

# 黑龙江省主要土壤的田间持水量经验公式推求

常 兴 义

(黑龙江省水利勘测设计院)

土壤的田间持水量是土壤的毛管力所能保持住的最大毛管悬着水,又称最小持水量,总持水量等。

田间持水量反映了土壤最大的保水能力。土壤这个“水库”的库容,供应植物生长所需水的给源是否丰富,在一定程度上关系到土壤的抗旱保墒能力。因此,农业生产与科学研究均要涉及土壤的田间持水量,水利部门进行灌区的规划设计,也用田间持水量做渗透深度及灌水定额计算的依据。所以,田间持水量是重要的水分子物理特征值。为灌区规划进行的土壤调查,田间持水量也是必测项目之一。

目前,田间持水量的测定,主要是在田间条件下进行。选择好一块平坦的4平方米土地,四周筑起坚实的土埂,灌入计算好的水量,覆盖好,防止蒸发,然后逐日取土测定含水率。这种方法进行数次,取其算术平均值,提供应用,有接近实际的优点。但是,这种方法相当繁琐,用人多,劳动量大,时间长,在缺少水源的地方,测定无法进行,在我省由于季节性冻层的存在,部分土壤类型有上层滞水,都严重影响田间持水量的测定,远不能满足水利规划设计对土壤调查的要求。

多年来,我们对黑土、草甸黑土、草甸土,碳酸盐草甸土,草甸黑钙土,碳酸盐草甸黑钙土及盐渍化土壤等的田间持水量测定中,积累了大量资料。对一百多个剖面的508个层次,容重在0.86~1.66克/厘米<sup>3</sup>,土壤的物理粘粒(<0.01毫米)含量在20~80%之间的轻壤至重粘土的田间持水量进行分析,发现田间持水量与土壤容重、物理粘粒有关。土壤的田间持水量,在物理粘粒含量不变情况下,随土壤容重增加而减少;在容重相同情况下,田间持水量随物理粘粒含量增加而增加。现点绘于图1,从图1可见具有相同或相近的物理粘粒含量值各点大体分布在一直线上,或者说物理粘粒含量等值线大体为直线;同法判明容重的等值线也大体为直线,故可判定田间持水量倚容重及物理粘粒含量的回归可以线性复回归  $z = b_0 + b_1x + b_2y$  近似代表

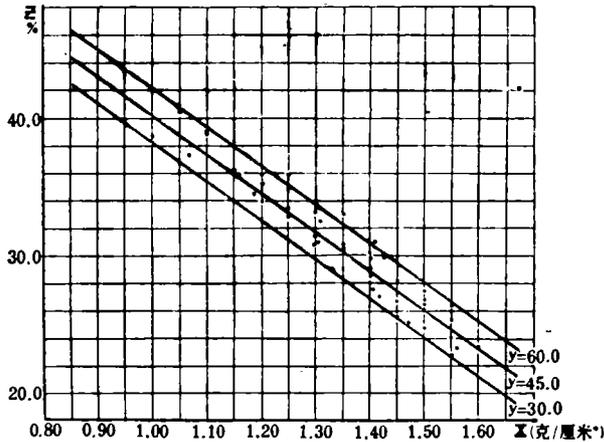


图1 物理粘粒为60.0, 45.0, 30.0%时三条偏回归线  
x 为土壤容重, y 为土壤物理粘粒, z 为田间持水量。

之。为此,对508个层次的数据进行线性复回归分析,经列表计算求出各总值,计算出:

标准差

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} = 0.151906$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n}} = 11.76897$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum z_i^2}{n}} = 5.52652$$

x——土壤容重(克/厘米<sup>3</sup>)

y——物理粘粒(<0.01毫米,%)

z——田间持水量(占干土的%)

