

均质土剖面中含水量分布状况的探讨

巩 效 禹
(山东省水利科学研究所)

在一定条件下，土壤中水分的分布形式是一定的，正确的探讨并用数学方法表示出这种分布规律，对土壤水分研究和水利土壤改良有一定的实际意义，可以估计土壤剖面中的水分分布状况，蓄水与排水能力以及灌溉定额等。但直到目前，在国内还很少见到这方面的资料，在国外，除了 A. Н. Костяков 和 С. Ф. Аверьянов 等人共同建立了这种关系式^[1]之外，这方面的资料也并不多。就其已有成果看，也是公式形式复杂，计算结果不精确，难于令人满意。本文拟据实测资料分析提出简单而实用的公式和图表，供实际应用参考。

据实测资料，在地下水位埋藏深度大于毛管水上升高度时，土壤剖面中的水分含量 β 决定于距地下水位距离 H 的大小。两者之间的关系如图

1。

将图 1 中的 H 值平方， β 值取对数，其两者间的关系便如图 2。

由图 2 看出，当 $H^2 \leq H_{\max}^2$ 时， H^2 与 $\ln \beta$ 成直线关系，即用公式表示为

$$\ln \beta = a + KH^2 \tag{1}$$

式中： β —— H 处的土壤含水量； H ——距地下水位的距离； a 、 K ——分别为方程式的截距与斜率。

由方程式的物理意义：

$$a = \ln \beta_0 \tag{2}$$

$$K = \ln \frac{\beta_M}{\beta_0} / H_{\max}^2 \tag{3}$$

式中： β_0 —— $H=0$ 时的土壤含水量。即土壤饱和和

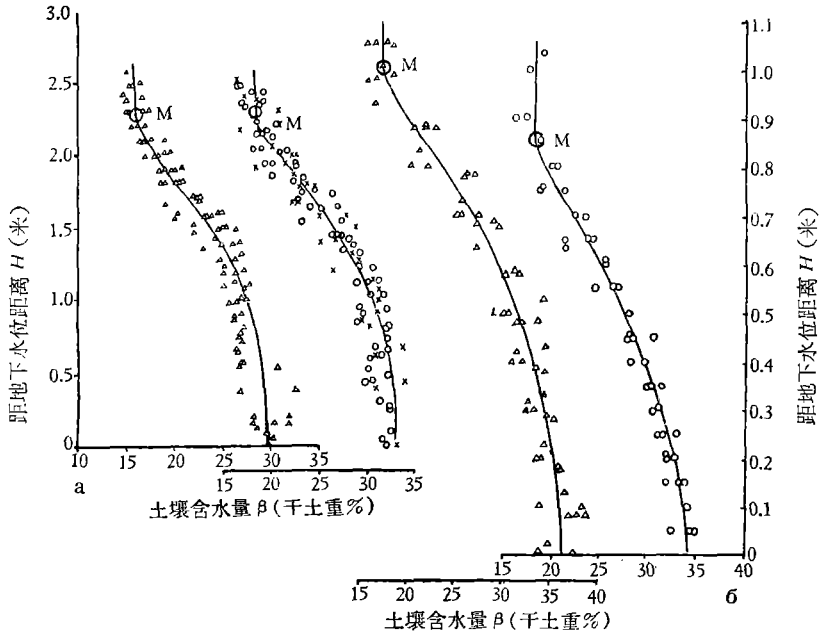


图 1 土壤剖面中的水分分布

- a. 轻质土 Δ ——中国科学院土壤研究所石庄点资料(1962)
- $\times$ ——中国科学院土壤研究所博平点资料(1962)
- $\circ$ ——山东省水利科学研究所 D_1 点资料(1962)
- 6. 粘质土 Δ ——山东省水利科学研究所 B_1 点资料(1964)
- $\circ$ ——山东省水利科学研究所 D_{15} 点资料(1962—1963)

