县域尺度土壤重金属污染区划[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10):282-286.
- [9] WONG S C, LI X D, ZHANG G, et al. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 119:33-44.
- [10] 唐阵武, 程家丽, 岳勇, 等. 武汉典型湖泊沉积物中重金属累积特征及其环境风险[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(1):61-68.
- [11] 胡胜华, 张婷, 周巧红. 武汉三角湖复合垂直流人工湿地对重金属元素的去除研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(10):2468-2473.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [13] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准(GB15618-1995) [S]. 北京:中国标准出版社, 1995.
- [14] 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.
- [15] IMPERATO M, ADAMO P, NAIMO D, et al. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples City (Italy) [J]. *Environmental Pollution*, 2003, 124(2):247-256.

## Contents of heavy metals in soils and vegetables around Wuhan Iron and Steel Corporation

WAN Tian-ying HUO Qing QI Zhi-fu CAO Yan-li HU Hong-qing

*College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Twenty three soils and 8 vegetables around Wuhan Iron and Steel Corporation were collected and the contents of heavy metals Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni in these samples were investigated. Results showed that Cd content in all soils was higher than the background index of Hubei Province soil (BIHBS), indicating that there was serious soil Cd pollution. The average contents of Pb, Cr, Ni for all soils were below the BIHBS. Cu and Zn for most soils were medium or severe pollution. There were correlations between Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni contents and soil organic matter, and soil physical clay contents. When organic matter and physical clay contents were controlled, the cation exchange capacity and Cu, Zn contents showed significant partial correlation. Through Q type cluster analysis, soils from four sites were divided into 4 types based on the pollution degrees. Cluster I had the lowest pollution, which was consisted mainly with some samples from site 1 and site 4; Cluster IV had the severest pollution, which was consisted mainly with soils from site 2.

**Key words** heavy metals; iron and steel corporation; soils; vegetables; pollution index

(责任编辑:陆文昌)