

下衬阻水板宽度对地下滴灌土壤水分运移的影响

孙浩^{1,2}, 黄修桥^{1,2*}, 韩启彪^{1,2}, 李浩^{1,2}, 陈震^{1,2}, 孙秀路^{1,2}

(1. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002;

2. 河南省节水农业重点实验室, 河南 新乡 453002)

摘要: 【目的】提高深埋地下滴灌在作物生长初期的水分供应能力, 降低其深层渗漏风险。【方法】设置无阻水板、下衬 7.8 cm 阻水板及 9.4 cm 阻水板的点源地下滴灌土壤槽试验, 测定下衬阻水板宽度对地下滴灌土壤湿润锋运移和土壤水分分布的影响程度。【结果】下衬阻水板不影响地下滴灌土壤湿润锋形状, 仍近似于扁椭圆形, 但改变了地下滴灌土壤湿润模式: 下衬阻水板对地下滴灌土壤水分水平方向运移距离影响不大, 但明显增加了土壤水分垂直向上运移距离, 减小了土壤水分垂直向下运移距离, 使得地下滴灌土壤湿润体整体向上层迁移, 阻水板越宽, 土壤湿润体向上层迁移的越明显。下衬阻水板可以调整土壤湿润体内的土壤水分分布, 随着下衬阻水板宽度的增大, 浅层(0~10 cm 土层)土壤含水率增大, 而深层(50~60 cm 土层)土壤含水率减小。【结论】下衬阻水板可以促进地下滴灌土壤湿润体及水分向上层土壤集中, 有利于保障作物生长初期的水分供应。

关键词: 地下滴灌; 阻水板; 土壤湿润锋; 土壤水分分布

中图分类号: S275.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20190088

孙浩, 黄修桥, 韩启彪, 等. 下衬阻水板宽度对地下滴灌土壤水分运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2): 64-71.

SUN Hao, HUANG Xiuqiao, HAN Qibiao, et al. Effect of underlying water-blocking plate width on soil moisture movement under subsurface drip irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 64-71.

0 引言

地下滴灌可以直接将水和肥料施入到作物根区, 具有地表无效蒸发小, 水、肥利用率高, 不影响耕作, 地表杂草少等诸多优点^[1], 已成为温室蔬菜生产中一种重要的节水灌溉方式^[2]。众多研究表明, 采用地下滴(渗)灌后, 不仅节水效果明显^[3-4], 而且提高蔬菜产量^[5], 改善蔬菜品质^[6-7]; 另外, 棵间蒸发也大大下降, 能有效控制室内空气湿度, 抑制作物病虫害的发生^[8]。但当地下滴灌灌水器埋深过大(超过 30~40 cm)时, 又面临着作物生长初期水分难以保障及水、肥的深层渗漏等问题。因此, 一些学者提出了通过工程措施^[9-11](即在地下滴灌管(带)下方增设一层阻水材料)的配合来实现地下滴灌土壤水分供应, 市场上也出现了相应的灌溉产品, 如由中国农业大学研发的包膜地下滴灌带^[12]以及澳大利亚 IWT 研发的 KISS^[13]等。在灌水器下面加设阻水材料后, 明显改变了地下滴灌的湿润模式, 使得土壤水分向下运动减

弱, 而土壤湿润峰纵向向上和侧向运移距离增大^[10]。但是, 已有研究中关于阻水材料宽度的结果差别较大, 有仅为 6.5 cm^[12]的, 也有高达 50~60 cm^[9]的, 而且前人研究时都仅仅采用了单一宽度, 没有明确阻水材料宽度对地下滴灌土壤水分运移的影响程度。因此, 有必要开展该方面的研究, 为灌溉设备企业进行产品生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

土槽试验在中国农业科学院新乡综合试验基地(新乡县七里营镇, 35°18'N, 113°54'E)日光温室内进行。供试土壤取自温室内耕作层, 为粉砂壤土(黏粒量(<2 μm) 6.32%, 粉粒量(2~20 μm) 47.39%, 砂粒量(>20 μm) 46.29%, 按国际制土壤分类), 干体质量为 1.43 g/cm³, 饱和含水率 30.03%, 田间持水率 22.56% (均为占干土质量百分比)。土样经自然晾干后过 2 mm 筛, 按 1.43 g/cm³ 分层(单层 10 cm)装入规格为 100 cm (长) × 60 cm (宽) × 90 cm (高) 的玻璃土槽中, 层间打毛, 装土 50 cm 深后, 在横向(长度方向)中线位置沿纵向(宽度方向)安装阻水板及灌水器, 阻水板长度 58 cm, 置于灌水器下方, 而后再分层装土 30 cm。试验装置如图 1 所示, 其中,

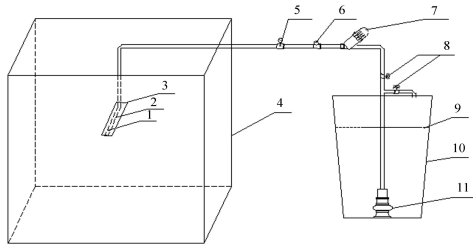
收稿日期: 2019-03-04

基金项目: 中央级科研院所基本科研业务费专项资助项目(FIRI2016-19, FIRI2017-22, FIRI2018-03, FIRI2019-01-01)

作者简介: 孙浩(1980-), 男, 河南南阳人。助理研究员, 主要从事节水灌溉技术与设备研究。E-mail: sunhao@caas.cn

通信作者: 黄修桥(1961-), 男, 湖北汉川人。研究员, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论和水资源高效利用研究。E-mail: huangxq626@126.com

