

企业密集区土壤主要污染物的空间分布 及其预测性初步探讨^①

郑茂坤^{1,2}, 骆永明^{1*}, 赵其国¹, 滕应¹, 谭长银^{1,2}

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 用克里格空间插值方法研究了城乡民营企业密集区土壤中Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、Cr、Hg、As和多氯联苯(PCBs)等9种污染物的空间分布特征, 对比该区的企业布局, 初步探讨了企业布局对土壤污染物浓度预测的可行性。结果表明, 该区污染物的高浓度区主要分布在废旧拆解园区周边地区和小冶炼集中地带, 且存在多污染物的复合污染。当在约1 km²的范围内有金属类生产企业、电机生产企业或(和)电线电缆生产企业存在时, 土壤中可能有Cu和Pb积累。电机、电线电缆和(或)自动喷雾器生产企业的密集分布可能出现土壤中Pb的累积。而金属类生产企业的空间布局与土壤中Cd、Ni和Cr的浓度间存在显著的相关关系。汽摩配生产企业和金属配件生产企业可能分别会带来土壤As和PCBs积累。

关键词: 民营企业密集区; 重金属; 多氯联苯; 半方差函数; 空间分布

中图分类号: S159

随着中国工业化进程的加速, 工业企业所排放的“三废”已成为土壤环境质量变化的主要压力之一。工业企业也就成为土壤环境质量变化的重要污染源。根据企业生产产品的类型、生产工艺流程等, 可将企业分为高污染企业、中等污染企业和无污染企业。一般情况下, 人们关注的焦点是高污染企业和中等污染企业。张孝飞等^[1]的研究结果表明, 炼焦厂主要异常元素为Zn, P肥厂主要为Cu、Pb、Cd、Hg、As, 炼油厂为Ni, 石化芳烃厂为Pb, 钢铁厂为Pb、Cd、Hg。Loska等^[2]对受煤碳工业影响的波兰农田土壤进行研究, 发现当地煤矿周围主要受Cd、Pb、As、Sb和Hg的污染。Nadal等^[3]研究了西班牙石化工业附近土壤中污染物的含量, 认为As、Cr和V应受到重视。对工业企业影响土壤环境质量除了分不同类型企业进行研究外, 邵学新等^[4]还对企业密集大田土壤中元素的复合污染进行研究, 发现除冶金类企业周边土壤只受Pb的污染外, 化工、电子类企业周边土壤均受到多元素的复合污染。

本研究区内企业最早发迹于废旧拆解业。随着时间的推移, 小冶炼及各种基于拆解业为原料的行业相

产业链。到2007年底, 研究区现存的企业已达1.5万多家, 其中工业企业1万余家, 占该区企业总数的2/3。虽然该区政府部门大力扶持污染相对较小的行业企业如汽车配件等的发展壮大, 但是固废拆解、熔炼、印染、电镀等行业由于利润空间比较大, 所以屡禁不止, 仍然威胁着该区土壤环境的质量安全, 有关当地土壤污染是否与这些企业的类型及分布有关等, 目前尚未进行过系统调查分析。为了摸清该区土壤环境质量的现状, 研究者们做过一些工作, 但研究的面积较小, 污染源比较单一。如潘虹梅等^[5]主要针对研究区某村的拆解场地所带来的重金属污染的研究。有的研究面积虽然较大, 但研究的项目或样点数却较少, 如王世纪等^[6]仅对研究区土壤中的Cu、Pb、Zn和Cd 4种金属进行了研究, Zhao等^[7]的研究中涉及该区的污染物PCBs时, 采样点仅有1个。基于此, 本文将该企业密集区土壤为研究对象, 应用地统计学分析和GIS空间分析相结合的方法对其表层土壤9种土壤污染物含量的空间分布特征进行分析, 并结合当地的企业布局, 阐明该区土壤主要污染物的空间分布规律及其与企业

^①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-404, CXTD-Z2005-4)、国家自然科学基金重点项目(40432005)和国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810)资助。

* 通讯作者(ymluo@issas.ac.cn)

