

上海崇明岛蔬菜地土壤重金属含量与生态风险预警评估

王军, 陈振楼, 王初, 叶明武, 沈静, 聂智凌

(华东师范大学资源与环境科学学院地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 崇明3城镇蔬菜地土壤重金属的总体含量为Cu 29.2 mg·kg⁻¹、Pb 26.5 mg·kg⁻¹、Cr 79.4 mg·kg⁻¹、Zn 91.2 mg·kg⁻¹和Cd 0.222 mg·kg⁻¹。除Cd在城桥镇和陈家镇超过国家土壤一级标准(GB 15618-1995)外,其余均低于国家土壤一级标准,并且满足国家对绿色食品产地土壤重金属含量的要求(NY/T391-2000)。与上海土壤背景值相比,Cu、Pb、Cr、Zn和Cd分别高出上海土壤背景值24.3%、24.4%、22.9%、18.8%和65.7%。崇明3城镇蔬菜地土壤重金属生态风险预警评估得出,23个采样点中有3个样点属于中警,10个样点属于轻警,8个样点属于预警,1个样点属于无警,综合评估 $I_{ER} = 1.562$,为轻警。3城镇生态风险排序为堡镇($I_{ER} = 1.799$)>城桥镇($I_{ER} = 1.636$)>陈家镇($I_{ER} = 1.368$),均属于轻警。

关键词: 土壤; 重金属; 生态风险; 预警评估

中图分类号:X53; X820.2 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2007)03-0647-07

Heavy Metal Content and Ecological Risk Warning Assessment of Vegetable Soils in Chongming Island, Shanghai City

WANG Jun, CHEN Zhen-lou, WANG Chu, YE Ming-wu, SHEN Jing, NIE Zhi-ling

(Key Laboratory of Geo-information Science of the Ministry of Education, College of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: In order to determine the content of copper (Cu), lead (Pb), chromium (Cr), zinc (Zn) and cadmium (Cd) in vegetable field, soil samples were collected from three towns of Chongming Island, an important ecotypic island of Shanghai City. The average content of Cu, Zn, Pb, Cr and Cd in vegetable soil of the three towns is 29.2 mg·kg⁻¹, 91.2 mg·kg⁻¹, 26.5 mg·kg⁻¹, 79.4 mg·kg⁻¹ and 0.222 mg·kg⁻¹, respectively. Except for the content of Cd exceeded the first grade of national soil standard (GB 15618-1995), the contents of the other four heavy metals were less than the first grade of the standard, and the content of heavy metals in this field met the request of heavy metal level to produce green foods (NY/T 391-2000). The contents of Cu, Pb, Cr, Zn and Cd in the vegetable soils are 24.3%, 24.4%, 22.9%, 18.8% and 65.7% higher than the background value of Shanghai, respectively. The result of ecological risk warning assessment showed that three sampling sites were medium warning situation, ten were light warning situation, eight were warning situation and one was no warning, in all the 23 sampling sites. The total situation of Chongming Island was light warning, and the $I_{ER} = 1.562$. The order of ecological risk was Baozhen town ($I_{ER} = 1.799$) > Chengqiaozhen town ($I_{ER} = 1.636$) > Chenjiazhen ($I_{ER} = 1.368$). The three towns were all light warning situation.

Key words: soils; heavy metal; ecological risk; warning assessment

土壤是人类的衣食之源和生存之本,即便是经济技术高速发展的今天,土壤依然是最基本的生产要素和各种经济关系的物质载体。然而,随着现代工业和城镇化水平的不断提高,工业“三废”、生活废弃物的大量增加,化肥、农药、农膜等投入品大量使用,致使城镇生态环境受到不同程度污染。蔬菜质量安全与产地土壤有密切关系^[1,2],蔬菜地土壤重金属累积、迁移不仅影响植物、动物生长发育,而且可通过食物链进入人体,导致一些慢性疾病发生^[3]。因此,研究土壤重金属含量水平与生态风险具有重要的现实意义。

目前国内外有关蔬菜地土壤重金属的研究不断增多,研究重点多为土壤重金属空间分异、污染评

价、来源解析、生态修复、生物效应等,研究尺度多为省市和区县一级^[4~16]。在土壤重金属污染评价方面多采用地质累积指数法、潜在生态危害指数法、脸谱图法、综合指数法、尼梅罗综合指数法、污染负荷指数法、沉积物富集系数法和次生相富集系数法^[17~20]。这些方法各有特点和适用条件,也存在局限性^[21~23]。生态风险预警评估源于生态风险评价,它更强调对生态系统可能存在风险的警示研究,不但具有上述污染评价方法定量的特点,还能通过定

