

# 哈尔滨市黑土全量养分空间变异分析 ——以方正县德善村为例

张久明<sup>1</sup>, 迟凤琴<sup>1</sup>, 杨思平<sup>2</sup>, 宿庆瑞<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 哈尔滨 150086; 2. 沈阳军区直属农副业基地管理局, 哈尔滨 150090)

**摘要:** 利用地统计学和 GIS 相结合的方法分析了哈尔滨市方正县德善村土壤养分有机质、全氮、全磷、全钾空间变异状况。采集土壤表层 0~20 cm 土样 51 个, 面积约 50 hm<sup>2</sup>。经常规化验分析和空间分析结果表明: 有机质变异系数<0.1 为弱变异, 全氮、全磷、全钾在 0.1~0.9 为中等变异; 土壤有机质、全氮的理论模型均为球状模型; 全磷和全钾理论模型为指数模型; 有机质和全氮的 C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C) 分别为 8.3%、8.9%, 说明这两种养分具有较强的空间相关性; 全磷、全钾的 C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C) 分别为 49.6%、49.9%, 具有中等空间相关性。

**关键词:** 空间异质性; 黑土; 土壤养分; 地统计学

中图分类号: S155.2<sup>+</sup>7      文献标识码: A      文章编号: 1002-2767(2008)03-0052-04

## Spatial Heterogeneity Analysis on Black Soil Total Nutrients in Harbin ——A Case of Deshan Village in Fangzheng County

ZHANG Jiu-ming<sup>1</sup>, CHI Feng-qin<sup>1</sup>, YANG Si-ping<sup>2</sup>, SU Qing-rui<sup>1</sup>

(1. Soil and Fertilizer and Environment Resource Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086; 2. Administration of Agriculture Sideline Production Site Directly under the Regional Military Command of Shenyang Military Region, Harbin 150090)

**Abstract:** To provide scientific suggestions on soil nutrient management and balanced fertilization in Harbin city, Geostatistics method and Geographic Information Systems were introduced to study soil spatial heterogeneity in Deshan village in Fangzheng county. 51 soil samples at the depth 0~20 cm were collected from a 50 hm<sup>2</sup> stubble field and the soil properties that organic matter, total N, total P, total K were analyzed. After treated with routine chemical method and spatial analysis, the results indicated: soil organic matter (OM) showed weak variation, and the coefficient of variation (CV) was less than 0.1; total N, total P and total K showed medium variation, with CV between 0.1 and 0.9; the theoretic semivariogram models of OM and total N were spheroid; that models of total P and total K were exponent; the ratios between Nugget and Sill of OM and total N were 8.3% and 8.9%, respectively, which indicated the strong spatial correlation between these two nutrients; the ratios of total P and total K were 49.6% and 49.9%, respectively, so they show medium spatial correlation.

**Key words:** spatial heterogeneity; Black soil; soil nutrient; Geostatistics

土壤是指覆盖在地球表面上具有一定肥力并能生长植物的疏松层, 是受自然因素(母质、气候、生

物、地形与时间)以及人为因素共同作用而形成的, 是不均一和变化的时空连续体, 具有高度的空间变异性。空间变异性是土壤的一种自然属性, 其中养分的空间变异性是土壤特性空间变异性的一个重要方面。土壤养分的空间变异性就是指土壤中所含养分在不同空间位置所表现出的差异性。地统计学是分析土壤性状空间分布和空间变异性的最有效方法之一<sup>[1-2]</sup>。利用 GIS 软件与地统计学软件相结合的

收稿日期: 2007-12-20  
基金项目: 哈尔滨市科技攻关计划资助项目(2006AA6AN032); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD05B05); 土壤环境与植物营养黑龙江省重点实验室资助项目  
第一作者简介: 张久明(1980-), 男, 黑龙江省人, 硕士, 研实, 主要从事土壤肥力和 3S 应用方面研究。E-mail: zjm\_8049@163.com.