$x_i, y_i, z_i$  为测值对各自定点  $x_0, y_0, z_0$  的离差  
 $n = 508$

### 简单相关系数

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum y_i^2}} = \frac{\sum x_i y_i}{(n-1)\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

$$= -0.0445789$$

$$r_{zx} = \frac{\sum x_i z_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \sum z_i^2}} = \frac{\sum x_i z_i}{(n-1)\sigma_x \cdot \sigma_z}$$

$$= -0.785514$$

$$r_{zy} = \frac{\sum z_i y_i}{\sqrt{\sum y_i^2 \sum z_i^2}} = \frac{\sum z_i y_i}{(n-1)\sigma_y \cdot \sigma_z}$$

$$= 0.309103$$

### 偏回归系数

$$b_1 = \frac{r_{zx} - r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

$$= -28.1304$$

$$b_2 = \frac{r_{zy} - r_{zx} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

$$= 0.128962$$

### 拜他系数

$$\beta_{xz \cdot y} = -0.77321$$

$$\beta_{yz \cdot x} = 0.274631$$

以田间持水量的平均数  $\bar{z} = 51.04$ , 容重的平均数  $\bar{x} = 1.372$ , 物理粘粒平均数  $\bar{y} = 30.29$ , 代入  $z - \bar{z} = -28.13(x - \bar{x}) + 0.13(y - \bar{y})$  经化简得出田间持水量  $z$  依土壤容重  $x$ 、物理粘粒  $y$  变化的复回归方程式为:

$$z = 62.30 - 28.13x + 0.13y$$

由方程可知, 当容重  $x$  每增加  $0.1$  克/厘米<sup>3</sup>, 田间持水量  $z$  在物理粘粒  $y$  (%) 不变的情况下, 就减少  $2.8\%$ ; 而物理粘粒  $y$  (%) 每增加  $1\%$ , 土壤容重  $x$  (克/厘米<sup>3</sup>) 不变时, 田间持水量  $z$  (%), 就增加  $0.13\%$ 。可见田间持水量与土壤容重呈负相关, 与土壤物理粘粒含量呈正相关。

以标准变数表示的方程为:

$$t_z = 0.27t_y - 0.77t_x$$

可知当物理粘粒不变时, 土壤容重增加一个均方差  $\sigma_x$ , 则田间持水量平均降低  $0.77$  个均方差  $\sigma_z$ , 即  $0.77\sigma_z$ ; 同理土壤容重不变时, 物理粘粒增加一个均方差  $\sigma_y$ , 则田间持水量平均增加  $0.27\sigma_z$ 。可以看出土壤容重对田间持水量的影响大于物理粘粒对田间持水

量的影响。

### 偏相关系数

$$r_{zx \cdot y} = \frac{r_{zx} - r_{zy} \cdot r_{xy}}{\sqrt{(1 - r_{zy}^2)(1 - r_{xy}^2)}}$$

$$= -0.812270$$

$$r_{zy \cdot x} = \frac{r_{zy} - r_{zx} \cdot r_{xy}}{\sqrt{(1 - r_{zx}^2)(1 - r_{xy}^2)}}$$

$$= 0.44334$$

### 复相关系数

$$R_{z(xy)} = \sqrt{\frac{r_{zx}^2 + r_{zy}^2 - 2r_{zx} \cdot r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}}$$

$$= 0.832048$$

结果表明田间持水量  $z$  与土壤容重  $x$  真正关系程度是  $r_{zx \cdot y} = -0.81$ , 而不是  $r_{zx} = 0.79$ , 田间持水量  $z$  与物理粘粒含量  $y$  间真正关系程度是  $r_{zy \cdot x} = 0.49$ , 而不是  $r_{zy} = 0.31$ 。表明如果消除了第三个变数变动的干扰, 其余两个变数间的关系均较未消除时为大, 由于第三个变数的变动, 隐蔽了或者歪曲了其余两个变数间的原有关系。由上述结果可知, 如果不受物理粘粒  $y$  变动干扰, 田间持水量  $z$  的变动有  $r_{zx \cdot y}^2 = 66\%$  归因于土壤容重  $x$  的变动; 反之, 如果不受土壤容重  $x$  的干扰, 田间持水量  $z$  的变动有  $r_{zy \cdot x}^2 = 24.5\%$  归因于物理粘粒  $y$  的变动。田间持水量  $z$  的变动有  $R_{z(xy)}^2 = 69.2\%$  归因于土壤容重  $x$ 、物理粘粒  $y$  的同时变动, 其余  $30.8\%$  仍有其他因素影响。

