

田间土壤含水率的空间 结构及取样数目确定^{*}

杨诗秀 雷志栋

(清华大学水利水电工程系 北京 100084)

提 要 本文以田间试验资料为基础,研究田间土壤含水率的空间变异性与空间结构。对 1m 土层不同深度的含水率与 1m 土层平均含水率作了统计、自相关与半方差分析,表明田间土壤存在着空间变异性。1m 土层平均含水率的变差系数 C_v 小于各不同深度含水率的 C_v 值。资料还表明含水率在平面位置上相关性不显著。将田间含水率作为空间变异的随机变量,可计算其符合要求的置信水平 P 和估值精度 J 的合理取样数目。本文提供的取样数目表亦可供确定合理取样数目时参考。

关键词 土壤含水率 空间结构 取样数目

田间土壤含水率的施测和监测是农田用水管理化和区域水资源管理的一项基础工作,对于农田灌溉排水的合理实施、农作物的增产与节约用水、四水转化关系的分析和提高水资源的利用率等均有重要的作用。长期实践表明,田间土壤含水率具有明显的空间变异性。并成为生产和科学试验中困扰人们的一个问题。空间变异性指的是在自然情况大体均一(例如对研究含水率,指土质、地下水埋深、气候、植物种植种类、灌溉制度等大体一致)的条件下,由于各种随机因素的影响而实际存在着的土壤参数的不均一性。国外在本世纪后对其研究受到普遍重视。在我国 80 年代才有了初步研究成果,还难以达到在生产实际中应用阶段。本文以田间试验资料为基础,抓住陆地水圈中水分转化最活跃、对人类生产活动和生活影响最大的 1m 土层(作物根系层)含水率为研究对象,揭示其分布的空间结构,研究其可用于实际的取样方法,以服务于生产。

1 试验描述与试验成果

在山东省冠县甘屯试验站附近农田中,随机抽一地块,布置一根长 100m 的试验线,每米一个取样点,共计 101 个点。在每一取样点沿深度 10、30、50、70、90cm 处取样,共 505 个样品数。

对试验地进行了土地剖面描述与干容重测定试验地土壤以砂壤土为主,但在深 70cm 左右有一厚度约 1—3cm 粘土层。在粘土层下部仍为砂壤土。沿 100m 线每 10m 间隔测定干容重,深度为 30、50、70cm,且在其中三个剖面加测 10cm 和 90cm 深度处的干容重,共取样 39 个。

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

来稿日期:1992 年 1 月;收到修改稿日期:1992 年 12 月。

将所测的含水率(重量比)用三维空间展示如图 1。其分布规律为含水率地表处较小、随深度加大但又表现出随机性以及在某些方面有趋向性。现将其统计特征值列于表 1。

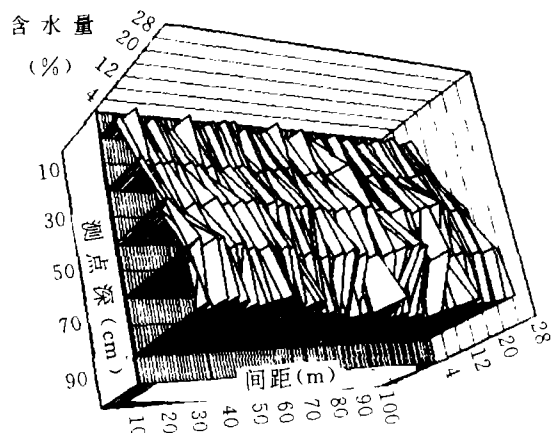


图 1 实测的含水率分布图

Fig. 1 The diatribution of soil-water content measured in the field

由表列数据可见:

(1)该处不同深度含水率的变差系数 C_v 均大于 0.1,其中表层取样点的 C_v 值大于 0.25。样品最大值与均值比为 1.64,均值与最小值比达 1.97。对比笔者在其他灌区(例如山西潇河灌区等)用类似的布点方法所测得的含水率,其表层的变差系数都小于 0.1,测点的最大值与均值、均值与最小值之比都未超过 1.5—1.6,显得此处所测值更离散些。除了土质不均以外,亦与其他因素有关,例如本次施测期为 6 月 30 日,表土干燥,有的点含水率很低,增加了离散性。

