

沈阳市郊耕地土壤交换性锰含量的空间变异性

姜勇¹ 张玉革² 梁文举¹ 闻大中¹

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所 沈阳 110016; 2 沈阳市农业技术推广站 沈阳 110034)

摘要 利用地统计学和地理信息系统相结合的方法研究了沈阳市郊耕地 1994 个样本 0~20 cm 耕层土壤交换性锰(Mn)含量的空间变异特征,编制了交换性 Mn 含量的空间分布图。结果表明:土壤交换性 Mn 含量基本符合正态分布,变异函数的最佳理论模型为球状模型,交换性 Mn 含量具有中等的空间相关性,空间自相关距离为 12.42 km,分维数 D 为 1.69,由随机性因子引起的空间变异占 36.6%,由结构性因子引起的空间变异占 63.4%。Kriging 内插图显示出交换性 Mn 的空间异质性主要受成土母质和土壤类型等结构性因子的影响。

关键词 交换性锰;土壤;空间变异;地统计学;GIS

中图分类号 S153.61

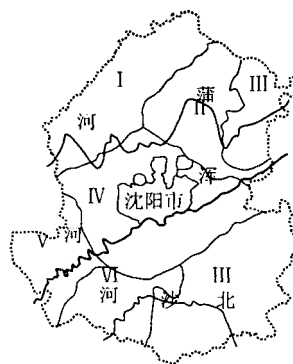
地统计学是分析土壤性质空间变异性的最有效的方法之一^[1~3]。利用地统计学与 GIS 相结合的方法分析土壤养分的空间结构和空间变异尺度,弥补了以概率论为基础的经典统计分析方法在结构和过程分析方面的不足,能够有效地解释养分的空间分布格局对生态过程和功能的影响^[4,5]。近年来,这种方法越来越多地应用到土壤养分尤其是土壤 N、P、K、C 等大量元素的空间变异特征的研究中,但对土壤中微量元素含量的空间变异进行系统研究的资料相对较为缺乏^[5~7]。Mn 是作物必需的营养元素之一,土壤交换性 Mn 的含量可以作为作物 Mn 素营养丰缺的指标^[8,9],研究土壤中交换性 Mn 的空间变异性特征不仅可以从土壤发生学的角度来探明其分布与成土因素之间的关系,而且可以有效地进行土壤 Mn 素营养的分区管理,是一项既具理论意义又有一定实用价值的应用基础研究。本文的主要目的是:利用地统计学和 GIS 相结合的方法,揭示沈阳市郊区耕地土壤交换性 Mn 的空间变异性特征,绘制出土壤交换性 Mn 含量的地理分布图,旨在为土壤-作物系统 Mn 素营养和 Mn 的生物地球化学循环研究提供理论参考。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域为沈阳市的东陵区、苏家屯区、于洪区、新城子区。位于北纬 41°28' ~ 42°10', 东经 123°01' ~ 123°47'; 东西长 68.7 km; 南北长 81.2 km。

地处辽宁省中部平原和东部平原的过渡带,岩基出露面积较少,主要为第四纪松散堆积物,以冲积物为主,区域地势为东北面向西南倾斜,东高西低,东部为构造剥蚀丘陵地貌、其它为山前冲积扇和冲积平原。区域内有浑河、蒲河和北沙河 3 条主要河流。东部主要为棕壤分布区、中部和西部主要为草甸土和水稻土分布区。共有 58 个农村乡镇,主要以城郊型农业为主,主要作物为蔬菜、水稻、玉米,耕地面积 174700 hm², 其中水田 68900 hm², 旱地 105800 hm² (图 1)。



I 辽河冲洪积扇(碳酸盐草甸土、草甸沼泽土、草甸土); II 坡状岗台地(草甸土、棕壤); III 构造剥蚀低山丘陵(棕壤); IV 浑河冲洪积扇(草甸土、水稻土); V 辽河河间地(水稻土、草甸土); VI 微倾斜扇间平地(水稻土、草甸土)

图 1 沈阳市郊区地貌水文图

Fig. 1 Physiognomic and hydrographic map in Shenyang suburbs

1.2 研究方法

利用 GPS 定位取样。共采集耕层(0~20 cm)土

样 1994 个, 每个土样代表面积 80 ~ 100 hm²。交换性 Mn 测定采用 DTPA 浸提, 原子吸收分光光度法 (岛津 6200-A 型)^[10]。

