

田间土壤特性的空间变异性^①

谢永华^② 黄冠华 赵立新

(中国农业大学水利与土木工程学院) (北京市水利科学研究所)

摘 要 在田间对土壤的一些基本特性参数——体积密度、初始含水率、饱和含水率、饱和水力传导度和孔隙大小分布参数进行了测试。对各土壤特性参数实测样本的统计分析结果表明,所选定的试验田块中除孔隙大小分布参数服从对数正态分布外,其他参数均服从正态分布。根据各参数在该田块内的等直线分布图,分析了参数的空间分布特征。

关键词 土壤特性;空间变异性;统计分布

中图分类号 S 152

Spatial Variability of Field Soil Properties

Xie Yonghua Huang Guanhua Zhao Lixin

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU) (Beijing Hydraulic Research Institute)

Abstract The selected soil properties of density, initial soil water content, saturated soil water content, hydraulic conductivity and pore size distribution parameter are measured at a 30 m × 30 m plot. The statistical distribution of the Kolomogorov-Smirnov test for selected soil properties described by accumulated probabilities and histograms of measured data proves that every properties are normally distributed except the pore size distribution which is log-normal. The spatial variability for all selected soil properties are analysed based on their topography of measured data.

Key words soil property; spatial variability; statistical distribution

对田间实际测定结果的分析表明,土壤特性是不均一的,即使在土壤质地较为均一的土地上,从不同地点取样测定出的土壤的某一性质参数值也不会完全相同,除去测量误差外,土壤本身的变化起着决定性的作用。此即土壤特性的空间变异性。自 70 年代至今,国内外学者对土壤空间变异性进行了比较深入的研究。Yeh 等^[1]用张力计和一套先进的传感设备观察了田间土壤水压力的空间变异性;Russo 和 Bouton^[2]对 417 个原状土芯进行分析,得到了水力传导率函数及含水率与负压关系函数的常见模型中土壤参数的空间结构;Unlu 等^[3]评价了饱和水力传导率的对数和粒径分布参数的方差及相关尺度对不同的估计方法的敏感性;雷志栋等^[4,5]用空间变异理论对土壤特性空间变异作了初步探讨,并且运用标定理对土壤物理参数的空间分布作了分析。为了研究土壤特性在田间的变异规律,笔者进行了田间观测试验。试验自 1997 年 4 月初开始,至 7 月中旬结束。在取得了不同土壤特性参数的数据后,对有关参数的统

收稿日期:1997-09-05

①国家自然科学基金资助项目

②谢永华,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)211 信箱,100083

计及空间分布进行了初步分析。

1 试验材料与方法

试验地选自北京市水利科学研究所通县永乐店试验站,位于北纬 40°,东经 120°,海拔 11 m,属华北平原。田间试验在该站的一块尺寸为 30 m×30 m 的田块中进行,用 1 m 高的钢板将田块划分成 18 个 10 m×5 m 的小区。田间土壤 0~70 cm 土层为砂壤土,70 cm 以下为粉砂土;田块东部的土壤粘性较田块西部偏大。

考虑到田块中钢板的周边效应以及不同的样间距条件下土壤特性的空间变异情况,以最大间距 3 m,最小间距 0.5 m 进行布点和取样观测,共计 108 个测点(见图 1)。采用圭尔夫仪^[6]测定距地表 30 cm 处的饱和水力传导度 K_s 。在定水位情况下由供水管向钻孔中供水,水向土壤中成三维入渗,在钻孔周围很快形成饱和区。稳定后,供水速率 q 与 K_s 有以下关系:

$$q = \frac{2\pi h^2}{C} K_s + \pi r^2 K_s + \frac{2\pi h \Phi_m}{C} \quad (1)$$

式中: h 为钻孔中水层深度,cm; r 为钻孔半径,cm; Φ_m 为基模通量势, $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$,且

$$\Phi_m = \int_{\varphi_m}^0 K(\varphi_m) d\varphi_m$$

可由 $K(\Phi_m) - \Phi_m$ 曲线求得; C 为形状系数,取决于 h/r ,还取决于土壤结构。仪器向土壤中的供水速率取决于钻孔中水层厚度(压力项)、孔径和土壤的初始基模势。对于砂质土壤, q 主要取决于压力项,对于粘性土壤 q 主要取决于基模势。由于试验地土壤为砂质,故 q 取决于压力项。方程(1)中有 2 个未知数据 K_s 和 Φ_m ,根据钻孔中 2 种固定水层深度,通过实测得到 2 组不同的 q, h 和 C ,然后用解联立方程的方法得到 K_s 和 Φ_m 。