方法, 在空间结构和空间变异尺度方面, 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<sup>[3]</sup>。由于自然因素制约和人为活动破坏, 近些年来哈尔滨市农田土壤退化和供肥能力降低, 直接导致作物产量下降, 自然灾害频繁发生。鉴于哈尔滨市土壤的重要性及目前的严峻状况, 从保证粮食安全、农业可持续发展战略高度, 选择哈尔滨市周边具有代表性土壤——方正县德善乡德善村薄层黑土作为研究对象, 分析土壤的空间变异性, 绘出养分空间分布图, 旨在为哈尔滨市土壤养分管理和平衡施肥提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

德善村耕地面积 822 hm<sup>2</sup>, 旱田占 34%, 常住农户 666 户, 人口 2 669 人。位于哈尔滨市方正县中部。气候属于大陆性季风气候, 年降雨量在 400 ~ 600 mm, 全年无霜期为 125 d 左右。主要粮食作物有玉米、大豆、水稻。

### 1.2 数据采集

样本采集于 2006 年 10 月。用 GPS 定位、网格法采样。在每个采样点处约 1 hm<sup>2</sup> 范围内采集 5 个点组成一个混合土样, 采集土壤表层 0 ~ 20 cm 土样 51 个, 采样面积为 50 hm<sup>2</sup>, 经风干、剔除杂质后送往实验室进行化验分析。参照鲁如坤主编的《土壤农业化学分析方法》测定土壤养分含量。有机质采用外加热重铬酸钾容量法, 全氮采用开氏消煮法, 全磷采用酸液-钼锑抗比色法, 全钾采用氢氧化钠熔融法。

### 1.3 分析方法

样品的描述性分析采用 spss14 软件包, 变异函数分析采用地统计学软件 GS+ 5.3 b。变异函数是以区域化变量理论为基础分析自然现象空间变异和空间相关的统计学<sup>[4-5]</sup>。目前变异函数分析在生态学中的应用被证明是一个有效的描述空间数据的方法<sup>[6]</sup>。假设区域化变量满足二阶平稳和本征假设, 用于估计变异函数  $r(h)$  的公式为:

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

其中  $n(h)$  为由距离  $h$  分隔的观测点的对数;  $h$  为滞后距离 (Lag);  $Z(X_i+h)$  和  $Z(X_i)$  分别为区域化变量  $Z(X)$  在位置  $X_i+h$  和  $X_i$  的实测值。

土壤养分空间分布图利用 ArcViewGIS 3.3 软件平面空间分析功能 Kriging 内插值的方法绘制。Kriging 法是利用区域化变量的原始数据半方差函数获得最佳理论模型以后利用该模型对未取样点的

区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。此方法的最大优点是在估计未知样点数值时, 它不仅考虑了落在该样点的数值, 而且还考虑了邻近样点彼此之间的数值, 这就使得比传统的估计方法更精确, 更符合实际。

## 2 结果与讨论

### 2.1 变异性分析

标准差、变异系数、最大值、最小值表示数据的异质性程度。平均数可以作为总体的代表值, 反映总体的典型特征或水平, 可以作为对总体或频数分布集中性的一种统计描述。偏度和峰度是描述数据分布形态的统计量, 其中偏度是描述其变量取值分布对称性的统计量, 分布对称时  $S_k = 0$ , 正偏时  $S_k > 0$ , 负偏时  $S_k < 0$ ; 而峰度是描述某变量所有取值分布形态陡缓程度的统计量, 峰度越接近 0 表示其数据分布与正态分布的陡缓程度相同<sup>[7-8]</sup>。数据经 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (K-S) 进行检验, 检验时取显著水平  $\alpha = 0.05$ , 若  $P_{K-S} > 0.05$ , 则认为数据服从正态分布。变异系数的差异反映了土壤养分含量变化的程度大小, 其中全磷 = 全钾 > 全氮 > 有机质, 表 1 可知有机质变异系数  $< 0.1$ , 为弱变异; 全氮、全磷、全钾在 0.1 ~ 0.9, 为中等变异。表 2 中显示有机质、全氮、全磷、全钾均符合正态分布。

