

基于 ArcGIS 地统计学的黄土高原村级尺度下土壤有机质空间格局研究

高义民, 同延安, 常庆瑞, 曾艳娟

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在网格法采集土样的基础上, 以 ArcGIS Geostatistics 模块为工具, 从地统计学角度研究了陕西黄土高原地区村级尺度下土壤有机质的空间变异性和空间分布格局。结果表明, 研究区 360 个土样的有机质平均含量为 3.37 g/kg, 处于较低水平, 其数据符合正态分布。有机质含量可用一阶曲线拟合, 其最佳半方差函数符合球状模型, 且具有明显的各向异性特征, 长轴方向和短轴方向的变程分别为 965.7 m 和 440.3 m, 具有中等程度的空间相关性。普通 Kriging 插值结果显示, 研究区有机质含量分布表现出较明显的北高南低、中间高四周低的阶梯状分布趋势。研究区土壤有机质的空间分布格局是结构性因素(地势)和随机性因素(土地利用类型)共同作用的结果。

关键词: ArcGIS; 地统计学; 黄土高原; 村级尺度; 有机质; 空间格局

中图分类号: S153.6+21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0188-04

土壤有机质是土壤养分的重要组成部分, 是反映土壤质量或土壤健康的一个重要指标。有机质不仅在改善土壤质量、提高作物生产力和农业可持续发展等方面具有重要意义, 而且在全球碳素循环中起着重要作用^[1]。黄土高原是我国乃至世界水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。在黄土高原的生态系统演替进程中, 土壤有机质含量能较好地指示生态系统的优劣^[2]。因此, 分析该区域土壤有机质空间分布格局及其影响因素, 对于农业生产合理布局、土地可持续利用和生态环境建设具有重要指导意义^[3,4]。

自 20 世纪 80 年代以来, 地统计学开始应用于土壤属性的分布、监测和空间变异^[5], 成为土壤科学的研究热点。近年来随着地统计学的发展, 国内外学者对土壤有机质空间变异特征的研究已有较多涉及^[6-8], 但已有研究主要集中在流域等较大尺度, 村级尺度下的研究报道尚不多见。

本研究采用 ArcGIS 地统计分析模块探讨陕西黄土高原地区村级尺度下土壤有机质的空间变异特征并进行预测, 旨在揭示土壤有机质含量与农业生产环境之间的关系, 为区域的可持续发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原地区的陕西扶风县揉谷乡新集村, 村中心位于东经 107°58'34", 北纬 34°16'19",

东西和南北长均约为 2 200 m, 耕地总面积 219 hm², 人均耕地 0.07 hm²。粮食作物以小麦和玉米为主, 种植面积约占总耕地面积的 85%, 其余耕地种植葡萄、苹果和蔬菜。不同土地利用类型相对集中。土壤类型为瘠土, 质地中壤, 年平均降水量 550 ~ 600 mm。该村地势南低北高, 南部属于水浇地, 来自机抽地下水, 北部无灌溉条件。这种农业生产条件和耕作方式在陕西黄土高原地区有一定代表性。

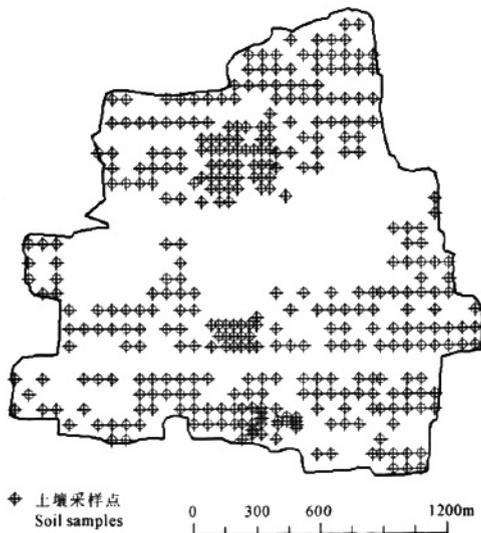


图 1 土壤采样点分布

Fig.1 Map of soil samples

收稿日期: 2009-07-20

基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI); 国家科技支撑计划“西北退化耕地地力恢复技术模式研究与示范”(2006BAD05B07)

