

残膜量对膜孔灌土壤水氮运移特性的影响

刘大有, 费良军, 康守旋, 刘利华, 陈琳, 郝琨, 张全菊

(1.西安理工大学西北旱区生态水利国家重点实验室,西安 710048;2.西安理工大学水利水电学院,西安 710048)

摘要:为探究土壤残膜量对膜孔灌肥液入渗土壤水氮运移特性的影响,通过室内土箱模拟试验设置 0,90,180,360,720 kg/hm² 的 5 个残膜量水平,分析不同残膜量下膜孔灌肥液入渗累积入渗量、湿润锋运移距离、湿润体特征和水氮分布规律。结果表明:残膜对膜孔灌肥液入渗具有阻渗作用,残膜土累积入渗量较无残膜土减少 10.63%~30.77%,Kostiakov 模型对残膜土单位膜孔面积累积入渗量与入渗时间有较好地拟合效果;入渗前 30 min,不同残膜量的垂直湿润锋运移距离差异不显著,随着入渗时间推进,残膜量与湿润锋运移距离、湿润体体积呈负相关关系。入渗结束时,含残膜土湿润体体积减小 18.09%~41.96%。垂直湿润锋距离、湿润体体积与入渗时间均呈显著的幂函数关系, R^2 均>0.98;除膜孔中心处,相同位置含残膜的土壤含水率低于无残膜,30%高含水率区域减小。湿润体内同一深度土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量随残膜量增加而减小,减小幅度为 4.20%~16.27%。研究结果可为残膜土下膜孔灌技术提供理论参考。

关键词:残膜量;膜孔灌;入渗;湿润体;水氮运移

中图分类号:S275.3

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2021)05-0320-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.05.043

Effects of Residual Plastic Film on Characteristics of Water and Nitrogen Transport Under Film Hole Irrigation

LIU Dayou, FEI Liangjun, KANG Shouxuan, LIU Lihua, CHEN Lin, HAO Kun, ZHANG Quanju

(1.State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048; 2.Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract: In order to explore the influence of the amount of soil residual plastic film on the water and nitrogen transport characteristics of the infiltration of film hole irrigation, five residual plastic film levels were set up through an indoor simulation test, which were 0, 90, 180, 360 and 720 kg/hm², respectively. The cumulative infiltration volume, the wetting front migration distance, the characteristics of the wetted body, the distribution of water and nitrogen were studied. The results showed that the residual plastic film had a negative effect on the infiltration of film hole fertilizer solution, and the cumulative infiltration of the residual plastic film soil reduced by 10.63%~30.77% compared with the without residual plastic film soil. The Kostiakov model matched well with the cumulative infiltration per unit pore area of the residual plastic film soil and the infiltration time. Concretely, the vertical wetting front migration distance of different soil residual plastic film amount did not change significantly for initial 30 min, while, the amount of residual plastic film was negatively correlated with the wetting front migration distance and the wetted body volume with time. When the infiltration was completed, the wetted body volume decreased by 18.09%~41.96%. The vertical wetting front migration distance and wetted body volume had significant power function relationship with infiltration time with $R^2 > 0.98$; the soil water content with residual plastic film at the same position was lower than that without residual plastic film except for the center of the film hole, and the area with high water content of 30% decreased. The content of NO₃⁻-N and NH₄⁺-N in the soil at the same depth in the wetted body decreased with increasing residual plastic film, and the range was 4.20%~16.27%. The research can provide theoretical reference for the application of film hole irrigation technology in residual plastic film area.

收稿日期:2021-04-19

资助项目:国家自然科学基金项目(52079105,51779205)

第一作者:刘大有(1996—),男,硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail:liudayou1996@163.com

通信作者:费良军(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论和农业水资源利用研究。E-mail:feiliangjun2008@163.com

Keywords: residual plastic film; film hole irrigation; infiltration; wetted body; water and nitrogen transport

覆膜灌溉具有保温保墒、节水增产效果^[1]。我国地膜使用量和覆盖面积不断增长,年使用量占世界地膜使用总量约 90%^[2]。地膜为农业生产带来快速发展的同时,也带来新的问题,随着地膜的使用,残留地膜对土壤造成的污染问题日益突出。已有研究^[3-4]表明,残膜会改变土壤结构,阻断土壤水分运移,影响土壤理化性质。目前对残膜条件下土壤水分运移特性开展了大量研究,李仙岳等^[5]通过滴灌模拟试验发现,残膜存在减小了湿润锋运移距离,残膜量的增加使入渗速率不确定性增大;已有研究^[6-7]表明,残膜埋越浅,湿润体越大,残膜区水分入渗速率低于其他土层入渗速率,并通过试验发现,随着残膜量增加,土柱入渗量和蒸发量均减小;Cao 等^[8]研究了初始含水率、土壤容重、残膜量和埋深对土柱入渗影响,结果表明,除残膜埋深外均对湿润锋运移有显著影响,且初始含水率影响最大。已有研究多集中于残膜对土壤水分一维垂直入渗和滴灌条件下水分入渗的影响,对于水氮运移研究较少,而膜孔灌三维入渗方式下残膜土的水氮运移特性鲜有报道。

