

文章编号:1671-6833(2008)04-0054-04

不同深度的土壤中硝态氮的空间变异性研究

李金荣¹, 杨振放¹, 李金玲²

(1. 郑州大学 环境与水利学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007)

摘 要: 对 100 m² 面积内的 200 个土壤不同深度取样并分析其硝态氮含量, 用区域化变量理论和半方差函数分析, 研究结果表明不同深度土壤中硝态氮含量在一定范围内均具有空间变异性, 属于中等程度变异, 深层土壤硝态氮含量的变异系数大于浅层土壤的; 硝态氮含量的半方差随着取样间距的增加而增加, 到一定程度趋于稳定, 存在着空间变异结构, 最后对其进行拟合, 确定其变异程度及空间相关尺度, 其变异程度主要由土壤本身的空间结构引起, 不同深度土壤中硝态氮含量的空间相关尺度不同。

关键词: 硝态氮; 空间变异; 区域化变量; 半方差分析

中图分类号: S 152 **文献标识码:** A

0 引言

自然界土壤分布极其复杂, 同一质地的土壤在同一平面或不同深度上并不完全均质, 其土壤物理特性等参数在各点的值也并不相同. 田间实际情况表明^[1], 即使在土壤质地相同的区域内, 同一时刻土壤特性在不同空间位置上的量值并不相同, 具有明显差异, 这种属性称为土壤特性的空间变异性. 土壤特性空间变异是普遍存在的, 其变异来源包括系统变异和随机变异两种^[2-3]. 土壤特性的系统变异是由母质、气候、水文、地形、生物、时间、人类活动等差异引起的, 而随机变异是由取样、分析等的误差引起的. 所以农业生产中的施肥、灌溉及养分本身在土壤剖面中的淋洗等都会引起土壤特性的空间变异. 土壤特性特别是土壤养分空间变异, 是管好土壤养分和合理施肥的基础. 反过来其养分的变异必然会引起其作物生长的变异. 所以, 开展土壤养分空间变异性研究可以合理地制定农田施肥方案, 提高养分资源利用率, 实现精确施肥都具有重要意义.

近年来, 国内外许多土壤学家开始了土壤养分空间变异性的研究, 高祥照等^[4]研究了土壤养分空间变异对作物的收成有重要影响; 郭旭东等^[5]用地质统计学研究了贵州省遵义市土壤表层中 5 种养分的空间变异特性, 采用变异函数和 Kriging 插值分析, 得出了该区土壤的空间结构. SOUZA 等^[6]研究半干旱区土壤盐分的空间变异,

为该区土壤的管理和复垦研究提供科学依据. 美国、加拿大等国家的精确农业研究已见成效, 这与他们对土壤空间变异性研究的重视, 对土壤科学、农业科学的大力投入是密切相关的.

我国北方旱地土壤氮素形态一般以氨态氮和硝态氮为主, 所以土壤中硝态氮的空间变异必然会引起该土壤中农作物的生长变异. 我省北部均以种植小麦、玉米为主, 且灌溉均为漫灌. 所以我们可以从小区域土壤研究开始, 开展土壤硝态氮含量空间变异性研究, 根据研究结果科学地制定农田施肥方案, 提高农田氮肥利用率, 选用合适的灌溉技术, 为大范围的研究提供参考.

1 基本理论

1.1 区域化变量

区域化变量理论是地质统计学的理论基础. 它的数学定义是^[7]: 以空间点 x 的 3 个直角坐标 x_u, x_v, x_w 为自变量的随机场 $Z(x_u, x_v, x_w) = Z(x)$ 称为一个区域化变量, 它的显著特征是随机性、结构性. 土壤中硝态氮含量可以看成是区域化变量, 它具有随机性和结构性. 随机性是指在土壤系统内, 任意空间点 x 处, 其土壤养分的取值是不确定的, 可以看作是一个随机变量, 这就体现了其随机性特征. 结构性是指在两个不同空间点土壤养分具有某种程度的自相关性, 一般而言两个点间距越小, 相关性越好. 这种自相关性反映了这种变量的某种连续性和关联性, 体现了其结构性的一面.

收稿日期: 2008-07-01; 修订日期: 2008-08-13

作者简介: 李金荣(1973-), 女, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事农业环境和水文学水资源方面的研究, E-mail: Lijinrong@zzu.edu.cn.

