

工业型城乡交错区农业土壤 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的空间分布及影响因素研究*

赵彦锋^{1,2} 史学正^{1†} 于东升¹ 黄 标¹ 王洪杰¹ 孙志英¹
赵永存¹ Ingrid Öborn³ Karin Blombäck³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 郑州大学环境与水利学院, 郑州 450002)

(3 Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, SE-75007, Uppsala, Sweden)

摘 要 在江苏省无锡市工业型城乡交错区, 选择 8 km² 区域, 采集 119 个土壤样品, 对土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 及其有效态含量的空间分布和影响因素进行探讨。结果表明: 该区土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 含量和变异系数都明显增加, 土壤有效态重金属含量与相应的全量重金属含量具有显著相关性。土壤 Cu、Zn、Cd 空间变异主要受到工业影响, 但由于该区工业类型的多样性和工厂分布的分散性, Cu、Zn、Cd 空间分布模式并不相同。本区土壤 Pb 的分布与工厂分布的相关性不大, 但随与城市距离增加而降低。公路和土地利用与土壤重金属含量的关系表现不明显。该区工业污染对土壤重金属空间变异的影响可能掩盖了公路和土地利用等的影响, 建议在城乡交错区合理安排工业布局以控制土壤受重金属污染的范围。

关键词 土壤重金属; 空间分布; 城乡交错区

中图分类号 X131.3; S159.2

文献标识码 A

从 20 世纪 90 年代以来, 工业化和城市化所导致的土壤重金属富集问题越来越受到科学家的关注^[1~10]。作为连接城市和乡村的纽带, 城乡交错地区的乡镇工业在国家政策扶持下发展较快; 同时该区往往又是为本地和城市居民提供蔬菜和粮食等农产品的重要产区, 土地利用强度较大, 为了追求农产品的高产出, 农药、化肥投入大量增加。强烈的工农业活动都可能使土壤重金属污染风险增加^[1], 为保护城乡交错区土壤质量, 促进农业生产持续发展, 亟需开展该区土壤重金属含量及其空间分布规律的研究。

目前对城市及其周边土壤重金属污染的研究大致可以分为几种情况, 一种情况是在研究区采用网格状或放射状布置采样点, 最后对研究结果采用插值的方法进行制图分析。如 Bloemen 等^[2]在德国 Osnabrück 镇及其周围 256 km² 范围内, 采用 1 km × 1 km 网格法采集 226 个 2~10 cm 表层土壤样, 研究了 Cd、Cu、Pb、Zn 的分布, 发现城市、农村、绿地、林地和

耕地土壤重金属含量都有不同程度提高, 通过编制成空间分布图分析后表明金属加工厂附近的 Cd、Cu、Zn 特别高, 而土壤 Pb 含量有随公路距离增加而降低的趋势。第二种情况是根据城市功能区(土地利用)或行政单元进行采样和分析, 如吴新民和潘根兴^[3]按不同城市功能区分析了 56 个土壤样本 Cu、Zn、Pb、Cd 含量, 发现土壤重金属污染程度依次为矿冶区、居民区、商业区等。柴世伟等^[4]在广州郊区 1 200 km² 范围内采集 119 个土壤样品, 发现该区域土壤主要污染元素为 Hg、Cd, 对重金属含量按行政单元进行比较的结果表明远郊区土壤重金属污染较轻。第三种情况是对从农村到城市断面上土壤样品进行分析, 如章明奎等^[5]分析了绍兴市西南从农村到城市断面上 41 个土壤表层样, 发现土壤重金属含量有从农村到城市升高的趋势。

可以看出, 目前在较大空间尺度上开展的土壤重金属污染研究较多, 而且有些研究未编制空间分布图。这些研究虽然较好地反映了城市周边土壤变

* 国家自然科学基金重大项目(30390080)、欧盟项目(RURBIFARM, ICA4-CT-2002-10021)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-427)资助

† 通讯作者, E-mail: xzshi@issas.ac.cn

作者简介: 赵彦锋(1977~), 男, 河南洛阳人, 博士, 主要从事土壤资源和环境地学研究。E-mail: yfzhao@zzu.edu.cn

收稿日期: 2006-01-10; 收到修改稿日期: 2006-05-20

化的某些特征,但由于样点密度小,难以反映小尺度农业土壤重金属空间分布变化及其驱动因子,尤其是专门针对城乡交错区开展的研究较少。本文选择无锡典型工业型城乡交错区,在较小尺度上进行了高密度采样,首先研究了表层土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 及其有效态含量特征及空间分布,然后分别利用 GIS 空间分析技术、不同土地利用类型土壤重金属含量的均值多重比较和垂直公路断面上土壤重金属含量的分析研究了工厂、城市、土地利用和公路对土壤重金属空间分布的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于东邻无锡的一个镇,该镇有 8 个村,1 个街道工作委员会,耕地面积约 1 000 hm²,人口

