

基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬菜重金属的环境质量评价

谢正苗^{1,2}, 李静^{1,2}, 王碧玲², 陈建军^{1,2}

(1. 杭州电子科技大学环境科学与工程系, 杭州 310018; 2. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

摘要: 以浙江省上虞市东关镇为例, 利用地统计学与 GIS 技术相结合的方法揭示了该地区土壤与蔬菜重金属含量的空间分布特征, 并评价其重金属的环境质量状况, 在参照评价标准的基础上, 绘制了土壤与蔬菜重金属的空间分布图, 并对其成因进行了探讨. 结果表明: 东关镇大部分田块存在着重金属分布不均的情况; Cu、Zn 的含量偏低, Pb、Cd 含量偏高; 全镇土壤和蔬菜重金属含量的空间变异很大, 土壤重金属的全量与有效态含量之间存在显著的正相关, 空间分布存在一定相似形, 与蔬菜的空间分布则存在很大的区别, 蔬菜重金属含量与土壤重金属的含量有一定的相关性, 基本都未达到显著水平; 小青菜中 Zn 和 Cu 的含量未超标, Pb、Cd 则超标.

关键词: 土壤; 蔬菜; 重金属; 地统计; GIS; 评价

中图分类号: X53; X820.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)10-2110-07

Evaluation on Environmental Quality of Heavy Metals in Soils and Vegetables Based on Geostatistics and GIS

XIE Zheng-miao^{1,2}, LI Jing^{1,2}, WANG Bi-ling², CHEN Jian-jun^{1,2}

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Environmental Science and Natural Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Contents of heavy metals (Pb, Zn, Cd, Cu) in soils and vegetables from Dongguan town in Shangyu city, China were studied using geostatistical analysis and GIS technique to evaluate environmental quality. Based on the evaluation criteria, the distribution of the spatial variability of heavy metals in soil-vegetable system was mapped and analyzed. The results showed that the distribution of soil heavy metals in a large number of soil samples in Dongguan town was asymmetric. The contents of Zn and Cu were lower than those of Cd and Pb. The concentrations distribution of Pb, Zn, Cd and Cu in soils and vegetables were different in spatial variability. There was a close relationship between total and available contents of heavy metals in soil. The contents of Pb and Cd in green vegetables were higher than those of Zn and Cu and exceeded the national sanitation standards for vegetables.

Key words: soil; vegetable; heavy metal; geostatistics; GIS; evaluation

自从 1950 年代以来, 中国的金属、工业矿物、建筑材料和能源材料等矿产资源被大量开采, 给陆地自然环境带来了相当大的损害. 据估计, 1994 年中国就有 500 万手工矿业工人工作在 28 万个矿区. 大量的小规模手工采矿业, 虽然产生了很大的经济效益, 也提供了许多就业机会, 但是加剧了对周边地表植被和水文条件的破坏和对大气、水体、土壤的污染^[1]. 矿区环境问题主要有工业粉尘、工业废水、尾矿砂堆积等, 而污染物类型则主要为重金属. 而且, 这些污染源大都具有扩散性, 所以有时候污染不仅仅只是一个点的问题, 而更可能是一个面、一个区域的问题. 其中, 尾矿库及其周边地区的环境尤为值得重视, 它的影响主要为有害金属粉尘, 尾矿砂流失, 附近农田和地下水易受污染等^[2~4].

我国在城郊土壤和蔬菜重金属污染研究方面已经取得了不少成果^[5~9], 但用地统计学与 GIS 技术

对整个区域进行土壤和蔬菜重金属环境质量评价的工作鲜见报道. 因此, 本评价选择浙江省上虞市东关镇 34 个行政村为研究对象, 以地统计与 GIS 技术相结合为研究手段对全镇表层土壤的环境质量和蔬菜的安全卫生进行综合的分析评定, 系统地研究全镇土壤和蔬菜重金属含量的空间分布特征、变异规律等, 并对其环境质量进行讨论, 提出了一些解决的对策.

