

## 不同地形条件下样点密度对土壤养分空间变异的影响

刘聪, 周清\*, 屈金莲, 朱玉琼

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**以湖南省安仁县的豪山乡(山地地形)和渡口乡(丘陵区)为研究对象,根据传统统计学和地统计学的相关原理,运用变异函数分析法和空间插值估计法,研究耕地土壤养分碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量、有机质含量的空间变异及其分布特征,研究不同地形条件样点密度对插值精度的影响。结果表明:土壤养分变异系数为 16.56%~97.9%,属于中等变异;山地地区碱解氮含量、速效钾含量、有机质含量的基底效应值<25%,丘陵区有机质含量、碱解氮含量的基底效应值为 38.15%~74.45%,2 种地形有效磷含量的基底效应值为 88.44%~100%;根据研究区土壤养分的空间变异情况,建议山地区采样密度为 0.16 个/hm<sup>2</sup>,丘陵区采样密度为 0.10 个/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**土壤养分;空间变异;样点密度;效钾度;山地;丘陵;豪山乡;渡口乡

中图分类号:S151.9

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2013)01-0080-06

## Effect of spatial variability with soil nutrient and the sample point density under different terrain

LIU Cong, ZHOU Qing\*, QU Jin-lian, ZHU Yu-qiong

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Based on traditional principles and methods of statistics and geostatistics, variogram analysis and estimation of spatial interpolation were employed to study the nutrients nitrogen content, the spatial variability of available phosphorus content, available potassium, organic matter content and its distribution characteristics on statistical samples taken from the mountainous terrain in Haoshan township and the hilly terrain in Dukou township in Anren county, Hunan province. The article had also studied the influence on interpolation precisions for four groups of samples with different topographic conditions and sampling densities. and the results showed that the soil nutrient coefficient of variation ranges between 16.56% and 97.9%, which fell under the medium variation category. The substrate effect of the Alkaline hydrolysis of nitrogen, available potassium and organic matter was lower than 25% in mountainous area, while that of Organic matters and alkaline nitrogen matter fell within a range of 38.15%~74.45% in hilly area. On the other hand, the substrate effects of available phosphorus in both regions were in range of 88.44%~100%. According to the study on the spatial variability of soil nutrient, it was concluded that the sampling density should be 0.16/hm<sup>2</sup> in mountain terrain, and 0.10/hm<sup>2</sup> in hilly terrain, respectively.

**Key words:** soil nutrient; spatial variability; sampling density; mountain; hilly; Haoshan township; Dukou township

土壤是一种不均且连续变化的自然体,其空间变异性大,在土壤质地相同的区域,同一时刻土壤属性在不同的空间位置上也具有明显差异<sup>[1]</sup>,无论在大尺度范围内还是在小尺度范围内观测,均存在空间变异性<sup>[2-3]</sup>。土壤空间变异性研究的首要工作是采集土壤样品。采样密度的大小直接影响土壤养分特征值的插值结果,从而影响到研究的精确度<sup>[4-7]</sup>。

关于某一采样密度土壤特性的空间变异研究较多<sup>[8-9]</sup>,而对不同地形不同采样密度下土壤特性变异的研究较少。笔者以湖南省安仁县豪山乡(山地地形)和渡口乡(丘陵区)为研究对象,根据传统统计学和地统计学的相关原理,运用变异函数分析法<sup>[10]</sup>和空间插值估计法,在 2 种地形上选取 4 组不同密度的样点,研究耕地土壤养分的空间变异及分布特征,通

收稿日期:2012-10-18

作者简介:刘聪(1986—),女,河北保定人,硕士研究生,主要从事土地资源与环境信息技术研究;\*通信作者,zhouqing@sohu.com

通过分析土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量的插值精度，找出不同地形条件的合理采样密度，使之既满足精度要求，又节约人力和财力。

### 1 数据来源及研究方法

#### 1.1 研究区概况及数据来源

安仁县位于湖南省的东南部(北纬 26°17'~26°50',东经 113°5'~113°36'),全县整体地势自东南向西北倾斜。

研究数据来自 2008—2011 年安仁县测土配方施肥及耕地地力评价项目的相关数据。

#### 1.2 研究方法

采用地统计学中的半方差函数及其模型

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

，式中， $r(h)$  为半

方差变异函数， $h$  为样点的空间间隔距离， $N(h)$ 为间隔距离  $h$  的样点数  $Z(x_i)$ 和  $Z(x_i+h)$ 分别为区域化变量  $Z(x)$ 在  $x_i$ 和  $x_i+h$  的实测值。