3.4 万,2000 年有企业近 400 个,其中村办或镇办的中、小企业数目较多,大部分是炼钢、冶金、电镀、钢管等金属制品企业,散布在各自所属村庄附近的道路旁边。与西方发达国家常见的整齐集中的工业布局相比,该地区的工业布局明显缺乏规划,存在污染物多源排放的潜在危险。该区属亚热带季风海洋性气候,年平均降雨量为 1 000 mm。为保证研究背景的一致性,采样区(图 1 中的阴影部分)面积限制在 8 km²,在此范围内,地形平坦,地面高程 5~8 m,土壤类型相对单一,黄泥土(普通铁渗水耕人为土,典型的全潮湿始成土)所占面积在 80% 以上,成土母质属于河湖相沉积物。采样区土地利用以耕地为主,约占总面积 70% (其他为水域和居民点等),耕地类型主要是稻田和菜地。该区周围为公路、小城镇、工业区(工厂相对集中分布的区域)及其他零星分布的工厂(图 1)。

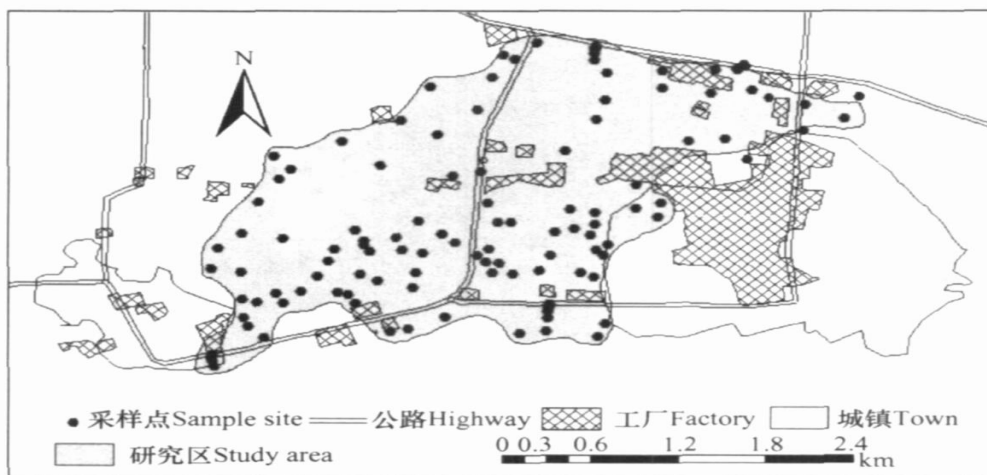


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 The map of soil samples

1.2 样品采集与分析

土壤样品采集主要考虑:(1) 采样点基本覆盖整个研究区,以便研究结果能反映研究区土壤变异的整体特征。(2) 考虑不同土地利用类型的特点:菜地生产管理上的差异较大,为了充分反映菜地土壤重金属含量的特点,菜地采样点布置得相对密集;水稻田地块大,且耕作、灌溉等管理措施比较一致,采样点布置相对稀疏。(3) 考虑公路的影响,分别从与公路方向垂直的 3 条土壤断面上依次采集距离公路 2 m、5 m、15 m、30 m、60 m、120 m 和 240 m 位置的土壤样,且断面样均采自水田,以避免土地利用差异的影响。采样时间为 2002 年 11 月,共采集 0~20 cm

土壤混合样 119 个(图 1),其中菜地土壤 75 个,水田土壤 44 个。土样带回后在室温下自然风干,磨碎,依次过 10 目、60 目、100 目尼龙筛,密封贮存于塑料袋备用。主要分析了土壤全量 Cu、Zn、Pb、Cd 和有效态 Cu、Zn、Pb、Cd。全量重金属分析采用王水(按硝酸和盐酸 3:1 比例配置)消化,原子吸收分光光度法测定,具体参见文献[11]。有效态重金属采用 pH 为 7.3 的 DTPA (0.005 mol L⁻¹ DTPA-0.01 mol L⁻¹ CaCl₂-0.1 mol L⁻¹ TEA) 以 1:2 的土液比浸提,原子吸收分光光度法测定^[11]。另外,分析了土壤 pH 和土壤全磷,土壤 pH 以 1:2.5 的土水比浸提,pH 计 (pHs-3C) 测定,全磷采用酸溶-钼锑抗比色法测

