

280-282

土壤持水性、导水性、土壤导水性

8908(12)

第13卷 第3期
1993年9月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 3, No. 3
Sep., 1993SOINFIL——一种从渗水实验中获取土壤持水
和导水特性参数的方法^{*}

高群, 3张为政

S154.1

SOINFIL—A METHOD TO EXPLORE THE
DATA OF INFILTRATION EXPERIMENT FOR
RETENTIVITY AND HYDRAULIC
CONDUCTIVITY

1 基本原理

几乎所有的土壤物理、化学、生物过程都与土壤中的水分运动有关。而支配土壤水分运动的土壤内在因素主要是土壤的持水特性和导水特性。因此,土壤的这两个物理特性直接关系到植物对土壤水分的利用、对土壤营养物质的吸收和对土壤中有害物质的排斥。总而言之,土壤的持水特性和导水特性属生态学研究者们所关心的最关键的问题之列。所谓持水特性,是指土壤的基质势 h 与土壤体积含水率 θ 之间的关系,而导水特性则是指导水率 K (单位水势梯度作用下水流过垂直于梯度方向的截面上的通量密度)与 θ 之间的关系。这两个关系一般是非线性的,因此需要作不同含水量的基质势和导水率的测量。通常情形下,测定基质势的方法有压力膜法、埋石膏法和张力计法等。测定导水率的方法亦有多种。入渗法是其中之一。这些方法中,除双圈垂直入渗法以外,其余方法均须对土壤进行采样或挖动,由此造成机械扰动,而微小的机械扰动就可对土壤的特性测量带来数量级的误差。因此,实验室里测得的土壤特性通常与实际土壤特性有较大的距离。有关 h 、 K 的测量方法,可参阅文献[1—3]。

数学模型被用于导水特性和持水性的测量代表着土壤物理特性研究的另一个方向的努力^[4-7]。这些模型大多从土壤的机械组成(颗粒分布)出发,将土壤物理特性完全归结于土壤的颗粒分布。所得模型的效果颇佳(对实验数据而言),但很少将其用于实际土壤研究。模型的结构一般比较复杂,不便于在更高层次的模型中引用。且土壤的有机成分对土壤的物理特性的影响完全被忽略,也是一种粗放的简化。对于生态学中的土壤与植被相互作用这样一类问题,这些模型是难以适用的。

本文所采用的是一种介于上述两种方法之间的一种以实验和模型相结合,同时从实验数据中获得持水特性和导水特性的方法。实验方面所采用的是土壤垂直入渗的双圈法:首先测定土壤剖面上的不同深度的含水量和孔隙度,求出其平均值,然后在被测土壤的表面放上两只直径不同的、具有一定高度的铁皮圈,小圈置于大圈之中,两圈均楔入地下5cm。

在两圈中均维持一定水头,测量不同时刻的入渗速率或积累入渗量。实验过程中无须进行任何采样或挖动,因此对土壤的扰动极小,所测入渗速率也是最接近实际情况的。长期以来,垂直入渗实验仅被用于求取土壤的饱和导水率。所用的仅是入渗速率进入稳定状态后的部分数据。而对于入渗实验数据中的早期部分,即非饱和导水起支配作用的部分所包含的信息,未有较深的挖掘和利用,既然土壤水的运动是为土壤水势梯度所驱使,那么土壤的入渗实验数据中也一定包含着土壤的持水特性和非饱和导水的信息。从理论上讲,能从实验数据中挖掘出持水特性和导水特性的信息来。

* 国家自然科学基金资助项目。

本文于1992年4月30日收到,修改稿于1992年10月20日收到。

在获取上述实验数据后,假定土壤持水特性和导水特性满足某些特定的数学表达式的形势或结构,本方法的数学模型的目的是根据实验数据来确定这些数学表达式中的所有参数。具体作法是反复调整持水特性曲线和导水率数学表达式中的各参数,用土壤水运动方程来模拟垂直入渗实验过程,使模拟的入渗量和实际入渗量尽可能地接近,所得参数被认为是最佳参数。