经验公式的各统计特征值为:

对复回归方程式或回归平面的标准差

$$S_{z(xy)} = \sigma_z \sqrt{1 - R_{z(xy)}^2}$$

$$= 3.07$$

### 复相关系数标准差

$$\sigma R_{z(xy)} = \frac{1 - R_{z(xy)}^2}{\sqrt{n - 3}}$$

$$= 0.00061$$

$$R_{z(xy)} > 3 \sigma R_{z(xy)}$$

$$(P < 0.01)$$

证明三变数 $x, y, z$ 总体间显著相关。复相关系数高,表示复回归方程对所给的实测资料配合良好,由复回归方程对田间持水量进行估算有实用价值。

将主要土壤类型七个剖面27个层次的田间持水量实测值与经验公式计算值进行比较(表1),结果相近。大于一倍标准差的三个,没有大于二倍标准差的。

为了使用方便,将容重在 $0.85 \sim 1.65$ 克/厘米<sup>3</sup>,物理粘粒含量20—80%之间的土壤田间持水量值经计算列于表2。应用方法与常规方法相同。

用经验公式对田间持水量进行估算,在规划阶段精度要求下,很有实用价值。可节省人力,物力,又提高了提供资料的速度。在无水源、有季节性冻层存在、

有上层滞水的地方应用,就更显其优越性。

影响土壤田间持水量的因素有土壤容重,物理粘粒含量,土壤组成成分,土壤结构,有机质含量及人为生产活动,如施肥、耕作、灌水等。而土壤有机质、土壤结构、耕作措施都直接影响土壤容重,因此,选用影响田间持水量的主要因素是土壤容重及物理粘粒二个互不相关的因素,共同估计田间持水量,显较由二者之一来估计田间持水量时误差为小。其他因素影响很小可以忽略。只是耕层土壤受人为生产活动影响大,测定时容易产生误差,加上耕层土壤本身吸水膨胀性大等,导致表层田间持水量值摆动较大。如何将耕层土壤田间持水量更精确反映出来,有待进一步探讨。

表1 田间持水量实测值与经验公式计算值

土 壤	层 次 (厘 米)	容 重 (克/厘米 <sup>3</sup> )	物 理 粘 粒 (%)	实 测 值 (%)	计 算 值 (%)	备 注
黑 土	0—26	1.11	47.4	38.9	37.3	绥化县三合公社宋万金屯 1962年
	26—54	1.22	57.8	32.4	35.6	
	54—71	1.39	59.7	30.4	30.4	
	71—89	1.43	59.6	30.0	29.9	
草 甸 黑 土	0—31	1.22	73.7	40.7	37.6	甘南县长吉岗公社聚宝村 1963年
	31—69	1.22	73.5	39.6	37.6	
	69—101	1.39	75.2	31.3	33.0	
	101—144	1.41	69.6	30.0	31.7	
碳 酸 盐 钙 草 土	0—24	1.24	29.1	32.4	31.2	富裕县绍文公社同丰大队 1964年
	24—59	1.43	32.7	27.0	26.3	
	59—97	1.44	36.5	25.5	26.7	
	97—130	1.44	32.7	26.4	26.1	
草 甸 土	0—20	1.18	55.6	39.0	36.3	穆棱县八面通公社气象站 1962年
	20—42	1.34	55.6	32.6	31.3	
	42—65	1.39	57.3	30.6	30.7	
	65—85	1.55	38.9	23.6	23.8	
草 甸 黑 钙 土	0—20	1.13	46.7	34.0	36.8	甘南县稻花香农场五队 1963年
	20—40	1.24	51.3	32.2	33.4	
	40—60	1.36	59.6	28.8	31.8	
	60—80	1.45	56.2	28.2	28.8	
盐 草 甸 土	0—20	1.26	44.3	33.2	32.6	安达县群众公社太平沟 1960年
	20—50	1.40	44.1	29.9	28.7	
	50—95	1.53	42.7	27.0	24.8	
碳 酸 盐 草 甸 土	0—33	1.17	59.3	34.5	37.1	兰西县星火公社长发电 1964年
	33—45	1.23	56.7	32.2	35.2	
	45—75	1.42	62.0	30.6	30.5	
	75—115	1.50	66.4	28.1	23.7	

