

葫芦岛市土壤铅空间分布及污染评价

李亮亮¹, 王延松², 张大庚^{1*}, 依艳丽¹

(1 沈阳农业大学, 沈阳 110161; 2 辽宁省环境科学院, 沈阳 110116)

摘要: 利用地理信息系统及地统计学, 对葫芦岛地区土壤中 Pb 的污染状况进行了分析。在已有监测数据的基础上, 通过 Kriging 插值, 对 Pb 污染进行单因子评价, 制作了该地区土壤 Pb 污染的预测表面, 得到研究区土壤 Pb 的分布图, 并对其空间变异性进行了分析和解释, 对土壤 Pb 的污染评价标准进行了探讨。

关键词: 铅; 污染指数; 评价标准; 空间变异

中图分类号: X53

Pb 不是作物生长的必需元素, 而是一种对植物有积累性危害的污染物质, 与其他污染物相比, 在环境中的滞留时间较长。重金属 Pb 进入环境后不能被微生物降解, 一方面在土壤中残留、富集; 另一方面被作物吸收, 表现出毒害效应^[1]。Pb 一旦污染土壤, 很难降解、去除。Pb 对作物的影响主要表现在危害生长, 降低产量, 并且可通过土壤-作物系统进入食物链, 危害人体健康。

近年来污染土壤修复技术已成为全球的热点研究与应用发展领域之一, 人们正尝试着利用各种途径清除或削弱土壤的重金属污染^[2], 如土壤淋洗、加入土壤改良剂使重金属固化、改变重金属形态或通过生物措施 (如“植物修复”技术) 等。然而, 无论何种修复途径, 必须首先了解土壤的污染状况, 污染类型、程度, 污染物来源等, 才能有效地采取相应措施。利用地统计学方法研究土壤重金属的空间变异性已有较详细的范例, 赵永存等^[3]、殷云龙等^[4]、张庆利等^[5]、Rossi 等^[6]、姜勇等^[7]分别对土壤重金属进行了空间变异性的研究, 绘制出了当地的土壤重金属分布图并指出了污染的来源。葫芦岛是辽宁省的重工业基地之一, 石油化工、有色金属、机械制造是支撑全市经济的三大支柱产业。市内主要大型企业有锦西炼油化工总厂、葫芦岛锌厂、锦化化工、渤海造船厂等。这些工业企业给葫芦岛地区带来了巨大的经济效益, 但与此同时, 各厂所排放的废渣、废气、废水也使那里的重金属污染日趋严

重, 给人们的生命安全带来了威胁。其中 Pb 作为主要的污染元素, 必然对周围的环境造成巨大的影响。然而, 由于 Pb 的移动性较差, 污染的临界值较高, 常常被忽视。本文通过对葫芦岛地区 Pb 含量的分布及污染评价的研究, 为葫芦岛地区区域环境治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于辽宁省西南部, 东经 119°13' ~ 121°02', 北纬 39°59' ~ 41°14', 总面积为 1199 km², 无霜期 155 ~ 180 天, 冬季以东北风为主, 夏季以西南风为主。区内主要以海拔 600 m 以下低山、丘陵及平原为主。土壤类型主要以棕壤为主。该区域为中温带半湿润大陆季风气候区, 种植制度基本上是一年一熟, 主要作物为玉米、高粱和大豆。

1.2 土壤及植物样品的采集

供试土样采自葫芦岛市连山区、龙岗区, 采集时间是 2003 年 4 月中旬。利用 MapInfo 软件绘制地理信息图, 依照网格法标注采样点, 同时利用 GPS 定位 (图 1)。采点总计: 表层土壤样品 240 个点。植物样品的采集是根据以往的研究结果, 有选择性地在有较大污染源和无污染源的地点采集植物全株。