表 1 沿直线等距不同深度含水率统计分析

Tab. 1 Statistical results of soil—water content at different depths along a line with the same interval

| 序号 | 测点深 (cm) | 间距 (cm) | 点数 | 均值 | 变差系数 C_v | 最大值 平均值 | 最小值 平均值 |
|---------|-------------|------------|-----|--------|---------------|------------|------------|
| 1 | 10 | 100 | 101 | 6.39% | 0.259 | 1.64 | 1.97 |
| 2 | 30 | 100 | 101 | 11.01% | 0.128 | 1.30 | 1.45 |
| 3 | 50 | 100 | 101 | 16.97% | 0.107 | 1.28 | 1.35 |
| 4 | 70 | 100 | 101 | 20.36% | 0.142 | 1.30 | 1.41 |
| 5 | 90 | 100 | 101 | 19.76% | 0.210 | 1.39 | 1.52 |
| 1m 土层平均 | | | | 14.90% | 0.0978 | 1.22 | 1.28 |

(2)深度 90cm 处平均含水率还稍低于 70cm 处,这是由于土壤剖面质地不均一,70cm 深度处有薄层粘土所致。

(3)取 1m 土层平均含水率(将 10、30、50、70、90cm 测点含水率取平均)作为样本,则此样本的容量、样品间距均和分层取样时相同。但统计资料表明其 C_v 值为 0.0978,明显小于分层取值时的变差系数。该特点在田间应用上是十分有利的。

将深度 30、50、70cm 处测得的干容重值大小以三维空间展示于图 2。由图可见干容重在空间分布上虽有变化,但小于含水率的变异性。39 点干容重的均值为 $1.34(\text{g}/\text{cm}^3)$;最大值为 1.45,最小值为 1.26。最大值与均值、均值与最小值之比分别为 1.08 和 1.06。

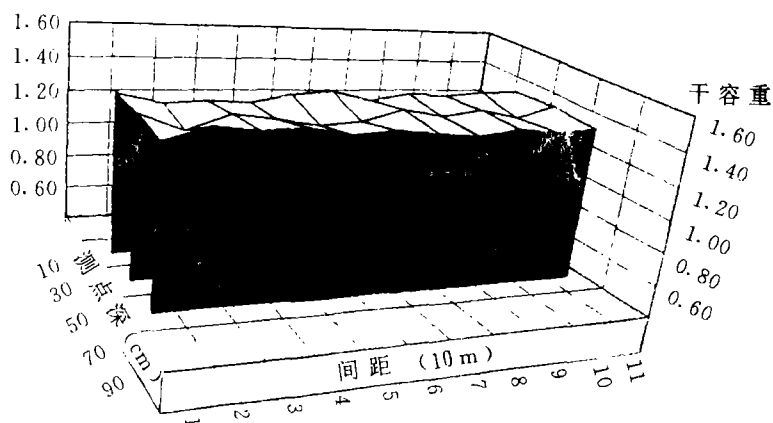


图2 实测的干容重分布图

Fig. 2 The distribution of bulk density measured in the field

2 土壤含水率的空间结构分析

各点含水率在空间上的关系称为它们的空间结构。现将所测资料进行空间结构分析。

2.1 土壤含水率的空间随机分布

若视土壤含水率的每一取样系列为一随机样本,按测定值由小到大排列计算其经验的累积概率 $P(\%)$,可在正态概率纸上点绘其累积概率曲线。图3表示的是深10cm、50cm、1m土层平均的含水率值点绘的结果,表明含水率测定系列的累积概率曲线大体上可以近似为直线。故其测定系列可近似为正态分布。