1 材料与方法

1.1 研究区的概况

收稿日期: 2005-12-01; 修订日期: 2006-01-27

基金项目: 浙江省科技厅项目(2004); 杭州电子科技大学科研启动基金项目

作者简介: 谢正苗(1956~), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤环境污染化学和环境质量评价, E-mail: zhmxie@sina.com

东关镇位于上虞市西部,地处平原,共有 34 个行政村,土地总面积 31.2km²,其中:基本农田1 448 hm²,占土地总面积的 47.7%;一般农田 192hm²,占土地总面积的 6.1%,工矿用地 69hm²,占土地总面积的 2.2%(图 1 所示).土地利用形式多样且变化快速,地表覆盖结构复杂,全区地貌为沿江平原,河流、水面分布较多.本区土壤发育于不同时期的钱塘江冲积、淤积母质,主要土壤为潴育型水稻土下不同土属、各种旱耕熟化土壤.本区属亚热带季风气候区,年平均温度 16.4℃,年平均无霜期 251d,日照全年 3 000h,平均降雨量为 1 400mm.东关镇为上虞市主要农业生产区域,土壤资源传统利用形式为蔬菜和水稻种植^[10,11].

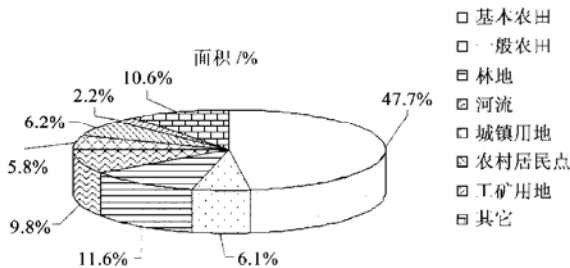


图 1 东关镇土地利用方式分布
Fig. 1 Distribution of land use in Dongguan town

1.2 土壤样品的采集及分析

本次取样采用 GPS 定位,供试土壤和蔬菜样品

是采自浙江省上虞市东关镇的 34 个行政村.样点布局考虑了土地利用方式和土壤类型,共采集了 61 个点,土壤采样深度为 20cm.项目包括土壤重金属全量(Total)和 蔬菜重金属(Vegetable)全量的测定^[12,13]:用王水在电热板上消煮后,过滤;土壤有效态(Available)重金属含量的测定^[12,13]:用 1 mol/L 乙酸铵(pH7.0)在 75 r/min 下振荡 24h,过滤;用日本岛津 AA6800 原子吸收分光光度计测定滤液中的重金属 Pb、Zn、Cd、Cu 含量.

1.3 数据处理

本数据处理采用地统计学和 GIS 技术相结合的方法处理.其中半方差分析采用 GS+ 3.1 软件,土壤属性的空间插值采用 Kriging 插值法. GIS 平台为 ESRI 公司的 Arc/Info8.1 和 Arcview 3.2.

1.4 土壤-蔬菜专题图的产生

克里格插值法是对区域变量进行无偏最佳估值的一种可靠方法^[14].采用 GIS 软件平台 ArcGIS8.1 中普通克里格法,在约束条件下可根据采样点的含量分布对土壤和蔬菜属性进行最优、无偏估值,产生土壤-蔬菜环境质量分布图.

2 结果与讨论

2.1 土壤重金属的统计特征值

土壤表层样品的重金属含量测定结果的描述性统计见表 1.

表 1 土壤中重金属含量/mg·kg⁻¹
Table 1 Heavy metal concentrations in soil /mg·kg⁻¹

项目	分布类型	样本数	平均值	最小值	最大值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
Total-Pb	lgN	61	140.9	67.3	454.5	85.9	61.0	1.0	0.4
Total-Zn	偏态	61	94.7	51.7	328.4	38.3	40.4	4.3	23.7
Total-Cd	N	61	2.6	1.7	3.4	0.4	17.0	0.1	-0.9
Total-Cu	N	61	32.0	5.4	71.8	12.6	39.3	0.2	0.6
Avail-Pb	lgN	61	27.7	0.8	195	43.9	158.8	0.3	-0.2
Avail-Zn	lgN	61	10.0	3.0	33.9	4.9	49.1	-0.4	0.2
Avail-Cd	偏态	61	0.1	0.0	1.0	0.1	77.9	6.7	49.2
Avail-Cu	lgN	61	10.9	3.7	22.6	3.2	29.4	-0.4	1.8

