

# 亚热带红壤丘陵典型区土壤全氮的空间变异特征

路 鹏<sup>1,2</sup>, 黄道友<sup>2</sup>, 宋变兰<sup>2</sup>, 黄 敏<sup>2</sup>, 刘守龙<sup>2</sup>, 苏以荣<sup>2</sup>, 肖和艾<sup>2</sup>, 吴金水<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100; 2 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

**摘 要:** 在 GIS 支持下, 运用地统计学方法分析了耕层土壤全氮的空间变异特征, 并在此基础上利用 Kriging 插值方法绘制了土壤全氮的空间分布图。结果表明, 在步长间隔 60 m 下, 土壤全氮具有较强的空间相关性, 其相关距离为 208 m。在 NE30°NE120 两个方向上具有典型的几何异向性结构特点; 在 NE60°NE150 两个方向上具有典型的带状异向性结构特点。Kriging 插值结果表明, 研究区土壤全氮的空间分布表现为条带状和斑块状分布。土壤全氮高值斑块的分布与地势相对低洼的地形部位相吻合。地形是影响土壤全氮空间变化的主要因素。

**关键词:** 土壤全氮; 空间变异性; Kriging 插值法; GIS; 亚热带典型区

**中图分类号:** S159

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0181-03

路 鹏, 黄道友, 宋变兰, 等. 亚热带红壤丘陵典型区土壤全氮的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 181- 183

Lu Peng, Huang Daoyou, Song Bianlan, et al. Characteristics of spatial variability of total soil nitrogen in the typical subtropical red soil hilly areas[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 181- 183 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

由于精准农业的兴起, 土壤养分空间变异性研究成为土壤科学研究领域的最前沿热点之一<sup>[1]</sup>, 对土壤养分空间变异的充分了解是管理好土壤养分和合理施肥的基础。氮素在亚热带红壤丘陵区的生态系统中起着重要的作用, 其含量直接影响着土壤生态系统的生产力<sup>[2]</sup>。

20 世纪 80 年代以来, 国内外一些学者如 Yost 等<sup>[3]</sup>, 郭旭东等<sup>[4]</sup>研究了大尺度下土壤全氮的空间分布; Gallardo<sup>[5]</sup>, 胡克林等<sup>[6]</sup>在小尺度上(1~ 10 hm<sup>2</sup>)对土壤氮素的空间变异进行了探讨。20 世纪 90 年代以来对大尺度下土壤养分的空间变异性研究较多, 而村级尺度研究较少, 甚至被忽略<sup>[7,8]</sup>, 有研究表明土壤小范围内的空间异质性和稳定性有更大的意义。至今, 国内大部分的研究以北方农田为主, 在亚热带红壤丘陵区村级尺度上的研究报道较少且研究土壤全氮的较少。仅如孙波等<sup>[9]</sup>, Zhang 等<sup>[10]</sup>研究了亚热带低丘红壤区土壤有机质的空间变异性。本文利用地统计学和 GIS 相结合的方法, 揭示亚热带典型区土壤全氮的空间变异特征, 旨在为土壤- 作物系统氮素营养和氮的生物地球化学循环研究提供理论参考。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于湖南省桃源县盘塘镇王家当村, 面积约为 3.2 km<sup>2</sup>。研究区地处中亚热带的北缘, 成土母质主要为第四纪红色黏土。地貌以低丘岗地为主, 坡度多在 8°~ 12°之间, 具有代表亚热带低丘岗地区多种地貌单元的复合结构特征。

### 1.2 土壤样品采集及分析

2003 年 5 月, 用 GPS 定位共采取表层(0~ 20 cm)土壤样品

收稿日期: 2005-01-06 修订日期: 2005-06-06

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-426); 国家自然科学基金重点项目(40235057); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412503)

作者简介: 路 鹏(1976-), 男, 博士生, 主要从事土地利用与土壤特性时空变异研究。长沙 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。Email: lupeng610@hotmail.com

通讯作者: 吴金水(1961-), 研究员, 副所长, 博士生导师, 长沙 中国科学院亚热带农业生态研究所, 410125。Email: jswu@isa.ac.cn

522 个。在取样点所在的田块范围内随机采集 15 个点作为一个混合样, 然后风干, 研磨过 0.25 mm 筛用于样品的测定。土壤全氮采用碳- 氮自动分析仪测定。

