

上海农田土壤重金属含量的空间分析*

孟飞^{1,2} 刘敏³ 崔健²

(1 山东大学环境科学与工程学院, 济南 250100)

(2 山东建筑大学土木学院, 济南 250014)

(3 华东师范大学地理系, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS OF SHANGHAI

Meng Fei^{1,2} Liu Min³ Cui Jian²

(1 School of Environmental Science & Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

(2 College of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250014, China)

(3 Department of Geography, Key Laboratory of Geo-Information Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

关键词 农田土壤; 重金属; 上海; 分布
中图分类号 X53 文献标识码 A

土壤环境中的污染物积累及其在食物链中的迁移转化是影响食品安全的重大科学问题。重金属污染因滞留持久、高富集等特性,易于通过食物链进入农产品中,影响农产品质量安全,危害人类健康^[1,2]。因此,针对农田土壤中的重金属累积状况进行调查和评价,已是国内外广泛关注的问题。近年来,前人分别从不同的角度对土壤重金属空间分布特征进行了研究。从研究区上看,城乡结合部是土壤重金属污染研究的热点区域^[3,4],如 Zhao 等^[3]研究了无锡城市边缘区土壤重金属累积与空间分布特征。从研究尺度上看,FacchineIli 等^[5]从宏观尺度上研究了意大利 Piemonte 地区农田重金属污染的空间分异特征;刘付程等^[6]从县域尺度上研究了无锡锡山市土壤 Zn 的含量和空间分布特征;郑海龙等^[7]则从微观尺度上研究了南京梅山钢铁集团附近 14 km²土壤重金属空间变异特征。

已有一些学者对上海土壤重金属污染现状进行了研究,但这些研究多集中在郊区蔬菜地和污灌区^[8,9],其研究的空间尺度较小,虽然也有一些较大尺度的研究,但采样密度较小^[10],对上海地区农田

土壤重金属含量及其污染状况全面、系统的研究尚未见报道。鉴于此,本文通过大量实测数据,基于 GIS 技术,系统探讨上海地区农田土壤重金属含量的空间分布特征。

1 材料与方法

1.1 样品采集及分析

布点时考虑到农业区划、作物布局和种植特点等,原则上每村布点 1 个,同时结合 1:50 000 地形图、1:100 000 土壤图,根据具体地形情况,土地利用与覆盖状况、土壤类型等进行布点的疏密调整,于 2002~2003 年间共采集土壤样品 2 265 个(图 1)。采样以村为单位,选择有代表性的田块,采用梅花多点(5~12 点)取样,采样深度 0~20 cm,同时用 GPS 对每个样点定位。

土壤样品经风干、过 100 目筛后,用 HNO₃-HClO₄-HF 消化法制样^[11],土壤中全量 Cu、Pb、Zn、Cr 采用 X 荧光法,全量 Hg、As 采用原子荧光法。全量 Cd 采用原子吸收石墨炉法。重金属的分析测定

* 国家自然科学基金项目(40131020)资助

作者简介:孟飞(1974~),男,博士,讲师,主要从事土地利用覆盖变化及其环境效应研究。E-mail: lzmf@163.com

收稿日期:2007-01-11;收到修改稿日期:2007-05-29

中,均加入国家标准土壤标样(GSS-1)进行分析质量控制,分析结果符合质量控制要求。

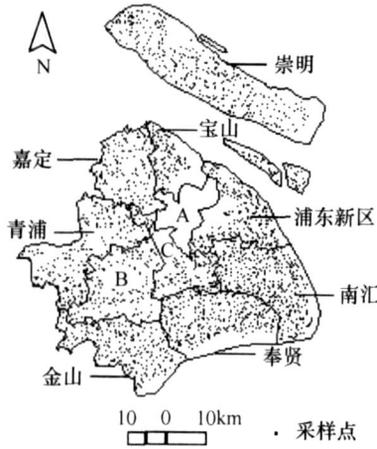


图1 土壤调查采样点分布(A、B、C分别为中心城区、松江和闵行)

