

文章编号:1007-9432(2009)03-0307-03

影响土壤入渗能力的剖面因素研究

余海铭,樊贵盛

(太原理工大学 水利科学与工程学院,山西 太原 030024)

摘 要:基于大田耕作土壤剖面类型测试和室内土壤入渗试验,并与均质土壤剖面对比的方法,分析讨论了水分在犁底层和土壤下沙土壤剖面中的入渗特性及其入渗模型。试验结果表明:土壤剖面构型对土壤的入渗能力有明显影响,与均质土壤相比,上述两种剖面的土壤累积入渗量减小,各入渗参数减小,入渗能力减弱。研究结果可以为特殊土壤剖面土壤入渗参数的确定提供参考。

关键词:质地剖面;层状土;累积入渗量;入渗率;犁底层

中图分类号:S152;TV93

文献标识码:A

由于气象、水文、地质地形、植被以及土地平整、灌溉排水等人为因素的影响,大田耕作土地形成了多种土壤剖面。层状土壤是土壤剖面中普遍存在的土壤构型,研究表明其入渗能力受到土壤含水量、土壤封闭、紧实、耕作、土壤裂隙、有机质、土壤盐分、水质、土壤侵蚀、土地平整、温度、地表贮水等因素的影响^[1]。针对实际情况,入渗的影响因素也可以从土壤性质、表层结皮、坡度、降雨、下垫面等角度来考虑^[2]。解文艳等研究了均质土壤剖面下土壤质地对入渗能力的影响^[3],Fox通过分层导水系数推求整个土壤的平均导水系数^[4],Hill等指出细质土覆盖粗质土时湿润峰到达交界面时入渗率为常数^[5]。在农业灌溉中,土壤的入渗特性这一土壤固有属性决定着地面灌溉的灌水技术参数,因此,用来描述入渗特性的土壤水分入渗参数是拟定灌水技术参数的重要依据。对大田土壤进行区域性入渗研究时,由于田间土壤多为层状土壤,因而分析剖面因素对入渗参数的影响既实际、显著,又有较广的适用性。

本文根据大田耕作土壤剖面类型测试分析和室内模拟实验的土壤入渗试验,对几种典型土壤剖面的入渗特性进行了分析比较,旨在为大田灌水技术参数的确定和水分的高效利用提供参考。

1 实验条件与方法

1.1 项目区土壤条件

野外试验地点为山西朔州市应县,室内实验以

此野外测试剖面为基础选择几种特殊剖面进行。根据野外测试结果,得到研究地区的主要土壤剖面分布情况见图1。

试验区土壤剖面分层明显。表层多为栗褐土,土体干燥、土质偏砂、粒状结构、疏松。其典型分层厚度与分布位置见图1。

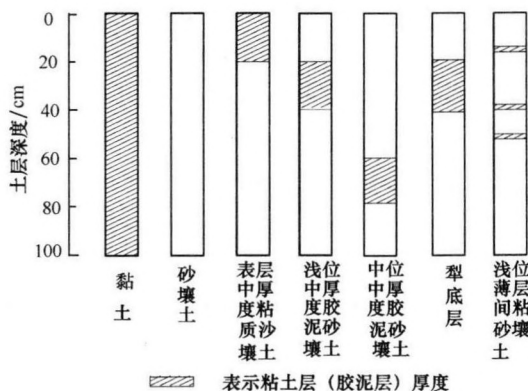


图1 试验区质地剖面示意图

1.2 试验条件

入渗试验在内径为9.1 cm,高80 cm的有机玻璃圆柱体内进行,采用马氏瓶供水。

砂壤土与分层土样(沙土、黏土)经自然风干后(沙土中 $w_s=1.8\%$,砂壤土中 $w_s=4.6\%$,黏土中 $w_s=5\%$)过2 mm筛,每2 cm一层均匀装入试验筒。考虑到黏土的入渗时间较长,因而把图1中的细质土用壤土、粗质土用沙土代替,设计表1中所示的几组代表性试验。

收稿日期:2008-09-02

基金项目:国家自然科学基金项目(40671081);山西省自然科学基金项目(20051074)

