

# 滴灌条件下砖红壤水分运动试验研究

李就好, 谭颖, 张志斌, 罗锡文

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

**摘要:** 为了研究砖红壤水分入渗特性, 并为雷州半岛旱作节水农业提供依据, 在室内滴灌条件下进行了砖红壤水分入渗的试验研究。在有机玻璃容器中对 0.5、1.0 和 3.0 L/h 3 种滴灌流量下土壤水分入渗湿润峰进行试验分析, 结果表明砖红壤水分的水平扩散、垂直扩散都与滴灌时间呈指数关系, 并与流量成正相关关系。当流量为 0.5 和 1.0 L/h 时, 砖红壤中水分扩散运动分为二个阶段: 由开始的水平扩散速率大于垂直扩散速率过渡到水平与垂直等速扩散。在土箱中监测了 0.3、0.6、0.9 和 1.2 L/h 4 种滴灌流量下土壤水分分布, 分析表明对于砖红壤土质, 为了能使水分入渗达到一定深度, 选择流量 0.9~1.2 L/h 对短期浅根作物连续滴灌 4 h 是合理的。

**关键词:** 滴灌; 水分运动; 砖红壤

**中图分类号:** S152.72

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)06-0036-04

李就好, 谭颖, 张志斌, 等. 滴灌条件下砖红壤水分运动试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 36-39.

Li Jiahao, Tan Ying, Zhang Zhibin, et al. Experimental study on water movement of latosol under drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(6): 36-39. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

滴灌是节水灌溉技术中常用的方式之一, 由于在作物根部灌溉, 节水效益明显, 因此, 滴灌条件下土壤水分运移及其分布成为重要的研究内容。目前, 主要通过试验研究滴灌条件下土壤中水分运动规律及其分布特性, 并进行数值计算与模拟, 朱德兰等<sup>[1]</sup>在粉质黏土和重粉质黏土中进行了滴灌条件下土壤水分分布特性研究, 并提出不同土壤水分水平扩散和垂直扩散随时间变化的数学模型; 汪志荣等<sup>[2]</sup>进行了粗砂土和粉壤土的点源入渗实验, 得出了在不同滴头流量情况下, 实际滴灌可以形成非充分供水点源入渗边界和变边界积水点源入渗边界, 并对两种边界条件特点及其滴头流量、灌水时间、湿润锋、含水率分布等之间的关系进行了分析; 李光永等<sup>[3-5]</sup>根据非饱和土壤水运动理论, 建立了地理点源滴灌条件下土壤水分运动的动力学模型, 并进行数值模拟; 冯绍元等<sup>[6]</sup>根据土壤水动力学理论建立了壤土中西红柿生长条件下温室地表滴灌剖面二维土壤水分运动的数学模型, 并进行了数值模拟; 许迪等<sup>[7]</sup>建立了地理点源土壤水运动和溶质运移数学模型, 利用模型进行了地下滴灌条件下砂壤土与壤土的水、肥运动的分布规律描述。这些研究为滴灌设计提供了有益的参考。

罗锡文等<sup>[8]</sup>用 4 种滴速在室内条件下进行了砖红壤水分入渗试验研究, 测定了不同时刻和不同深度处土壤的含水率, 分析了砖红壤中水分迁移特性。而本文在以前的研究基础上, 对雷州半岛地区砖红壤在滴灌条件下的水分入渗特性进行研究, 通过试验确定在滴灌条件

下砖红壤中水分含量随时间的变化规律, 为该地区的节水灌溉提供依据。

## 1 材料与方法

为了便于控制试验条件, 在室内进行了不同流量下砖红壤水分入渗试验, 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。试验前除去树根杂质并过 2 mm 筛后充分混合。根据试验设计要求, 用内径 38 cm、高 60 cm 的半圆形有机玻璃容器和长 2 m、宽 1 m、高 1 m 的土箱分别做试验。每次装入有机玻璃容器的土层厚约 10 cm, 每次装入土箱的土层厚约 20 cm, 然后用平板分层压实土层。试验土壤为风干土, 装完土样后, 测定初始含水率及密度, 土箱内土壤的平均含水率为 19.57% ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 平均干密度为  $1.349 \text{ g/cm}^3$ ; 有机玻璃容器内土壤平均含水率为 10.57% ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ), 平均干密度为  $1.21 \text{ g/cm}^3$ 。

