

地下滴灌条件下砖红壤水分入渗特性试验研究

陈洁, 陈阳, 吴卫熊, 李雅楠, 李就好

(华南农业大学 水利与土木工程学院, 广州 510642)

摘要:在实验室内模拟研究了地下滴灌条件下不同滴头流量、滴管埋深和土壤初始含水率对湿润锋运移的影响规律。结果表明:滴头流量对湿润锋水平运移的影响大于竖直方向,湿润体的成形主要受到滴头流量的控制;滴管埋深对湿润锋运移影响不大;湿润锋运移速率随土壤初始含水率的增加而增大,其中以水平方向上最为明显。

关键词:地下滴灌;砖红壤;湿润锋;土壤水分

中图分类号:S152.72

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0026-03

Experimental Study on Infiltration Properties in Latosol Under Subsurface Drop Irrigation

CHEN Jie, CHEN Yang, WU Wei-xiong, LI Ya-nan, LI Jiu-hao

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: A series of experiments were conducted to analyze the effect of drip flow, lateral depth and initial soil moisture on the moving speed of wetted peak under subsurface drop irrigation (SDI) in Latosol. The results showed that drip flow had more influence on the horizontal distance of soil wetted peak than that on the vertical one, the development of crop roots is mainly controlled by the drip flow. Lateral depth had little influence on the moving of wetted peak. The moving speed of wetted peak had been increasing along with the adding of initial soil moisture, and the increasing of horizontal distance was apparent.

Key words: subsurface drop irrigation; latosol; wetted peak; soil moisture

地下滴灌(subsurface drip irrigation, SDI)通过埋入地下的滴灌带或灌水器将有压水或水肥混合液以小流量、均匀、精确而直接地灌施于作物根区,使作物根系活动区的土壤保持适宜的水分和营养,利于植物的生长发育。SDI与其他灌溉系统相比,最独特的优势在于可把灌溉水的深层渗漏和地表蒸发减小到最低程度。SDI除了增产、节水、省工、高效和不影响地表作业等特点外,还具备改善土壤理化性质、减少作物病害及野草生长等优点,是一种极具发展潜力的节水灌溉技术。但是地下滴灌系统设计计算非常复杂,滴头流量、埋深、滴头间距是地下滴灌的重要技术参数,而确定这些参数的重要依据是土壤水分运动规律,因此土壤水分的研究对于提高灌溉效率、指导灌溉工程的规划和系统的运行均具有重要的意义^[1]。

许多国内学者对地下滴灌进行了室内外试验研究:李道西等^[2]在黏壤土中进行地下滴灌试验,通过对地下滴灌土壤水分分布的直接观察分析,得出了一些对实际田间地下滴灌技术的规划设计有参考应用价值的理论;李明思等^[3]为了确定影响点源滴灌滴头流量设计的影响因素,以等效圆柱湿润体模型为基础,建立了点源滴灌滴头流量的数学模型;程先

军等^[4]为了给地下滴灌系统的合理设计提供理论依据,建立了地下滴灌条件下描述地埋点源土壤水运动和溶质运移的数学模型;孙海燕、李明思等^[5]针对重壤土、中壤土、砂壤土研究滴灌点源入渗的湿润锋运移规律,分析土壤种类、土壤容重、土壤初始含水率、滴头流量、灌水量等主要因子对湿润锋运动的影响。目前虽然国内学者对地下滴灌进行了较为系统和深入的研究,但是针对南方热带亚热带红壤地区地下滴灌的研究还较少。

在室内试验的基础上,分析地下滴灌条件下砖红壤的水分入渗特性,为南方热带亚热带红壤地区地下滴灌系统的规划设计提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与试验方法

试验用砖红壤取自湛江地区雷州市幸福农场,土壤颗粒级配见表1。

表1 砖红壤颗粒组成

颗粒粒径/mm	<0.05	<0.01	<0.005
颗粒百分含量/%	81.5	73	63.5

收稿日期:2007-05-07

基金项目:广东省农业科技攻关项目

作者简介:陈洁(1982-),女,新疆阿克苏人,硕士,主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail:xiaojiezihaha@163.com

