

滴灌条件下土壤水分分布特性研究*

朱德兰 李昭军 王 健 贾锐鱼
(西北农林科技大学 陕西杨陵 712100)

摘 要: 在两种不同的土壤中, 以不同滴头流量进行滴灌, 通过对土壤湿润峰运移测量分析, 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, 根据该模型可以为各种作物滴灌设计参数的确定提供依据。
关键词: 滴灌 设计参数 滴头流量 滴头间距
中图分类号: S 152. 7, S275. 6 文献标识码: A 文章编号: 1005- 3409(2000) 01- 0081- 04

The Research of Distribution Pattern of Water in Soil under
the Conditions of Drop Irrigation

ZHU De-lan LI Zhao-jun WANG jian JIA Rui-yu
(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Drop irrigation was carried out in various water flow in two kinds of soil. By measuring vertical and horizontal movement of water in soil, it was suggested that the relationship between vertical spread, and horizontal spread and time can be expressed by models. According to the models, design parameters of drop irrigation, such as namely drop end flow, drop end interval distance and drop irrigation duration, can be determined for various crops.

Key words drop irrigation design parameters drop end flow drop end interval distance

滴灌的特点是水从水源进入土壤, 然后向各个方向扩散, 滴灌之所以作为先进的节水灌溉技术在全世界范围大面积推广, 是因为它能够仅仅湿润作物根系, 使根系充分吸收灌溉水分, 提高灌溉水分的利用效率。了解水分在土壤中水平扩散、垂直扩散规律, 使土壤湿润与作物根系很好的吻合, 无疑会使滴灌达到更好的节水效果, 如果垂直湿润深度大于根系深度, 会导致深层渗漏, 造成先进的节水灌溉技术下新的水资源浪费; 滴头间距过密, 使湿润重叠区域加大, 会加大不必要的工程投资, 因此, 研究在不同滴灌条件下土壤水分水平扩散和垂直扩散随时间的

变化规律, 是节水灌溉领域必须考虑的问题之一。

1 试验内容与方法

1. 1 试验处理

在粉质黏土中分别以流量 3. 0 L/h、5. 0 L/h、7. 5 L/h、10 L/h 进行滴灌, 在重粉质壤土中分别以 5. 0 L/h、8. 0 L/h、10 L/h、15 L/h 进行滴灌, 试验前土壤初始平均含水量控制在(60% ~ 70%) 田间持水量之间。土壤的有关参数测定结果见表 1、表 2。

表 1 土壤理化性质测定

地点	土壤质地	田间持水量/ %	土壤颗粒组成/ %		
			黏粒	粉粒	砂粒
淳化	粉质黏土	24. 0	37. 34	52. 81	9. 82
杨陵	重粉质壤土	19. 8	23. 17	59. 62	17. 21

* 收稿日期: 2000- 01- 01
本研究属国家重点攻关项目“黄土高原南部残塬沟壑区高产型粮果林研究(淳化)”子专题部分内容。

表 2 土壤容重、初始含水量测定表

项目	土壤质地	土层深度/ cm					
		20	40	60	80	100	平均
容 重/	粉质黏土	1. 36	1. 42	1. 37	1. 39	1. 40	1. 39
g· cm ^{- 3}	重粉质壤土	1. 40	1. 44	1. 46	1. 45	1. 45	1. 44
初始含	粉质黏土	15. 3	17. 7	17. 2	16. 4	16. 3	16. 58
水量/ %	重粉质壤土	10. 95	13. 45	12. 35	11. 95	11. 85	12. 11

1. 2 试验方法

在滴头附近开挖观测坑, 观测坑长 2 m、宽 1 m、深 1. 5 m, 紧贴开挖面垂直插入无色透明玻璃板, 间隔一定时间绘湿润线, 当湿润深度达到 1. 0 m 时停止滴水, 继续描绘湿润线, 直到湿润峰不再移动为止。

2 结果分析

2. 1 滴灌水分移动规律

滴灌水分进入土壤后, 其移动过程可分为三个阶段: 第一阶段为等速移动阶段, 水分呈现圆形扩散, 即水平扩散、垂直扩散速度基本相同, 其主要原因是: 在该阶段驱使水分运动的两种力(土壤吸力和重力) 中, 土壤吸力起主要作用, 土壤吸力沿水平方向、垂直方向基本相同; 随着土壤含水量的增大, 土壤吸力减少, 地心引力起主要作用, 水分扩散进入第二阶段, 不等速阶段, 水分垂直扩散速度大于水平扩