膜孔灌是干旱地区一种低成本、高效益的新型地面灌溉技术^[9]。近年来,国内学者针对膜孔灌水氮入渗特性进行了大量研究,结果表明,膜孔直径^[10]、土壤容重^[11]、土壤初始含水率^[12]、肥液浓度^[13]和含沙率^[14]等对膜孔灌入渗能力均有显著影响,而涉及农田地膜残留对膜孔灌土壤入渗能力影响的研究较少。本文拟通过室内模拟试验进行入渗研究,探究不同残膜量对膜孔灌肥液入渗特性的影响,可为残膜污染区膜孔灌制定灌溉制度提供参考,为膜孔灌技术推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2020 年 12 月在西安理工大学农水大厅进行。供试土样取自西安市灞桥区,取土深度为 0—30 cm,土壤类型为粉壤土。将不同取样点土壤样品充分混合,自然风干、研磨后过 2 mm 土筛。土壤初始含水率为 1.8%,土壤粒径组成采用 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪进行测定,黏粒(<0.002 mm)占 12.58%,粉粒(0.002~0.02 mm)占 74.98%,砂粒(0.02~2 mm)占 12.44%。初始硝态氮、铵态氮含量分别为 6.1,14.0 mg/kg,土箱装土容重为 1.35 g/cm³。试验采用有机玻璃制成长×宽×高为 24 cm×20 cm×30 cm 的土箱和高度为 4 cm 的入渗水室。将膜孔直径为 6 cm 的 1/4 膜孔面积的水室固定于土箱一角模拟入渗,利用直径为 9 cm 的马氏瓶供水(图 1)。

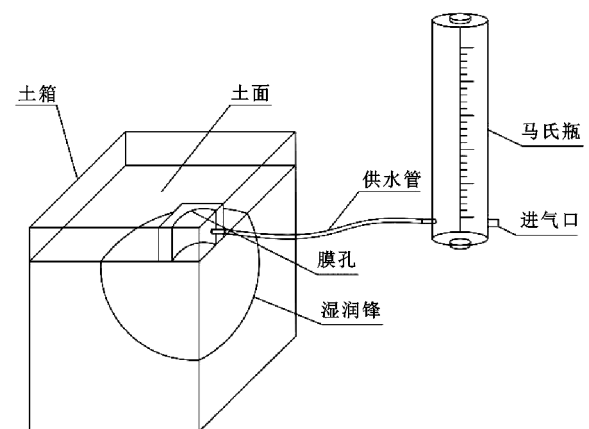


图 1 膜孔灌试验装置示意

1.2 试验方法

试验共设 5 个残膜量水平,分别为 T0、T1、T2、T3、T4,残膜含量依次为:0(CK),90,180,360,720 kg/hm²。为消除残膜形状大小等因素影响,并结合研究结果^[15],试验统一采用 2 cm×2 cm 的方形膜片,供试地膜选用河东区田园塑料制品厂生产的 0.008 mm 聚乙烯薄膜。将残膜混入土壤充分搅拌,模拟农田中残膜呈片状、棒状、卷曲状等不同形态分布。根据严昌荣等^[16]对全国残膜分布的调查以及牛文全等^[17]对陕西典型农田残膜采样研究,设置残膜量分配比例为 0—10 cm 土层占 70%,10—20 cm 土层占 30%。将土样每层 5 cm 分层装入土箱,层间刮毛,避免产生结构和水动力学特征突变,在土箱边壁涂抹凡士林,消除边壁优先流影响。每个处理重复 3 次,取平均值进行分析。本研究选用硝酸铵钙作供试肥料,将其溶于水中进行入渗试验,肥液浓度为 600 mg/L。硝酸铵钙是易溶于水的氮钙复合肥,可以快速补充作物生长所需氮素。试验开始后用秒表计时,按照先密后疏的时间间隔记录马氏瓶刻度变化,并在土箱上描出相应的湿润锋轨迹,用直尺量取湿润锋运移距离,通过 Auto CAD 软件绘制湿润锋轨迹曲线进行分析。供水结束后在膜孔中心处沿水平和垂直方向用土钻取土,每次取土间隔 3 cm,采用烘干法测定土壤质量含水率,使用间断分析仪测定土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量。

1.3 数据分析

利用 Microsoft Excel 2010 和 Matlab R2020a 软件进行数据处理、绘图和函数拟合,Auto CAD 2009 软件绘制装置图和湿润锋曲线图,Surfer 15 软件绘制含水率等值线图。

采用 Kostiaikov 入渗模型^[18]描述膜孔累积入渗量和入渗时间的变化过程,计算公式为:

$$I=Kt^{\alpha}$$

(1)

式中: I 为单位膜孔面积累积入渗量(cm); t 为入渗历时(min); K 为入渗系数(cm/min); α 为入渗指数。

使用拟合决定系数 R^2 和相对均方根误差 RRMSE 作为模型评价指标,计算公式为:

$$\text{RRMSE}=\frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n(S_i-M)^2}}{\overline{M}}$$

(2)

式中: n 为数据个数; S_i 为模型模拟值; M 为试验实测值; $\overline{M}$ 为 M 的平均值,RRMSE 值越小,说明模型拟合效果越好。

引入阻渗系数 β 定量表示残膜对土壤水分运动的阻滞作用,计算公式为:

$$\beta=\frac{I_0-I_t}{I_0}\times 100\%$$

(3)

式中: β 为残膜阻渗系数; I_0 为入渗 t 时刻无残膜的入渗量(cm); I_t 为入渗 t 时刻含残膜的入渗量(cm)。

膜孔入渗后土壤湿润体体积近似呈 $1/8$ 的椭球体,体积计算公式为:

$$V=\frac{\pi}{6}\times S_x^2\times S_y$$

(4)