作者简介: 郑茂坤(1978—), 男, 山东肥城人, 博士研究生, 主要从事土壤环境管理方面的研究。E-mail: mkzheng@issas.ac.cn

郑茂坤, 形成完整的以拆解业不响厂前为原料的工业 仰同的大系, 为该区土壤环境质量评价提供科学依据。

1 研究区概况和调查方案

1.1 研究区概况

研究区位于浙江沿海东部，全年气温最低月在1月，平均气温6.6℃，气温最高月在8月，平均气温27.7℃，年平均气温16.9℃~17.3℃，无霜期达241~270天。年平均降水量1480~1530 mm，属亚热带季风气候型。地形以平原为主，土地肥沃，排灌条件优越，是粮食高产区。境内南官河纵贯全境，水网密布，灌溉河道纵横。主要土壤类型为水稻土。该地区拆解业和小冶炼十分发达，以作坊式个体户居多，因资金、技术、设备等原因，目前主要采用焚烧和酸洗简易方式进行拆解。

1.2 采样方案

样点布局主要考虑了不同土地利用方式的土壤，全区共布设了377个样点(图1)。土地的主要利用类型为水稻田，其次为菜园、葡萄园、荒地和山林地。每一样点在直径20 m范围内按“S”型选择5个0~20 cm耕层土样混合，四分法采集土壤样品1.5 kg。每个采样点均采用GPS定位，并详细记载样点的周围环境。

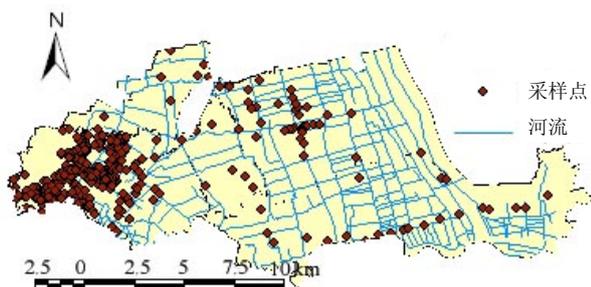


图1 土壤样点分布图

Fig. 1 The distribution of soil samples

1.3 土壤主要污染物的含量分析

土壤中Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、Cr、Hg和As的全量分析方法及质量控制同文献[8]。土壤PCBs的分析方法及质量控制见文献[9]。

2 数据处理

2.1 土壤数据的处理

将数据在Excel中整理，找出各测量项目中数值最大的点，分别计算该点与除该点外其他点的平均值的差值，若差值比平均值大3倍以上，就将该点标记为红。若一个样品有3个或3个以上测量项目满足标红的条件时，认为是采样中的异常点，该样点的所有

测量项目数值将被剔除，否则，将保留。处理后的数据采用地统计软件GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, 升级版)，拟合半方差函数，并选择最佳拟合模型及其模型参数的交互验证，可参考文献[10]。ArcGIS 9.0中用普通克里格法对研究区内各污染物含量进行空间插值预测，得到空间分布图。

2.2 企业布局数据的处理

以乡镇为单位先求单位面积不同企业的个数，并用ArcGIS 9.0空间上进行表征。研究区选择56个自然村(每村平均占地约0.9 km²)，分别整理出村中不同种企业的个数和土壤环境数据的平均值。然后求两者的皮尔森相关(Pearson Correlation)系数，利用相关性探讨企业布局对土壤污染物空间分布进行预测的可行性。

3 结果与分析

3.1 研究区土壤主要污染物含量的统计特征值

通常情况下，当偏度系数处在-1~1之间^[11]，样本符合正态分布。由表1的偏度系数可知，土壤中Ni服从正态分布，PCBs、Cu、Cr和Hg经对数转化后服从正态分布，而Zn、Pb、Cd和As虽然经对数转化后仍不能呈正态分布，但偏度系数的绝对值最大仅为1.64，可以近似做正态分布处理。

从表1可以看出，研究区表层土壤中Cu、Cd的污染最为严重，其平均值已经超过国家土壤环境质量标准(GB-15618 1995)的二级标准的下限值(Cu 50 mg/kg, Cd 0.3 mg/kg)，其样品的超标率分别为64.72%和23.61%；Zn、Ni、Cr和Hg虽然其平均值并未超过国家土壤环境质量二级标准的下限值(Zn 200 mg/kg, Ni 40 mg/kg, Cr 150 mg/kg, Hg 0.3 mg/kg)，但样品的超标率也分别已达23.34%、45.83%、0.83%和10.29%；Pb和As虽然没有超过国家土壤环境质量二级标准，但已经分别有74.54%和20.69%的样品超过当地土壤环境的背景值^[12](Pb 34.2 mg/kg, As 89.1 mg/kg)；说明该研究区土壤已经受到多金属元素的复合污染。从表1还可知，研究区表层土壤中PCBs的总量变化范围是0.00~1.06 mg/kg，平均值是0.05 mg/kg。国外一些研究显示英国农业土壤中的PCBs含量水平范围为0.002~1.20 μg/kg，平均值为0.007 μg/kg^[13]，美国南加州农业土壤中PCBs的含量为4.6~8.2 μg/kg^[14]，爱尔兰农业区土壤中PCBs含量为1.25~6.63 μg/kg，瑞典规定的PCBs污染土壤指导值为20 μg/kg，大

