

滴灌条件下土壤水分再分布过程研究

刘雪芹, 范兴科

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对均质风干砂壤土在滴灌条件下水分再分布过程进行研究发现: 距离供水滴头较近的点, 水分再分布过程开始后该点土壤含水量突然下降 1~2 个百分点, 随后该点土壤含水量随时间延长而减少, 前期较快, 后期变缓; 原湿润锋边缘处各点的土壤含水量在再分布过程前期表现为继续增加, 后期则随时间的延长而缓慢减少。土壤水分的再分布运动使得湿润体内的土壤含水量均有不同程度的下降, 土壤水分由高含水区向低含水区运移。在试验条件下水平湿润锋增长幅度 6%, 垂直方向增长幅度为 9%, 垂直方向大于水平方向; 灌溉结束 24 h 后土壤水分运动达到暂时的平衡, 此后土壤含水量变化很小, 土壤湿润锋几乎不再扩展。

关键词: 滴灌; 土壤含水量; 水分再分布
中图分类号: S275.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0042-04

滴灌是一种既能有效地提高灌溉水的利用效率, 又能减少作物根系层营养物质淋失的节水灌溉技术, 被国内外的众多学者广泛关注。目前对于滴灌条件下土壤水分运动规律的研究很多^[1~5], 但主要是在滴灌入渗过程中研究湿润锋运移以及土壤水分运动规律, 很少涉及到滴灌停止后湿润锋的运移及湿润体内土壤水分的再分布问题。考虑到土壤水分的再分布, 土壤湿润锋在灌溉停止后还会继续运移, 使得最终形成的湿润体与最初设计的湿润体不相同, 造成深层渗漏及湿润区重叠。为了合理地进行滴灌设计, 使滴入的水分最大限度被作物吸收利用, 本文对水分再分布过程中土壤含水量的变化动态进行自动监测, 进而研究滴灌条件下水分再分布过程中土壤水分的动态变化规律。

1 试验方法

1.1 试验土壤

试验土壤取自渭河一级阶地, 取土层次为 0~50 cm。土壤砂粒(0.02~2 mm)含量为 83.04%, 粉粒(0.002~0.02 mm)含量为 14.31%, 粘粒(<0.002 mm)含量为 2.65%, 属于砂壤土。饱和含水量和田间持水量分别为 20% 和 16%(重量含水量, 下文同), 模拟实测土壤平均干容重 1.516 g/cm³。风干过筛(筛孔 2 mm), 土壤的初始含水量为 0.51%。

1.2 试验装置

试验装置由点源供水系统、试验土箱以及土壤水分测定系统组成, 如图 1 所示。为了避免边界对

水分运动过程的影响, 试验土箱采用矩形结构, 土箱尺寸为: 120 cm×60 cm×70 cm。在模拟试验中取滴灌湿润体的 1/2 为研究对象, 即滴头放在试验土箱较长边的中心部位。点源供水系统由马氏瓶供水以保持恒定的滴头流量, 采用医用注射针头来模拟滴头。

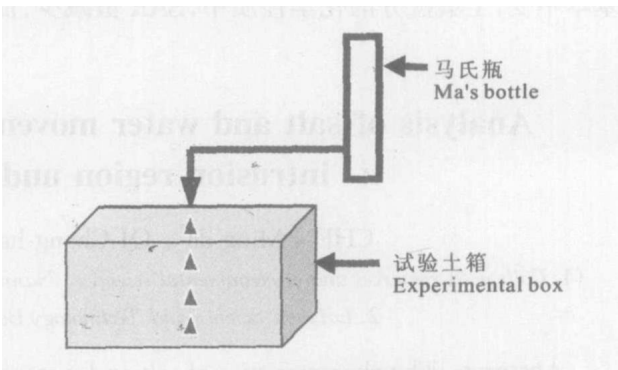


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Sketch map of the experimental apparatus