定^[11]。

1.3 GIS 空间分析

本文采用域法识别特异值,即将样本平均值加、减 3 倍标准差 s ,在区间 $[-3s, +3s]$ 以外的数据均定为特异值。在插值前采用正常最大值代替特异值,以保证不使局部土壤污染状况被过分夸大。将土壤采样点的位置标在经地形图配准好的航片上,在 ARCVIEW 3.2 中利用 IDW 法(距离权重反比法)对各重金属含量进行插值,得到它们的空间分布图。同时,数字化该区工厂分布图、镇区界线。通过对重金属空间分布图和工厂分布图、镇区进行距离缓冲分析和叠加分析,探讨工厂和城镇对重金属空间变异的影响。

2 结果与讨论

2.1 土壤重金属含量及其空间分布

研究区土壤重金属含量见表 1。由表可知,研

究区 Cu、Zn、Pb 含量大于背景值的土壤样品比例在 75%以上,Cd 含量大于背景值的比例在 50%以上。土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 最大异常值分别是背景值的 6.1 倍、10.2 倍、12.7 倍和 3.1 倍,变异系数高达 45%~61%。将该研究区土壤与采自太湖流域无锡、宜兴、武进、江阴四地区的 275 个耕层土壤样品的分析结果相比,Cu、Zn、Pb、Cd 都明显高,而且变异系数大(表 1)。在城乡交错区较小的尺度范围内,土壤重金属含量和变异系数都明显提高,充分说明该区土壤受人类活动影响深刻,土壤质量演变值得关注。本区土壤有效态重金属含量的变异系数在 29.9%~60.2%之间,也都属于强烈变异。统计表明土壤有效态 Cu、Zn、Pb、Cd 含量和相应的全量重金属均呈显著或极显著的正相关,相关系数分别为 0.35、0.21、0.22、0.28,表明研究区表层土壤中有效态 Cu、Zn、Pb 和 Cd 在一定程度上分别依赖于其全量含量。

图 2 列出了土壤全量重金属在空间分布上的不均一性。每一种重金属在空间分布上都有高值区和

表 1 土壤重金属含量

Table 1 Concentrations of heavy metals in the soil (mg kg^{-1})

	总量重金属 Total concentrations of metals				有效重金属 Concentrations of available metals			
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd
无锡城乡交错区 The peri-urban region of Wuxi								
最小值 Minimum	26.7	29.7	17.0	0.003	1.94	0.96	0.40	0.002
25%值 Quarter	32.0	81.0	35.4	0.059	5.50	3.55	4.24	0.042
中值 Median	37.9	98.9	42.4	0.159	6.15	6.86	4.92	0.054
75%值 Three-quarters	42.8	121	49.2	0.192	6.82	9.44	5.52	0.072
最大值 Maximum	152	790	288	0.370	9.52	15.1	9.16	0.090
平均值 Mean	40.4	113	46.7	0.143	6.10	7.55	4.82	0.050
变异系数 Coefficient of variation (%)	45.1	60.5	55.3	61.5	60.2	57.6	29.9	40.0
背景值* Background value	24.9	77.6	22.6	0.12				
太湖流域 ⁽¹⁾ Taihu Lake region								
平均值 Mean	26.3	91	23.9	0.096				
变异系数 Coefficient of variation (%)	17.4	32.4	18.7	49.0				

* 湖相沉积物土壤重金属背景值^[12] The background values of heavy metals in soils derived from Lacustrine deposits

低值区,而且不同的重金属发生富集的位置有较大差异,说明这些重金属具有不同的来源。但土壤重金属的空间分布都有从高值区向低值区逐渐过渡的

趋势,这与某些文献报道的重金属污染模式较为相似^[6],也说明该研究区土壤重金属的空间变异性是有规律可循的。

(1) 无锡、宜兴、武进、江阴四地区的 275 个耕层土壤样品的分析结果(未发表资料)