收稿日期:2006-04-25; 修订日期:2006-06-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40571006, 40313020); 上海市科委

项目(05DZ12007, 05JC14059); 上海市环保局招标项目

作者简介:王军(1975~),男,博士,讲师,主要研究方向为环境信息系统、灾害风险评估等, E-mail: jwang@geo.ecnu.edu.cn

量评价与警度内涵的关联,实现定性分析。长期以来,有关城镇一级蔬菜地土壤安全的研究很少。为此,本实验以城镇一级蔬菜地土壤为研究对象,对同种类型蔬菜地土壤重金属污染水平研究,并对蔬菜地土壤重金属生态风险进行预警评估,以期为合理利用城镇土地资源、提高城镇生态安全水平、保障城镇人群健康提供重要科学依据。

1 研究区概况

上海是我国经济发展最迅速,聚居人口最集中,城镇化程度最高的地区之一,近年来随着产业扩散和都市效应,小城镇经济和城镇建设发展迅速^[24]。崇明岛作为我国第3大岛,是上海最具潜在战略意义的发展空间之一。依照《崇明岛域总体发展规划》,崇明岛分为开发类型各异的崇南、崇东、崇西、崇中和崇北5个分区(图1)。崇南分区包括城桥镇、堡镇、陈家镇等,是全岛田园式城市化中心区和产业集聚区,该区蔬菜地土壤安全水平受到普遍关注。城桥镇、堡镇、陈家镇土壤偏碱性,平均pH值为 8.20 ± 0.153 。土壤全氮平均含量为 $1.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质平均含量为 $18.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷平均含量为 $9.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均属偏低水平。

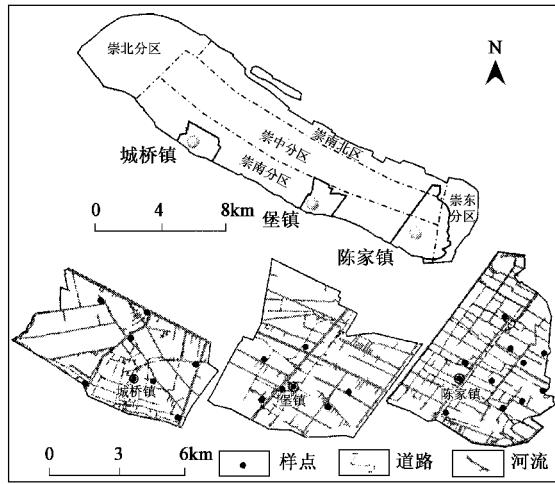


图1 崇明3城镇样点分布

Fig.1 Sampling sites of three towns in Chongming Island

2 材料与方法

2.1 样品采集及前处理

本研究于2005-11在3城镇主干公路沿线蔬菜地进行采样。城桥镇采集7个土壤样品,堡镇采集6个土壤样品,陈家镇采集10个土壤样品,共计23个

代表性样品(图1)。在各采样区,根据具体情况布设梅花型多点(5~12点),采集0~20 cm表层土壤,共采集土壤0.5~1.0 kg,混合均匀后按四分法获取足量样品装入聚乙烯塑料袋中,于实验室内自然风干,剔除植物残体和石块,磨碎、过100目筛,装瓶备测。

2.2 测试分析方法

分析项目为Cu、Zn、Pb、Cr和Cd。土壤样品经酸熔法($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$)加热消解后,采用Perkin Elmer公司生产的AANALYST800型原子吸收光谱仪,其中Cu、Zn、Pb和Cr测定采用火焰法,Cd采用石墨炉法。在重金属元素分析测定中采用国家标准土壤样品(GBW07046)进行全过程质量控制,每种元素测定的相对标准偏差均小于10%。

3 结果与讨论

3.1 蔬菜地土壤重金属含量

3城镇蔬菜地土壤重金属含量整体特征为Cu平均 $29.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为 $9.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为32.2%;Pb平均 $26.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为 $7.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为26.8%;Cr含量平均 $79.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为 $18.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为23.6%;Zn平均 $91.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为 $15.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为17.2%;Cd平均 $0.222 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差 $0.096 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为43.2%(表1)。3城镇蔬菜地土壤重金属变异系数在17.2%~43.2%间,说明5种重金属空间差异均不大,所布设采样点的土壤重金属含量能反映出3城镇土壤重金属的整体水平。