式中: S_x 为湿润锋水平运移距离(cm); S_y 为湿润锋垂直运移距离(cm)。

2 结果与分析

2.1 残膜量对累积入渗量的影响

由图 2 可知,随着土壤中残膜量增加,累积入渗量逐渐减小,相对于无残膜 T0,各处理累积入渗量在入渗结束时分别减少 10.63%,19.24%,24.04%,30.77%。残膜对入渗的阻碍作用明显,这是因为残膜在土壤中以片状、卷状形态存在,阻隔了水分入渗通道,产生堵塞效应,降低土壤水分入渗能力。本试验研究结果与李元桥等^[19]滴灌试验结论有所不同,这是因为本试验所装土容重大,土壤较为密实,土壤孔隙数量较小,土壤大孔隙流特征不明显^[20]。

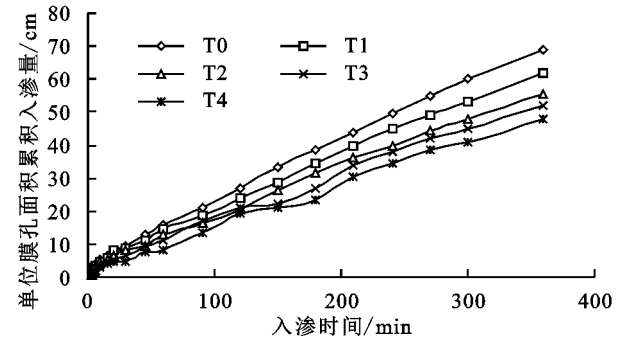


图 2 不同残膜量累积入渗量曲线

对图 2 中 5 组处理累积入渗量变化趋势采用公式(1)进行曲线拟合,结果见表 1。

表 1 Kostiakov 入渗模型参数拟合结果

处理	入渗系数 K	入渗指数 α	R^2	RRMSE
T0	0.5621	0.8166	0.9985	0.0077
T1	0.4968	0.8187	0.9973	0.0102
T2	0.4365	0.8230	0.9970	0.0108
T4	0.2380	0.9023	0.9948	0.0152

由表 1 可知,各处理拟合的决定系数 R^2 均 >0.99 ,说明 Kostiakov 入渗模型能较好地反映累积入渗量变化规律。入渗系数 K 随残膜量增加而递减,而入渗指数 α 呈递增趋势。随着残膜量增加,Kostiakov 模型拟合 R^2 值逐渐降低,RRMSE 值依次增大且偏离 0,说明残膜影响模型拟合效果,残膜含量增加,模型拟合效果降低。经分析,入渗系数 K 和入渗指数 α 与残膜量 s 均符合线性函数关系:

$$K(s)=-4\times 10^{-4}\times s+0.5393\quad R^2=0.978\ 8$$

(5)

$$\alpha(s)=1\times 10^{-4}\times s+0.8088\quad R^2=0.972\ 5$$

(6)

将公式(5)和公式(6)代入公式(1),得残膜量与累积入渗量关系模型:

$$I=(-4\times 10^{-4}\times s+0.5393)t^{1\times 10^{-4}\times s+0.8088}$$

$$0<t\leq 360\ \text{min}\ 0\leq s\leq 720\ \text{kg}/\text{hm}^2$$

(7)

利用模型(7)验证 T3 残膜量 $s=360\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的入渗量,将试验入渗量实测值和模型模拟值对比,结果见图 3,模拟值和实测值回归方程斜率是 1.089 4, $R^2=0.998\ 6$,模型(7)计算 T3 的相对均方根误差为 0.030 5,说明该模型能较好地预测不同残膜量下膜孔灌肥液入渗量。

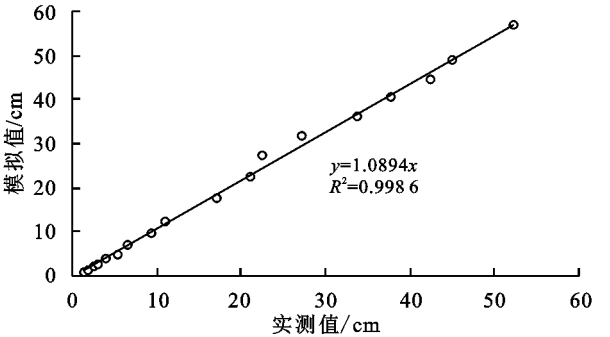


图 3 T3 实测值和模拟值对比

2.2 残膜对水分的阻渗作用

残膜在土壤中混合形成 1 种不透水介质,破坏了土体结构和孔隙连续性^[21],采用阻渗系数进一步明确残膜在入渗过程的阻渗效果,根据公式(3)计算各处理入渗过程中阻渗系数变化。由图 4 可知,不同时刻阻渗系数大小不同,同一入渗时间下,残膜量越大,阻渗系数越大,阻渗作用越强。在入渗前中期个别处理出现异常,如在 15,45,90,120 min 时刻,出现部分低残膜处理阻渗系数大于或等于高残膜,这是因为累积入渗量小,且残膜分布具有不确定性,当水分通过

残膜区时阻渗系数变化大,残膜土最大阻渗系数均出现在 150 min 之前,随着入渗继续,在 210 min 后,入渗趋于稳定,阻渗系数变化幅度减小,T1~T4 的阻渗系数波动范围分别为 3.00%,4.21%,2.54%,1.57%。对不同残膜量的阻渗系数求均值,依次为