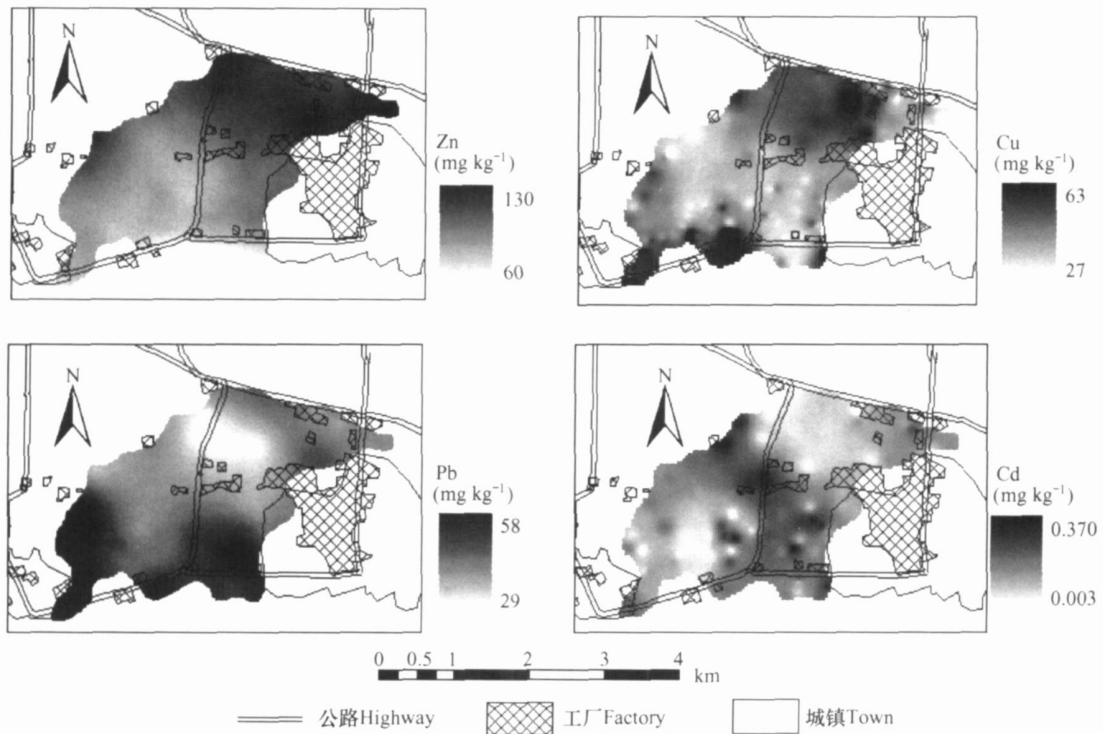


图2 无锡城乡交错区土壤重金属分布

Fig. 2 The distribution map of heavy metals in topsoil in the peri-urban region, Wuxi

2.2 工业对土壤重金属空间分布的影响

利用 GIS,以 100 m 为间距将研究区按照距离工厂的远近(对任意一点来讲,都是与最近的工厂的距离)划分为不同的缓冲区。由于在研究区中与工厂距离最远的点在 800 m 范围内,因此按与工厂的距离只能划分 8 个类别的缓冲区,分别统计每类缓冲区土壤重金属含量的平均值,并按照距离作图。结果表明,随着与工厂距离的增加,土壤 Cu、Zn、Cd 含量呈显著的下降趋势(图 3a 和图 3b)。尽管 Cu、Zn、Cd 都受到工业活动影响,但它们的分布特征并不一致(图 2),这与该区工业类型的多样性和工厂布局的分散性有关,城乡交错区土壤重金属污染的多源性值得注意。土壤有效态 Cu、Zn、Cd 含量虽然也有随与工厂距离增加而降低的趋势,但它们的相关性略低,如全 Cu 和有效态 Cu 与工厂距离的相关系数分别是 0.99 和 0.93(图 3a),有效态 Zn 和有效态 Cd 与工厂距离关系的相关系数分别是 0.61 和 0.86(图略),也比全 Zn 和全 Cd 与工厂距离的相关系数低。这是因为土壤重金属生物有效性往往还与土壤 pH、土壤有机质等因素有关^[13, 14],而不仅受全量控制。尽管工业活动也是土壤 Pb 污染的潜在因素,但在本研究中,土壤 Pb 含量随与工厂距离增加有升有降