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

在有机玻璃容器中以流量为 0.5、1.0 和 3.0 L/h 进行滴灌试验, 并分析土壤水分入渗湿润峰。在土箱中分别以流量 0.3、0.6、0.9 和 1.2 L/h 进行滴灌, 监测土壤的水分分布。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 滴灌条件下砖红壤湿润峰的变化

用 0.5、1.0 和 3.0 L/h 3 种流量进行滴灌试验, 根据土壤水分入渗情况, 实时绘制不同时刻的土壤湿润峰, 然后进行湿润峰的测量。通过拟合得到湿润半径与时间的关系为

收稿日期: 2004-09-03 修订日期: 2004-12-03

基金项目: 广东省农业科技攻关重大项目 (A 20601, 2002A 2040903)

作者简介: 李就好, 江西万年人, 博士, 副教授, 主要从事农业水土工程方面的研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。

Email: jhli@scau.edu.cn

通讯作者: 罗锡文, 教授, 博士生导师, 主要从事农业工程有关研究。

广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: xwlu@scau.edu.cn

$$R = at^\beta \quad (1)$$

式中  $r$ ——湿润半径, cm;  $t$ ——时间, min;  $a$ 、 $\beta$ ——回归系数, 其值见表 2。

表 2 不同流量下表面湿润半径与滴灌时间的回归关系表  
Table 2 Regression relationships between wetted radius on soil surface and drip irrigation time under different flows

编号	土壤类型	流量 $L \cdot h^{-1}$	$a$	$\beta$	$R^2$
1	砖红壤	3	7.3647	0.2595	0.9979
2		1	4.0139	0.3283	0.9995
3		0.5	3.5912	0.2999	0.9982
4	粉质黏土*	3	6.104	0.294	0.9428
5	重粉质黏土*	5	3.088	0.397	0.9467

注: \* 为朱德兰等(2000)的试验数据。

根据回归方程, 把水平扩散与时间的关系绘制成曲线, 如图 1 所示。从图中可以看出, 流量愈大, 水平扩散速度愈快, 以流量为 3 L/h 的砖红壤(曲线 1)水平扩散最快。在相同滴灌流量下砖红壤水平扩散速率大于粉质黏土和重粉质黏土。

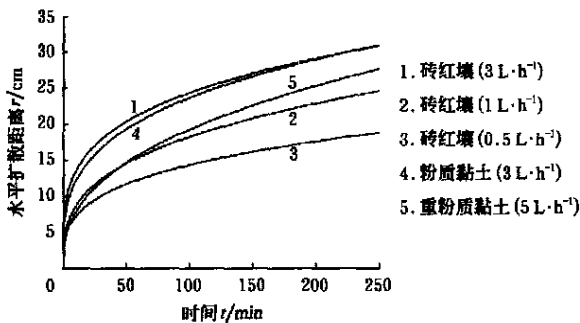


图 1 水平扩散对比曲线

Fig 1 Exponent relationship between horizontal diffusion and drip irrigation time

砖红壤湿润峰的垂直入渗距离(扩散深度)与滴灌时间关系回归方程为

$$L = \lambda t^\omega \quad (2)$$

式中  $L$ ——垂直扩散深度, cm;  $t$ ——时间, min;  $\lambda$ 、 $\omega$ ——回归系数, 其值如表 3。

表 3 不同流量下垂直扩散深度与滴灌时间的回归关系表  
Table 3 Regression relationship between vertical diffusion depth and drip irrigation time under different flows