表1 崇明3城镇蔬菜地土壤重金属平均含量

Table 1 Average content of heavy metals in vegetable soils in three towns of Chongming Island

元素 采样点	最小值 $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	最大值 $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	平均值 $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	标准差 $/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	变异系数 /%
城桥镇	24.0	46.1	33.0	7.34	22.2
Cu 堡镇	26.1	50.4	31.6	9.46	29.9
陈家镇	18.7	43.9	25.1	7.26	28.9
城桥镇	22.1	30.3	26.0	2.86	11.0
Pb 堡镇	22.2	53.9	31.0	11.58	37.4
陈家镇	17.9	35.3	24.2	4.92	20.3
城桥镇	45.9	92.2	74.1	19.80	26.7
Cr 堡镇	73.7	109.3	86.2	13.60	15.8
陈家镇	43.1	123.8	79.1	20.98	26.5
城桥镇	74.5	114.1	96.9	15.01	15.5
Zn 堡镇	81.2	122.6	95.6	18.21	19.0
陈家镇	65.5	110.5	84.5	13.37	15.8
城桥镇	0.181	0.258	0.215	0.026	12.1
Cd 堡镇	0.136	0.257	0.190	0.040	21.1
陈家镇	0.154	0.626	0.246	0.141	57.3

3.2 蔬菜地土壤重金属污染水平

3城镇蔬菜地土壤重金属平均含量与文献[25]相比,除Cd在城桥镇和陈家镇超国家土壤一级标准外,Cu、Zn、Pb和Cr在3城镇均低于国家土壤一级标准(表2);与文献[26]相比,5种重金属均满足国家对绿色食品产地环境质量的要求。3城镇蔬菜地土壤重金属平均含量与上海土壤背景值^[27]相比,城桥镇Cu、Zn、Pb、Cr和Cd分别高出土壤背景值40.4%、26.2%、22.1%、14.7%和13.4%,堡镇分别高出土壤背景值34.5%、24.5%、45.5%、33.4%和41.8%,陈家镇分别高出土壤背景值6.8%、10.0%、13.6%、22.4%和83.6%,而崇南分区土壤重金属整体上分别高出土壤背景值24.3%、18.8%、24.4%、

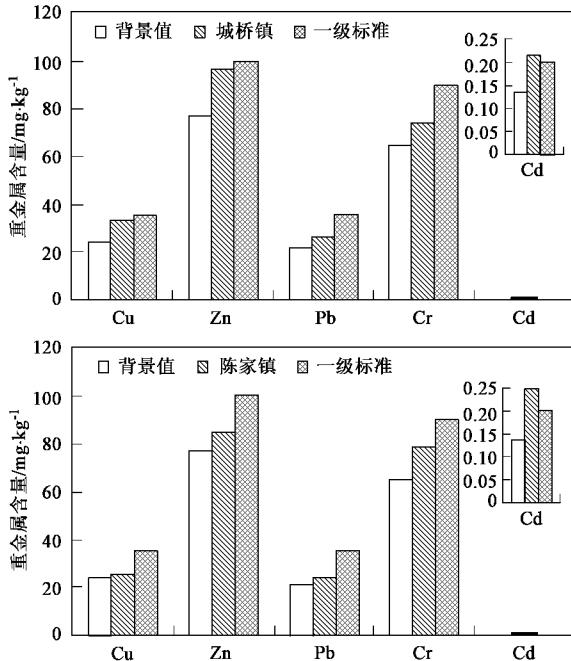


图2 崇明3城镇土壤重金属平均含量

Fig. 2 Average content of heavy metals in vegetable soils in three towns of Chongming Island

崇明与上海宝山区^[28]、浦东新区^[29]蔬菜地土壤重金属相比,宝山和浦东土壤Zn、Cd含量显著高于崇明,Cu、Cr略高于崇明,Pb则远低于宝山,但却略高于浦东(图3)。可见,在上海郊区中,崇明土壤重金属污染也属于较轻水平。

3.3 蔬菜地土壤重金属判源

城镇土壤重金属来源于成土母质和人类活动,同一来源的重金属之间存在着相关性,因此可根据土壤中重金属全量相关性推测重金属来源。若不同重金属间有显著的相关性,说明有相同来源的可能性较大,否则来源可能不止一个。崇明土壤中Cu、

22.9%和65.7%(表2,图2)。可见,崇南分区蔬菜地土壤受到Cd轻微污染,而Cu、Zn、Pb和Cr略高于上海土壤背景值,低于国家土壤一级标准,基本属于无污染。

