

单点源入渗土壤水分运移室内试验

陈志豪¹, 李春光², 赵文娟^{1*} (1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 北方民族大学土木工程学院, 宁夏银川 750021)

摘要 通过室内滴灌试验对滴灌情况下土壤中的水分运移情况进行观察和含水率变化测定。结果表明, 在同一滴头流量下, 滴灌所得水平湿润锋 X 与 Y 方向上的运移速率一致, 且水平湿润锋形状呈圆形分布; 在不同滴头流量下, 其水平湿润锋在同一方向上的运移速率随着流量的增加而增大, 灌溉结束后的湿润锋距离也随着流量的增大而增大, 且湿润锋的距离与时间呈幂函数关系; 在垂直方向上, 滴灌入渗深度随着流量的增大而增大, 不同深度土壤的含水率变化前期与时间呈对数函数关系, 随着水分再扩散过程的进行, 含水率整体下降且最终趋于稳定。

关键词 入渗; 滴灌; 湿润锋; 水分运移

中图分类号 S275.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)23-0228-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.23.066



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Indoor Experiment on Water Transport in Soil under Single Point Source Drip Irrigation

CHEN Zhi-hao¹, LI Chun-guang², ZHAO Wen-juan¹ (1. School of Civil Engineering and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. School of Civil Engineering, Northern University for Nationalities, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract Through indoor drip irrigation experiment, the water transport in soil under drip irrigation was directly observed and the water content was measured. The results showed that, under the same dripper discharge, the transport velocity of the horizontal wetting front in the X and Y directions was the same, and the shape of the horizontal wetting front was round. Under different dripper discharge, the transport velocity of the horizontal wetting front in the same direction increased with the increasing of dripper discharge, the distance of wetting front after irrigation also increased with the increasing of dripper discharge, and the distance of wetting front had a power function relationship with the time. In the vertical direction, the infiltration depth of drip irrigation increased with the increasing of flow rate, and the changes of water content at different depths had a logarithmic function relationship with time in the early stage. With the progress of water rediffusion process, the water content decreased and then tended to be stable.

Key words Infiltration; Drop irrigation; Wetting front; Water migration

滴灌技术是目前世界上被普遍认为节水能力最高的一种灌溉技术^[1]。随着滴灌技术在国内的大范围推广, 国内学者对滴灌技术的研究也越来越多, 但大多数学者倾向于理论研究或大田试验研究, 虽有部分学者通过很多滴灌试验, 如陈小三等^[2]通过地下滴灌试验对地理点源滴灌进行直接观察, 并分析了不同流量以及不同时刻湿润锋的运移规律及范围以及水分的再分布等; 李道西等^[3]在室内有机玻璃土箱中进行地表滴灌试验, 结果发现滴灌所形成的湿润锋在很长一段时间内水平湿润锋一直大于垂直湿润锋, 且二者都与时间呈幂函数关系; 李斯^[4]通过室内滴灌试验研究了不同流量和不同田间持水率下土壤湿润体的变化规律^[4]。土壤水分作为在土壤中运移的重要物质及载体, 对土壤水分运移的研究一直是农业水土中至关重要的一部分^[5], 但对滴灌的室内研究仍不能满足各地复杂的条件。该试验的目的就是为了能够与当地复杂的条件相结合, 得出更加符合实际田间情况的数据, 以此来达到节约水肥、降低病虫害、提高作物产量等目的^[6], 实现高效节水灌溉就是在提高社会生产力^[7]。然而, 实现高效节水灌溉还有很长的路要走, 需要很多人共同努力才能实现^[8], 因此对各种流量下滴灌所得湿润体的研究对大田种植有着非常重要的意义。

1 材料与与方法

1.1 试验场地与装置 室内试验场地为宁夏大学土木与水利

工程学院实验楼, 试验所用土样采自宁夏回族自治区银川市北部军马场土壤(盐渍化土壤), 海拔高度 1 114 m, 多年平均降水量为 200 mm, 试验所用容器为 500 mm×500 mm×500 mm 的透明玻璃箱(图 1), 马氏瓶^[9]作为滴灌用水水源(马氏瓶可提供稳定恒压水源), 通过引水管连接恒通量水管(试验采用输液管^[10], 为方便控制精确灌量, 采用医用输液管先进行定量观测固定, 再进行滴灌试验)进行滴灌试验。

