

## 沙管滴灌水分运移关键参数初探

谢恒星, 张振华, 冯 雪

(鲁东大学地理与资源管理学院, 山东 烟台 264025)

**摘 要:**在室内模拟了线源沙管滴灌, 分析了沙管滴灌条件下水平、垂直湿润锋的运移规律, 并比较了不同流量和滴灌(有无沙灌)条件下的水分运移特征。结果表明, 沙管滴灌条件下水平和垂直湿润锋均随时间的增加而增大, 且垂直湿润锋始终大于水平湿润锋; 水平和垂直湿润锋均随流量的增加而增大; 与普通地表滴灌相比, 在相同流量条件下水平湿润锋要小, 而垂直湿润锋要大。普通地表滴灌与沙管滴灌水平湿润的比值先上升, 后下降; 沙管滴灌与普通地表滴灌垂直湿润锋的比值先下降, 后平稳。

**关键词:**线源沙管滴灌; 普通地表滴灌; 水平/垂直湿润锋; 湿润锋比值; 水分运移规律

**中图分类号:**S275.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2007)03-0112-03

## A Preliminary Study on Water Movement Key Parameters of Sand Tube Irrigation

XIE Heng-xing, ZHANG Zhen-hua, FENG Xue

(College of Geography and Resources Management of Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

**Abstract:** With the analysis of the horizontal wetting front and the vertical wetting front movement law and the comparison of water movement characteristics between different discharge rate and different surfer condition (with and without sand tube) conducted, the linear sand tube irrigation was performed in the lab. Results showed that the horizontal wetting front and the vertical wetting front increased with the time pass by, and the horizontal wetting front excess the vertical wetting front all the time; the horizontal wetting front and the vertical wetting front increased with the ascending of the discharge rate, too. Compared with normal surface applied drip irrigation, the horizontal wetting front was short and the vertical wetting front was long under the same discharge rate. The ratio of the horizontal wetting front between normal surface applied irrigation and sand tube irrigation ascended first, and descended then; The ratio of the vertical wetting front between sand tube irrigation and normal surface applied irrigation descended first, and stabilized then.

**Key words:** linear source sand tube irrigation; normal surface applied drip irrigation; horizontal/vertical wetting front; ratio of wetting front; law of water movement

### 1 前 言

滴灌是当今世界最先进的灌水技术之一。在正确的系统设计和高水平的田间作物水分管理条件下, 滴灌系统能够适时适量地进行灌溉, 在作物的根区创造出适宜的水、肥、气、热条件, 从而获得节水、高产、优质的效果<sup>[1]</sup>。目前国内外在滴灌理论和技术方面, 已经进行了大量的研究工作<sup>[2-5]</sup>, 对于滴灌条件下的土壤水分运动规律也已有了一定的了解<sup>[6-10]</sup>, 提出了包括解析解、数值解和经验解在内的多种数理模型<sup>[11-15]</sup>。与其它灌溉方式相比, 滴灌的节水增产机理体现在以下几个方面<sup>[16]</sup>: (1) 减少了水分无效损耗, 提高了作物水分利用效率; (2) 改善了根区土壤水、热、气状况, 促进了作物生长; (3) 提高了肥料和农药的施用效率, 防止了环境污染; (4) 抑制了杂草生长, 减少了病害发生; (5) 改良盐碱土壤, 促进作物生长。

但普通地表滴灌也存在不足之处, 由于滴灌高频率、低定额的施水特点, 使得作物根层附近的土壤保持较高的含水率, 土壤水分的蒸发大部分时间内维持在受能量控制的第一阶段, 在作物的生长早期由于农田近乎裸露而进一步加剧了土壤的水分蒸发。Matthias 等利用微型蒸渗仪和红外测温仪两种方法对地表滴灌条件下裸土的蒸发进行了研究, 结果表明,