表 1 研究区土壤特性物质含量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil pollutants

污染物	样品数(个)	最小值(mg/kg)	最大值(mg/kg)	平均值(mg/kg)	变异系数	偏度系数	峰度系数
Cu*	377	10.7	721.22	106.2	1.03	0.611	0.082
Zn*	377	53.5	840.23	177.4	0.54	1.02	2.32
Pb	377	4.97	145.70	45.42	0.38	1.18	4.09
Cd*	377	0.02	11.39	0.71	2.60	1.28	1.56
Ni	120	2.82	79.510	35.83	0.40	-0.23	0.25
Cr*	119	16.3	949.11	73.32	1.16	0.29	4.82
Hg*	350	0.004	7.09	0.27	2.80	-0.07	2.29
As	116	3.32	15.85	7.11	0.27	1.15	3.13
PCBs*	350	0.00	1.06	0.05	2.21	0.27	-0.02

注: * 表示该物质含量的偏度系数和峰度系数是求对数后的结果。

于 3 倍指导值即为严重污染^[9]。可见, 该地区农田土壤中 PCBs 含量显著高于其他国家的农田土壤。

从表 1 中变异系数来看, 土壤中 PCBs、Cd 和 Hg 的变异较大。土壤中 9 种污染物的空间变异从大到小的顺序为: Hg、Cd、PCBs、Cr、Cu、Zn、Ni、Pb、As。

3.2 研究区土壤主要污染物及土壤 pH 的空间结构特征

反映土壤污染物空间结构特征的因素主要是块金值 C_0 与基台值 $C_0 + C_1$ 的比值及其变程^[8-11]。表 2

显示, 9 种土壤主要污染物含量的比值均 ≤ 0.5 , 变程范围均在 100 m 范围以内, 说明该地区土壤主要污染物受点源 (特别是工业企业源) 的影响严重, 这一结果与前人的认识具有一致性。如胡克林等^[15]认为点状污染源会增加研究区污染的空间异质性, 增大研究区的复杂性, 从而减弱某些污染物在较大尺度上的空间自相关性。为了更明确工业企业对土壤污染的影响, 有必要对工业企业的空间布局与土壤污染间的关系作进一步的研究。

表 2 土壤主要污染物及土壤 pH 半方差函数的拟合模型及其参数

Table 2 Semi-variogram model parameters for soil major pollutants and soil pH

污染物	预测模型	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C_1$	$C_0 / C_0 + C_1$	有效变程 (m)	决定系数 R^2	残差 RSS
Cu	球面	0.167	1.185	0.141	38	0.941	0.075
Zn	球面	0.255	1.267	0.201	38	0.936	0.078
Pb	球面	0.349	1.245	0.280	20	0.884	0.12
Cd	球面	0.256	1.364	0.188	82	0.905	0.15
Ni	球面	0.058	1.375	0.0422	40	0.795	0.47
Cr	球面	0.001	1.098	9.11E-4	69	0.550	0.55
Hg	球面	0.261	1.291	0.202	86	0.052	0.060
As	球面	0.247	1.24	0.199	62	0.767	0.18
PCBs	球面	0.573	1.147	0.500	89	0.911	0.035

3.3 研究区土壤主要污染物含量的空间分布特征与当地企业布局的关系

利用克里格插值法对研究区 9 种主要土壤污染物的空间分布进行插值预测, 其皮尔森预测结果见图 2。为了了解企业布局与土壤环境质量的关系, 本研究选择了该地现存的经皮尔森相关分析后与土壤环境污染相关性较好和虽然因企业个数较少而未表现相关性

规律但污染较为严重的企业共 10 类: 废旧金属资源再回收利用 (废旧拆解), 电镀企业, 化学、化工产品生产企业 (化工生产), 电线、电缆制造企业 (线缆制造)、电动机、发电机生产制造企业 (机电企业), 汽车、摩托车及其配件制造企业 (汽配制造), 容器设备制造企业 (容器设备), 喷雾器及其零件制造企业 (喷雾器制造), 金属配件企业和金属相关企业 (除容器设