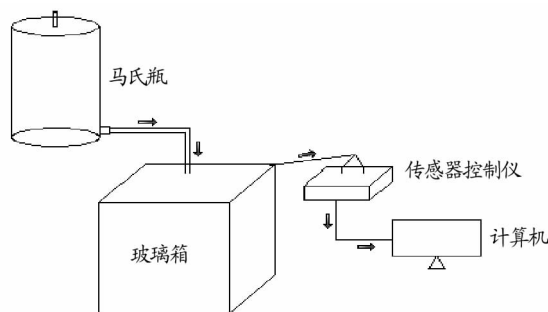


图 1 室内试验装置

Fig. 1 The indoor experiment equipment

1.2 试验设计 滴灌中心定在玻璃箱表面中心, 在中心点下设置 4 个水分监测点, 垂直向下深度依次为 4、8、12、16 cm (图 2), 监测点连接电脑, 采集不同时刻的含水率数据。含水率采集深度的设定与实际大田作物种植有密切关系。

试验所用土样取回后风干, 过 2 mm 筛子, 经粒径分析可知土样为沙壤土, 将土样按容重 1.5 g/cm³ 装箱, 以备滴灌试验使用。试验过程设定 4 个标定流量进行滴灌, 分别为 2、4、6、8 L/h。滴灌过程中按照设定的时间间隔进行观察, 测量水平面不同方向湿润锋的距离, 同时土壤水分传感器每隔

基金项目 宁夏自然科学基金项目(NZ17258)。

作者简介 陈志豪(1995—), 男, 河南叶县人, 硕士研究生, 研究方向: 水文与水资源。* 通信作者, 副教授, 博士, 从事水文与水资源研究。

收稿日期 2019-04-30

30 s 对垂直方向设定点的含水率进行测量, 每种标定流量控制滴灌时间为 30 min。

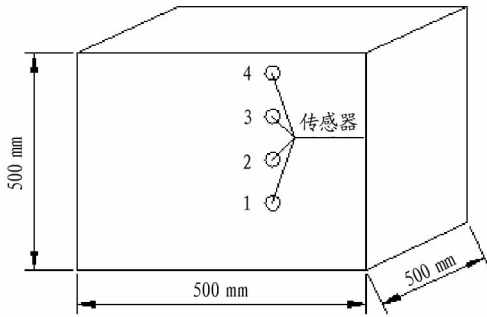
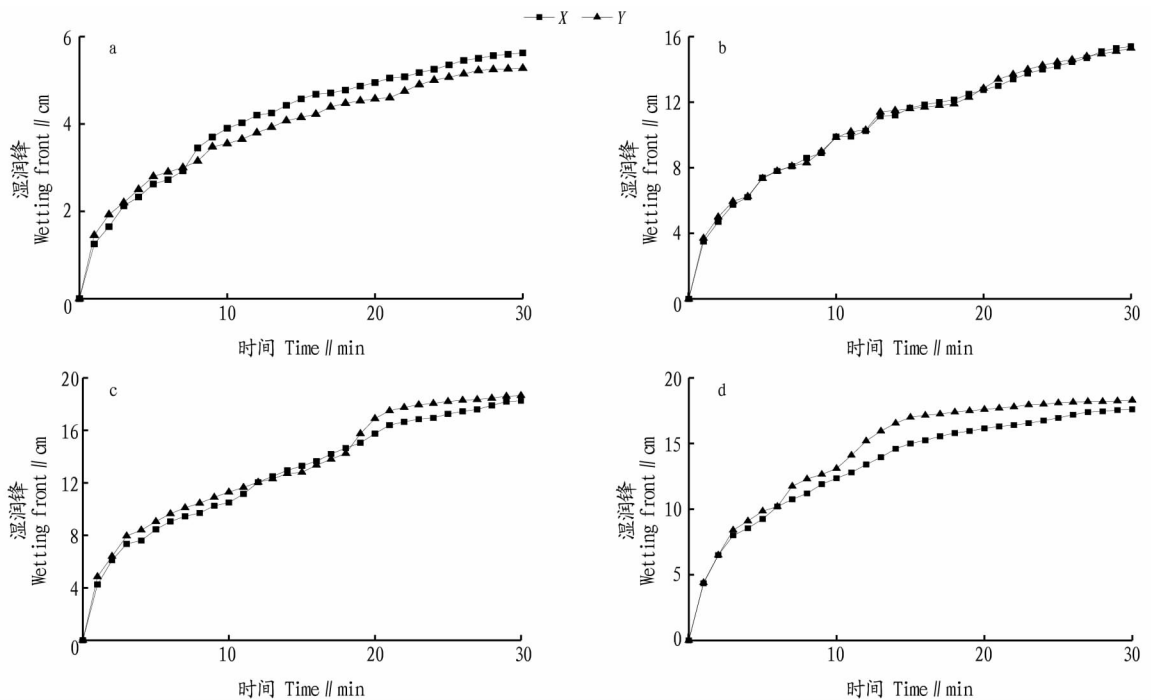