编号	土壤类型	流量 $L \cdot h^{-1}$	$\lambda$	$\omega$	$R^2$
1	砖红壤	3	3.014	0.3848	0.971
2		1	2.754	0.3922	0.997
3		0.5	2.1968	0.3906	0.999
4	粉质黏土*	3	1.943	0.563	0.870
5	重粉质黏土*	5	2.463	0.597	0.966

注: \* 为朱德兰等(2000)的试验数据。

根据回归方程, 绘制垂直扩散与时间的关系曲线, 如图 2 所示。从图中可以看出, 5 L/h 的重粉质黏土(曲线 5)和 4 L/h 的粉质黏土(曲线 4)垂直入渗速度快, 而

砖红壤(曲线 1、2 和 3)垂直入渗慢, 曲线平缓, 很快达到或接近最大入渗能力, 因此, 在相同流量下砖红壤较雷州半岛的粉质黏土和重粉质黏土更容易产生表面积水并形成径流。

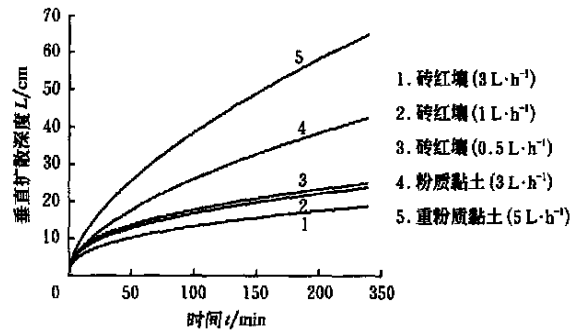


图 2 垂直扩散对比曲线

Fig 2 Exponent relationship between vertical diffusion and drip irrigation time

对比水平扩散与垂直扩散, 发现砖红壤在 3 L/h 流量下, 同一时间内, 水平扩散距离是垂直扩散深度的 1.86~1.98 倍, 说明在该流量下, 砖红壤的水分水平扩散远大于垂直入渗。在 1 L/h 流量下, 水平扩散距离与垂直扩散深度之比从开始的 1.38 下降至 1.05, 在 0.5 L/h 流量下, 水平扩散距离与垂直扩散深度之比从开始的 1.47 下降至 0.95。因此, 在不产生积水和地表径流的滴灌入渗情况下, 砖红壤中水分扩散运动的规律为: 由开始的水平扩散速率大于垂直扩散速率过渡到水平与垂直等速扩散 2 个阶段。这与粉质黏土中开始为等速扩散, 第二阶段为垂直扩散大于水平扩散, 最后以垂直扩散为主, 基本不产生水平扩散的 3 个阶段(朱德兰等, 2000)不同。通常情况下, 中壤土的垂直扩散大于水平扩散, 而属中壤土的砖红壤却相反, 其原因还需要进一步研究。

通过以上分析可知, 砖红壤由于质地黏重, 降水或灌溉的水分入渗困难, 因此, 灌溉流量需要控制, 同时必须改良土壤, 特别在没有灌溉的旱作农业区, 更需要采取外部介入的方式, 如采用深松, 提高砖红壤纳水、保水的能力。

## 2.2 滴灌条件下砖红壤含水率的变化

根据砖红壤的水分入渗湿润峰的研究结果, 在砖红壤中必须采用低流量的灌溉方式, 才能做到节水灌溉, 否则易产生径流, 造成水资源浪费。为了进一步研究砖红壤在滴灌条件下水分分布, 在室内土箱中进行了滴灌试验, 为砖红壤地区节水灌溉, 特别是滴灌设计提供依据。

试验采用 0.3、0.6、0.9 和 1.2 L/h 4 种流量进行滴灌, 一次重复, 把两次的结果进行平均, 并以平均值进行试验结果分析。滴灌时间为 240 min, 分别测定不同时刻距滴点 5 cm 和 10 cm 不同深度土壤含水率变化, 并观测停止滴灌后土壤水分的重分布情况。现对距滴点 10 cm 不同深度含水率变化进行分析。