1.2 半方差函数

半方差函数也称为空间变异函数 (Semivariograms), 只要是与空间有关的变量, 都可以用半方差函数来计算它。它既能描述区域化变量的结构性特征, 又能描述其随机性变化。半方差函数是描述土壤特性空间变异结构的一个函数。假设随机函数均值稳定, 方差存在且有限, 把区域化变量 $Z(x)$ 在 $x, x+h$ 两点处样本值之差的方差之半定义为 $Z(x)$ 在 x 方向上的变异函数 (又称方差函数), 记为 $\gamma(x, h)$ 。实际工作中我们用实验方差函数 $\gamma^*(h)$ 的计算公式:

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

式中: $Z(x_i)$ 为研究区土壤中硝态氮在 n 个点上的测量值, 数据对 $\{Z(x_i), Z(x_i + h)\} [i = 1, 2, \dots, N(h)]$ 为在某一方向上相距为 $|h|$ 的点 $(x_i, x_i + h)$ 上的测量值, $n(h)$ 为数据对 $\{Z(x_i), Z(x_i + h)\}$ 的对数。对于不同间距的 h 可计算出相应的 $\gamma^*(h)$ 值。

数据对越多, 计算的半方差函数值的精度越高。对不同的滞后距 h , 公式(1)可以算出相应的 $\gamma^*(h)$ 。对于每一个滞后距 h_i , 把诸点 $[h_i, \gamma^*(h_i)]$ 在 $h - \gamma^*(h)$ 图上标出, 再将相邻的点用线段连接起来所得到的图形, 称为实验半方差函数图 (或实验方差图)。为了对区域化变量的未知值作出估计, 还需要将实验方差函数拟合成相应的理论方差函数模型。拟合的模型有多种, 其中常用的模型为球状模型。研究表明, 变量只要具有空间变异性, 都可以用此模型来计算。具体的球状模型如下:

$$\gamma^*(h) = \begin{cases} 0 & (h = 0) \\ C_0 + C \left(\frac{3}{2} \times \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & (0 < h \leq a) \\ C_0 + C & (h > a) \end{cases} \quad (2)$$

式中: C_0 为基台值; C 为块金值; a 为变程值。

通过模型的拟和得到 3 个重要的参数: 变程值 a (Range), 基台值 C_0 (Sill), 块金值 C (Nugget), 其中变程值反映了土壤性质的空间变异性, 在变程值以外, 土壤性质是空间独立的, 而在变程值以内, 土壤性质是空间非独立的。块金值代表一种由非采样间距造成的变异, 一般是指土壤性质的测定误差。基台值是指在不同采样间距中存在的半方差极大值。参数见图 1。另外, 块金方差/基台值可表示空间变异程度。

2 试验材料和方法

2.1 试验区概况

试验区位于河南省浚县城西一实验田内, 该试验区的地貌类型为华北冲积平原, 地势比较平缓, 试验区的主要供试土壤为壤土, 区内气候属于半湿润半干旱大陆性季风气候, 四季比较分明。该区为小表-玉米一年两作。当季种植玉米。采样期间晴朗无雨, 采样时间为 2006 年 6 月 12 日。研究范围面积 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, 按照 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 设置网格, 共有 100 个观测点, 采样深度为耕层 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 和犁底层 $35 \sim 40 \text{ cm}$ 。

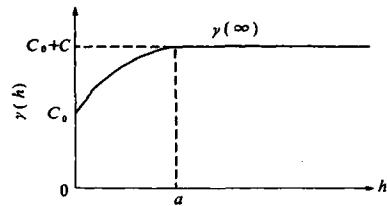


图 1 半方差图

Fig. 1 Sketch map of semi-variance

2.2 测定方法^[8]

本次试验所测定的项目为土壤含水率和硝态氮。试验所用的测定方法及仪器: 对田间所采集的土壤样品进行风干, 过 1 mm 的筛, 然后以 $5:1$ 的水土比用 1 mol/L 的 KCl 进行抽滤浸提, 在实验室用酚二磺酸比色法进行硝态氮含量的测定。

3 结果与讨论

3.1 土壤中硝态氮测定结果的统计特征值

根据测定结果, 并对硝态氮含量的总体分布进行非参数检验, 测得结果表明土壤硝态氮含量多数为对数正态分布类型。硝态氮的均值随土壤含水量的减小而增加, 说明随着土壤含水量的减小硝态氮向下层淋洗的量也相应减小。

变异系数 C_0 的大小反映土壤特性参数的空间变异性程度, 一般认为: $C_0 < 0.1$ 为弱变异性, $0.1 \leq C_0 \leq 1.0$ 为中等变异性, $C_0 > 1.0$ 为强变异性。从表 1 中的统计资料来看, 硝态氮含量变异系数的变化范围为 $0.31 \sim 0.64$, 属中等变异性。实验中, 采样深度为 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 时, 硝态氮的变异系数为 0.31 ; 采样深度为 $35 \sim 40 \text{ cm}$ 时, 硝态氮的变异系数为 0.64 。所以土壤中硝态氮的变异系数受土壤深度的影响, 深层的变异系数大于浅层的变异系数。说明土壤在前期灌溉的影响下, 土壤水

分随着时间不断向下淋滤,使深度土壤中的水分多于浅层土壤的,另外水分向下迁移的过程中,土壤中多余的养分即多余的确态氮含量也会随着水分向下迁移.造成深层土壤中确态氮的空间变异大于浅层土壤的.