1.3 样品的测定及评价方法

土壤中的 Pb 采用 HNO₃-HCl-HClO₄ 消解, 原子吸收分光光度法测定^[8]。植物样品中 Pb 全量的测

①基金项目: 国家自然科学基金 (40271057) 资助。

* 通讯作者

作者简介: 李亮亮 (1971—), 男, 北京人, 博士研究生, 副教授, 主要从事土壤重金属污染研究。E-mail: lll 204600@ 163.com

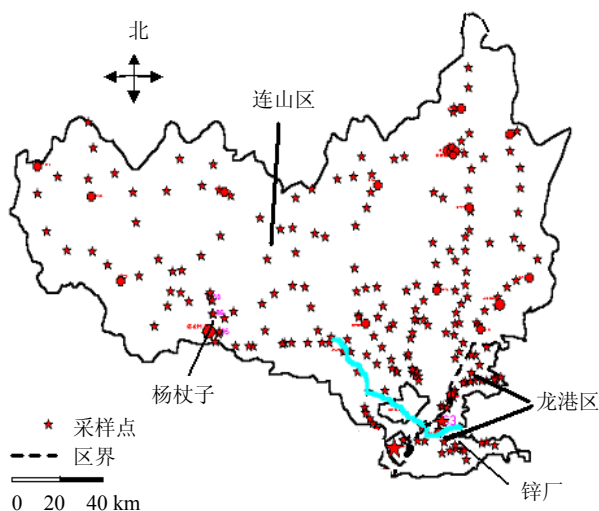


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 Distributions map of the sampling sites

定采用国标 GB5009.12-85 的方法。

污染水平评价方法采用单因子^[9]污染指数法及其分级方法。评价标准采用土壤环境质量标准中的二级标准 (GB15618-1995) 对该地区的土壤重金属污染程度进行评价。

1.4 数据及图件处理

实验测得数据, 利用 Excel 进行数据整理; 利用 Mapinfo 进行图件的矢量化及布点; 利用地理信息系统软件 Arcview3.2, 应用 MapGis 构建重金属元素含量的等值面和污染指数等值面的空间格局图; 利用 SPSS 软件进行数理统计分析。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤 Pb 含量的分布

研究区土壤 Pb 含量均值 49.48 mg/kg, 最小值 14.13 mg/kg, 最大值 239.75 mg/kg, 标准差 32.65 mg/kg, 变异系数 0.66, 呈对数正态分布。土壤样品 Pb 含量变化较大, 离散程度比较突出, Pb 的最大值与最小值比值为 16, 表明研究区土壤具有明显的重金属高度富集的特征, 该地区的一些土壤已经受到了 Pb 的污染。

Pb 含量的分布均呈非正态分布, 主要是因为土

壤样品 Pb 含量受环境影响较大, 分布较复杂。但经过对数转换后数据呈正态分布, 满足地统计学理论中有关特征假设, 符合变异函数的计算要求, 因为变异函数的计算一般要求数据符合正态分布, 否则可能存在比例效应^[3]。

2.2 研究区土壤 Pb 含量的空间变异分析

空间分析和地统计学是地理信息系统的重要功能之一, 也是利用 GIS 进行污染分析的主要手段。根据各个样点各项指标的数据, 计算出实际半方差函数的值 $\gamma(h)$, 绘制实际半方差函数曲线, 然后选择几个 (各向同性) 模型分别进行拟合, 从中选出最优的半方差函数理论模型。

块金值也称为块金常数, 通常表示由于试验误差和小于试验采样尺度所引起的变异, 一般以块金常数与基台值的比值, 作为衡量空间相关程度的尺度^[10]。如果块金值较大, 表示较小尺度上的某些过程影响不能忽视。块金方差/基台值 (C_0/C_0+C) 可表示空间变异程度 (由随机部分引起的空间变异占系统总变异的比例), 如果该比值较高, 说明由随机部分引起的空间变异性程度较大; 相反, 则由空间自相关部分引起的空间变异性程度较大; 如果该比值接近于 1, 则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异。从结构性因素的角度来看, C_0/C_0+C 可表示系统变量的空间相关性程度, 如果比例 $< 25\%$, 说明变量具有强烈的空间相关性; 在 $25\% \sim 75\%$ 之间, 变量具有中等的空间相关性; $> 75\%$ 时, 变量空间相关性很弱^[11-12]。表 1、图 2 数据表明, 研究区 Pb 的 C_0/C_0+C 为 17.2%, 说明 Pb 体现为强烈的空间相关性, 这是由于其空间变异是由结构性因素引起所致。虽然结构性因素是指如气候、母质、地形、土壤类型等自然因素, 但是由于研究区内有较大的重金属污染源, 经过长时间的污染而没有得到任何的治理, 使其从统计学上表现出类似自然因素引起的污染。因此不能单纯从统计学角度来判断研究区重金属污染的原因。重金属 Pb 变程较大, 为 14.20 km, 说明 Pb 含量还受到一定程度的局部污水灌溉和化肥施用等随机因素的影响。

