

土壤传递函数法在确定田间持水量中的应用

陈晓燕¹, 陆桂华¹, 秦福兴², 储开凤²

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院水文所, 江苏 南京 210029)

摘要: 采用土壤传递函数法, 对确定土壤田间持水量的点估算模型和系数估算模型进行分析研究, 并用山西省太古县水均衡实验场和河南开封朱仙镇试验基地的实测资料对模型进行验证. 结果表明, 在土壤田间持水量的研究中, 土壤传递函数法是一种行之有效的方法.

关键词: 土壤传递函数; 田间持水量; 估算模型

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2005)02-0170-03

土壤水分条件是影响作物生长的重要因素. 在土壤水分特性研究中, 田间持水量是一个重要的指标, 它在控制农田水分平衡、灌排水、防旱保墒等方面都有重要作用. 田间持水量一般被看作一个常数, 在农业中最有效的含水量是从田间持水量到凋萎系数之间的水分, 含水量愈接近凋萎系数, 水分的有效性愈低, 作物愈难吸收, 因此田间持水量常被用来作为计算灌溉定额的标准.

由于通过实验方法确定田间持水量需要大量的土样, 并要求重复多次, 既费时又费力, 且不同的实验条件、同一地块不同深度, 所得的结果也都不同, 所以田间持水量的确定一直是一个难题. 土壤传递函数法 (pedo-transfer functions, 简称 PTFs) 是一种用模型来确定土壤水分参数的估算方法, 主要通过分析已有的、较易获得的土壤数据, 建立土壤结构组成与其水分性质之间的关系模型, 统计回归土壤的水分特征曲线. 本文采用山西省太古县水均衡实验场的实测资料和河南开封县朱仙镇的开封沙地试验基地的实测资料对土壤传递函数法进行研究^[1-3].

1 土壤传递函数法

土壤传递函数法中用到的土壤理化性质或参数主要是土壤质地, 即土壤砂粒、粉粒和黏粒的质量分数, 或详细的粒级累计曲线. 在许多传递函数中, 土壤密度和有机质含量也得到应用, 有些还包括了土壤黏土矿物含量和土壤结构性质. 土壤传递函数法估算土壤水分参数的模型可分为三大类: 即统计模型、物理经验模型和分形机理模型, 本文主要采用统计模型来进行研究^[1-3].

统计模型是将收集到的实测土壤水分参数与土壤物理参数进行数理统计, 从而得出估算土壤水分参数的回归方程, 其主要原理是对土壤水分特征曲线进行统计回归. 对土壤水分特征曲线的统计回归可分为两类: (a) 分别测算不同基质势 (ψ_m) 下土壤含水率 (θ) 与土壤结构组成的关系模型, 然后再建立土壤水分特征曲线, 即所谓的点估算模型. (b) 针对特定结构组成的土壤, 选择适当的 $\psi_m-\theta$ 的代数关系式, 用土壤理化性质回归分析得出代数关系式中的系数, 即所谓的系数估算模型^[1].

1.1 点估算模型

点估算模型的形式如下

$$\theta_p = au(\text{sand}) + bu(\text{silt}) + cu(\text{clay}) + du(\text{om}) \quad (1)$$

式中: $u(\text{sand})$, $u(\text{silt})$, $u(\text{clay})$, $u(\text{om})$ ——砂粒、粉粒、黏粒以及有机质的质量分数; a , b , c , d ——回归系数 (随基质势而变).

当具备各种土壤样本的颗粒组成、密度以及各种基质势下的含水量数据时, 可以利用点估算模型来计算. 点估算模型的优点是不受地域、土壤种类限制, 不足之处在于其计算结果是一系列离散的基质势——含

水量值,当用户需要确定某一基质势的含水量时,需从众多的公式中找出相应的基质势-含水量方程。

针对某基质势下的土壤体积含水率 ϑ_p , Rawls 和 Brakensiek 将水分曲线描述成一个由含水量和水吸力分别在水吸力为 -10 kPa , -33 kPa , -1500 kPa 时的回归方程^[4],即