经典统计学分析用 SPSS 10.0 软件包。各向同性下的半方差函数和 Kriging 插值图应用 GIS 软件, 步骤如下: 将带有经纬度及交换性 Mn 含量的属性表分别作为一个 Event Theme 输入 Arcview 中, 将其可视化, 并转为 Shape 格式文件; 利用高斯—克里格投影将可视化图投影到公里网坐标上; 在 Arcinfo 中用 Shapearc 命令将其转为 Coverage 文件; 用命令 Kriging 进行插值, 求解参数; 在 Arcplot 中用 Semivogram 命令作半方差图。各向异性下的半方差函数图制作应用 GS⁺ 软件: 在研究区域内按正方形设置选取 100 个点位, 样点与相邻样点间距均为 5 km, 以考察在不同方向上元素含量的

空间变异特征。

2 结果与讨论

2.1 经典统计学分析

样本的平均数和中数是样本数据的代表值, 表示资料观测值的中心位置。标准差、变异系数、最大值和最小值表示数据的变异程度。中数和平均数有一定的差异, 中数略大于平均数, 说明了特异值对样本的数值有一定的影响。同时样本的变异系数也较大, 说明交换性 Mn 存在一定的空间变异 (表 1 和图 2)。有 1511 个样本土壤交换性 Mn 含量在 31.0 ~ 64.0 mg/kg 之间, 占样本总数的 75.8 %。样本的偏度和峰度检验 (表 1) 及频率分布图 (图 2) 显示, 交换性 Mn 基本符合正态分布^[11]。

表 1 土壤交换性 Mn 含量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics for exchangeable Mn content in soil

样本数 (n)	平均 (g/kg)	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	中数 (g/kg)	标准差	变异系数 (%)	偏度检验	峰度检验
1994	42.98	1.98	163.87	44.89	15.41	35.85	-0.626	0.141

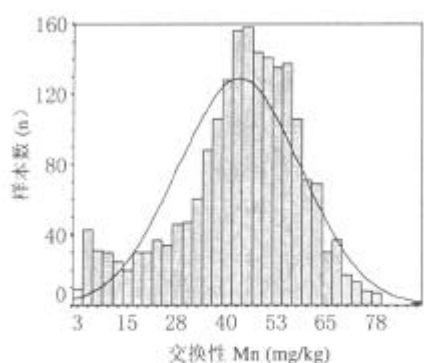


图 2 土壤交换性 Mn 的分布频率
Fig. 2 Distribution frequency of exchangeable Mn in soil

2.2 各向同性下的变异函数特征

表 2 是半方差理论模型及相应的参数。图 3 是土壤交换性 Mn 的实验和理论半方差图。假设区域化变量满足二阶平稳和本征假设, 变异函数可用下式表示:

$$g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

式中: $\bar{a}(h)$ 为半方差变异函数; h 为样点的空间间隔距离, 称为步长; $N(h)$ 为间隔距离为 h 的样点数; $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 处的实测值^[1,12]。H = 0 时的变异称为块

金值 (C_0), 通常表示由实验误差或小于实验取样尺度引起的变异, 较大的块金值说明了在较小尺度下存在着重要的生态过程。基台值 ($C_0 + C$) 表示系统内总的变异。块金值与基台值之比表示由随机性因素引起的空间变异占系统总变异的比例^[1,5,12]。

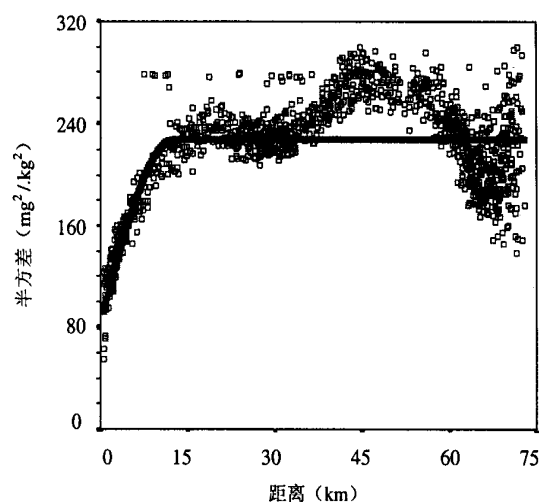


图 3 交换性 Mn 的理论与实验半方差
Fig. 3 Experimental and model-fitted semivariograms for exchangeable Mn