2.2 土壤含水率的自相关分析

原则上说,相邻点的取样结果并非完全随机独立,在一定距离内存在着一定的相关关系,为了分析取样点与点之间测定值的相关关系,将沿直线等间距取样的样本进行自相关分析^[3]。

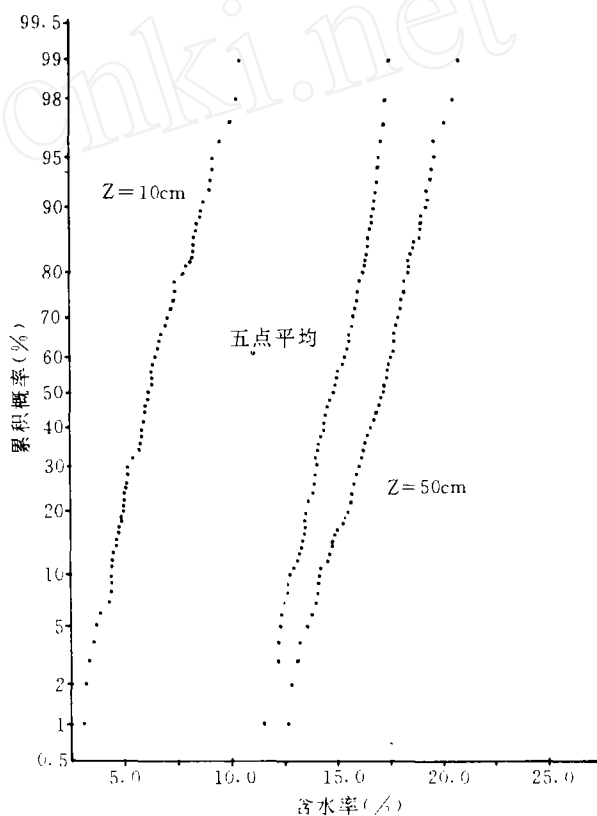


图3 沿直线不同深度含水率累积概率曲线

Fig. 3 Cumulative probability plot of soil-water content along a line at different depths

设沿直线按等间距 Δx 取样, 取样点的坐标为: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-1}, x_N$
 相应的取样测定值为 $y(x_i) (i=1, 2, 3, \dots, N-1, N)$ 或 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N-1}, y_N$
 如果取间距 $h = k \cdot \Delta x (k=1, 2, \dots)$, 则可形成两组观测系列

$$y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N-k-1}, y_{N-k}$$

$$y_{k+1}, y_{k+2}, y_{k+3}, \dots, y_{N-1}, y_N$$

其自相关系数

$$r(h) = \frac{C_{ov}[y(x_i), y(x_i + h)]}{\sqrt{D[y(x_i)] \cdot D[y(x_i + h)]}} \quad (2-1)$$

其中, $D[y(x_i)]$ 和 $D[y(x_i + h)]$ 分别为 $y(x_i)$ 和 $y(x_i + h)$ 的方差; $C_{ov}[y(x_i), y(x_i + h)]$ 为两者的协方差。自相关系数也可由下式计算出

$$r(h) = \frac{\sum (y_i - \bar{y}_i)(y_{i+k} - \bar{y}_{i+k})}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2 \cdot \sum (y_{i+k} - \bar{y}_{i+k})^2}} \quad (2-2)$$