潜水泵流量 $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 18 m , 通过回水阀门调整供水压力为 100 kPa 左右; 过滤器采用 120 目的网式过滤器; 水表采用精度为 0.1 L 的干式冷水表; 压力表采用精度为 0.1 kPa 的数显压力表; 灌水器采用美国雨鸟公司生产的压力补偿式内镶贴片滴灌管, 外径 16 mm , 内径 13.6 mm , 在 $40 \sim 100 \text{ kPa}$ 下的滴头流量为 2.32 L/h , 滴灌管安装长度为 30 cm , 含 1 个灌水器, 受末端堵头安装限制, 灌水器距槽壁 6 cm 。



注 1.灌水器 Emitter; 2.滴灌管 Drip Pipe; 3.阻水板 Water-blocking plate; 4.土槽 Soil-bin; 5.压力表 Pressure gauge; 6.水表 Water meter; 7.过滤器 Filter; 8.闸阀 Valve; 9.水位线 Waterline; 10.水桶 Bucket; 11.潜水泵 Submersible pump

图 1 试验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of test equipment

1.2 试验设计及方法

试验中设计 3 个灌水量, 分别为 5 L 和 15 L (其中 10 L 由温室蔬菜常用的滴灌灌水定额换算而来)。阻水材料采用 PVC 管切割而成的弧形板, 弧口长度分别为 7.8 cm (T1) 和 9.4 cm (T2), 以不衬阻水板 (CK) 为对照, 分别测定其不同灌水量时的土壤湿润锋运移情况。入渗开始后, 按照先密后疏的原则, 定时 (5 min 、 10 min 、 20 min 、 30 min 、 60 min 、 90 min 、 120 min 、.....) 观测土壤湿润锋扩展情况, 同时在玻璃土槽外壁上定时描出不同时刻所对应的湿润锋形状。土壤水分再分布 24 h 左右后, 用土钻取样 (各方向间距 10 cm , 阻水板下方的土层取土是在上层 30 cm 内土层取完土样后整体挖出, 移除阻水板后进行), 并用烘干法测定土壤质量含水率。每个灌水量重复 3 次, 采用平均值作为分析计算结果, 利用 Excel 2007 进行数据分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 灌水量对地下滴灌土壤湿润锋运移的影响

灌水量是影响滴灌土壤湿润范围的重要因素之一, 对地下滴灌同样如此^[14]。图 2 为 CK、T1 (T2 与之类似, 不再列出) 在灌水量分别为 5 L 、 10 L 、 15 L 时的土壤湿润锋运移过程图 (单侧)。从图 2 可以发现, 每个处理任时刻的土壤湿润锋形状都近似于扁椭圆形, 只是在径长上有所差别。无阻水板条件下,

随着入渗水量的增加, 土壤湿润锋水平方向和垂直方向 (向上、向下) 的运移距离都在增加, 初期运移速度较快, 但是随着时间的进行, 湿润锋水平方向运移的速度在逐渐地变缓, 垂直向下方向的湿润锋运移速度要大于垂直向上方向。这是由于, 在同一个条件下, 控制土壤水分运动的土水势主要是基质势和重力势。灌水初始阶段, 土壤较为干燥, 以基质势为主, 且基质势在各个方向基本相等, 因此水就在各个方向上均匀流动 (包括向上流动)。随着入渗水量的增加, 灌水器附件的土壤趋于饱和, 基质势基本为零, 重力势占据主导作用, 从而使水分向下流动, 故而图 2(a)、图 2(c)、图 2(e) 中 3 个灌水量下灌水结束时的土壤湿润锋向下运移距离都比向上运移距离大。但是在有阻水板条件下, 初始阶段的水分只能向水平方向和上方扩散, 只有当水分运移距离超过阻水板边界后才会有向下的水分扩散。因此, T1 处理 (图 2(b)、图 2(d)、图 2(f)) 表现为各个时刻的土壤湿润锋水平运移距离和垂直向上运移距离都远大于垂直向下运移距离。另外, 还可发现, 灌水量为 5 L 时, T1 处理在灌水结束时的土壤湿润锋垂直向上运移距离比垂直向下运移距离多达 7 cm , 而灌水量为 10 L 和 15 L 时, 灌水结束时的土壤湿润锋垂直向上运移距离与垂直向下运移距离之差仅为 4 cm 左右, 说明灌水量较多时重力势可以削弱阻水板对土壤水分运移的调控能力。这也可能与阻水板宽度较小有关, 因为从图 2 中可以看出, 在土壤水分入渗开始后的 5 min 内, 土壤水分运移距离已超出阻水板的控制范围, 使得重力势早早发挥作用, 其发挥作用时间随灌水时间的延长而增大。