图 2 玻璃箱中传感器示意

Fig. 2 The sensors in the glass box



注: a. 流量为 2 L/h; b. 流量为 4 L/h; c. 流量为 6 L/h; d. 流量为 8 L/h

Note: a. Flow rate of 2 L/h; b. Flow rate of 4 L/h; c. Flow rate of 6 L/h; d. Flow rate of 8 L/h

图 3 不同流量下水平方向湿润锋运移

Fig. 3 Transport of wetting front in horizontal direction at different flow rates

由图 4、5 可知, 在相同滴灌时间, 流量越大的滴头所形成的湿润锋距离越大。在 2 L/h 流量灌溉的情况下, 水平湿润锋距离与其他流量处理相比偏小, 适于种植密度较大的作物 (如大豆、玉米等); 其他较大流量下水平湿润锋距离较大, 则适用于种植密度较小的作物 (如葡萄、枸杞等)。从 X 与 Y 2 个方向上 6 和 8 L/h 流量下湿润锋运移情况来看, 在滴灌 20 min 后湿润锋图形开始出现交叉现象, 即从作物水平湿润锋层面来看, 在对作物进行灌溉时, 使用 6 L/h 的流量对作物进行灌溉较使用流量 8 L/h 对作物进行灌溉更加经济有效。

对湿润锋距离的研究可以对作物进行更加科学的灌溉, 找到不同流量的灌溉湿润锋距离, 结合不同作物的有效灌溉

2 结果与分析

该研究的主要目的是通过试验研究不同流量条件下滴灌的湿润体及含水率, 然后结合不同作物在不同生长期的有效湿润体范围和最佳需水量, 确定不同作物的最佳滴灌流量组合, 以此达到最终的试验目的。

2.1 水平方向湿润锋 通过室内试验得到水平面上 X 与 Y 2 个方向各个标定流量的湿润锋距离 (图 3), 由 4 种不同流量情况下的湿润锋变化曲线可得出, 不同流量下水平面上 X 与 Y 方向的湿润锋随着滴灌时间的增长而逐渐增大, 且 X 与 Y 方向的湿润锋变化趋势大致相同, 即水平截面的湿润锋形状可近似看作圆形, 但湿润锋增长的速率随着时间的增大却在逐渐减小, 最后大致趋于零, 即水平方向湿润锋趋于稳定。