土壤水分测定系统由水分传感器和自动数据采集器两大部分组成, 该测量系统可长期动态监测多点土壤水分变化趋势。由于该水分测量系统受土壤质地、容重等因素的影响, 因此使用前用烘干法对测试土样进行含水量标定(模拟实测土壤平均干容重)。

1.3 试验方法

按实测土壤的平均干容重分层装填土箱(每层厚度 5 cm), 层间打毛。在填土过程中埋设土壤水分传感器, 土壤水分传感器分两组布置, 第一组布置

收稿日期: 2005-09-05

基金项目: 国家“863”节水农业专项课题“节水产品激光快速成型技术研究开发与(2002AA2Z4081)”

作者简介: 刘雪芹(1981—), 女, 北京人, 在读硕士研究生, 主要从事节水灌溉设备与新技术研究。E-mail: liuxueqin@mails.gucas.ac.cn。

通讯作者: 范兴科(1964—), 男, 陕西岐山人, 副研究员, 主要从事节水灌溉设备与新技术研究。E-mail: gjzfxk@vip.sina.com。

在过滴头且垂直于有机玻璃面的垂直剖面上,第二组布置在过滴头且平行于有机玻璃剖面上。土壤水分传感器在垂向和径向等间距布置,每隔 10 cm 布置一个,布置深度为 0~50 cm,每层布置 9 个。试验过程中,土壤表面无覆盖,滴水流量为 1.45 L/h (相当于 2.9 L/h 的实际滴灌流量),采用多通道土壤水分自动测定系统对滴灌条件下水分再分布过程中土壤含水量变化动态进行自动监测,含水量采样间隔设定为 15 min。滴灌过程中,以垂直湿润深度控制灌水量,当湿润深度达到 40 cm,且该处土壤含水量达到田间持水量的 80%时停止,即 45 号水分传感器测定的土壤含水率达到 12.6%时停止灌水。

2 结果与分析

2.1 水分再分布过程中土壤水分变化趋势

在滴灌入渗及停止灌水后土壤水分再分布过程中,随着湿润体的不断扩展,湿润土体内各点的含水量随时间呈现一定规律的变化,如图 2 所示。图 2 中水分传感器 5 显示的是滴头滴水处土壤含水量随时间的变化过程,水分传感器 45 显示滴水处正下方

40 cm 处的土壤含水量变化趋势,水分传感器 27 显示滴水点斜下方(与垂线成 45°方向上)28.28 cm 处土壤含水量的变化过程。从滴头处土壤含水量变化趋势可看出:入渗过程中土壤含水量基本保持不变,为 20%左右,达到饱和含水量;滴灌停止后,土壤水分在重力、吸力梯度的作用下继续向下运动——即土壤水分再分布,再分布过程开始时供水滴头处土壤含水量突然下降约 2 个百分点,之后该处土壤含水量随时间延长而减少,前期较快,后期变缓。这是由于灌水停止时滴头供水处和湿润锋边缘土水势差较大,土壤水分仍以入渗时的水分通量向四周扩散;随后随着滴头供水处含水量的降低和土壤湿润范围的扩大,吸力梯度和非饱和导水率(随基质势的减少而减少)随之降低,土壤水分运动速率随时间而减少。距离供水滴头较近的点土壤含水量也有类似的变化。在土壤水分再分布过程中对滴水点土壤含水量(W)随灌溉停止后的时间(t)的变化趋势进行拟和计算,其关系可用幂函数表示为: $W=20.707t^{-0.056}$, $R^2=-0.9469$ 。