### 1.3 空间变异特征分析

为保证半方差函数的计算有足够的点对, 本文认为不少于 100 对才能求得精确的半方差。模型的检验采用决定系数( $R^2$ )和 $(z^* - z)^2$ 的值( $z^*$ 是某实测点上的 Kriging 估计值,  $z$ 是实测值)。半方差函数的计算, Kriging 插值图绘制由软件 LWIS3.1、ArcGIS8.3 共同完成。将采样点的定位数据导入 GIS 软件中, 经 ArcInfo 投影转换, 作为实验半方差函数的计算和 Kriging 插值法制图的数据源。插值结果以 ASCII 数据的格式输出存储, 然后生成 GRID 图形, 再将图形用研究区域边界切割, 最后生成研究区域相应的土壤全氮含量分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 各向同性下土壤全氮含量的空间变异分析

鉴于表 1 中  $R^2$  和  $(z^* - z)^2$  的大小及半方差函数点对的多少(大于 100 对), 选取步长间隔为 60 m, 即可以揭示土壤的微观变化特征, 也不会导致变异函数对土壤全氮的结构描述失真, 进而得到其各向同性半方差函数图(图 1)。其块金值较小为 0.058, 块金值很小表明采样密度能够充分反映研究区域土壤全氮的空间结构, 也表明在最小间距内的变异及分析过程中引起的误差较小。

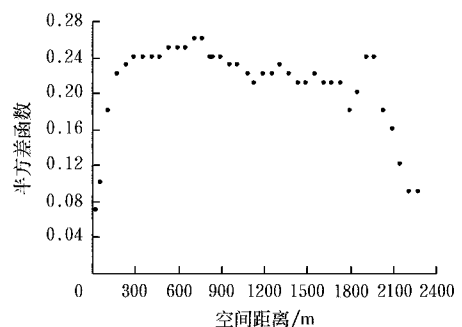


图 1 土壤全氮各向同性下半方差函数图

Fig 1 Isotropic semivariogram of total soil N

块金值随着步长间隔的增大而逐渐增大, 然而基台值基本在 0.24 上下波动(表 1)。这说明了在村级尺度内, 由随机因素引

起的空间异质性随着步长间隔的增大而逐渐增大,而总的内部变异基本上是一致的,没有随着步长间隔的增大而逐渐增大。而在 20~200 m 尺度上,土壤全氮的空间变异性都存在,并表现出不同的结构性。利用理论变异函数模型进行 Kriging 估值时,也

随步长间隔的增大而增大,说明采样的间隔尺度也不能过大,采样间隔增大虽可减少工作量,但变异函数对结构的代表性及估计、模拟精度都会相应降低。因为采样间隔越大,就会有越多小结构被掩盖,以块金常数的形式表示出来。

表 1 不同步长间隔下的理论半方差函数及参数

Table 1 Theoretical semivariogram model parameters at different lag intervals

步长间隔/m	模型类型	块金值 $C_0$	基台值 $C_0 + C_1$	变程 /m	$C_0/(C_0 + C_1)/\%$	$R^2$	$(z^* - z)^2$
20	S	0.011	0.2396	240	4.78	0.9300	0.0961
40	S	0.025	0.2396	241	10.43	0.9482	0.0975
50	G	0.051	0.2400	206	21.25	0.9386	0.0977
60	G	0.058	0.2410	208	24.07	0.9429	0.0975
80	G	0.059	0.2400	211	24.58	0.9494	0.0985
100	G	0.062	0.2420	229	25.62	0.9523	0.1082
200	G	0.078	0.2390	251	32.64	0.9424	0.1386

注: S 表示球状模型; G 表示高斯模型。

全氮的空间变异随空间距离增加,达到一个相对稳定的基台值后出现下降趋势,呈近似抛物线形状(图 1)。在 0~1150 m 和 1150~2300 m 两个尺度上,空间相关性最强,异质性最高,呈对称分布,这与地形的对称分布有很大的相似性。这正是有规律的系统变异所造成的,是氮素的各向异性导致的结果,这对揭示全氮空间变化规律有重要意义。

## 2.2 各向异性下土壤全氮含量的空间变异分析

为了解自然过程对全氮空间变异性的影响,通过异向性轴轴自动搜寻功能分析了其空间方向效应,并结合地形具有明显的条带状和对称性特点,以 NE30°、NE120°、NE60°、NE150° 4 个方向计算半方差函数和它们的各向异性比(图 2)。