灌水后 7 d 内土壤表层蒸发量占总灌水量的 33%~40%<sup>[17]</sup>。

1997 年 Meshkat 提出了滴灌的一种改进方式 - 沙管滴灌, 它是在普通地表滴灌滴头的正下方掏取一圆柱形土洞, 用粗沙回填土洞, 让水滴滴在沙子表面, 水分随后顺沙子下移到土壤下层。沙管滴灌的节水机理体现在以下几个方面<sup>[18]</sup>: (1) 由于粗沙的导水率较高, 滴到沙管表面的水分立即顺沙子到达土壤底层, 缩短了水分在土壤表层的停留时间, 又由于较为干燥的土壤表层阻止了热量向下层土壤的输送, 从而也降低了水分的蒸发; (2) 较为干燥的土壤表层降低了水汽潜在梯度, 使得土壤表层比底层温度高, 从而产生了逆向活动热梯度, 土壤下层水分在逆向活动热梯度的驱使下向温度更低的下层移动, 减少了水分蒸发的机会; (3) 干燥和细质的土壤表层降低了土壤导水率, 阻止了微小空隙的产生, 从而进一步降低了土壤的导水率。Meshkat 在室内利用未扰动土进行了沙管滴灌研究, 对比了沙管滴灌条件下水分和温度的土壤剖面分布状况, 并探讨了普通地表滴灌和沙管滴灌条件下土壤的节水潜力。研究发现, 灌溉 4 d 后, 沙管滴灌中水分蒸发量在供水量中的比例(4%)远远小于普通地表滴灌(30%), 节水效果明显<sup>[19]</sup>。Meshkat 的研究对于株距较大的多年生作物比较适用, 但对于株距比较小的作物(如葡萄)则显不足, 有关沙管滴灌的研究国内方面还未见报导, 本文在室

\* 收稿日期: 2006-06-06

基金项目: 鲁东大学大学生科技创新基金项目; 烟台师范学院重点基金项目(043201)

作者简介: 谢恒星(1981-), 男, 山东兖州人, 在读研究生, 主要从事区域水土资源高效利用研究; 通讯作者: 张振华(1971-), 男, 博士, 教授。

内模拟了线源沙管滴灌,初步探讨了线源状况下水分运移规律,以期为进一步深入研究沙管滴灌提供参考。

2 材料与方法

供试土壤取自烟台市典型棕壤,自然风干后( $\omega = 3.1\%$ ),过 2 mm 土筛,利用沉降法对土壤进行颗粒分析(表 1),按照中国土壤质地分类标准,供试土壤属于砂壤土。供试沙子为过 2 mm 和 1 mm 土筛之间的粗沙,之所以选用粗沙,是因为一方面毛细上升现象在粗沙中不明显,从而降低了水分的上升;另一方面,水分直接向沙管底部运动,而不是向沙管四周扩散<sup>[1]</sup>。试验系统由试验土柱和供水系统两部分组成,有机玻璃土箱的规格为 50 cm × 2 cm × 50 cm,将风干后的土样按预定容重均匀地分层装入有机玻璃土箱,在有机玻璃土箱的一侧装粗沙,沙管的规格为 5 cm × 2 cm × 5 cm,实验由马氏瓶供水,通过调节旋钮开度和调换针头的大小来控制流量,本实验在鲁东大学地理与资源管理学院水土省级重点实验室室内进行,每组实验三次,取其效果比较好的一组作为分析依据,试验开始后,本着先密后疏的原则观测湿润锋在水平和垂直方向上的分布。