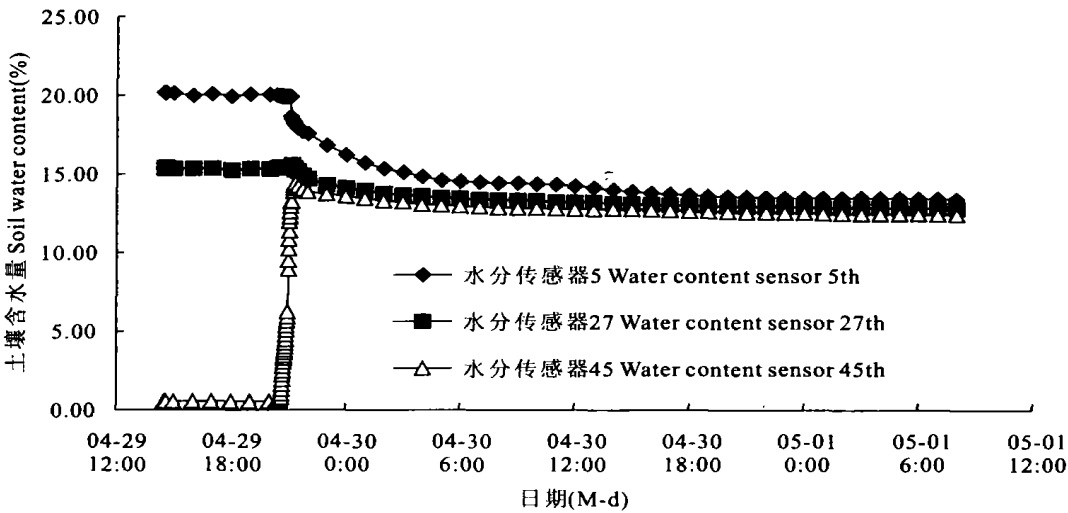


图 2 灌溉停止 24 h 内土壤含水量变化趋势

Fig. 2 Change of soil water content in 24 hours after stopping irrigation

图 2 所示水分传感器 45 处含水量在灌溉停止时为 12.59%,在再分布过程中此处土壤含水量仍继续增加,直到停止灌溉 1 h 后含水量增加到 14.43%时土壤含水量停止增加,然后含水量则随时间的延长而缓慢减少,同时还观测到在土壤水分再分布过程中该处水分运动速率较传感器 5 处变化平缓。这是因为灌溉结束时土水势梯度的存在,使得传感器 45 处土壤含水量继续增加,但随着此处土壤含水量的增加,此处土壤和上层土壤水势梯度也随之减少,同时土壤水分还会继续向下迁移,当此处土

壤水分向下迁移量等于上层土壤向该处的水分迁移量时,传感器 45 处土壤含水量停止增加,然后土壤含水量随时间变化而逐渐减少。湿润锋边缘其它传感器测点的土壤含水量也有类似的变化。在土壤水分再分布过程中对水分传感器 45 处土壤含水量(W)随灌溉停止后的时间(t)的变化趋势进行拟和计算,其关系可用幂函数表示为: $W=14.534t^{-0.0187}$, $R^2=0.7062$ 。

图 2 中水分传感器 27 处土壤含水量在灌溉停止后该处土壤水分在土水势梯度的作用下逐渐向外

扩散,前期扩散较快,后期扩散速度变小,该处土壤含水量随着时间的延长而逐渐减少。湿润体中部(不包括滴水点附近和湿润锋边缘的点)其它传感器测点的土壤含水量变化也有类似的规律。在土壤水分再分布过程中对水分传感器 27 处土壤含水量 (W) 随停止后的时间(t)的变化趋势进行拟和计算,其关系可用幂函数表示为: $W=16.42t^{-0.032}$, $R^2=0.9612$ 。

2.2 土壤水分分布状况的变化

在滴灌过程中,由于稳定的水源供给,所以湿润体内的土壤含水量普遍较高。当滴灌停止后,土壤水分在自身重力、吸力梯度的作用下会继续向外扩散运动,也就是土壤水分的再分布。在土壤水分再分布过程中,土壤湿润锋面不断向外部推移,通过试验观察发现停止供水 24 h 后土壤水分扩散已极为缓慢,土壤湿润锋几乎不再扩展。在试验条件下测得水平湿润距离达到 40 cm,比灌溉停止时增加 2.5 cm,增加幅度为 6%,垂直湿润深度达到 52.5 cm,