从表 1 看出,Pb 含量 67.3~ 454.5 mg·kg⁻¹,平均值为 140.9 mg·kg⁻¹;Zn 含量 51.7~ 328.4 mg·kg⁻¹,平均值 94.7 mg·kg⁻¹;Cd 含量 1.7~ 3.4 mg·kg⁻¹,平均值 2.6 mg·kg⁻¹;Cu 含量 5.4~ 71.8 mg·kg⁻¹,平均值 32.0 mg·kg⁻¹,4 种元素的平均值均超过浙江省土壤背景值,除 Cd 外都未超过国家二级标准中的土壤环境质量限定值,见表 2. Avail-Pb 含量 0.8~ 195.0 mg·kg⁻¹,平均值 27.7 mg·kg⁻¹;Avail-Zn 含量 3.0~ 33.9 mg·kg⁻¹,平均

值 10.0 mg·kg⁻¹; Avail-Cd 含量 0.0~ 1.0 mg·kg⁻¹,平均值 0.1 mg·kg⁻¹; Avail-Cu 含量 3.7~ 22.6 mg·kg⁻¹,平均值 10.9 mg·kg⁻¹,Pb、Zn、Cd、Cu 这 4 种重金属有效态的含量都相对较高.从变异系数看,Total-Pb>Total-Zn>Total-Cu>Total-Cd,Avail-Pb>Avail-Cd>Avail-Zn>Avail-Cu.土壤中 Total-Pb 和 Avail-Pb 的变异系数最大,平均变异程度较高,说明土壤受到 Pb 外来污染的影响也最大.从偏度和峰度值来看,Total-Pb、Avail-Pb、Avail-

Zn、Avail-Cu 呈对数正态分布, Total-Cd 和 Total-Cu 呈正态分布, Total-Zn 和 Avail-Cd 呈偏态分布。

表 2 国家土壤-蔬菜重金属环境质量标准

Table 2 Evaluated standards of heavy metal concentrations in soil and vegetable environment

项目	pH	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	Total Pb/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Total Zn/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Total Cd/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Total Cu/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
供试土壤	5.92	12.5				
国家二级标准 ^[15, 16]	< 6.50		250	200	0.30	50
浙江省土壤背景值 ^[17]			24.5	84.8	0.20	19.8
食品卫生标准限值 ^[15, 16]			0.2	20	0.05	10

2.2 土壤重金属的结构分析

半方差函数在原点处的数值称为块金常数 (c_0), 它由测定误差和小于最小采样尺度的非连续性变异引起, 属于随机变异; 基台值 ($c_0 + c_1$) 通常表示系统内的总变异, 它是结构性变异和随机性变异之和。块金值 c_0 与基台值 ($c_0 + c_1$) 之比是反映区域化变量空间异质性程度的重要指标, 又称为块金效应。该比值用以反映空间变异影响因素中区域因素(自然因素)和非区域因素(人为因素)的作用。当

$c_0/(c_0 + c_1) < 25\%$ 时, 表明变量的空间变异以结构性变异为主, 变量具有强烈的空间相关性; 当上述比值 $25\% < (c_0 + c_1) < 75\%$ 时, 变量为中等程度空间相关; $> 75\%$ 时, 以随机变量为主, 变量的空间相关性很弱。变程表示空间自相关范围, 它与观测以及取样尺度上影响土壤性状的各种过程的相互作用有关, 在变程范围内, 变量有空间自相关性, 反之则不存在^[17]。决定系数(r^2)表示拟合精度, r^2 越大, 则拟合效果越好^[18]。

表 3 土壤中重金属含量的半方差函数理论模型及其相关参数

Table 3 Theoretical semivariogram models of soil heavy metals and their corresponding parameters