2.2 阻水板宽度对地下滴灌土壤水分运移距离的影响

在相同灌水量条件下, CK、T1、T2 处理的土壤湿润锋运移距离 (水平方向、垂直向上、垂直向下) 与入渗时间的对应关系如图 3 所示。灌水量为 5 L 时, 下衬阻水板对土壤湿润锋水平方向运移距离影响不大, 2 种下衬阻水板处理在初始阶段的土壤湿润锋水平运移距离仅比无阻水板处理略大, 后期基本一致。但添加阻水板后, 对土壤湿润锋垂向运移距离影响较大, 2 种下衬阻水板处理都增加了土壤湿润锋垂直向上运移距离, 而减小了土壤湿润锋垂直向下运移距离, 但总的土壤湿润深度与无阻水板处理相比, 差别基本在 1 cm 之内。这说明下衬阻水板后, 改变了地下滴灌的土壤湿润模式, 使土壤湿润体整体向上层迁移, 但 2 种阻水板宽度处理之间的差别不甚明显。灌水量为 10 L 和 15 L 时, 2 种下衬阻水板处理在初始阶段的土壤湿润锋水平方向运移速度较快, 运移距离接近无阻水板处理的 2 倍, 但 30 min 后差距逐渐减小, 到停止灌水时已基本无甚大的差别。而土壤湿润锋垂

向运移情况与灌水量为 5 L 时类似, 下衬阻水板后改变了土壤水分运移方向, 使土壤湿润层向上层迁移, 使得该 2 种灌水量下的土壤都湿润到了地表。

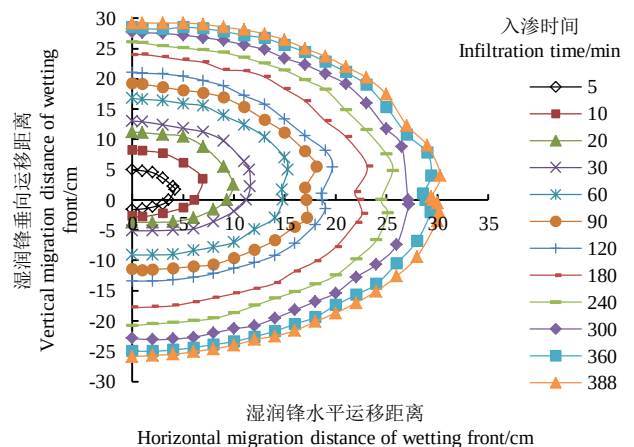
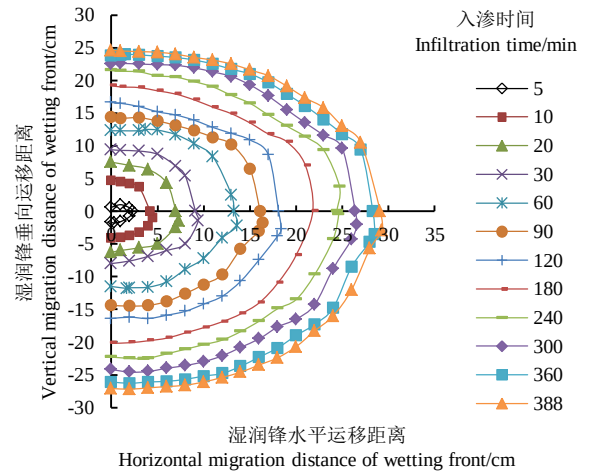
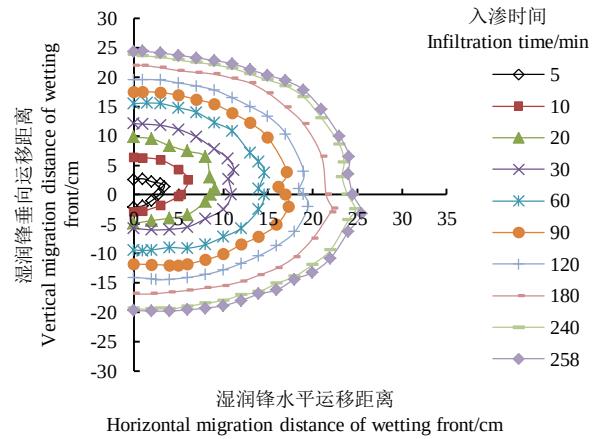
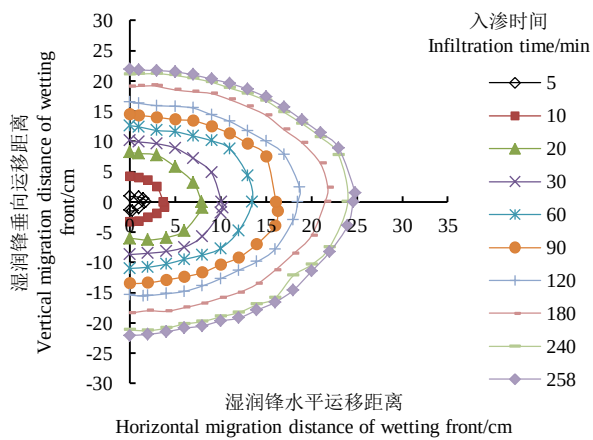
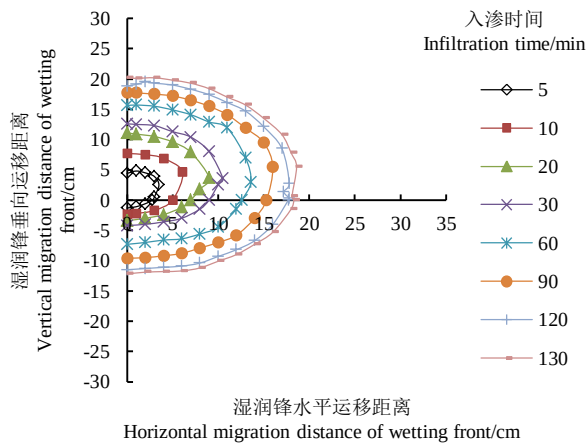
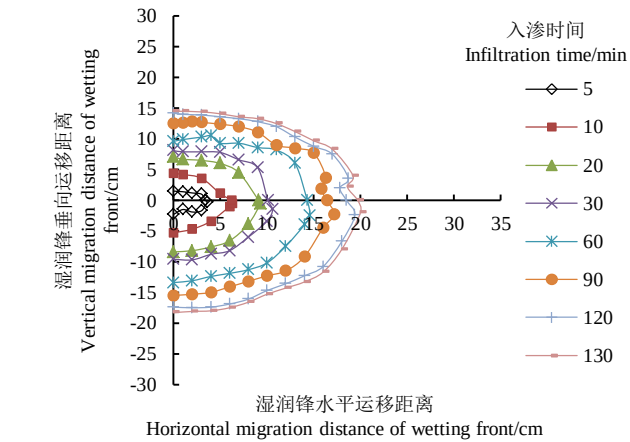
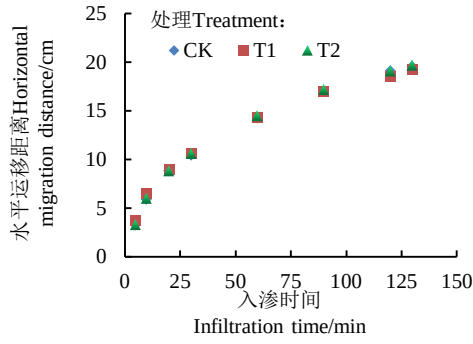