- 10 kPa : $\vartheta_{-10\text{kPa}} = 0.4118 - 0.0030u(\text{sand}) + 0.0023u(\text{clay}) + 0.0317u(\text{om})$ (2)

- 33 kPa : $\vartheta_f = 0.2567 - 0.0020u(\text{sand}) - 0.0036u(\text{clay}) + 0.0299u(\text{om})$ (3)

- 1500 kPa : $\vartheta_w = 0.0260 + 0.0050u(\text{clay}) + 0.0518u(\text{om})$ (4)

式中 : ϑ_f ——田间持水量 ; ϑ_w ——凋萎系数. 公式适用于黏粒和砂粒含量大于 5% ,且黏粒含量小于 60% 的情况.

此后 ,Batjes 等推出如下公式^[5,6]

$\vartheta_f = 0.3624u(\text{clay}) + 0.11705u(\text{sand}) + 1.6054u(\text{om})$ (5)

$\vartheta_w = 0.4600u(\text{clay}) + 0.3045u(\text{sand}) + 2.0703u(\text{om})$ (6)

Batjes 模型适用于砂粒、黏粒和壤粒含量大于 5% 的情况.

1.2 系数估算模型

在土壤水分特征曲线的研究中,点估算模型虽然可行,但其估算结果仍只是一个离散的基质势-含水量 ($\Psi_m-\vartheta$) 值,估算和应用都不方便,而系数估算模型则是选取适当的 $\Psi_m-\vartheta$ 代数形式,直接回归其中的系数,从而更为方便.几种常用的 $\Psi_m-\vartheta$ 关系式^[7]如下

Gardner $\Psi_m = A\vartheta^B$ (7)

Campbell $\Psi_m = \Psi_a(\vartheta/\vartheta_s)^B$ (8)

式中 : ϑ_s ——饱和含水率 ; Ψ_a ——进气值 ; A, B ——拟合参数,与土壤的结构组成有关.

2 研究实例

2.1 系数估算模型实例

选取山西省太古县水均衡实验场 2000 年 20 cm 和 60 cm 两个深度的土壤含水量以及相应的土壤水势数据.由于土样在地域分布范围较小,且没有涉及土样的质地和结构组成,因此采用系数估算模型式(7)进行研究.土壤样本数据见图 1.

用最小二乘法对数据进行回归分析,结果见表 1.

表 1 土壤吸力与含水量的关系

Table 1 Relationship between soil suction and soil water content

土样深度/cm	回归方程	相关系数
20($n=59$)	$\Psi_m = -4068.23\vartheta^{-1.1204}$	0.809
60($n=71$)	$\Psi_m = -31447\vartheta^{-1.4447}$	0.841

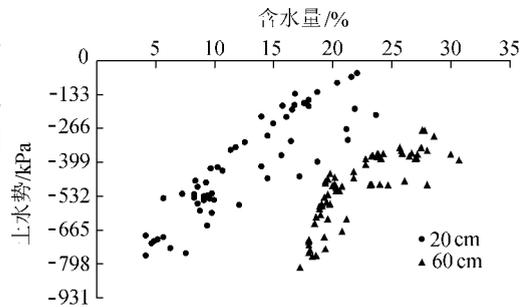


图 1 系数估算模型原始数据系列

Fig.1 Original data of coefficient-estimation model

采用太古县水均衡实验场 2001 年 20 cm 和 60 cm 处的监测数据,对表 1 中的两个方程进行验证,将土壤含水量 ϑ 值代入方程,得出相应的土水势,计算值与实测值吻合较好.