1.2 数据处理

本研究中数据处理和分析使用ARC/INFO7.1和SPSS12.0进行处理,图形采用ArcView3.2软件进行绘制。

2 土壤污染评价方法

根据马成玲等^[12]土壤环境背景值评价标准的确定方法,得到表1所示的上海土壤环境背景上限值,以其作为评价标准,分别用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法,对上海农田土壤中重金属污染状况与空间分布特征进行评价。

表1 上海土壤环境背景值上限值(mg kg⁻¹)

重金属	背景上限值
Cu	42.71
Zn	118.2
Pb	37.36
Cd	0.295
Cr	103.5
Hg	0.231
As	12.20

(1) 单因子指数法

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, P_i 为土壤中污染物*i*单因子指数; C_i 为污染物*i*

实测值(mg kg⁻¹); S_i 为污染物评价标准(mg kg⁻¹)。

(2) 内梅罗综合指数法

$$P = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{\max})^2}{2}} \quad (2)$$

式中, P 为内梅罗综合指数; \bar{P}_i 为土壤中各污染指数平均值; P_{\max} 为土壤中各污染指数最大值。

根据 P_i 值的变幅,结合作物受害程度和污染物积累状况划分如表2所示土壤质量分级。

表2 基于污染指数的土壤质量分级

质量分级	指数范围
非污染	$P_i \leq 1$
轻度污染	$1 < P_i \leq 2$
中度污染	$2 < P_i \leq 3$
严重污染	$P_i > 3$

3 结果与讨论

3.1 土壤重金属含量统计分析

研究区2265个土壤表层重金属含量测定结果,如表3所示。

由偏度和峰度系数来看,土壤中各重金属都不符合正态分布。重金属浓度经对数转换后,Hg的峰度系数为3.22,成对数正态分布;Cd、Cr和As的峰度系数分别为6.22、4.21和4.27,成近似对数正态分布;其余重金属既不成正态分布,也不服从对数正态分布^[14]。

与1991年上海土壤背景值^[13]比较可知,近年来农田土壤中As平均含量呈降低趋势,而其余重金属含量皆有不同程度的增加,尤其是Zn、Cd、Cr平均含量分别达到106.2、0.196、85.6 mg kg⁻¹,远高于其背景值86.10、0.132、75.0 mg kg⁻¹。这可能与大量施用磷肥、有机肥、农药、污染灌溉水等有关。

变异系数反映了总体样本中各采样点的平均变异程度,研究区Cd的变异系数最大,达到87.4%;而Cr的变异系数最小,为23.5%。7种土壤重金属的变异程度由大到小的顺序为: Cd、Hg、Cu、Zn、As、Pb、Cr。

3.2 土壤重金属元素的空间分布特征

以相关元素环境背景上限值(表1)为评价标准,计算了研究区2265个样点表层土壤各种重金属的单因子污染指数值。在软件ARC/INFO7.1中,将采样点的重金属单因子数据分为两部分:一

部分作为检验数据,用来检验插值的精度,共随机抽取了 54 个点;另一部分为用来插值的数据,共 2 211 个样点。经对比发现,逆距离加权(DW)插

值和普通克里格插值(Ordinary Kriging)精度较高,遂除 Cr用克里格插值外,其余重金属均选用了逆距离加权进行插值。插值结果如图 2 所示。

表 3 上海农田土壤重金属含量统计($n=2\ 265$)

金属	背景值 ^[13]	偏度系数	峰度系数	最小值 (mg kg^{-1})	最大值 (mg kg^{-1})	平均值 (mg kg^{-1})	标准差 (mg kg^{-1})	变异系数 (%)
Cu	28.59	0.59	142.31	2.4	332.9	31.4	13.4	42.8
Zn	86.10	1.47	131.04	11.8	857.2	106.2	39.9	37.5
Pb	25.47	-0.83	11.37	2.7	90.7	26.4	7.7	29.4
Cd	0.132	0.26	339.20	0.010	4.500	0.196	0.171	87.4
Cr	75.0	-0.48	8.65	31.9	285.8	85.6	20.1	23.5
Hg	0.101	-0.09	11.44	0.010	0.850	0.132	0.082	61.9
As	9.10	-0.09	6.65	0.93	25.29	7.80	2.33	29.9