若 h_1 和 h_2 对应的供水速率分别为 q_1 和 q_2 ,则

$$K_s = G_2 q_2 - G_1 q_1 \quad (2)$$

其中 $G_2 = \frac{C_2 h_1}{2\pi(h_1 h_2^2 - h_1^2 h_2) + \pi d^2(C_2 h_1 - C_1 h_2)}$, $G_1 = \frac{C_1 h_2}{C_2 h_1} G_2$

本试验中 $r = 6$ cm,对所给出的对应不同土壤质地的 $h/r - C$ 关系曲线进行比较筛选后,选择一条适合本试验地土壤的曲线,查得当 $h_1 = 5$ cm 时, $C_1 = 0.475$,当 $h_2 = 10$ cm 时, $C_2 = 0.885$,则式(2)变为 $K_s = 0.00288q_2 - 0.00309q_1$ 。分别在 108 个点测得 q_1 和 q_2 后,即可求得 K_s 。在 108 个取样点处,用环刀在各测点 30 cm 深度处取原状土样,用烘干法测定土壤的体积密度 ρ_v ,初始含水率 η_i 及饱和含水率 η_s 。

2 试验结果与分析

2.1 各参数的统计分布

对各特性参数实测样本进行经典统计分析后,得到相应的各参数的统计特征值,见表 1。

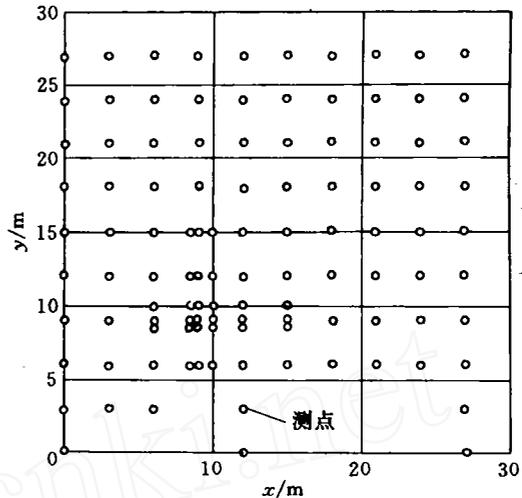


图 1 试验田间布置图

表 1 各土壤特性参数的统计特征值

统计特征	体积密度 $\rho_v / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	初始含水率 $\eta_i / \%$	饱和含水率 $\eta_s / \%$	饱和水力传导度 $K_s / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	孔隙分布参数的对数 $\ln \alpha$
样本容量	106	106	106	107	41
最大值	1.652	45.389	47.356	5.6×10^{-4}	-0.384
最小值	1.303	16.205	34.332	2.0×10^{-5}	-4.227
平均值	1.490	26.279	40.627	2.4×10^{-4}	-1.877
标准差	0.063	3.875	2.319	1.3×10^{-4}	0.954
变异系数	0.042	0.147	0.057	0.542	0.508
偏态系数	0.440	1.051	0.272	0.403	-0.316
峰度系数	3.155	7.759	4.314	2.331	2.381

变异系数 C_v 反映了随机变量的离散程度。一般认为: $C_v \leq 0.01$ 为弱变异性; $0.01 < C_v < 1$ 为中等变异性; $C_v \geq 1$ 为强变异性^[7]。由表 1 可以看出, 所测参数均为中等变异性, 其中 K_s 和 $\ln \alpha$ 的变异性最大, ρ_v 和 η_s 的变异性最小。

偏态系数 C_s 和峰度系数 C_p 分别描述总体概率分布的偏斜程度及陡缓程度。由于正态分布曲线是对称的, 且陡缓适当, 因此被检验的概率分布曲线如果服从正态分布, 就必然不能偏斜太多, 也不能陡缓过分。而对于正态总体而言, $C_s = 0, C_p = 3$, 即 C_s 接近于 0 时, 频率分布曲线的对称性较好, 当 C_p 接近于 3 时, 频率分布曲线的陡缓适中。在表 1 所示的各参数中, 土壤干体积密度的 C_s 和 C_p 分别接近于 0 和 3, 那么其频率分布应最接近于正态分布, 这与图 2 所示的结果比较相符。除了 $\ln \alpha$ 外, 其他参数均为正偏, 其中初始含水率的偏度与峰度最大, 饱和水力传导度的峰度最小, 这说明它的频率分布曲线最扁平。

