

上海农田土壤重金属的环境质量评价

孟飞¹, 刘敏², 史同广¹

(1. 山东建筑大学土木学院, 济南 250101; 2. 华东师范大学地理系, 上海 200062)

摘要:对上海市农田土壤中 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg、As 进行测定分析, 利用不同的评价方法和标准来评价土壤重金属的环境质量状况, 并在 GIS 软件支持下, 通过空间插值分析了研究区重金属含量的空间分布特征. 结果发现, 除 As 外, 各重金属平均含量均高于其背景含量; Cu、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As 的浓度均有个别地方的含量超过了国家《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) 二级标准限值; 从土壤重金属空间分布来看, 农田质量整体尚好, 土壤优良率为 71.4%, 合格率为 94.9%, 不合格率为 5.1%; 土壤质量受到各种重金属不同程度的影响, 存在显著的空间分异, 而 Zn、Cd、Hg 的污染是引起上海地区土壤质量下降的主要原因; 各级土壤以城镇建设用地为中心, 圈层状分布特征明显, 随着上海地区城镇化空间扩展的推进与土地利用方式的变化, 可能会导致新污染区的出现与土壤质量的下降.

关键词:土壤; 重金属; 上海; 评价

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)02-0428-06

Evaluation on Environmental Quality of Heavy Metals in Agricultural Soils of Shanghai

MENG Fei¹, LIU Min², SHI Tong-guang¹

(1. College of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China; 2. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Contents of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Hg and As) in agricultural surface soils from Shanghai were analyzed. Different evaluation methods and assessment standards of heavy metals were also used for comparison. In addition, inverse distance interpolation (IDW) method was also applied to study the spatial variability of heavy metals pollution, based on GIS. The results show that mean concentrations of heavy metals in soils all exceeded their corresponding natural-background values, except for As. Compared mean concentrations of heavy metals with the National Standard, the soils were not contaminated. All the determined heavy metals excluding Pb in some regions, however, exceeded the critical values of national soil quality standard. Additionally, it is indicated that most of cropland soils were good, and the ratio of good soil, certified soil and disqualified soil were 71.4%, 94.9% and 5.1%, respectively. Most of the disqualified soils, which distributed in Jiading and Pudong, however, have been urbanized and covered with buildings and factories. Moreover, the soil quality was influenced by different heavy metals at different levels, thus the regional differentiation of soil pollution was obvious. Zn, Cd and Hg were the dominant elements causing soil heavy metal pollution in the study area. Furthermore, it was found there was a close relationship between the urban distribution and heavy metal pollution of the soils. Therefore, it is concluded that with the expanding of urbanization, a new polluted area may appear.

Key words: soil; heavy metals; Shanghai; evaluation

土壤既是自然环境的构成要素, 又是农业生产最重要的自然资源. 随着城市化进程及工业的迅速发展, 重金属通过污水灌溉、大气干湿沉降、污泥的农用等途径进入土壤, 进而影响到农产品质量安全和人类健康^[1~5]. 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. 国外在土壤重金属污染的“源”与“汇”^[3~6]、空间分布特征^[7]、食品安全性^[8,9]、污染评价方法等方面^[9~11]进行了大量研究. 国内一些学者也分别针对土壤重金属污染状况从不同的角度进行了研究, 包括土壤重金属形态与空间分布特征^[12~17]、土壤环境质量状况与食品安全性^[2,18~20]、土壤重金属污染评价方法等^[21].

已有一些学者对上海土壤重金属含量进行了研究, 但这些研究取样点少且主要集中于蔬菜、果园种植基地^[19,22], 针对上海农田土壤重金属污染状况的全面、系统的调查研究尚未见报道. 鉴于此, 本研究通过大量实测数据, 系统探索了上海地区农田土壤重金属污染现状与累积规律, 以期上海土壤环境质量综合治理提供数据基础和科学依据.