散速度; 随着灌水量的进一步增大, 水分扩散进入第三阶段, 垂直扩散阶段, 水平扩散速度近似等于零, 因为在该阶段, 沿滴头形成抛物体状的饱和区域, 该区水分的重力和土壤吸力作用下向四周扩散, 在水平方向, 湿润前沿进一步远离饱和区, 吸力梯度的驱动力不断降低, 且趋近于零。

2. 2 不同流量下表面湿润直径与时间的关系

不少文献中记载, 滴灌表面湿润直径很小, 而下部湿润很大, 经过该项试验发现, 情况并非如此, 在两种土壤中, 不产生地面径流的情况下, 表面湿润直径随时间不断扩大, 增大幅度越来越小。停止滴水后, 湿润区域几乎不再扩大, 表面湿润半径随滴水时间变化的回归模型通常有指数模型、对数模型、多项式模型, 该试验结查以指数模型最佳, 即:

$$R = aT^b$$

(1)

式中: R ——不同时间表面扩散半径(cm); T ——距滴灌开始时间(min); a 、 b ——回归系数。

表 3 不同流量下表面湿润半径与湿润时间回归关系表

		$\frac{Q}{L \cdot h^{-1}}$	a	b	R			$\frac{Q}{L \cdot h^{-1}}$	a	b	R
粉 质 黏 土	3	6.104	0.294	0.971	重	5	3.088	0.397	0.973		
	5	3.881	0.415	0.993	粉	8	2.789	0.464	0.963		
	7.5	8.768	0.227	0.972	质	10	5.969	0.338	0.953		
	10	7.073	0.324	0.979	壤	15	4.873	0.399	0.925		
					土						

(1) 式适用条件为流量 1. 0~20 L/h, 灌水量 10~100 L, 即滴灌时不产生地面径流, 对粉质黏土, 各种流量情况下, $R_{\max} = 45$ cm, 对重粉质壤土, $R_{\max} = 35$ cm。现将同一质地不同流量(3 L/h、10 L/h) 以及不同质地同一流量($Q = 5$ L/h) 的水平扩散半径。与扩散时间关系绘出作比较。

从图 1 中可以看出, 对同一土壤来说, 流量越大, 湿润直径越大, 主要原因是, 滴头流量越大, 滴头附近的积水区域越大, 因而表面扩散面越大。对不同土壤来说, 土壤中黏粒含量越多, 表面湿润面越大,

主要原因是, 土壤中的黏粒含量越多, 土颗粒对水的吸引力越大, 垂直入渗水分由于受到结合水膜的阻止, 下渗缓慢, 而水平向的扩散增强。根据公式(1) 可以计算在各种流量下, 灌溉一定时间后, 表面湿润直径的大小。

2. 3 湿润峰垂直扩散深度与时间关系拟合

从湿润线图上可以量出水分扩散时间与相应的扩散深度, 将其利用指数模型、对数模型、多项式模型进行回归分析, 以指数模型相关系数最高。

$$H = kT^x$$

(2)

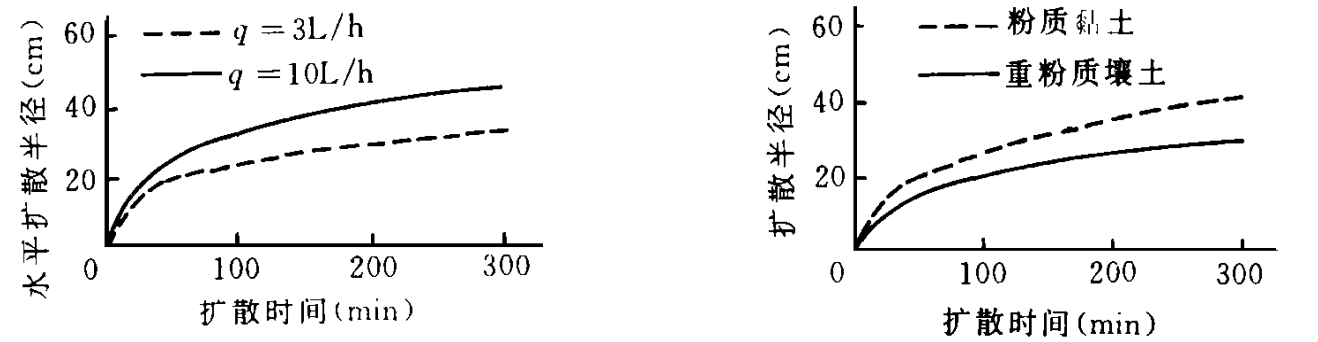


图 1 水平扩散半径与时间关系图

表 4 不同流量下湿润深度与湿润时间回归关系表

土壤	$Q/$ $L \cdot h^{-1}$	k	x	r	土壤	$Q/$ $L \cdot h^{-1}$	k	x	r
粉质黏土	3	1.943	0.563	0.933	重粉质壤土	5	2.463	0.597	0.983
	5	4.736	0.457	0.995		8	2.836	0.634	0.981
	7.5	5.154	0.452	0.981		10	2.972	0.632	0.979
	10	9.182	0.412	0.978		15	4.086	0.589	0.966