表2

田间持水量表

(单位: 占干土%)

土壤容重 (克/厘米 <sup>3</sup> )	土壤物理粘粒 (<0.01 毫米) %												修正值					
	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	0.5	1	2	3	4
0.85	41.0	41.7	42.3	43.0	43.6	44.3	44.9	45.6	46.2	46.9	47.5	48.2	48.8	+0.1	+0.1	+0.3	+0.4	+0.5
0.90	39.6	40.3	40.9	41.6	42.2	42.9	43.5	44.2	44.8	45.5	46.1	46.8	47.4	"	"	"	"	"
0.95	38.2	38.9	39.5	40.2	40.8	41.5	42.1	42.8	43.4	44.1	44.7	45.4	46.0	"	"	"	"	"
1.00	36.8	37.5	38.1	38.8	39.4	40.1	40.7	41.4	42.0	42.7	43.3	44.0	44.6	"	"	"	"	"
1.05	35.4	36.1	36.7	37.4	38.0	38.7	39.3	40.0	40.6	41.3	41.9	42.6	43.2	"	"	"	"	"
1.10	34.0	34.7	35.3	36.0	36.6	37.3	37.9	38.6	39.2	39.9	40.5	41.2	41.8	"	"	"	"	"
1.15	32.5	33.2	33.8	34.5	35.1	35.8	36.4	37.1	37.7	38.4	39.0	39.7	40.3	"	"	"	"	"
1.20	31.1	31.8	32.4	33.1	33.7	34.4	35.0	35.7	36.3	37.0	37.6	38.3	38.9	"	"	"	"	"
1.25	29.7	30.4	31.0	31.7	32.3	33.0	33.6	34.3	34.9	35.6	36.2	36.9	37.5	"	"	"	"	"
1.30	28.3	29.0	29.6	30.3	30.9	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.8	35.5	36.1	"	"	"	"	"
1.35	26.9	27.6	28.2	28.9	29.5	30.2	30.8	31.5	32.1	32.8	33.4	34.1	34.7	"	"	"	"	"
1.40	25.5	26.2	26.8	27.5	28.1	28.8	29.4	30.1	30.7	31.4	32.0	32.7	33.3	"	"	"	"	"
1.45	24.1	24.8	25.4	26.1	26.7	27.4	28.0	28.7	29.3	30.0	30.6	31.3	31.9	"	"	"	"	"
1.50	22.7	23.4	24.0	24.7	25.3	26.0	26.6	27.3	27.9	28.6	29.2	29.9	30.5	"	"	"	"	"
1.55	21.3	22.0	22.6	23.3	23.9	24.6	25.2	25.9	26.5	27.2	27.8	28.5	29.1	"	"	"	"	"
1.60	19.9	20.6	21.2	21.9	22.5	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27.1	27.7	"	"	"	"	"
1.65	18.5	19.2	19.8	20.5	21.1	21.8	22.4	23.1	23.7	24.4	25.0	25.7	26.3	"	"	"	"	"
修正	-0.3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
正	-0.5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0.03	-0.8	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0.04	-1.1	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"

查表举例: 容重为1.47克/厘米<sup>3</sup>, 物理粘粒为42.0%, 田间持水量 = 26.7 - 0.5 + 0.3 = 26.5%。