

# 土壤空间变异性研究\*

周慧珍 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

J. Lamp

(德国基尔大学植物营养研究所)

## 摘 要

本研究立足于详查的空间尺度,在一个 30 平方公里的复合试区上,利用 30m 到 50m 的网格调查或土链调查方式,一共观察、描述和记录了 127 个小土坑,17 个土壤剖面,去获取供土壤空间变异研究用的基本数据信息。研究分析和制图工作是在一个由 PC-386,数字化仪,扫描仪,彩色打印机等硬件组成和 ARC/INFO, IDRISI, dBASE 及 GEOEAS 等制图、数据库和地统计软件支撑的 GIS(地理信息系统)上进行的。通过观察点表土属性值的频率分布、半方差图分析和 KRIGING 内插等概率统计和地统计等方法去达到研究和叙述试区土壤区域变异性的目的。

**关键词** 土壤,空间变异, GIS, 表达

## 1 用 GIS 研究土壤区域空间变异的理论依据

### 1.1 马色龙(MATHERON)区域化变量理论<sup>[1,2]</sup>

在土壤变异性研究中,可以把在一定位置  $Z(x)$  上测定土壤性质  $Z$  设想成是在一个点上测定土壤性质  $Z$  的。对于任何类似的分析目的来说,那个点的位置误差都是相对较小的而且是可以忽略不计的。从数学上来说,土壤是一个多变量或矢量域。有些变量可以在连续尺度上测定,而另一些变量,例如土壤类型则可能就是离散的。但从原则上来说,确定任意位置上的任何土壤性质  $Z$  的值都是可能的。实际的土壤调查,由于工作量和经费关系,都只是在一定量的离散点位上观察和测定土壤属性的。因此,在土壤调查期间非常有必要对没有观察和调查到的点位的土壤属性进行估计和判断。

一个区域化变量  $Z(x)$  是一个随机变量,它是根据某区域内  $x$  位置上记录的不同的  $Z$  值。可以把它视作为对区域内某一固定位置  $x$  上的一个随机变量  $Z$  的特别认识。对一个区域化变量的认识是由系统变异组成部分  $m(x)$  和随机变异组成部分  $e(x)$  两个部分组成。可用下列方程表达:

\* 欧共体资助项目。

收到修改稿日期:1995-12-30

$$Z(x) = m(x) + e(x) \quad (1)$$

系统变异是指土壤属性以地形、地貌组成、土壤管理或其它成土因子的函数形式, 表现出逐渐而显著的变化, 而随机变异指土壤属性无法与已知的原因相关联的变异。

如果整个区域上的系统变异组成部分都是相同的话, 也就是说, 如果随机函数  $Z(x)$  的期望值在整个区域的所有位置上都是相同的话,  $Z(x)$  就不再随位置  $x$  而变化了。因此, 当:

$$E[Z(x)] = m \quad (2)$$

$$\text{和} \quad E[Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (3)$$

时, 可以把它说成是一级稳定。式中的  $h$  为样本的位置间距矢量。二级稳定要求对所有的矢量  $h$  来说, 增量  $Z(x) - Z(x+h)$  的方差在区域内是有限的, 而且与位置无关:

$$\text{VAR}[Z(x) - Z(x+h)] = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 = 2\gamma(h) \quad (4)$$

方差  $2\gamma(h)$  的  $1/2$  叫半方差。  $\gamma(h)$  只依赖于点与点之间的间距( $h$ )矢量。因此, 在稳定条件下, 土壤变化的模型为:

$$Z(x) = m + e(x) \quad (5)$$

## 1.2 土壤的空间依赖法<sup>[2]</sup>

实际上可以预料在相同部位  $x$  上的  $Z$  值总是比偏离距离  $h$  (即  $x+h$ ) 的那些部位上的  $Z$  值相似, 而且, 当  $h$  增加时, 值之间的差异也随之增加。这种现象说明了这些值在距离上或空间上的依赖性。空间依赖性是在于地理变化中的一个事实。区域化变量和土壤属性几乎总是呈现出空间上的依赖性。这种空间依赖性可以用半方差与偏离间距相对应的相关曲线图量化。这种相关曲线图称为半方差图。