作者简介: 高义民(1969—), 男, 甘肃泾川县人, 讲师, 博士在读, 主要从事土壤养分管理及 GIS 技术研究。E-mail: gaoyim@nwsuaf.edu.cn。

通讯作者: 同延安(1956—), 男, 陕西华县人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与土壤学研究。Email: tongyanan@nwsuaf.edu.cn。

1.2 土样采集及化学分析

网格法结合 GPS 采集全村各地块耕层(0~20 cm)土壤样品 364 个(图 1),网格边距农田为 70 m × 70 m,果园 50 m × 50 m,蔬菜地 30 m × 30 m,每个样品由半径 5 m 内 10 个点土壤混合而成。土样风干后压碎,过 2 mm 筛,采用土壤养分状况系统研究法(ASI 法)分析,浸提剂为 0.2 mol/L NaOH + 0.01 mol/L EDTA + 2% 甲醇,比色法测定土壤有机质含量^[9]。

1.3 地统计学方法和数据处理软件

地统计学是以区域化变量理论为基础,以半方差函数为基本工具的一种数学方法。半方差函数可用下式表示:

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

式中, $\gamma(h)$ 为半方差函数; $N(h)$ 是以步长 h 为间距的所有观测点的成对数目。由 $\gamma(h)$ 对 h 作图可得试验半方差函数图,该图由一批散点组成。根据离差平方和(SSQ)最小原则,对试验半方差函数拟和,可得到半方差函数的理论模性。有关地统计学的原理和方法,可参考文献^[10,11]。

本文中常规统计分析采用 SPSS12.0,空间离群

点检测采用迭代算法^[12],土壤采样点分布图和空间分析采用 ArcGIS9.0,半方差模型拟合及参数选择采用 ArcGIS 9.0 的扩展模块 Geostatistical Analyst。

2 结果与分析

2.1 描述统计

为了全面、正确了解研究区土壤有机质含量的基本特征,消除由于采样等因素产生的小部分离群值对土壤有机质空间分布趋势的影响,首先采用基于迭代的空离群点检测算法剔除离群值^[12],共检测到 4 个空间离群点。表 1 分别是剔除离群值前后土样有机质含量的统计参数。从表 1 可见,剔除离群值前研究区 364 个土样有机质含量介于 0.91 ~ 10.90 g/kg 之间,极差值为 9.91 g/kg,平均 3.42 g/kg,变异系数为 31.3%。消除离群值后 360 个土样的有机质含量平均值变为 3.37 g/kg,标准差和变异系数分别为 0.93 g/kg 和 27.6%,变化较小,而最大值和极差分别变为 7.22 g/kg 和 6.31 g/kg,变化较大,表明原始测定结果中最大值离群,被剔除。表明研究区有机质含量整体偏低,具有中等程度变异^[13]。后文中所有统计结果均采用消除离群值后 360 个土样的有机质测定结果分析。

表 1 剔除离群值前后研究区土壤有机质含量的基本统计学特征(g/kg)

Table 1 Statistical characteristics of soil organic matter content before and after excluding outlier

特征值 Items	平均值 Mean	中数 Median	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	标准差 SD.	变异系数 CV.(%)
剔除离群值前(n=364) Before removing outlier	3.42	3.22	0.91	10.90	9.91	1.07	31.3
剔除离群值后(n=360) After removing outlier	3.37	3.22	0.91	7.22	6.31	0.93	27.6

2.2 统计分析

由于数据的正态分布是使用时统计学方法的前提,只有当数据服从正态分布时,克里格方法才有效^[10]。图 2 是对 360 个土样有机质测定结果做出的直方图和正态分布曲线,并采用 ArcGIS 地统计分析模块 Geostatistical Analyst 的数据分析工具 Normal QQPLOT 进行正态 QQPLOT 分布图检验,表明研究区有机质含量基本符合正态分布,可以进行半方差分析和克里格插值。

2.3 地统计分析

2.3.1 趋势分析 为了揭示研究区土壤有机质含量在空间分布的总体规律,反映其在空间区域上变化的主体特征,应用 ArcGIS9.0 地统计模块 Geostatistical Analyst 的数据分析工具 Trend Analysis 获取了研究区土壤有机质含量的空间趋势图(图 3)。图中

