

土壤有机质的空间变异性

王学锋

章 衡

(中国科学院南京土壤所)

(山西农业大学)

摘 要

本文根据田间采样分析资料,探讨了土壤有机质含量的空间变异性。在一定置信水平和估值精度条件下,确定了合理的取样数目。根据半方差分析结果,得出中等变异程度的有机质分布结构,并求出了取样点距之间的最大相关距离。最后讨论了土壤有机质含量的半方差函数模型,提出了研究地区土壤有机质采样的间距应增加到 20 米,以节省人力物力,提高样本分析结果的代表性。

土壤有机质是土壤肥力的重要指标之一,但土壤有机质的分布具有一定的非均一性,给土壤农化分析中如何采集具有代表性的样本带来了一定的困难。土壤有机质空间变异性的研究,是通过分析代表性地块内取样测定的资料,探求其参数值在空间的变化结构,用以确定合理的采样点的布局与数目,以及对未测点的参数进行最优估值。本研究对提高样本的代表性、减少采样误差,提高工作效率等,均具有十分重要的意义。

国外学者自 60 年代提出研究空间变异性以来,经过近 30 年的努力,已经取得了长足的进展,尤其是在土壤物理方面;研究的方法从 Fisher 的经典统计分析过渡到 Matheron 提出的地统计分析(Geostatistics),并已将理论研究成果应用于实际之中^[1,2]。80 年代初期,国内学者也逐步认识到在地质、土壤、水科学等领域中研究空间变异性的实用性,先后在土壤的物理参数(如 颗粒组成^[3]、团聚体大小^[4]等)、状态参数(如水分含量^[5]、水力传导度^[6]等)等方面进行了研究;但有关土壤养分空间变异性的报道甚少。为推动国内学者进行这方面的研究,作者对田间采样分析的土壤有机质变量样本进行空间分布规律的初步研究。现总结如下。

一、试验场地与方法

在山西省太谷县,选择 4 块代表当地农业生产水平的田块,并按 10×10 米² 划成网格状,4 块地的网格尺寸如下。1 号地块: 80×30 米²,有节点 36 个;2 号地块: 70×50 米²,有节点 48 个;3 号地块: 20×180 米²,有节点 57 个;4 号地块: 10×180 米²,有节点 38 个。其中,1、2 号地块的长度方向为南北走向,3、4 号地块的长度方向为东西走向。4 个地块的基本概况详见文献[7]。取样分别在各个地块的节点上进行,用土钻取地表 0—20 厘米的耕层土壤。为了减少地边肥力变化的影响,取样均离地边 1—2 米。各点土样单独进行分析,用丘林法测定土壤有机质。

二、结果与讨论

(一) 土壤有机质变量的空间结构

章衡(1989)^[7]曾用绘制养分等值图的方法,直观地显示出土壤有机质在田间分布的不均匀性,但其空间分布的规律如何?在 4 个地块采样分析的数据(表 1)表明,土壤有机质的分布

差异并不很大;若用变异系数(CV)来划分,则它属于中等变异性的参数。

将各个地块采测数据分别按从小到大排序,并用下式计算累积频率(p):

$$p = (i - 0.5)/n \tag{1}$$

表 1 土壤有机质分布的统计特征值

采地	样块	采点	样数	均 值 (g/kg)	方 差 σ	标 准 差 s	变异系数 CV%	概率分布 类 型
1		36		21.7	1.9	1.9	8.8	弱偏态分布
2		48		19.9	1.9	1.9	9.6	弱偏态分布
3		57		9.9	2.2	23	22.7	正态分布
4		38		13.2	3.2	3.3	24.8	正态分布

式中, i 为样本从小到大排列的序号; n 为样本中样品总数,则 $i=1,2,3\cdots,n$;0.5 为经验系数。

在正态概率纸上绘制有机质分布的累积概率曲线(图 1),从图 1 看出,其近似为直线,说明土壤有机质的分布接近正态分布,如 3 号地块(4 号地块与其相似),或属于弱偏态分布,如 1 号地块(2 号地块与其相似)。