表 1 研究区土壤重金属元素 Pb 的空间变异参数

Table 1 Spatial variation parameters of soil heavy metal Cd, Pb, Cu and Zn in study region

项目	块金方差 C_0	基台值 $C+C_0$	$C_0/C+C_0$ (%)	最大相关距离 α (km)	模型	决定系数 R^2	离差平方和 RSS
Pb	0.0028	0.0166	17.2	14.20	指数	0.943	3.7×10^{-6}

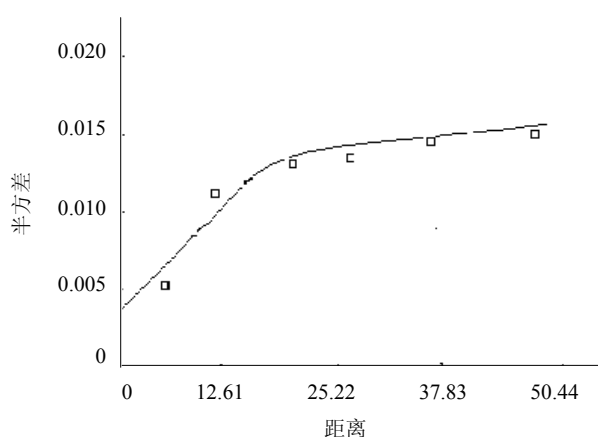


图2 Pb的半方差图

Fig. 2 Semivariograms of Pb

2.3 研究区土壤 Pb 的分布格局

Kriging 插值是一种最佳空间局部估计方法^[11], 其作为地统计学的主要分析方法, 综合考虑变量的随机性和结构性, 可以根据采样点的监测数据、采样点的相互位置关系及变差函数模型, 估测研究区域内各点的污染物浓度。Kriging 法产生的估计量是线性、无偏和最优的^[13]。在单项污染指数评价的基础上, 本文采用广泛应用于地统计学的 Kriging 插值对重金属 Pb 含量进行空间分析。

从图3可以看出土壤中 Pb 含量高的地方主要集中在葫芦岛市锌厂及杨杖子地区, 并以发散的方式向四周扩散。显然, 葫芦岛市锌厂和杨杖子地区有很大的污染源。锌厂无疑是一个重大的污染源, 其主要产品是 Zn, 副产品是硫酸, 由于过去对环保的忽视, 使得在过去几十年的生产过程中产生的废气、废水、废渣对周围的土壤、大气、海洋都产生了极大的污染。对土壤的污染主要来自于其生产过程中产生的粉尘。Pb 含量最高的地方主要集中在锌厂附

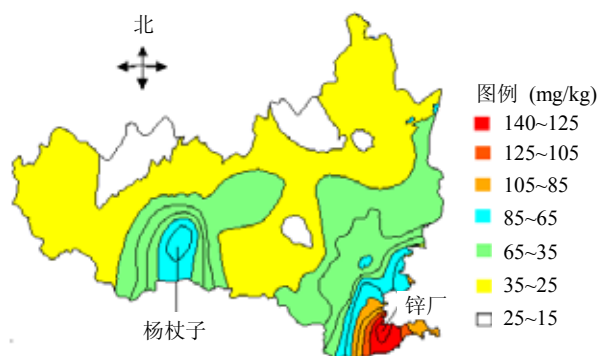


图3 Pb 含量的等值面图

Fig. 3 Isopleth map of Pb content

近, 其最高点达到 239.75 mg/kg。这主要是由于锌厂的长期污染造成的。Pb 与 Zn 是伴生的两种元素, 锌矿石中含有大量的 Pb, 在 Zn 冶炼的过程中会释放出大量的 Pb, Pb 会随着粉尘的飘散污染周围的土壤、河流等生态环境。