表 1 土壤确态氮含量的统计特征值

Tab.1 The statistical feature values of soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$

土壤深度/cm	土壤属性	均值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最小值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	变异系数
10~15	确态氮	37.45	2.12	1.41	67.45	0.31
35~40	确态氮	56.89	5.14	3.01	94.54	0.64

同样我们在基本理论中已经谈到,确态氮在田间的分布具有地学的结构特征和统计学的随机特征.当然这些统计值只能在一定程度上反映样本总体,而不能定量地刻画土壤确态氮含量的随机性和不规则性、独立性和相关性,要对其解释并进行量化,必须对其进行空间变异结构分析.

3.2 土壤中确态氮的空间变异结构分析

半方差函数图在一定范围内反映不同观测点的观测值之间的依赖变化情况,从半方差函数图可以检验土壤中确态氮的空间变异性.根据计算结果得到两个土层的确态氮含量的半方差函数图(图2和图3).从其半方差函数图,可看出在一定范围内,确态氮含量的试验方差函数值均随采样点间距的增大而增加,从非零值达到一个相对稳定的常数,即当其间距增加到一定程度后,半方差函数值在某一常数上下摆动时,这一常数就是基台值 $C_0 + C_1$,与这一基台值相对应的间距就是变程 a ,且变程 a 等于最大自相关距离.当 $h < a$ 时,土壤确态氮含量之间存在着空间上的相关关系,当 $h \geq a$ 时,土壤确态氮含量值是独立的.当间隔距离 $h = 0$ 时, $\gamma(0) = C_0$,该值即为块金值 C_0 .

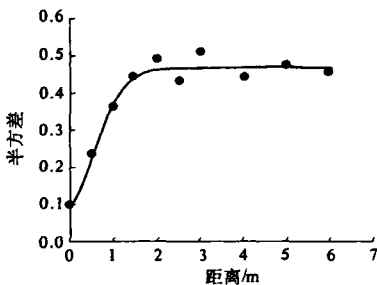


图 2 确态氮含量的半方差图(深度 10~15 cm)

Fig.2 Semi-variance of soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$

(soil water content of 18.3%)

图 2 和图 3 是根据半方差函数的计算公式得

到的曲线图,常见的区域化变量的半方差散点图包括球状模型、指数模型或高斯模型、线性模型,用这几种模型对半方差散点图进行拟合,从中选出拟合最好的一种模型.该研究区的土壤中确态氮的半方差散点图用球状模型拟合比较理想,然后用最小二乘法对该模型进行未知参数的估计.得出球状模型中的各个参数(C 、 a 、 C_0)(见表 2).

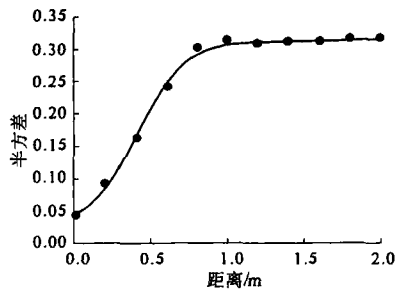


图 3 确态氮含量的半方差图(深度 35~40 cm)

Fig.3 Semi-variance of soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$

(soil water content of 23.5%)

表 2 土壤确态氮含量的半方差参数值

Tab.2 The semi-variance parameter values

of soil $\text{NO}_3^- - \text{N}$

土壤深度/cm	土壤属性	块金值 C_0	基台值 ($C_0 + C$)	变程 a	块金值/ 基台值
10~15	确态氮	0.09	0.46	1.75	0.19
35~40	确态氮	0.04	0.31	1.05	0.13