项目	理论模型	块金常数 c_0	基台值 $c_0 + c_1$	有效变程 / m	块金常数/基台值 $c_0/(c_0 + c_1)$	决定系数 r^2
Total Pb) ¹⁾	球型	0.00	0.29	4 130	0.00	0.943
Total Zn	球型	0.01	0.08	1 090	0.17	0.648
Total Cd	指数型	0.12	0.23	7 350	0.50	0.799
Total Cu	球型	99.30	256.10	10 430	0.39	0.900
Avail Pb) ¹⁾	球型	0.03	3.79	3 710	0.01	0.955
Avail Zn) ¹⁾	指数型	0.03	0.45	8 700	0.07	0.920
Avail Cd	指数型	0.00	0.18	2 310	0.00	0.556
Avail Cu) ¹⁾	指数型	2.68	10.58	510	0.25	0.138

1) 经对数转换

利用 GS+ 拟合土壤中元素 Pb、Zn、Cd、Cu 全量和有效态含量的半方差函数理论模型及其相关参数见表 3。根据表 3, Total-Pb、Total-Zn、Total-Cu、Avail-Pb 的变异函数理论模型符合球状模型, 其余的均符合指数模型。除 Avail-Cu 外, 其余的半方差函数模型拟合度均在 0.5 以上, 说明半方差函数模型的选取基本符合要求。Total-Cd、Total-Cu、Avail-Cu 的 $25\% < c_0/(c_0 + c_1) < 75\%$, 空间相关性中等, 说明其在研究区域上主要是由污染、施肥等随机因素引起的空间变异占较大比重; 其余形态的 $c_0/(c_0 + c_1) < 25\%$, 表现出较强的空间相关性, 说明其空间变异主要是土壤母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的。从变程大小看, 土壤中以 Total-Cu 变程最大, 说明其在较大的范围内均有相关关系, 反映结构因素(土壤母质)对其影响较大; Avail-Pb 和

Avail-Cu 的变程较小, 说明它们受到灌溉、施肥等人为活动的随机因素的含量影响较大, 导致在较小的范围内存在相关关系。

2.3 蔬菜重金属统计分析 & 污染评价

小青菜可食部位重金属监测统计及基于食品卫生标准限值评价结果见表 4。

表 4 小青菜重金属含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 4 Heavy metal concentrations in green vegetable/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

项目	Vegetable-Pb	Vegetable-Zn	Vegetable-Cd	Vegetable-Cu
含量范围	0.4~ 2.6	0.7~ 9.1	0.0~ 1.0	0.2~ 4.0
平均值	1.6	4.3	0.2	0.5
标准差	0.5	1.6	0.2	0.5
变异系数	32.3	36.4	76.8	100.4
污染指数	8.0	0.22	4.0	0.1

