

山东省聊城市耕层土壤养分的空间异质性分析

张金萍^{1,2}, 张保华², 秦耀辰¹

1. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475001

2. 聊城大学环境与规划学院, 山东聊城 252059

摘要 按 8 km×8 km 网格将聊城市耕地分为 136 个采样点, 调查土壤有机质、全氮、全磷、全钾 4 种土壤养分的含量。采用地统计分析与时空自相关的 Moran I 系数分析土壤养分的空间变异规律。研究表明, 土壤耕层养分含量变化的空间异质性主要由随机性因素如灌溉、施肥、耕作措施、种植制度等人为活动引起, 空间相关性很弱。4 种土壤养分存在明显的空间分布规律, 总体上呈现由东、南部向西、北部逐渐递减的空间分布格局。在 40 km 范围内, 4 种土壤养分的 Moran I 系数均为正值, 表现出在此范围内空间呈正相关。有机质对尺度的响应较其他 3 种养分更为敏感, 全氮和全磷的 Moran I 变化趋势类似, 而全钾在 64 km 范围之外的 Moran I 系数表现出在 0 值附近的波动性, 可能与地方农业活动有关。

关键词 空间异质性; 土壤养分; 地统计分析; 空间自相关分析

中图分类号 S153.6

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)23-0049-04

Spatial Heterogeneity of Soil Nutrients in Liaocheng, Shandong Province

ZHANG Jinping^{1,2}, ZHANG Baohua², QIN Yaochen¹

1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, Henan Province, China

2. College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, Shandong Province, China

Abstract Based on data from field survey of arable soil by the end of 2008, spatial heterogeneity and distribution patterns of soil nutrients in Liaocheng City, Shandong Province were studied in this paper. By 8 km×8 km grid, the land was divided into 136 sampling points, and the contents of soil organic matter, total N, total P and total K were monitored. The combination of GIS, spatial autocorrelation analysis and geostatistical analysis was used to analyze the spatial features of soil nutrients. Traditional statistical analysis shows that, after decades of farming, the variation of soil nutrient content in the measurement scale has the increasing trend.

Geostatistical analysis shows that, the changes of spatial heterogeneity of four kinds of soil nutrient are not identical in the entire region. The changes of organic matter and total N are irregular, while the spatial variability of total P is more random. The spatial heterogeneities of soil nutrients change mainly by random factors. Human activities, such as irrigation, fertilization, cultivation measures, cropping systems, etc, are major factors. The spatial correlations of four soil nutrients are very weak. On the whole, there is an obvious spatial distribution of the four soil nutrients which gradually declines from the eastern and southern to the western and northern part of Liaocheng City. Spatial autocorrelation analysis shows that, as the scale increases, spatial autocorrelation decreasing trends of four soil nutrients are similar, but the overall response on the scale is hardly evident. In the scope of the 40 km, Moran's I coefficients of four kinds of soil nutrients are positive which shows a positive spatial correlation. The response of organic matter on the scale is more sensitive than that of other three nutrients. The change of Moran's I of total N and total P is similar. But Moran's I coefficient of total K outside the scope of 64 km performs the volatility in the vicinity of 0, which may be related to the local agricultural activities.

Keywords spatial heterogeneity; soil nutrients; geostatistics analysis; spatial autocorrelation analysis

收稿日期: 2009-07-06

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2007BS08026)

作者简介: 张金萍, 讲师, 研究方向为空间分析与区域系统建模, 电子信箱: maryzhjp@126.com; 张保华(通信作者), 副教授, 研究方向为土壤资源与环境管理, 电子信箱: zhangbaohua@lcu.edu.cn

0 引言

土壤性质的空间异质性普遍存在^[1],空间统计学方法已被证明是研究土壤特性空间分布特征及其变异规律的有效方法^[2-7]。土壤养分是土壤肥力的重要标志,预测土壤养分及其空间变化特征是农业中精确施肥的一个重要目标^[8-9]。本研究以 2008 年底结束的耕层土壤野外调查采样数据为基础,采用 GIS 与空间自相关分析、地统计分析相结合的方法,研究山东省聊城市土壤养分的空间异质性和分布格局,为土壤资源合理利用与管理提供理论依据,这对保护农业生态环境和促进农业可持续发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

聊城市位于山东省西部的冀、鲁、豫三省交汇处,面积 8 646.883 km²,紧靠黄河,为黄河冲积平原,具有高地、缓平坡地、洼地相间的微地貌格局。以农业为主体的平原农业区,下辖各县市均以粮食种植为优势。第 2 次土壤普查时,土壤面积 70.014 3 万 hm²,占总面积的 80.97%。土壤类型共划分为 4 个土类、10 个亚类、25 个土属、104 个土种。其中潮土为主要土类,占土壤面积的 94.006%,风沙土为 3.83%,盐土为 2.16%,褐土为 0.004%。土层深厚、土壤肥沃、气候温和、水资源丰富,是山东省乃至全国重要的棉粮基地。