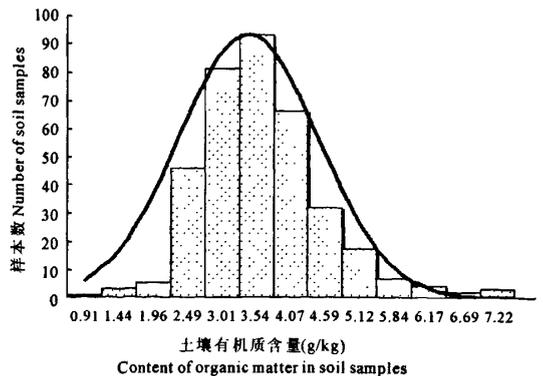


图 2 土壤有机质含量直方图

Fig. 2 Histograms of soil organic matter content in soil samples

X 轴表示正东方向,Y 轴表示正北方向,Z 轴表示各采样点有机质的测定值,XY 轴所在平面上的竖棒

表示每一各采样点有机质的测定值和它所在的空间位置,南北方向趋势线和东西方向趋势线分别为有机质含量在南北向和东西向的投影的拟合线。从图 3 可见,研究区有机质含量在东西方向趋势不明显,而在南北方向具有明显的南低北高趋势,并符合一

阶曲线的特征,在后面进行半方差分析时将去除该趋势,以获得更为准确的半方差模型,但在 Kriging 插值时将追加该趋势,以获得更有实际意义的插值结果^[11]。

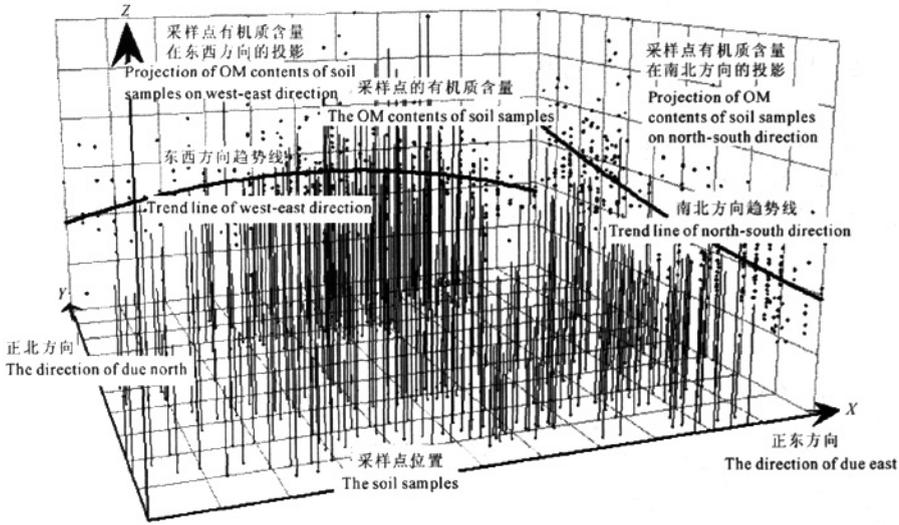


图 3 土壤有机质含量趋势分析

Fig.3 Trend analysis of soil organic matter(OM) content in soil samples

2.3.2 半方差模型分析 利用 ArcGIS 地统计模块,选取不同半方差模型对有机质含量的空间变异进行拟合,模型的选择标准是:预测结果的标准平均值(*MS*)最接近于 0,均方根预测误差(*RMS*)最小,

平均标准误差(*ASE*)最接近于均方根预测误差(*RMS*),标准均方根预测误差(*RMSS*)最接近于 1^[14]。选择了球状模型为最优模型,模型参数见表 2。

表 2 半方差函数模型拟合结果及其参数

Table 2 Semi-variogram model of available K content and its parameters

模型类型 Model	趋势 Trend	变程 Range(m)		块金值 C_0 (g^2/kg^2)	基台值 $C_0 + C_1$ (g^2/kg^2)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C_1)$ (%)	预测误差 Predicted error			
		长轴 Major	短轴 Minor				<i>MS</i>	<i>RMS</i>	<i>ASE</i>	<i>RMSS</i>
球状 Spherical	一阶 First-order	965.7	440.3	0.399	0.362	52.4	0.002	0.786	0.741	1.055