Vegetable-Pb 含量 0.4~ 2.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值

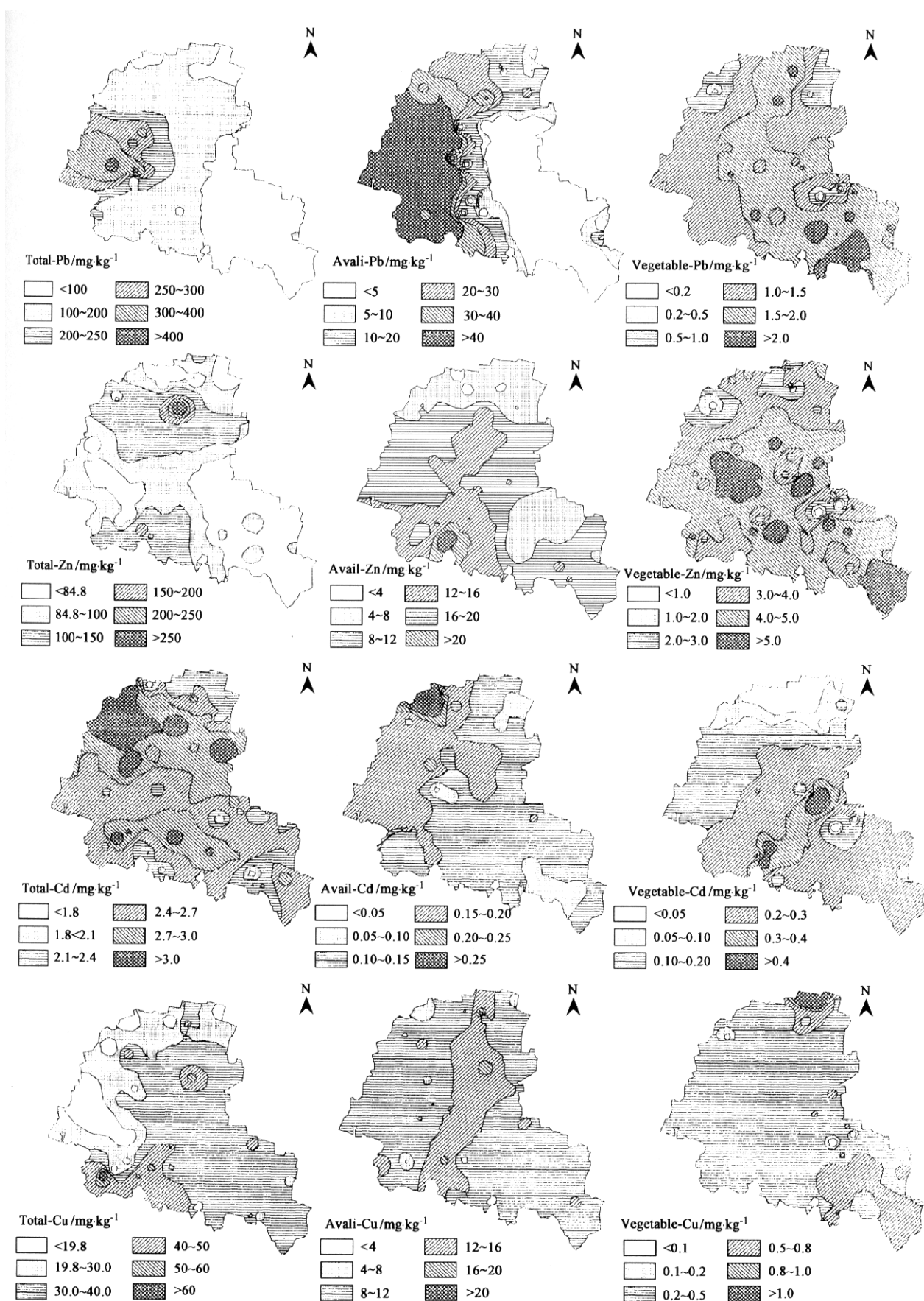


图 2 东关镇土壤-蔬菜重金属空间分布

Fig. 2 Spatial variation of heavy metals in soils and vegetables in Dongguan town

$0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Vegetable Zn 含量 $0.7 \sim 9.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值 $4.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Vegetable Cd 含量 $0.0 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Vegetable Cu 含量 $0.2 \sim 4.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Pb、Cd 含量超过食品卫生标准限值, 说明小青菜受到 Pb 和 Cd 的污染, Zn、Cu 含量反之. 从变异系数看, $\text{Vegetable Cu} \gg \text{Vegetable Cd} \gg \text{Vegetable Zn} > \text{Vegetable Pb}$, 其中 Cu 的变异系数达到 100.4%, 说明平均变异程度最大.

2.4 土壤-蔬菜重金属的空间分布特征

根据国家土壤和蔬菜的环境质量标准(表 2), 以东关镇土地利用现状图作底图, 借助空间变异理论和点状克里格内插法, 运用 Arc/Info 对离散的采样点进行连续插值可获得土壤-蔬菜重金属含量的空间变异分布, 见图 2.