表 1 土壤养分指标描述性统计量

土壤养分指标	最大值 / g · kg <sup>-1</sup>	最小值 平均值		标准 偏差	变异 系数	倾斜度	峭度
		/ g · kg <sup>-1</sup>	/ g · kg <sup>-1</sup>				
有机质	34.69	14.45	27.31	1.028	0.04	-0.97	-0.06
全氮	3.76	1.16	2.64	0.56	0.21	-0.55	0.04
全磷	3.28	0.63	1.43	0.59	0.41	1.8	2.78
全钾	41.6	15.9	23.51	9.6	0.41	-0.7	0.43

注: 样本数 n=51。

表 2 研究区土壤各元素含量正态分布检验

项目	有机质	全氮	全磷	全钾
N	51	51	51	51
PK-S	0.85	0.79	0.3	0.123

注: 表示该元素  $P_{K-S} > 0.05$ , 服从正态分布。

### 2.2 地统计学分析

2.2.1 土壤养分性状空间变异分析 土壤的变异可分为系统变异和随机变异两类。系统变异是由那些土壤形成因素相互作用造成的, 随机变异是那些可以观测到但与土壤形成因素无关因素造成的<sup>[9]</sup>。结构性因子决定系统变异, 人为的随机因子决定随机变异。一般结构性因子是指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; 随机因子是指土壤管理过程的施肥、种植的作物、耕作栽培措施等。表 3 是变异函数的理论模型及有关参数。块金

值( $C_0$ )表示随机因素引起的变异,基台值( $C_0+C$ )表示系统总的变异。块金值和基台值的比值  $C_0/(C_0+C)$ 表明有机质和全氮分别为 8.3%、8.9%,受随机性因素影响较小;而全磷和全钾随机因素为 49.6%和 49.9%,表明随机因素和结构因素的影响基本相当。有机质、全氮、全磷、全钾决定系数为 0.257~0.927,

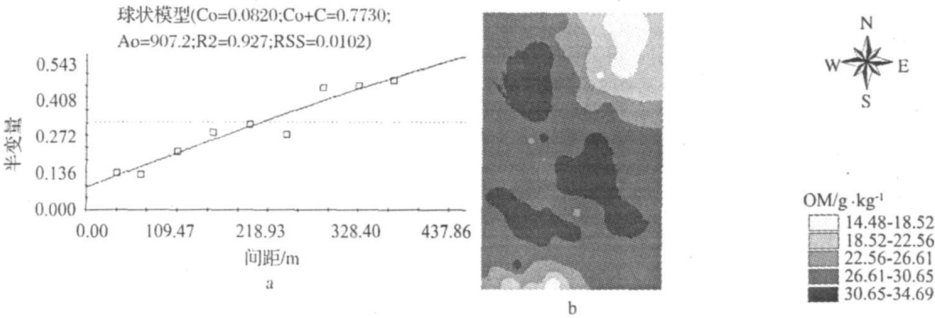
表明理论模型较好地反映了 4 种土壤养分指标。变程也是十分重要的参数,表示样点之间的最大相关距离。当  $h \geq a$  以后,区域化变量  $Z(x)$ 空间相关性消失,在表 3 中可知有机质和全氮的变程较为接近,分别为 604.7 m 和 607.3 m;全磷、全钾变程较远,分别为 2 016 m 和 2 732.7 m。

表 3 变异函数理论模型及相应参数

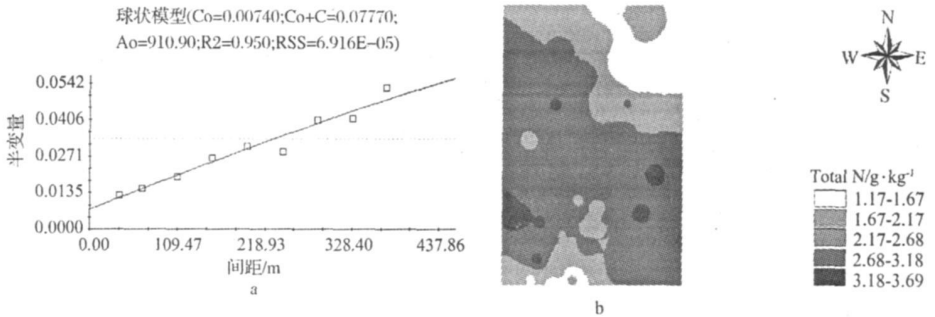
项目	理论模型	块金值( $C_0$ )	基台值( $C_0+C$ )	块金值/基台值 ( $C_0/(C_0+C)$ )	变程/m	决定系数( $R_2$ )	残差(RSS)
有机质	球状模型	0.082	0.773	0.083	604.7	0.927	1.0E-02
全氮	球状模型	0.007	0.078	0.089	607.3	0.950	6.9E-05
全磷	指数模型	0.067	0.135	0.496	2016.0	0.257	1.5E-03
全钾	指数模型	0.252	0.505	0.499	2732.7	0.304	7.5E-03