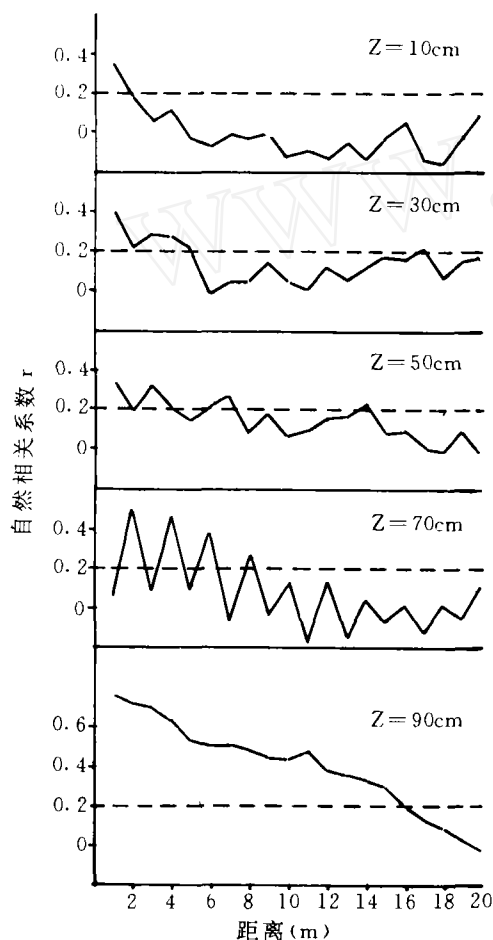


图 4 不同深度含水率自相关图

Fig. 4 Autocorrelation for soil-water content at different depths.

$$\text{式中, } \bar{y}_i = \frac{1}{N-k} \sum y_i, \bar{y}_{i+k} = \frac{1}{N-k} \sum y_{i+k}$$

自相关系数 r 随间距 h 的增大而减少。为简化相关显著性分析, 按照统计分析原理, 当 h 增大到一定值后, 相关系数 $r \leq 1.96/\sqrt{n}$ 时认为相关是不显著的, 或说相关系数与“0”无显著差别。式中, n 为自相关时两组系列对应的点数, 即 $n = N - k$ 。图 4 是所测的 10、30、50、70、90cm 深度处含水率自相关图。图中的虚线即 $1.96/\sqrt{n}$ 。表 2 是相对应的自相关分析结果。由图 4 和表 2 结果可表明:

不同深度含水率自相关结果有较大差异, 这与笔者曾在多个灌区实测所揭示的情况是一致的。说明土壤含水率的自相关关系没有一定的规律性。

在已分析的自相关距离, 除个别外, 多数深度自相关系数 $r \geq 1.96/\sqrt{n}$ 的自相关距离仅 1—4m。而若以 $r \geq 0.6$ 作为相关显著性标准的话, 则几乎所有深度均相关不显著。因此, 从实用角度, 若取样点在平面位置相隔有一定距离(例如本处超过 10m), 则所取的样品组成的样本作为随机样本分析是合理的。

2.3 1m 深度平均含水率的空间结构分析

如前述,不同深度含水率多数无相关关系或相关不密切。但统计分析表明,1m 土层平均含水率值的 C_r 较各深度含水率的 C_r 值小,甚至小于其中的最小值。同样可用(2)式对其计算自相关系数。

表 2 各深度处含水率自相关分析

Tab. 2 Autoocorrelation analysis of soil-water content at different depths

| 序号 | 深度 | 编号 | 最大自 相关系数 | 相关距离 | | |
|----|----|---------|-------------|--------------|--------------------------------|------------|
| | | | | $r \geq 0.6$ | $r \geq \frac{1.96}{\sqrt{n}}$ | $r \geq 0$ |
| 1 | 10 | GXWA917 | 0.35 | 0 | 1 | 4 |
| 2 | 30 | GXWB917 | 0.39 | 0 | 4 | 5 |
| 3 | 50 | GXWC917 | 0.34 | 0 | 1 | 17 |
| 4 | 70 | GXWD917 | 0.49 | 0 | 0 | 7 |
| 5 | 90 | GXWE917 | 0.77 | 3 | 16 | 20 |
| | 平均 | GXW917 | 0.52 | 0 | 6 | 15 |