(二) 合理的取样数目

若假定取样是独立进行的,且取样数目足够多,则中心极限定理成立^[8];这时,取样数目的多少取决于置信水平与所要求的精度。如果认定土壤有机质是一随机变量,其总体均值为 $\bar{X}$,均方差为 σ^2 ,而容量为 N 的样本均值记为 $\bar{X}_N$,则取样数目可由下列公式推算:

$$P\{|\bar{X}_N - \bar{X}| \leq \Delta\} = P_1 \tag{2}$$

式中: P 为概率; Δ 为根据要求确定的估值精度,这里取 $\Delta=0.50\text{g/kg}$; P_1 为置信水平,一般取为 90%或 95%。

根据统计分析原理^[8],随机变量 $(\bar{X}_N - \bar{X})/\sqrt{\sigma^2/N}$ 服从 t 分布,故:

$$P\{ |(\bar{X}_N - \bar{X})/\sqrt{\sigma^2/N}| \leq \lambda_{\alpha,f} \} = P_1 \tag{3}$$

式中: $\lambda_{\alpha,f}$ 为 t 分布的特征值,可由置信度 $\alpha=1-P_1$ 和自由度 $f=N-1$ 查 t 分布表得出。由(3)式可得满足要求的取样数目(N)为:

$$N = \lambda_{\alpha,f}^2 \cdot \sigma^2 / \Delta^2 \tag{4}$$

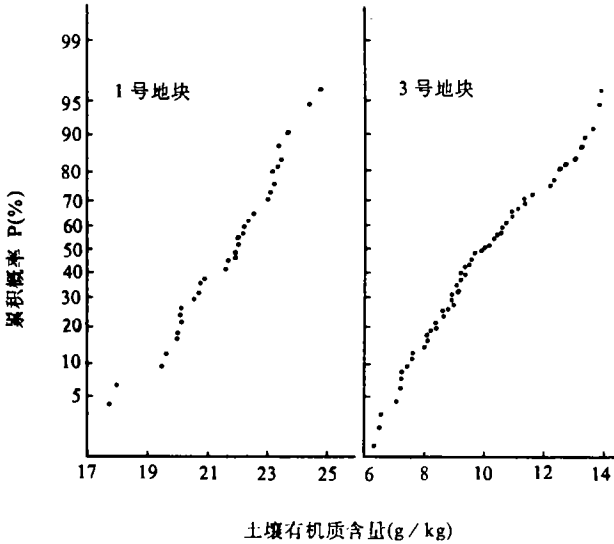


图 1 土壤有机质含量的累积概率曲线

实际应用中,人们一般是先确定取样数目(N),然后再推求估值精度。从(4)式也可推导出不同取样数目时的估值精度(Δ):

$$\Delta = \sqrt{\lambda_{e,f}^2 \cdot \sigma^2 / N} \quad (5)$$

表 2 取样数目对估值精度的影响(P=90%)

试验地块	取样数目(N)	$\lambda_{e,f}$	估值精度 $\Delta(\text{g/kg})$
1	36	1.690	0.53
2	48	1.678	0.46
3	57	1.673	0.50
4	38	1.685	0.89

根据(5)式可以求出本试验采样的估值精度(表 2)。

从表 2 可以看出,4 号地块的估值精度(Δ)明显大于其它地块的估值精度(Δ),但它的采样数目并不低于 1 号地块;造成这种现象的原因可能是 4 号地块狭长(10×180 米²)取样,进而导致其总体变异系数(CV)值过大而形成的。

当概率水平(P_1)为 90%时,若要求取样测定土壤有机质含量的估值精度(Δ)达到 $\Delta=0.50\text{g/kg}$,则 2 号、3 号地块的取样数目是满足要求的;而 1 号地块的估值精度低。应用(4)式计算可知,1 号地块的取样数目应增加到 41 个;依此类推,4 号地块的取样数目应增加到 115 个。

值得注意的是,为了达到所要求的估值精度(Δ),4 号地块要增加 2 倍多的取样数目,而其它地块却不增加或增加的很少。这说明 4 号地块的采样结构不尽合理。为了确定合理的采样结构,有必要进行半方差函数(亦称为变异函数)分析。

(三)半方差函数分析

半方差函数分析是用半方差函数研究参数在空间分布上的相关性;它对研究样品之间的相关域,并依此来确定试验场地的大小与取样点的位置,从而达到样品之间完全独立具有重要的意义。