表2 崇明岛蔬菜地土壤重金属污染水平/mg·kg⁻¹

Table 2 Heavy metal pollution level of vegetable soils in Chongming island/mg·kg⁻¹

级别	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd
国家土壤一级标准 ^[25]	35	100	35	90	0.20
国家土壤二级标准 ^[25]	100	300	350	250	1.00
绿色食品产地标准 ^[26]	60	无	50	120	0.40
上海市土壤背景值 ^[27]	23.5	76.8	21.3	64.6	0.134
崇南分区	29.2	91.2	26.5	79.4	0.222

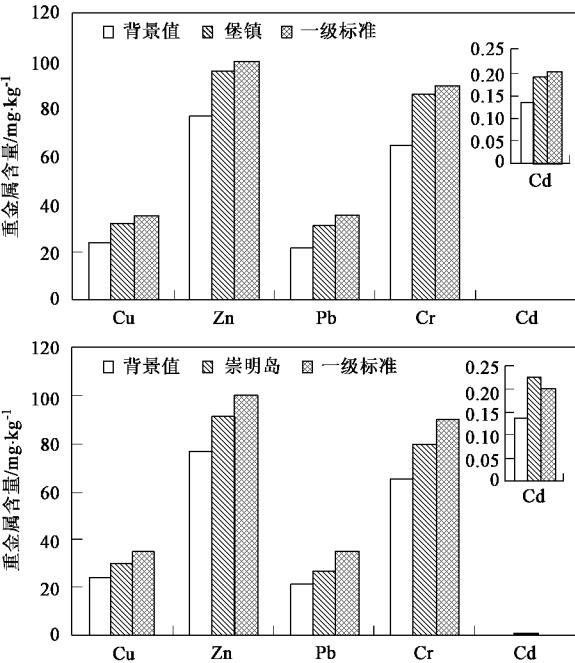


图3 上海市崇明、宝山、浦东新区蔬菜地土壤重金属含量

Fig. 3 Average content of heavy metals vegetable soils in Chongming, Baoshan and Pudong of Shanghai City

55
45
35
25
15
5
0.55
0.45
0.35
0.25
0.15
0.05

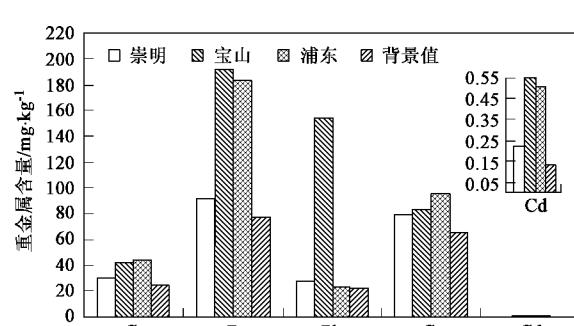


图3 上海市崇明、宝山、浦东新区蔬菜地土壤重金属含量

Fig. 3 Average content of heavy metals vegetable soils in Chongming, Baoshan and Pudong of Shanghai City

55
45
35
25
15
5
0.55
0.45
0.35
0.25
0.15
0.05

Zn、Pb、Cr 和 Cd 相关性分析表明: Cu 和 Zn、Pb, Pb 和 Zn, Pb 和 Cd 存在显著正相关(表 3)。Pb、Zn 和 Cu 元素间存在着明显正相关, 是因为这 3 种元素同属于亲硫元素, 它们的构型和性质相近, 在土壤中的地球化学行为十分相似, 说明这 3 种重金属元素在接受外来污染时, 可能存在相似性。

表 3 蔬菜地土壤重金属全量间的相关性¹⁾(n=23)

Table 3 Correlation coefficients of heavy metal content in vegetable soils

	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd
Cu	1				
Zn	0.997 ^{**}	1			
Pb	0.577 [*]	0.634 [*]	1		
Cr	-0.067	-0.004	0.124	1	
Cd	0.109	0.449	0.947 ^{**}	0.533	1