距滴点 10 cm 处土表面下 5、10、15 和 20 cm 各点

的土壤含水率随流量与时间的变化曲线如图 3 所示。从图中可以看出,在滴灌时间内,流量越大,水渗透到同一深度的时间越短;流量越大,灌水越多,同一时间,同一深度处的土壤含水率越高。滴灌结束后,随着持水时间

的增加,土壤中的含水率逐渐趋于一致,说明水分在重力和毛细力作用下发生迁移;当流量小于 0.9 L/h 时,在滴灌 240 min 内,水难以渗透到距土表面 20 cm 深度处。

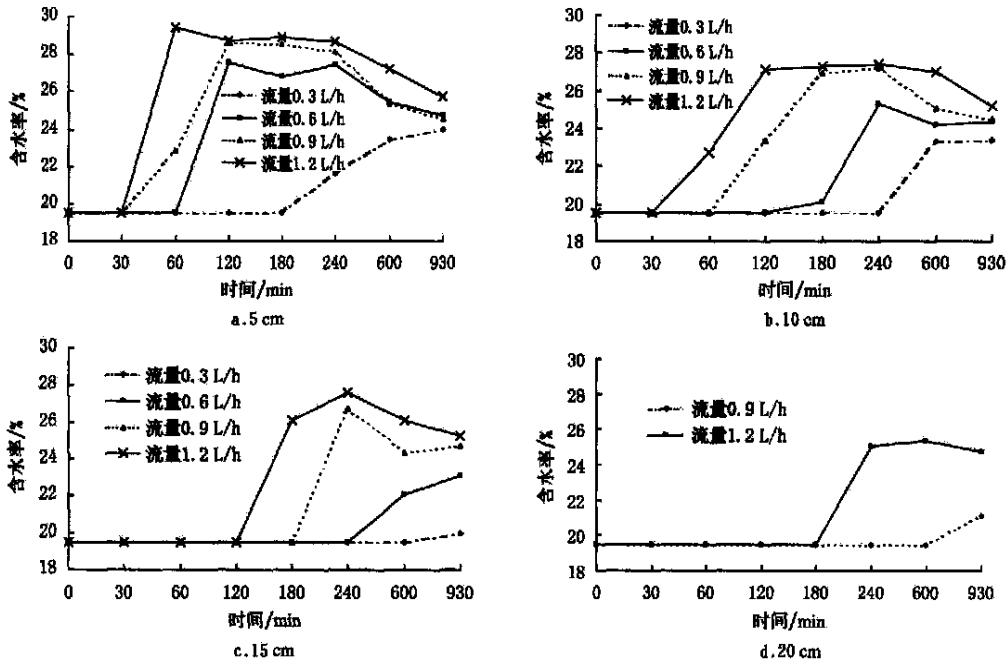


图 3 距滴点 10 cm 不同深度处含水率随时间变化曲线

Fig. 3 Variations of moisture content with drip irrigation time at different depths at the horizontal distance of 10 cm away from dripper

为了进一步分析不同流量对水分入渗的影响,以停止滴灌时不同流量下距滴点 10 cm 深 5 cm、10 cm 和 15 cm 处土壤含水率作为研究对象,得到土壤含水率与流量之间的关系曲线如图 4 所示。

量下土壤含水率差异较小,仅为 0.8%。土壤含水率最大变化在 0.6 L/h 与 0.9 L/h 流量之间,为 7.3%,因此,为了使水分入渗达到一定深度,又不产生地表径流和减少水分向下渗漏,对于砖红壤土质,选择流量 0.9 ~ 1.2 L/h 对短期浅根作物连续滴灌 4 h 是合理的。

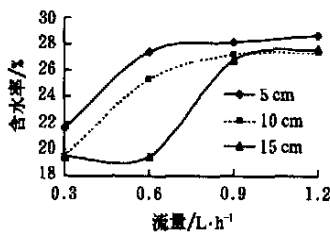


图 4 距滴点 10 cm 不同深度含水率随流量变化曲线

Fig. 4 Variations of moisture content with flow rates at the horizontal distance of 10 cm away from dripper