Pb 除了在葫芦岛市锌厂周围有极高的含量外, 杨杖子地区在含量上较周围地区也明显偏高, 这主要是该地区具有一个全国最大的钼矿场, 该矿经过多年的开采, 如今已经废弃。但对周边地区的重金属污染是非常严重的。其次, 该地区的水泥厂及新建的富尔沟锌厂对周边地区生态环境的破坏也是不容忽视的。在杨杖子地区 Pb 的绝对含量虽然没有锌厂附近高, 但从图3的结果来看有明显富集的现象。

2.4 研究区土壤 Pb 的污染评价

2.4.1 研究区土壤 Pb 评价标准的确定 土壤重金属污染的评价通常采用单项污染指数法, 即用某重金属的土壤测定值比对该重金属土壤污染的标准值。近年来, 土壤环境质量标准中的二级标准 (GB15618-1995) 常被作为评价的标准。按照此标准 (Pb 250 mg/kg), 本研究区域的土壤没有达到 Pb 污染的程度。然而从 Pb 的等值面图上可以明显看到 Pb 有富集的现象。另外, 本研究从 Pb 含量较高的土壤上采集了一些作物样本, 并测定了 Pb 含量 (表2)。

表2 作物样本中 Pb 的含量 (mg/kg)

Table 2 The Pb values of corp samples

地点	土壤	玉米	高粱	大豆
锌厂南山前平地	157.95	4.95	11.39	1.53
亮房子	95.75	4.47	0.75	-
开发区苗木地	124.31	3.78	4.70	4.84
艾家屯	94.99	2.36	-	0.94
干柴岭	134.55	2.65	3.16	1.25
圆台子	41.25	0.35	0.39	0.48
东砬子	44.31	0.26	0.24	-
八家子	144.25	3.21	5.95	2.33

注: “-”表示未采到样品。

根据国家标准 GB4935-1994 的规定, 粮食作物 Pb 的限量为 0.4 mg/kg, 大豆 Pb 的限量为 0.8 mg/kg。研究区玉米、高粱、大豆的籽粒中 Pb 的含量均有超过国家粮食标准中 Pb 限量的现象, 受到了不同程度的污染。因此以土壤环境质量标准中的二级标准 (GB15618-1995) 作为评价标准在本研究中是不适合的。这种土壤未达到污染水平而作物受到了污染

的现象在以往的研究中也有出现,这应引起我们的注意,土壤污染的评价标准也值得商榷。

基于上述理由,本研究决定采用背景值加 3 倍标准差作为污染的评价标准。葫芦岛土壤背景值为 22.00 mg/kg,标准差为 6.84 mg/kg^[14],因此,评价标准为 42.54 mg/kg。

2.4.2 研究区土壤 Pb 污染评价结果 土壤重金属的含量分布不能直观地体现土壤受污染的程度,因此本文在单项污染指数评价的基础上,采用 Kriging 插值,制作了研究区土壤 Pb 污染分布的连续表面,并对其进行分级评价。

由图 4 Kriging 插值的评价结果可以看出,该研究区域内一半的土壤已经受到重金属的污染。其中葫芦岛锌厂周围土壤的污染情况极为严重,土壤 Pb 的污染均达到了重度污染的水平。从其污染的地区来看,龙港区部分地区属重度污染,龙港区周边属中度污染,杨杖子旧矿区周边及二台子、新地号一带处于轻度污染。从其污染区的分布来看,是以葫芦岛锌厂和杨杖子旧矿区为污染中心,向四周扩散,尤其向北和西南方向扩散距离较大,这与该地区夏季的南风 and 冬季的东北风为主导风是相一致的,由此可见,大气沉降也是 Pb 污染的一个主要原因。另外,该地区年降雨量少,风力较大也是其污染扩散面积较大的原因。