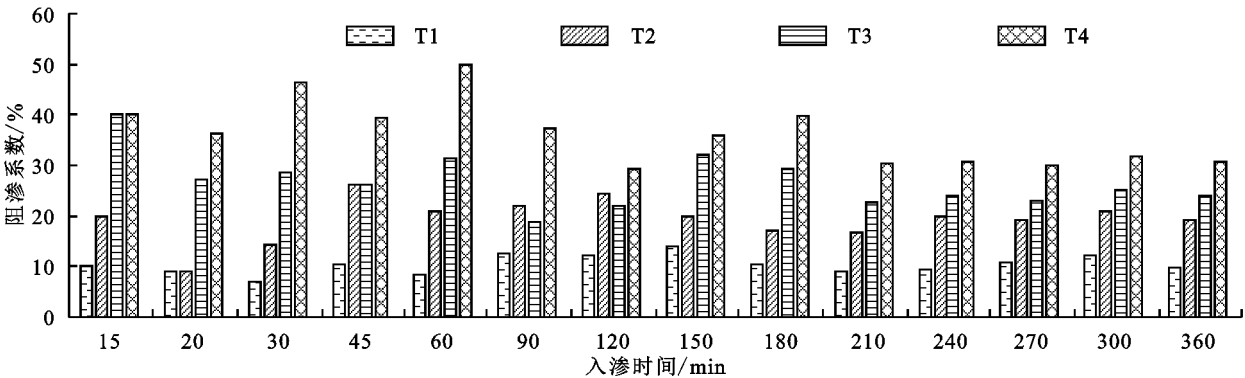


图 4 阻渗系数变化规律

2.3 残膜量对湿润锋运移距离影响

膜孔灌肥液自由入渗过程中,垂直湿润锋运移距离可以更好地反映水分下渗能力。图 5 为垂直湿润锋运移距离随入渗时间的变化曲线,由图 5 可知,入渗结束时,残膜量与垂直湿润锋运移距离呈负相关关系。在入渗前 30 min,各组间规律不明显,原因是残膜在土壤中的位置具有随机性,入渗初期湿润锋距离小,水分流经残膜的概率较低,残膜的阻渗作用有限。随着入渗时间的增大,在 90 min 后,任一入渗历时下无残膜 T0 的垂直湿润锋运移距离均高于残膜土。入渗速率逐渐减缓,图 5 中表现为垂直湿润锋运移距离与入渗时间的曲线斜率由大到小,这是因为水室开始供水时,水势梯度大,水分快速运移,随着土壤含水率增加,水势梯度减小,湿润锋运移速率下降。

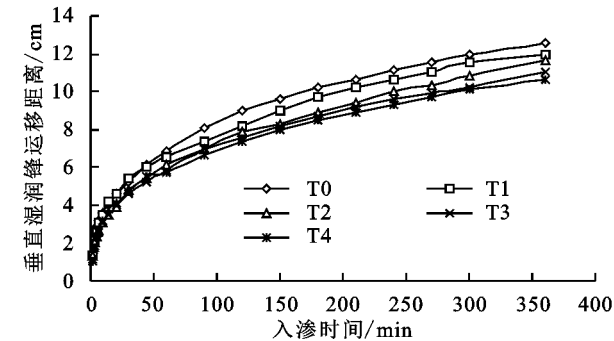


图 5 垂直湿润锋运移特性曲线

经分析,不同残膜量垂直湿润锋运移曲线与入渗时间符合幂函数关系:

S_y = At^B (8)

式中:S_y为湿润锋垂直运移距离(cm);t 为入渗历时(min);A 为拟合系数;B 为拟合指数。

由表 2 可知,不同残膜量的垂直湿润锋运移距离与入渗时间拟合的决定系数 R² 均>0.98,说明幂函数能够较好地描述垂直湿润锋运移距离和入渗时间

10.36%,19.29%,26.74%,36.32%。T2 的阻渗系数均值相对 T1 增长 86.2%,当残膜量达到 180 kg/hm² 后,阻渗系数迅速增大。这是因为残膜改变土壤内部均质结构,水分运移途径弯曲,减少了土壤过水断面面积,阻碍了土壤水分的运动。

关系。随着残膜量增加,拟合系数 A 从 T0 的 1.523 9 逐渐减小到 T4 的 1.196 8,拟合指数 B 则递增,从 0.364 7 增大到 0.380 9。将不同处理的残膜量 s 与拟合参数 A、B 分析得到关系式为:

A(s) = 1 × 10⁻⁶ × s² - 0.0013 × s + 1.532
R² = 0.982 7 (9)

B(s) = -3 × 10⁻⁸ × s² - 5 × 10⁻⁵ × s + 0.3631
R² = 0.955 4 (10)

将求得拟合参数代入公式(8),得到不同残膜量 s 下的膜孔灌肥液入渗垂直湿润锋运移距离与入渗时间之间的经验模型:

S_y = (1 × 10⁻⁶ × s² - 0.0013 × s + 1.532)t^{-3 × 10⁻⁸ × s² - 5 × 10⁻⁵ × s + 0.3631} (11)