通信作者:李就好(1963-),男,江西万年人,教授,博士生导师,主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail:jhli@scau.edu.cn

试验前将土样风干后除去树根杂质并过 2 mm 筛后混合调匀。按照试验要求分层均匀装进玻璃箱中。密封静置 24 h 后,测定土壤初始含水率及容重。

1.2 试验装置

试验装置为等边三角形的有机玻璃箱,规格为 68 cm×68 cm×60 cm(边长×边长×高)。采用马氏瓶作为供水水源,以提供稳定流量,通过调整马氏瓶的安装高度来控制滴头流量。试验采用内嵌迷宫式滴灌带,一端通过恒水管与马氏瓶相连,另一端堵塞。将滴灌管埋置于有机玻璃箱一侧,取地下滴灌形成湿润体的 1/2 作为研究对象。试验装置如图 1 所示。

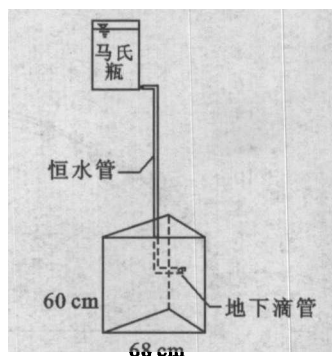


图1 地下滴灌试验装置简图

1.3 试验内容

在地下滴灌条件下,土壤内水分分布受诸多因素的影响,如土壤质地、土壤密实度、土壤初始含水率、灌水量、滴头流量和滴灌管埋深等。试验设 3 种处理:(1)在土壤初始含水率、容重、滴管埋深不变的条件下,观测不同滴头流量、灌水量条件下土壤水分运动;(2)在土壤初始含水率、容重、滴头流量、灌水量不变条件下,观测不同滴管埋深条件下的土壤水分运动;(3)在容重、滴头流量、灌水量、滴管埋深不变的条件下,观测不同土壤初始含水率条件下的土壤水分运动。

2 实验结果与分析

2.1 滴头流量、灌水量对砖红壤湿润锋运移的影响

滴头流量是影响土壤湿润体大小和形状的主要因素,同时水分入渗的分布也影响作物的根系生长趋势和产量。因此掌握特定土壤条件下不同滴头流量入渗过程中湿润体特征值与入渗时间的关系,是确定滴灌毛管田间布置方式和滴头间距的重要依据^[6]。试验选用 3 种滴头流量:0.9、1.1、1.8 L/h,试验时测得土壤初始含水率为 8%(体积含水率),砖红壤容重 $\gamma=1.3 \text{ g/cm}^3$,滴灌时间 $t=180 \text{ min}$,滴头流量通过调整水头高度来控制。试验时测得同一流量下湿润锋运移距离随时间变化情况如图 2 所示。

从图 2 可以看出,随着滴头流量的增加湿润锋水平运移速率逐渐大于竖直方向的运移速率。在 2.7 L 灌水量下,湿润锋水平扩散半径与垂直入渗深度之比从 1.04 增加到 1.26。这种水分分布状态与理论上黏性土壤中土壤水在各个方向上的运移是均匀的不相符。产生这样现象是由砖红壤的物理特性造成的。砖红壤中细颗粒含量较高、土壤质地黏重、重力对土壤水的影响相对较弱、土壤水分入渗困难,在田

间灌溉或降雨时土壤表面经常会出现“一团糟”的现象。另外,从图 2 中还可以看出,当流量为 0.9 L/h 时,湿润锋向下运移速率最快,水分以垂直入渗为主。在 1.1、1.8 L/h 流量下,湿润锋水平扩散速率大于垂直入渗速率,水分以水平扩散为主。由此可知,在土壤介质中,土壤向四周扩散水分的能力有限,使用大流量滴灌会导致出流期间滴头附近出现土壤水正压力,造成土壤结构破坏,形成沿管壁的水力冲蚀通道,管壁的这种引水作用不断促使水分向水平方向扩散。在实际田间灌溉中这一因素不可忽视,南方热带亚热带砖红壤地区不适宜采用大流量滴灌。