## 1.3 半方差图<sup>[2,3]</sup>

空间依赖性的结构分析可以用半方差图量化。半方差图描述了随机函数  $Z$  的空间依赖组成部分。将给定偏离间距为  $h$  的半方差估计为所有由间距  $h$  隔开的观察值之间的方差平均值:

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

式中有  $N(h)$  对观察值。半方差图是地统计学解释土壤空间变异性结构的基础, 它的精确估计是成功的空间内插和栅格地图制作的关键。半方差的可靠性取决于  $N(h)$  值, 即取决于土壤调查的采样密度。

## 1.4 空间内插<sup>[4]</sup>

在区域化变量理论的基础上, 产生了一组求局部位置移动加权平均值形式的内插法, 最终绘制出区域内某土壤属性分布图。其中不同形式的 KRIGING 内插法是目前地统计学应用最广泛的内插法。

如利用最简单的点 KRIGING 内插去估计任意点  $x_0$  处的土壤属性值的算法如下:

$$Z_0 = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \dots + \lambda_n Z(x_n) \quad (7)$$

$$\text{或} \quad Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (8)$$

上式为权重, 它考虑了半方差图中表示的空间依赖性。  $Z$  值的估计应该是无偏的, 因为:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (9)$$

估计偏差是最小的,并可以由下列方程求出:

$$\sigma_d^2 = b^T \lambda / \mu \quad (10)$$

式中  $b$  是被估计点与其它点之间的半方差矩阵,  $\mu$  为拉格朗日参数。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验区概况

在江西省鹰潭市中国科学院红壤生态试验站周围,选择了一块总面积为 30 平方公里的区域作为本研究的试区(见图 1)。试验区位于东经  $116^{\circ} 55'$ , 北纬  $28^{\circ} 15'$ 。地处我国中亚热带,气候温热多雨,年均温  $17.6^{\circ}\text{C}$ , 大于等于  $10^{\circ}\text{C}$  的积温为  $5527.6^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $1794.7\text{mm}$ , 年蒸发量  $1318\text{mm}$ , 年干燥度小于 1; 但降水季节分布不匀, 4 至 6 月降水量几乎占全年的 50%, 干湿季节变化较为明显。试验区北部为细砂质土壤和严重侵蚀的裸露砂岩, 中部红壤试验站附近为第四纪红粘土低丘, 南部为砾岩山前侵蚀夷平面上发育的粗沙质红壤(见图 2 断面)<sup>[5]</sup>。

### 2.2 土壤属性数据的调查与采样

采用网格调查、网格与土链相结合的调查或土链调查等方式, 对试区内 5 个亚区中不同坡位和土地利用方式的土壤进行采样与调查, 总计观察、描述、记录和实验室分析了 17 个主剖面及 129 个小剖面, 共约 100 个土层的属性数据(见图 1 的采样位置)。它们是:

——Y 亚区: 林地或牧地土地利用条件, 第四纪红粘土上发育的红色与黄色粘质土壤。采样点网格为  $50\text{m} \times 50\text{m}$ , 6 个主剖面, 25 个小剖面。

——F 亚区: 农田利用条件下, 第四纪红粘土上发育的红色或黄色粘质土壤。采样点网格为  $40\text{m} \times 40\text{m}$ , 3 个主剖面, 18 个小剖面。

——D 亚区: 农田利用条件下, 砂岩上发育的粉砂壤土。采样点网格为  $30\text{m} \times 30\text{m}$ 。4 个主剖面, 15 个小剖面。