(2) 式适用条件: 流量 1.0 ~ 20 L/h; 灌水量 10 ~ 100 L, 即滴灌时不产生地面径流, 垂直扩散深度没有极限值, 随着灌溉时间的增加而增加。现将同一

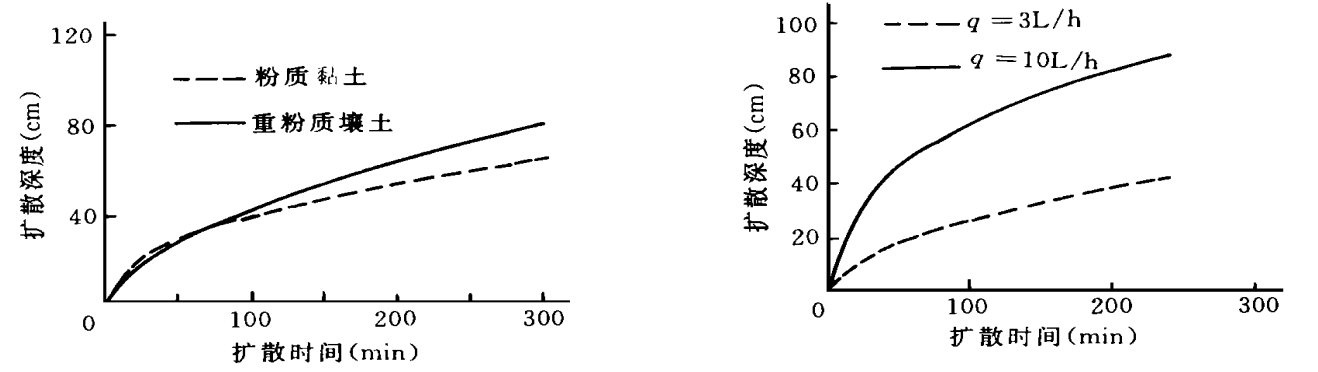


图 2 湿润深度与扩散时间关系图

从图(2)可能看出, 对于同一质地的土壤来说, 流量越大, 下渗速度越快。对不同土质(粉质黏土、重粉质壤土)来说, 扩散开始的 60 min 以内, 扩散速度基本相同, 造成这一现象的原因尚待进一步研究, 然后重粉质壤土的扩散速度明显增大, 说明土壤中砂土的颗粒含量越高, 垂直下渗速度越快。

2.4 不同根系深度作物滴灌设计参数的确定

滴灌设计参数的确定必须考虑一系列因素, 作物特性、土壤性质、农业技术及灌溉制度等, 下面仅以作物根系深度、土壤性质为主确定滴灌设计的参数。

目前, 滴灌系统主要应用于瓜果蔬菜等利润较

高、又需要精耕细作的作物中, 而在大田作物(小麦、玉米、棉花)、饲料作物中, 由于利润较低、耕作已高度机械化, 作物完全覆盖地面, 采用昂贵的滴灌设备是不合算的, 因此应用很少。

对于浅根系(深度小于 50 cm)作物, 如甘蓝、草莓、花卉、幼龄果树等。根据公式 $H = kT^x$, 可以计算当 $H = 50$ cm 时, 不同流量下的滴灌历时, 然后根据公式 $R = aT^b$, 计算出 R , 滴头最大间距应等于湿润带直径 $2R$, 这样就能够确定滴头流量 q 、滴头间距 $2R$ 、滴灌历时 T 等设计参数。在粉质黏土中, 滴头流量 q 以 3 L/h 为宜, 滴灌历时 T 为 5 h, 滴头间距 $2R$ 为 65 cm。在两种土壤中, 滴头流量不宜超过 8 L/h,