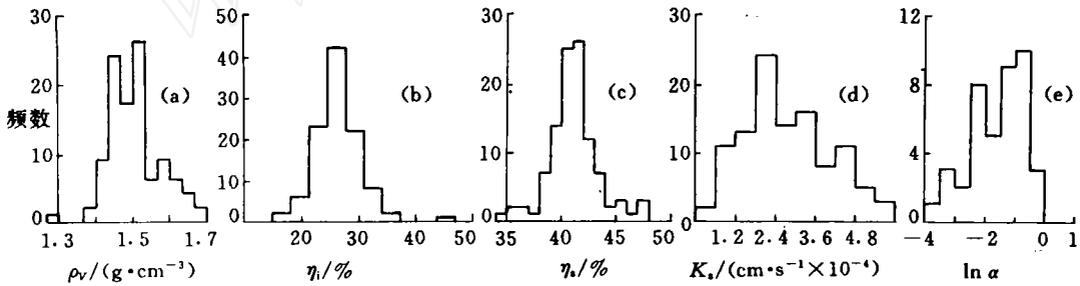


图 2 土壤各特性参数的频率直方图

当把各特性参数的实测值看作是某些随机变量总体的一个随机样本时, 便可由样本去对总体分布进行推测, 一般是作出经验分布函数 $F_n(x)$ 的图形, 又称累积频率曲线。图 3 便是土壤各特性参数的累积频率曲线图。有了这些经验分布, 即可大致了解总体分布特征。

从图 2, 3 看出, 各参数样本的分布均近似呈正态分布。为了进一步推断所测定田块中各参数的统计分布, 利用 K-S 法对各特性参数的统计分布进行非参数检验, 即在给定检验水平 β 和样本容量 n 的条件下, 比较样本经验分布函数 $F_n(x)$ 和总体分布函数 $F_0(x)$ 。当统计量

$$D_n = \sup_{-\infty < x < +\infty} |F_n(x) - F_0(x)|$$

大于相应的临界值 $D_{n,\beta}$ 时, 则总体分布不是正态分布; 反之, 当 $D_n \leq D_{n,\beta}$ 时, 则总体分布是正态分布。检验结果表明, 当 $\beta = 0.1$ 时, 孔隙分布参数服从对数正态分布, 其他各参数在 $\beta = 0.01$

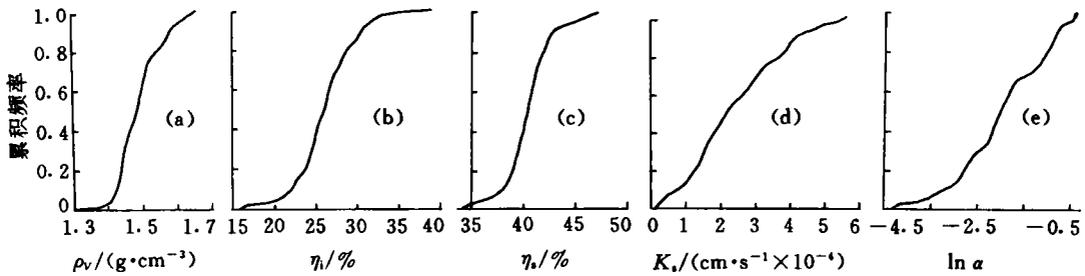


图3 土壤各特性参数的累积频率曲线

时服从正态分布。

2.2 各特性参数的空间分布

为了更加准确地描述土壤各特性参数在空间上的分布状况,根据所测得的各参数样本绘出了不同土壤特性参数在该田块内的等值线图,见图4。

从图4(a)可以看出:东北部空间上的土壤体积密度普遍比其他空间上的大,且均大于 $1.50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,而中南部的体积密度最小,均小于 $1.45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;其他部位的介于 $1.45\sim 1.50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间。体积密度的最大值为 $1.625 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,最小值为 $1.303 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