根据地统计学理论^[9],半方差函数有 3 个特征值:(1)块金系数 c_0 (当滞后距 $h=0$ 时的半方差函数值)。由于观测误差和变量本身的微小变异,使两个样品间的距离 h 很小时,这些变量间仍存在着差异;(2)最大相关距(亦称变程) a_0 。在 $h < a$ 的范围里,变量 $Z(x)$ 与其它任何数据 $Z(x+h)$ 互相关,即一个样品对另一个样品存在影响,它随两点间滞后距 h 的变大而减小;由于超过 $h=a$ 这一距离后,随机变量 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 不再相关,故称 a 为最大相关距离;(3)基台 c_0+c_1 。当 h 超过 a 后,半方差函数不再增大,而是稳定在一个极限值附近,而这个极限值就是随机函数的先验方差。在实际应用中,人们经常用这 3 个特征值来描述区域化变量的相关特征^[10]。

设土壤有机质含量是一随空间位置变化的区域化变量,在所研究的区域里满足内蕴假设和平稳性假设,则其半方差函数 $[r(h)]$ 为:

$$r(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

式中: h 为分隔两个观测点的距离,亦称为滞后距; N 为被 h 分隔的观测数据对的个数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别为空间点 x_i 和 x_i+h 处的土壤有机质含量测定值。

根据(6)式计算出各个采样地块在长度方向(1 号、2 号为南北方向,3 号、4 号为东西方向)及宽度方向上的半方差函数。计算结果表明,在同组资料中,南北方向与东西方向的半方差函数值是相近的,即没有明显的各向异性的表现,故取其平均值,绘制随 h 变化的 $r(h)$ 半方差函数图(图 2)。

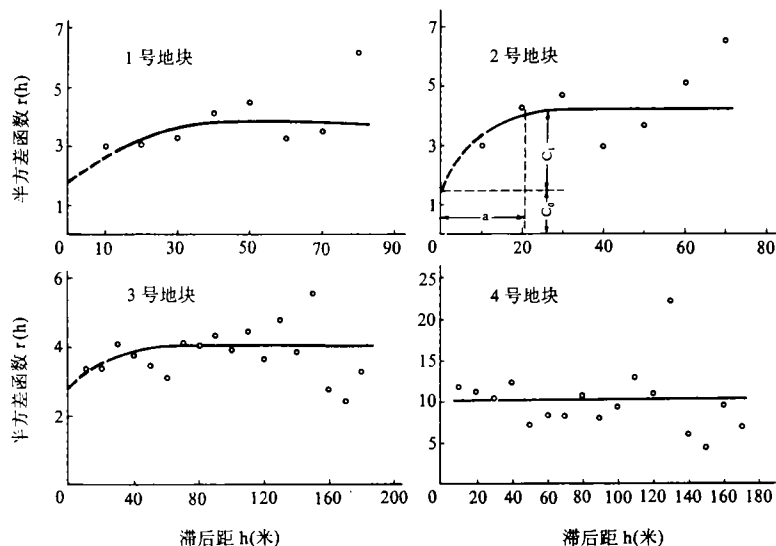


图2 土壤有机质含量的半方差函数图

在图2中,1号和3号地块的半方差函数可用指数函数拟合:

$$r(h) = c_0 + c_1[1 - \exp(-h/a)] \quad (7)$$

式中, c_0 、 c_1 、 a 为半方差函数的特征值(下同)。

一般可认为, $\exp(-h/a)=0.05$ 时, $r(h)$ 即趋近于常数(c_0+c_1);此时, $h=3a$ 。从图2可知,对1号地块, $c_0=1.9$, $c_1=1.7$, $a=50/3 \approx 17$ 米;对3号地块, $c_0=2.7$, $c_1=1.3$ 米, $a=60/3=20$ 米。

2号地块的半方差函数用球状模型拟合:

$$\begin{cases} r(h) = c_0 + c_1[1.5(h/a) - 0.5(h/a)^3], & 0 < h < a \\ r(h) = c_0 + c_1 & h \geq a \end{cases} \quad (8)$$

从图2中可知,对2号地块, $c_0=1.5$, $c_1=2.6$, $a=20$ 米。

4号地块的半方差函数可用直线拟合:

$$r(h) = c_0 + c_1 = 10$$

从上述模拟结果中可知,1号、2号、3号地块的最大相关距 a 值均接近或等于20米,这说明在上述3个地块内所采测的绝大多数样品($h=10$ 米)彼此是相关的,并非完全独立;即若要使样品之间完全独立,应该在 $a=20$ 米间距之外均匀布点采样。图2中4号地块未能反应出土壤有机质的变异特征,这主要是由狭长取样造成的。因此,合理的取样场地规模应该是1、2、3号地块,而4号地块不合要求。

