

# 沧州三县表层土壤全氟空间变异特征分析

李 阔, 王元杰, 刘会玲, 文宏达, 张毅功

(河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071001)

**摘 要:**采用 GIS 与地统计相结合的方法对沧州地区献县、泊头、沧县表层土壤全氟的空间变异特征进行了分析。结果表明:献县和泊头全氟经对数转换后符合指数模型;沧县全氟经对数转换后符合球状模型。献县全氟具有很强的空间相关性,说明受水文地质等自然的结构性因素影响较大;泊头、沧县全氟具有中等的空间相关性,说明由人类活动等随机性因素引起的空间异质性起很大作用。用 Kriging 内插法对未测点全氟进行最优估计,并形成插值图,可更直观地反映出研究区内土壤全氟的空间变异特征。

**关键词:**地统计学;土壤全氟;空间变异;Kriging 插值

**中图分类号:**S 15 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)03-0235-04

土壤是一个自然连续体,空间变异性是土壤的一种自然属性。地统计学是研究土壤特性空间变异特征的较好方法,有关土壤养分和土壤重金属变异的统计学研究已有很多比较详细的报道<sup>[1]</sup>。关于土壤中氟元素的空间变异也有少许报道,谢正苗等(2005)对抗嘉湖平原土壤中氟的空间分布研究指出,全氟具有较高的空间相关性,受母质、地形、土壤类型等自然的结构性因素影响较大<sup>[2]</sup>。但是关于北方高氟地区氟的空间分布特征的大尺度研究却鲜见报道,基于此原因,该研究对河北省沧州地区献县、泊头、沧县 3 县表层土壤全氟的空间变异做了详细探讨,对当地的土壤改良及地氟病的防治具有很高的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

沧州 3 县地处河北省东南,属华北平原东部黑龙港河流域,地理位置处于东经 115°~117°09',北纬 37°4'~38°33'。研究区东西长,南北狭。3 县小地貌类型各异,献县处于冲积扇平原与冲积平原交接地区,黄、漳(滏阳河)、滹沱河在这里共同汇流沉积。献县整体西南高东北低,年均降雨量为 542.9 mm。泊头市地处华北冲积平原黑龙港流域的下游,冀中平原的腹部,黄、漳河在该市的走向是从西南到东北流入渤海,由于流入渤海的各

河流携带大量的泥沙堆积,使泊头市形成以河流冲积物为母质的低平原地貌,在平原的地貌中,又有微起伏高低不平的小地貌,出现相对的洼地和相对的高地,年平均降水 529.8 mm。沧县位于华北冲积平原中下部,由冲积平原向滨海平原过渡地带,整个地形西南高,东北低,母质均为河流冲积物,年均降水量 616.4 mm。

### 1.2 样品采集

以 2 000 m×2 000 m 的规格对 3 县进行网格状取样,并用 GPS 定位。利用 GIS 技术将土壤点位图数字化,并根据相应土壤表层 0~20 cm 的数据资料绘制成地统计分析的土壤样点分布图(图 1)。其中沧县未取样处为沧州市区。

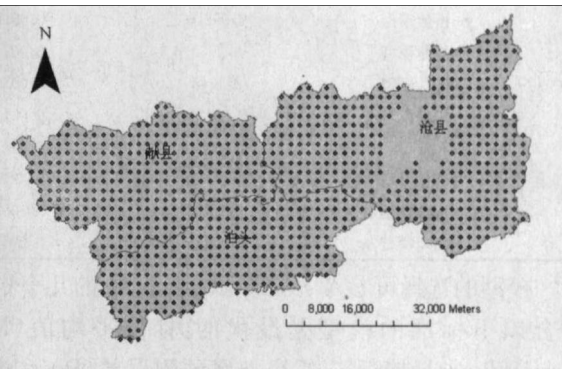


图 1 采样点分布

### 1.3 测定方法及数据处理

全氟采用 NaOH 碱熔法—氟离子选择电极法测定。地统计学方法中半方差图和 Kriging 插值法适合于土壤特性空间预测,并得到了广泛应用。半方差图是利用变异函数研究土壤特性空间变异所产生的一个空间