备类外，涵盖铜件加工制造企业、铝制品加工制造企业、金属配件加工制造企业、金属零件加工企业、金银饰品加工企业、模具制造企业、阀门制造企业、废旧金属回收及拆解企业、水道配件生产加工企业等）作为研究的对象。为了研究的需要，用单位面积企业的个数表示当地企业布局的状况，图 3 列出了 6 个乡镇单位面积土地上的企业个数的空间分布状况。对

比图 2 和图 3，土壤中 Cu 的高浓度区出现在 II 区，与废旧拆解企业、线缆制造企业、机电企业、金属配件制造企业和金属相关类企业的单位面积企业个数一致。也就是说，土壤中的 Cu 可能来自以上各类企业的排放。金属相关类企业在研究区内的空间分布几乎与土壤 Cu 的分布取得完全一致，其从大到小的顺序为：II > V > IV > VI > III > I。

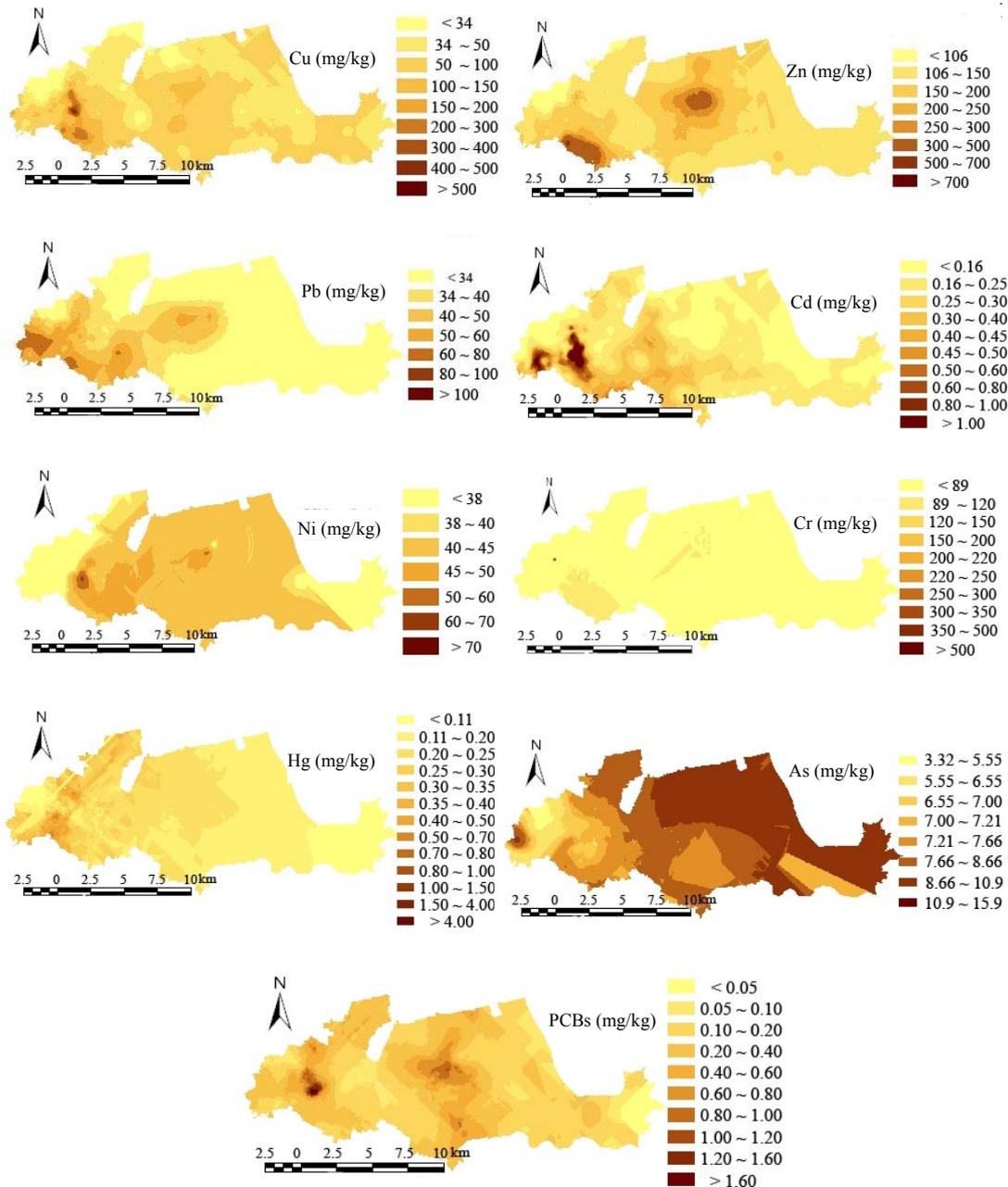


图 2 典型区土壤重金属和 PCBs 含量的空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of heavy metals and PCBs in soil of typical area

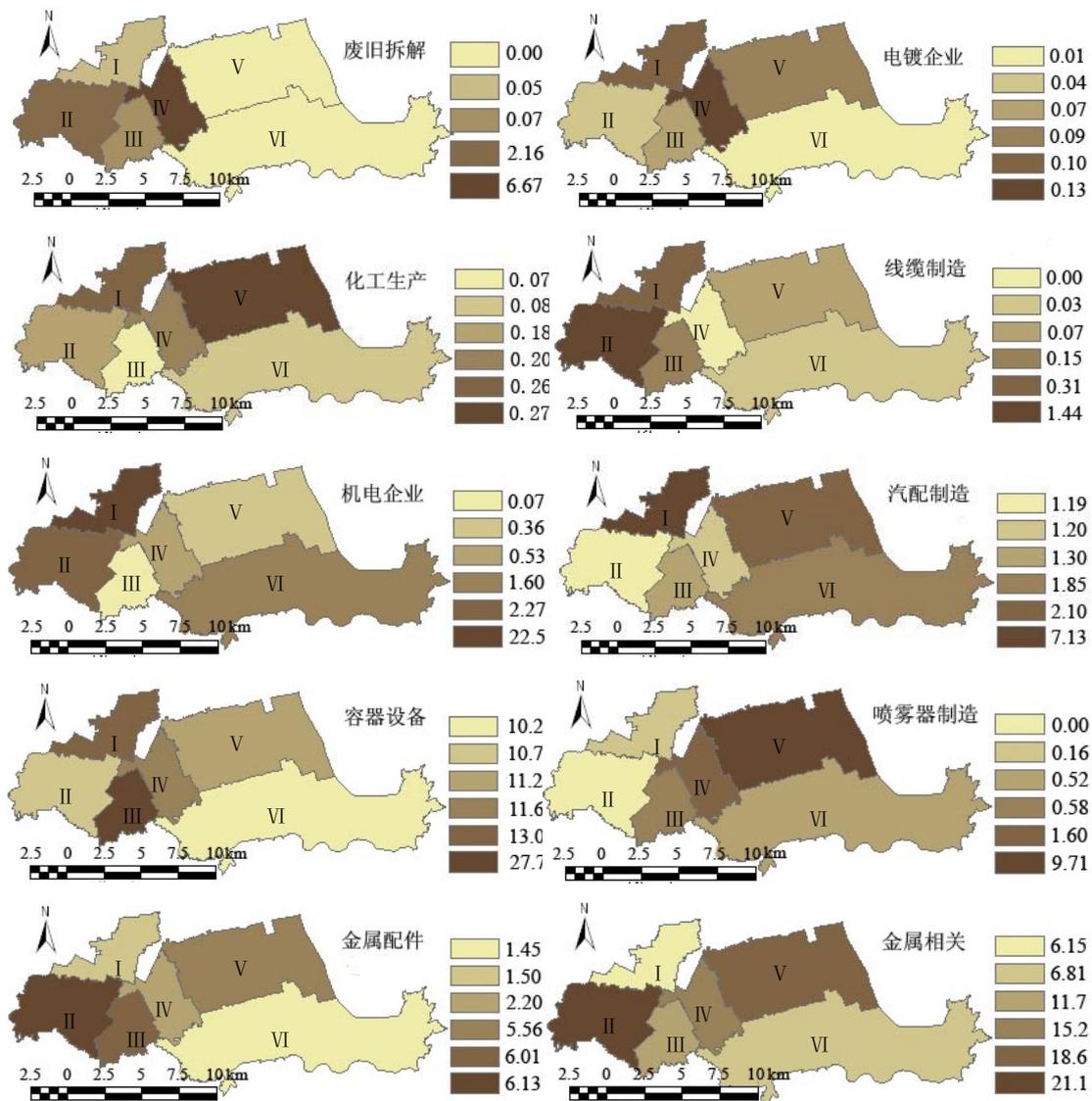
图 3 单位面积企业的个数 (家/km²)