作者简介:余海铭(1982—),男,硕士,四川重庆人,主要从事农业水土研究,(Tel)13935117735

通讯联系人:樊贵盛,教授,博导,(E-mail)fanguis5507@263.net

表1 试验剖面类型 g/cm^3

土壤厚度/cm	犁底层	上层壤土 下层沙土	夹沙层	均质壤土
0~20	壤土 1.35	壤土 1.35	壤土 1.35	壤土 1.35
20~25	壤土 1.6	砂 1.6	粗/中/细砂 1.6	
25~40	壤土 1.6	砂 1.6	壤土 1.35	
>40	壤土 1.45	砂 1.6	壤土 1.35	

2 试验结果与分析

2.1 犁底层剖面

犁底层又称“亚表土层”，是紧接耕作层之下较为紧实的土层。系受畜耕或小型拖拉机等农具长期反复压实所致，土体比较稳定、土壤结构较密实、孔隙较小。如果犁底层深度适当，松紧适宜，可兼有保水、透水效能，有利于作物生长；如果位置过高，过于紧实，则通透性差，妨碍作物根系向下生长和吸收深层水分养分。图2、图3分别为均质土和有犁底层的情况下土壤累积入渗量曲线和湿润峰推进曲线。由图2、图3可以看出：

1) 与均质土壤剖面相比，有犁底层存在的情况下，土壤入渗能力降低。表现为给定时刻累积入渗量的减小和累积入渗量曲线斜率(入渗率)的减小。无犁底层存在时，300 min时的累积入渗量为10.2 cm，而有犁底层存在时，300 min时的累积入渗量为9.3 cm；后者比前者减少了0.9 cm，相应的减渗率为8.6%。

这是犁底层土壤结构和上层均质土不同所致。耕作层土壤单位体积密度小、大孔隙多、连通性好，对其中运动流体的阻力小，因而在单位土水势梯度下，土壤水力传导度也大。而犁底层土壤容重大，密度大、孔隙小、连通性差，孔隙弯曲程度加重、单位势梯度下水分通量小，即土壤水力传导度小。因此，土壤结构密实程度的增加导致土壤水力传导度减小，入渗能力降低。

2) 与均质土壤剖面相比，有犁底层存在的情况下，土壤湿润锋推进明显变慢。湿润锋在到达地表以下20 cm分界面时耗时200 min，均质土时只耗时150 min，即入渗水分到达20 cm处时间延长了1/4。300 min时湿润锋差值增加到7 cm。

由于试验中入渗筒四周封闭，土壤空隙中的气体只能向下通过底部排气孔流出，而犁底层又相对密实，阻水的同时也阻碍气体的运移。在某种意义

上，犁底层上部气体压力的存在阻碍了上部入渗水的推进速度。

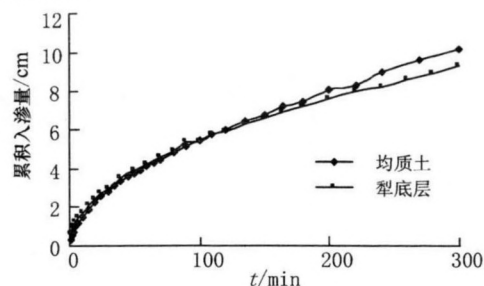


图2 两种剖面的累积入渗量曲线

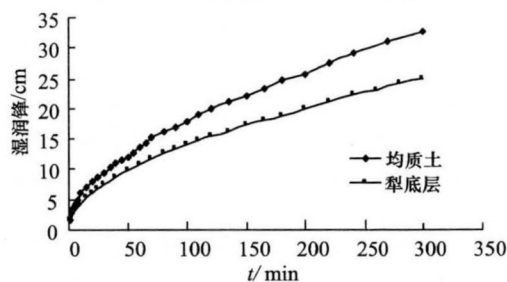


图3 两种剖面的湿润峰曲线

2.2 土壤下沙剖面

图4、图5所示为土壤下沙剖面与均质土剖面的土壤入渗率曲线和湿润锋推进曲线。由图4、图5可以看出，分层土质剖面对入渗能力和湿润锋推进都有较大的影响。300 min时壤沙剖面入渗速率为0.014 cm/min，湿润锋推进距离21.1 cm；均质土剖面则为0.019 cm/min和29.2 cm。