在灌水量一定的情况下,滴头流量对湿润锋水平运移影响较大,湿润体的形状主要受滴头流量的控制。因此在滴灌系统设计中,应根据土壤入渗特性和设计湿润比选择滴头流量,以保证作物根系正常生长发育。

2.2 滴灌埋深对砖红壤湿润锋运移的影响

水分的有效利用程度不仅取决于适时适量供给,还与灌水的空间有效性(即灌水深度)有密切联系。地下滴灌的埋管深度实质是灌水深度,它直接影响水分在土壤中的运移与分布;而水分在土壤中的分布状况影响作物根系的生长、趋向及水分和养分的吸收,最终决定产量。

试验设 3 个处理:分别为 10 cm 埋深、15 cm 埋深和 20 cm 埋深,在容重 $\gamma=1.3 \text{ g/cm}^3$,土壤初始含水率 $\theta_0=8\%$,流量 $Q=1.8 \text{ L/h}$ 条件下滴灌埋设深度对砖红壤的水分入渗的影响如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在同一入渗时段内,随着滴管埋设深度的减小,湿润锋水平和竖直向上运移速率变化较小,竖直向下运移速率增加较为明显,水平扩散半径与竖直向下入渗深度之比从 1.08 减小到 0.96。这是由于以地下滴灌方式灌水后,土壤水分以滴水孔为中心向周围扩散。由于重力作用,向下扩散距离明显比向上的大;这种特点影响着作物根系的生长趋向。试验中可以观察到,在滴管埋深 10 cm 处当滴灌 80 min 后地表出现湿润现象,继续灌水地表出现圆形的积水区域。因此当埋深较浅时,为减少地表水蒸发应控制好滴灌时间。

埋设深度的选择取决于作物种类、作物生长层深度等情况,建议在实际田间生产中,滴灌埋深应根据作物需要,在不影响耕作的前提下尽量浅埋,既能够湿润根区又可以阻止或减少表层土壤的湿润。

2.3 初始含水率对砖红壤湿润锋运移的影响

在土壤容重($\gamma=1.38 \text{ g/cm}^3$),埋深($h=15 \text{ cm}$),流量($Q=1.8 \text{ L/h}$)一定,土壤初始含水率不同($\theta_1=8\%$, $\theta_2=12\%$, $\theta_3=16\%$)情况下湿润锋运移随时间变化如图 4 所示。

对于不饱和土壤而言,不同的土壤含水率对应不同的非饱和导水率,从而对滴灌的水分入渗过程产生影响。由图 4 可知,初始含水率较高的土壤,湿润锋运移速率快于初始含水率较低的,这与初始含水率越小,基质势越大,推动湿润锋运移的驱动力就越大似乎是矛盾的。但事实上,驱动力大并不意味着速率也大,初始含水率越低的土壤,需要更多的累积水量填充土壤孔隙,这将延缓湿润锋的前进。