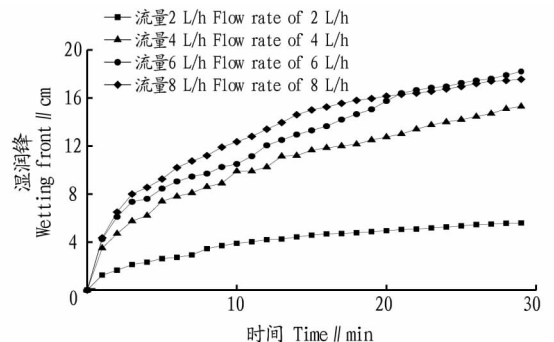


图 4 水平截面 X 方向湿润锋

Fig. 4 The wetting front in the X direction on a horizontal section

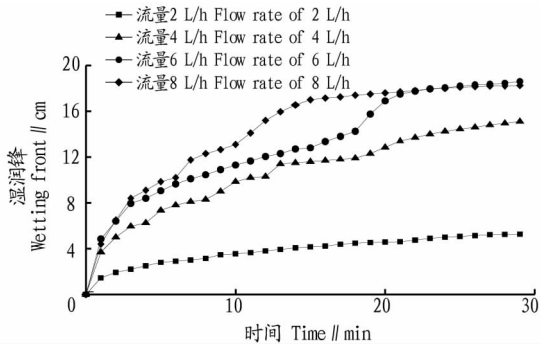
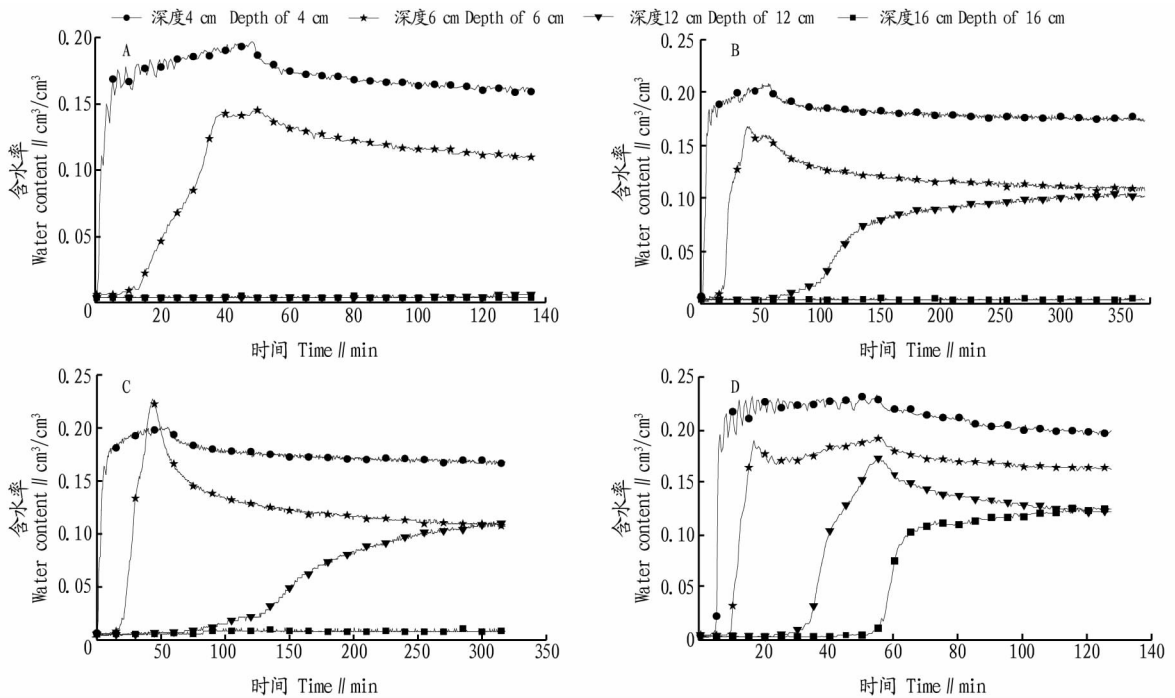


图5 水平截面Y方向湿润锋

Fig.5 The wetting front in the Y direction on a horizontal section



注:A. 流量为 2 L/h;B. 流量为 4 L/h;C. 流量为 6 L/h;D. 流量为 8 L/h

Note: A. Flow rate of 2 L/h; B. Flow rate of 4 L/h; C. Flow rate of 6 L/h; D. Flow rate of 8 L/h

图6 不同流量下含水率的变化

Fig.6 The changes of water content at different flow rates

如图6B所示,在4 L/h的滴灌流量下,16 cm深度处没有发现含水率变化是因为流量太小,水分在垂直方向运移较浅。从8 cm和4 cm深度处含水率的变化趋势来看,曲线在40 min左右开始水分重新分布(滴灌时间为30 min,综合中途对水平湿润锋的观测拍照等的因素影响,最终在传感器数据上表现时间为40 min),含水率略有降低后趋于稳定。12 cm深度处在滴灌期间水分未运移到此传感器所在位置,滴灌结束后在水分的重新分布过程中水分运移至此位置,含水率逐渐上升,最终趋于稳定状态。

如图6C所示,在6 L/h的滴灌流量下,16 cm深度处未收集到含水率变化数据,这是因为流量太小,垂直方向水分运移较浅。从8 cm和4 cm深度处含水率变化趋势来看,曲线在40 min左右开始水分重新分布(滴灌时间为30 min,但由于中途对水平湿润锋的观测拍照,最终在传感器数据上表现时间为40 min),含水率略微降低后趋于稳定。12 cm深度

湿润锋,确定最合理的灌溉流量,从而达到节约用水、降低种植成本、提高作物产量、实现低投入高回报的目的^[6]。

2.2 垂直方向水分运动分布 试验共设4个含水率变化监测点,收集不同流量下不同位置处的含水率变化,每个流量下不同位置含水率的变化趋势如图6所示。

如图6A所示,在2 L/h的滴灌流量下,12、16 cm深度处几乎没有含水率变化是因为流量太小,垂直方向水分运移较浅。从8 cm和4 cm深度处含水率的变化趋势来看,曲线在40 min左右开始水分重新分布(滴灌时间为30 min,综合中途对水平湿润锋的观测拍照等的因素影响,最终在传感器数据上表现时间为40 min),含水率略有降低后趋于稳定。