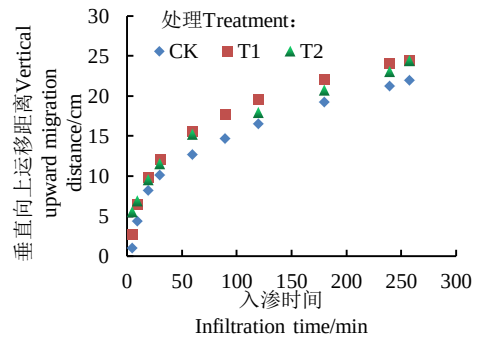
图 2 不同灌水量下的地下滴灌土壤湿润锋运移过程

Fig.2 The migration process of soil wetting front in subsurface drip irrigation under different irrigation amounts



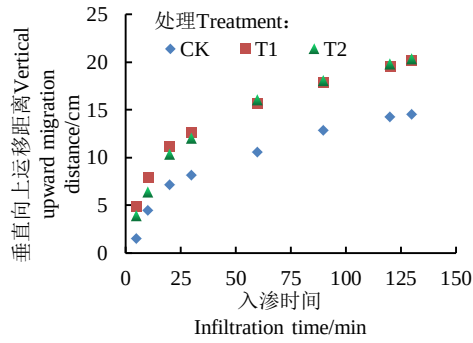
(a) 灌水量 5 L 水平运移距离

(a) Horizontal migration distance Irrigation amount 5 L



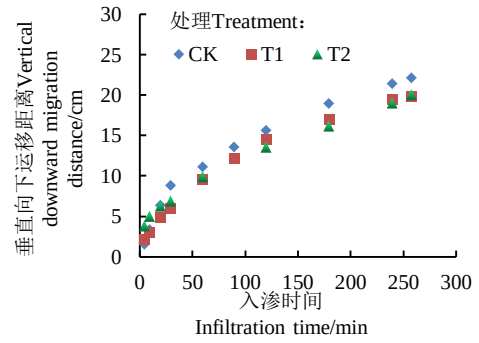
(e) 灌水量 10 L 垂直向上运移距离

(e) Vertical upward migration distance Irrigation amount 10 L



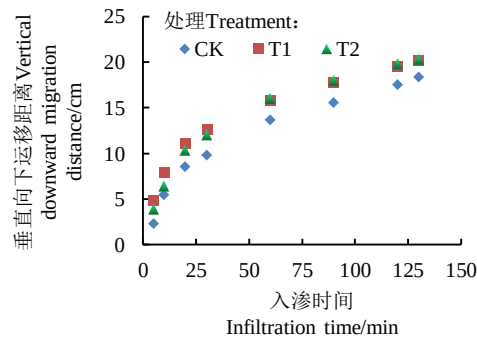
(b) 灌水量 5 L 垂直向上运移距离

(b) Vertical upward migration distance Irrigation amount 5 L



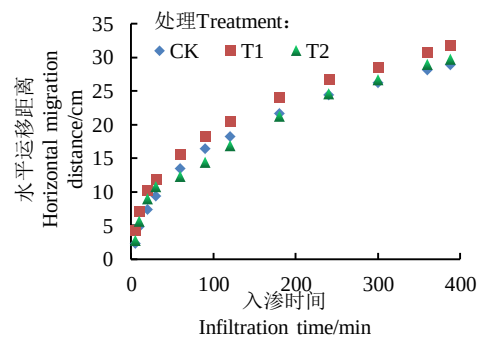
(f) 灌水量 10 L 垂直向下运移距离

(f) Vertical downward migration distance Irrigation amount 10 L



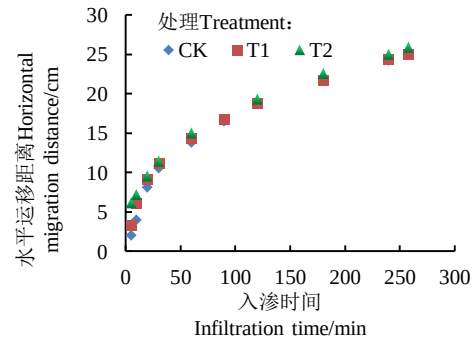
(c) 灌水量 5 L 垂直向下运移距离

(c) Vertical downward migration distance Irrigation amount 5 L



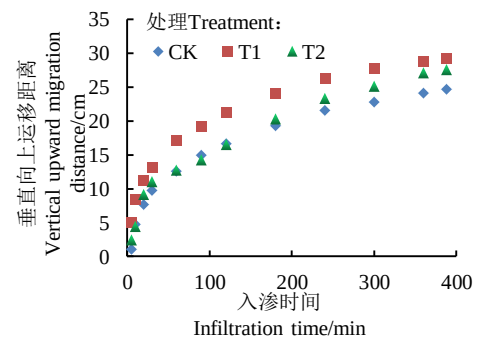
(g) 灌水量 15 L 水平运移距离

(g) Horizontal migration distance Irrigation amount 15 L



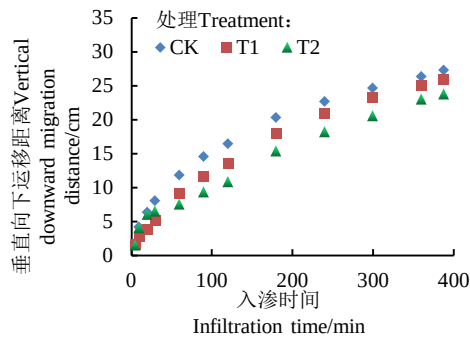
(d) 灌水量 10 L 水平运移距离

(d) Horizontal migration distance Irrigation amount 10 L



(h) 灌水量 15 L 垂直向上运移距离

(h) Vertical upward migration distance Irrigation amount 15 L



(i) 灌水量 15 L 垂直向下运移距离

(i) Vertical downward migration distance Irrigation amount 15 L

图 3 阻水板宽度对地下滴灌土壤湿润锋运移范围的影响

Fig.3 Effect of water-blocking plate width on the migration range of soil wetting front under subsurface drip irrigation

另外, 通过对比各处理不同灌水量下的土壤湿润锋水平运移距离及垂向运移距离与入渗时间的关系,

表 1 地下滴灌土壤湿润锋运移距离与入渗时间的幂函数关系