2 数学模型

被用来描述土壤持水特性和导水特性的数学模型很多^[4],本文首先假定被测土壤为匀质各向同性,其持水特性和导水特性分别取如下的一般形式:

$$h = h(\theta, P_h) \quad (1)$$

$$K = K(\theta, P_k) \quad (2)$$

式中 h, K 如前定义分别为土壤的基质势和导水率, θ 为土壤的体积含水量, P_h, P_k 为模型的参数向量。一旦 $h(\theta, P_h), K(\theta, P_k)$ 有了确定的表达形式, P_h, P_k 有了确定的值,土壤的持水特性和导水特性就完全确定了。

假定入渗实验满足一维土壤水运动方程:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left[K(\theta, P_k) \left(\frac{\partial h}{\partial Z} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

式中 Z 的指向为垂直向下,地表 $Z=0$ 。假定土壤具有初始含水量 $\theta_i(Z)$,入渗量的表达式为:

$$I(t) = \int_0^\infty [\theta(Z, t) - \theta_i(Z)] dZ \quad (4)$$

对已知的 $h(\theta, P_h)$ 和 $K(\theta, P_k)$ 不难在计算机上计算出 $I(t)$ 的模拟值 $\hat{I}(t)$ 。SOINFIL 的任务是在已知 $h(\theta, P_h), K(\theta, P_k)$ 形式的前提(或假定其结构形式)下,根据入渗实验数据求取 P_h, P_k 的最优估计值。这里所谓“最优”,指的是据其算得的积累入渗量 $\hat{I}(t)$ 与实验测得的入渗量之间有最小的差别或距离。

根据上述思想,不难定义优化的目标函数为:

$$\min \int_0^{T_m} [I(t) - \hat{I}(t)]^2 dt = \min \int_0^{T_m} \left[I(t) - \int_0^\infty [\theta(Z, t) - \theta_i(Z)] dZ \right]^2 dt \quad (5)$$

而优化的约束条件为土壤水分运动方程(3)。式(3)和(5)构成 SOINFIL 方法的基本模型。

求取 P_h, P_k 的过程亦可看作是一种优化拟合的过程,根据最优算法,将根据上述思想求取 P_h, P_k 的过程编成菜单驱动的 C 语言程序 SOINFIL,并进行了如下实际使用。

3 算法和程序说明

SOINFIL 假定土壤持水特性和导水特性分别取如下形式:

$$h = h_0 \left[\left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^b - 1 \right] \quad (6)$$

$$K = K_0 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^d \quad (7)$$

式中 $[h_0, b] = P_h, [K_0, d] = P_k$ 是参数向量。不难看出,上两式分别满足持水和导水特性曲线的一般特征。当然,根据需要亦可改变此二曲线的表达形式。值得指出的是,形式愈复杂,参数愈多,则优化计算也愈困难,而且得出的拟合残差的自由度也越小,也就是参数的精确度越低。

SOINFIL 的核心部分是优化计算 h_0, K_0, b, d 的值,计算过程大致是这样的:根据经验估计设定 h_0, K_0, b, d 的起始值;继而输入实验数据,开始模拟运算,将模拟积累入渗量与实际入渗量进行比较,如误差平方和达到极小值,停止计算,否则根据优化计算方法调整 h_0, K_0, b, d ,重复模拟运算及后面的步骤。在计算中要用到 $\partial h / \partial P_h$ 和 $\partial K / \partial P_k$ 的值,即含水量对各参数的偏导数,不难通过对(3)式取微分得到。

4 实例计算

为了证明上述方法的可行性,用张为政*的松嫩平原羊草(*Aneurolepidium chinense*)群落和拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)群落的土壤入渗实验数据进行了实例运算。实验地点位于吉林长岭县种马场北甸子,按常规分类,该地区为碱化草甸黑钙土。实验测量土壤的初始含水率 θ ,饱和含水率 θ_s ,容重 ρ_s 以及用双圈法测定8h内土壤的垂直入渗量。实验于1991年10月完成。