Fig. 3 Number of enterprise in unit area

土壤 Zn 的空间分布也与金属相关类企业基本取得一致性。它的最高浓度点集中在 II 区的电镀企业周边和 V 区的曾经的小冶炼集散地。土壤中的 Pb 的预测高浓度区主要集中在 II 区的西部和南部及国道旁、III 区、IV 区和 V 区。根据现场观察, II 区预测浓度的两个高值区均是废旧金属拆解地周围,可能是受进货渠道的影响,两个小区域的拆解原料中 Pb 含量比较高的影响。III 区、IV 区和 V 区土壤环境中 Pb 的高浓度与喷雾器制造企业取得一致(图 3),但似乎在 V 区也与小冶炼点保持基本一致。经仔细测算, V 区的 Pb 高浓度点在喷雾器园区而不在曾经小冶炼重点区。图 2 显示,土壤中 Cd 浓度的空间分

布特征基本遵循 II > V > IV > VI > III > I 的递减规律。由于 II 区有拆解园区,拆解企业的规模较大,虽然单位面积企业个数 VI > II,但实际压力却是相反的。从这个意义上讲,拆解企业的空间特征(图 3)也出现与土壤中 Cd(图 2)类似的规律,所以,土壤中 Cd 的来源主要是拆解企业。来自拆解企业中变压器的拆卸等的过程中。由于土壤中 Ni 的来源是灌溉水和大气降尘等, Ni 的最高浓度区(图 2)为 II 区的污染灌溉地块, V 区曾经的小冶炼区浓度的高值可能是其历史大气沉降在土壤中的积淀。此外,除了 II 和 V 两地最高区域外,其他的与图 3 金属配件空间分布特征类似。

研究区土壤 Cr 的高浓度区主要在 II 和 IV 的电镀企业的周边区域，其污染源应该是电镀企业。土壤中 Hg 的空间分布基本呈现西高东低的趋势，可能与废旧拆解企业有关，但其规律表现不是太明显。土壤 As 的空间分布（图 2）与汽摩配制造企业的空间布局（图 3）出现高度的一致性，这可能是汽摩配企业在加工汽车挡风玻璃时排出的。土壤 PCBs 的高浓度区主要集中在 II 的污水灌溉区，在 V 区的部分却并未与小冶炼区重合，而是在喷雾器园区呈现高浓度。

总之，研究区表层土壤 Cu、Zn、Pb、Ni 和 PCBs 的较高含量区主要集中分布在两个区域（图 2），一个是位于研究区西南部废旧拆解集散地，另一个是研究区北部“小冶炼”的集中分布区及喷雾器生产园区。废旧拆解集散地有一金属资源再利用园区，在此位置

Cu、Pb、Cd、Ni 和 PCBs 5 种污染物的浓度均比较高，说明废旧拆解带来了 5 种污染物的复合污染。另一个复合污染较为严重的土壤样点位于研究区西南部几个行政村，Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、Cr、As 和 PCBs 的浓度均相对周边地区为高，这与该区的电镀厂和多达 115 家生产阀门等金属类产品的企业排放有关。有研究表明，冶金、电镀类企业在生产的过程中会排放含 Cu、Zn、Pb、Cd、Ni、Cr、Hg 和 As 等多种金属进入土壤^[16]。

3.4 基于企业布局的土壤污染物积累预测性初步探讨

为了进一步了解研究区土壤中污染物与企业布局间的关系，探索由企业布局预测土壤污染物的浓度，在研究区选取 65 个行政村，对村内不同企业的个数与土壤污染物浓度作皮尔森相关（Pearson Correlation）分析（表 3）后发现，土壤中 Cu 的浓度与金属相关类

表 3 各主要污染物与企业个数间的相关系数表

Table 3 Correlation coefficients between pollutants and kinds of industry corporations