否则,达到计划湿润深度要求的滴灌历时很短,相应的滴头间距很小,因而滴头数目多,加大工程投资。

对于中深根系(深度小于 100 cm)作物,如西红柿、辣椒、茄子、马铃薯、黄瓜、南瓜、成龄果树等,取 $H = 100\text{ cm}$ 。同理,可以计算出不同土质下的滴头间距、滴头流量、滴灌历时。在粉质黏土中,滴头流量 Q 以 7.5 L/h 为宜,滴灌历时 T 为 11 h ,滴头间距 $2R$ 为 90 cm ,在重粉质壤土中,滴头流量 Q 以 5 L/h 为宜,滴灌历时 T 为 7 h ,滴头间距 $2R$ 为 70 cm 。土壤越黏重,在特定流量下,达到计划湿润深度要求的滴灌历时越长,选择的流量应较大。

对于深根系(深度大于 100 cm)作物,滴灌设计

参数一般由灌溉制度决定,因为在一般情况下,滴灌以“少灌勤灌”为原则,对深根系作物不会造成深层渗漏,所以可以不考虑湿润情况。

3 小 结

通过对不同土壤滴灌湿润峰的测量,分析了滴灌湿润峰随时间变化的规律,指数模型最接近实测数据,拟合程度最好。依据模型拟合结果,结合作物灌溉制度,根据根系深度,在滴灌设计中可合理选择滴头间距、滴头流量、滴灌历时、满足作物需水,提高水的利用率和利用效率。

参考文献

- 1 杨苏龙等.滴(渗)灌土壤水分移动规律研究初报[J].山西农业科技,1997,25(1):47~50
- 2 仵峰等.地下滴灌条件下土壤水分运动模型[J].灌溉排水,1996,25(1):47~50
- 3 吕谋超.地下和地表滴灌土壤水分运动的室内试验研究[J].灌溉排水,1996,15(1):42~45
- 4 陈渠昌.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):28~30

(上接第 58 页)

(2) 在干旱、半干旱地区的水地或旱地,地膜小麦的节水、抗旱、高产、高效益愈明显;地膜小麦有一定的抑盐保苗效果,在轻度盐碱地上也可推广应用。

(3) 高肥水和适期播种的麦田,地膜覆盖麦苗旺长,中期脱肥,后期病虫害严重,这类麦田,不但增大了群体,还增加了株高,容易引起倒伏,因此,地膜覆盖应结合化调技术应用;在水利条件较差、保浇次数少的麦田,如能施足肥料,增产效果更好,对晚茬麦田和水利条件差的麦田地膜覆盖栽培,更能发挥

增产优势。

(4) 地膜小麦不仅是解决我国北方水源不足,又能争取一年两熟或两年三熟,使小麦和其后茬作物进一步增产的有效办法,而且能在条件较差的麦田防止和避免一些自然灾害,使小麦大幅度增产。但目前推广面积有限,还存在一些有待解决的问题:适宜配套品种,周年覆膜的农机具改进完善,以提高覆膜质量;地膜小麦栽培的技术配套研究,如施肥、播量、播期问题等尚需进一步试验研究。

参考文献

- 1 胡小平,刘义才.地膜小麦高产栽培技术[M].西安:陕西人民教育出版社,1998
- 2 樊廷录,王勇,王立明等.旱地冬小麦周年地膜覆盖的增产机理及关键技术研究[J].干旱地区农业研究,1992,(2)
- 3 黄明镜,晋凡生,池宝亮等.地膜覆盖条件下旱地冬小麦的耗水特征[J].干旱地区农业研究,1999,(2)
- 4 赵聚宝,李克煌主编.干旱与农业[M].北京:中国农业出版社,1993
- 5 卢良恕主编.中国小麦栽培研究新进展[M].北京:中国农业出版社,1994
- 6 王勇,樊廷录,王立明.旱源冬小麦周年覆膜穴播栽培技术研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(1)
- 7 王勇,樊廷录,崔明九.旱源地膜冬小麦增产机理研究初报[J].西北农业学报,1998,7(4)
- 8 王耀林主编.地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:中国农业出版社,1988
- 9 侯保俊,王秀琴,李恒胜.大同地区春小麦全生育期地膜覆盖技术的试验与推广[J].麦类作物,1999,19(3)
- 10 许宣编著.旱地农业覆盖栽培技术[M].北京:农业出版社,1989
- 11 普宗朝,董海虎,宋水华等.吐鲁番市地膜春小麦高产节水栽培技术的研究[J].干旱地区农业研究,1999(2)
- 12 李守谦,兰念军.中国小麦栽培研究新进展[M].北京:农业出版社,1995
- 13 冷石林,韩任峰等.中国北方旱地作物节水增产理论与技术[M].北京:中国农业科技出版社,1996
- 14 冯百利,张保军等.小麦地膜覆盖栽培技术研究现状与前景展望[J].麦类作物,1998(4)