另外,图2还表明,当 $h \rightarrow 0$ 时,各地块的半方差函数 $r(h)$ 均大于1.0,说明在小范围内($h < 10$ 米)取样测量的误差仍然相当大。因此,为了节省人力、物力,合理正确地评价某一地块的土壤有机质含量,在采样之前,应该先评估一下该地区土壤有机质含量的空间变异性。以所选择的山西太谷县4个代表当地生产水平的地块为例,其采样布局应避免狭长取样布局;采样间距应增加到20米,以确保样品间完全独立;采测样品的数目应由估值精度和置信水平来确定。

参 考 文 献

- [1] Nielsen, D. R. et al., *Agricul. Water Manage.* 6:93—107, 1983.
 [2] Vauclin, M. et al., *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:175—184, 1983.
 [3] 雷志栋等, 土壤特性空间变异性初步研究, *水利学报*, 第 9 期, 10—21 页, 1985。
 [4] 吕军, 俞劲炎, 水稻土物理性质空间变异性研究, *土壤学报*, 第 27 卷, 1 期, 8—16 页, 1990。
 [5] 陈志雄, M. Vauclin, 封丘地区土壤水分平衡研究, I, *土壤学报*, 第 26 卷, 4 期, 309—315 页, 1989。
 [6] 陈亚新, 史海滨, 渠床土壤入渗率的空间变异性, *水利学报*, 第 2 期, 11—18 页, 1991。
 [7] 章衡, 土壤有机质, 速效磷含量的等值图与合理采样的方法, *土壤通报*, 第 3 期, 139—141 页, 1989。
 [8] 唐鸿龄等编著, *应用概率*, 南京工学院出版社, 67—147 页, 1988。
 [9] Journel, A. G. and C. J. Huijbregts, *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, 32—96 页, 1978。
 [10] Yates, S. R. 等(王学锋译编), 应用协同克立格法估算土壤含水量, *土壤学进展*, 第 19 卷, 5 期, 51—57 页, 1991。

~~~~~  
 (上接第 59 页)

磷(积累态磷)的有效性仍是随着时间的延续不断下降的, 这种有效性下降的主要原因是由于供磷强度因素的下降。而强度因素的下降又主要决定于红壤性质(特别是固磷能力)。

从实用的角度看, 一次大量施磷最好不超过两季的总用量, 但在磷素水平较高的土壤可以超过两季。

表 6            磷肥的后效\*

| 季别 | 作 物 | 对照(NK) | 第一季施磷的后效<br>(5kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /亩) |
|----|-----|--------|---------------------------------------------------|
| 1  | 花 生 | 100    | 125                                               |
| 2  | 养 麦 | 100    | 154                                               |
| 3  | 萝卜菜 | 100    | 231                                               |
| 4  | 花 生 | 100    | 128                                               |
| 5  | 萝卜菜 | 100    | 686                                               |
| 6  | 花 生 | 100    | 156                                               |

\* 产量相对值, 以对照为 100%

积累态磷随着时间的延长有效性不断降低, 其速度在不同土壤上是不同的, 所以后效也不同。表 6 列出了红壤上一次施磷 5 公斤(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)时的后效。从表中可以看到, 在通常大田磷肥用量情况下(5 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩), 一次施磷的后效到第 6 季仍然比对照增产 56%。表中数据还清楚地表明, 积累态磷的肥效还决定于作物, 在花生和养麦的情况下, 后效相对值为 125—156%, 而种萝卜菜时却大大增加, 达 231—686%。

## 参 考 文 献

- [1] 鲁如坤、史陶钧, 土壤磷素在利用过程中的消耗和积累, *土壤通报*, No. 6—8, 1980。  
 [2] 熊毅等主编, *中国土壤* (二版), 492 页, 科学出版社, 1987。  
 [3] Halverson, A. D. & A. L. Black, *SSSAJ*, 49, 933—937, 1985。  
 [4] Read, D. W. L. et al, *Can. J. Soil Sci.* 57, 255—262, 1977。  
 [5] Fitter, A. H., *J. Soil Sci* 25, 41—50, 1974。  
 [6] Larsen, S. and A. E. Widdowson, *J. Soil Sci*, 22, 5—8, 1971。  
 [7] Waqar, B. I. et al; *Can. J. Sci Sci*, 66, 105—119, 1986。  
 [8] Parfitt, A. L. et al, *J. Soil Sci*, 40, 371—382, 1989。