污染物	分析项目	金属	汽摩配	金属配件	电机	线缆	喷雾器
		相关企业	生产企业	生产企业	生产企业	生产企业	生产企业
Cu	皮尔森相关	0.3969**	0.1823	0.5260**	0.4471*	0.7903**	0.1003
	双尾检验	0.0013	0.2363	0.0000	0.0103	0.0000	0.6827
	样本个数	63	44	58	32	20	19
Zn	皮尔森相关	0.2715*	0.1957	0.3400**	0.3963*	0.4640*	0.4119
	双尾检验	0.0314	0.2031	0.0090	0.0247	0.0393	0.0797
	样本个数	63	44	58	32	20	19
Pb	皮尔森相关	0.2040	0.1850	0.2240	0.3856*	0.6440**	0.5470*
	双尾检验	0.1089	0.2294	0.0910	0.0293	0.0022	0.0154
	样本个数	63	44	58	32	20	19
Cd	皮尔森相关	0.2896*	0.0797	0.3048*	0.2141	0.4223	(0.1506)
	双尾检验	0.0213	0.6072	0.0200	0.2393	0.0636	0.5383
	样本个数	63	44	58	32	20	19
Ni	皮尔森相关	0.5919**	0.1815	0.6416**	(0.0633)	0.4994	(1.0000)
	双尾检验	0.0097	0.5724	0.0055	0.9051	0.2538	-
	样本个数	18	12	17	6	7	2
Cr	皮尔森相关	0.4830*	0.1587	0.3383	(0.0471)	0.6590	(1.0000)
	双尾检验	0.0423	0.6222	0.1841	0.9294	0.1074	-
	样本个数	18	12	17	6	7	2
Hg	皮尔森相关	0.0694	(0.1212)	0.0554	0.2704	0.1107	(0.0603)
	双尾检验	0.5981	0.4388	0.6851	0.1413	0.6519	0.8062
	样本个数	60	43	56	31	19	19
As	皮尔森相关	0.1242	0.5973*	0.0310	(0.0519)	0.5950	(1.0000)
	双尾检验	0.6350	0.0403	0.9060	0.9223	0.1588	-
	样本个数	17	12	17	6	7	2
PCBs	皮尔森相关	0.1763	0.1194	0.2920*	(0.1095)	0.2674	0.3315
	双尾检验	0.1855	0.4514	0.0322	0.5645	0.2833	0.2097
	样本个数	58	42	54	30	18	16

注：** 表示极显著相关，* 表示显著相关，- 表示无数据。

企业和线缆生产企业呈极显著相关关系,与电机生产企业显著相关。这就说明当有以上 3 类企业存在时,Cu 在土壤中的积累将较为严重。土壤 Zn 的浓度与金属相关企业、电机生产企业和线缆生产企业存在显著的相关关系,与 Cu 一样,当有金属相关类、线缆类和电机类生产企业存在时,要关注土壤 Zn 的积累。

土壤 Pb 的浓度与线缆生产企业极显著相关,与电机和喷雾器生产企业显著相关。这就说明,若在方圆 1 km²内存在线缆生产企业、电机制造企业和自动喷雾器生产企业,则需关注 Pb 在土壤中的积累。土壤 Cd 和 Ni 与金属相关企业分别呈显著和极显著的相关关系,所以,在有金属类生产企业存在时,要对 Cd 和 Ni 在土壤中的积累进行关注。

土壤中 Cu、Zn、Pb、Cd 和 Ni 的浓度不仅与金属相关企业相关性良好,而且与金属配件生产企业具有显著的相关性。土壤重金属 Cr 的浓度虽然与金属相关企业相关性良好,但却与金属配件生产企业没有较好的相关性,说明金属配件生产企业在一般情况下不会带来 Cr 在土壤中的积累。土壤中 PCBs 的浓度与金属配件类企业的个数显著相关却与金属类企业个数相关性不显著,显示出周边有金属配件类企业存在时,可能存在 PCBs 的累积。As 在土壤中的含量,与汽摩配生产企业的个数(图 2)显著相关,这一结果表明在汽摩配生产企业较为集中的区域土壤中可能存在 As 的积累。

以上分析,只是仅从企业布局(包括企业类型和数量)来初步探讨土壤中主要污染物累积趋势,而有关各类企业的污染物排放量与当地土壤污染类型和程度的关系仍在进一步的研究中。