从参数表 2 中可以看出对土壤深度为 10~15 cm 的土壤来说,当取样间距 $h \geq a = 1.75$ m 时,自相关函数的值为零,方差函数值趋于稳定,也就是说,当采样间距小于 1.75 m 之内,确态氮含量具有明显的空间变异性,可以把确态氮含量当作区域化变量处理;当采样间距大于 1.75 m 时,确态氮含量不具有空间相关关系,可以把确态氮含量看作是相互独立的随机变量.对土壤深度为 35~40 cm 的土壤来说,当取样间距 $h \geq a = 1.05$ m 时,方差函数值趋于稳定,同样,当采样间距小于 1.05 m 之内,确态氮含量具有明显的空间变异性,把确态氮含量当作区域化变量处理;当采样间距大于 1.05 m 时,确态氮含量不具有空间相关关系,可以把确态氮含量看作是相互独立的随机变量.另外从表 2 计算结果可以看出来,较深的土壤,其确态氮含量的变程值稍微小于较浅的土壤,说明土壤的深度也影响到确态氮含量的空间变异,主要是因为深层土壤中水分较多,水分可以滞留较多的确态氮,这对实际的野外采样时要根

据不同深度的土壤来布置取样间距.对于浅层土壤,取样间距可以布置的大些;而对于深层土壤,取样间距相对布置的小些.

试验区土壤中硝态氮含量的空间变异既具有结构性,又具有随机性,是结构性因素和随机性因素共同作用的结果.二者对土壤属性的变异性影响程度如何,这可以从块金值与基台值之比($C_0/(C_0 + C)$)来表示其空间变异程度,如果该比值较高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大;相反,说明由系统变异引起的空间变异性程度较大;如果该比值在1附近,则说明该变量在整个研究尺度上具有恒定的变异.从表2计算结果可以看出这次试验区土壤的空间变异性主要是由土壤的空间结构本身引起的,而由随机部分引起的变异程度较小,不起主要作用.

4 结论

(1)本次试验区的试验结果表明,不同深度的土壤中硝态氮含量均具有空间变异性,供试的两个深度的土壤中,硝态氮含量的变异系数范围为0.31~0.64,都属于中等变异性.较深(35~40 cm)的土壤中硝态氮含量的变异系数(0.64)大于较浅(10~15 cm)的土壤中硝态氮的变异系数(0.31).

(2)根据地质统计学的基本理论,对两个深度的土壤中硝态氮含量进行空间变异结构分析,得到其变程值.对较浅(10~15 cm)的土壤来说,其硝态氮含量空间的相关距离为1.75 m;对较深

(35~40 cm)的土壤来说,其硝态氮含量空间的相关距离为1.05 m;并且试验区土壤的空间变异性主要是由土壤的空间结构本身引起的.

参考文献:

- [1] 黄绍文,金继运,杨俐苹,等.县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[J].土壤学报,2003,40(1):79-88.
- [2] LIANG W J, LI Q, JIANG Y, et al. Effect of cultivation on spatial distribution of nematode trophic groups in black soil[J]. Pedosphere, 2003, 13(2):97-102.
- [3] TRIANTAFILIS J, ODEH I O A, WARR B, et al. Mapping of salinity risk in the lower Namoi valley using non-linear Kriging methods[J]. Arg Water Manage, 2004, 69(3):203-231.
- [4] 高祥照,胡克林.土壤养分与作物产量的空间变异特征与精确施肥[J].中国农业科学,2002,35(22):660-666.
- [5] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.河北省遵化平原土壤养分的时空变异特性-变异函数与Kriging插值分析[J].地理学报,2000,55(5):556-566.
- [6] SOUZA L C, J E. Spatial variability of soil salinity in an alluvial soil of the semi-arid region of Paraiba state[J]. Pevista Brasileira. de. Engenharia Agricola. Ambiental, 2000, 4(1):35-44.
- [7] 孙洪泉.地质统计学及其应用[M].北京:中国矿业大学出版社,1990.
- [8] 城乡建设环境保护部环境保护局.环境监测分析方法[M],北京:中国环境科学出版社,1986.

Spacial Variations of $\text{NO}_3^- \text{N}$ in different deep in Soil of Different Depths

LI Jin-rong¹, YANG Zhen-fang¹, LI Jin-ling²

(1. School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Institute of Geological Survey of Henan Province, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Two hundred soil samplers at a plot of 100 m² were made. The $\text{NO}_3^- \text{N}$ in surface soil (10~15cm) and deep soil (35~40 cm) were measured. The author analyzed experimental data by the theory of regionalized variable theory and studied the special variations of $\text{NO}_3^- \text{N}$ in the study area. The results showed that the $\text{NO}_3^- \text{N}$ of different deep soil had spatial variability in a given spatial range. The semi-variances of $\text{NO}_3^- \text{N}$ were increased with the increase of the lag(h). Fitting the results with linear regressions, the parameters of the semi-variograms were estimated, and their variable extent and space correlative scale were made. The space correlative scale is different in soil of different depths.

Key words: $\text{NO}_3^- \text{N}$; spatial variability; regionalized variable theory; semi-variance analysis