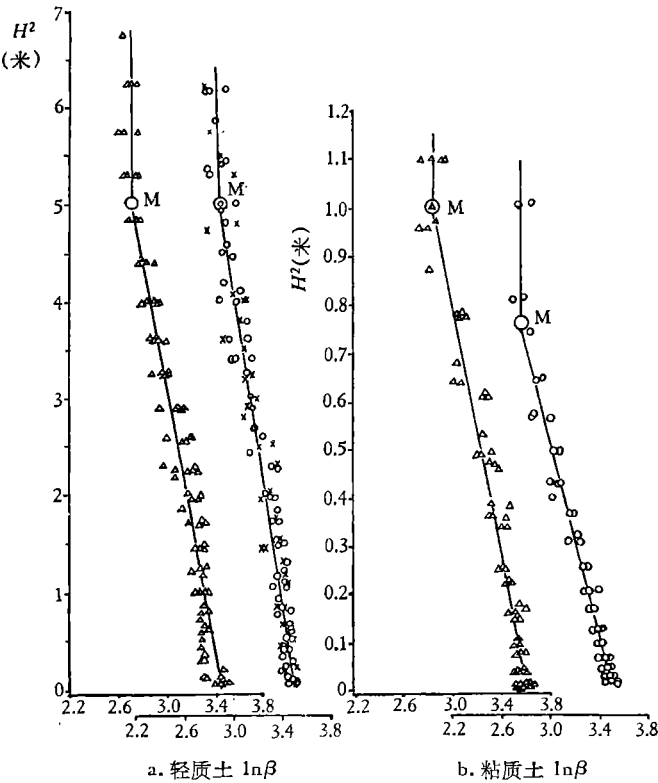


图2 H^2 与 $\ln \beta$ 关系图
(图中点子资料同图1, β 以%数计)

含水量。 $H_{\max}$ ——最大毛管上升高度。 β_M —— $H_{\max}$ 处的含水量。

为了简化,将系数 K 随 β_M/β_0 和 $H_{\max}$ 的变化绘成图(图3),供查用。

将(2)式代入(1)式,整理得到:

$$\beta = \beta_0 e^{KH^2} \tag{4}$$

(4)式是计算土壤剖面中水分分布规律的基本公式。现将运用它作实际计算时要用到的几个数据列于表1。

根据实测资料(见图1), β_M 值一般为饱和持水量的54—57%。若取用 β_M/β_0 为55%,则(3)式可写成:

$$K = -0.6/H_{\max}^2 \tag{3'}$$

如果认为,同一类土质 $H_{\max}$ 值变化不大,按表1,轻质土的 $H_{\max}$ 值约2.2米,粘质土约1.7米(在沒有实测资料时可用近似值),则可按下式计算 K 值:

$$\left. \begin{aligned} \text{轻质土: } K &= -0.124 \approx -0.12 \\ \text{粘质土: } K &= -0.497 \approx -0.5 \end{aligned} \right\} (3'')$$

利用(3'')和(4)式计算土壤剖面中的水分分布状况是很简单的。

为了能够普遍而又简单的应用,我们用一种图解法(图4)代替(4)式的计算。

图4的查用方法很简单:据已知的 H 和 K [查图3,如不知确切数据可用(3')式或(3'')式值],在 $H \sim K \sim \eta$ 关系线上查得一点(例如图4中的 0 点),由该点向下作垂直线,此垂直线和已知 β_0 的交点(图4中 m 点)处的 β 值就是要求的 H 处的 β 值。

在实际情况中,往往要求由土壤剖面中任一点的含水量求解其他点的含水量。这时又有两种情况:一是已知土壤剖面中任一点处的含水量和该种土壤的饱和含水量;一是已知土壤剖面中任一点的含水量和该点距地下水位距离。这时可用待定系数法通过公式(4)推演给以解答式,即

$$\beta_{\Delta H} = \beta_0 e^{K(\sqrt{\ln \frac{\beta}{\beta_0}}/K + \Delta H)^2} \tag{5}$$

$$\beta_{\Delta H} = \beta_0 e^{K(\Delta H^2 + 2H\Delta H)} \tag{6}$$

式中: $\beta_{\Delta H}$ ——距含水量为 β 的点处的距离为 ΔH 时的土壤含水量; β ——土壤剖面中任一点

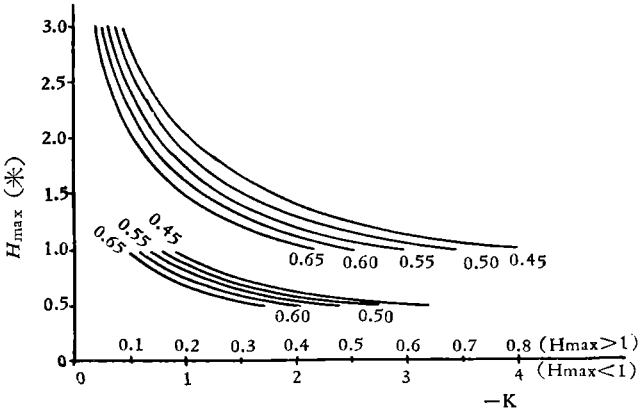


图3 $H_{\max}$ — β_M/β_0 — K 关系图
(图中数字为 $\frac{\beta_M}{\beta_0}$)