——B 亚区: 牧地与农田利用条件, 砂岩上发育的黄色细砂土。根据土链的概念观察了 4 个主剖面, 20 个小剖面。

——A 亚区: 林地与农田利用条件下, 砾岩上发育的砂壤。根据土链的概念共观察了 51 个小剖面的土层属性。

网格的间距一般是根据土壤变异性来估计的, 在  $30\text{—}50\text{m}$  之间。每个土链按丘顶(或上坡)—中坡—下坡—水稻田的部位观察 3—5 个小剖面。

### 2.3 土壤属性数据库的建立

在以 PC-386 微机, 扫描仪, 数字化仪和彩色打印机等硬件设备为基础, 以及 PC ARC/INFO, IDRISI, dBASE, GEOEAS 等软件支撑的地理信息系统(GIS)上, 建立了一个由图形数据和土壤属性数据相关联的试验区土壤信息数据库。图 3 为本研究的关系式数据结构图。

### 2.4 用地统计学模块研究区域土壤变异性

从 GIS 中提取有关土层属性, 用 GEOEAS 地统计学软件, 就以下三方面去研究和描述整个试区的

土壤变异性:

① 所有观察点土壤属性值的频数分布;

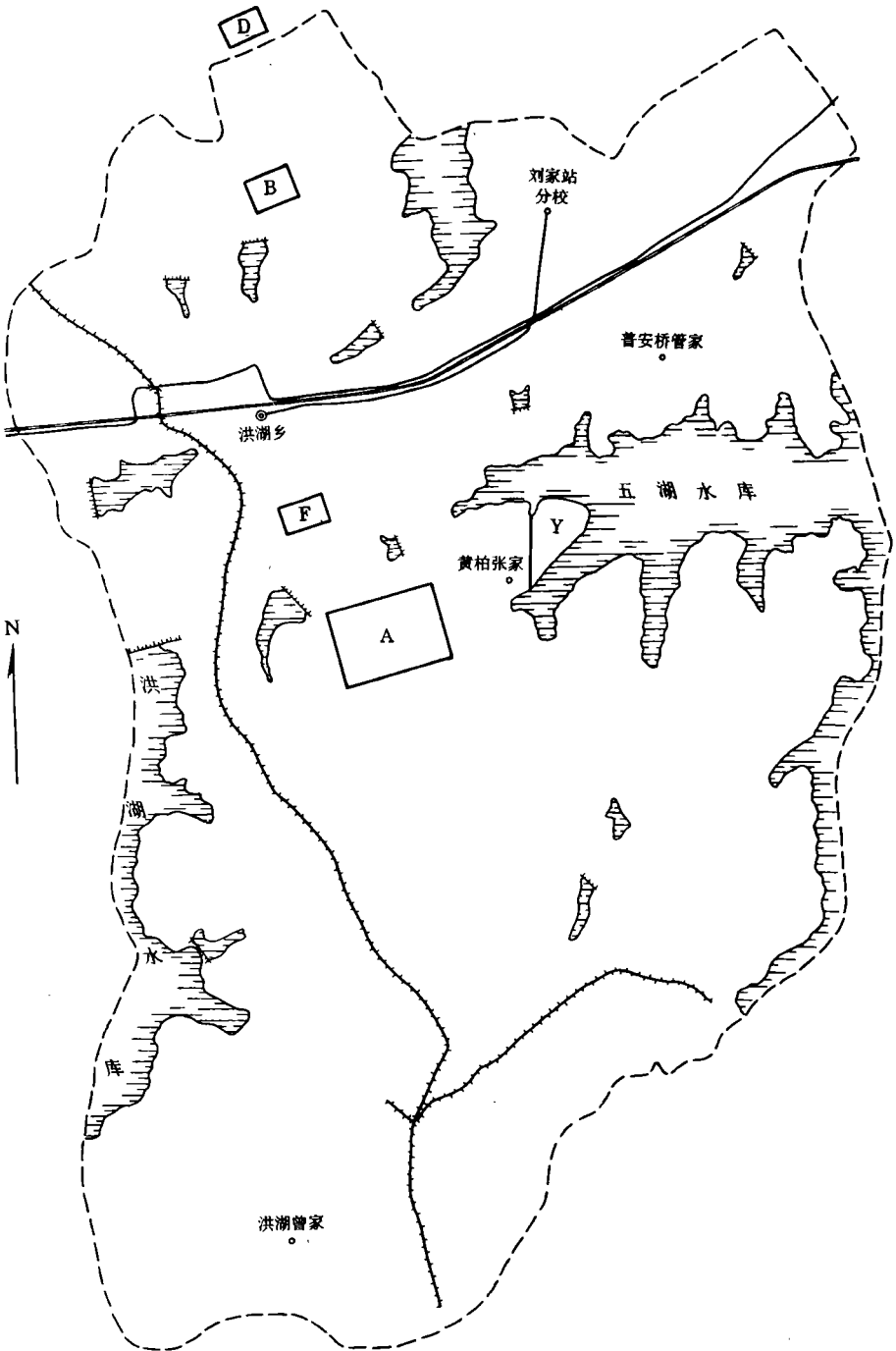


图 1 试区的范围、地形和采样位置

Fig.1 Extent, relief and sampling locations of the test area

- ② 三个亚区 (Y、D、F) 所有观察点表土的层深度、颜色、pH、有效磷和有效钾的半方差图分析;
- ③ KRIGING 内插和 Y 亚区有关属性的等值线图绘制。

本研究用以下四条遵循线性函数、高斯函数或球面函数的半方差曲线图准则去说明土壤属性空间自相关的类型和程度:

- ① 点效应: 指在距离 0 处推断的半方差, 甚至在非常短的距离内估计土壤图不可避免的误差;
- ② 窗口: 指最大半方差和点效应半方差之差。用它来定义空间内插和采样决策有关的半方差;
- ③ 范围: 指最大半方差之处的距离, 它说明了空间依赖的最大范围, 在此范围以外的推断是没有意义的;
- ④ 有效距离: 指采样的有效距离被定义为相关半方差中值的距离 (窗口的 50%)。