比灌溉停止时增加 4.5 cm,增加幅度为 9%,垂直方向大于水平方向。这是因为在砂壤土水分再分布过程中,重力势梯度的作用远较基质势梯度大,最终导致垂直方向湿润锋运移速率较大。

对比分析灌水停止时和灌溉停止 24 h 土壤含水量等值线分布图(图 3、图 4)可以看出:灌溉停止时,滴头及其附近 30 cm 范围内土壤含水量均较大,湿润锋边缘附近的土壤含水量向外扩展迅速减少为初始含水量;灌溉停止后,湿润体内的含水量均有不同程度的下降,含水量降低值为 2~7 个百分点,停止时土壤含水量越大,即离滴头越近的点土壤含水量降低越大,反之则降低较小,而灌溉停止时原湿润锋边缘处的土壤含水量在灌溉结束后则相应增加,同时湿润锋向外推移。灌溉停止后,土壤水分的再分布过程使得高含水区由滴头附近向下运移,以地面以下 10 cm 处土壤含水量较大,向四周扩展土壤含水量逐渐减少。

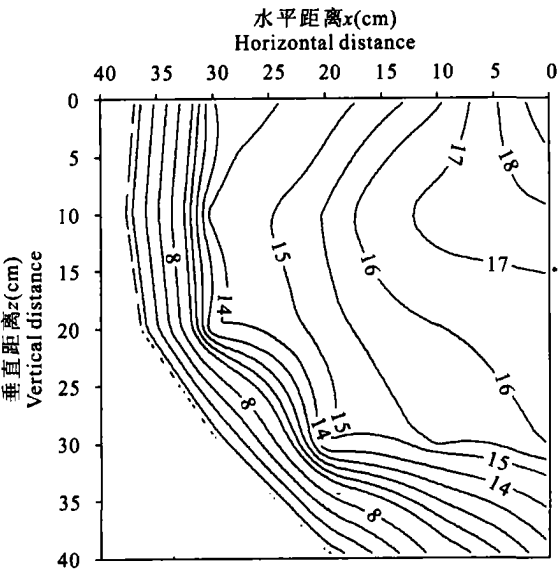


图 3 灌溉停止时土壤含水量等值线
Fig. 3 The contour map of soil water content after stopping irrigation

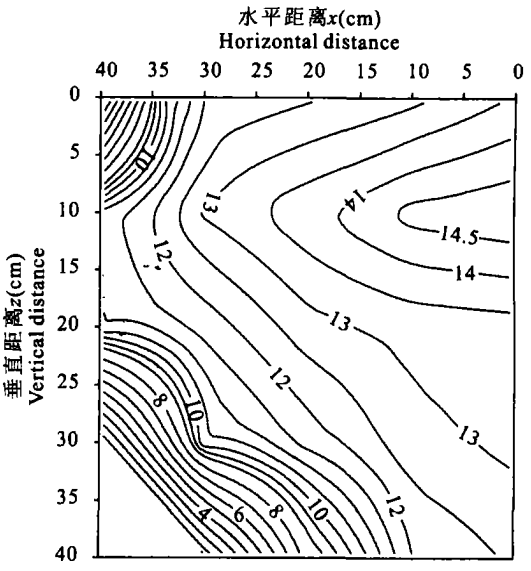


图 4 停灌 24 h 时土壤水分剖面等值线
Fig. 4 The contour map of soil water content in different sections in 24 hours after stopping irrigation

3 结 论

通过对均质风干砂壤土在滴灌条件下水分再分布过程的测试,并对其变化规律及运动特征进行分析后,得出以下结论:

灌水停止后水分再分布刚开始时,距离滴头较近的点,土壤含水量突降 1~2 个百分点,之后该点土壤含水量随时间延长而减少,前期较快,后期较慢。湿润锋边缘的点在再分布过程中土壤含水量仍继续增加,直到此点土壤水分向下迁移量等于上层