表 2 垂直湿润锋与入渗时间拟合参数

处理	拟合系数 A	拟合指数 B	R ²
T0	1.5239	0.3647	0.9977
T1	1.4539	0.3656	0.9954
T2	1.3170	0.3696	0.9994
T3	1.2285	0.3781	0.9965
T4	1.1968	0.3809	0.9895

2.4 残膜量对湿润体特征的影响

2.4.1 湿润体形状的影响 由图 6 可知,随着残膜量的增加,土壤湿润锋运移距离和湿润体体积减小,说明残膜阻碍水分运移。残膜在土壤内的位置随机分布,当水分通过残膜区时,会导致湿润锋运移速率减小。在入渗前期,土壤水平方向膜孔半径范围内的土面最先湿润,并且入渗过程中水室充分供水,使水分横向扩散,水平湿润锋距离大于垂直湿润锋,但垂直方向湿润锋受基质势和重力势共同作用,而水平湿润锋只受基质势作用,运移速率低于垂直湿润锋,入渗后期,各处理垂直湿润锋距运移略大于水平湿润

锋。在相同入渗历时,湿润距离随残膜量增加而缩短,入渗结束时,不同残膜量的水平湿润锋距离依次为 12.4,11.5,11.2,11.1,10.3 cm;垂直湿润锋距离依次是 12.6,12.0,11.7,11.0,10.6 cm,均呈线性递减。此外,无残膜 T0 的湿润锋轨迹曲线在各时刻较为光滑平缓,而残膜土湿润锋轨迹曲线呈现出凹凸,弯曲形态,这与王志超等^[6]滴灌试验的研究结果一致。本试验 4 种含量残膜土中,T1 湿润锋轨迹曲线相对规则,T4 曲线不规则性变化最明显,说明残膜量的增加会增强土壤湿润锋曲线不规则性,水分通过残膜区滞留并向边界移动,出现湿润锋轨迹弯曲现象。

2.4.2 湿润体体积的影响 由图 7 可知,残膜量增加,同一入渗时间累积入渗量减少,对应时刻湿润体体积减小。入渗初期,不同残膜量之间的差异不明显,如 10 min 时,与无残膜 T0 对比,不同残膜量的湿润体体积分别减少了 2.86%,14.74%,21.17%,15.34%,这是因为入渗初期水头作用大,水分主要靠基质势和重力势运移,削弱了残膜的影响。随着湿润锋运移距离增加,残膜的阻渗效应呈现,各组间湿润体体积差异增大,入渗结束时,残膜土湿润体体积相比 T0 分别减少 18.09%,24.25%,30.05%,41.96%。经分析,入渗时间和湿润体体积符合幂函数关系,利用公式(8)拟合,式中拟合参数 A、B 分别替换为 C、D。由表 3 可知,湿润体体积和入渗时间拟合决定系数 R^2 均 >0.98 ,表示幂函数可以较好地描述湿润体体积和入渗时间 t 的变化关系。随着残膜量逐渐增大,拟合系数 C 从 10.137 0 减小到 7.379 8,拟合指数 D 的变化规律不明显,说明残膜量与湿润体体积关系主要受拟合系数 C 影响。

2.5 残膜量对土壤含水率的影响

为研究不同残膜量的膜孔灌肥液自由入渗湿润体内水分分布以及变化规律,根据试验数据,绘制供水结束时不同残膜量下湿润体内土壤含水率分布等值线,由图 8 可知,不同残膜量的湿润体内水分分布等值线均呈半椭圆形,等值线间隔为 0.01,土壤含水率范围在 25%~34%。各处理在膜孔中心处土壤含水率最大,随湿润距离的增加而降低,这是由于膜孔中心水室充分供水,土壤含水率基本饱和,因此在该点各组间无明显差异。除了膜孔中心处外,土壤最大含水率随残膜量的增加而递减,以水平 6 cm,垂向 3 cm 位置为例,该点大致处于湿润范围中心,T0~T4 含水率分别为 31.52%,30.07%,29.55%,29.08%,28.84%,同一深度处的土壤含水率减小,最大相差 2.68%。此外,残膜量增加,湿润范围减小,根据含水率 30% 的等值线分布发现,无残膜 T0 的区域最大,其余处理呈递减趋势,说明残膜阻碍水分扩散,减小了土壤高含水率区域。在湿润锋附近区域的土壤呈