从图 2 可看出: 土壤中 Total Pb、Total Zn、Total Cd、Total Cu 相互间空间分布存在很大差异, Total Cu、Total Zn 含量局部区域低于浙江土壤背景值, Total Pb、Total Zn、Total Cu 含量大都介于背景值与国家二级标准之间, Total Cd 含量都远高于国家二级标准; Avail Pb、Avail Zn、Avail Cd、Avail Cu 的含量都相对较高, 且相互间空间分布存在差异; 蔬菜中 Zn、Cu 含量全都低于食品卫生标准限值, Pb 含

量全部大于食品卫生标准限值, Cd 则局部区域低于食品卫生标准限值. 土壤中 Total Pb 和 Avail Pb 的空间分布相似, 分布表现为西部含量偏高, 东南部含量偏低, 北部与中部含量居中; Total Zn 和 Avail Zn 的空间分布相似, 分布表现为北部及东南部含量偏低, 中部及西南部偏高; Total Cd 和 Avail Cd 的空间分布存在差异, Total Cd 在北部含量偏高, 西南部和中部含量居中, 南部偏低, Avail Cd 含量分布比较均匀, 大都分布在 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 除东南和东北的局部区域含量 $< 0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; Total Cu 和 Avail Cu 的空间分布相似, 分布表现为中部和东南部含量偏高, 西北部含量偏低. 蔬菜可食部位的 Pb、Zn、Cd、Cu 含量的空间分布相似, 分布表现为北部偏低, 中部和西南部居中, 东南部含量最高, 与对应土壤 Pb、Zn、Cd、Cu 的全量及有效态含量的空间分布存在很大的区别.

2.5 成因分析

2.5.1 土壤中重金属及其影响因素的相关分析

为了探求土壤重金属的化学行为和其空间分布的差异性, 对土壤中 Pb、Zn、Cd、Cu 的全量和有效态的含量进行相关分析, 并分别对其与土壤的一些基本理化性质进行相关性分析, 见表 5.

从表 5 可以看出, 土壤中 Pb、Zn、Cu 的全量分

表 5 土壤重金属的全量、有效态和基本理化性质的相关性分析¹⁾

Table 5 Correlation coefficients among total and available contents of heavy metals, pH value and organic matter content in soil

	Total Pb	Total Zn	Total Cd	Total Cu	Avail Pb	Avail Zn	Avail Cd	Avail Cu	pH	OM
Total Pb	1									
Total Zn	0.082	1								
Total Cd	0.092	0.258*	1							
Total Cu	-0.204	0.301*	-0.135	1						
Avail Pb	0.865**	0.071	0.077	-0.328**	1					
Avail Zn	0.226	0.493**	-0.03	0.405**	0.155	1				
Avail Cd	0.072	0.058	0.241	-0.22	0.157	-0.047	1			
Avail Cu	0.041	0.262*	-0.144	0.63**	-0.099	0.363**	-0.193	1		
pH	-0.236	0.422**	-0.046	0.324*	-0.197	-0.092	0.124	0.053	1	
OM	-0.215	-0.239	-0.033	-0.171	-0.2	0.079	0.151	0.007	-0.119	1

1) * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$, 下同

别与对应的有效态含量相互间都显著正相关 ($p < 0.01$), 其中土壤 Total Zn 与 Total Cd、Total Cu 之间都存在显著正相关 ($p < 0.05$). 土壤重金属 Pb、Zn、Cd、Cu 有效态含量与 pH 值和有机质含量有一定的相关性, 但未达到显著水平, 其中 Avail Zn 与 Avail Cu 之间存在显著正相关, 相关系数为 0.363 ($p < 0.01$).

通过相关性分析可解释土壤重金属空间分布的差异性. 土壤重金属的全量及有效态含量之间存在

显著的正相关, 这可能是因为土壤重金属元素之间存在多种形式的相互作用, 即共存作用的关系. pH 值和有机质含量与土壤重金属含量无多大相关性.

对于东关镇土壤表层 Pb、Zn、Cd、Cu 含量在土壤中呈现出不均衡的空间分布现象, 具体原因还有待进一步地研究与探讨. 其中可能与土壤类型、气候、种植作物、施肥历史、施肥品种及农民素质等有关. 东关镇以前是一年两作, 种植结构较复杂, 粮、棉、油、菜、果树均有种植, 而近年来是一年一作, 种

植结构单一;同时分产到户的土地利用经营模式,也可能是造成不同地块土壤存在着重金属分布不均的一个原因.