处在滴灌期间水分未运移到此传感器所在位置,滴灌结束后在水分的重新分布过程中水分运移至此位置,含水率逐渐上升,最终趋于稳定状态。

如图6D所示,在8 L/h的滴灌流量下,16 cm深度处没有收集到含水率数据,这是因为流量太小,垂直方向水分运移较浅;从4、8、12 cm深度处含水率的变化趋势来看,曲线在40 min左右开始水分重新分布(滴灌时间为30 min,但由于中途对水平湿润锋的观测拍照,最终在传感器数据上表现时间为40 min),含水率略微降低后趋于稳定。

3 结论

(1)滴灌中流量大的土壤中水平湿润锋的运移速率比流量小的快,滴灌15 min时8 L/h流量的水平湿润锋运移速率分别为流量6、4、2 L/h的1.15倍、1.36倍和3.00倍。

(2)滴灌中流量大的土壤中水平湿润锋的距离比流量小

(下转第235页)

趋势。对于最低温度,CK 提高了 16.58%, T_1 提高了 25.82%, T_2 提高了 16.99%;相对于 CK, T_1 提高了 7.75%, T_2 提高了 1.83%。对于最高温度,CK 提高了 12.33%, T_1 提高了 20.75%, T_2 提高了 12.73%;相对于 CK, T_1 提高了 7.50%, T_2 降低了 0.40%。由此可见,相对于 CK, T_1 既可以提高最高温度又可以提高最低温度,但 T_2 只能提高最低温度反而降低了最高温度。

3 讨论与结论

不同覆盖方式下 CK、 T_1 、 T_2 相对外界大气可以提高温室内部最高温度 63.88%、59.95%、67.82%;但不同覆盖方式对温室内温度只会光照最强的 12:00—14:00 产生微弱差异, T_2 可以提高温度, T_1 会降低温室气温。地表温度同样只会光照最强的 12:00—14:00 产生差异, T_1 、 T_2 均可以适当降低地表面温度。在 S_1 深度,地温会跟随光照的变化呈现先增加后减少的趋势,相对于 CK, T_1 处理可以提高地温, T_2 处理会降低地温。在 S_2 、 S_3 深度,地温都是起初不变后来一直处于增加趋势,且随着深度的增加开始变动的时点越晚。

在不同深度,不同覆盖方式下均呈先发散后收敛的变化趋势, T_1 处理的温度差最大(大于 CK), T_2 处理温度差小于 CK。

从连续 4 d 测量数据可以看出,不同覆盖方式对地温的影响在不同深度的变化趋势是一致的,都呈波浪上升的趋势。不同覆盖方式都可以减小最大、最小温度之间的波动,且随着深度的增加,温度波动更小。对于不同深度的最低温度、最高温度, T_1 均优于 CK 和 T_2 ,随着覆盖天数以及土壤深度的增加,效果越来越明显;相对于 CK, T_2 的优势越来越大, T_2 在深度 S_1 、 S_2 处效果差于 CK,但在 S_3 深度开始差异不明显后来甚至优于 CK,但在不同深度却只能提高最低温度反而降低了最高温度。

综上所述, T_1 处理降低温室最高温度 6.15%, T_2 可以提高温室最高温度 6.17%。 T_1 处理降低地表温度 5.49%, T_2 处理降低地表温度 6.65%。在 S_1 深度, T_1 处理提高日平均地温 5.41%, T_2 处理降低日平均地温 3.87%。在 S_2 深度, T_1 处理提高日平均地温 0.1%, T_2 处理降低日平均地温 1.0%。

(上接第 230 页)

的远,但流量到达某个临界值就存在湿润锋同步变化的情况,如 6,8 L/h 流量在滴灌 20 min 后水平湿润锋距离相同,随后同步变化,因此在实际灌溉中需要结合灌溉成本条件选择最合适的灌溉流量。

(3) 滴灌过程中水分能够渗透的深度与滴灌流量有关,流量越大,入渗深度越深;同一位置处不同流量下含水率的变化趋势相同,含水率大小与滴灌流量有关。

(4) 滴灌结束后存在水分重新分布的现象,整体趋势为含水率降低然后趋于稳定,湿润体体积较滴灌结束时变大,含水率分布更加均匀。

参考文献

[1] 冯江,李道西,陈思翌.滴灌土壤水分运动研究进展[J].节水灌溉,2011

在 S_3 深度差异不明显。连续覆盖后, T_1 处理既可以提高最高温度又可以提高最低温度,但 T_2 处理只能提高最低温度反而降低了最高温度。总体来看,透明塑料薄膜可以有效提高地温,是最佳选择。