在整个入渗过程中，壤沙剖面入渗率和湿润锋推进曲线始终位于均质土的入渗曲线之下，壤沙剖面入渗能力较均质土时明显减弱。水分到达壤沙分界面时间为265 min，此后湿润锋推进差值进一步增大。

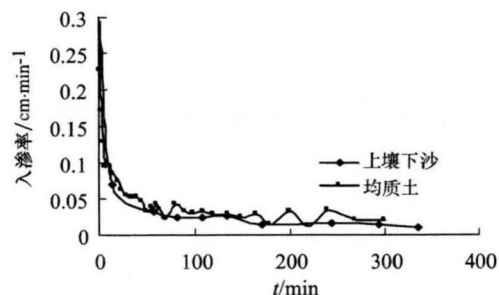


图4 两种剖面的入渗率曲线

与均质土壤剖面相比，土壤下沙剖面土壤的入渗能力降低。由于土壤中孔隙的大小和分布决定了土壤的导水能力，从这个角度来看，由于实验中壤土层和沙层的孔隙状况存在差异，壤土层的孔隙度大，小孔隙较多；沙土层的孔隙度小，大孔隙较多，于是在两者交界处形成导水率不同的孔隙差异界面，这

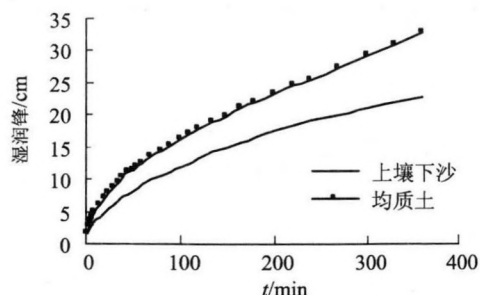


图5 两种剖面的湿润锋曲线

就需要湿润锋进入沙层后的一段时间才能恢复到稳定导水状态,上层壤土层必然有较多的水分才能满足入渗的要求,宏观上表现为入渗速率的降低。同时,由于试验中沙土层含水量很低,吸力值很高,绝大部分孔隙中的水被排空,成为不导水的孔隙,下层沙土的导水率反而比上层壤土低。另外,试验中下层沙土容重大也会导致土壤的入渗能力降低。

沙土层的结构也影响到土壤整体的入渗能力。图6是同等容重不同沙土夹层情况下(夹沙层)的土壤累积入渗量曲线。可以看出:均质土6 h累积入渗量为10.2 cm,而下层细沙、中沙、粗沙时分别为

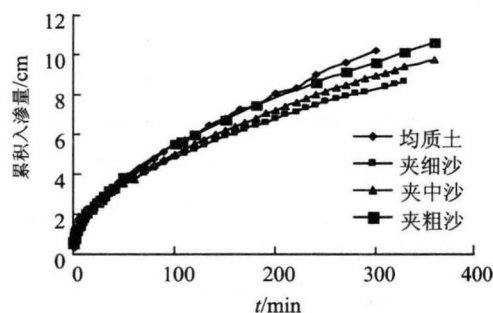


图6 夹沙剖面的累积入渗量曲线

8.25 cm、8.92 cm、9.59 cm。在土壤的容重、含水量等一定时,沙土的颗粒愈粗,透水性能愈强。其原因是沙粒越细微,粒间孔隙越小,固相比表面积越大,吸水、保水性能越强,单位势梯度下水分通量小,则入渗开始后的入渗率就小。同时,由于沙层容重较大,中小孔隙多、连通性差,单位势梯度下水分通量小,所以随着沙粒由粗变细,累积入渗量由大变小。