另外,据调查了解,东关镇没有大型的乡镇企业及工业,因此,工业污染不是造成土壤重金属污染的原因.但是东关镇工矿用地较多,占该区域总面积的2.2%,大量矿区的粗放式开采,造成邻近土壤的破坏和引起土壤重金属污染,导致全镇背景值含量偏高.由于交通、村民生活方式及习惯的原因,可能造成距离道路、河流、住宅区较近的田块重金属含量因为汽车尾气、污水灌溉、生活污水及生活垃圾等等而高于其它田块重金属的含量^[19].

2.5.2 蔬菜中重金属及其影响因素的相关分析

小青菜可食部位 Zn、Cu 的含量未超标, Pb、Cd 则超标,而土壤重金属环境质量除 Cd 外, Pb、Zn、Cu 都未超过国家二级标准中的土壤环境质量限定值(主要适用于一般农田及菜地土壤),由此可以认为蔬菜重金属超标的成因较为复杂,很有可能与来源不明的污染源有关,例如蔬菜地长年大量施用垃圾肥、污水灌溉、污泥农用及矿山开采的大气和灰尘沉降等等.土壤的重金属是影响蔬菜重金属含量的一个因子,蔬菜重金属污染还受到大气、水质环境等多种环境因子的影响^[6].

本研究未对大气、水进行分析,以下仅从土壤重金属方面考虑对蔬菜的影响:

(1) 蔬菜重金属含量与土壤重金属全量间的关系 为了说明土壤重金属的含量对蔬菜重金属含量的直接影响,以及蔬菜对重金属的吸收和累积特性

表 7 蔬菜与土壤有效态重金属含量的相关性

Table 7 Correlation coefficients among available content of heavy metals in soil and content of heavy metals in vegetable

	Avail-Pb	Avail-Zn	Avail-Cd	Avail-Cu	Vegetable-Pb	Vegetable-Zn	Vegetable-Cd	Vegetable-Cu
Avail-Pb	1							
Avail-Zn	0.155	1						
Avail-Cd	0.157	-0.047	1					
Avail-Cu	-0.099	0.363**	-0.193	1				
Vegetable-Pb	-0.124	0.059	-0.205	0.258	1			
Vegetable-Zn	0.009	0.178	-0.081	0.035	0.242	1		
Vegetable-Cd	-0.152	0.396**	-0.157	0.131	0.339**	0.512**	1	
Vegetable-Cu	-0.087	-0.174	-0.067	0.1	0.121	-0.021	-0.095	1

蔬菜重金属含量与土壤有效态重金属的含量有一定的相关性,除 Cd 含量与有效态 Zn 呈明显的正相关外($p < 0.01$),其余的都未达到显著水平,说明蔬菜重金属含量主要存在其它外来的污染,与土壤重金属的含量联系不大.同时,通过相关性分析可说

明土壤-蔬菜重金属空间分布存在的差异性.其中,小青菜 Pb 含量超标可能与大气污染有关,因为,小青菜属叶菜类,而以大气污染为主要来源的气态或尘态 Pb 在叶菜类的表面吸附能力较强^[7,9];至于小青菜 Cd 含量的超标,还有待进一步地研究.

富集系数= $\frac{\text{蔬菜含量}}{\text{土壤含量}} \times 100\%$

小青菜重金属含量的富集系数见表 6.

表 6 蔬菜中各元素富集系数

Table 6 Enrichment coefficients of heavy metals in green vegetable

项目	Pb	Zn	Cd	Cu
蔬菜测定值	1.56±0.50	4.28±1.56	0.21±0.16	0.48±0.48
土壤测定值	141±86	95±38	2.6±0.4	32±13
富集系数	1.37	4.85	8.05	1.79

从表 6 的结果看,土壤与蔬菜中重金属含量存在着一定的相关性.小青菜富集系数是 $Cd \gg Zn \gg Cu > Pb$.可能是由于小青菜自身的生理特征差异,特别能富集 Cd;另外, Zn 和 Cu 都是蔬菜的营养元素,蔬菜对其有一定的需求量,理应有较高的吸收量,但土壤 Cu 的有效性较低,故富集系数不高;在土壤-蔬菜系统中, Pb 不是蔬菜的必需营养元素,所以 2 种蔬菜对 Pb 的富集系数低于 Zn,而与 Cu 接近^[7,8].