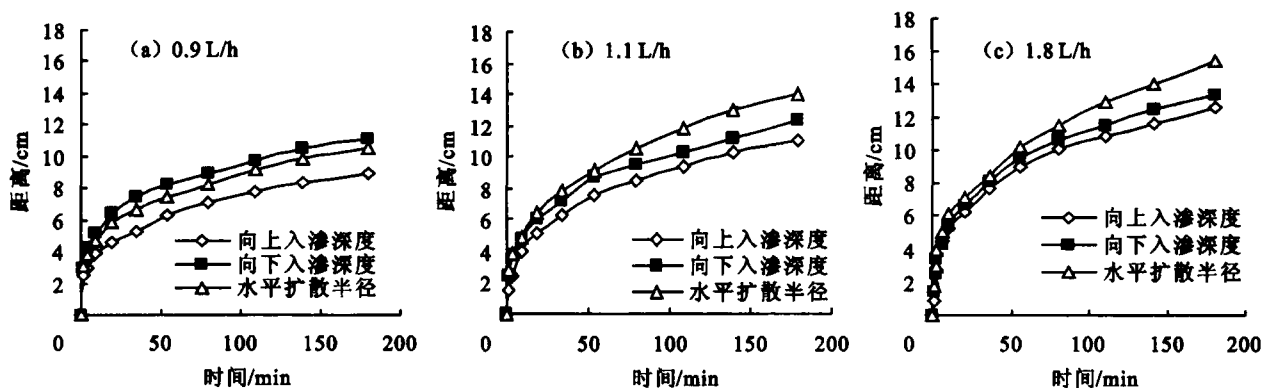


图 2 同一流量下湿润体特征值的变化

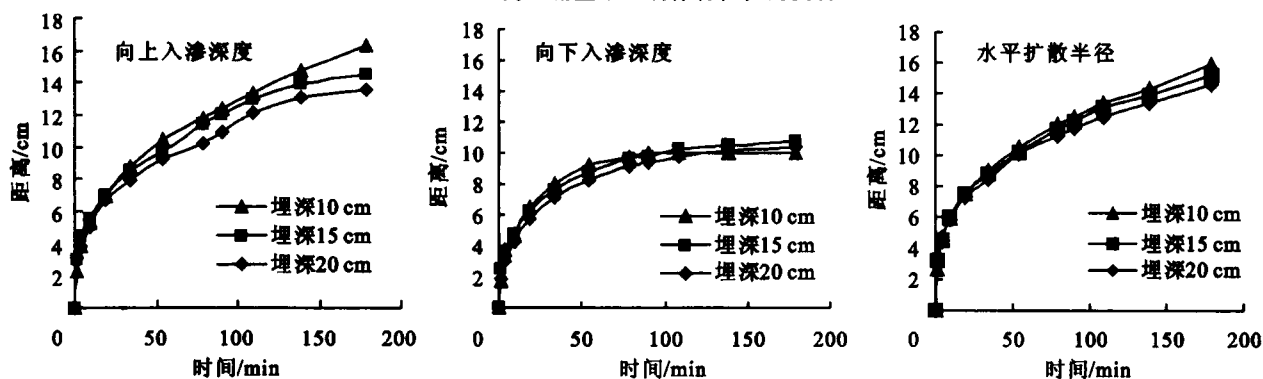


图 3 滴灌埋深对湿润锋运移速率的影响

在相同灌水量下,土壤初始含水率越大,湿润体内平均水分含量越大。在相同入渗时段内,湿润锋水平转移距离随土壤初始含水率的增加变化不明显(如图 4c),垂直运移距离随土壤初始含水率的增大而增大(如图 4a,b),其中向下

运移距离增加的幅度较大。由此可知,初始含水率不同的土壤导水率和持水能力均有差异。初始含水率大的土壤导水率高、储水能力较弱,初始含水率小的土壤相应地导水率低、储水能力较强。