1)^{**} 相关系数在 0.01 概率水平上显著; ^{*} 相关系数在 0.05 概率水平上显著

样品均采自靠近公路的蔬菜地, 因此重金属以 2 种来源为主。来源一为交通运输。道路灰尘是环境中重金属重要来源之一^[30~38], 它在雨水冲刷下进入土壤和水环境, 释放出大量污染物质^[39,40]。Pb、Zn 和 Cu 常被作为交通污染源的标识元素^[41]。目前普遍公认的是含 Pb 汽油和柴油燃烧后尾气排放是街道灰尘重金属 Pb 的主要来源。Zn 在交通工具中被广泛用作抗氧剂和清洁剂^[42]。汽车轮胎与地面磨损则可产生含 Zn、Cd 较高的颗粒物^[43]。汽车润滑油在高温条件下与空气发生氧化反应生成的有机酸、醇、酮和醛等, 能腐蚀与其接触的含 Zn、Cu 和 Cd 等合金金属部件以及含 Ni、Cu 等油泵, 导致其向环境中释放重金属^[41]。来源之二为农业施肥。常用氮肥和钾肥中重金属含量很少, 混杂有重金属的主要磷肥、含磷复合肥以及以城市垃圾、污泥为原料的肥料。这些肥料中除含有一定量无机营养元素 K、Ca、Mn、B 和 Zn 等外, 还含有毒物质 As、Cr、Cd、F、Pd 和 Cu 等, 以 Cu 为例, 含 Cu 的杀真菌剂、化肥及有机肥施用可使土壤含 Cu 达到原始土壤的几倍乃至几十倍^[44~46]。另

外, 随着现代畜牧业发展, 饲料添加剂应用越来越广泛, 而其中往往含有一定量的重金属, 这些重金属随着畜粪便排出而污染环境, 这些肥料中的重金属也会积累在土壤中, 成为一种污染源^[47]。

综合分析可认为, 崇明 3 个城镇蔬菜地土壤重金属中 Pb、Zn、Cu 和 Cd 可能既来源于道路灰尘污染, 又来源于农业施肥。笔者还对 3 个城镇工业发展状况进行了系统调研, 发现堡镇和城桥镇是崇明岛重要的工业集中区, 而陈家镇目前工业水平相对较低, 这一特点和 3 个城镇重金属污染水平正好吻合, 即堡镇和城桥镇土壤重金属污染要严重于陈家镇, 因此 3 个城镇蔬菜地土壤重金属来源还可能与工业污染有关。

3.4 蔬菜地土壤重金属生态风险预警评估

3.4.1 生态风险预警评估方法

预警是对危机或危险状态的 1 种预前信息警报或警告。狭义预警仅指对自然资源或生态风险可能出现的衰竭或危机而建立的报警, 而广义预警则涵盖了生态风险的维护、防止危机发展的过程^[48,49]。本研究土壤重金属生态风险预警评估采用 Rapant 等提出的生态风险指数(I_{ER})进行表征^[50], 属于狭义预警。公式为:

$$I_{ER} = \sum_{i=1}^n I_{ERi} = \sum_i^n (c_{Ai}/c_{Ri} - 1)$$

式中, I_{ERi} 表示超过临界限量的第 i 种重金属生态风险指数; c_{Ai} 表示第 i 种重金属的实测含量 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); c_{Ri} 表示第 i 种重金属的临界限量 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); I_{ER} 表示待测样品生态风险指数。由于崇明岛的规划定位是建设成生态型岛屿, 对土壤环境质量有更高的要求, 因此, c_{Ri} 采用上海市土壤背景值。

3.4.2 生态风险预警评估标准与等级

Rapant 等^[50]给出了相应生态风险划分标准, 参考相关研究提出的生态风险程度描述^[3,51], 将生态风险预警指数值与警度作出了概念关联, 见表 4。

表 4 土壤生态风险预警综合判别标准

Table 4 Distinguish standard of ecological risk warning of soils

风险等级	风险指数	预警类型	风险程度描述
1	$I_{ER} \leq 0$	无警	生态系统服务功能基本完整, 生态环境基本未受干扰, 生态系统结构完整, 功能性强, 系统恢复再生能力强, 生态问题不显著, 生态灾害少
2	$0 < I_{ER} \leq 1.0$	预警	生态系统服务功能较为完善, 生态环境较少受到破坏, 生态系统尚完整, 功能尚好, 一般干扰下可恢复, 生态问题不显著, 生态灾害不大
3	$1.0 < I_{ER} \leq 3.0$	轻警	生态服务功能已有退化, 生态环境受到一定破坏, 生态系统结构有变化, 但尚可维持基本功能, 受干扰后易恶化, 生态问题显现, 生态灾害时有发生
4	$3.0 < I_{ER} \leq 5.0$	中警	生态系统服务功能几乎崩溃, 生态过程很难逆转, 生态环境受到严重破坏, 生态系统结构残缺不全, 功能丧失, 生态恢复与重建困难, 生态环境问题很大, 并经常演变为生态灾害
5	$I_{ER} > 5.0$	重警	生态系统服务功能严重退化, 生态环境受到较大破坏, 生态系统结构破坏较大, 功能退化且不全, 受外界干扰后恢复困难, 生态问题较大, 生态灾害较多