Table 1 The power function relationship between the migration distance of soil wetting front and infiltration time under subsurface drip irrigation

处理 Treatments	灌水量 Irrigation amount 5 L			灌水量 Irrigation amount 10 L			灌水量 Irrigation amount 15 L		
	α	β	R^2	α	β	R^2	α	β	R^2
水平方向 Horizontal direction	1.619 7	0.525 0	0.979 1	1.036 4	0.600 0	0.948 7	1.284 3	0.541 2	0.972 5
CK 垂直向上 Vertically upward	0.859 1	0.608 7	0.908 5	0.765 6	0.642 8	0.860 0	0.905 6	0.589 4	0.867 1
垂直向下 Vertically downward	1.237 3	0.572 8	0.944 0	0.773 6	0.627 2	0.956 4	0.997 9	0.573 7	0.973 7
水平方向 Horizontal direction	1.984 0	0.476 9	0.984 3	1.928 5	0.474 5	0.972 9	2.498 6	0.434 1	0.986 7
T1 垂直向上 Vertically upward	2.894 6	0.409 1	0.969 5	1.844 5	0.490 6	0.925 5	3.362 0	0.376 1	0.975 3
垂直向下 Vertically downward	0.511 0	0.649 4	0.998 8	0.829 7	0.583 5	0.996 4	0.590 1	0.646 6	0.995 5
水平方向 Horizontal direction	1.652 3	0.522 5	0.978 8	3.165 6	0.376 9	0.997 7	1.671 5	0.489 5	0.969 2
T2 垂直向上 Vertically upward	2.047 1	0.485 2	0.971 3	3.074 3	0.372 3	0.994 4	1.481 0	0.505 4	0.950 7
垂直向下 Vertically downward	0.763 1	0.585 5	0.994 5	1.817 9	0.421 6	0.992 6	0.878 0	0.550 7	0.957 2

由表 1、表 2 可知, 在一定的灌水量和土壤条件下, 地下滴灌土壤湿润锋运移距离与入渗时间呈现良好的数学关系, 因此可以通过灌水量时间来预测土壤湿润锋的运移距离。另外, 通过对比表 1、表 2 相关参数可以发现, 土壤湿润锋水平运移距离与入渗时间用幂函数关系表达与用对数函数关系表达时的决定系数 R^2 差别不大; 土壤湿润锋垂直向上运移距离与入

可知各处理的土壤湿润锋运移距离(水平方向、垂直向上、垂直向下)与入渗时间都呈很好的幂函数关系或对数函数关系, 可用式(1)或式(2)表示, 与前人研究结果^[15-17]一致。

$$D = \alpha \cdot t^\beta, \quad (1)$$

或

$$D = A \ln(t) - B, \quad (2)$$

式中: D 为土壤湿润锋运移距离(水平方向、垂直向上、垂直向下)(cm); t 为入渗时间, $t > 0$ (min); α 、 β 分别为入渗系数和入渗指数; A 、 B 为拟合参数。