表 1

项 目 土 质	β_0 (干土重%)	β_M (干土重%)	$H_{\max}$ (米)		
			本 文 图 1	河 南 引 黄	山 东 打 渔 张
轻 质 土	28—40	15—22	2.2—2.3	1.7—2.0	2.2
粘 质 土	32—42	17—23	0.9—1.0	0.8—1.0	1.2—1.6

注 1. β_0 为“华北平原土壤”一书中的数值(见参考文献[3])
2. β_M 为按 β_0 的 55% 计算值

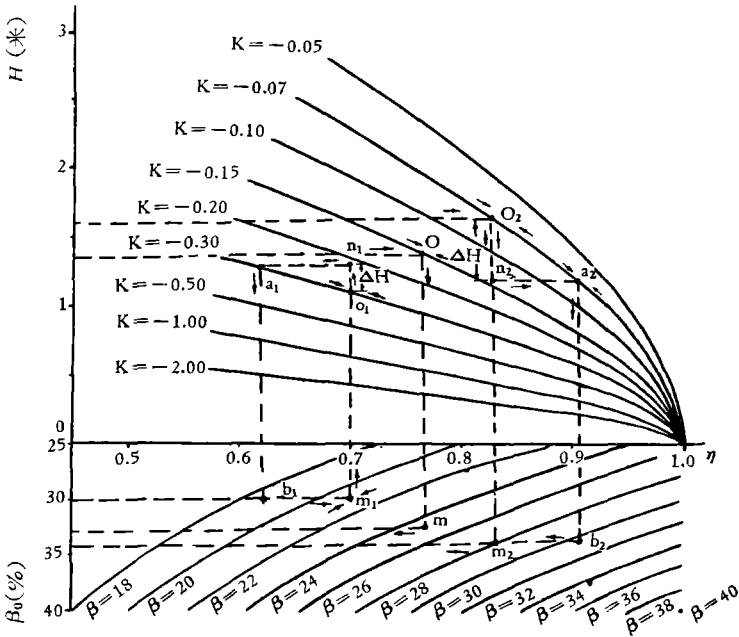


图 4 土壤剖面中的水分计算图解

H ——距地下水位距离
 K ——意义如图 3 所示
 β_0 ——土壤饱和含水量
 β ——土壤剖面任一点处的含水量
 η —— $e^{KH^2} = \beta/\beta_0$

的含水量； ΔH ——含水量为 $\beta_{\Delta H}$ 的点距含水量为 β 点的距离。在其上方为正，下方为负； H ——含水量为 β 点距地下水位的距离，其余符号意义同前。

当 $\beta = \beta_0$ 或 $H = 0$ 时，式 (5) 和 (6) 同 (4) 式。这是因为，若两个条件有一个成立时，前两式中的含水量 β 便相当于后一式中的 β_0 ， ΔH 相当于后一式中的 H 。

实际应用时，上两式的计算也可通过图 4 所示图解法得到解答。其方法是：对于 (5) 式，从已知的 β 和 β_0 的交点 (如图 4 中 m_1 点) 向上作垂直线，与相当于该种土质的 $H \sim K \sim \eta$ 关系线交于一点 (如图 4 中 O_1 点)，以此为 O 点向上 (ΔH 为正时) 或向下 (ΔH 为负时) 作 ΔH ，再从 ΔH 的端

点 (如图 4 中 n_1 点) 作横座标的平行线，此线与上述同一 $H \sim K \sim \eta$ 关系线便有一交点 (如图 4 中 a_1)，由此交点向下作垂线，此垂线与已知的 β_0 的交点 (如图 4 中 b_1 点) 处的 β 值就是要求的 $\beta_{\Delta H}$ 。见图 4 示。