本研究中交换性 Mn 的半方差函数符合球状模型, 决定系数 $r^2 = 0.736$, 说明模型的实际应用价值较高。变程为 12.42 km, 说明交换性 Mn 的空间自

表 2 交换性 Mn 变异函数理论模型的参数

Table 2 Parameters of the best-fitted semivariogram model for exchangeable Mn

块金值 (C_0)	基台值 (C_0+C_1)	块金值/基台值 ($C_0/(C_0+C_1)$, %)	变程 (a , km)	决定系数 (r^2)	分形维数 (D)
93.31	227.35	36.6	12.42	0.736	1.69

相关距离不大。Cambardella 等^[13]运用 C_0 与 C_0+C_1 比值的大小来判定系统内变量的空间相关性程度, 用比值 <25 %、25 % ~ 75 %、>75 % 分别表示变量的空间相关性较强、中等、较弱。交换性 Mn 含量的 C_0 与 C_0+C_1 比为 36.6 %, 说明具有中等的空间相关性。Chien 等^[6]把影响土壤性质空间变异看作是内因和外因共同作用的结果。内因是结构性因子, 如土壤形成过程中的成土母质、地形、地下水位及形成的土壤类型等; 外因是随机性因子, 如土壤管理过程中的施肥、作物布局、栽培管理措施等。通常, 结构性因子促使土壤养分含量具有较强的空间相关性, 而随机性因子使土壤养分含量的空间相关性减弱。土壤交换性 Mn 具有中等的空间相关性, 说明耕地土壤交换性 Mn 变异是受结构性因子和随机性因子共同影响的结果。随机性因子的影响占 36.6 %, 而结构性因子的影响占 63.4 %, 空间变异以结构性因子的影响为主。

分形维数 (D) 是变异函数中的一个重要参数。是由变异函数 $\tilde{\alpha}(h)$ 与间隔距离 h 之间的关系确定的: $2\tilde{\alpha}(h) = h^{(4-2D)}$ 。一般写作 $D = (4-m)/2$ 的格式, 其中 m 的大小表示双对数变异函数的斜率。 m 越大, 斜率越陡, 不同尺度生态因子场的差异越大^[1,12]。交换性 Mn 变异函数的分形维数值为 1.69, 表明不同尺度上生态因子场的差异较大。

2.3 各向异性下的变异函数特征

对于区域化变量, 变异函数 $\tilde{\alpha}(h)$ 不仅与间隔距离 h 有很强的相关性, 而且也与方向性有关。当一个变异函数是由某一个特殊方向构造时, 称为各向异性变异函数。通常表示为 $\tilde{\alpha}(h, \theta)$ 。 $\tilde{\alpha}(h)$ 表示各向同性的变异函数, $\tilde{\alpha}(\theta)$ 表示不同方向上的变异函数^[12]。通常考查 0° 、 45° 、 90° 、 135° 这 4 个方向上的变异情况。

图 4 是基于指数模型的不同方向上的交换性 Mn 的半方差图(决定系数 $r^2 = 0.482$)。据图 4 显示, 交换性 Mn 在西南-东北 (45°) 方向上的空间变异最小, 在南-北 (90°) 方向上的空间变异次之; 在东西 (0°) 和西北-东南 (135°) 方向上的空间变异最

大, 说明交换性 Mn 的空间变异主要表现在这两个方向上。

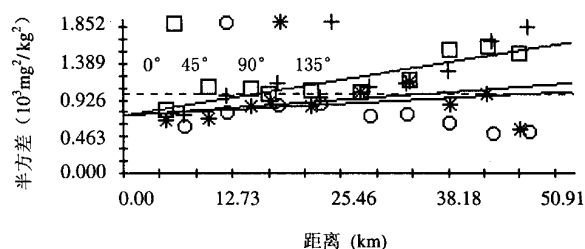


图 4 交换性 Mn 在不同方向上的变异函数图

Fig. 4 Semivariograms for exchangeable Mn in different directions

2.4 交换性 Mn 含量的空间布局

Kriging 法是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点, 对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。Kriging 插值图是此法在空间布局估计中的重要应用^[1,12]。图 5 是土壤交换性 Mn 含量的空间布局插值图。从图示结果可看出, 土壤交换性 Mn 含量的空间异质性较