(图 3c),关系表现不明显,说明土壤 Pb 还有更重要的其他来源。

2.3 城市对土壤重金属空间分布的影响

图 2 中 Pb 的空间分布图很直观地表明,土壤 Pb 的高值区主要分布在城镇的周围。按照上述缓冲分析的方法,得到土壤 Pb 随与镇区距离增加的变化图(图 3d),结果表明土壤 Pb 含量随与城镇距离增加呈持续下降趋势。可见,对 Pb 而言,镇区是其主要扩散源。许多研究表明,汽车尾气是 Pb 的重要污染源^[15, 16],因此城市密集的车流量可能是其成为 Pb 扩散源的原因之一。殷云龙等^[17]也发现,城市干线绿地比绕城公路和城郊公路绿地土壤 Pb 含量为高。而且有研究表明即便在禁用含 Pb 汽油若干年后,上海市的大气尘埃中仍含高浓度的 Pb^[18]。

2.4 公路对土壤重金属空间分布的影响

许多研究还表明,除了对土壤 Pb 造成污染外,交通对公路旁土壤中的 Cu、Zn、Cd 也有显著影响^[17, 19, 20]。这是因为,汽油添加剂、汽车部件的电镀材料、润滑剂、以及轮胎等均不同程度的含有这些重金属。较多研究都发现公路旁土壤中的 Pb 随与公路距离增加而递减^[15, 16],林健等^[21]的研究表明

公路两旁重金属的污染扩散晕约为 250 m。本研究在距公路 0~250 m 范围内,设置 3 条垂直公路的土壤断面以分析交通线对本区土壤重金属含量分布的影响。结果发现只有其中一条断面土壤重金属含量的变化趋势较规则,可以看出土壤全 Zn 和全 Cd 有随与公路距离增加而降低的趋势(图 3e 和图 3f),而

全 Pb 则下降不明显(图 3e)。土壤全 Cu 甚至有随与公路距离增加而升高的趋势(图 3e),这种现象单用交通因子是无法解释的。可见该区土壤的利用强度大,人为干扰因子多,为明确区分土壤重金属含量的影响因素造成困难。同理,土壤有效态重金属的含量与公路的关系也表现不明显。