采用标准均方根误差(normalized root mean square error,  $NRMSE$ )进行插值精度检验， $NRMSE =$

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{z}_i - z_i)^2}{N}} / \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i$$

，式中， $\hat{z}_i$ 为用克里格法预

测值， $Z_i$ 为实际测定值， $N$ 为检验数据集的样本数。 $NRMSE$  的值越小，插值的精度越高，误差越小<sup>[11]</sup>。

根据安仁县东南高西北低的地形特点，选取东南部豪山乡和西北部渡口乡为采样地(表 1)。

表 1 研究区概况及采样密度

采样地点	地貌	海拔	耕地	采样密度/	采样数/
	类型	高度/m	面积/hm <sup>2</sup>	(个·hm <sup>-2</sup> )	个
豪山乡	山地	300~900	1 059	0.20	211
				0.16	169
				0.10	106
				0.07	74
渡口乡	丘陵	80~300	1 510	0.20	302
				0.16	242
				0.10	151
				0.07	106

以土壤有机质含量、有效磷含量、速效钾含量、碱解氮含量为研究指标，在 2 种地形条件下选取 4 种不同的取样密度(表 1) 根据不同的地貌类型和采样密度，制作不同密度下的采样点位图；通过地统计学软件，利用 Kriging 法对表 1 中 4 种采样密度下的采样点进行插值，以确定不同地形条件下的合理采样密度。

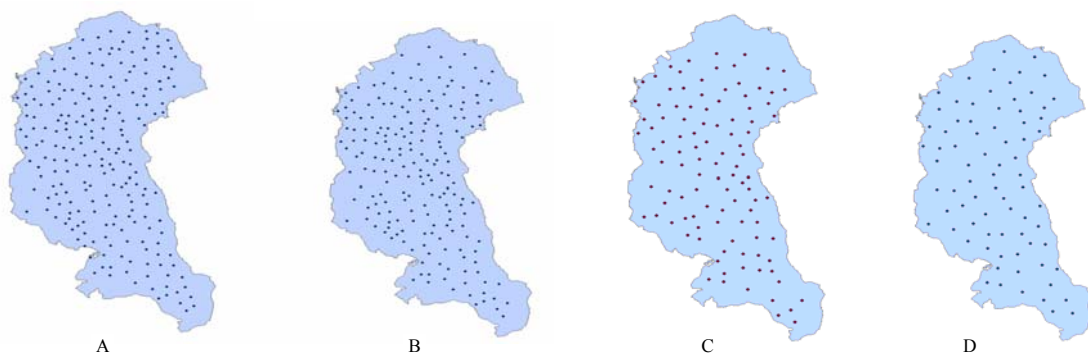
#### 1.3 数据处理

##### 1.4.1 采样数据预处理

用软件 SPSS13.0 对数据进行统计分析；用 ArcMap 软件对样点数据进行整理分析，剔除个别异常值。运用 Arcmap 地统计分析模块的 Histogram 图对 4 个养分指标数据进行正态检验，以减少误差对插值结果的影响。

