

利用自由点源入渗法测定土壤导水参数的室内试验

王全九^{1,2}, 来剑斌³

(1. 中国科学院、水利部水土保持研究所土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100;
2. 西安理工大学水资源研究所, 西安 710048; 3. 中国农业大学, 北京 100094)

摘要: 土壤水分运动过程模拟计算的准确性取决于土壤水分运动参数的精度, 因此正确确定土壤水力参数成为一项重要任务。自由点源入渗方法是依据稳定点源入渗公式发展而来, 其准确性缺乏验证。该文通过试验资料, 对该方法进行了评估, 结果显示该方法可以用于土壤水力参数的确定。

关键词: 自由点源入渗; 土壤水力参数; 饱和导水率

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6819(2006)03-0191-02

王全九, 来剑斌. 利用自由点源入渗法测定土壤导水参数的室内试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 191- 192.

Wang Quanjiu, Lai Jianbin. Indoor experiment on measurement of soil hydraulic parameter using the method without restrict point-source infiltration[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(3): 191- 192. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着土壤水运动理论的发展, 试图通过对土壤运动特征的分析, 发展确定土壤水分运动特征参数的简单方法^[1,2]。近年来土壤水分运动特征参数的确定方法也由一维方法向三维方法发展。特别在 Wooding 点源入渗公式被广泛应用于三维入渗过程计算以来, 加速了简单快速测定土壤水分运动特征参数方法的发展^[3]。目前常用的三维方法主要有两种, 一是自由点源入渗法, 一是限制性点源入渗法。这两种方法大都基于 Wooding 发展的稳定点源入渗公式。自由点源入渗法主要通过改变点源供水流量, 并根据土壤表面所形成的稳定积水面积的大小来计算土壤饱和导水率和吸湿率等参数, 可采用滴灌系统进行大面积测定土壤水分运动特征参数, 特别在研究土壤水力参数的空间变异性方面具有巨大的潜力。Salem 等就该方法在田间测定土壤水力参数的可行性进行了分析, 初步证明了该方法可以用于田间土壤水力参数的测定^[4]。本文以室内实验资料为基础, 对自由点源入渗测定土壤水力参数方法进行了分析, 为参数测定方法的选择提供参考。

1 基本理论

Wooding 假定土壤是均质的, 土壤非饱和导水率可以利用指数函数进行描述, 即

$$k = k_s e^{-ah} \quad (1)$$

式中 k ——非饱和导水率, cm/min; k_s ——土壤饱和导水率, cm/min; a ——参数, cm^{-1} ; h ——吸力, cm。

根据土壤水分运动基本方程, 推求出了土壤稳定入渗率与土壤表面积水半径间关系, 即

$$q = k_s \left(1 + \frac{4}{aPr_0}\right) \quad (2)$$

式中 q ——稳定入渗率, cm/min; r_0 ——积水半径, cm。

由式(2)可知, 在实验过程中, 通过改变点源供水强度, 因而

改变 q , 进而获得不同的 r_0 , 就可计算 k_s 和 a 。然后根据式(1) 获得土壤非饱和导水率。

2 试验方法

为了分析自由点源入渗法测定土壤水力参数的可行性, 进行了自由积水入渗实验。自由积水入渗试验系统由试验土箱(截面 24 cm × 20 cm、高 25 cm 的有机玻璃制成)、供水系统(马氏瓶)和滴头组成, 如图 1 所示。在试验前, 通过调整马氏瓶高度来调节滴头流量。在实验过程中不断从 3 个方向量测土壤表面积水半径, 以其平均值作为计算所要求的积水半径。

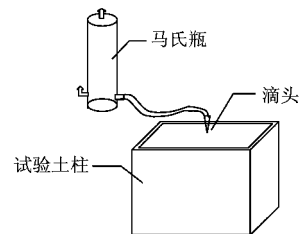


图 1 自由积水入渗试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of point infiltration with ponding area

试验土样为西安土、安塞土、绥德土及榆林土。经颗粒组成分析, 4 种土样质地分别为粉壤土、沙壤土、沙壤土和壤质沙土。土样经风干、碾压和过筛后, 按设计容重分层均匀装入试验土柱。具体设计容重为西安土 1.35 g/cm³、安塞土 1.4 g/cm³、绥德土 1.35 g/cm³、榆林土 1.45 g/cm³。

3 结果分析

对于稳定点源入渗法而言, 土壤表面是否形成稳定的积水面直接影响参数估计的准确性。因此有必要考察土壤表面积水面积扩展情况, 图 2 显示了在滴头流量为 335 mL/h 情况下, 西安土表面积水面直径随时间的变化过程。由图 2 可知, 在滴头流量一定情况下, 土壤表面积水面的直径随时间逐渐增加, 并逐步趋于稳定。说明在一定滴头流量情况下可以形成一个稳定的积水面, 并证明 Wooding 公式的假定是合理的。

将 4 种土样在不同滴头流量下所形成的积水面直径转换为单位面积入渗率与积水面半径倒数关系, 并将结果点绘在图 3 上, 由图 3 可知, 对于 4 种土样而言, 其稳定入渗率与积水面的

收稿日期: 2005-06-07 修订日期: 2005-10-19
基金项目: 中科院“百人计划”项目、国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB121103)、国家自然科学基金项目(40371057)、土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室项目、水保所创新方向项目资助
作者简介: 王全九(1964-), 男, 内蒙古人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土工程研究。西安市 西安理工大学水资源研究所, 710048。Email: wqianjiu@163.com