从图 4 中可以看出,同一点不同流量下土壤的含水率存在差异,特别是 15 cm 深处,不同流量下的土壤含水率差异较大,流量 0.3 L/h 和 0.6 L/h 的土壤含水率为 19.5%,为滴灌前土壤初始含水率,流量 0.9 L/h 时土壤含水率为 26.8%,流量 1.2 L/h 时土壤含水率为 27.6%。可以看出,滴灌 4 h 后,0.3 L/h 和 0.6 L/h 流量下距滴点 10 cm、15 cm 深处的土壤含水率保持初始含水率,水分没有到达该处;而 0.9 L/h 与 1.2 L/h 流

### 3 结论

- 1) 砖红壤水分的水平扩散、垂直扩散都与滴灌时间呈指数关系,并与流量成正相关关系。
- 2) 与北方的粉质黏土和重粉质黏土相比,在相同流量下,砖红壤水分水平扩散速率大于粉质黏土和重粉质黏土,而垂直扩散速率比粉质黏土小。
- 3) 在流量为 0.5 L/h 和 1 L/h 的滴灌条件下,砖红壤水分入渗呈现的规律为,开始时水平扩散大于垂直扩散,然后过渡到水平与垂直等速扩散。
- 4) 通过对 4 种流量分别为 0.3、0.6、0.9 和 1.2 L/h 的室内滴灌试验分析,认为对于砖红壤土质,为了使水分入渗达到一定深度,选择流量 0.9 ~ 1.2 L/h 对短期浅根作物连续滴灌 4 h 是合理的。

由于本试验在室内进行,受试验条件限制,同时没有受到外界环境条件(如气候和作物)影响,因此,还需在室外现场条件下,针对不同的作物进一步研究砖红壤水分入渗规律。

## [参 考 文 献]

- [1] 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
- [2] 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): 39- 44
- [3] 李光永, 郑耀泉, 曾德超, 等. 地埋点源非饱和土壤水运动的数值模拟[J]. 水利学报, 1996, (11): 47- 56
- [4] 李光永, 曾德超, 段中锁, 等. 地埋点源滴灌土壤水运动规律的研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 66- 71
- [5] 李光永, 曾德超, 郑耀泉. 地表点源滴灌土壤水运动的动力学模型与数值模拟[J]. 水利学报, 1998, (11): 21- 25
- [6] 冯绍元, 丁跃元, 曾向辉. 温室滴灌线源土壤水运动数值模拟[J]. 水利学报, 2001, (2): 59- 63
- [7] 许 迪, 程先军. 地下滴灌土壤水分运动和溶质运移数学模型的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 27- 31
- [8] 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

## Experimental study on water movement of latosol under drip irrigation

Li Jiahao, Tan Ying, Zhang Zhibin, Luo Xiwen

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract** To analyze water movement of latosol and provide foundation for dryland farming in Leizhou peninsula, the experiment of water movement of latosol under the conditions of indoor drip irrigation was investigated. The vertical and horizontal movements of water of latosol were tested under the drip flows of 0.5 L/h, 1 L/h and 3 L/h. The result indicated that the exponent relationships between the horizontal diffusion, vertical diffusion and drip irrigation time existed, and the horizontal and vertical diffusions of soil water were positively correlated with flow. Under the drip flows of 0.5 L/h and 1 L/h, the water movement could be divided into two phases of latosol: in the first phase, the speed of horizontal diffusion was greater than that of vertical diffusion, and the speed of horizontal diffusion was equal to the speed of vertical diffusion in the second phase. Under the drip flows of 0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 L/h, the soil moisture contents at different locations and different depths were measured by using drying method. The relationship between soil moisture content and drip flow was analyzed. The results indicated that the appropriate drip flows were from 0.9 L/h to 1.2 L/h, and the time of drip irrigation was four hours for short-term and flat root crops.

**Key words:** drip irrigation; water movement; latosol