##### 1.4.2 样点密度的选取

在 ArcMap 平台下对已有采样点的点位图进行区域分配，得到其相应的分配区域图(图 1、图 2)。



A、B、C、D 分别为采样密度 0.20、0.16、0.10、0.07 个/hm<sup>2</sup>，下同。

图 1 豪山乡不同土壤采样点分布示意图

Fig.1 Distribution map of soil sampling sites in Haoshan township

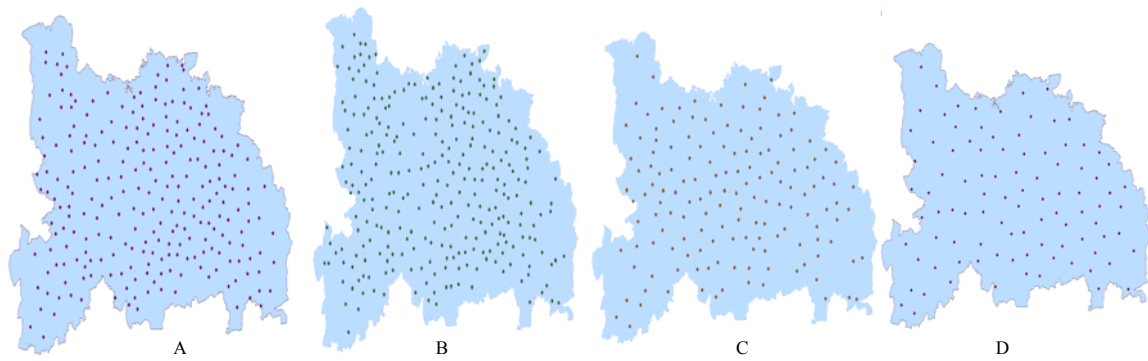


图2 渡口乡不同土壤采样点分布示意图

Fig.2 Distribution map of soil sampling sites in Dukou township

## 2 结果与分析

### 2.1 不同采样密度下 2 个样地土壤养分含量的描述性统计结果

由表 2、表 3 可见,山地地形土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量和有机质含量分别为 139.52~148.95、12.83~13.74、119.56~123.36 mg/kg 和 27.6~30.46 g/kg;丘陵区土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量和有机质含量的平均值分别为 158.9~165.39、10.13~10.65、100.41~106.43 mg/kg 和 38.63~39.96 g/kg。4 种土壤养分含量的变异系数为 10%~100%,属于中等变异。土壤养分变异系数越大,为达到一

定精确度所要求的取样数也会相应加大。丘陵区土壤养分变异系数从大到小依次为有效磷含量、有机质含量、速效钾含量、碱解氮含量;山地区土壤养分变异系数从大到小依次为有效磷含量、速效钾含量、有机质含量、碱解氮含量。同一密度山地地区碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量的变异系数比丘陵区的大;有机质含量的变异系数比丘陵区的小,其原因:地形对土壤属性空间变异性的影响很大,丘陵区耕地多为丘岗地,坡度起伏、冲蚀等导致有机质含量变化大;山地地区虽地形变化剧烈,但就耕地而言,因耕地本身对坡度、土壤肥力有较高的要求,所以,土壤有机质含量的空间变异较小。

表 2 豪山乡不同采样密度下土壤养分含量的描述性统计结果

Table 2 Different sampling density of soil nutrients under descriptive statistics in Haoshan township

土壤养分指标	采样密度	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%
碱解氮含量(mg/kg)	A	207.65	80.33	140.02	27.03	19.30
	B	205.20	66.00	139.52	37.35	26.77
	C	208.40	67.00	144.71	34.03	23.52
	D	212.00	86.00	148.95	30.89	20.74
有效磷含量(mg/kg)	A	63.06	2.79	12.83	12.56	97.90
	B	69.60	2.20	13.74	12.23	89.01
	C	67.80	2.50	13.24	11.73	88.61
	D	81.00	2.60	13.51	7.95	58.80
速效钾含量(mg/kg)	A	232.00	66.00	121.34	32.66	26.91
	B	243.00	55.00	122.56	42.31	34.52
	C	273.00	65.00	123.36	39.79	32.26
	D	276.00	68.00	119.56	38.43	32.13
有机质含量(g/kg)	A	52.44	7.21	28.10	8.22	29.25
	B	55.40	9.70	27.60	9.35	33.88
	C	55.52	12.30	29.23	8.72	29.84
	D	55.00	16.20	30.46	8.29	27.22

表3 渡口乡不同采样密度下土壤养分含量的描述性统计结果

Table 3 Different sampling density of soil nutrients under descriptive statistics in Dukou township

土壤养分指标	采样密度	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%
碱解氮含量(mg/kg)	A	238.84	28.27	161.60	28.27	17.50
	B	232.00	30.12	165.39	27.38	16.56
	C	243.00	30.37	159.65	27.87	17.46
	D	251.00	29.72	158.90	27.91	17.56
有效磷含量(mg/kg)	A	39.61	2.77	10.19	5.24	51.40
	B	37.90	2.20	10.43	5.46	52.34
	C	36.34	2.34	10.13	5.63	55.58
	D	39.75	2.41	10.65	5.28	49.58
速效钾含量(mg/kg)	A	216.00	24.07	100.41	24.06	23.97
	B	246.00	37.00	101.95	24.33	23.86
	C	231.00	32.76	103.54	24.09	23.27
	D	225.00	29.67	106.43	24.46	22.98
有机质含量(g/kg)	A	70.30	10.42	38.63	10.42	26.97
	B	73.02	14.74	39.96	10.39	25.97
	C	78.56	12.45	38.78	10.64	27.44
	D	76.12	11.53	38.91	10.56	27.14