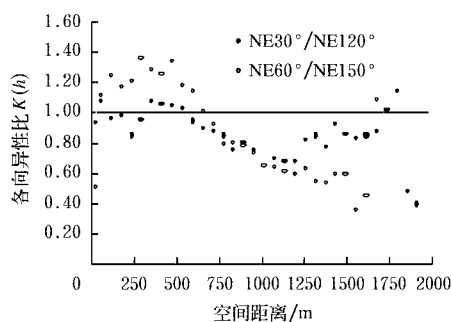


图 2 土壤全氮在不同方向上的各向异性比

Fig 2 Anisotropic ratios of total soil N in different directions

通过其区域化变量构成的变异函数可以看出(表 2),在 NE30°、NE120° 方向上有相同的基台值,变程不同,具有典型的几何异向性结构特点。全氮的各向异性结构在不同范围内是不同的(图 2),在 0~600 m 的范围内,各向异性比  $K(h)$  围绕着 1.0 上下波动,说明在此范围内其是各向同性的;在 600~1150 m 的范围内差距拉大了,1150 m 后,随着距离的增加,又出现各向同性的趋势。在 NE60°、NE150° 方向上有不同的基台值,变程相差不大,具有典型的带状异向性结构特点。在 0~600 m 的范围内,  $K(h) > 1.0$ , 说明全氮在 NE60° 方向上的变异大于在 NE150° 方向;600 m 后,  $K(h) < 1.0$ , 而且随着距离的增加,各向异性变得增强,说明全氮在 NE60° 方向上的变异变得小于在 NE150° 方向。从分析结果可以看出,这种变异在不同方向上的差异与地形在不同方向上的变化规律相一致。在 NE150° 方向上,具有一定对称性的低丘岗地分布,削弱了由于地形作用而造成的差异。这也与土地利用方式的空间分布格局相一致。

表 2 不同方向上的理论半方差函数及参数

Table 2 Theoretical semivariogram model parameters in different directions

不同方向	模型类型	块金值 $C_0$	基台值 $C_0 + C_1$	变程 /m	$C_0/(C_0 + C_1)/\%$	$R^2$
NE30°	E	0.001	0.260	216	0.38	0.9835
NE60°	S	0.001	0.255	198	0.39	0.9841
NE120°	S	0.020	0.260	300	7.69	0.9824
NE150°	S	0.030	0.205	200	14.63	0.9746

注: E 表示指数模型; S 表示球状模型。

## 2.3 土壤全氮的 Kriging 插值结果

Kriging 插值结果平滑了全氮的数据,使得大值减小,小值变大,从而减少了土壤肥力性质的突然变化。由于地形、土地利用方式上的差异,在 NE150° 方向上的数据(0.90~2.40 g/kg)与全方向上的数据(0.60~2.58 g/kg)和原始数据(0.45~2.97 g/kg)相比,变得更加平滑了。插图中的图斑变得更加简单,斑块数目减少,尤其是在最低值区部分,几乎完全被掩盖。虽然高值区面积没有什么变化,但是斑块数目减少了,变得更加平滑。

全氮的空间分布呈现出条带状和斑块状格局(图 3、4),其高值斑块区与地势相对低洼的地形部位相吻合,反映了地形对全氮空间分布的影响。其高值斑块区恰好是丘陵谷地中的水田分布区,低值斑块区主要是林地和旱地的分布区域,反映了土地利用方式对全氮空间分布的影响。由于地势低洼的恰是水田,其水分充足,有机质分解缓慢,致使土壤中存在大量的有机氮;无机氮在土壤中有较强的迁移性,在地表径流的作用下,易于从高处向低处汇集,造成低洼处全氮含量进一步增加。对王家岗村 191 个农户近年来作物化肥投入情况的调查分析,水田年平均纯氮施用量 153 kg/hm<sup>2</sup>,旱地 103 kg/hm<sup>2</sup>,果园 501 kg/hm<sup>2</sup>。然而,果园的施肥量最多,全氮的分布并没有表现出最高,可能与其坡地分布携出的氮素较多、易流失和不利于有机氮的积累、开垦年限较短等有关。国外长期试验(>50 年)结果表明,施用化肥对氮素的积累作用不大<sup>[11]</sup>。国内研究证明随着化肥的大量施用,土壤全氮含量并没有显著提高,从土壤氮素收支平衡角度看,化肥氮的净残留接近于零<sup>[12,13]</sup>。

本研究对施氮量与全氮含量进行相关分析,得出它们之间并没有达到显著水平,说明施氮量并不是影响全氮空间分布格局的主要因素。这与以往的结论相一致。因此,全氮空间分布格局显示了景观位置与地形控制其分布的同时,土地利用对它也有一定的影响。由于全氮的空间变化与地形变化十分相似,土