Cd的累积浓度高且集中分布于浦东新区、嘉定、宝山、南汇和崇明的部分地区,在其他地区污染不明显。空间统计显示,重金属 Cd属于轻度污染、中度污染、严重污染的农田面积分别为 555.8 km^2 、54.8 km^2 和 28.27 km^2 ,分别占研究区总面积的 8.5%、0.8%和 0.4%。浦东新区在 20世纪 60年代中期至 70年代末,曾有长达 15 a左右的污水农田灌溉与污泥农用的历史,致使 4 000 hm^2 的农田受到了重金属(主要为 Hg和 Cd)污染。嘉定和宝山地区工业集中,长期的含 Cd“三废”排放导致了农田土壤中 Cd的富集。

Hg轻度污染区主要集中在嘉定、浦东新区和青浦区,在宝山、松江、金山等区也有零星分布;中度污染区主要分布于嘉定西部,另呈点状分布于浦东、宝山和金山区;轻度污染和中度污染区分别占研究区总面积的 4.86%、0.10%。究其原因,主要受到含 Hg“三废”排放与污水灌溉的影响。

内梅罗综合污染指数分析表明,受重金属污染的地区主要集中在中心城区周围,包括宝山、浦东新区、嘉定和闵行区;而远离中心城区的地区土壤质量较好,如南汇、奉贤、金山、崇明等。内梅罗指数大于 1且小于 2的面积为 1 255.6 km^2 ,占研究区总面积的 19.8%;内梅罗指数大于 2且小于 3的面积为 27.9 km^2 ,占研究区总面积的 0.4%;内梅罗指数大于 4的面积为 2.0 km^2 ,占研究区总面积的

0.03%。

从各个行政区受污染情况来看,嘉定以 Zn、Cd、Hg和 Pb累积最为严重;宝山主要受到 Zn、Hg、Cu和 Pb的污染;浦东新区土壤中主要富集了 Cd、Zn、Hg和 Cu,尤其是三林、北蔡、花木等镇;松江以 As和 Hg的累积比较严重;闵行主要受到 Zn、Cr、Cu的污染。

4 结 论

1) 上海地区农田土壤重金属含量的调查结果表明,土壤 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、Cr的平均含量均高于其背景值,具有明显的累积效应;As的平均含量低于其背景值。7种元素的总体变异程度为: Cd > Hg > Cu > Zn > As > Pb > Cr。

2) 空间分布特征的分析表明,受重金属污染的地区主要集中在中心城区周围地区,包括宝山、浦东新区、嘉定和闵行区;而远离中心城区的地区土壤质量较好,如南汇、奉贤、金山、崇明等。

3) 评价结果分析显示,Zn、Cd、Hg的污染是引起上海地区土壤质量下降的主要原因,其次是 Cr、Cu、Pb。嘉定以 Zn、Cd、Hg和 Pb累积最为严重;宝山主要受到 Zn、Hg、Cu和 Pb的污染;浦东新区土壤中主要富集了 Cd、Zn、Hg和 Cu;闵行主要受到 Zn、Cr、Cu的污染。