3.4.3 生态风险预警评估结果

城桥镇 7 个采样点中有 5 个样点属于轻警, 其余 2 个样点属于预警, 全镇综合评估 $I_{ER} = 1.636$, 为轻警; 堡镇 6 个采样点中有 2 个样点属于中警, 1 个样点为轻警, 其余 2 个样点属预警, 全镇综合评估 $I_{ER} = 1.799$, 为轻警; 陈家镇 10 个采样点中有 1 个样

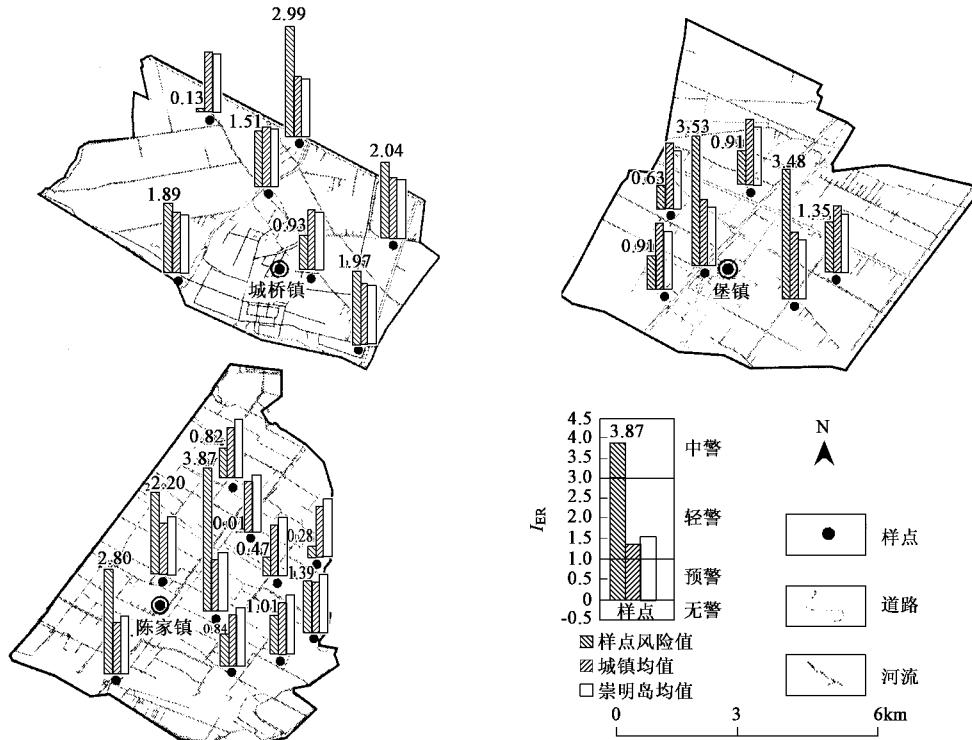


图 4 崇明岛 3 城镇蔬菜地土壤重金属生态风险预警评估

Fig.4 Result of ecological risk warning assessment of vegetable soils in three towns of Chongming Island

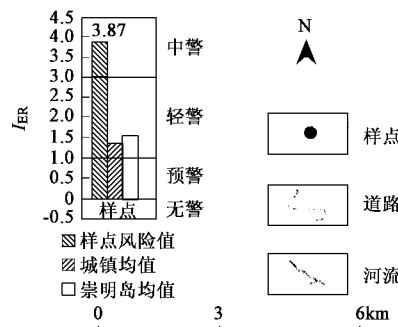
> 陈家镇 ($I_{ER} = 1.368$).