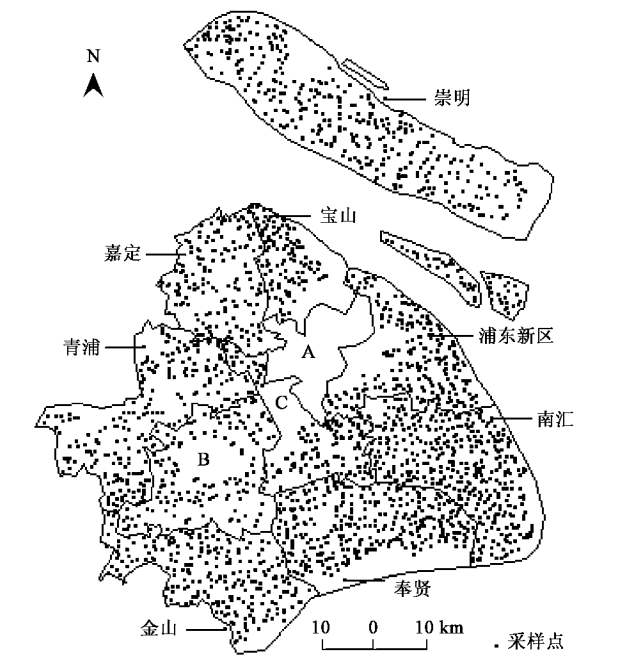
1 材料与方法

1.1 样品采集及分析

收稿日期: 2007-03-20; 修订日期: 2007-04-25
基金项目: 国家自然科学基金项目(40131020)
作者简介: 孟飞(1974~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为土地利用/覆盖变化及其环境效应, E-mail: lzlmf@163.com

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土壤图及1:100 00航空照片根据具体地形情况、土地利用与覆盖状况、土壤类型等进行布点的疏密调整,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^[23],土壤中全量 Cu、Zn、Pb、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.



A、B、C 分别为中心城区、松江和闵行

图 1 采样点分布

Fig.1 Distribution of sampling sites

1.2 数据处理

本研究中数据处理和分析使用 Arc Info 7.1、ERDAS IMAGINE 8.4 和 SPSS 12.0 进行处理,图形采用 Arc View 3.2 软件进行绘制.

2 土壤评价方法

2.1 评价标准

根据上海市土壤的环境状况和发展要求,参照国家、行业 and 地方的相关标准^[24],将土壤环境质量

分为相应的 4 级标准(表 1).1 级为优级,符合上海市地方标准,安全卫生优质农产品(或原料)产地环境标准(DB31/T 252-2000).2 级为良级,符合我国绿色食品产地环境技术条件(NY/T 391-2000).3 级为合格级,符合农业部发布的无公害食品产地环境条件 NY 5010-2001 中土壤环境质量标准所列技术指标.超过 3 级的为 4 级,属于不合格.

由于本调查监测的土壤环境元素包括 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Hg 和 As,但 NY/T 391-2000 和 NY 5010-2001 中无 Zn.因此,在应用相应的 3 级标准中,根据有关标准补充原缺少的指标(表 1).

表 1 不同 pH 下的各级土壤评价标准/mg•kg⁻¹

Table 1 Evaluation standards of soil/mg•kg ⁻¹								
级别	pH 范围	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	As	Hg
1 级	不限	≤ 40	100	35	0.3	85	13	0.20
	< 6.5	≤ 50	100	50	0.3	120	25	0.25
2 级	6.5~7.5	≤ 60	120	50	0.3	120	20	0.3
	> 7.5	≤ 60	120	50	0.4	120	20	0.35
3 级	< 6.5	≤ 50	200	250	0.3	150	40	0.3
	6.5~7.5	≤ 100	250	300	0.3	200	30	0.5
4 级	> 7.5	≤ 100	300	350	0.6	250	25	1.0
	< 6.5	> 50	200	250	0.3	150	40	0.3
	6.5~7.5	> 100	250	300	0.3	200	30	0.5
	> 7.5	> 100	300	350	0.6	250	25	1.0

2.2 评价方法

在 Arc INFO7.1 中,通过对所选择插值模型:逆距离加权插值、样条函数插值、克里格插值和趋势面插值结果的检验,最后选用了逆距离加权模型进行插值.

在综合评价分级中,等级划分的依据是不同 pH 范围内所有重金属的相应浓度大小,划分为 4 级(表 1).首先将前面各重金属插值生成的 GRID 导入 ERDAS IMAGINE 8.4 中,分别存为 IMG 格式的图像;然后利用 ERDAS IMAGINE 中 Model Maker 建模,将表 1 中各条件根据评价要求依次输入到模型中,最终得到上海地区土壤综合评价分级图.

在重金属单指标评价中,等级划分的依据为不同 pH 范围内单一重金属的相应浓度大小,同样划分为 4 级(表 1).基于 ERDAS IMAGINE,利用 Model Maker 构建单指标评价模型,分别将表 1 中 pH 值与各相应土壤重金属范围输入模型中,最后得到研究区土壤单指标评价分级图.

3 结果与分析

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 2 所示.