## 2.2 土壤养分空间变异特征分析

2种地形碱解氮含量、有效磷含量的半方差最适模型为线性模型；速效钾含量为球状模型；有机质含量为指数模型(表4、表5)。基底效应值=基底值/基台值,反映土壤特性空间变异的相关程度,基底效应<25%时,具有强烈的空间相关性;基底效应为25%~75%时,具有中等空间相关性;基底效应>75%时,空间相关性较弱。2种地形中有效磷含量的基底效应值均大于75%,空间相关性较弱,这主要因为磷易被土壤固定形成闭蓄态磷,不容易迁

移,土壤有效磷含量在同一地块或不同地块的分布有很大的差异,表现出较大的基底效应值,有效磷含量的空间相关性弱。山地地区碱解氮含量、有机质含量、速效钾含量基底效应值均小于25%,具有强烈的空间相关性,这主要是受土壤母质等结构性因素影响;丘陵区碱解氮含量、有机质含量基底效应值为25%~75%,具有中等空间相关性;速效钾含量基底效应值小于25%,具有强烈的空间相关性。

表4 豪山乡不同采样密度下土壤特性半方差函数的特征值

Table 4 Semi-variance parameters of nutrients in soil at different sampling intensities in Haoshan township

土壤养分指标	采样密度	基底值	基台值	基底效应值/%	有效变程/m	最适模型
碱解氮含量(mg/kg)	A	163.0	1452.0	11.23	540	线性模型
	B	183.0	1370.0	13.36	840	线性模型
	C	218.0	1477.0	14.76	870	线性模型
	D	205.0	1505.0	13.62	330	线性模型
有效磷含量(mg/kg)	A	104.0	104.0	100	8688	线性模型
	B	77.7	87.9	88.44	8700	线性模型
	C	74.8	74.8	100	8007	线性模型
	D	75.6	75.6	100	8704	线性模型
速效钾含量(mg/kg)	A	136.0	1784.0	7.62	360	球状模型
	B	191.0	1569.0	12.17	300	球状模型
	C	73.0	1654.0	4.41	340	球状模型
	D	80.0	1684.0	4.75	350	球状模型
有机质含量(g/kg)	A	11.4	87.0	13.10	990	指数模型
	B	11.5	83.6	13.76	1230	指数模型
	C	13.0	84.5	15.38	1170	指数模型
	D	15.0	100.0	15.00	2460	指数模型

表5 渡口乡不同采样密度下土壤特性半方差函数的特征值

Table 5 Semi-variance parameters of nutrients in soil at different sampling intensities in Dukou township

土壤养分指标	采样密度	基底值	基台值	基底效应值/%	有效变程/m	最适模型
碱解氮含量(mg/kg)	A	1 837.4	2 195.0	83.71	8 671	线性模型
	B	1 902.0	2 216.0	85.83	8 668	线性模型
	C	1 963.6	2 262.3	86.80	8 657	线性模型
	D	2 110.5	2 317.6	91.06	8 658	线性模型
有效磷含量(mg/kg)	A	77.1	77.1	100	8 671	线性模型
	B	78.8	78.8	100	8 667	线性模型
	C	83.4	83.4	100	4 996	线性模型
	D	110.0	110.0	100	4 996	线性模型
速效钾含量(mg/kg)	A	205.0	1 478.0	13.87	360	球状模型
	B	68.0	1 467.0	4.64	260	球状模型
	C	74.0	1 161.0	6.37	430	球状模型
	D	212.0	1 113.0	19.05	329	球状模型
有机质含量(g/kg)	A	169.0	227.0	74.45	8 671	指数模型
	B	105.0	210.0	50.00	2 820	指数模型
	C	107.3	214.7	49.98	3 090	指数模型
	D	28.8	211.2	43.64	600	指数模型