各处理不同灌水量条件下, 土壤湿润锋运移距离(水平方向、垂直向上、垂直向下)与入渗时间用幂函数关系表示时的入渗系数和入渗指数如表 1 所示。各处理不同灌水量条件下, 土壤湿润锋运移距离(水平向、垂向向上、垂向向下)与入渗时间用对数函数关系表示时的拟合参数如表 2 所示。

渗时间之间的对数函数关系优于幂函数关系, 而土壤湿润锋垂直向下运移距离与入渗时间之间的关系用幂函数关系表达更佳。下衬阻水板后仍然呈现这种规律, 但改变了函数关系的拟合参数, 而且水平方向拟合参数的变化幅度要小于垂直方向。以对数函数关系为例, 垂直向上方向的拟合参数 A 随着下衬阻水板宽度的增大而增大, 而垂直向下方向的拟合参数 A 随着

下衬阻水板宽度的增大有减小趋势,也说明了下衬阻水板对地下滴灌土壤水分运移的影响趋势,即使得土壤湿润体整体向上层迁移。

2.3 阻水板宽度对地下滴灌土壤水分分布的影响

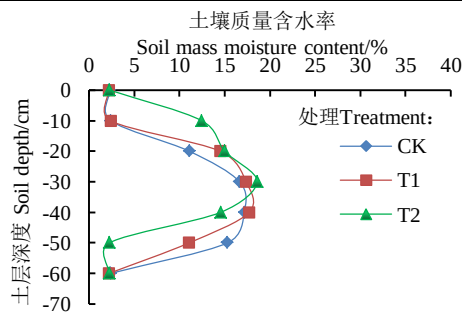
图 4 为各处理在土壤水分再分布 24 h 左右后的灌水器位置垂直方向和水平方向的土壤含水率分布图。垂直方向,从图 4 (a)、图 4 (b)、图 4 (c) 中可以发现,随着下衬阻水板宽度的增大,浅层(0~10 cm 土层)土壤含水率增大,而深层(50~60 cm 土层)土壤含水率减小,说明下衬阻水板可以促进土壤水分向上层土壤运移,而且呈现出阻水板宽度越大,

上层土壤含水率越高的趋势。水平方向,在灌水量为 5 L (图 4 (d)) 时,下衬阻水板虽然未能明显增大土壤湿润锋水平方向运移距离(图 3 (a)),但却增大了距灌水器 20 cm 处的土壤含水率;灌水量为 10 L (图 4 (e)) 时,下衬阻水板增大了灌水器位置水平方向的土壤含水率;而灌水量为 15 L (图 4 (f)) 时,由于下衬阻水板增大了土壤湿润锋水平运移距离(图 3 (g)),使得距灌水器 20 cm 内的土壤含水率变化不明显。总之,下衬阻水板可以调整土壤湿润体内的土壤水分分布,使得土壤水分集中于灌水器附近及其上层土壤,将会更有利于保障作物水分供应。

表 2 地下滴灌土壤湿润锋运移距离与入渗时间的对数函数关系

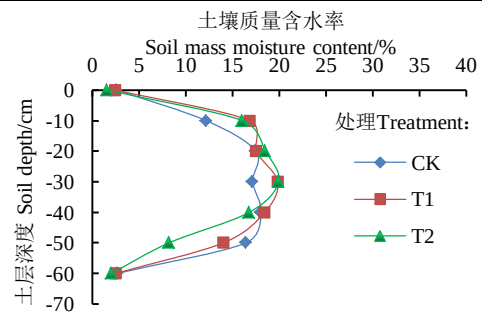
Table 2 The logarithmic function relationship between the migration distance of soil wetting front and infiltration time under subsurface drip irrigation

	处理	灌水量 Irrigation amount 5 L			灌水量 Irrigation amount 10 L			灌水量 Irrigation amount 15 L		
	Treatments	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²
CK	水平方向 Horizontal direction	5.071 5	5.853 9	0.986 8	5.937 5	9.275 8	0.985 9	6.295 7	10.528 0	0.973 4
	垂直向上 Vertically upward	3.912 0	4.827 3	0.994 3	5.150 8	7.600 3	0.992 3	5.382 4	8.369 1	0.991 8
	垂直向下 Vertically downward	4.817 8	5.836 0	0.993 7	5.268 1	8.778 6	0.971 2	6.018 4	10.720 0	0.964 0
T1	水平方向 Horizontal direction	4.790 6	4.757 5	0.987 7	5.480 3	6.840 9	0.982 8	6.362 9	8.452 6	0.971 6
	垂直向上 Vertically upward	4.630 8	2.830 9	0.997 1	5.470 9	6.388 4	0.997 8	5.669 5	5.269 6	0.991 8
	垂直向下 Vertically downward	3.369 8	5.479 5	0.925 2	4.767 2	8.199 4	0.945 8	5.936 9	12.326 0	0.919 6
T2	水平方向 Horizontal direction	5.096 1	5.823 2	0.988 4	5.215 8	4.768 8	0.962 2	6.125 6	9.634 2	0.937 3
	垂直向上 Vertically upward	5.131 5	4.980 8	0.996 4	4.797 6	3.928 2	0.976 0	5.768 3	8.838 4	0.960 8
	垂直向下 Vertically downward	5.419 9	4.783 3	0.963 6	4.131 0	5.104 5	0.926 3	4.931 5	9.143 1	0.880 7



