

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<sup>①</sup>

王志超, 李仙岳\*, 史海滨, 林雨昕, 李鑫, 梁建财

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 利用室内模拟试验, 设置高低两个滴灌流量(0.5、2 L/h), 根据残膜在土壤中的上、中、下3个位置研究不同残膜埋深对滴灌入渗湿润体形状、入渗速率以及土体内含水率分布的影响。结果表明: 残膜埋深越深滴灌结束时湿润范围越小, 残膜区湿润体曲线呈不规则现象; 残膜区水分入渗速率明显低于对应其他处理该层的入渗速率( $P < 0.01$ ); 残膜区土壤含水率明显高于无残膜区, 并且随着残膜埋深增加, 土体内最高含水率呈增加趋势, 且不同滴头流量处理不同残膜埋深对滴灌入渗的影响相似。故残膜在土壤中埋深位置的不同对滴灌入渗有较大的影响, 掌握残膜在土壤中不同位置对入渗的影响对于制定残膜存在下合理的灌溉制度具有重要意义。

**关键词:** 残膜; 埋深; 入渗速率; 含水率

**中图分类号:** S275.6; X708

地膜覆盖栽培技术, 具有保湿<sup>[1]</sup>、保温<sup>[2-4]</sup>、节水<sup>[5]</sup>、促产、提高作物品质<sup>[6]</sup>等效果, 是我国主要的种植模式之一, 特别将滴灌技术与覆膜种植相结合的膜下滴灌技术近些年在北方干旱地区呈现出跨越式发展<sup>[2,7-8]</sup>。然而农膜是一种分子结构稳定的聚乙烯材料, 难以在自然条件下进行光解和热降解<sup>[9]</sup>, 随着连续多年覆膜耕作, 农膜残留问题必将越来越严重<sup>[10-11]</sup>。杨彦明等<sup>[12]</sup>对内蒙古地区农膜残留调查发现: 目前农田残留越来越严重, 其中乌兰察布市试验点地膜残留率高达72.73%, 残留量达3 951.85 t。研究显示农田中地膜残留量的增加将阻碍土壤毛细管水的运移和降水的入渗, 土壤孔隙度、通透性等都会降低, 导致土壤板结, 最终会严重影响水分入渗过程, 导致农作物减产<sup>[13-14]</sup>。另外, 残膜影响土壤物理性状, 若长期滞留在地里, 影响土壤的透气性, 阻碍土

壤水肥的调节, 影响土壤微生物活动和正常土壤结构形成, 最终降低土壤肥力水平<sup>[15-16]</sup>, 从而也影响作物产量及出苗率<sup>[17-18]</sup>。然而目前对残膜影响水分入渗机制了解甚少, 特别是随着连续覆膜耕作年限加长, 残膜在土壤中位置也将不同, 水分入渗规律也将随之变化。故本文主要研究残膜在土壤中不同埋深对滴灌入渗的影响规律, 定量分析土壤中残膜不同埋深滴灌湿润峰运移以及灌溉结束土壤水分分布规律, 为残膜存在条件下的滴灌灌溉制度制定提供理论基础。

## 1 材料与方法

试验在内蒙古农业大学水资源保护与利用重点实验室进行, 供试土壤为呼和浩特郊区粉砂壤土, 土壤基本理化性质见表1。

表1 土壤基本理化性质  
Table 1 Soil basic physical and chemical properties

质地	颗粒组成(g/kg)			有机质 (g/kg)	pH	田间持水量 (%)
	黏粒(<0.002 mm)	粉粒(0.02 ~ 0.002 mm)	砂粒(2 ~ 0.02 mm)			
粉砂壤土	119.6	558.3	322.1	48	7.51	20

为了模拟大田滴灌, 本试验采用有机玻璃制作了长 × 宽 × 高为30 cm × 30 cm × 40 cm的长方体试验

土槽, 用医用针头代替滴灌器用于模拟滴灌, 用横截面积30 cm<sup>2</sup>, 高70 cm的2个串联的马氏瓶作为稳压

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(2011BS0302)、中国水科院重点实验室开放基金项目(IWHR-SKL-201118)、国家自然科学基金项目(51109105, 51349003)、博士后基金项目(2011M500547, 2012T50250)和内蒙古自治区高等学校青年科技骨干项目(NJYT-12-B10)资助。

\* 通讯作者(lixianyue80@126.com)

作者简介: 王志超(1988—), 男, 山东德州人, 博士研究生, 主要从事节水农业研究。E-mail: wzc5658@sina.com

灌溉水源。地膜残片无害化面积研究表明 残膜多年后, 残片面积逐渐趋小, 且土壤中小块残膜( $<4 \text{ cm}^2$ ) 最多<sup>[19]</sup>。由于本研究室内试验土槽较小, 为了使残膜在土壤中分布更加均匀, 本次残膜统一取  $4 \text{ cm}^2$ (边长为  $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  的正方形)进行试验。试验主要考虑残膜埋深对滴灌入渗的影响, 选择多年连续覆膜的典型农田残膜量( $100 \text{ kg/hm}^2$ )<sup>[14,16]</sup>, 设置高、低 2 种滴头流量(0.5、2.0 L/h), 残膜位置为上、中、下(残膜埋置土壤深度分别为从表层土往下 0~6、6~12、12~18 cm) 3 种情况, 包括空白试验共 8 个处理, 3 次重复, 其中空白试验为无残膜情况, 具体处理见表 2。