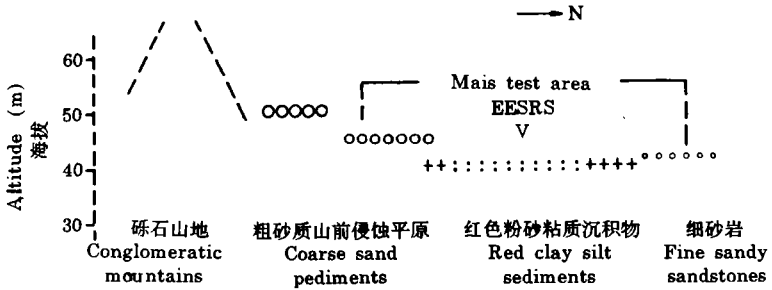


图 2 试区断面图

Fig.2 Transection of the test area

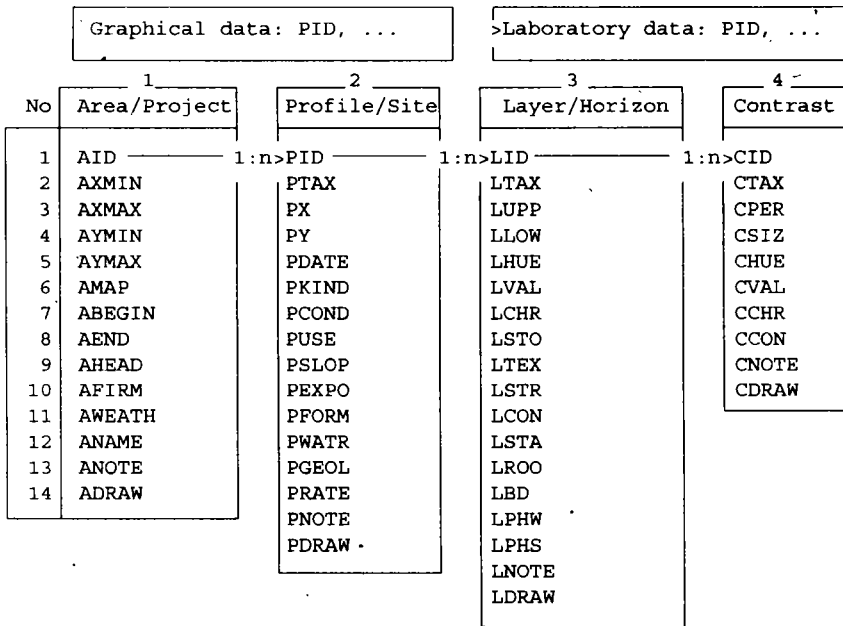


图 3 关系式土壤数据库结构图

Fig.3 The structure diagram of soil database

### 3 结果分析和讨论

对牧地条件下红粘土上 23 个剖面表土的几个属性采样分析后所绘制的频数直方图和统计值(见图 4)表明: 牧地条件下的有效钾和有效磷平均值相当低, 但由变异系数分别为 33% 和 78% 测定的扩展值很显著, 这两个属性的分布形式表明了特征偏移性和显著偏移性。

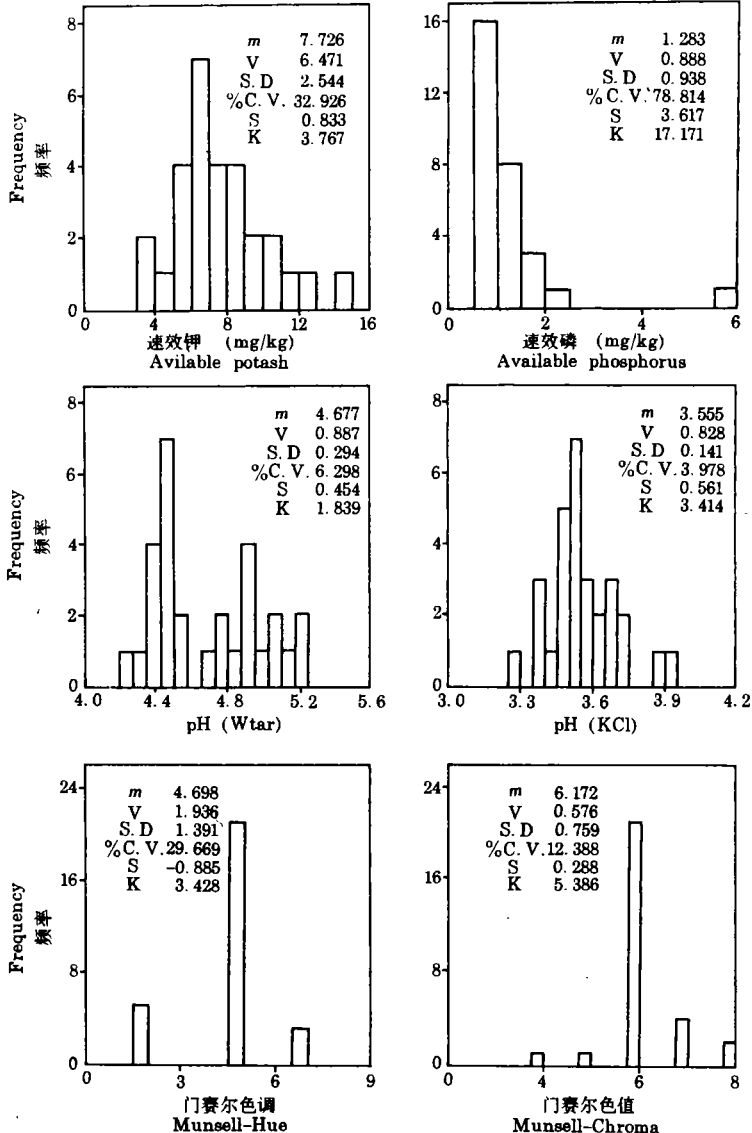


图 4 Y 亚区红粘土上表土属性的频率和统计值

Fig. 4 Frequencies and statistics of the red clay topsoil attributes in subarea Y