**第一作者简介:**李阔(1984-),男,河北辛集人,硕士,研究方向为土壤生态。E-mail:likuo2008@126.com。

**通讯作者:**张毅功(1963-),男,辽宁法库人,博士,教授,博士生导师,现主要从事土壤和植物营养方面的教学科研工作。

**基金项目:**国土资源部及农业厅河北省农业地质调查资助项目(200040007-3-5)。

**收稿日期:**2009-10-20

变异模型,是地统计学解释土壤特性空间变异结构的基础,它可以揭示土壤样本变异与因各个样本分离的偏离距离之间的关系,对其精确估计是空间内插成功的关键。而 Kriging 分析则是利用半方差模型进行测定点之间最优内插的一种方法。ArcGIS 的地统计分析模块将地统计学分析工作嵌入地理信息系统软件中,使地理信息系统同时具有较强的数据管理功能和较强的空间分析功能,能够很好的进行空间变异性研究。GIS 平台为 ESRI 公司的 Arcinfo,9.2,该软件可以独立的完成数据

的半方差分析和 Kriging 插值。

2 结果与分析

2.1 沧州 3 县土壤氟元素的描述性统计特征

由表 1 可知,献县、泊头、沧县 3 县的网格取样点数分别为 295、250、386 个。3 县氟元素的变异系数范围为 7.42%~11.92%,其中献县变异系数最大而泊头最小。因此在相同精度下献县的合理取样数应最多泊头最少<sup>[3]</sup>。泊头土壤全氟含量整体偏高,全部大于中国土壤(A 层)氟背景值 478 mg/kg<sup>[4]</sup>。

表 1 沧州 3 县表层土壤全氟含量描述性统计 mg·kg<sup>-1</sup>

县名	范围	平均值	标准差	变异系数/%	数据分布类型	偏度	峰度	样本数
献县	408~852	572.53	68.16	11.92	对数正态	-0.09455	3.0936	295
泊头	489~742	586.66	43.52	7.42	对数正态	0.22814	2.8897	250
沧县	454~783	584.07	69.01	11.82	对数正态	0.28129	2.6231	386

由于描述性统计特征分析只能概括研究区域内土壤氟元素变化的总体全貌,而不能反映其局部的空间分布状况,因而缺乏实际的指导意义。该项研究则进一步采用地统计方法进行氟元素的空间变异结构分析。地统计学分析要求所分析的数据呈正态分布。特异值的存在会导致插值连续表面中断,从而掩盖变量的空间结构特征,所以需对实测值中的特异值进行处理。该文采用域法<sup>[5]</sup>处理 3 县土壤氟元素数据中,献县有 3 个特异值,泊头有 2 个,此特异值大于该县平均值加 3 倍的标准差,在后续半方差函数分析中分别用正常最大值代替相应的特异值。

由表 1 所示,用直方图(Histogram)对 3 县全氟数据进行检验分析发现,3 县数据均经对数转化后成近似正

态分布,3 县峰度值分别为 3.0936、2.8897、2.6231。其中峰度(Kurtosis)是用于描述数据分布高度的指标,标准正态分布的峰度等于 0;偏态(Skewness)是用于描述数据分布左右对称性的指标,标准正态分布的偏态等于 0。

2.2 半方差函数分析

地统计学是基于区域化变量理论上的一种空间分析方法。半方差函数是地统计学中研究区域化变量空间结构的主要工具,可以反映区域化变量的空间自相关性。半方差函数分析即通过采用不同类型的理论模型拟合实验半方差的散点图,以得到拟合最优的理论模型,Arcinfo 地统计分析模块提供了 5 个数据拟合参数及其相应的模型检验标准,可以提供定量化的模型选择标准<sup>[6]</sup>。

表 2 各模型及检验参数比较

插值模型		平均值	标准平均值	均方根	平均标准误差	标准均方差
献县	球状模型	0.2387	0.002836	46.65	49.23	0.9489
	指数模型	0.09218	0.001212	45.36	44.94	1.011
	高斯模型	0.2667	0.002448	48.05	49.98	0.9627
泊头	球状模型	0.1448	0.003656	36.88	38.73	0.9509
	指数模型	0.09128	0.001547	36.08	37.41	0.9634
	高斯模型	0.1574	0.004126	37.23	38.83	0.9576
沧县	球状模型	-0.0608	0.0002084	48.97	54.63	0.8954
	指数模型	-0.1352	-0.002077	47.47	52.53	0.905
	高斯模型	0.04443	0.003182	51.08	56.44	0.9016