干湿交替,表现为含水率迅速减小,等值线更密集。

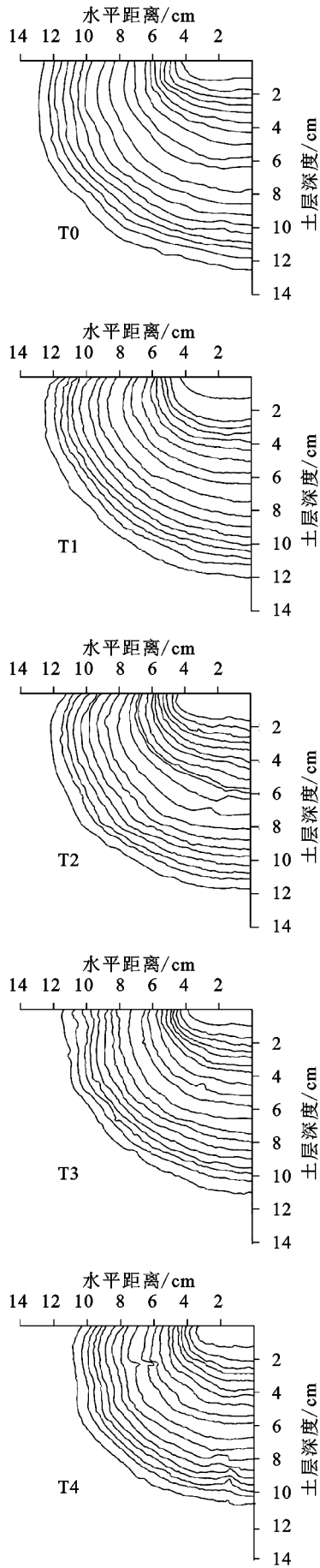


图 6 不同残膜量湿润体形状特征

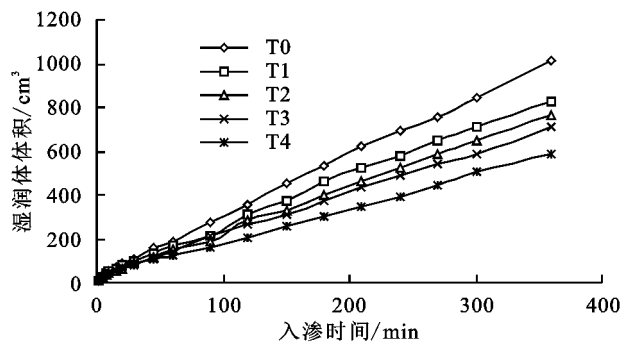


图 7 湿润体体积与入渗时间变化曲线

表 3 湿润体体积与入渗时间拟合参数

处理	拟合系数 C	拟合指数 D	R^2
T0	10.1370	0.7554	0.9914
T1	9.1541	0.7437	0.9933
T2	8.2254	0.7408	0.9892
T3	7.6195	0.7481	0.9959
T4	7.3798	0.7197	0.9950

根据膜孔中心处土壤含水率和垂直湿润锋转移距离的关系,分析其符合二次函数,建立数学模型为:

$$\theta = ah^2 + bh + c \tag{12}$$

式中: θ 为土壤含水率(%); h 为土层深度(cm); a 、 b 、 c 为拟合参数。

将不同残膜量的含水率代入公式(12),拟合决定系数 R^2 均 >0.95 ,以 T2 为例,将垂向 4 个点实测值和模型计算值对比,误差分别为 1.02%, -2.45% , 4.32% , 1.01% ,说明该式能较好描述不同土层深度和土壤含水率的关系。

2.6 残膜量对膜孔灌氮素运移的影响

不同残膜量供水结束时土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化规律与水分变化相似,均随土层深度增加逐渐减小,最终接近土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 底值。同一位置土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随残膜量增加而减少,说明残膜破坏了土壤水分入渗的连续性,在相同时间下肥液入渗量减少, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量减少。由图 9 可知,在土壤表层,不同残膜量间变化无规律,原因是此处土壤含水均达到饱和状态。在湿润体中间位置 T2 与 T3 无明显差异,这可能因为残膜在土壤中的不均匀性导致,但残膜土的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均小于 T0。在土层深度 6 cm 处,T0~T4 的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 值分别为 23.35,22.34,21.08,20.65,19.55 mg/kg,相比 T0 减幅为 4.33%,9.72%,11.56%,16.27%,各处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 峰值均出现在土表膜孔中心处,这是因为膜孔灌整个入渗过程中水室内的表层土壤保持湿润状态,含水率最大,且本试验使用的硝酸铵钙是易溶于水的速效肥,因此土壤膜孔中心处 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量最大。随着土层深度增加到达湿润锋边缘处,土壤含水量迅速减小, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量降低至接近底值,说明 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 以水为载体的运移规律。肥液中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随水运移,土壤中的残膜