用 SOINFIL 优化算法得到两群落的土壤参数如表 1。

表 1 *A. chinense* 和 *C. epigeios* 群落土壤参数最优估计

Table 1 Optimized soil parameters for *A. chinense* and *C. epigeios* Communities

群落名称 Community name	测定参数 Measured parameters		优化计算参数 Optimized parameters			
	θ	θ_s	$h_0(m)$	h	$K_s(cm/h)$	d
羊 草 <i>A. chinense</i>	0.06	0.45	-3.57	5.56	0.106	13.1
拂 子 茅 <i>C. epigeios</i>	0.13	0.45	-3.49	4.84	0.075	12.6

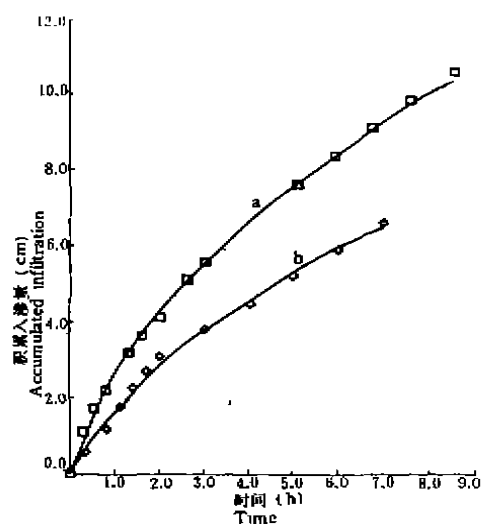


图 1 土壤垂直入渗数据与模拟值的比较

a: 羊草 *A. chinense* b: 拂子茅 *C. epigeios*

Fig. 1 Measured and modelled vertical infiltration comparison

根据表中的参数算得的 $I(t)$ (图中连续曲线) 与实验测量到的 $I(t)$ (图中离散数据点) 的比较如图 1。结果说明, 两群落的持水特性相差不大, 差别比较显著的是饱和导水率 K_s 。羊草群落的 K_s 远大于拂子茅群落, 拟合效果颇佳。值得指出的是, SOINFIL 的基本假设是土壤持水和导水特性不随垂直坐标变化, 即土壤是匀质、各向同性的。这一假设限制了它在层次明显, 且各层特性明显不同时的应用, 但在没有更好的方法 (从经济和科学两方面考虑) 的情况下, 用 SOINFIL 仍可得到一种表现的、综合各层特性的参数集。

参 考 文 献

- (1) 石元春等. 盐渍土的水盐运动. 北京: 北京农业大学出版社, 1986, 85—151
- (2) 石元春等. 黄淮海平原的水盐运动和旱涝盐碱的综合治理. 石家庄: 河北人民出版社, 1983, 107—120
- (3) 姚贤良等. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1987, 284—326
- (4) Schuh W M and Bauder J W. Effect of soil properties on hydraulic conductivity—moisture relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, 50: 846—855
- (5) Arya L and Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle—size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1981, 45: 1023—1030
- (6) Gree R E and Core J C. Calculation of hydraulic conductivity: A further evaluation of some predictive methods *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1971, 35: 3—8
- (7) Jackson R D. On the calculation of hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Bauder J W. 1972, 36: 380—382

高 琼

Gao Qiong

(中国科学院植物研究所, 北京, 100044)

(Institute of Botany, CAS, Beijing, 100044)

张 为 政

Zhang Wei—Zheng

(东北师范大学草地研究所, 长春, 130024)

(Institute of Grassland, Northeast Normal University, Changchun, 130024)

* 张为政, 东北羊草草地不同植物群落土壤水盐运动规律的研究, 植物生态学与地植物学学报, 待发。