地利用方式同样随着地形的变化而相应地变化, 因此, 地形是影响全氮空间变化的主要因素。

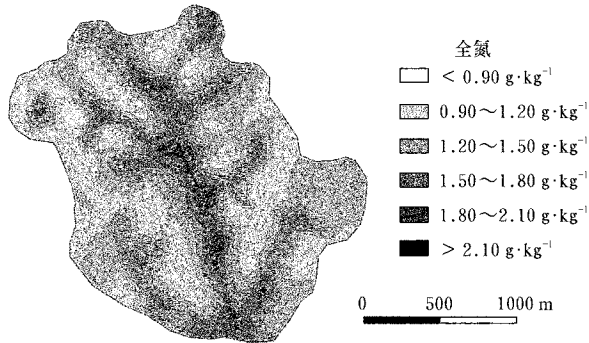


图 3 土壤全氮各向同性下的 Kriging 插值图

Fig 3 Isotropic map of kriging interpolation of total soil N

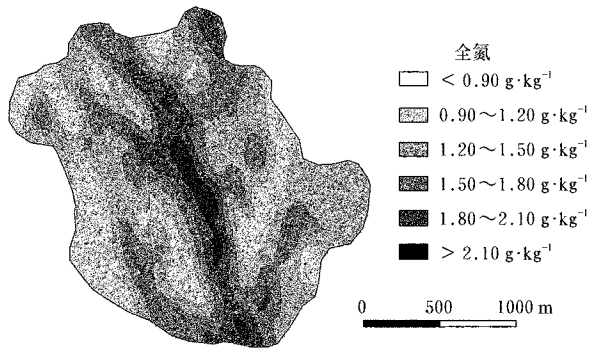


图 4 土壤全氮各向异性下的 Kriging 插值图

Fig 4 Anisotropic map of kriging interpolation of total soil N

### 3 结 论

在步长间隔 60 m 下, 土壤全氮具有较强的空间相关性, 其相关距离为 208 m。在 NE30°、NE120° 方向上具有典型的几何异

向性结构特点; 在 NE60°、NE150° 方向上具有典型的带状异向性结构特点。Kriging 插值结果表明, 土壤全氮的空间分布表现为条带状和斑块状分布。采样密度较大 (163 个/ $\text{km}^2$ ), 揭示了土壤全氮空间变异的细微结构, 绘制出了精度较高的空间分布图。地形是影响全氮空间变异的主要因素。氮素的行为过程与外界环境因子的综合作用决定了氮素的空间分布格局。

#### [参 考 文 献]

- [1] A lem i M H. Kriging and univariate modeling of a spatial correlated date[J]. Soil Technology, 1988, 1(2): 133- 147.
- [2] 程先富, 史学正. 亚热带典型地区土壤全氮和地形、母岩的关系研究——以江西省兴国县为例[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 137 - 139.
- [3] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas I. Semivariograms[J]. Soil Sci Soc Am J, 1982, 46: 1028- 1032.
- [4] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557- 563.
- [5] Gallardo A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in northwest Spain[J]. Ecosystems, 2003, 6: 564- 576.
- [6] 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 农田土壤养分的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 33- 38.
- [7] 曹 慧, 杨 浩, 孙 波, 等. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. 土壤, 2002, 4: 1201- 1205.
- [8] 徐 英, 陈亚新, 史海滨, 等. 土壤水盐空间变异尺度效应的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 1- 5.
- [9] 孙 波, 赵其国, 阎国年. 低丘红壤肥力的时空变异[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 190- 198.
- [10] Zhang S R, Sun B, Zhao Q G, et al. Temporal- spatial variability of soil organic carbon stocks in a rehabilitating ecosystem [J]. Pedosphere, 2004, 14(4): 501- 508.
- [11] Rothamsted Ann Rept[M]. 1976, Part 2, 103.
- [12] 李玉山, 郑吉文. 黄土高原沟壑区旱作粮食短期内大幅度增产的理论和技术. 见: 李玉山主编. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991: 69- 87.
- [13] 程励励, 文启孝. 稻草还田对土壤氮素和水稻产量的影响[J]. 土壤, 1992, 24(5): 234- 238, 243.

## Characteristics of spatial variability of total soil nitrogen in the typical subtropical red soil hilly areas

Lu Peng<sup>1,2</sup>, Huang Daoyou<sup>2</sup>, Song Bianlan<sup>2</sup>, Huang Min<sup>2</sup>, Liu Shoulong<sup>2</sup>, Su Yirong<sup>2</sup>, Xiao He'ai<sup>2</sup>, Wu Jinshui<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;

2. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

**Abstract** A geostatistics method combined with GIS was applied to analyze and map the spatial variability of total soil N in top soil. The results showed that total soil N had strong spatial relativity at 60m lag interval and its range of autocorrelation extended to 208 m. The variogram of total soil N was characterized by geometric anisotropy in NE30° and NE120° directions and zonal anisotropy in NE60° and NE150° directions. The spatial distribution map of total soil N interpolated by Kriging interpolation showed apparently strip and block. The "hot spots" of high soil N content were consistent with the low locations of the field. The spatial distribution of total soil N was controlled by topology.

**Key words:** total soil nitrogen; spatial variability; Kriging interpolation; GIS; typical subtropical areas