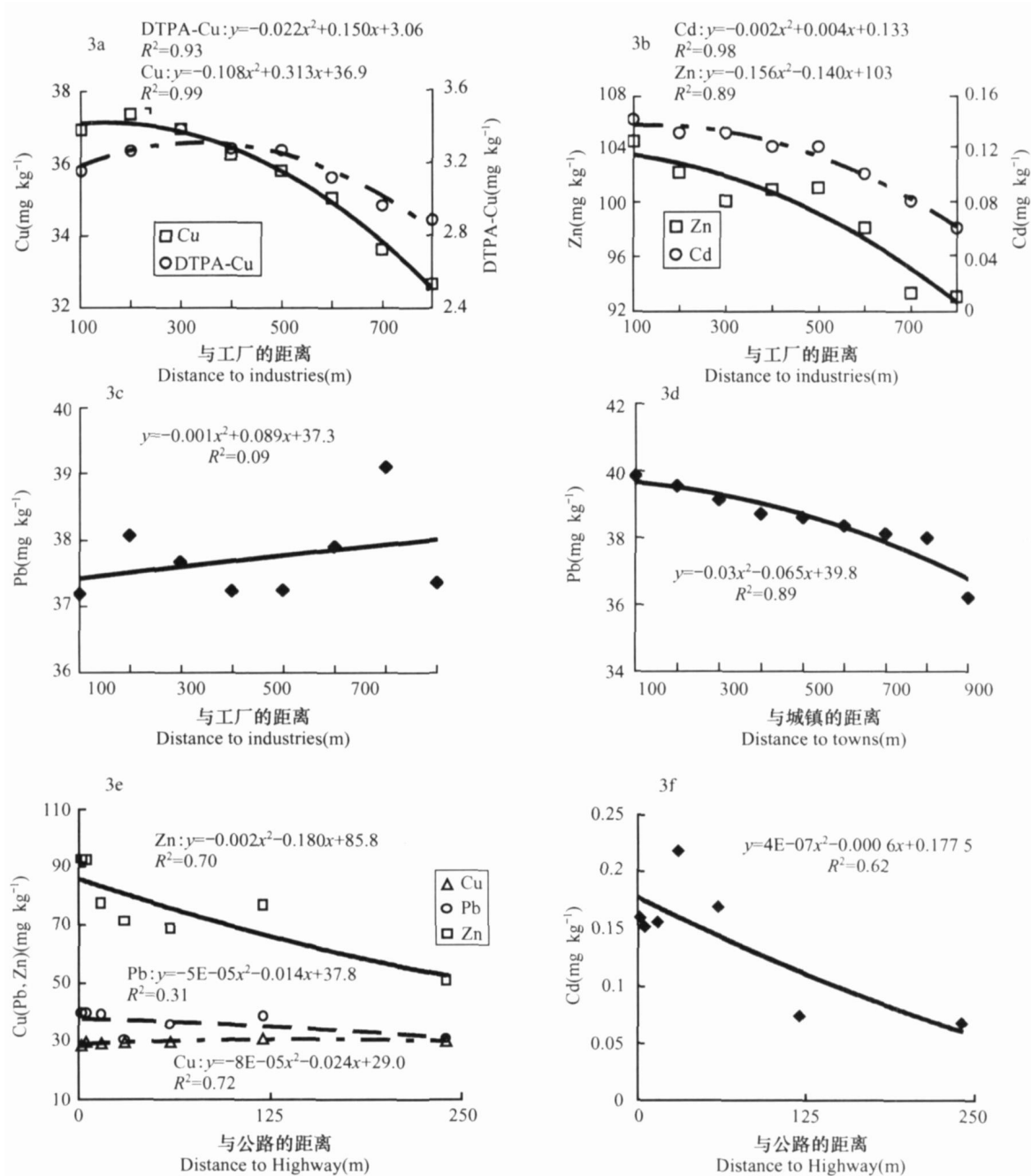


图 3 土壤重金属含量与工厂、镇区或公路距离的关系

Fig. 3 Relationship between heavy metals in soils and their distances to industrial plants, towns or highway

2.5 土地利用对土壤重金属空间分布的影响

通常蔬菜地肥料和农药投入大,在同等条件下,菜地可能较水田的土壤重金属含量高。表 2 表明,就全量重金属而言,不同种植年限的菜地土壤重金属平均含量虽然均较水田高,但多数未达到显著水平,而且菜地土壤重金属含量没有随种植年限持续增加的趋势。这种结果可以归结为采样点位置分布的影响,不同位置的菜地与工厂、交通线、城市等污染源的距離不同,还将受到不同程度大气污染物沉降的影响,这为明确判断土地利用对土壤重金属含量的影响程度带来困难。当然,该结果也可能意味着来自大气沉降的重金属污染会掩盖土地利用方式造成的土壤重金属含量的差异。

但菜地土壤的 pH 和全磷含量变化非常有规律,即随着种植蔬菜年限的增加土壤 pH 持续降低而全磷含量持续升高(表 2)。如果能够判断土壤重金属变异与磷含量变异的相关性,则无疑可以说明土地利用方式对重金属含量变异影响的程度。对土

壤数据进行主成分分析得到影响数据整体变异的四个主要成分(表 3),可以看出,全量 Zn 与主成分一关系最大,与主成分二关系次之;全量 Cu 与主成分三关系最大,与主成分一的关系次之;全量 Pb 与主成分三关系最大,而与主成分二次之;全量 Cd 与主成分二关系最大,与主成分三关系次之。这反映了土壤重金属来源主要与前三个主成分有关,而且这些重金属在来源上既有相互关系,也有不同程度的区别。这三个主成分可能分别与不同的工业类型有关,也可能部分反映了城镇等其他因素的影响,明确赋予它们相应的物理意义有一定困难。全磷和 pH 在主成分四中分别具有较大的正载荷和负载荷,而在前三个主成分中没有特别显著的载荷,因此,主成分四可以较为明确地归结为土地利用方式的影响。可以看出只有全量 Zn 和有效态 Zn 在主成分四中有较小的正载荷,这说明土地利用方式不是本区土壤重金属含量整体变异的主要因素,它只对土壤 Zn 含量的整体变异有些影响。

表 2 水田和菜地土壤重金属平均含量

Table 2 Average concentrations of heavy metals in soils from paddy fields and vegetable fields

土地类型 Land types	样本数 <i>n</i>	pH	总磷 Total P (g kg ⁻¹)	重金属总量 Total contents of metals(mg kg ⁻¹)			
				Cu	Zn	Pb	Cd
水田 Paddy field	44	6.3 a *	0.79 c	36.6 a	103 a	38.3 a	0.119 b
2~10 年菜地 Vegetable field (2~10 years)	15	5.6 b	0.99 b	45.8 a	124 a	45.7 a	0.173 a
10~20 年菜地 Vegetable field (10~20 years)	17	5.8 b	1.12 ab	40.1 a	117 a	48.3 a	0.167 a
>20 年菜地 Vegetable field (>20 years)	22	5.4 c	1.31 a	37.2 a	133 a	59.0 a	0.149 a