两种悬浮液中测定的 pH 值都只具有相当有限的扩展值, 其中 pH(水)的平均值为

4.7, pH(氯化钾)的平均值为 3.6。这是由腐殖质含量相当低的表土低活性粘粒和氧化物的高缓冲现象造成的。直方图显示表土的颜色两边偏差相等,色调与彩度分别集中在 5YR 和 6 左右。

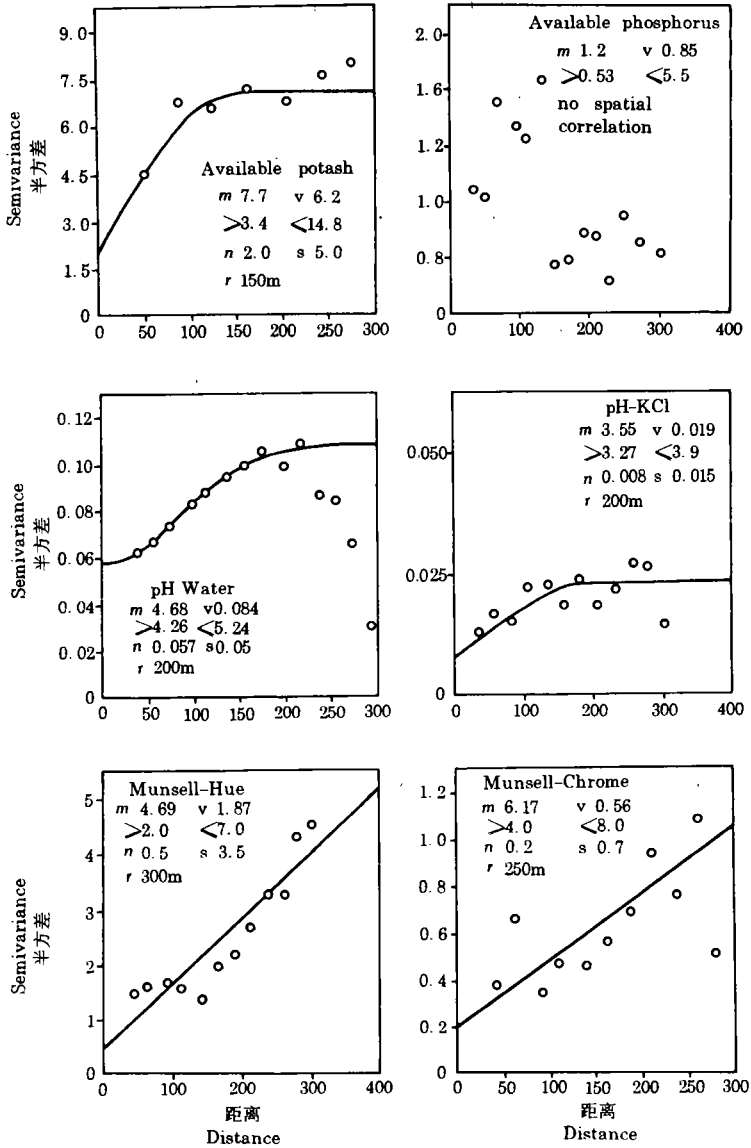


图5 Y亚区表土属性半方差图

Fig.5 Semivariogram of the topsoil attributes in subarea Y

由于农田和梯田的田块小,所以在 F 亚区和 D 亚区的系统采样网格上获得了非常不均一的数据,它们不适宜被用来作土壤属性依赖坡位变化的分析。因此,只有 Y 亚区的结果被用来产生 pH 值和有效养分的方差图。

高程没有显示出点效应,而像 pH 值和颜色等许多土壤属性却具有相当高的点效应(约 20%—50%的最大半方差)。有效磷含量的半方差图揭示了距离短的半方差大于距

离长的半方差。这说明短范围的变化可能是农田利用或植被类型造成的。有效钾沿着坡位重新分布并显示了比较好的空间自相关(见图 5)。

对许多与坡位一致的土壤属性来说,空间依赖范围大约为 200m。只有有效钾含量的空间依赖范围比较短(小于 100m)。而多数门赛尔色值的空间依赖范围大于 300m。