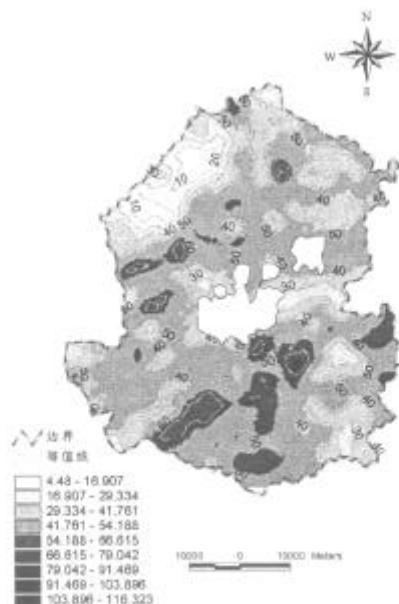


图 5 土壤交换性 Mn 含量空间分布图 (mg/kg)

Fig. 5 Map of exchangeable Mn content in soil (mg/kg)

强: 含量等值线的低值区仅为 10 mg/kg, 高值区在 60 mg/kg 以上。交换性 Mn 含量高于 50 mg/kg 的耕

地约占耕地总面积的 1/3。西北部地区交换 Mn 含量最低, 该区域交换性 Mn 等值线为 10~30 mg/kg 之间。Kriging 插值图显示出较为明显的斑块镶嵌特征, 除西北部以外, 交换性 Mn 没有明显的地带性分布规律。

据统计^[14], 交换性 Mn 含量较低的土壤亚类为碳酸盐草甸土 (n=110) 和草甸沼泽土(n=12), 平均含量约为 26 mg/kg。较高的为淹育型水稻土 (n=721) 棕壤 (n=188) 潮棕壤 (n=283) 3 个亚类, 交换性 Mn 平均含量均高于 45 mg/kg。说明不同土壤类型对交换性 Mn 的空间变异具有一定影响。

西北部发育在辽河冲积物上土壤交换性 Mn 含量普遍较低的原因主要由 Mn 与碳酸盐含量及 pH 之间的关系决定。该地区土壤一般具有石灰性反应, 土壤 pH 呈微碱性^[15]。有研究表明, 我国中性和石灰性土壤易缺 Mn, 土壤交换性 Mn 的含量一般与土壤中碳酸钙的含量和 pH 成负相关关系^[9,16], 因此形成了辽河冲积母质发育的土壤交换性 Mn 含量低的格局。

3 结 语

研究证实, 地统计学和 GIS 相结合的方法能够很好地描述沈阳市郊耕地土壤交换性 Mn 含量的空间变异性。郊区耕地土壤交换性 Mn 含量基本符合正态分布。变异函数的最佳理论模型为球状模型; 交换性 Mn 具有中等的空间自相关性: 空间自相关距离为 12.42 km, 分形维数为 1.69; 交换性 Mn 在不同方向上的空间变异也存在一定的差别。由随机性因子引起的空间变异占 36.6%, 由结构性因子引起的空间变异占 63.4%, 影响空间变异的主要结构性因子为成土母质、土壤类型等。Kriging 插值图结果显示: 除西北部发育在辽河冲洪积扇上的碳酸盐草甸土和草甸沼泽土区的交换性 Mn 含量较低, 具有一定的地带性分布特征外, 总体显示出较为明显的斑块镶嵌结构, 没有明显的地带性分异特征。

参考文献

1 Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field.