4 结论

(1) 崇明 3 城镇蔬菜地土壤重金属中 Cu、Pb、Cr、Zn 和 Cd 平均含量分别为: 城桥镇 $33.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $26.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $74.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $96.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.215 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 堡镇 $31.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $31.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $86.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $95.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.190 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 陈家镇 $25.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $24.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $79.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $84.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.246 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

(2) 崇明 3 城镇蔬菜地土壤重金属的总体含量为: Cu $29.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Pb $26.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cr $79.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Zn $91.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 Cd $0.222 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 除 Cd 在城桥镇和陈家镇超国家土壤一级标准外, 其余均低于国家土壤一级标准, 并且满足国家对绿色食品产地土壤重金属含量的要求. 与上海土壤背景值

点属于中警, 4 个样点属于轻警, 4 个样点属预警, 1 个样点属于无警, 全镇综合评估 $I_{ER} = 1.368$, 为轻警 (图 4). 3 城镇 23 个采样点中有 3 个样点属于中警, 10 个样点属于轻警, 8 个样点属于预警, 1 个样点属于无警, 综合评估 $I_{ER} = 1.562$, 为轻警; 3 城镇生态风险排序为堡镇 ($I_{ER} = 1.799$) > 城桥镇 ($I_{ER} = 1.636$)



相比, Cu、Pb、Cr、Zn 和 Cd 分别高出上海土壤背景值 24.3%、24.4%、22.9%、18.8% 和 65.7%.

(3) 崇明 3 城镇蔬菜地土壤重金属生态风险预警评估得出: 所有 23 个采样点中有 3 个样点属于中警, 10 个样点属于轻警, 8 个样点属于预警, 1 个样点属于无警, 综合评估 $I_{ER} = 1.562$, 为轻警; 3 城镇生态风险预警评估的优劣排序为: 堡镇 ($I_{ER} = 1.799$) > 城桥镇 ($I_{ER} = 1.636$) > 陈家镇 ($I_{ER} = 1.368$), 均属轻警.

参考文献:

- [1] 赵其国,周炳中,杨浩,等.江苏省环境质量与农业安全问题研究[J].土壤,2002,34(1):1~8.
- [2] 赵其国,周炳中,杨浩,等.中国耕地资源安全问题及相关对策思考[J].土壤,2002,34(6):293~302.
- [3] 许学宏,纪从亮.江苏蔬菜产地土壤重金属污染现状调查与评价[J].农村生态环境,2005,21(1):35~37.