表 1 实验土壤的机械组成

	砂粒	粗粉粒	细黏粒
粒径/mm	1~0.05	0.05~0.01	<0.001
各级颗粒含量/%	33.3	35.64	11.02

3 结果与讨论

3.1 沙管滴灌条件下湿润锋的变化分析

在 12 L/(h·m) 的流量条件下,沙管滴灌水平与垂直湿

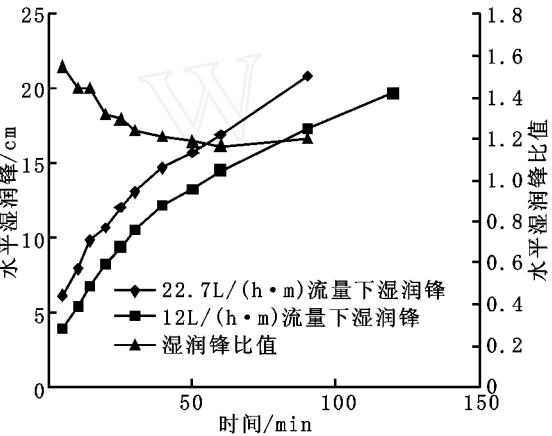


图 2 两种流量条件下水平湿润锋比较

由图 2 可知,在整个入渗过程中,22.7 L/(h·m) 滴头流量下的水平湿润锋始终大于 12 L/(h·m) 滴头流量下的水平湿润锋,说明随着供水强度的增加,湿润锋也随之增大。在入渗的初始阶段(0~20 min),两种流量条件下水平湿润锋的比值随着时间的推移在降低,说明在沙管滴灌条件下,供水强度增加,水平湿润锋扩散的速率并不随之增加。当入渗进行到一定阶段(20 min)后,两种流量条件下水平湿润锋的扩散速率基本一致,表现为水平湿润锋的比值稳定在 1.25 左右。由图 3 可知,垂直湿润锋也随着时间的增加而增加,且较大流量条件下的垂直湿润锋要大于较小流量条件下的垂直湿润锋,在入渗的初始阶段(0~20 min),两种流量条件下的湿润锋比值也是随着时间的推移而降低,当入渗进行到一定阶段(20 min)后,垂直湿润锋比值基本保持稳定,约为 1.24。

3.3 沙管与普通滴灌条件下湿润锋随时间的对比分析

在 12 L/(h·m) 的流量条件下,沙管滴灌和普通地表滴灌水平和垂直方向湿润锋随时间的变化如图 1、图 2 所示。

由图 1 可知,沙管滴灌和普通地表滴灌的水平湿润锋均随着时间的增加而变大,但普通地表滴灌的水平湿润锋始终大于沙管滴灌的水平湿润锋。在入渗的初始阶段(5~15

min),垂直湿润锋和垂直湿润锋均随着时间的增加而增大,且垂直湿润锋始终大于水平湿润锋。在入渗的初始阶段(0~30 min),垂直与水平湿润锋的比值随着时间的延长而降低,当入渗到一定时间(30 min)后,二者的比值基本保持稳定,约为 1.60,说明水平和垂直湿润锋的扩散速率基本同步。

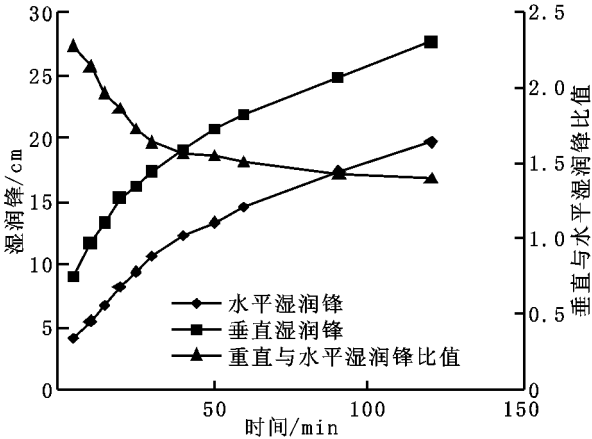


图 1 沙管滴灌下湿润锋随时间的变化

3.2 不同滴头流量条件下沙管滴灌湿润锋的对比分析

分别在 12 L/(h·m) 和 22.7 L/(h·m) 的滴头流量条件下观察沙管滴灌水平和湿润锋的变化情况,两种流量条件下水平和垂直湿润锋的对照结果如图 2、图 3 所示。