Adv. Soil Sci., 1985. 3: 1 ~ 70

- 2 徐吉炎, Webster R. 土壤调查数据地域统计的最佳估计研究——彰武县表层土壤全氮量的半方差图和块状 Kriging 估值. 土壤学报, 1983, 20 (4): 419 ~ 430
- 3 周慧珍, 龚子同, Lamp J. 土壤空间变异性研究. 土壤学报, 1996, 33 (3): 222 ~ 241
- 4 White JG, Welch RM, Norvell WA. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 185 ~ 194
- 5 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 陈利顶. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异研究. 应用生态学报, 2000, 11 (4): 557 ~ 563
- 6 Chien YJ, Lee DY, Guo HY, et al. Geostatistics analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. Soil Sci., 1997, 162: 291 ~ 298
- 7 Newman S, Reddy KR, DeBusk WF, et al. Spatial distribution of soil nutrients in a Northern Everglades marsh: water conservation area 1. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61 (4): 1275 ~ 1283
- 8 鲁如坤. 土壤植物营养学原理与施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998, 250 ~ 306
- 9 刘铮. 微量元素的农业化学. 北京: 农业出版社, 1991
- 10 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000, 30 ~ 33
- 11 Henley S. Nonparametric geostatistics. John Wiley & Sons. New York, 1981
- 12 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999, 102 ~ 149
- 13 Cambardella CA, Moorman AT, Novak JM, et al. Field-scale heterogeneity of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 1501 ~ 1511
- 14 姜勇. 沈阳市郊耕地土壤有效态中微量元素分布特征. 北京: 中国科学院研究生院(博士学位论文), 2002, 104 ~ 133
- 15 贾文锦. 辽宁土壤. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995. 480 ~ 565
- 16 谢振翅, 马朝红, 胡定金等. 湖北省土壤微量元素含量分布的研究. 土壤学报, 1990, 24 (4): 411 ~ 419

(下转第 80 页)

about soil fertility of the cultivated land obtained from field-survey and lab analysis, and with the aid of the techniques of GIS and SPSS as well as various mathematical models, the assessment was carried out automatically and quantitatively. The distribution characteristics, present land use, existing problems and countermeasures for cultivated land of different fertility grade were also discussed in this paper, in the hope that the results of the study may serve as scientific basis for efficient and sustainable use of the cultivated land in Qingzhou.

Keywords Fertility of cultivated land, Assessment, Distribution characteristics, Countermeasures, Qingzhou

(上接第 64 页)

SPATIAL VARIABILITY OF EXCHANGEABLE MANGANESE CONTENT IN CULTIVATED SOILS OF SHENYANG SUBURBS

JIANG Yong¹ ZHANG Yu-ge² LIANG Wen-ju¹ WEN Da-zhong¹

(1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016 ;

2 Shenyang Agro-technique Extension and Service Center, Shenyang 110034)

Abstract The spatial variability of exchangeable manganese content in cultivated soils was investigated based on 1994 samples gathered from the 0~20cm surface horizon of farmland in Shenyang suburbs, Liaoning, China, and a spatial exchangeable manganese content distribution map was plotted by making use of the method of geostatistics in combination with the geographic information system. Results show that contents of exchangeable manganese fitted normal distribution, and its semivariogram a spherical model. The spatial dependence of exchangeable manganese content was moderate ranging around 12.42km with a fractal dimension D being 1.69. Random factors contributed to 36.6% of the spatial variability, while structural factors did 63.4%. The spatial heterogeneity of exchangeable manganese, showed by a Kriging interpolated map, was fundamentally influenced by structural factors such as parent materials and soil types.

Key words Exchangeable manganese, Soil, Spatial variability, Geostatistics, GIS

(上接第 67 页)

mercury in topsoil were compared and studied. They are: (1) concentrate HNO₃ and concentrate HCl (1:3), and (2) concentrate HNO₃, concentrate H₂SO₄, and KMnO₄, (3) H₂SO₄ (1:1) and KMnO₄. They are all applicable. The soil in the surroundings of the garbage-fueled power plant was investigated for mercury background value in the top soil. Results show that it reached 192.68 ng/g, in Pudong, significantly higher than that in any other cities, which may be related with the histories of the local industry and the fertilization in agriculture. What should be noted is that the content of gaseous mercury in the soil was also very high ranging from 10.69 % ~ 92.06 %, with a mean value of 48.73 %.

Key words Digestion, Mercury, Topsoil, Shanghai, Baseline