T_1 、 T_2 对最低温度的提高可能是由于覆盖塑料薄膜后夜晚减少了热量的散失,但对于最高温度, T_1 优于 CK,可能是由于 T_1 既不影响光照又可以减少散失热量, T_2 弱于 CK 可能是由于黑色薄膜减少了光照对土地的直接照射。但是,该试验仅研究了不同覆膜方式对耕作层的影响,且时间长度有限,没有找到拐点,对于覆膜对地温没有影响的具体深度以及地温达到稳定所需时间都有待进一步研究。

参考文献

[1] 陈建军,王正义,陈海洋.宁夏日光温室与塑料大棚环境对比分析[J].北方园艺,2014(10):36-39.
 [2] 白青,张亚红,傅理.极端低温条件下日光温室保温性能分析[J].西北农业学报,2010,19(11):154-160.
 [3] 白青,张亚红,刘佳梅.日光温室土质墙体内部温度与室内气温的测定分析[J].西北农业学报,2009,18(6):332-337.
 [4] 胡绵好,沈彤,刘明月,等.不同覆盖层次塑料大棚内温度和光照度的变化[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(6):545-548.
 [5] 王一红.早春单层覆盖与三层覆盖塑料大棚温度比较试验[J].蔬菜,2014(2):20-21.
 [6] 朱山川.内蒙古高寒地区日光温室性能研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
 [7] 郭芬芬,官彬彬,高洪波.日光温室下沉深度对地温的影响分析:基于地下传热模型[J].农机化研究,2014,36(10):63-67.
 [8] 罗伟.北方不同结构节能日光温室室内环境的变化规律[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
 [9] 于锡宏,王正洪,蒋欣梅,等.日光温室墙体不同保温材料对其保温性影响[J].东北农业大学学报,2017,48(6):43-50.
 [10] 宋樱.日光温室太阳能地温加热系统设计[J].农业工程,2014,4(S1):38-40.
 [11] 刘名旺,李子栋,邹志荣,等.内置空气-卵石槽对日光温室横向地温的影响[J].黑龙江农业科学,2018(10):131-135.
 [12] 张巨松,周琳,邢韵.相变材料应用在日光温室中的效果研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2016,32(6):1090-1096.
 [13] 吕亚州,蒋晓,陈少博.日光温室地温补温系统试验研究[J].中国农机化学报,2017,38(2):47-51.
 [14] 江力.日光温室冬季土壤加热和空气加热效果研究[D].银川:宁夏大学,2017.
 [15] 张婷华,李昌玉.西宁冬季日光温室气温变化规律研究[J].中国农学通报,2016,32(11):109-114.
 [16] 陈振东.青海新型日光温室性能的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
 [17] 《太谷县志》编纂委员会.太谷县志[M].太原:山西人民出版社,1993:51.

(9):36-38,41.

[2] 陈小三,王和平,程希.地下点源滴灌土壤水分运动室内试验研究[J].节水灌溉,2011(1):40-42.
 [3] 李道西,代小平,冯江,等.积水动边界条件下滴灌土壤水分入渗研究(I)——室内试验[J].水利水电技术,2013,44(2):138-140.
 [4] 李斯.基于 HYDRUS 模型不同土壤有效水边界对土壤水滴湿润体特性影响研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
 [5] 卢俊寰,汪有科.滴灌土壤湿润体特性室外试验研究[J].中国农村水利水电,2012(3):1-6,11.
 [6] 孙宗峰.滴灌技术是当今世界上节水效果最好的灌溉技术[J].现代农业,2018(4):42-43.
 [7] 罗兴梅.农田水利工程高效节水灌溉发展思路研究[J].黑龙江水利科技,2016,44(2):18-21.
 [8] 马楠.农田水利滴灌技术的应用与实施要点[J].南方农业,2018,12(3):143,145.
 [9] 季威,刘子尚,缴锡云,等.恒定水头供水瓶的性能分析[J].安徽农业科学,2017,45(16):198-199.
 [10] 虎胆·吐马尔白,弋鹏飞,王一民,等.干旱区膜下滴灌棉田土壤盐分运移及累积特征研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):144-150.