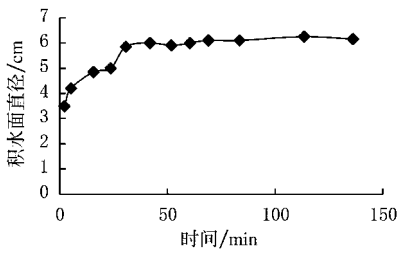


图2 土壤表面积水面直径随时间变化
Fig. 2 Changes of diameter of the ponding area with time

半径倒数存在明显的线性关系,说明式(2)所建立的稳定入渗率与积水面的半径间的理论关系是符合实际情况的。利用式(2)对图3所显示稳定入渗率与积水面的半径倒数资料进行处理,获得 k_s 和 a , 结果列在表1中。

为了比较分析自由点源入渗方法确定的土壤导水参数的准确性,利用垂直一维入渗资料确定的土壤饱和导水率,4种土壤

的饱和导水率分别为西安土 0.011 cm/min , 安塞土 0.021 cm/min , 绥德土 0.017 cm/min , 榆林土 0.048 cm/min 。对照表1可以看出,利用自由点源入渗方法测定的土壤饱和导水率普遍大于垂直一维所获得的土壤饱和导水率。两种方法获得的饱和导水率的绝对误差分别为西安土 0.003 cm/min , 安塞土 0.003 cm/min , 绥德土 0.004 cm/min , 榆林土 0.012 cm/min 。由绝对误差来看,质地愈轻绝对误差愈大。但总的来讲,误差相差不大,可认为自由点源入渗方法可作为土壤水力参数一种有效的测定方法。由于点源入渗方法可以利用滴灌系统同时测定多点的土壤水力参数,省时省力,便于大面积土壤水力参数的测定。当然由于该方法要求在土壤表面形成稳定的积水面,因此需要地面有一定的平整度,因此对于坡面的测定就相对困难。

表1 测定4种土样的 k_s 和 a 值

土样	西安	安塞	绥德	榆林
$k_s / \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	0.014	0.024	0.021	0.060
a / cm^{-1}	0.059	0.090	0.107	0.106

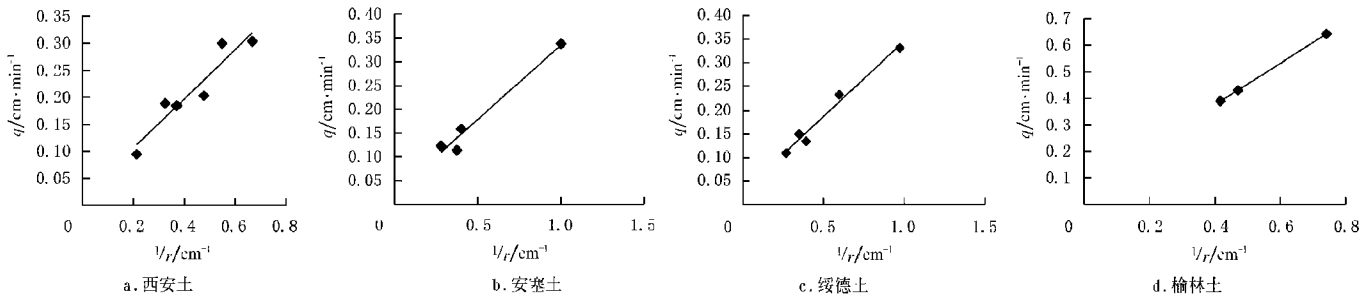


图3 4种土样的 $q - 1/r$ 关系
Fig. 3 Relationship between steady infiltration ratio (q) and reciprocal radius ($1/r$) of ponding area

4 结论

在室内进行了4种土壤的自由点源入渗实验,利用 Wooding 稳定入渗公式分析实验资料,并计算了土壤导水参数。同时根据垂直一维入渗实验资料确定了土壤饱和导水率。两种方法所获得的饱和导水率对比结果表明,自由点源入渗法获得饱和率普遍高于垂直一维入渗法。但两者相差不大,因此自由点源入渗法可以作为测定土壤导水参数的方法。

[参考文献]

- [1] 黄冠华. 非饱和和水分运动参数空间变异的研究(英文)[J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 73- 78.
- [2] 潘英华, 雷廷武, 张晴雯, 等. 土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 37- 39.
- [3] Wooding R A. Steady infiltration from a shallow circular pond[J]. Water Resour. Rea. 1968, 4: 1259- 1273.
- [4] Salem A. Al-Jabri, Robert Horton, and Dan B. Point-Source Method for Rapid Simultaneous Estimation of Soil Hydraulic and Chemical Transport Properties[J]. Soil Sci Soc Am J, 2002, 66: 12 - 18.

Indoor experiment on measurement of soil hydraulic parameter using the method without restrict point-source infiltration

Wang Quanjiu^{1,2}, Lai Jianbin³

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2. Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Simulation model was used to predict soil water movement processes. The accuracy depends on the accuracy of soil hydraulic properties, thus, it is important to estimate soil hydraulic properties accurately. Without restrict point-source infiltration method was developed based on steady point-source infiltration function, and its accuracy was still not evaluated. In the paper, the steady point-source infiltration experiment was conducted, and the method was evaluated based on the experimental data. The results indicate that the method can be used to estimate soil hydraulic properties.

Key words: without restrict point-source infiltration, soil hydraulic properties, saturated conductivity