2.3 入渗模型

分析各种剖面条件下的入渗表达式可知:各种

剖面的入渗过程仍然可以用 Kostikov 双参数入渗模型来表征。

拟合方程为(取其中几组计算)

$$I = at^b, i = mt^n.$$

式中: I 为累积入渗量; i 为入渗率; a, b, m, n 为拟合参数。

各模型参数很好地表达了累积入渗量和入渗率随时间的变化规律:在入渗初始阶段,土壤入渗性能很好,随着时间的推移,土壤入渗性能迅速降低,当入渗进行到分界面后,入渗率迅速趋近稳定入渗率;由于分层土壤质地、容重、含水量等因素的影响,分层剖面土壤的稳渗率和累积入渗量均较均质土时小。拟合曲线和实测曲线相关系数在0.85以上,因而 Kostikov 双参数入渗模型在特殊剖面下仍然简单实用精度适宜。

表2 累积入渗量和入渗率随时间变化的拟合参数

剖面类型	累积入渗量拟合参数			入渗率拟合参数		
	a	b	R	m	n	R^2
均质土	2.672	0.579 9	0.998 6	0.295 2	-0.494 6	0.915 5
犁底层	3.290	0.480 8	0.999 0	0.339 6	-0.552 3	0.858 7
上壤下沙	2.871	0.340 8	0.962 1	0.813 1	-0.752 7	0.958 7
夹细沙	4.662	0.447 6	0.992 9	0.296 5	-0.527 6	0.905 3

3 结论

1) 土壤剖面构型对土壤的入渗能力有明显影响。与均质土构型相比,犁底层土壤剖面构型时,土壤累积入渗量减小,入渗能力减弱。壤沙剖面构型时,下层沙层粒径由大变小,土壤入渗速度减小,各入渗参数减小,入渗能力减弱。

2) 具有层状土体构型剖面的入渗能力皆比均质土剖面小,湿润锋面也比均质土推进得慢,阻水减渗效果明显,300 min时犁底层剖面减渗8.6%,壤沙剖面减渗26.3%。

3) 无论何种土体剖面构型,其水分入渗率与时间有较好的幂指数相关关系,相关系数都在0.85以上,均可用 Kostikov 双参数入渗模型来表征。

参考文献:

- [1] 水利部国际合作司等编译. 美国国家灌溉工程手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,1998:19-21.
- [2] 赵西宁,吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报,2004,19(1):42-45.
- [3] 解文艳,樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[J]. 太原理工大学学报,2004,35(5):537-540.
- [4] Yu-Si Fox. One-dimensional infiltration into layered soils[J]. J Irrigation and Drainage,1970,43:121-129.
- [5] D E Hill, J2Y Parlange. Wetting front instability in layered soils[J]. Proceeding of Soil Sci Soc Am,1972,36(5):697-702.

(下转第322页)

Study on Karst Groundwater Numerical Simulation of Yanhe Spring Basin

ZHANG Zhi-xiang

(College of Water Resources Science and Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the analysis of the geological and hydrogeological conditions in Yanhe spring basin of Jincheng city, the conceptual model and mathematical model of karst groundwater were presented, and the numerical simulation of karst groundwater was carried out by using AQUA3D software base on Galerkin finite element method. From model identification and verification, the groundwater level calculation results were well fit with measured values, proving the model's rationality and effectiveness. The model was used to calculate the allowable exploitation quantity of karst groundwater at two precipitation schemes. At last, the allowable exploitation quantity was ensured as $6.26 \text{ m}^3/\text{s}$. The results would give scientific foundation to the exploitation and protection of karst groundwater.

Key words: Yanhe spring basin; karst groundwater; numerical simulation; finite element method

(编辑:贾丽红)

=====

(上接第 309 页)

Studying on the Influence of Soil Profile Factor on Infiltration Characteristics

SHE Hai-ming, FAN Gui-sheng

(College of Water Resources Science and Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Field site and laboratory experiment of water infiltration into a layered soils which include plough pan and loam-sand section were conducted. Effects of the two types of layered soil profile on infiltration capacity were analyzed and discussed on the basis of two infiltration parameters of Kostiaikov infiltration equations and force of soil current. The experimental results indicate that soil configurations have obvious influence on soil infiltration capacity, and that the infiltration parameters show a trend of decrease. The result is of practical meaning in determining field infiltration parameters and in decreasing field infiltration.

Key words: soil texture profile; stratified soil; cumulative infiltration amount; infiltration rate; plough pan

(编辑:贾丽红)