*字母不同表示均值在 $p < 0.05$ 水平上差异显著 Different letters indicate the differences of mean values are significant at 0.05 level

表 3 土壤 pH、总磷和土壤重金属的主成分分析

Table 3 Principle component analysis of 119 topsoil samples for soil pH, total P and heavy metals

	成分一 Component 1	成分二 Component 2	成分三 Component 3	成分四 Component 4
pH	- 0.034	0.064	0.182	- 0.796
总磷 Total P	0.108	0.153	0.469	0.759
总 Cu Total Cu	0.284	- 0.062	0.824	0.025
总 Zn Total Zn	0.667	0.231	- 0.068	0.170
总 Pb Total Pb	- 0.104	0.438	0.705	- 0.047
总 Cd Total Cd	- 0.019	0.774	0.132	0.010
DIPA-Cu	0.785	- 0.078	0.146	- 0.056
DIPA-Zn	0.583	0.421	0.284	0.297
DIPA-Pb	0.454	0.451	0.210	- 0.262
DIPA-Cd	0.260	0.692	- 0.011	0.058
方差贡献率 % of variance	17.8	17.42	15.98	14.06

3 结 论

无锡工业型城乡交错区土壤 Cu、Zn、Pb 和 Cd 含量显著高于背景值,变异系数高达 45%~61%,表现出明显的重金属富集现象。工业污染是影响该区土壤全量 Cu、Zn、Cd 空间分布的主要因素,但研究区工业类型的多样性和工业布局的分散性造成这些重金属空间分布模式仍存在较大差异,不同区域富集的重金属类型不同。城区可能是土壤 Pb 的主要扩散源,土壤 Pb 含量与城镇距离呈显著负相关。公路与城乡交错区土壤重金属空间分布的相关性不显著,这可能与该地区土壤重金属来源的多样性有关,强势影响因子如工业污染部分掩盖了交通和土地利用与土壤重金属分布的关系。尽管菜地比水田可能有更多的重金属来源,但对本研究区而言,这种土地利用的差异对土壤重金属含量的总体变异影响不大。本文更加凸显了无锡城乡交错区工业活动控制土壤重金属空间分布的特点。本文结果表明,在城乡交错区合理安排工业布局将有利于避免多源污染和保护土壤质量。