阻水的同时对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 也产生阻碍作用。

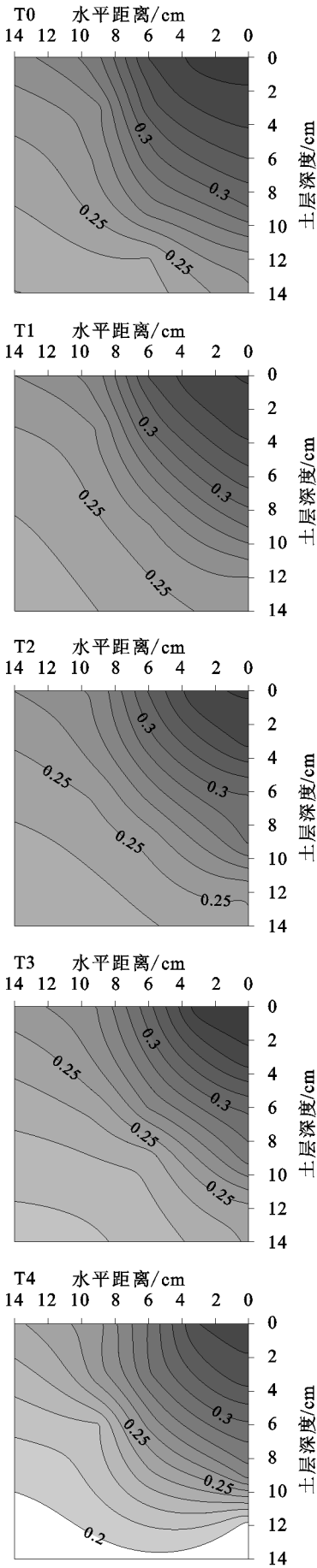


图 8 湿润体内含水率分布等值线

由图 10 可知,供水结束时土壤 NH_4^+-N 含量最大值在膜孔中心处,随湿润深度增加而减小。残膜量增加, NH_4^+-N 含量在土壤湿润体内呈减小趋势。其中 T0 的 NH_4^+-N 含量大于含残膜处理,T0 累积入渗量最大,故土体内 NH_4^+-N 含量总值最大,以土层深度 6 cm 处为例,各组 NH_4^+-N 含量分别为 33.34,31.94,30.49,30.08,28.84 mg/kg,残膜土相比 T0 减少 4.20%,8.55%,9.78%,13.50%。土壤 NH_4^+-N 主要分布于湿润体内,超过土深 10 cm 处,铵态氮被土壤胶体吸附,含量明显降低,在湿润体外的干土中 NH_4^+-N 含量趋于底值。

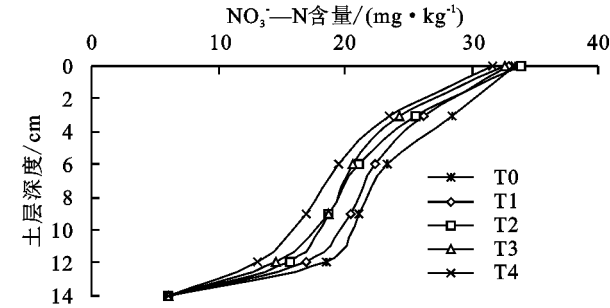


图 9 土壤 NO_3^--N 含量变化曲线

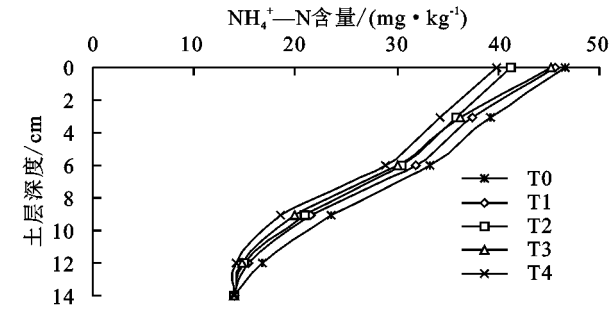


图 10 土壤 NH_4^+-N 含量变化曲线

3 讨论

本文主要研究了膜孔灌肥液自由入渗条件下,不同残膜量对土壤水氮运移特性的影响。本研究发现,残膜对膜孔灌肥液自由入渗有阻渗作用,利用 Kostakov 入渗模型对不同残膜量膜孔灌肥液自由入渗过程进行拟合,模型拟合效果较好。通过入渗试验结果结合理论分析,建立了膜孔肥液累积入渗量经验模型,通过验证模型可靠性较高。阻渗系数 β 随残膜含量增加而增大,而累积入渗量和湿润锋运移距离减小。这是因为残膜改变了土壤结构,当水分通过残膜处从原来透水性良好的土壤变为不透水介质,破坏了水分传输途径的连续性^[22];此外,由于聚乙烯的高分子链结构,残膜在土壤中具有一定吸附力,改变了残膜与土壤接触边缘处的土水势^[23]。由于膜孔灌水室充分供水,水头作用较大,削弱了残膜的影响,因此入渗初期残膜的阻渗作用较小,不同残膜量湿润锋运移距离和湿润体体积变化不明显。土壤中残膜的存在改变了水分运移路径,导致湿润体形状呈不规则变化,

这与李仙岳等^[5]的研究结果一致。在入渗结束时不同残膜量间的湿润体体积最大差值 41.96%,说明残膜阻渗作用明显。供水结束时,不同残膜量含水率在土壤表层无明显差异,其他位置土壤含水率随残膜量增加而降低,相同土层深度处土壤 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 含量随着残膜量的增大而减小,且均在膜孔中心区域达到峰值。土壤中的残膜影响了水肥分布的均匀性,不利于作物对水分和养分的吸收,危害作物生长。

本研究主要考虑残膜量单一影响因素,后续残膜土的膜孔灌研究可以结合黄河流域灌区浑水灌溉的特点,考虑浑水入渗特性,对残膜土浑水膜孔灌入渗特性进行多因素分析。

4 结论

- (1)残膜显著影响土壤入渗能力,随着残膜量增加,累积入渗量降低,入渗系数 K 值递减,而入渗指数 α 递增。残膜量达到 180 kg/hm²后,阻渗作用明显。
- (2)垂直湿润锋运移距离随残膜量增大而减小,残膜量对湿润体形状体积影响显著,湿润体体积和垂直湿润锋运移距离均与入渗时间有显著幂函数关系。
- (3)湿润体内土壤含水率随膜孔中心距离的增大而减小,残膜含量越大,距膜孔中心相同距离处土壤含水率和高含水率区域越小,相同土层深度处土壤 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 含量越小。

参考文献:

[1] Hou X Y, Wang F X, Han J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China[J].Agricultural and Forest Meteorology,2009,150(1):115-121.

[2] 赵岩,陈学庚,温浩军,等.农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J].农业机械学报,2017,48(6):1-14.

[3] Dong H G, Liu T, Li Y G, et al. Effects of plastic film residue on cotton yield and soil physical and chemical properties in Xinjiang[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2013,29(8):91-99.

[4] 胡灿,王旭峰,陈学庚,等.新疆农田残膜污染现状及防控策略[J].农业工程学报,2019,35(24):223-234.