- [4] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属环境风险测度与源解析[J]. 地球化学, 2006, 35(1): 88~94.
- [5] 甘居利, 贾晓平, 林钦, 等. 近岸海域底质重金属生态风险评价初步研究[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 533~538.
- [6] 程街亮, 史舟, 朱有为, 等. 浙江省优势农产区土壤重金属分异特征及评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 103~107.
- [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[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 39~45.
- [8] 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.
- [9] 杨元根, Paterson E, Campbell C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 44~48.
- [10] 朱建军, 崔保山, 杨志峰, 等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J]. 生态学报, 2006, 26(1): 146~153.
- [11] 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.
- [12] 肖鹏飞, 李法云, 付宝荣, 等. 土壤重金属污染及其植物修复研究[J]. 辽宁大学学报, 2004, 31(3): 279~283.
- [13] Nadal M, Schuhmacher M, Domingo J L. Metal pollution of soils and vegetation in an area with petrochemical industry [J]. The Science of the Total Environment, 2004, 321(1~3): 59~69.
- [14] Kennette D, Hendershot W, Tomlin A, et al. Uptake of trace metals by the earthworm *Lumbricus terrestris* L. in urban contaminated soils[J]. Applied Soil Ecology, 2002, 19(2): 191~198.
- [15] Huang K M, Lin S. Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan[J]. Chemosphere, 2003, 53(9): 1113~1121.
- [16] Chen M, Ma L Q, Singh S P, et al. Field demonstration of in situ immobilization of soil Pb using P amendments[J]. Advance in Environmental Research, 2003, 8(1): 93~102.
- [17] Vreca P, Dolenc T. Geochemical estimation of copper contamination in the healing mud from Makirina Bay, central Adriatic[J]. Environment International, 2005, 31(1): 53~61.
- [18] Audry S, Schafer J, Blanc G, et al. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)[J]. Environmental Pollution, 2004, 132(3): 413~426.
- [19] 何江, 王新伟, 李朝生, 等. 黄河包头段水沉积物系统中重金属的污染特征[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 53~58.
- [20] 赵智杰, 贾振邦, 张宝权, 等. 应用脸谱图与地积累指数法综合评价沉积物中重金属污染的研究[J]. 环境科学, 1993, 14(4): 48~52.
- [21] 霍文毅, 黄凤茹, 陈静生, 等. 河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J]. 地理科学, 1997, 17(1): 81~86.
- [22] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 近海沉积物重金属污染评价方法[J]. 海洋地质动态, 2005, 21(8): 31~36.
- [23] 张鑫, 周涛发, 杨西飞, 等. 河流沉积物重金属污染评价方法比较研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 28(11): 1419~1423.
- [24] 刘伟, 陈振楼, 许世远, 等. 上海市小城镇河流沉积物重金属污染特征研究[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 538~543.
- [25] 国家环境保护局科技标准司. 土壤环境质量标准(GB 15618-1995)[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [26] 沈德中, 杨林书, 张从, 等. 绿色食品产地环境质量标准(NY/T391-2000)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [27] 王云. 上海市土壤环境背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社出版, 1992.
- [28] 巫和昕, 胡雪峰, 张国莹, 等. 上海市宝山区土壤重金属含量及其分异特征[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2004, 10(4): 400~405.
- [29] 姚春霞, 陈振楼, 许世远, 等. 上海市浦东新区蔬菜地土壤重金属含量及评价[J]. 土壤, 2005, 37(5): 517~522.
- [30] 杜佩轩, 田晖, 韩永明. 城市灰尘概念、研究内容与方法[J]. 陕西地质, 2004, 22(1): 73~79.
- [31] 张菊, 陈振楼, 许世远, 等. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 519~523.
- [32] 王金达, 刘景双, 于君宝, 等. 沈阳市城区土壤和灰尘中铅的分布特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(3): 300~304.
- [33] Banerjee A D. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India[J]. Environmental Pollution, 2003, 123(1): 95~105.
- [34] Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, et al. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK[J]. Environmental International, 2003, 29(5): 563~573.
- [35] Li X, Poon C, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. Applied Geochemistry, 2001, 16(11~12): 1361~1368.
- [36] Sezgin N, Ozcan H K, Demir G, et al. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway[J]. Environment International, 2004, 29(7): 979~985.
- [37] Rasmussen P E, Subramanian K S, Jessiman B J. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada[J]. The Science of the Total Environment, 2001, 267(1~3): 125~140.
- [38] Sutherland R A, Tack F M G, Ziegler A D, et al. Metal extraction form road-deposited sediments using nine partial decomposition procedures[J]. Applied Geochemistry, 2004, 19(19): 947~955.
- [39] Campo G, Orsi M, Badino G, et al. Evaluation of motorway pollution in a mountain ecosystem. Pilot project: Susa Valley (Northwest Italy) year 1990~1994[J]. The Science of the Total Environment, 1996, 189~190: 161~166.
- [40] Ball J E, Jenks R, Aubourg D. An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces[J]. The Science of the Total Environment, 1998, 209(2): 243~254.
- [41] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [42] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属元素的富积特征与来源识别[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(1): 84~88.
- [43] Friedlander S K. Chemical element balances and identification of air pollution sources[J]. Environmental Science Technology, 1973, 7(7): 235~240.

- [44] Besnard E, Chenu C, Robert M. Influence of organic amendments on copper distribution among particle-size and density fractions in Champagne vineyard soils[J]. Environmental Pollution, 2001, **112**(3): 329~337.
- [45] Brun L A, Maillet J, Hinsinger P, et al. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils[J]. Environmental Pollution, 2001, **111**(2): 293~302.
- [46] Schramel O, Michalke B, Kettrup A. Study of the copper distribution in contaminated soils of hop fields by single and sequential extraction procedures[J]. The Science of the Total Environment, 2000, **263**(1~2): 11~22.
- [47] 周焱. 加强肥料规范化管理控制蔬菜重金属污染[J]. 环境污染与防治, 2003, **25**(5): 281~285.
- [48] 赵雪雁. 西北干旱区城市化进程中的生态预警初探[J]. 干旱区资源与环境, 2004, **18**(6): 1~5.
- [49] 何焰,由文辉. 水环境生态风险预警评价与分析——以上海市为例[J]. 安全与环境工程, 2004, **11**(4): 1~4.
- [50] Rapant S, Kordik J. An environmental risk assessment map of the Slovak Republic: Application of data from geochemical atlases[J]. Environmental Geology, 2003, **44**(4): 400~407.
- [51] 左伟,王桥,王文杰,等. 区域生态风险评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, **18**(1): 67~71.

《环境科学》征稿简则

- 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjkx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.
- 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.
- 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.
- 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.
- 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.
- 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.
- 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.
- 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.
- 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.
- 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:
期刊:作者.论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页~止页.
图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页~止页.
会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页~止页.
学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.
报告:作者.论文名[R].出版地.出版单位,出版年.
专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.
- 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.对未刊稿件一般不退,请作者自留底稿.
- 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: hjkx@rcees.ac.cn;网址:www.hjkx.ac.cn