4 结论

(1) 在所研究的企业密集区内,存在多种污染物在土壤中的复合污染。特别是废旧拆解园区和“小冶炼”集中分布区,多污染物的复合污染尤为突出。

(2) 当在约 1 km²的范围内存在金属类生产企业、电机生产企业或(和)电线电缆生产企业时,在一定程度上该区土壤存在 Cu 和 Pb 积累。当电机、电线电缆和(或)自动喷雾器生产企业分布比较集中时,可能会带来土壤 Pb 的累积。金属制造企业会带来土壤 Cd、Ni 和 Cr 的积累,而汽摩配生产企业和金属配件生产企业可能分别会带来土壤 As 和土壤 PCBs 的积累。

参考文献:

[1] 张孝飞,林玉锁,俞飞,李波. 城市典型工业区土壤重金属污

染状况研究. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 512-515

- [2] Loska K, Wiechula D, Korus I. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, 2004, 30(2): 159-165
- [3] Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL. Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry. *Science of the Total Environment*, 2004, 321(1-3): 59-69
- [4] 邵学新,黄标,孙维侠,顾志权,钱卫飞,邓西海,骆永明. 长江三角洲典型地区工业企业的分布对土壤重金属污染的影响. *土壤学报*, 2006, 43(3): 397-404
- [5] 潘虹梅,李凤全,叶玮,王俊荆. 电子废弃物拆解业对周边土壤环境的影响—以台州路桥下谷岙村为例. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 30(1): 103-108
- [6] 王世纪,简中华,罗杰. 浙江省台州市路桥区土壤重金属污染特征及防治对策. *地球与环境*, 2006, 34(1): 35-43
- [7] Zhao G, Wang Z, Dong MH, Rao K, Luo J, Wang D, Zha J, Huang S, Xu Y, Ma M. PBBs, PBDEs, and PCBs levels in hair of residents around e-waste disassembly sites in Zhejiang Province, China, and their potential sources. *Science of the Total Environment*, 2008, 397(1-3): 46-57
- [8] 张长波,李志博,姚春霞,尹雪斌,吴龙华,宋静,滕应,骆永明. 污染场地土壤重金属含量的空间变异特征及其污染源识别指示意义. *土壤*, 2006, 38(5): 525-533
- [9] 滕应,郑茂坤,骆永明,高军,李振高,吴龙华. 长江三角洲典型地区农田土壤多氯联苯的空间分布特征. *环境科学*, 2008, 29(12): 3477-3482
- [10] 郑袁明,陈同斌,陈煌,吴泓涛,周建利,罗金发,黄泽春. 北京市近郊区土壤镍的空间结构及分布特征. *地理学报*, 2003, 58(3): 470-476
- [11] 樊燕,武伟,刘洪斌. 土壤重金属与土壤理化性质的空间变异及研究. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 32(4): 58-63
- [12] 汪庆华,董岩翔,周国华,郑文. 浙江省土壤地球化学基准值与环境背景值. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(2): 81-88
- [13] Fiedler H, Hub M, Hutzinger OEA. *Stoffbericht Hexachlorcyclohexan HCH. Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*, 1993
- [14] Sanger DM, Holland AFSGL. Tidal creek and salt marsh sediments in south Carolina coastal estuaries: II. distribution of organic contaminants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 37(4): 458-471
- [15] 胡克林,张凤荣,吕贻忠,王茹,徐艳. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征. *环境科学学报*, 2004, 24(3): 463-468
- [16] 李天杰. *土壤环境学*. 北京: 高等教育出版社, 1995

Spatial Distribution Characteristic and Forecast of Soil Pollutions in Enterprise-Intensive Area

ZHENG Mao-kun^{1,2}, LUO Yong-ming¹, ZHAO Qi-guo¹, TENG Ying¹, TAN Chang-yin^{1,2}

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The spatial distribution characteristic of Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Hg, As and polychlorinated biphenyls (PCBs) were studied and the possibility of forecasting the state of contamination with the distribution of enterprise was discussed in a typical enterprise-intensive area. The results indicated that compound pollution with heavy metals, PCBs in the dismantling electronic wastes and small scale smelting exist in the studied area. The enterprises producing metal products, power engines, wires and cables increased the concentrations of Cu and Pb in within a 1 km² peripheral soil. The enterprises making power engines, producing wires and cables could lead to Pb accumulation in soil. There were significant correlations between the concentrations of Cd, Ni, Cr and the spatial distribution of the enterprises producing metals. And the enterprises producing mobile and metal accessories could cause the accumulations of As and PCBs respectively.

Key words: Enterprise-intensive area, Heavy metals, Polychlorinated biphenyls, Semivariance, Spatial distribution,