2.2.2 土壤养分的空间分布 有机质和全氮具有很好的空间相关性,分布图上(图 1,图 2)可见东北角和西南角的含量都相对较低,最低含量分别为  $14.48\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $1.17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,相对较高的区域出现在中部,有机质的含量大部分集中在  $26.61\sim30.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮的含量

多集中在  $2.68\sim3.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;全磷的养分含量多集中在  $0.63\sim1.95\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,属于中等偏高水平;全钾的养分含量多集中在  $21.05\sim31.29\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,含量中等 较低的区域位于北部含量在  $15.94\sim21.05\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,较高的区域出现在西南角含量在  $36.41\sim41.52\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。



a. 半方差函数曲线图; b. 克里格插值图  
图 1 土壤有机质

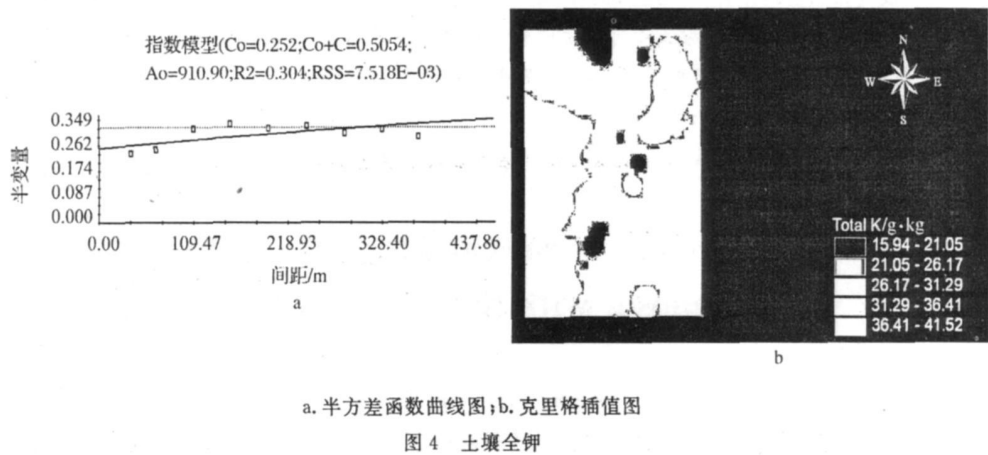
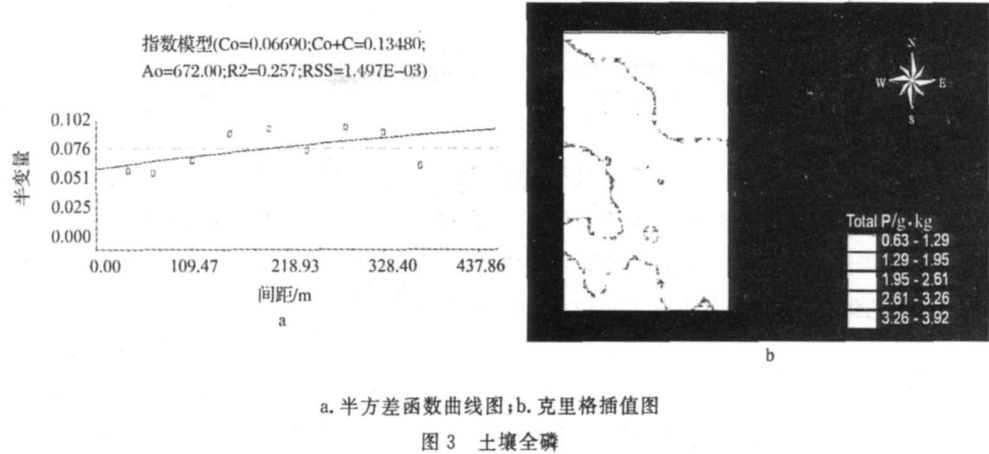