2.2 点估算模型实例

选择河南省开封县朱仙镇的河南省农业科学院开封沙地试验基地土样,土为潮土类砂土属的松砂土、紧砂土和砂壤土,共 3 个土壤剖面 9 个土壤样本,具体数据见表 2,采用点估算模型,模型形式如式(1).对表 2 数据进行回归,结果如下:

$\vartheta_p = -2.3533 + 0.06926u(\text{sand}) + 0.12811u(\text{silt}) + 1.69426u(\text{clay})$ (9)

根据点估算模型的分析结果,可以对几大类土壤田间持水量的范围有一个大致的估算,一般来说,砂土的砂粒质量分数在 50% ~ 70% 之间,而其细黏粒质量分数则小于 30% ,壤土的砂粒质量分数在 20% 左右,粗粉粒质量分数在 40% 左右,而细黏粒质量分数在 30% 左右,黏土则是指细黏粒质量分数大于 30% 的土壤.用式(9)对 3 种土壤的田间持水量进行估算,分别取 3 种土壤的质地组成如下:

表2 土样机械组成及物理性质

Table 2 Soil physical characteristics and soil texture

样号	土壤质地	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	层次/ cm	颗粒组成/%			总孔隙度/%	凋萎系数/%	田间持水量/%
				砂粒 (1.00~0.05 mm)	粉粒 (0.05~0.005 mm)	黏粒 (<0.005 mm)			
1	松沙土	1.52	0~25	90.30	7.40	2.30	43.8	1.71	7.20
2	松沙土	1.53	25~50	91.55	6.14	2.31	43.5	1.63	8.15
3	松沙土	1.52	50~100	91.85	5.80	2.35	43.8	1.36	7.10
4	紧沙土	1.49	0~20	75.11	21.91	2.98	44.8	3.07	14.75
5	紧沙土	1.57	20~45	74.55	20.76	4.69	42.1	3.09	12.91
6	紧沙土	1.55	45~100	55.57	39.32	5.11	42.8	3.11	14.65
7	砂壤土	1.35	0~24	30.92	59.84	9.24	49.4	5.55	22.89
8	砂壤土	1.53	24~46	2.99	89.22	7.79	43.5	4.10	21.50
9	砂壤土	1.41	46~100	5.61	87.12	7.27	47.4	4.02	19.12

砂土： $-2.3533 + 0.06926 \times 85 + 0.12811 \times 10 + 1.69426 \times 5 = 13$

壤土： $-2.3533 + 0.06926 \times 20 + 0.12811 \times 70 + 1.69426 \times 10 = 24$

黏土： $-2.3533 + 0.06926 \times 30 + 0.12811 \times 30 + 1.69426 \times 40 = 71$

可以看出,计算结果对于砂土和壤土吻合较好,而对于黏土则出入很大,分析其原因是因为作为本文样本的数据取自于砂土土样,样本数据中土壤黏粒含量较少,这个计算结果也从另一方面验证了点估算模型的合理性。

3 结 语

土壤传递函数法在国外已有多年的研究历史,至今依然是确定土壤水分特性的一个重要方法。本次研究由于资料有限,没能进一步研究更多地区、更多土样以及不同土壤的结构组成与土壤传递函数法模型中系数、指数的关系,需要在今后的工作中完善。

参考文献:

- [1] 李保国. 农田土壤水的动态模型及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 43—57.
- [2] 熊毅, 李庆远. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 102—104.
- [3] 杨邦杰, 隋红建. 土壤水热运动模型及其应用[M]. 北京: 中国科技出版社, 1997. 76—100.
- [4] LALIT M, JACK A, PARIS F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. Soil Science, 1981, 45: 1023—1030.
- [5] CORNELIS W M, RONSYN J, MEIRVENNE M. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve[J]. Soil Science, 2001, 65: 638—648.
- [6] WAGNER B, TARNAWSKI V R. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set[J]. Geoderma, 2001, 102: 275—297.
- [7] WOSTEN J H M, PACHEPSKY Y A, RAWLS W J. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics[J]. Journal of Hydrology, 2001, 251: 123—150.

Determination of field capacity with pedo-transfer functions method

CHEN Xiao-yan¹, LU Gui-hua¹, QIN Fu-xing², CHU Kai-feng²

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The point-estimation model and coefficient-estimation model for determination of field capacity were studied by use of the Pedo-Transfer Functions (PTFs) method, and the models were verified with measured data from the field water-balance experiment in Taigu County of Shanxi Province and the sand field experimental base at Zhuxian town in Kaifeng County of Henan Province. The result shows that the PTFs method is an important method for determination of soil water content in research of field capacity.

Key words: pedo-transfer functions; field capacity; estimation model