1.2 样品分析与测定

数据来源于 2008 年进行的耕层土壤采样分析结果。在 1:250 000 电子地图上统一划分网格,网格中心点即为调查点位,耕地网格 8 km×8 km,聊城市采样点位共 136 个。采用 GPS 定位技术,根据土地利用类型和适用条件,在调查点位周围采集 0~20 cm 深的表层土壤混合样,保留相当于 3 kg 以上风干土壤的土样。预处理是在阴凉通风处自然风干,剔除样品中的植物根系、有机残渣以及可见侵入体,用木质工具及玛瑙研钵研磨,分别过 10 目、20 目和 100 目筛。土壤有机质含量测定采用电砂浴加热重铬酸钾容量法,全氮含量测定用

半微量开氏法,全磷含量测定采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法,全钾含量测定用酸消解-火焰光度计法测定。

1.3 数据处理

经过分析数据的异常值检测,研究区 136 个采样点均为有效数据。首先利用 ArcGIS 9.2 生成用于空间统计学分析的样点图层并进行地理坐标匹配与投影设置,进行数据的传统统计分析。然后应用 Geostatistical Analyst 工具进行地统计分析,拟合半方差函数并利用克里格 (Kriging) 插值生成表面;应用 Spatial Autocorrelation 工具进行空间自相关分析,计算不同尺度的 Moran I 系数。估计半方差函数的方程式为

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(a_i)-Z(a_i+h)]^2 \tag{1}$$

式中, $N(h)$ 为距离等于 h 时的点对数, $Z(a_i)$ 为位置 a_i 处的数值, $Z(a_i+h)$ 为距离 a_i+h 处的数值。

度量空间自相关的 Moran I 系数方程式为

$$I=n\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})/\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2 \tag{2}$$

式中, x_i 和 x_j 分别为变量 x 在相邻配对空间点的取值; W_{ij} 为相邻权重,通常若空间点 i 和 j 相邻则 W_{ij} 为 1,不相邻则为 0; n 为空间点总数; I 取值介于 -1 与 1 之间,小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的传统统计分析

传统统计(表 1)分析表明,研究区耕作层的有机质、全氮、全磷、全钾均符合正态分布,满足平稳假设,可以进行地统计分析和空间自相关分析。从变异系数看,有机质的变异程度最大,其最大值为最小值的 6.4 倍,全氮次之,而全钾的变异程度最小。与山东聊城地区土壤肥料站 1985 年数据对比发现,土壤有机质和全氮的变异系数分别增加 6.35% 和 2.79%,说明经过数十年的耕作和盐碱地、荒地改良之后,测定尺度上土壤养分含量的变异程度有增大的趋势。

表 1 聊城市耕层(0~20 cm)土壤养分的传统统计数据

Table 1 Traditional statistical data of soil nutrients in Liaocheng City

土壤养分	最小值 /(g·kg ⁻¹)	最大值 /(g·kg ⁻¹)	平均值 /(g·kg ⁻¹)	标准差	变异系数/%	偏度	峰值	中值 /(g·kg ⁻¹)	分布类型
有机质	0.329	2.107	1.214	0.320	26.36	-0.284	3.843	1.214	正态
全氮	0.018	0.137	0.084	0.021	24.75	-0.604	4.372	0.084	正态
全磷	0.044	0.128	0.075	0.012	16.21	0.179	4.995	0.076	正态
全钾	1.836	2.172	1.976	0.074	3.76	0.261	2.499	1.964	正态

2.2 土壤养分的地统计分析

根据式(1)计算出 4 种土壤养分的实验半方差函数值,运用交叉验证(Cross-Validation)法对所选择的插值模型进行验证,并对各参数进行修正,以得到最合理的土壤养分含量分布的等值线图。由交叉验证和标准半方差函数曲线(图 1)可

以看出,土壤有机质、全氮、全磷和全钾的半方差函数拟合成的理论模型均极显著(表 2),说明都存在明显的结构异质性特征。有机质和全氮的拟合模型均为球状模型,全磷为指数模型,全钾表现为孔穴效应。说明 4 种土壤养分空间异质性的变化在整个区域不完全相同,有机质和全氮在空间上的变