土壤向该点的水分迁移量时,该点土壤含水量停止增加,然后含水量随着时间的延长而缓慢减少,同时还观测到在土壤水分再分布过程中该处水分运动速率较滴头附近的点变化平缓。

在试验条件下,当灌溉停止后,土壤水分再分布过程使得高含水区由滴头附近向下运移,湿润体内的土壤含水量均有不同程度的下降,含水量降低值为 2~7 个百分点,而灌溉停止时原湿润锋边缘处的土壤含水量在灌溉停止后则继续增加,同时湿润锋向外推移,水平湿润锋增长幅度 6%,垂直方向增长

幅度为 9%,垂直方向大于水平方向。灌溉停止 24 h 后土壤水分运动达到暂时平衡,此后土壤含水量变化很小,土壤湿润锋几乎不再扩展。

参 考 文 献:

[1] 付琳.滴灌时的土壤浸润状况[J].灌溉排水,1983,(3):36—45.

[2] 刘晓英,杨振刚,王天俊.滴灌条件下水分运动规律的研究[J].水力学报,1990,(1):11—22.

[3] 陈渠昌,吴忠渤.滴灌条件下沙地土壤水分分布与运移规律[J].灌溉排水,1999,18(1):28—31.

[4] 汪志农,王文焰,王全九,等.点源入渗土壤水分运动规律研究[J].水利学报,2002,(6):39—44.

[5] 张振华,蔡焕杰,郭永昌,等.滴灌湿润体影响因素的试验研究[J].农业工程学报,2002,18(2):17.

Investigation on soil water redistribution under drip irrigation condition

LIU Xue-qin,FAN Xing-ke

(Institute of Soil and Water Conservation, CAS; Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The test was carried out on air-dried sandy soil to investigate the course of soil water redistribution under drip irrigation condition. It was discovered that the water content at the spot that was close to the dripping points dropped by 1%~2% suddenly after the course of water redistribution began. Afterwards, the soil water content of this spot reduced along with the time, and it reduced quickly in the earlier period, but slowly in the later period. The water content of the original wetting front edge continued to increase in the earlier period of soil water redistribution, but reduced slowly along with the time in the later period. The movement of soil water redistribution enabled the soil water content in the wetting region to drop to some extent, and the soil water was shifted from high moisture section to low moisture section. Under the experiment condition, the horizontal wetting distance grew up by 6%, and the vertical wetting distance grew up by 9%. The movement of soil water achieved the temporary balance in 24 h after stopping irrigation. Subsequently the change of the soil water content became very small, and the wetting front was kept nearly un-expanded.

Keywords: drip irrigation; soil water content; soil water redistribution

(上接第 24 页)

Research on loss of nitrogen and phosphorus in Shixia experiment plot

DOU Pei-qian, WANG Xiao-yan, QIN Fu-lai, WANG Li-hua

(College of Resources, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, china)

Abstract: The characteristic of plot effect on loss of nitrogen phosphorus and sediment in soil was studied in this paper. The results show that: in the different land-use, the concentration of Total N and Total P in the runoff of orchard is highest, the lowest one is in the runoff of woodland. However, the loss of Total N and Total P of standard experimental area is highest, the lowest one is woodland; no tillage, terrace tillage has an obvious control on the soil erosion, vegetation coverage also can decrease the runoff and the loss of sediment, so they can prevent the loss of nitrogen and phosphorus effectively; in the experimental area with same land-use and other characteristics, low slope can decreases the loss of nitrogen and phosphorus; there is various plus correlation between rainfall and loss of nitrogen and phosphorus; In rainy season, the nitrogen and phosphorus in the runoff exist mainly in particle form, and there is a remarkable linear relativity between the flow and sediment.

Keywords: loss of nitrogen and phosphorus; land use; tillage measure; slope; rainfall