半方差亦可用以反映取样结果的空间关系。对于观测资料系列 $y(x_i)$, 间距为 $h(h=k \cdot \Delta x)$ 的半方差 $\gamma_s(h)$ 定义为

$$\gamma_s(h) = D[y(x_i), y(x_i + h)]/2 \quad (2-3)$$

可用下式计算

$$\gamma_s(h) = \frac{1}{2(N-k)} \sum [y(x_i) - y(x_i + h)]^2 \quad (2-4)$$

计算得 1m 土层平均含水率的自相关与半方差并示于图 5。

半方差 $\gamma_s(h)$ 和自相关系数 $r(h)$ 在理论上有下列关系:

$$\gamma_s(h) = \sigma^2[1 - r(h)] \quad (2-5)$$

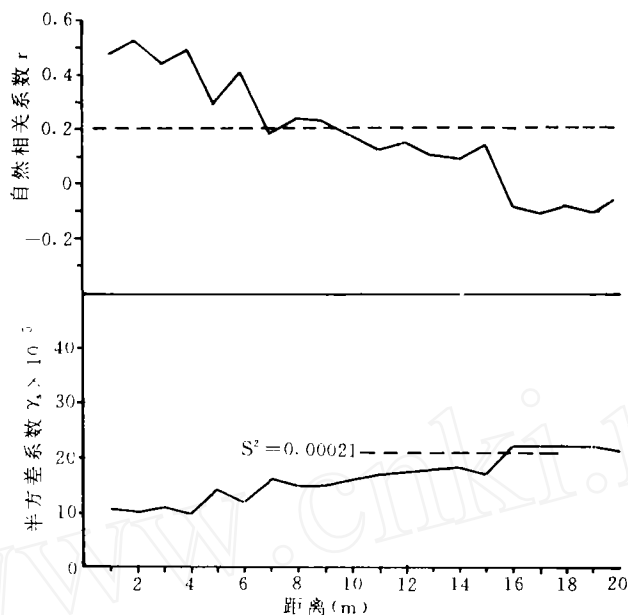
式中, σ^2 为 $y(x_i)$ 的方差。随着 h 增大, $r(h)$ 减少, 而 $\gamma_s(h)$ 增大。当 $h=a$ 时(a 是自相系数等于零时对应的距离), $\gamma_s(h) = \sigma^2$ 。在本计算中, 当 $h=16m$ 时, 自相关系数 $r(h)=0$, 对应于半方差图 $\sigma^2=0.00021$, 这正是 $h=16m$ 所对应的半方差值。本试验半方差 $\gamma_s(h)$ 和自相关 $r(h)$ 的对应关系良好, 两者得到相互验证。

由以上分析可知, 即使是变差系数值较小, 空间结构较明显一致, 但土壤含水率的自相关距离仍很小。若以 $r \leq 1.96/\sqrt{n}$ 作为相关显著, 其距离也不超过 6.0m。此分析表明在大面积监测墒情或田间试验中, 只要取样点不要布置得过分密集, 完全可作为随机样本处理。

3 1m 土层储水量计算

地表以下 1m 土层是作物的主要根系层, 是水分转化最活跃的区域。计算 1m 土层储水量, 监测其在作物生长期的变化规律, 对于研究水分收支及水的利用效率, 分析水分转

化关系均提供了可靠的基础^①。1m 土层储水量可用该层土壤体积含水率与土层厚度的乘积得到。体积含水率由实测到的重量含水率乘以相应的干容重换算出。有几种处理方法：



S^2 : 样本方差

图 5 1m 土层平均含水率自相关与半方差图

Fig. 5 Autocorrelation and Semivariogram for average soil-water content at 0—100cm.

(1) 根据实测的 100 个平面点, 各平面点 5 个深度的重量含水率(以下同) $\theta_{i,j}$ 及该点相对应的干容重 $\gamma_{i,j}$ (未做干容重试验的取样点, 其值由就近点插补)逐点计算体积含水率, 再乘以相应的层厚 ΔZ_j (5 层 ΔZ_j 累加为 1m 厚), 求得 1m 土层储水量 W_1

$$W_1 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^5 \theta_{i,j} \times \gamma_{i,j} \times \Delta Z_j \quad (3-1)$$

(2) 根据 5 个深度(10、30、50、70、90cm)各自的平均含水率 $\bar{\theta}_j$ 和干容重 $\bar{\gamma}_j$, 计算得 1m 土层储水量 W_2 ,

$$W_2 = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \bar{\theta}_j \times \bar{\gamma}_j \times 100(\text{cm}) \quad (3-2)$$