由偏度和峰度系数可知,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; Cr 和 As 峰度系数分别为 4.21 和 4.27, 成近似对数正态分布; 其余的重金属既不成正态分布, 也不服从对数正态分布^[25].

与 1991 年上海土壤背景值^[26]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, 远高于其背景值 86.10、0.132、75.0 mg/kg. 这可能与大量施用磷肥、有机肥、农药、污染灌溉水等有关.

7 种重金属元素中, 除 Pb 含量没有超过国家《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) 二级标准限值外, 其余土壤重金属均有个别地方的含量超过了二级标准限值.

从变异系数来看, 除 Cd、Hg 的变异系数较大外, 其余土壤重金属元素的变异系数范围为 0.24 ~ 0.43, 均属于中等变异强度.

表 2 上海农田土壤重金属含量统计

Table 2 Statistics of heavy metal concentrations in agricultural soils of Shanghai										
金属	样本数	偏度	峰度	背景值 /mg·kg ⁻¹	二级标值 /mg·kg ⁻¹	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	2 265	0.59	142.31	28.59	100	2.4	332.9	31.4	13.4	0.43
Zn	2 265	1.47	131.04	86.10	250	11.8	857.2	106.2	39.9	0.38
Pb	2 265	-0.83	11.37	25.47	300	2.7	90.7	26.4	7.7	0.29
Cd	2 265	0.26	339.20	0.132	0.60	0.010	4.500	0.196	0.171	0.87
Cr	2 265	-0.48	8.65	75.0	200	31.9	285.8	85.6	20.1	0.24
Hg	2 265	-0.09	11.44	0.101	0.50	0.010	0.850	0.132	0.082	0.62
As	2 265	-0.09	6.65	9.10	25	0.93	25.29	7.80	2.33	0.29

3.2 土壤重金属元素的空间分布特征

图 2 为在 ERDAS IMAGINE 中, 依据表 1 建模生成的农田土壤综合分级图.



图 2 上海农田土壤综合分级评价

Fig.2 Evaluation results of agricultural soils in Shanghai

从图 2 可以看出, 上海地区农田质量整体尚好. 土壤优良率为 71.4%, 合格率为 94.9%, 不合格率为 5.1%. 1 级土壤主要分布在崇明大部、奉贤和南汇的南部、金山、青浦的部分地区; 2 级土壤分布于青浦、松江、金山、奉贤、南汇、崇明; 3 级土壤分布于嘉定、闵行、宝山、浦东新区北部地区; 不合格的土壤主要位于嘉定、浦东新区, 而从 2003 年上海地区 ETM 遥感影像上看, 这些区域已经在城市化的进程中转变为城镇建设用地.

各级土壤以城镇建设用地为中心, 呈现显著的圈层状分布特征, 城市边缘带土壤质量下降明显, 应当引起足够的重视. 以上海郊区土壤为例, 由城区向外, 土壤等级依次为 4 级、3 级、2 级、1 级 (图 2). 一方面城市边缘带作为城市生活与生产资料的“源”, 农业集约化程度不断提高, 农化产品的过量施用导致一些重金属在土壤中积累; 另一方面, 城市边缘带也是城市及工业“三废”物质排放的“汇”. 因此, 来自工业、农业、交通以及城市生活多冲环境压力下, 城市边缘带土壤健康质量明显下降. 郑海龙等研究了南京城市边缘区土壤重金属空间变异特征, 同样得出了工业基地周边环境重金属污染机会加大的结论^[27]. 值得注意的是, 随着上海地区城镇化空间扩展的推进与土地利用方式的变化, 可能会导致新的

污染区出现与土壤质量的下降.

图 3 为研究区土壤单指标评价分级.

从图 3 可以看出,Zn、Cd、Hg 的污染是引起上海地区土壤质量下降的主要原因,土壤质量受到各种重金属不同程度的影响,存在显著的空间分异.