对于 (6) 式，在相当于该种土质的 $H \sim K \sim \eta$ 关系线上找一点，例如图 4 中 O_2 ，使 O_2 点处的 H 值等于已知的 H ，由 O_2 点向下作垂线，与相当于已知的 β 值的 β 坐标 (β 在图 4 中实际上是以参数形式出现的) 相交，此交点 (如图 4 中的 m_2 点) 处的 β_0 便为该种土质的 β_0 值。另一方面，由 O_2 点向上 (ΔH 为正时) 或向下 (ΔH 为负时) 作 ΔH ，再从 ΔH 的端点 (如图 4 中 n_2 点) 作横座标

的平行线，此平行线便于上述同一 $H \sim K \sim \eta$ 关系线交于一点 (如图 4 中 a_2 点)，由此交点向下作垂线，此垂线与上述所求的 β_0 的交点 (如图 4 中 b_2 点) 处的 β 值就是要求的 $\beta_{\Delta H}$ 。见图 4 示。

当上述 (4)、(5)、(6) 式中的因子，如饱和含水量 β_0 和已知含水量为 β 的点距地下水位的距离 H 不易或不能取得时 (在非均质剖面中是会经常遇到的)，土壤剖面中的水分分布状况可根据土壤剖面中任意两点的含水量值进行求解。其方法，也是通过 (4) 式用待定系数法推演 (文中从略) 得到：

$$\beta_{\Delta H} = \beta e^{K(\Delta H^2 + 2H_x \Delta H)} \tag{7}$$

$$H_x = \ln \frac{\beta_{\Delta x}}{\beta} / 2K_{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2} \tag{8}$$

1 和处理 3 要小于处理 2 和处理 4。不溶物的差异更为明显。表明小麦越冬期间,供应一定量速效养分有利于有机物质贮积于叶鞘中,对培育壮苗是有利的。

3.不同处理下有机物质的运转:小麦返青以

后生长加速,体内物质的运转开始活跃。2 月 28 日用 C¹⁴ 标记的结果表明(表 2),处理 3 生长点中 C¹⁴ 的强度占全株总强度的百分数稍高于处理 2 和处理 4。前者为 29.1%,后者为 25.1% 及 27.8%。拔节期以后茎中所有 C¹⁴ 的强度占全株

表 2 返青后小麦体内碳化物运转情况*

处理	分蘖期 (3 月 6 日采样)			拔节期 (3 月 29 日采样)					孕穗期 (4 月 12 日采样)				
	全株	生长点	生长点占全株%	全株	生长点	生长点占全株%	茎	茎占全株%	全株	茎	茎占全株%	小穗	小穗占全株%
1	921	211	22.9	708	111	15.7	56	7.9	954	83	8.7	121	12.7
2	1081	271	25.1	1686	214	12.7	219	13.0	609	59	9.7	66	10.8
3	1245	362	29.1	2589	298	11.5	430	16.6	694	73	10.5	112	16.1
4	1558	433	27.8	1639	208	12.7	131	8.0	890	79	8.9	112	12.6

* 单位: C¹⁴ 脉冲数 次/分·50 毫克干样品。

总强度的百分数也高,处理 3 为 16.6%,处理 4 仅有 8.0%。孕穗期也如此,处理 3 小穗中 C¹⁴ 强度占全株总强度为 16.1%,而处理 2 和 4 分别只有 10.8% 和 12.6%。说明在无基肥条件下,腊肥中配有一定量速效氮肥能促进返青后有机物质及时地向生长中心运转。提高了生长中心物质的累积水平,有利于下一阶段新器官的形成。

综上所述,可以认为小麦越冬期间一定范围内速效性养分的供应,其中特别是速效性氮素的供应状况不仅影响了小麦对 CO₂ 同化的能力,影响了有机物质在不同器官中的分配,同时也影响

了向新生器官运转的强度。凡是促进了这些累积与运转的施肥处理,表现有效穗比率较高,如处理 3 和处理 4 基本苗数相同每亩 21.87 万,但有效穗前者为 17.60 万/亩,后者为 15.82 万/亩。如果后期管理适当,一般产量也较高。因此,腊肥的有效施用,在小麦无明显越冬期的地区不仅为一般所认为的对防寒保温起着一定的作用,而且在有效养分的供应上应该也是重要的。在腊肥的种类上,在无基肥的情况下,则一定量速效氮肥与有机肥配合施用看来也是有好处的。