参 考 文 献

- [1] Nriagu J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 1988, 333 (6 169): 134 ~ 139
- [2] Bloemen M L, Markert B, Lieth H. The distribution of Cd, Cu, Pb and Zn in topsoils of Osnabrück in relation to land use. *The Science of the Total Environment*, 1995, 166: 137 ~ 148
- [3] 吴新民,潘根兴. 影响城市土壤重金属污染因子的关联度分析. *土壤学报*, 2003, 40 (6): 921 ~ 928. Wu X M, Pan G X. The correlation analysis between the content of heavy metals and the factors influencing the pollution of heavy metals in urban soils in Nanjing City (In Chinese). *Acta Pedologic Sinica*, 2003, 40(6): 921 ~ 928
- [4] 柴世伟,温琰茂,张云霓,等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征. *中国环境科学*, 2003, 23(6): 592 ~ 596. Chai S W, Wen Y M, Zhang Y N, *et al.* The heavy metal content character of agriculture soil in Guangzhou suburbs (In Chinese). *China Environmental Science*, 2003, 23(6): 592 ~ 596
- [5] Zhang M K, Wang M Q, Liu X M, *et al.* Characterization of soil quality under vegetable production along an urban-rural gradient. *Pedosphere*, 2003, 13(2): 173 ~ 180
- [6] Mellor A, Bevan J R. Lead in the soils and stream sediments of an urban catchment in Tyneside, UK. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, 112: 327 ~ 348
- [7] 赵彦锋,史学正,黄标,等. 工业型城乡交错区农业土壤 Zn 的空间分异及其影响因子探讨——以无锡为例. *土壤*, 2006, 38(1): 29 ~ 35. Zhao Y F, Shi X Z, Huang B, *et al.* Spatial variability of Zn in agricultural soils and their affecting factors in industrialized peri-urban interface—A case study in Wuxi (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(1): 29 ~ 35
- [8] 张庆利,史学正,黄标,等. 南京城郊蔬菜基地土壤有效态铅、锌、铜和镉的空间分异及其驱动因子研究. *土壤*, 2005, 37(1): 41 ~ 47. Zhang Q L, Shi X Z, Huang B, *et al.* Characteristic of spatial variability of soil available lead, zinc, copper and cadmium in a vegetable base in the suburbs of Nanjing (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(1): 41 ~ 47
- [9] Zhang M K, Ke Z X. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou City, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 177 ~ 185
- [10] Hu X F, Wu H X, Hu X, *et al.* Impact of urbanization on Shanghai's soil environmental quality. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 151 ~ 158
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. ed. *Soil Analytical Methods of Agronomic Chemistry* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [12] 国家环境保护总局. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 260 ~ 272. Chinese National Environmental Protection Agency. ed. *Background Values of Elements in Soils of China* (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1990. 260 ~ 272
- [13] Harter R D. Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc, and nickel. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47: 47 ~ 51
- [14] Halina D N. The role of organic matter in association with zinc in selected arable soils from Kujawy Region, Poland. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 645 ~ 649
- [15] Chow T J. Lead accumulation in roadside soil and grass. *Nature*, 1970, 225: 295 ~ 296
- [16] Burguera J L, Burguera M. Lead in roadside soils of Merida City, Venezuela. *The Science of the Total Environment*, 1988, 77: 45 ~ 49
- [17] 殷云龙,宋静,骆永明,等. 南京市城乡公路绿地土壤重金属变化及其评价. *土壤学报*, 2005, 42(2): 206 ~ 210. Yin Y L, Song J, Luo Y M, *et al.* Assessment on variation of heavy metals in the greenbelt soils alongside urban-rural roadways in Nanjing City (In Chinese). *Acta Pedologic Sinica*, 2005, 42(2): 206 ~ 210
- [18] Zheng J, Tan M G, Shibata Y, *et al.* Characteristics of lead isotope ratios and elemental concentrations in PM₁₀ fraction of airborne particulate matter in Shanghai after the phase-out of leaded gasoline. *Atmospheric Environment*, 2004, 38: 1 191 ~ 1 200
- [19] Garcia R, Millán E. Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadsides soils and grasses from Gpuzkoa (Spain). *Chemosphere*, 1998, 37: 1 615 ~ 1 625
- [20] Kocher B, Wessolek G, Stoffregen H. Water and heavy metal transport in roadside soils. *Pedosphere*, 2005, 15(6): 746 ~ 753
- [21] 林健,邱卿如,陈建安,等. 公路旁土壤中重金属和类金属污染评价. *环境与健康杂志*, 2000, 17(5): 284 ~ 286. Lin J, Qiu Q R, Chen J A, *et al.* Assessment on pollution of heavy metals

SPATIAL DISTRIBUTIONS OF Cu, Zn, Pb AND Cd IN AGRICULTURAL SOILS OF INDUSTRY-BASED PERI-URBAN REGIONS

Zhao Yanfeng^{1,2} Shi Xuezheng^{1†} Yu Dongsheng¹ Huang Biao¹ Wang Hongjie¹
Sun Zhiying¹ Zhao Yongcun¹ Ingrid Öborn³ Karin Blombäck³

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *School of Environment and Water conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China*)

(3 *Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences SE-75007, Uppsala, Sweden*)

Abstract In the industry-oriented peri-urban region of Wuxi, Jiangsu Province, concentrations of total and DTPA extractable Cu, Zn, Pb and Cd were determined of 119 topsoil samples collected from an area of 8 km² and factors dominating spatial distributions of these elements were studied. Concentrations and coefficient of variation of soil heavy metals in this area were found increasing and so were significant positive correlations between concentrations of DTPA extractable metals and of their respective totals. Spatial variations of Cu, Zn and Cd in the soils were induced mainly by the industry therein. However the patterns of their spatial distribution hardly indicated any similarity probably because of the dispersiveness in distribution and diversity in type of the industrial plants in the study area. Concentrations of Pb were found high in the soil close to the city and decreased with distance away from the city. Highway and land use didn't show any close relationship with the variation of heavy metal concentrations in the soil, which was obviously obscured by the impact of the industry. It is, therefore, strongly recommended that a reasonable and orderly layout be made for industrial plants, so as to control the scope of soils polluted with heavy metals.

Key words Heavy metals in soil; Spatial distribution; Peri-urban region