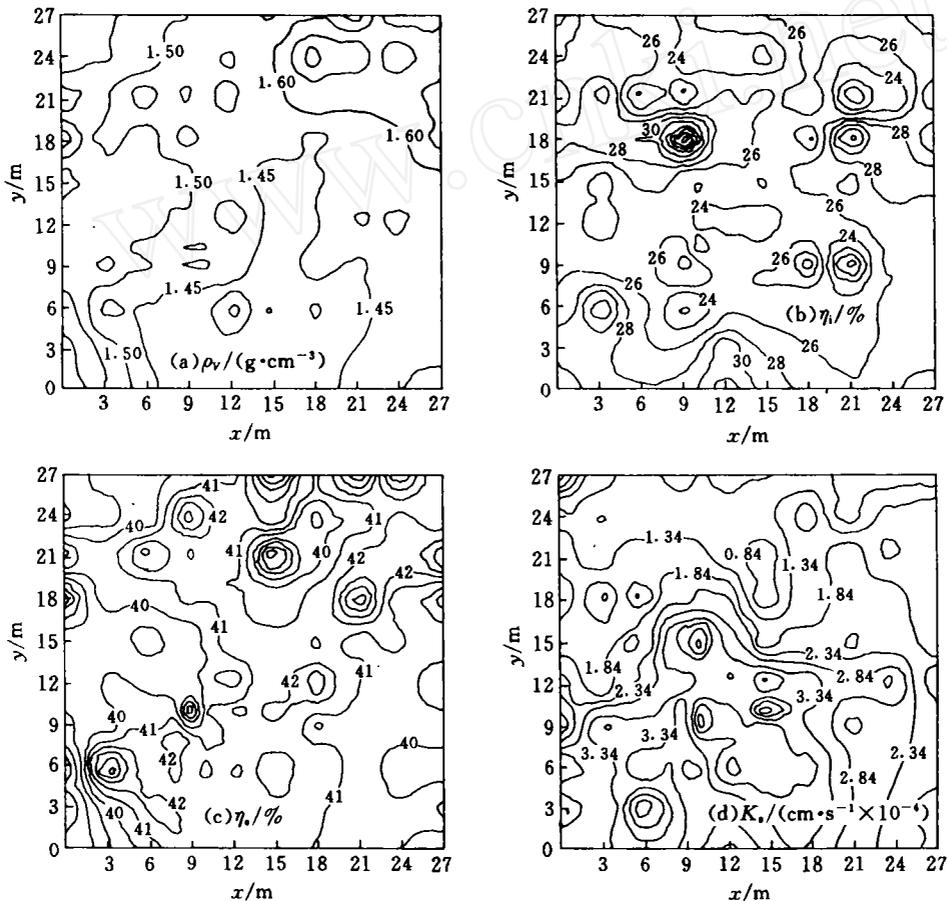


图4 土壤各特性参数的等值线分布图

从图4(b)可以看出,初始含水率的空间变异性比较明显,其最大值为45.389%,是最小值16.205%的2.8倍。

从图4(c)可以看出,饱和含水率具有较为明显的变化幅度,所有数值介于34.332%~47.356%之间,最大值是最小值的1.37倍。

从图4(d)可以看出:北部空间上的饱和水力传导度在整个田块中最小,介于 $0.7 \times 10^{-4} \sim 1.7 \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间;中南部最大,在 $2.7 \times 10^{-4} \sim 4.7 \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。整个田块中,最大值是最小值的28倍,说明饱和水力传导度的空间变异性最强,而它的分布与密度的分布相反,即密度大的空间上饱和水力传导度小,密度小的空间上饱和水力传导度大。

3 结 论

对所选定的土壤特性参数进行田间取样实际测定及对各参数的实测样本进行分析的结果表明:各土壤特性参数的空间变异性较显著。若以变异系数作为变异程度的判别标准,则各参数均为中等变异;但相对来说,饱和水力传导度的空间变异性最强,这与其他文献所得研究结果比较接近。土壤的体积密度、初始含水率、饱和含水率和饱和水力传导度服从正态分布,而孔隙大小分布参数服从对数正态分布。饱和水力传导度的空间变化幅度最大,其最大值与最小值相差1个数量级,并且它的分布与体积密度的分布成反对应。初始含水率与饱和含水率在地域上也反映出比较明显的空间变异性。

参 考 文 献

- 1 Yeh T C, Gelhar L, Wierenga P J. Observation of spatial variability of soil-water pressure in a field soil. *Soil Sci*, 1986, 142(1):7~12
- 2 Russo D, Bouton M. Statistical analysis of spatial variability in unsaturated flow parameters. *Water Resour Res*, 1992, 28(7):1011~1025
- 3 Unlu K, Nielsen D R, Biggar J W, et al. Statistical parameters characterizing the spatial variability of selected soil hydraulic properties. *Soil Sci Soc Am J*, 1990, 54:1537~1547
- 4 雷志栋,杨诗秀,许志荣. 土壤特性空间变异性初步研究. *水利学报*, 1985(9):10~19
- 5 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 田间土壤水分运动参数的标定. *水利学报*, 1986(12):1~10
- 6 华 孟,王 坚. 土壤物理学. 北京:北京农业大学出版社,1993. 286~290
- 7 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学. 北京:清华大学出版社,1988. 325~326