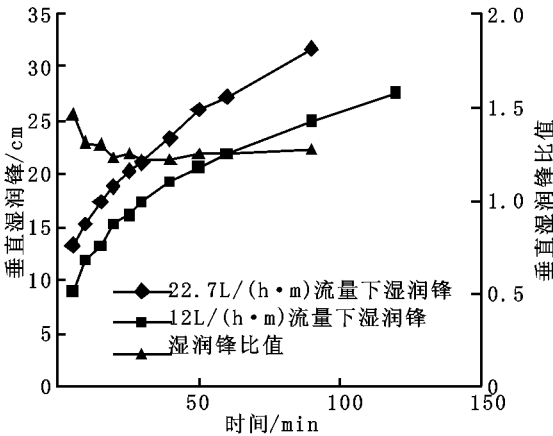


图 3 两种流量条件下垂直湿润锋比较

min),不考虑人为因素的干扰,普通地表滴灌要比沙管滴灌水平湿润锋的扩散速率大,表现为普通滴灌与沙管滴灌水平湿润锋的比值随着时间的推移而增加(由 5 min 时的 1.17 增加到 15 min 时的 1.29),这是因为在入渗的初始阶段,对于沙管滴灌而言,水分滴到沙子上以后迅速透过沙子下渗到沙管底部,很少量的水分在水平方向入渗;而普通地表滴灌条件下水分在垂直方向入渗的同时也在水平方向入渗,所以普通地表滴灌与沙管滴灌水平湿润锋的比值会增加。随着时间的增加,两种滴灌条件下水平湿润锋的比值基本保持不变,约为 1.18,这是因为到达沙管底部的水分产生累积,水分随后在水平方向入渗。随着时间的进一步延长,沙管内充满水分,达到普通地表滴灌的效果,普通地表滴灌水平湿润锋的推进速度降低,而沙管滴灌水平湿润锋的推进速度有所增加,因此普通地表滴灌与沙管滴灌水平湿润锋的比值开始降低。由图 2 可知,沙管滴灌与普通地表滴灌垂直湿润锋均随着时间的增加而变大,但沙管滴灌的垂直湿润锋始终大于普通地表滴灌的湿润锋,这是因为沙管滴灌条件下,水分通过沙子迅速下渗到沙管底部,相当于滴头下移,因此湿润锋要大。随着时间的推移,两种滴灌条件下垂直湿润锋推进速率