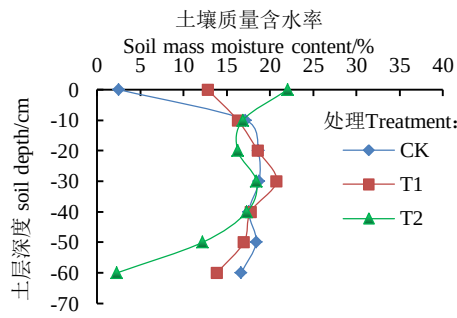
(a) 灌水量 5 L 垂直分布

(a) Vertical distribution Irrigation amount 5 L



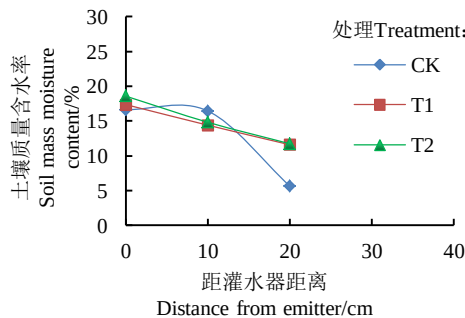
(b) 灌水量 10 L 垂直分布

(b) Vertical distribution Irrigation amount 10 L



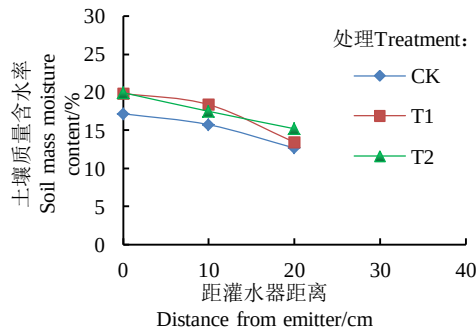
(c) 灌水量 15 L 垂直分布

(c) Vertical distribution Irrigation amount 15 L



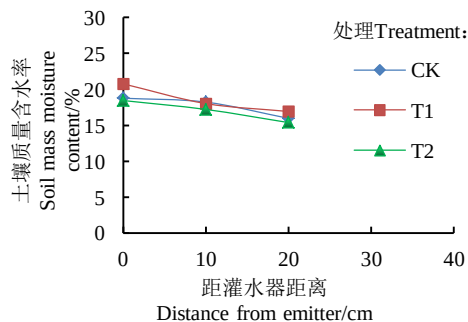
(d) 灌水量 5 L 水平向分布

(d) Horizontal distribution Irrigation amount 5 L



(e) 灌水量 10 L 水平向分布

(e) Horizontal distribution Irrigation amount 10 L



(f) 灌水量 15 L 水平向分布

(f) Horizontal distribution Irrigation amount 15 L

图4 阻水板宽度对地下滴灌土壤水分分布的影响

Fig.4 Effect of water-blocking plate width on soil water distribution under subsurface drip irrigation

3 讨论与结论

1) 下衬阻水板对地下滴灌土壤湿润锋形状没有明显影响, 灌水任一时刻的地下滴灌土壤湿润锋仍近

似于扁椭圆形, 但却改变了地下滴灌土壤湿润模式。下衬阻水板对地下滴灌土壤湿润锋水平方向运移距离影响不大, 但明显增加了土壤湿润锋垂直向上运移距离, 而减小了土壤湿润锋垂直向下运移距离, 使得地下滴灌土壤湿润体整体向上层迁移, 阻水板越宽, 土壤湿润体向上层迁移的越明显。

2) 地下滴灌土壤湿润锋运移距离(水平方向、垂直向上、垂直向下)与入渗时间呈现良好的幂函数或对数函数关系。下衬阻水板后改变了函数关系的拟合参数, 而且水平方向拟合参数的变化幅度要小于垂直方向。

3) 下衬阻水板可以调整土壤湿润体内的土壤水分分布, 使得土壤水分集中于灌水器附近及其上层土壤, 将会更有利于保障作物生长初期的水分供应。

文中仅采用了 2 种下衬阻水板宽度对地下滴灌土壤水分运移的影响进行了初步探索, 但已呈现出一种阻水板越宽、影响程度越大的趋势。但是由于阻水板宽度略窄且差别过小, 使得 2 种宽度处理间的差别不甚明显, 后期有必要增加阻水板宽度及处理间的差距进行进一步的试验验证。

参考文献:

- [1] LAMM F R, AYARS J E, NAKAYAMA F S. Microirrigation for crop production[M]. Elsevier Science Ltd, 2007.
- [2] 张自坤, 刘作新, 张颖, 等. 日光温室黄瓜地下滴灌灌溉制度的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 76-81.
ZHANG Zikun, LIU Zuoxin, ZHANG Ying, et al. Subsurface drip irrigation scheduling of cucumber grown in solar greenhouse[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(6): 76-81.
- [3] 张树森, 雷勤明. 日光温室蔬菜渗灌技术研究[J]. 灌溉排水, 1994, 13(2): 30-33.
ZHANG Shusen, LEI Qinming. Seeping vegetable irrigation effect in sunlight greenhouse[J]. Irrigation and Drainage, 1994, 13(2): 30-32.
- [4] 向东, 潘晓勇, 刘兆民, 等. 不同灌溉方式对大棚西红柿产量和品质的影响[J]. 中国农村水利水电, 2006 (5): 30-33.
XIANG Dong, PAN Xiaoyong, LIU Zhaomin, et al. Influences of Different Irrigation Methods on the Production and Quality of Green House Tomato[J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(5): 30-33.
- [5] SUBBARAO K V, HUBBARD J C, SCHULBACH K F. Comparison of Lettuce Diseases and Yield Under Subsurface Drip and Furrow Irrigation[J]. Phytopathology, 1997, 87(8): 877-883.
- [6] AYARS J E, PHENE C J, HUTMACHER R B, et al. Subsurface drip irrigation of row crop: a review of 15 years of research at water management research laboratory[J]. Agricultural Water Management, 1999, 42: 1-27.
- [7] 王燕, 蔡焕杰, 陈新明, 等. 根区局部控水无压地下灌溉对番茄生理特性及产量、品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 322-329.
WANG Yan, CAI Huanjie, CHEN Xinming, et al. Effects of crop