(3) 根据 500 个点的平均含水率 $\bar{\theta}$ 和相应的干容重平均值 $\bar{\gamma}$ 计算得 1m 土层储水量 W_3 ,

$$W_3 = \bar{\theta} \times \bar{\gamma} \times 100(\text{cm}) \quad (3-3)$$

本次试验资料计算得 W_1 、 W_2 、 W_3 分别为 199.0、200.2、199.7(mm), 表明用平均重量含水率和平均干容重代替各点重量含水率和干容重, 计算 1m 土层贮水量, 误差不大。这

① 75-57-03-03 课题组。农业节水的研究。见：“七五”国家重点科技攻关项目第 57 项 03-03 专题报告, 1990, 476—479。

为实用带来方便。

4 合理的取样数目

若田间土壤某一特性(例如含水率)为空间变量的随机变量,合理的取样数目指的是要取多个测点(或样品),使得其均值有足够的准确性和较大的概率近似于真正的(总体的)均值。如果要求置信水平为 P_t ,置信区间为 $\mu \pm \Delta x$ (μ 为数学期望值, Δx 为绝对误差),合理取样数目 N 应满足

$$P\{|\bar{x}_N - \mu| \leq \Delta x\} = P_t \quad (4-1)$$

应用中心极限定理,随机变量 $\eta = (\bar{X}_N - \mu) / \sqrt{\sigma^2/N}$ 为标准正态分布(均值为 0, 方差为 1)。根据标准正态分布的特征,可知

$$P\left\{\left|\frac{\bar{x}_N - \mu}{\sqrt{\sigma^2/N}}\right| \leq 1.96\right\} = 95\% \quad (4-2)$$

所以,当置信水平取 $P_t = 95\%$, 相应的取样数目 N 为:

$$N = 1.96^2 (\sigma/\Delta x)^2 = 3.84 (\sigma/\Delta x)^2 \quad (4-3)$$

由于变差系数 $C_v = \sigma/\mu$, 令估值相对误差 $\Delta = \Delta x/\mu$, 上式可写为:

$$N = 3.84 (C_v/\Delta)^2 \quad P_t = 95\% \quad (4-4)$$

但在实际应用中,总体方差 σ^2 往往是未知的,只能用样本方差 S^2 去估计。此时,用概率统计原理可知,随机变量 $t = (\bar{X}_N - \mu) / \sqrt{S^2/N}$ 服从 t 分布,即

$$P\left\{\left|\frac{\bar{X}_N - \mu}{\sqrt{S^2/N}}\right| \leq \lambda_{\alpha, f}\right\} = P_t \quad (4-5)$$

其中, $\lambda_{\alpha, f}$ 为 t 分布特征值,可由显著水平 $\alpha = 1 - P_t$ 和自由度 $f = N - 1$ 查 t 分布表得出。由此,取样数目 N 表示为^[2]

$$N = \lambda_{\alpha, f}^2 (S/\Delta x)^2 \quad (4-6)$$

或

$$N = \lambda_{\alpha, f}^2 (C_v/\Delta)^2 \quad (4-7)$$

Δ 为估值精度。

表 3 给出了置信水平 $P_t = 90\%$, $P_t = 95\%$, 不同估值精度 Δ 时,相应不同变差系数 C_v 值的合理取样数目 N 。当通过试验已知 C_v 值后,可从表中选用 N 值。例如,本次含水率取样试验表明,若在表层下 10cm 处取样,要求置信水平达 $P_t = 95\%$, 相对误差在 10% 以内,查表 3,则需取 30 个左右的样品。但对 30cm 深处,维持同样的置信水平和相对误差,取 10 个左右样品即够;对 50cm 深处,由于实测 C_v 值更小些,取 6 个左右样品可满足要求。以此类推,前已述及,在田间实用上可采用 1m 土层平均含水率值计算 1m 土层贮水量。对本实例而言,含水率平均值只需取 5 个样品,即可满足 $P_t = 95\%$, Δ 值不超过 10% 的要求。