表 2 中,长轴和短轴变程分别为 965.7 m 和 440.3 m,显示其在长轴方向和短轴方向的变程存在较大差异,表明研究区有机质含量的空间变异具有明显的异向性特征,土壤采样点间的距离和方向都对半方差模型产生影响。 $C_0/(C_0 + C)$ 是随机部分引起的空间变异占系统总变异的比,揭示了变量的空间相关程度,若比值 $< 25\%$,表明变量具有强烈的空间相关性,若比值 $> 75\%$ 时,变量空间相关性很弱,比值在 $25\% \sim 75\%$ 之间,变量具有中等程度的空间相关性^[15]。由表 2 可知,研究区有机质表现出中等的空间相关性,表明其空间变异由结构性因素

和随机性因素共同作用。

2.3.3 Kriging 插值分析 在半方差结构分析和模型拟合的基础上,采用普通 Kriging 插值方法,考虑各向异性,选取一阶趋势参数,得到研究区有机质含量的空间分布图(图 4)。

由图 4 可知,研究区有机质含量分布整体表现出较明显的北高南低、中间高四周低的阶梯状分布趋势。将该有机质分布趋势图与该研究区的地形图和作物类型分布图进行比对,发现有有机质含量高的区域多数地势相对较高,而这些区域多数以种植葡萄、苹果等果树为主。显然这种分布状况是由自然

和人为因素共同作用的结果。一方面研究区有机质含量空间分布受地形、土壤母质等土壤内在驱动力的影响^[16],使得有机质含量的结构性明显,另一方面,不同地块由于农户施肥、耕作的差异等随机性因素使不同农户田块之间土壤性质存在差异,引起研究区有机质呈如图4所示的阶梯状分布。

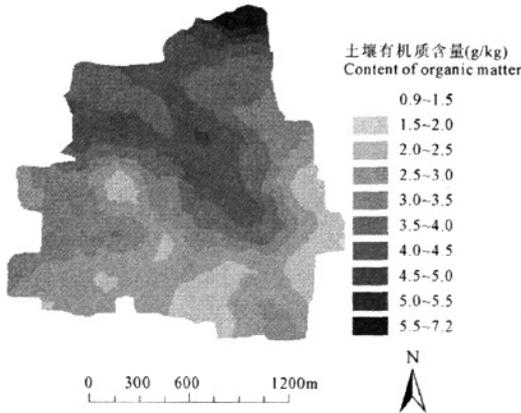


图4 研究区有机质含量空间分布

Fig.4 Spatial distribution map of soil organic matter content

3 结论

本文在网格法采集土样基础上,以 ArcGIS 地统计分析模块 Geostatistical Analyst 为工具,对陕西黄土高原地区村级尺度下农田土壤有机质含量的空间变异特征及空间分布格局进行了定量分析。主要结论如下:

1) 研究区 360 个土样的有机质含量平均值为 3.37 g/kg, 变异系数为 27.6%, 有机质含量整体偏低, 具有中等程度变异。研究区有机质含量基本符合正态分布, 可以进行半方差分析和克里格插值。趋势分析显示, 研究区有机质含量在南北方向具有明显的南低北高趋势, 可用一阶曲线拟合。

2) ArcGIS 地统计学分析表明, 研究区有机质含量的最优半方差函数模型为球状模型, 长轴和短轴变程分别为 965.7 m 和 440.3 m, 表现出中等的空间相关性, 表明其空间变异由结构性因素和随机性因素共同作用。

3) 普通 Kriging 插值结果分析表明, 研究区有机质含量分布表现出较明显的北高南低、中间高四周低的阶梯状分布趋势。这种分布状况是由自然(地

势)和人为因素(作物类型)共同作用的结果。

4) 本研究从村级这一较小的空间尺度出发, 得出的农田土壤有机质含量的空间变异特征与苑小勇、蒋勇军等在区级和流域等较大空间尺度下的结论基本一致^[6,7]。这表明有机质的空间变异特征可能受空间尺度的影响有限, 显然这与其它土壤养分因子有很大的不同。因此在今后土壤属性空间变异性研究中, 对空间尺度的选择应该成为今后关注的问题之一。

参考文献:

- [1] 沈宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 206-211.
- [2] 杨世琦, 杨正礼. 黄土高原生态系统演替进程中土壤有机质和 pH 值变化规律[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 159-163.
- [3] Huang Biao, Sun Weixia, Zhao Yongcun, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. Geoderma, 2007, 139: 336-345.
- [4] 焦晓光, 隋跃宇, 张兴义. 土壤有机质含量与土壤脲酶活性关系的研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(4): 494-496.
- [5] 胡克林, 李保国, 林启美. 农田土壤养分的空间变异性特征[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 33-38.
- [6] 苑小勇, 黄元仿, 高如泰, 等. 北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 2(24): 70-76.
- [7] 蒋勇军, 袁道先, 谢世友, 等. 典型岩溶流域土壤有机质空间变异—以云南小江流域为例[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2040-2047.
- [8] 吕贻忠, 李保国, 崔燕. 不同植被群落下土壤有机质和速效磷的小尺度空间变异[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1581-1588.
- [9] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 42-70.
- [10] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 35-149.
- [11] Goovaerts, Pierre. Geostatistics for Natural Resources Evaluation [M]. Oxford University Press, Inc. 1997: 9-251.
- [12] 贾瑞玉, 钱光超, 张然, 等. 空间离群点的检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5): 28-30.
- [13] 雷志栋, 杨诗秀. 土壤特性的空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985, (9): 10-21.
- [14] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 363-421.
- [15] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central low a soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1994, 58: 1501-1511.
- [16] 黄元仿, 周志宇, 苑小勇, 等. 干旱荒漠区土壤有机质空间变异特征[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2776-2781.

Effects of land use type on soil nutrients in the semiarid area of western Jilin Province

— A case study in Tongyu County of Jilin

REN Chun-ying, ZHANG Bai, WANG Zong-ming, SONG Kai-shan, LIU Dian-wei

(*Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China*)

Abstract: Taking Tongyu County as a typical study area, this paper evaluated the effects of land use type and its changes on soil nutrients in the surface soil of semiarid area of western Jilin Province. Field soil sample data and land use data were used to identify land use changes within two typical periods of 1986 and 2006, to examine soil nutrient changes between 1986 and 2006, and to analyze the relationship between land use changes and soil nutrient changes. The results indicated that the spatial pattern of land use types in Tongyu County had obvious changes in recent 20 years. The area percentage of cropland increased by 53%, while that of grassland declined from 27.3% to 13.5%. The level of soil nutrients in the surface soil of Tongyu County is very low. Total nitrogen, total phosphorus and total potassium of 2006 decreased significantly in comparison with 1986, while soil organic matter and available nutrients had no significant difference between 1986 and 2006. Among samples of 2006, significant differences between cropland, grassland and woodland were found on soil nutrients including total phosphorus and available potassium. Except total phosphorus, total potassium and available potassium, the contents of other soil nutrients in salina land were obviously lower than those in cropland, grassland and woodland. Land use changes had resulted in soil nutrient changes in the study area. Land reclamation led to the increase of soil organic matter, but other land use conversion resulted in the decrease of soil organic matter. Most total nutrients declined, while available nutrients increased after the conversion of land use type.

Keywords: land use type; land use change; soil nutrients; western Jilin; Tongyu County

(上接第 191 页)

The spatial pattern of soil organic matter in the Loess Plateau with village scale based on ArcGIS geostatistics

GAO Yi-min, TONG Yan-an, CHANG Qing-rui, ZENG Yan-juan

(*College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: The objective of this study was to explore the relationship between spatial variability of soil organic matter and agro-ecological environment in the Loess Plateau. Geostatistics module of ArcGIS was applied to study the spatial variability and spatial pattern of soil organic matter, based on the data of 360 soil samples that were taken by grid sampling method in Xinji village in Shaanxi as the case study. The results indicated that the average content of soil organic matter was 3.37 g/kg, with a normal distribution in the study area. The distribution of soil organic matter content in the whole area exhibited a first-order trend. The best theoretical model was spherical model, with anisotropy. The spatial autocorrelation distances (ranges) were 965.7 m and 440.3 m in long axle and in short axle, respectively, and the degree of spatial autocorrelation was moderate. A spatial distribution map of soil organic matter content was obtained using ordinary Kriging interpolation, which showed that soil organic matter was higher in north and center than that in south and around, turning out ladder-like distribution trends. This spatial pattern was consistent with structural factors (topography) and random factors (land-use types).

Keywords: ArcGIS; geostatistics; loess plateau; village scale; soil organic matter; spatial pattern