- rootzone non-pressure sub-irrigation on tomato physiological characteristics, yield and quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(2): 322-329.
- [8] 刘作新, 杜尧东, 王建. 日光温室渗灌效果研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 409-412.
- LIU Zuoxin, DU Yaodong, WANG Jian. Seeping irrigation effect in sunlight greenhouse[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4): 409-412.
- [9] BARTH H K. Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system (SIS)[J]. *Agricultural Water Management*, 1999, 283-290.
- [10] 王伟, 李光永, 段中锁, 等. 利用工程措施改变地下滴灌土壤湿润模式的试验研究[J]. *节水灌溉*, 2000(3): 22-24.
- WANG Wei, LI Guangyong, DUAN Zhongsuo, et al. Experimental study on modifying wetting patterns of subsurface drip irrigation through engineering measures[J]. *Water Saving Irrigation*, 2000(3): 22-24.
- [11] ZIN EL-ABEDIN T K, MATTAR M A, ALAZBA A A. Soil Wetting Pattern from Subsurface Drip Irrigation as Affected by Application of a Polyacrylamide Layer[J]. *Irrigation and Drainage*, 2015, 64(5): 609-618.
- [12] 李光永, 陈圣玉, 沈忱, 等. 一种包膜式滴灌管/带生产方法及设备: 中国, 201310011477.5[P]. 2013-04-03.
- LI Guangyong, CHEN Shengyu, SHEN Chen, et al. The invention relates to an enveloped drip irrigation pipe/strip production method and equipment: Chinese, 201310011477.5[P]. 2013-04-03.
- [13] KISS Irrigation Technology. [Http://www.kiss.com.au/](http://www.kiss.com.au/)
- [14] 李光永, 曾德超, 段中锁, 等. 地理点源滴灌土壤水分运动规律的研究[J]. *农业工程学报*, 1996, 12(3): 66-71.
- LI Guangyong, ZENG Dechao, DUAN Zhongsuo, et al. Research for soil water movement from a buried trickle source[J]. *Transactions of the CSAE*, 1996, 12(3): 66-71.
- [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.
- ZHANG Zhenhua, CAI Huanjie, YANG Runya. An empirical solution of characteristic values of wetted solum under surface drip irrigation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(6): 870-875.
- [16] 王超, 李援农. 地下滴灌土壤水分运移分布规律试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(1): 136-138.
- WANG Chao, LI Yuannong. Laboratory Experimental Study on Soil-water Movement of Subsurface Drip Irrigation [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(1): 136-138.
- [17] 王炳尧, 韦伟, 刘立超, 等. 直插式地下滴灌土壤湿润体特征值变化规律及灌溉效果分析[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(4): 1-10.
- WANG Bingyao, WEI Wei, LIU Lichao, et al. Water Movement and Its Potential for Uptake by Roots under Plug-in Subsurface Drip Irrigation[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(4): 1-10.

Effect of Underlying Water-blocking Plate Width on Soil Moisture Movement under Subsurface Drip Irrigation

SUN Hao^{1,2}, HUANG Xiuqiao^{1,2*}, HAN Qibiao^{1,2}, LI Hao^{1,2}, CHEN Zhen^{1,2}, SUN Xiulu^{1,2}

(1. Farmland Irrigation Research Institute, The Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China;

2. Key Laboratory of Water-saving Agriculture of Henan Province, Xinxiang 453002, China)

Abstract: 【Objective】 This study is to improve the water supply capacity of deep buried subsurface drip irrigation in the early stage of crop growth, and reduce the risk of deep percolation. **【Method】** In this paper, the soil-bin tested under point-source subsurface drip irrigation with three experiment treatments, which were underlying water-blocking plate with 7.8 cm width and 9.4 cm width, and without water-blocking plate. It was to determine the effect of underlying water-blocking plate width on the movement of soil wetting front and soil moisture distribution.

【Result】 The underlying water-blocking plate did not affect the shape of soil wetting front, which was still similar to the flat oval, but it changed the soil wetting pattern. The underlying water-blocking plate had little effect on the horizontal migration distance, but it obviously increased the vertical upward migration distance and reduced the vertical downward migration distance of soil moisture, making the wetted soil volume migrate to the upper layer of soil as a whole, and the wider the water-blocking plate, the more obvious the migration of the wetted soil volume. Meanwhile, the underlying water-blocking plate can adjust the soil moisture distribution in the wetted soil volume. When the underlying water-blocking plate was broadening, the soil moisture content of the shallow soil (0~10 cm) increased, while it was reduced in the deep soil (50~60 cm). **【Conclusion】** The underlying water-blocking plate can promote the wetted soil volume and soil moisture to concentrating on the upper layer of soil under subsurface drip irrigation, which is beneficial to ensure the water supply in the early stage of crop growth.

Key words: subsurface drip irrigation; water-blocking plate; soil wetting front; soil water distribution

责任编辑: 赵宇龙