### 2.3 土壤适宜采样密度的确定

用于插值精度评价的指标很多,为了便于对不同地形条件下的插值精度进行比较,本研究中采用标准均方根误差进行插值精度检验。由表 6、表 7 可见,随着采样密度的加大,*NRMSE* 值逐渐减小,采样密度为 0.20 个/hm<sup>2</sup>时的 *NRMSE* 值最小,插值精度最高。理论上,参与土壤养分空间变异评价的样点越多,评价的准确性越高,但因受采样人力、物力的影响,样品数不可能无限增加,所以,需要确定合理的取样密度。当山地区土壤碱解氮含量、速效钾含量采样密度为 0.16 个/hm<sup>2</sup>,有机质含量采样密度为 0.10 个/hm<sup>2</sup>时,*NRSME* 值在 20%左右,基本满足对土壤养分评价的要求,所以,建议山地地区的采样密度取 0.16 个/hm<sup>2</sup>。当丘陵区土壤碱解氮含量、速效钾含量采样密度为 0.07 个/hm<sup>2</sup>,有机质含量采样密度为 0.10 个/hm<sup>2</sup>时,*NRSME* 值约为 20%,基本满足土壤养分评价的要求,所以,建议丘陵区的采样密度取 0.10 个/hm<sup>2</sup>。

表6 豪山乡不同采样密度 Kriging 插值的 *NRMSE*Table 6 *NRMSE* for Kriging interpolation in Haoshan township

采样密度/ (个·hm <sup>-2</sup> )	<i>NRMSE</i> /%			
	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量	有机质含量
0.20	18.85	26.16	16.05	17.27
0.16	19.73	28.98	19.89	18.52
0.10	23.43	35.69	26.44	19.92
0.07	32.67	51.23	34.73	26.26

表7 渡口乡不同采样密度的 Kriging 插值的 *NRMSE*Table 7 *NRMSE* for kriging interpolation in Dukou township

采样密度/ (个·hm <sup>-2</sup> )	<i>NRMSE</i> /%			
	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量	有机质含量
0.20	17.31	24.11	15.09	17.98
0.16	17.34	26.39	16.24	20.01
0.10	18.32	31.24	16.76	21.18
0.07	19.30	37.67	19.95	23.52

### 3 结论与讨论

a. 研究区域土壤养分的变异系数为 10%~100%,属于中等变异。同一采样密度山地地形碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量的变异系数比丘陵区的大,有机质含量变异系数比丘陵区的小。

b. 山地地区碱解氮含量、速效钾含量、有机质含量的基底效应值 $<25\%$ ，具有强烈的空间相关性；丘陵区有机质含量、碱解氮含量的基底效应值为 $38.15\% \sim 74.45\%$ ，具有中等空间相关性，速效钾含量的基底效应值为 $4.64\% \sim 19.05\%$ ，具有强烈的空间相关性。2种地形条件下有效磷含量的相关性较弱，这主要因为磷在土壤中的移动性小，作物对磷的吸收少，这与耕作、成土母质等有关。

c. 不同采样密度插值结果的 *NRMSE* 分析结果表明，山地地区的适宜采样密度为  $0.16$  个/ $\text{hm}^2$ ，丘陵区的适宜采样密度为  $0.10$  个/ $\text{hm}^2$ 。

本研究是在小尺度区域内进行的，在大尺度区域空间研究中怎样选择既满足插值精度要求又尽可能节约资源的采样密度还有待研究。

#### 参考文献:

- [1] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 江西省兴国县土壤全氮和有机质含量的空间变异及其分布格局[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(1): 64-67.
- [2] 陈光, 贺立源, 詹向雯, 等. 耕地养分空间插值技术与合理采样密度的比较研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 1007-1011.
- [3] 雷能忠, 王心源, 蒋锦刚, 等. 不同地形与取样数的Kriging插值精度对比研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(5): 86-91.
- [4] 秦静, 孔祥斌, 姜广辉, 等. 北京典型边缘区25年来土壤有机质含量的时空变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 124-129.
- [5] 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.
- [6] 舒建英, 张世熔, 孙波, 等. 江西兴国水土流失治理区土壤有机质含量动态变化[J]. 生态学报, 2005(6): 1240-1246.
- [7] 史舟, 李艳. 地统计学在土壤学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [8] Juang K W, Liou D Y, Lee D Y. Site-specific phosphorus application based on the Kriging fertilizer-phosphorus availability index of soils[J]. J Environ Qual, 2002, 31: 1248-1255.
- [9] 谭万能, 李志安, 邹碧, 等. 地统计学方法在土壤学中的应用[J]. 热带地理, 2005, 24(4): 307-311.
- [10] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 等. 不同采样密度下土壤特性的空间变异特征及其推估精度研究[J]. 土壤, 2004, 36(5): 538-542.
- [11] 薛正平, 杨星卫, 段项锁, 等. 土壤养分空间变异及合理取样数的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 6-7.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: Edward ZHANG