对大多数土壤属性来说,所分析的采样有效距离均小于 100m。这意味着采样网格应用小于 100m 的点距去设计。一般来说,范围以外的采样距离对任何内插和制图都是无效的。

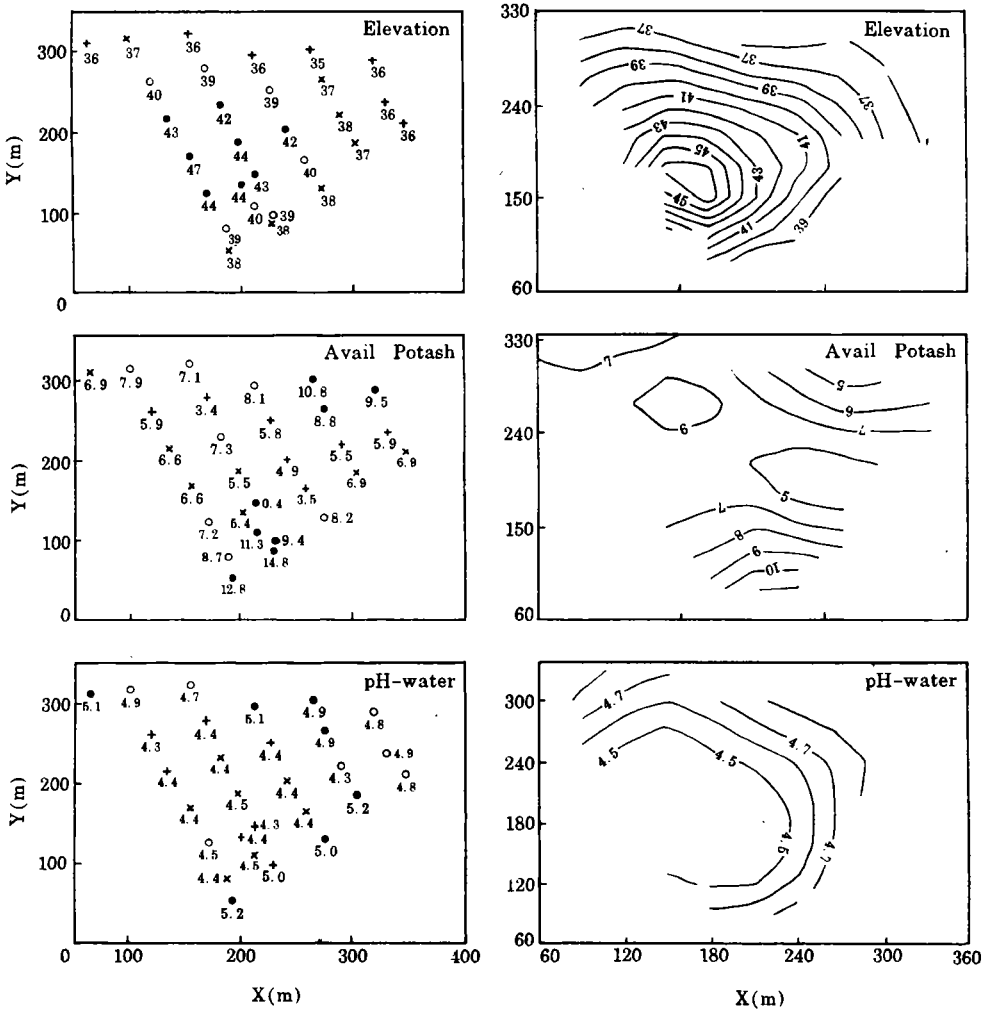


图 6 Y 亚区高程、表土有效钾和 pH 的 KRIGING 内插

Fig.6 Kriging interpolation of elevation, available potash and pH in the topsoil of subarea Y