现从实测值作为总体,用计算机模拟取样。例如,表层下 10cm 处含水率,若按上述要求取 30 个样品,由计算机从实测值中随机取 30 个样品作为一个样本。再由计算机随机取 50 个样本(即取 50 次),进行统计,表明在累积概率 $P = 95\%$ 时,50 个样本的均值与总体均值的估值精度 Δ (即相对误差绝对值)为 10%,与表 3 所列相应项的估值精度相当。但若

每次只取 20 个样品作为一个样本,则在 $P=95\%$ 累积概率时,估值精度达 13.5%,超过了欲控制的 10%。

表 3 不同置信水平 P , 估值精度 Δ 下的取样数目 N

Tab. 3 Necessary number of samples versus various probability level

(or confidence level) P and specified limit (or certain estimation error) Δ

| P _i | Δ | C _r | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | |
| 90% | 5% | 5 | 13 | 26 | 45 | 70 | 99 | 173 | 270 | | | | | | |
| | 10% | 3 | 5 | 8 | 13 | 18 | 26 | 45 | 70 | 99 | 133 | 173 | 220 | 270 | |
| | 15% | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 13 | 21 | 32 | 45 | 61 | 78 | 99 | 122 | |
| | 20% | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 13 | 18 | 26 | 35 | 45 | 56 | 70 | |
| 95% | 5% | 6 | 18 | 37 | 64 | 99 | 140 | 248 | 384 | | | | | | |
| | 10% | 4 | 6 | 11 | 18 | 26 | 37 | 64 | 99 | 140 | 192 | 248 | 314 | 384 | |
| | 15% | 3 | 4 | 6 | 10 | 13 | 18 | 30 | 45 | 64 | 86 | 111 | 140 | 172 | |
| | 20% | 2 | 4 | 5 | 6 | 9 | 11 | 18 | 26 | 37 | 50 | 64 | 80 | 99 | |

对 1m 土层平均含水率值亦作了计算机模拟取样,分别按样品数为 4 或 5 个,随机取 50 个样本。结果表明,当 $N=5$ 时, $P=95\%$ 的估值精度小于 10%;若 $N=4$ 时,则误差增大(见表 4),但仍基本满足要求。说明,当 C_v 值较小时,即使取样数目稍有减少,对估值的精度影响较小。

表 4 取样模拟估值误差 Δ 与累积概率 P

Tab. 4 Simulated number of samples necessary versus probability level P and specified limit Δ

| 含 水 率 | N | P | | | | |
|--------|----|------|------|-------|-------|-------|
| | | 75% | 80% | 85% | 90% | 95% |
| | | △ | | | | |
| 10cm 深 | 30 | 6.5% | 7.3% | 8.0% | 9.5% | 10.0% |
| 含 水 率 | 20 | 8.8% | 9.6% | 10.5% | 11.4% | 13.5% |
| 一米土层 | 5 | 4.5% | 4.7% | 4.9% | 5.9% | 8.0% |
| 平均含水率 | 4 | 5.0% | 5.3% | 6.1% | 8.7% | 10.8% |

在使用(4-6)或(4-7)式计算取样数目时,需要知道当地欲求的土壤参数(例如含水率)的变差系数 C_v 。这有两种途径处理,一是在确定取样数目前,先就该参数做一次确定 C_v 值的试验,取样点不宜过少,至少应大于 30—50 个样品;且取样范围应较均匀分布在欲测范围内。另一途径是根据过去资料 and 他人经验取用 C_v 值,有条件时再检验 C_v 值。根据笔者 1987 年—1990 年在山东、山西、河北、内蒙古等地做了 78 组试验,每组取样 50—100 个样品,共取含水率约 5000 个样品。在取样点,布设有两种方式或沿直线等间距布点,或在一定面积上,大体均匀布点,取样面积从 0.67ha(相当于 10 亩地)直至 4666.7ha