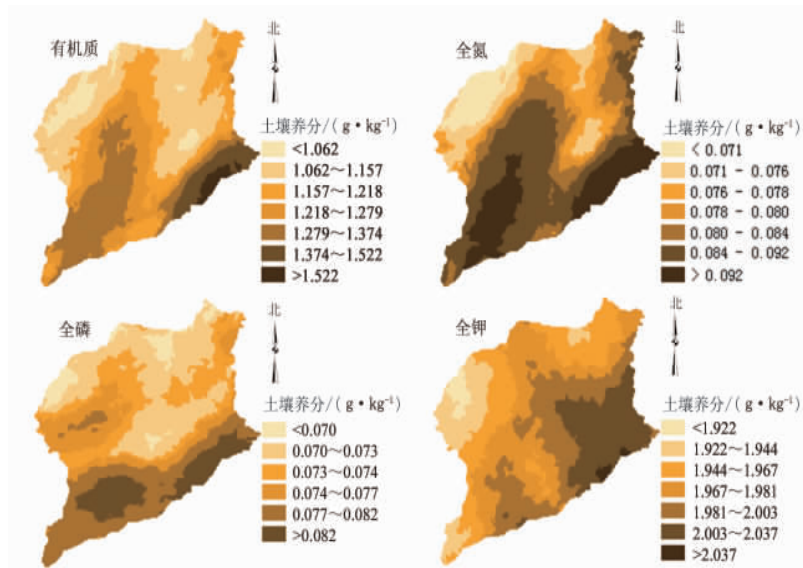


图2 山东聊城市土壤养分的 Kriging 插值图

Fig. 2 Kriging interpolation map of soil nutrients in Liaocheng City

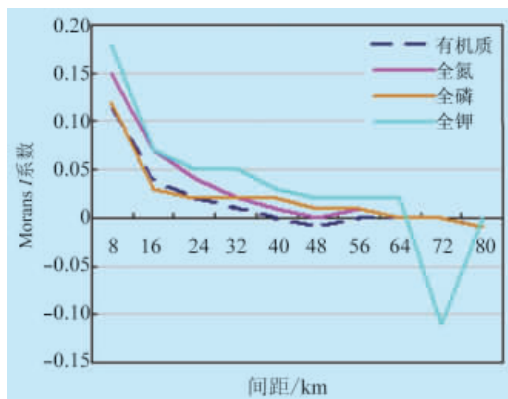


图3 山东聊城市土壤养分的 Moran I 系数变化趋势

Fig. 3 Changes of Moran I coefficients of soil nutrients

以外系数为 0,其空间表现出随机分布或不相关,全氮、全磷在 64 km 尺度上 Moran I 系数衰减为 0,而全钾在 48~64 km 范围内空间自相关性保持恒定,但在 64 km 范围之外 Moran I 系数表现出在 0 值附近的波动性,可能与地方农业生产活动的差异有关。

3 讨论与结论

本文采用空间统计分析方法对山东省聊城市耕层有机质、全氮、全磷和全钾 4 种土壤养分的空间变异规律进行研究。地统计分析与时空自相关的 Moran I 系数分析均表明,研究区土壤耕层养分含量变化的空间异质性主要由随机性因素如灌溉、施肥、耕作措施、种植制度等各种人为活动引起,空间相关性很弱。4 种土壤养分均可由极显著的半方差函数理论模型进行拟合,表明土壤养分存在明显的空间分布规律,总体上呈现由东、南部向西、北部逐渐递减的空间分布格局。引黄灌溉作为重要的土壤改良措施对养分的空间分布有较大影响。在 40 km 范围内,4 种土壤养分的 Moran I 系数均

为正值,表现出在此范围内空间呈正相关。有机质对尺度的响应较其他 3 种养分更为敏感,全氮和全磷的 Moran I 系数变化趋势类似,而全钾在 48~64 km 范围内空间自相关性保持恒定,但在 64 km 范围之外, Moran I 系数表现出在 0 值附近的波动性,可能与地方农业活动有关。

参考文献 (References)

- [1] Heuvelink G B M, Webster R. Modeling soil variation: past, present, and future[J]. *Geoderma*, 2001, 100: 269–301.
- [2] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. *Advances in Agronomy*, 1985, 38: 44–94.
- [3] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field [J]. *Advance in Soil Science*, 1985, 3: 1–70.
- [4] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. *Geoderma*, 1999, 89: 1–45.
- [5] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurement [J]. *Soil Science*, 1998, 163(2): 155–165.
- [6] Fisher E, Thornton B, Hudson G, et al. The variability in total and extractable soil phosphorus under a grazed pasture [J]. *Plant and Soil*, 1998, 203: 249–255.
- [7] 廖桂堂, 李廷轩, 王永东, 等. 基于 GIS 和地统计学的低山茶园土壤肥力质量评价[J]. *生态学报*, 2007, 27(5): 1978–1986.
Liao Guitang, Li Tingxuan, Wang Yongdong, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1978–1986.
- [8] 贾晓红, 李新荣, 周海燕, 等. 黄灌沙区农田耕层土壤性状空间异质性分析[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(5): 101–104.
Jia Xiaohong, Li Xinrong, Zhou Haiyan, et al. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(5): 101–104.
- [9] 谢花林, 李波, 刘黎明, 等. 基于空间统计学和 GIS 的农牧交错带土壤养分空间特征分析——以内蒙古翁牛特旗为例 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 73–76.
Xie Hualin, Li Bo, Liu Liming, et al. *Journal of Soil Water Conservation*, 2006, 20(2): 73–76.

(责任编辑 岳臣)