Zn 污染分布于包括闵行、嘉定、宝山、浦东新区的大部分地区,是几种重金属中累积范围最广的一种,这除了与当地 20 世纪 80 ~ 90 年代存在电镀企业产生“三废”排放的污染影响外(尤其是浦东新区和闵行,分布的电镀企业数量最多),还与含 Zn 量较

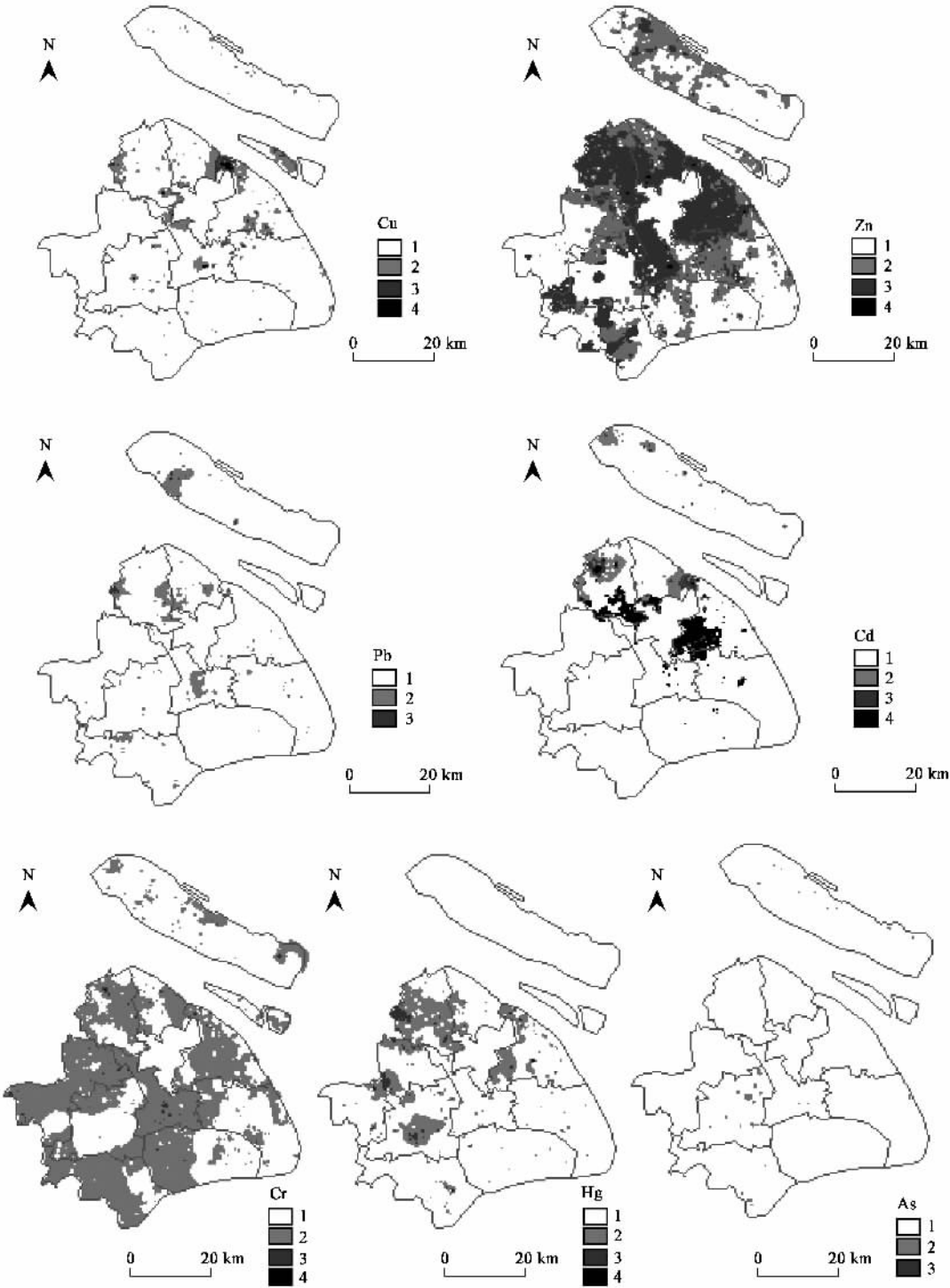


图 3 上海地区农田土壤单指标评价分级
Fig.3 Evaluation of agricultural soils in Shanghai

高的鸡粪、猪粪有机肥在农田土壤中的长期大量施用有关。如郊区不少 Zn 含量累积的农田周围没有电镀企业,但存在大型的牲畜养殖场。由于含锌饲料添加剂的使用,产生的粪便作为有机肥长期施用于这些农田后,导致了土壤中重金属 Zn 的累积^[22]。

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。究其原因,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 hm² 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。数据分析表明,极个别样点 Cd 含量是上海土壤背景值的 34 倍,实地调查表明存在严重的点污染源。

Hg 污染除在浦东新区、嘉定地区浓度较高外,还分布于青浦和松江的部分地区。这是因为受到含 Hg“三废”排放与污水灌溉的影响。

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、Pb,尤其是三林、北蔡、花木等镇;松江以 Zn 和 Hg 的累积比较严重;闵行主要受到 Zn、Cu 的污染。