[5] 李仙岳,史海滨,吕烨,等.土壤中不同残膜量对滴灌入渗的影响及不确定性分析[J].农业工程学报,2013,29(8):84-90.

[6] 王志超,李仙岳,史海滨,等.残膜埋深对滴灌条件下粉砂壤土水分入渗影响的试验研究[J].土壤,2014,46(4):710-715.

[7] 王志超,李仙岳,史海滨,等.农膜残留对砂壤土和砂土水分入渗和蒸发的影响[J].农业机械学报,2017,48(1):198-205.

[8] Cao J H, Chen P P, Li Y P, et al. Effect of plastic film residue on vertical infiltration under different initial soil

moisture contents and dry bulk densities [J]. *Water*, 2020, 12(5):1-16.

[9] Gao Y J, Li Y, Zhang J C, et al. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 85(2):109-121.

[10] 刘利华, 费良军, 陈琳, 等. 膜孔直径对浑水膜孔灌土壤水氮运移特性的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(3): 126-131.

[11] Zhong Y, Fei L J, Li Y B. Experimental study on infiltration characteristics of film hole irrigation under the influence of multiple factors [J]. *Irrigation and Drainage*, 2020, 69(3):417-426.

[12] 陈琳, 费良军, 刘利华, 等. 土壤初始含水率对浑水膜孔灌肥液自由入渗水氮运移特性影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2):58-66.

[13] 康守旋, 费良军, 姜瑞瑞, 等. 肥液浓度对浑水膜孔灌多点源入渗水氮运移的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(6):156-161.

[14] 刘利华, 费良军, 陈琳, 等. 浑水含沙率对膜孔灌肥液入渗土壤水氮运移特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(2):120-129.

[15] 马辉, 梅旭荣, 严昌荣, 等. 华北典型农区棉田土壤中地膜残留特点研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2): 570-573.

[16] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. *农业资源与环境学报*, 2014, 31(2): 95-102.

[17] 牛文全, 邹小阳, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14):110-119.

[18] Parhi P K, Mishra S K, Singh R. A modification to Kostia- kov and modified Kostia- kov infiltration models [J]. *Water Resources Management*, 2007, 21(11):1973-1989.

[19] 李元桥, 何文清, 严昌荣, 等. 点源供水条件下残膜对土壤水分运移的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(6): 145-149.

[20] 高朝侠, 徐学选, 赵娇娜, 等. 土壤大孔隙流研究现状与发展趋势[J]. *生态学报*, 2014, 34(11):2801-2811.

[21] 刘建国, 李彦斌, 张伟, 等. 绿洲棉田长期连作下残膜分布及对棉花生长的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2):246-250.

[22] Michal S, Vladimira J, Jan S, et al. Experimental investigation of preferential flow in a Near-saturated intact soil sample[J]. *Physics Procedia*, 2015, 69:496-502.

[23] 邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分水平运动的阻滞作用[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(3):96-102, 108.

(上接第 319 页)

[8] 牛文全, 邹小阳, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分入渗和蒸发的影响及不确定性分析[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14):110-119.

[9] 张建军, 郭天文, 樊廷录, 等. 农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(1):100-102.

[10] Mumtaz T, Khan M R, Hassan M A. Study of environmental biodegradation of LDPE films in soil using optical and scanning electron microscopy[J]. *Micron: The international research and review journal for microscopy*, 2010, 41(5):430-438.

[11] 吴凤全, 林涛, 王静, 等. 不同残膜量对棉田土壤水盐运移的影响[J]. *棉花学报*, 2018, 30(5):395-405.

[12] 祖米来提·吐尔干, 林涛, 王亮, 等. 地膜残留对连作棉田土壤氮素、根系形态及产量形成的影响[J]. *棉花学报*, 2017, 29(4):374-384.

[13] Gao H H, Yan C R, Liu Q, et al. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 651:484-492.

[14] 董合干, 刘彤, 李勇冠, 等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(8):91-99.

[15] 李俊华, 马富裕, 郑重, 等. 膜下滴施尿素对棉花氮素吸收、分配、利用效率的影响[J]. *土壤肥料*, 2005(4):40-43.

[16] 邢艳萍. 河南商丘棉花花铃期栽培管理技术要点[J]. *农业工程技术*, 2019, 39(2):78.

[17] 邹小阳, 牛文全, 刘晶晶, 等. 残膜对土壤水分水平运动的阻滞作用[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(3):96-102, 108.

[18] 解红娥, 李永山, 杨淑巧, 等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊 1):153-156.

[19] 韩丙芳, 田军仓, 杨金忠. 膜上灌水对玉米田土壤水盐变化特征的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6):252-257.

[20] 苏里坦, 阿不都·沙拉木, 宋郁东. 膜下滴灌水量对土壤水盐运移及再分布的影响[J]. *干旱区研究*, 2011, 28(1):79-84.

[21] 李玉义, 柳红东, 张凤华, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉技术对土壤盐渍化的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12(1):22-26.

[22] 阮世进, 吕新, 刘阳, 等. 不同配肥模式下滴灌棉花氮素吸收利用规律[J]. *新疆农业科学*, 2020, 57(10):1802-1810.

[23] 阿不都卡地尔·库尔班, 李健伟, 杨培, 等. 机采棉株行距配置对棉花生物量和氮素累积分配及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(8):1406-1416.