a. 半方差函数曲线图; b. 克里格插值图  
图 2 土壤全氮

3 结论

哈尔滨市方正县德善乡德善村土壤全量养分属中等空间变异。土壤有机质、全氮养分空间分布主要受结构性因子影响,中部较高,东北和西南部较低;有机质平均含量为  $27.31\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,偏低,全氮含量平均为  $2.64\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,属中等含量;全磷平均含量为  $1.43\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全钾含量为  $23.51\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,中等。有机质变异系数 $<0.1$ 为弱变异,全氮、全磷、全钾

在 0.1~0.9 为中等变异;土壤有机质、全氮的理论模型均为球状模型;全磷和全钾理论模型为指数模型;有机质和全氮的  $C_0/(C_0+C)$ 分别为 8.3%、8.9%,说明这两种养分具有较强的空间相关性,空间分布主要受结构性因子影响;全磷、全钾的  $C_0/(C_0+C)$ 分别为 49.6%、49.9%,具有中等空间相关性。全磷和全钾受随机性因子影响较大,这与当地的不同农户种植作物和施肥状况有关。对当地的 14 个



用户调查发现,  $P_2O_5$  的施入量为  $25 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 平均为  $56.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $K_2O$  的施入量为  $0 \sim 30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 平均为  $18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ .

参考文献:

[ 1 ] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999: 102-149.

[ 2 ] 姜勇. 沈阳市郊耕地土壤交换性铁含量的空间异质性[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 119-121.

[ 3 ] 郭旭东, 傅薄杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间异质研究[ J ]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557-563.

[ 4 ] CRESSIE, N. A. C. .Statistics for spatial data[ M ]. New York: John Wiley & Sons, N. Y. USA, 1991.

[ 5 ] WEBSTER R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[ J ]. Advance in Soil Science, 1985, 3: 64-70.

[ 6 ] LEGENDRE P, M-J Fortin. Spatial pattern and ecological analysis[ J ]. Vegetatio, 1989, 80: 107-138.

[ 7 ] 余建英, 何旭宏. 数理统计分析与 SPSS 应用[ M ]. 北京: 北京人民邮电出版社, 2003.

[ 8 ] 孟凯, 王德录, 张兴义, 等. 黑土有机质分解、积累及其变化规律[ J ]. 土壤与环境, 2002, 11(1): 42-46.

[ 9 ] ROSSI R E, MULLA D J, JOURENL A G, et al. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence[ J ]. Ecological Monographs, 1992, 62: 277-314.

(上接第 38 页)

### 3 小结

通过试验得出结论, 节水条件下, 以  $26.4 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  的产量最高, 与常规栽培的  $30 \text{ cm} \times 13.3 \text{ cm}$  产量接近。说明在节水的同时, 要有相应的栽培密度与之相配套, 才能保证水稻的稳产、高产。

参考文献:

[ 1 ] 夏瑜, 杨为芳, 唐茂艳, 等. 不同耕作方式和栽培密度下强化栽

培水稻的生长发育与产量形成[ J ]. 中国农学通报, 2006, 22 (12): 144-147.

[ 2 ] 吴春赞, 叶定池, 林华, 等. 栽插密度对水稻产量及品质的影响[ J ]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 190-205.

[ 3 ] 郑桂萍, 李金峰, 钱永德, 等. 土壤水分对水稻产量与品质的影响[ J ]. 作物学报, 2006, 32(8): 1261-1264.

[ 4 ] 陆锦贤, 华勤新, 殷永福. 水稻不同移栽密度与产量的关系[ J ]. 上海农业科技, 2007(3): 51.