4 结论

(1) 上海地区农田土壤重金属含量的统计结果表明,除 As 外,其余重金属平均含量均高于该区的背景值含量,尤其是 Zn、Cd、Cr 的平均含量远高于其背景值。除 Pb 含量没有超过国家《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)二级标准限值外,其余重金属均有个别地方的含量超过了二级标准。除 Cd、Hg 的变异系数较大外,其余土壤重金属元素均属于中等变异强度。

(2) 重金属污染评价分级结果表明,农田质量整体尚好,土壤优良率为 71.4%,合格率为 94.9%,不合格率为 5.1%。1 级土壤主要分布在崇明大部、奉贤和南汇的南部、金山、青浦的部分地区;2 级土壤分布于青浦、松江、金山、奉贤、南汇、崇明;3 级土壤分布于嘉定、闵行、宝山、浦东新区北部地区;不合格的土壤主要位于嘉定、浦东新区。

(3) 土壤质量受到各种重金属不同程度的影响,存在显著的空间分异,而 Zn、Cd、Hg 的污染是引起上海地区土壤质量下降的主要原因。各级土壤以城镇建设用地为中心,圈层状分布特征明显,随着上

海地区城镇化空间扩展的推进与土地利用方式的变化,可能会导致新的污染区出现与土壤质量的下降。

参考文献:

- [1] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 216-217.
- [2] 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[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 711-717.
- [3] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, *et al.* An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 311: 205-219.
- [4] Colgan A, Hankard P K, Spurgeon D J, *et al.* Closing the loop: a spatial analysis to link observed environmental damage to predicted heavy metal emissions [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22: 970-976.
- [5] Facchinelli A, Sacchi E, Mallen L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 114: 313-324.
- [6] Davies B E. Heavy metal contaminated soils in an old industrial area of Wales, Great Britain: source identification through statistical data interpretation[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, 94: 85-98.
- [7] Martin J A R, Arias M L, Corbi J M G. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Erbo basin (Spain). Application of the multivariate geochemical methods to study spatial variations [J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144: 1001-1012.
- [8] Dudka S, Piotrowska M, Chlopecka A. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1994, 76: 333-341.
- [9] Soderstrom M. Modeling local heavy metal distribution: a study of chromium in soil and wheat at ferrochrome smelter in south-western Sweden[J]. *Acta Agriculture Scandinavia*, 1998, 48: 2-10.
- [10] Gil C, Boluda R, Ramos J. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almeria (Spain) [J]. *Chemosphere*, 2004, 55: 1027-1034.
- [11] Brus D J, Gruijter J J, Walvoort D J J, *et al.* Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soil in the Netherlands [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 32: 1875-1884.
- [12] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京市近郊区土壤镍的空间结构及分布特征[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 470-476.
- [13] 郑袁明, 罗金发, 陈同斌, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤镉的积累[J]. 地理研究, 2005, 24(4): 542-548.
- [14] 李恋卿, 郑金伟, 潘根兴, 等. 太湖地区不同土地利用影响下水稻土重金属有效性库变化[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 101-104.
- [15] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, 24(3): 463-468.
- [16] Zhao Y F, Shi X Z, Huang B, *et al.* Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based peri-urban area in Wuxi, China [J]. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 44-51.
- [17] Hu K L, Zhang F R, Li H, *et al.* Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(6): 690-698.

- [18] 郭平,谢忠雷,李军,等. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价[J]. 地理科学,2005,25(1):108-112.
- [19] 沈秋光,陆贻通,毕经伟,等. 上海果园土壤质量分析与评价[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2005,23(2):168-171.
- [20] 陈德明,张瑞明,朱恩,等. 上海市主要蔬菜园艺场环境质量现状初步分析[J]. 上海农业学报,2002,18(4):74-78.
- [21] 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市常熟市为例[J]. 生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.
- [22] 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计调查分析[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊):37-40.
- [23] 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,1999. 147-211.
- [24] NY/T 391-2000, 绿色食品产地环境技术条件[S].
- [25] Xu S, Tao S. Coregionalization analysis of heavy metals in the surface soil of Inner Mongolia[J]. Science of the Total Environment, 2004, 320: 73-87.
- [26] 王云,汪雅谷,罗海林,等. 上海市土壤环境背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992. 37-57.
- [27] 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[J]. 土壤学报,2006,43(1):39-45.