基本一致,表现为沙管滴灌与普通地表滴灌垂直湿润锋比值

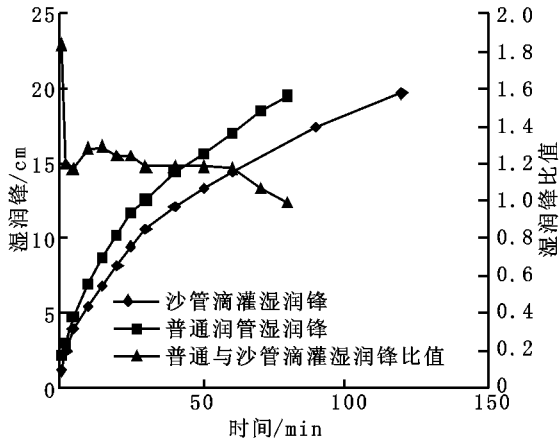


图 4 水平湿润锋随时间变化

保持稳定,约为 1.49。

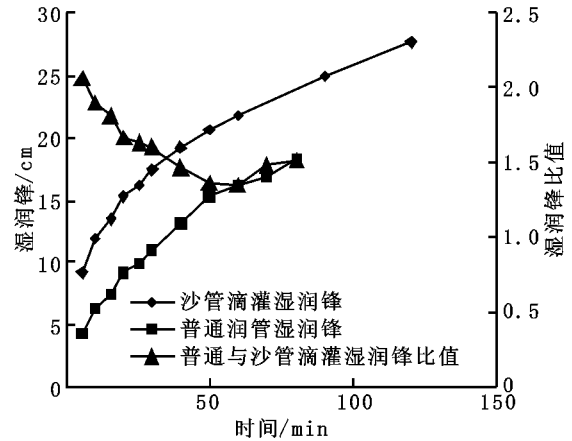


图 5 垂直湿润锋随时间变化

#### 4 结 论

沙管滴灌是一种新型的节水灌溉方式,有关沙管滴灌的研究国内尚未涉及。本文在室内模拟了线源沙管滴灌,初步探讨了线源滴灌条件下水平和垂直湿润锋的运移情况,比较了不同供水强度(流量)条件下湿润锋的变化特点,并对比了沙管滴灌和普通地表滴灌条件下湿润锋的差异,得到结论如下:

(1) 沙管滴灌条件下,水平和垂直湿润锋均随时间的增加而增加,但垂直湿润锋始终大于水平湿润锋。在入渗的初始阶段,垂直湿润锋与水平湿润锋的比值随时间增加而降低,当入渗进行到一定阶段后,二者之间的比值基本保持不变。

#### 参考文献:

- [1] Meshkat M, R C Warner, S R Workman. Evaporation reduction potential in an undisturbed soil irrigated with surface drip and sand tube irrigation[J]. Trans of the A S A E, 2000, 43 (1): 79-86.
- [2] Khan A A, Yitayew M, Warrick A W. Field evaluation of water and solute distribution from a point source [J]. Irr. and Drain. Eng., 1996, 122 (4): 221-227.
- [3] Ben - Asher J, Lomen D O, Warrick A W. Linear and nonlinear models of infiltration from a point source [J]. Soil Sci. Soc. Am., 1978, 42 (1): 3-6.
- [4] Shu - Tung Chu. Green - Ampt analysis of wetting patterns for surface emitters [J]. J. of Irr. and Drain Engineering, 1994, 120 (2): 414-420.
- [5] 张志新. 滴灌[M]. 新疆: 新疆科技卫生出版社, 1992.
- [6] 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.
- [7] 吕殿青, 王全九, 王文焰. 滴灌条件下土壤水盐运移特性的研究现状[J]. 水科学进展, 2001, 12 (1): 107-111.
- [8] 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.
- [9] 张振华, 蔡焕杰, 郭永昌, 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.
- [10] Levin I, Van Rooyen P G, Van Rooyen F C. The effect of discharge rate and intermittent water application by point - source irrigation on the soil moisture distribution pattern [J]. Soil Sci Soc Am, 1979, 43: 8-16.
- [11] Brandt A, Bresler E, Dine N, et al. Infiltration from a trickle source: Mathematical model[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1971, 35: 675-682.
- [12] Or D, Coelho F E. Soil water dynamics under drip irrigation: Transient flow and uptake models[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 2017-2025.
- [13] Ormary M, Ligon J T. Three-dimensional movement of water and pesticide from trickle irrigation: Finite element model[J]. Transactions of ASAE, 1992, 35 (3): 811-821.
- [14] Zhang R. Modelling flood and drip irrigations[J]. ICID Journal, 1996, 45(2): 81-92.
- [15] 张振华, 蔡焕杰, 杨润亚. 地表滴灌土壤湿润体特征值的经验解[J]. 土壤学报, 2004, 41(6): 870-875.
- [16] 张振华. 微源入渗特性规律与膜下滴灌作物需水量研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2002.
- [17] Mathias, A D, et al. Bare soil evaporation near a surface point - source emitter[J]. Agric. Water Manage., 1986(11): 257-277.
- [18] Meshkat, M. Modeling and laboratory evaluation of evaporation and moisture redistribution for drip/ trickle and "sand tube irrigation" using undisturbed and reconstructed soils[D]. Lexington, KY.: University of Kentucky, 1997.
- [19] Meshkat M RC, Warner S R Workman. Comparison of water and temperature distribution profiles under sand tube irrigation[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41 (6): 1657-1663.