模型的选择可参考 Prediction Error 中的几个指标。符合以下标准的模型是最优的:标准平均值(Mean Standardized)最接近于 0,均方根预测误差(Root-Mean-Square)最小,平均标准误差(Average Mean Error)最接近于均方根预测误差(Root-Mean-Square),标准均方差预测误差(Root-Mean-Square Standardized)最接近于 1<sup>[7]</sup>。根据模型的参考指标可知献县和泊头土壤氟元素半方差函数模型采用指数模型,而沧县土壤氟元素半方差函数模型采用球状模型。

从表 3 结果可以看出,3 县土壤氟元素均在一定范

围内存在空间相关关系,根据半方差函数模型的原理可知,a 表示观测点之间的影响范围,对于球状和线性模型则表示观测点之间的独立间距,指数模型的独立间距为 3 a,高斯模型的独立间距为 $\sqrt{3}$  a<sup>[8]</sup>。所以献县 2 个点间独立间距为 52 643.1 m,泊头 2 个点间独立间距为 54 539.1 m,沧县 2 点间独立间距为 39 355.2 m。献县和泊头研究区内任何 2 个位置几乎都存在相关性,沧县氟元素变程最小,主要原因是它受到随机因素的影响比较大,导致了它在一个较小的尺度范围内相关。试验中 3 县的氟元素变程远远大于取样距离,基本上能满足土壤

表 3 最优半方差函数模型拟合参数

县名	理论模型	块金值 $C_0$	基台值 $C_0+C$	块金值 /基台值	变程 $a$ /m
献县	指数模型	0.0020673	0.0146983	14.06%	17 547.7
泊头	指数模型	0.0029923	0.0054817	54.59%	18 179.7
沧县	球状模型	0.0072907	0.015701	46.43%	39 355.2

氟元素空间变异评价需要。

块金值(Nugget):在理论上,当采样点间的距离为 0 时,半变异函数值为 0,但是由于存在测量误差和空间变异,使得 2 个采样点非常接近时,它们的半变异函数值不为 0,即存在块金值。基台值(Sill):当采样点间的距离  $h$  增大时,半变异函数  $r(h)$  从初始的块金值达到一个相对稳定的常数时,该常数值称为基台值。当半变异函数值超过基台值时,即函数值不随采样点间隔距离而改变时,空间相关性不存在。块金值与基台值之比  $C_0/(C_0+C)$  表示空间变异性程度(由随机性因素引起的空间变异性占系统总变异的比例),该比值高说明由随机

性因素引起的空间变异性程度较大,相反则由结构性因素引起的空间变异性程度较大,如果该比值接近 1,则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异<sup>[9]</sup>。按照区域化变量空间相关性程度的分级标准<sup>[10]</sup>,当  $C_0/(C_0+C)<25\%$ ,变量具有强烈的空间相关性;在  $25\%\sim75\%$  之间,变量具有中等的空间相关性;而在  $>75\%$  时,变量空间相关性很弱。由表 3 可知,献县土壤全氟的块金效应为 14.06% 具有强烈的空间相关性,说明其空间变异主要是由母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的;泊头和沧县具有中等的空间相关性,说明其在研究区域上施肥、作物、人类活动等随机因素引起的空间变异性占较大比重。