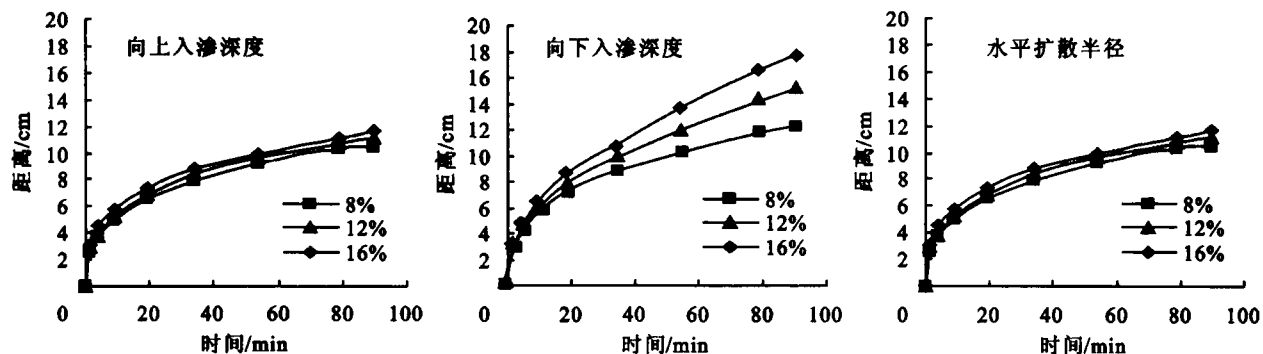


图 4 初始含水率对湿润锋运移的影响

总的看来,与其它灌水方式一样,地下滴灌条件下砖红壤的湿润锋运移速率很快。在供水初期,湿润锋向四周运移的速率几乎一致,随后向下的人渗速率和水平扩散速率加快,水平方向向左和向右的速率一致,向上的人渗速率小于或接近水平方向扩散速率。通过对试验结果分析,湿润锋运移距离与时间的关系均符合二次多项式 $L=at^2+bt+c$,相关系数均在 0.9 以上。

3 结论与讨论

采用室内测定的实验方法,针对影响湿润锋运移的不同因素分析入手,通过对砖红壤在不同滴头流量、埋深、初始含水率情况下湿润锋运移规律影响的研究,得到以下结论:

(1) 砖红壤中细颗粒含量较高、土壤质地黏重,土壤水分

入渗困难。在大流量下,湿润锋水平扩散速率大于垂直入渗速率,水分以水平扩散为主,在小流量下,湿润锋垂直入渗速率大于水平扩散速率,水分以垂直入渗为主,因此在砖红壤地区适宜采用小流量滴灌。

(2) 滴管埋深对湿润锋的运移影响较小,不同的埋深造成在同一水下滴头的出流量差异甚微。埋深为 10 cm 时,滴灌 80 min 后出现了地表湿润现象,因此当埋深较浅时,为减少地表水蒸发应控制好滴灌时间。

(3) 土壤初始含水率对湿润锋运移影响较大。湿润锋运移速度和湿润圈变化范围均随土壤初始含水率的增大而变快,以竖直向下方向最为明显。

(下转第 52 页)

2.7 不同处理固沙胶的优化

将不同处理下的6种试样的各种固沙性能和固沙效果结合起来进行综合评价,对比各试样的综合固沙效果,结果如图2所示。

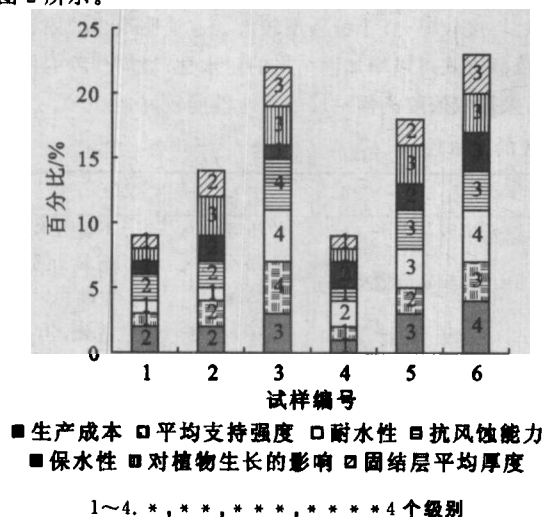


图2 不同处理下的固沙试样综合性能比较

综合考察几项指标,由图2可以看出,6#试样效果最佳,1#试样效果最差,从而优选出以下3个处理:3#,5#和6#试样。由此可知,当固沙剂用量 $40\sim 60\text{ g/m}^2$ 时,且采用双遍喷洒时的固沙效果最佳。

3 结论

通过以上的研究与分析可得出以下结论:

(1)使用高分子固沙胶固化河沙可在其表面形成一层坚硬的固化层,具有抗压强度高,抗风蚀能力强,渗透性能好等

特点,并且渗水后强度损失较小,6种试样均能促进植物的生长发育,所以用该种固沙胶进行沙漠表层固化是可行的。

(2)固沙胶的用量、使用方法以及试验结果可作为实际固沙工程需要的依据。当固沙胶用量为 $40\sim 60\text{ g/m}^2$ 时,固沙胶的抗风蚀能力最强,耐水性能最佳,保水性能也最好,且对植物生长发育影响最大;当固沙胶用在风蚀较严重的地区时,适合采用单遍喷洒方式,因为单遍喷洒可以使固结层土壤硬度增大,从而增加固结层抗压强度;当固沙胶用在风蚀不严重的地区,以恢复植被为主时,则可以使用双遍喷洒方式,因为双遍喷洒可以增加固结层厚度,从而增加耐水性和保水性能,为植物生长发育提供有利的生存环境。

(3)随着固沙胶用量的增加,固沙效益也明显增强,成本价格均比较便宜,施工方便,适合在沙漠地区中推广应用。

参考文献:

- [1] 丁庆军,许祥俊,陈友治,等.化学固沙材料研究进展[J].武汉理工大学学报,2003,25(5):27-29.
- [2] 杨喜田,董惠英,黄玉,等.黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J].水土保持学报,2000,14(1):77-81.
- [3] [日]安保昭.坡面绿化施工法[M].周庆桐译.北京:人民交通出版社,1988.
- [4] 李臻,王宗玉,胡英娣.新型化学固沙剂的试验研究[J].石油工程建设,1997,23(2):3-6.
- [5] 郭锋.一种适合植物生长的高分子固沙剂[J].水土保持学报,2003,17(4):117-118.
- [6] 徐先英,唐进年,金红喜.3种新型化学固沙剂的固沙效益实验研究[J].水土保持学报,2005,19(3):62-65.

(上接第28页)

由于试验在室内进行,没有考虑外界环境条件(日照、气温、湿度、降雨、风速等)和作物生长状况的影响,因此还需针对不同作物进行大量的田间实验,得到一些具体的技术参数,为地下滴灌系统的合理设计和运行提供理论依据。

参考文献:

- [1] 李红,罗金耀.地下滴灌条件下土壤水分研究概况[J].节水灌溉,2005(3):26-28.
- [2] 李道西,罗金耀,彭世彰.地下滴灌土壤水分运动室内研究[J].灌溉排水学报,2004,23(4):26-29.
- [3] 李明思,康绍忠,孙海燕.点源滴灌滴头流量与湿润体的关系研究[J].农业工程学报,2006,22(4):32-35.
- [4] 程先军,许迪.地下滴灌土壤水分运动和溶质运移数学模型及验证[J].农业工程学报,2001,17(6):1-4.
- [5] 孙海燕,李明思,王振华,等.滴灌点源入渗湿润锋影响因素的研究[J].灌溉排水学报,2004,23(3):26-29.

- [6] 李明思,孙海燕,谢云,等.滴头流量对土壤湿润体的影响研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5/6):420-422.
- [7] 罗锡文,李就好,俞龙.滴灌条件下砖红壤水分入渗特性试验研究[J].华南农业大学学报,2000,21(4):74-77.
- [8] 张振华,蔡焕杰,郭用昌,等.滴灌土壤湿润体影响因素的实验研究[J].农业工程学报,2002,18(2):17-20.
- [9] 汪志荣,王文焰,王全九,等.点源入渗土壤水分运动规律实验研究[J].水利学报,2000(6):9-44.
- [10] 刘晓英,等.滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J].水利学报,1990(1):11-21.
- [11] 胡笑涛,康绍忠,马孝义,等.地下滴灌条件下沙质土壤入渗特性试验研究[J].灌溉排水学报,2004,23(5):75-78.
- [12] 朱德兰,李昭军,王健,等.滴灌条件下土壤水分分布特性研究[J].水土保持研究,2000,7(1):81-84.