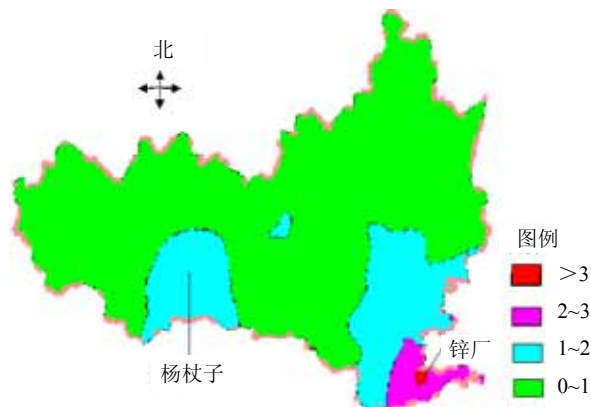


图 4 Pb 污染指数的等值面图

Fig. 4 Isopleth map of Pb pollution index

综上所述,龙港区和杨杖子矿区的土壤已不再适合于进行农业生产,应该为工业用地或改良后再进行种植业生产。

3 结论

(1) 葫芦岛地区土壤中 Pb 污染的分布为对数正

态分布。该地区大部分土壤已受到 Pb 污染的影响,一部分地区还出现严重的 Pb 含量超标。

(2) 结构分析表明,研究区 Pb 的 C_0/C_0+C 为 17.2%,表现强烈的空间相关性;重金属 Pb 变程较大,为 14.20 km,研究区土壤 Pb 含量除了受到母质和大气沉降的影响外,还受到一定程度的局部污水灌溉和化肥施用等随机因素的影响。

(3) 虽然研究区土壤 Pb 含量没有超过国家标准规定的土壤二级标准,但 Pb 有明显积聚现象,利用背景值加 3 倍标准差作物污染评价标准在本研究中取得了较好的效果,而且与实际情况相符。

(4) 龙港区和杨杖子矿区的土壤已达到了重度污染的水平,不再适合于农业生产,应加强锌厂及其他一些工业企业的环保建设,使其排放达标。同时,迫切需要改良污染土壤。

参考文献:

- [1] 欧阳喜辉. 绿色食品生产基地环境质量监测与评价探讨. 农业环境保护, 1999, 18 (6): 281-282
- [2] Liu CX, Long XX, Xu SJ, Chu CX. Effects of multiple soil conditioners on a mine site acid sulfate soil for vetiver growth. *Pedosphere*, 2004, 14 (3): 325-331
- [3] 赵永存, 汪景宽, 王铁宇. 吉林公主岭土壤中砷、铬和锌含量的空间变异性及分布规律研究. *土壤通报*, 2002, 33 (5): 10-15
- [4] 殷云龙, 宋静, 骆永明, 张桃林, 贺剑锋, 徐建华. 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
- [5] 张庆利, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰, Biombaeck K, Oboern I. 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
- [6] Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62: 277-314
- [7] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 沈阳市郊耕地土壤交换性锰含量的空间变异性. *土壤*, 2004, 36 (1): 61-64
- [8] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- [9] 余剑东, 倪吾钟, 杨肖娥. 土壤重金属污染评价指标的研究进展. *广东微量元素科学*, 2002, 9 (5): 11-17
- [10] Cambardella CA. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *SSSAJ*, 1994, 58: 1501-1511

- [11] 郭旭东, 傅伯杰. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征-变异函数与 Kriging 插值分析. 地理学报, 2000, 55 (5): 555-566
- [12] Webster R, Oliver MA. Statistical. Methods in Soil and Land Resource Survey. New York: Oxford University Press, 1990
- [13] 郑一, 王学军, 刘瑞民. 天津地区土壤多环芳烃的克里格插值与污染评价. 中国环境科学, 2003, (2): 23-27
- [14] 刘玉机等. 辽宁省环境重金属研究. 北京: 中国环境出版社, 1996

Spatial Distribution of Soil Pb and Its Pollution Evaluation of Huludao City

LI Liang-liang¹, WANG Yan-song², ZHANG Da-geng¹, YI Yan-li¹

(1 Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2 Liaoning Environment Academy of Sciences, Shenyang 110116, China)

Abstract: With the aid of the Geographical Information System (GIS) and Geostatistics, distribution and spatial variability of soil Pb in Huludao City was investigated. Based on the monitoring data with the Kriging method, single-factor evaluation of Pb pollution was carried out, a spatial distributed map of soil Pb was plotted out and Pb contamination index of the region worked out. On such a basis, criteria for evaluation of soil Pb pollution was explored.

Key words: Pb, Contamination index, Evaluation criteria, Spatial variability