2.3 土壤氟元素的空间分布

根据所得到的半方差函数模型,利用 Kriging 插值法对 3 县表层土壤全氟含量进行最优内插,并绘制出其空间分布图。

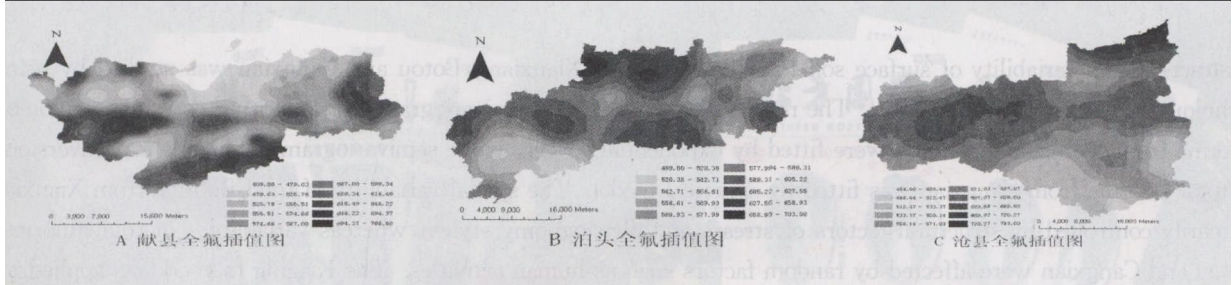


图 2 沧州 3 县 kriging 插值图

献县东、西、南 3 部分氟含量偏高,北部偏低;并且献县北部地区东西方向以及献县整体西南至东北向氟含量较低,四周氟含量逐渐上升(图 2A)。由于氟是最活跃的非金属元素,这就决定了它很难与金属结合成沉淀沉积下来,而是随河流迁移的特性。从小的地质构造单元看,献县境内被 3 个小的构造单元所分割,中间为献县凸起,位于滹沱河、滏阳河,以及子牙河两侧,东部南部为阜城凹陷,西部为河间凹陷。献县高氟地区正是处于这些凹陷区内。献县境内子牙河、子牙新河、滏阳河、滹沱河、黑龙港河五大河流纵横交错,其流向大多为西南-东北向及近东西向,这导致了该方向上氟含量较低,并且远离河床处氟含量呈渐增趋势。

泊头土壤全氟分布现状为以西南到东北为对角线,两侧氟含量逐渐升高(图 2 B)。该县氟元素空间分布主要受水文影响,泊头市境内新老河流众多,河流流向一般是西南东北流向,氟元素随水流的迁移,在河床的两侧越远离河流的位置氟元素含量越高。

沧县位于华北冲积平原中下部,由冲积平原向滨海平原的过渡地带,整个地形西南高,东北低,使得表层氟元素由高处随地表水的径流迁移到低洼处,东北地区地

势低洼,由于蒸发量大于降雨量,使得氟元素在该地区不断浓缩堆积,形成了 1 个高富氟区;又由于南运河纵贯南北,将县城自然分为运东,运西 2 个部分,运西坡降较大,运东坡度平缓,因此运西全氟空间变异趋势大于运东。运西中部地区形成了 1 个高氟区,是由于当地农业较发达,近年来磷肥的大量施用,导致该地区氟元素含量偏高(图 2 C 所示)。

3 结论

沧州 3 县表层土壤全氟数据统计特征显示,3 县全氟数据均近似符合对数正态分布,3 县氟元素均属中等变异强度,这反映出研究区内氟的空间分布影响因素比较单一。泊头土壤全氟含量整体偏高,全部大于中国土壤(A 层)氟背景值 478 mg/kg。

从半方差函数模型拟合结果可见,献县、泊头全氟为指数模型,沧县全氟为球状模型。3 县氟元素含量在一定范围内存在空间相关性,它们的空间相关距离分别为 52 643.1、54 539.1、39 355.2 m。其中献县土壤全氟具有强烈的空间相关性,泊头、沧县全氟具有中等强度的空间相关性。

采用 Kriging 无偏最优内插法对 3 县土壤全氟进行

插值。从插值图上可以看出研究区内土壤全氟的空间分布主要受当地的水文地质影响,某些地区由于受到人类活动的影响也表现出局部的异常性。

### 参考文献

- [1] 李艳,史舟,徐建明,等.地统计学在土壤科学中的应用及展望[J].水土保持学报,2003,17(1):178-182.
- [2] 谢正苗,李静,徐建明,等.杭嘉湖平原土壤中氟元素的空间分布特征[J].中国环境科学,2005,25(6):719-723.
- [3] 李柳霞,沈方科,赵凤芝,等.柚子园主要土壤肥力属性空间变异及合理取样数研究[J].广西农业科学,2007,38(4):433-436.
- [4] 中国环境监测总站主编.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.

- [5] 王绍强,朱松丽,周成虎.中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J].地理研究,2001,20(2):161-170.
- [6] 苏伟,聂宜民,胡晓洁,等.农田土壤微量元素的变异及 Kriging 估值[J].华中农业大学学报,2004,23(2):222-226.
- [7] 吴秀芹,张洪岩,张正祥,等. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践[M].清华大学出版社,2007.
- [8] 张乃明,李保国,胡克林.太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征[J].环境科学学报,2001,21(3):349-353.
- [9] 刘杏梅,徐建民,张明奎,等.太湖流域土壤养分空间变异特征分析—以浙江省平湖市为例[J].浙江大学学报,2003,29(1):76-82.
- [10] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: The semivariogram and punctual Kriging[J]. Soil sci, 1980, 31:315-341.