(相当于 70000 亩地),以探索不同尺度规模的变异性差别。试验表明,田间土壤含水率的变差系数 C_v 变化在 0.05—0.25 之间,最大值和平均值比值在 1.10—2.0 之间;平均值和最小值的比值在 1.10—2.40 之间。这些资料,可供应用时作初步参考。

5 小结

(1)在山东冠县甘屯试验站田间沿直线取样测得含水率变差系数变化在 0.1—0.25 之间,这与作者曾在山西、河北、内蒙古等地田间大量实测所得结果相近。这些资料说明田间土壤含水率确实存在着空间变异性。

不同深度取样结果变差系数 C_v 值均不同,表征离散程度的 C_v 值随深度的变化无明显规律。

(2)土壤含水率的空间结构分析表明,不同深度含水率的自相关系数变化大,且自相关关系均不明显。相隔一定距离取样所组成的样本可作随机样本处理。

(3)土壤 1m 土层平均含水率的变异性小于各深度含水率的变异性,其自相关图与半方差图有较好的对应关系。用 1m 土层平均含水率与平均干容重计算 1m 土层储水量是可行的。本组试验表明不会带来很大的误差。

(4)为了能使所取样本具有代表性,必须确定合理的取样数目。在某一置信水平下有一定估值精度的合理取样数目可参见表 3。经过计算机模拟取样,表明结果是可信的。在田间应用上一般可取置信水平 $P_t=90\%-95\%$;估值精度 $10\%-15\%$ 。在没有当地资料的田间应用时,一般应先做田间试验确定其变差系数,或参照他人已有资料初步选用。

参 考 文 献

- 1 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学,北京:清华大学出版社,1988,331—337.
- 2 Klute A. (the editor). Methods of soil analysis, Part I -Physical and minialogical Methods. second edition. Wisconsin 53711. USA: ASA, Inc, SSSA Inc, 1986, 33—51.

作 者 简 介

杨诗秀,女,1936年生。副教授,1958年毕业于清华大学水利系,留校工作至今。现主要从事水资源与农田水利领域的科研、教学,已发表“均质土壤一维非饱和流动通用程序”、“水平土柱入渗法测定土壤导水率”等 30 余篇论文,以及合著《土壤水动力学》、合译《应用土壤物理》等著作。

SPATIAL STRUCTURE OF SOIL WATER CONTENT AND SAMPLING NUMBER DETERMINATION IN THE FIELD

Yang Shixiu Lei Zhidong

(Hydraulic Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084)

Key words Soil Water Content; Spatial structure; Sampling number

Abstract

This paper deals with spatial variation and spatial structure of soil-water content based on the test data in the field. 100 sampling sites were arranged along a line with one meter interval located at the Experimental Station of Guan County in Shandong Province. 505 samples were taken at depths of 10cm, 30cm, 50cm, 70cm, 90cm, 89 samples for bulk density were taken in correspondence with the samples for soil-water content. The analysis of statistical parameter, autocorrelation, and semivariogram have been done for the soil-water contents at different depths the average 0-100cm soil-water content. Field data obtained from the study area show that the coefficient of soil-water content CVs is about 0.1—0.25. The values are similar to the CVs from 78 series (5000 samples), which were taken from Shanxi, Inner Mongolia, and Hebei Provinces. The coefficient of average soil-water content CV at 0—100cm is smaller than that of the soil-water content CVs at different depths. It is possible to calculate soil-water storage capacity for one meter depth by using average soil-water content and average bulk density.

The spatial relationship among the field soil-water contents is of little significance. Samples which have a certain distance can be treated as random variables. Then the number of samples necessary for various probability level (or confidence level) P and specified limit (or certain estimation error) Δ can be determined. A method of computer-simulation has been applied to check the necessary number of samples obtained from the table.

In general, sampling for soil-water content with specified limit of $\Delta = 10-15\%$ at confidence level of $P=90-95\%$ is acceptable in practice.