(2) 蔬菜重金属含量与土壤有效态含量间的关系 土壤重金属的有效态相对于全量更具有可移动性及生物有效性,易被作物吸收.因此,为更好的说明土壤重金属对小青菜的影响,对小青菜 Pb、Zn、Cd、Cu 含量与土壤重金属有效态的含量之间进行相关性分析,见表 7.

明土壤-蔬菜重金属空间分布存在的差异性.其中,小青菜 Pb 含量超标可能与大气污染有关,因为,小青菜属叶菜类,而以大气污染为主要来源的气态或尘态 Pb 在叶菜类的表面吸附能力较强^[7,9];至于小青菜 Cd 含量的超标,还有待进一步地研究.

3 结论

(1) 调查研究及测定结果的分析和评价表明, 东关镇土壤中重金属 Cu 局部区域低于浙江土壤背景值, Pb、Zn 都介于背景值与国家二级标准之间, Cd 含量都远高于国家二级标准。

(2) 土壤中 Total Pb、Total Zn、Total Cu、Avail Pb 的变异函数理论模型符合球状模型, Total Cd、Avail Zn、Avail Cd、Avail Cu 符合指数模型。Total Pb、Total Zn、Avail Pb、Avail Zn、Avail Cd 的空间变异主要是气候、土壤母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的; Total Cd、Total Cu、Avail Cu 主要是由污染、施肥等随机因素引起的空间变异占较大比重。

(3) 土壤重金属的全量与有效态含量之间存在显著的正相关, 相互间空间分布存在一定相似形, 与蔬菜的空间分布则存在很大的区别。蔬菜重金属含量与土壤重金属的含量有一定的相关性, 但未达到显著水平。

(4) 小青菜重金属 Zn、Cu 未超过无公害蔬菜卫生标准, Pb、Cd 则远超过无公害蔬菜卫生标准, 说明这 2 种蔬菜已经受到 Pb、Cd 元素的污染, 因此必须采取相应的措施对蔬菜中 Pb、Cd 含量超标情况进行控制。

参考文献:

- [1] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 161~169.
- [2] 周东美, 王玉军, 郝秀珍, 等. 铜矿区重金属污染分异规律初步研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(3): 225~227.
- [3] 陶家元. 矿区生态环境初步研究——以大冶铜绿山及其周围地区为例[J]. 长江流域资源和环境, 1997, 6(4): 355~362.
- [4] Li J, Xie Z M, Xu J M, et al. Risk Assessment of Heavy Metals Contaminated Soil in the Vicinity of a Lead/Zinc Mine [J]. Journal of Environmental Science, 2005, 17(6): 881~885.
- [5] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(5): 476~480.
- [6] 李静, 谢正苗, 徐建明, 等. 杭州市郊蔬菜地土壤重金属环境质量评价[J]. 生态环境, 2003, 12(3): 277~280.
- [7] 李秀兰, 胡雪峰. 上海郊区蔬菜重金属污染现状及累积规律研究[J]. 化学工程师, 2005, 5: 36~38, 59.
- [8] 赵锁芳, 段敏, 马往校, 等. 西安市蔬菜中重金属污染调查研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 112~116.
- [9] 段敏, 马往校, 李岚. 陕西省部分城市蔬菜中重金属污染研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, (4): 89~94.
- [10] 章明奎, 魏孝孚, 厉仁安. 浙江省土系概论[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [11] 李家鸿, 杨斌辉. 中国城镇——浙江卷[M]. 北京: 中国城市出版社, 1991. 919~921.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 305~336.
- [14] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557~563.
- [15] GB15618—1995. 土壤环境质量标准[S].
- [16] 黄国锋, 吴启堂, 容天雨, 等. 无公害蔬菜生产基地环境质量评价[J]. 环境科学研究, 1999, 12(4): 53~56.
- [17] 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.
- [18] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advanced Agronomy, 1985, 38: 44~49.
- [19] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 329~380.