## Study on Spatial Variability of Surface Soil Total Fluorine from Three Counties in Cangzhou City

LI Kuo, WANG Yuan-jie, LIU Hui-ling, WEN Hong-da, ZHANG Yi-gong

(College of Resource and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001)

**Abstract:** Spatial variability of surface soil total fluorine from Xianxiang, Botou and Cangxian was studied by using GIS technique and geostatistical analysis. The results showed that the semivariograms for logarithm conversion value of total fluorine from Xianxiang and Botou were fitted by exponential model, while semivariogram for logarithm conversion value of total fluorine from Cangxian was fitted by spherical model. The spatial variability of total fluorine from Xianxiang was primarily controlled by structural factors of stream and physiognomy styles, whereas variabilities of total fluorine from Botou and Cangxian were affected by random factors such as human activities. The Kriging method was applied to estimate the unobserved points and their contour maps were obtained. The spatial variabilities of total fluorine in the study area could be reflected clearly in the maps.

**Key words:** geostatistics; total fluorine; spatial variability; kriging interpolation

## 惠 供 矮 型 新 优 保 纯 种 苗

1. 保活邮苗 每次加特快邮费 25 元带彩照资料:  
荷兰浓香四季红玫瑰重瓣大花极香全年天天开花永远不结果种特矮新品盛产高级精油插穗 50 芽 30 元、300 芽 120 元,极香四级白玫瑰香精王 50 芽 120 元。美国大花薄荷奥运花大似玫瑰 4~11 月天天开极美全株特香观食皆美出香精油耐热抗寒多年生 25 棵 20 元、百棵 60 元。荷兰重瓣大花四季菊 13 个花色分标各 3 棵 52 元。荷兰大花重瓣宿根向日葵多年生特矮全年开花 30 棵 20 元、百棵 40 元。加拿大红草特矮多年生耐热抗寒剑叶全年火红极艳 20 棵 20 元、百棵 80 元。德国蓝草极矮多年生耐热极抗寒全年蓝色 30 丛 20 元、百丛 40 元。美国大花火把莲多年生四季常绿大花火红色全年开大苗 10 棵 20 元、百棵 120 元。紫蝴蝶多年生特矮花艳耐热极抗寒蝶形红叶全年紫红色 30 棵 20 元、百棵 50 元。世界极品红叶紫蝴蝶全年叶色鲜红 20 棵 38 元。荷兰香花四季兰特矮全年天天开,红、兰

各 13 棵 25 元,金叶四季兰全年金色 20 棵 40 元。金色垂盆草极矮四季金黄色耐热极耐寒,观赏食用保健强体专治肝炎 20 棵 20 元、百棵 80 元。2. 邮种 每包 6 元、30 元起邮,每次加邮费 5 元带彩照资料:大粒红月季石榴矮小盆景播种两月天天开花结果,果粒特大,观食皆美 50 粒。大粒黑月季石榴 30 粒。大粒黄月季石榴 20 粒。大粒白月季石榴 15 粒。没刺含羞草环保型无刺无毒最新品种 200 粒。美国大花火把莲 20 粒。灌木浓香鼠尾草多年生多年生极耐寒四季常绿全株特香花极艳驱蚊观赏食用开胃降压强体 80 粒。红叶极香罗勒驱蚊观赏食用 200 粒。强力驱蚊零陵香 300 粒。香花旱金莲荷莲藕叶金色花旱地栽小盆景 15 粒。金色五爪乳茄 80 粒。跳舞草 100 粒。美洲特矮红茄 80 粒。夜落金钱 150 粒。麒麟绣球 100 粒。红花矮紫薇 100 粒。金瓜 10 粒。蛇瓜 10 粒。大花麦秆菊:美艳大花泡茶清凉祛暑 150 粒。

陕西省眉县城关段家庄南花圃 张吉通 邮编:722300 电话/传真 0917-5554978 手机:13669176265