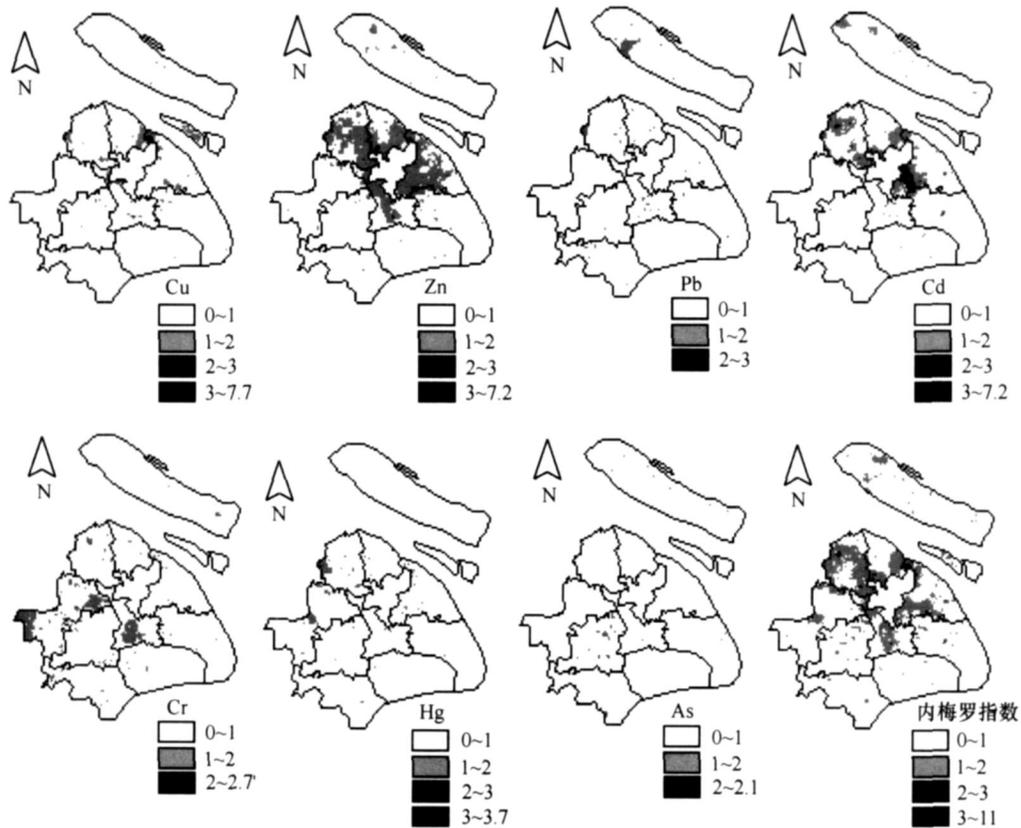


图 2 上海农田土壤重金属指数分布图

参考文献

- [1] 蔡保松, 陈同斌, 廖晓勇, 等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响. 生态学报, 2004, 24(4): 711 ~ 717
- [2] Hu KL, Zhang FR, Li H, *et al*. Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. *Pedosphere*, 2006, 16(6): 690 ~ 698
- [3] Zhao YF, Shi XZ, Huang B, *et al*. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based peri-urban area in Wuxi, China. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 44 ~ 51
- [4] Romic M, Romic D. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environmental Geology*, 2003, 43: 795 ~ 805
- [5] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 2001, 114: 313 ~ 324
- [6] 刘付程, 史学正, 王洪杰, 等. 苏南典型地区土壤锌的空间分布特征及其与土壤颗粒组成的关系. *土壤*, 2003, 35(4): 330 ~ 333
- [7] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖, 等. 城市边缘带土壤重金属空间变异及其污染评价. *土壤学报*, 2006, 43(1): 39 ~ 45
- [8] 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
- [9] 沈根祥, 谢争, 钱晓雍, 等. 上海市蔬菜农田土壤重金属污染物累积调查分析. *农业环境科学学报*, 2006, 25(增刊): 37 ~ 40
- [10] 沈秋光, 陆贻通, 毕经纬, 等. 上海果园土壤质量分析与评价. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2005, 23(2): 168 ~ 171
- [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, 1999. 147 ~ 211
- [12] 马成玲, 周健民, 王火焰, 等. 农田土壤重金属污染评价方法研究——以长江三角洲典型县级常熟市为例. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(1): 48 ~ 53
- [13] 王云, 汪雅谷, 罗海林, 等. *上海市土壤环境背景值*. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 37 ~ 57
- [14] Xu S, Tao S. Coregionalization analysis of heavy metals in the surface soil of Inner Mongolia. *The Science of the Total Environment*, 2004, 320: 73 ~ 87