图 6 显示了以 Y 亚区作为控制变量的高程与表土 pH 及有效钾的 KRIGING 内插结果。其它亚区的属性由于数据严密性不够而不存在空间自相关性,或数据标本不够充分,所以不值得报导。

内插产生的高程图与图 7 显示的等高线原图十分吻合,它说明了内插方法和采样距



离的适宜性。pH(水)和pH(氯化钾)值的空间分布结果相似。它们显示出丘顶部位pH值低(小于4.5),顺坡往下pH值逐渐增高,接近湖边pH值比较高(大于4.8)。pH值的区域变化表明碱性阳离子,尤其是钙和镁,还有钾的侧向迁移。它还可以用该区域表土中有效钾的结果去说明。丘顶部位有效钾 $<6\text{mg/kg}$ ,围绕湖边有效钾超过 $8\text{mg/kg}$ 。但某些部位也出现局部的扰动现象,这可能是过去开垦造成的。

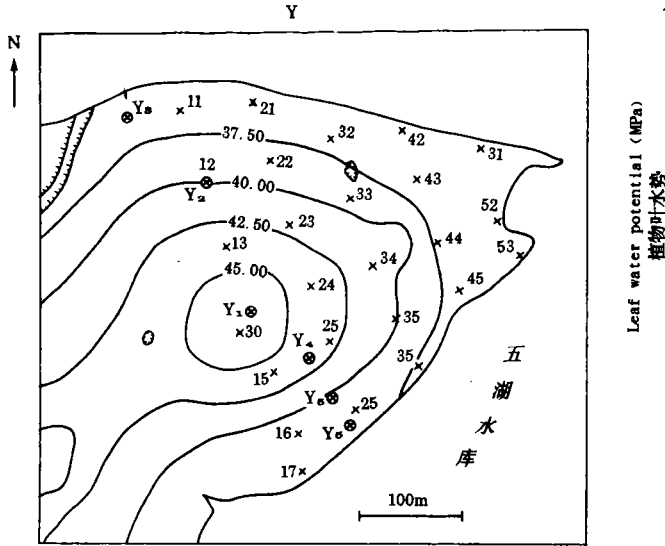


图7 Y亚区地形及采样位置图

Fig.7 Relief and sampling locations of subarea Y

### 参 考 文 献

1. Matheron, 1971: The theory of regionalized variables and its applications. Cahiers du centre de morphologie mathematique. Fontainebleau, No.5, France.
2. Raul ponce-hermandez, 1994: Improving the representation of soil spatial variability in geographical information system.
3. 沈思渊, 1989: 地统计学在土壤空间变异研究中的应用及其展望。土壤学年进展, 第17卷3期, 11—25页。
4. Ponce-Hernandez, R., 1993: Spatial interpolation in geographical information systems. Proceeding of GIS'93, the candian conference on GIS. Energy mines and resources Canada.
5. 中国科学院红壤生态试验站, 1992: 红壤生态系统研究, 33—34页, 江西科学出版社。

## STUDY ON SOIL SPATIAL VARIABILITY

Zhou Huizhen and Gong Zitong

(*Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica, 210008*)

J.Lamp

(*Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University Kiel, Germany*)

### Summary

The study was carried out on the basis of a detailed scale in a 30 km<sup>2</sup> test area by using all available site and layer data of main and mini pits with the grids of 30m by 30m or 50m by 50m. This paper describes the punctual and areal variability of the soils in the main test area by the result from

- Frequency distribution of attribute values from all the observations;
- Variogram analyses of layer depth, colour, pH, available P, and K of all the topsoil samples from three subareas (Y.D.F);
- Kriging interpolation and construction of isoline maps for the attributes of subarea Y.

All the study work was performed on a GIS system supported by a microcomputer and the softwares ARC/INFO, IDRISI, dBASE and GEOEAS.

**Key words** Soil, Spatial variability, GIS