表 2 不同处理试验设计  
Table 2 Design of different treatments

处理编号	残膜埋深 (cm)	滴头流量 (L/h)	处理编号	残膜埋深 (cm)	滴头流量 (L/h)
T1	0~6	0.5	T4	0~6	2.0
T2	6~12	0.5	T5	6~12	2.0
T3	12~18	0.5	T6	12~18	2.0
CK1	无	0.5	CK2	无	2.0

表 3 不同记录次数时的入渗时间(min)  
Table 3 The infiltration time of different recording

滴头流量(L/h)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次
0.5	3	9	16	30	50	80	130	240
2.0	2	5	10	18	30	50	80	140

## 2 结果与分析

### 2.1 残膜埋深对滴灌湿润峰运移的影响

由于残膜的阻水作用, 土壤中存在残膜则水分入渗速度减慢, 然而残膜与土壤接触的随机性导致了残膜区水分入渗的非均匀性, 可见残膜在土壤中的不同位置直接影响了水分入渗过程。由图 1 可知, 在相同滴灌流量条件下随着残膜在土壤中深度的增加在相同时间内湿润距离缩短, T1、T2、T3 处理在滴灌结束时垂直湿润距离依次是  $18.5(18.6 \pm 0.3)$ 、 $17.8(17.6 \pm 0.4)$ 、 $17(17 \pm 0.1)\text{cm}$ ; T4、T5、T6 处理在滴灌结束时垂直湿润距离依次是  $19.1(18.9 \pm 0.5)$ 、 $18.2(18.0 \pm 0.2)$ 、 $17.5(17.4 \pm 0.5)\text{cm}$ , 基本呈线性减小, 对于没有残膜的空白试验 CK1 和 CK2, 其垂直湿润距离均明显大于有残膜的处理(括号内为本次试验与另外两组重复间以“均数 ± 标准差”形式表示)。

另外, 从图 1 可以看出, 对照(CK)处理在不同深度的湿润曲线相对较光滑, 而残膜处理湿润曲线存在较大的不规则性, 特别是残膜在土壤下层(12~

田间采集的土样经风干、碾细、过筛(筛孔径为  $2 \text{ mm}$ ), 将土样分成两部分, 其中一部分将残膜与土壤混合均匀, 然后按体积质量(容重) $1.5 \text{ g/cm}^3$ , 每  $3 \text{ cm}$  厚分层, 根据试验设计填入土箱; 另外部分按相同体积质量不做处理装入土箱内。滴灌开始后按照先密后疏的时间间隔用彩笔在土箱的有机玻璃上画出湿润峰运移曲线, 并记录相应的入渗时间(表 3), 然后将曲线扫描导入 AutoCad 软件中进行统一处理; 在灌水结束后 2、10 h 采用微型土钻沿径向距滴头 2、6、10、15 cm, 从上向下距表土 0~3、3~6、6~9、9~12、12~15、15~18 cm 取土, 烘干法测定土壤含水率。试验过程中保持入渗稳定, 其中 0.5 L/h 处理各入渗 2 L 水, 2.0 L/h 处理各入渗 2.4 L 水。

本文均采用 Excel 处理分析试验数据, 并统一绘制图表, 利用 SPSS17.0 进行了相关数据的方差分析。经数据分析对比, 3 个重复间不存在显著性差异, 故文中试验结果数据为 3 次重复的平均值。

18 cm)的时候, 不规则性更加明显(图 1: T3、T6), 同时随着滴头流量的加大, 这种不规则现象也越强烈。这是由于残膜在土壤中的位置随机性以及铺展的不确定性致使部分土壤水分从残膜边界等位置绕行而使湿润曲线呈现不规则性, 故这种不规则性直接与残膜在土壤中位置相关。可见残膜埋深越大, 由于残膜的堵塞效应导致在相同时间内总的湿润距离越小, 并且残膜存在区域的湿润曲线不规则性越强烈。

### 2.2 残膜埋深对滴灌入渗速率的影响

残膜存在时降低了水分入渗速率, 残膜在不同深度入渗速率降低的程度不同。其中入渗速率是根据记录入渗距离及其所用时间计算而得。如图 2 所示, 在流量相同的条件下, 不同处理水分入渗速率皆为一开始较大, 而后急剧下降, 最后趋于平缓。但在入渗初期, T1 和 T4 处理由于在土壤上层(0~6 cm)存在残膜, 故这两个处理水分入渗速率明显低于相应流量的其他两个处理。随着入渗的不断推进, 在土壤中层和土壤下层的残膜区水分入渗速率均相应减小, 但是不同处理间的入渗速率差异也减小, 这是由于水分入渗

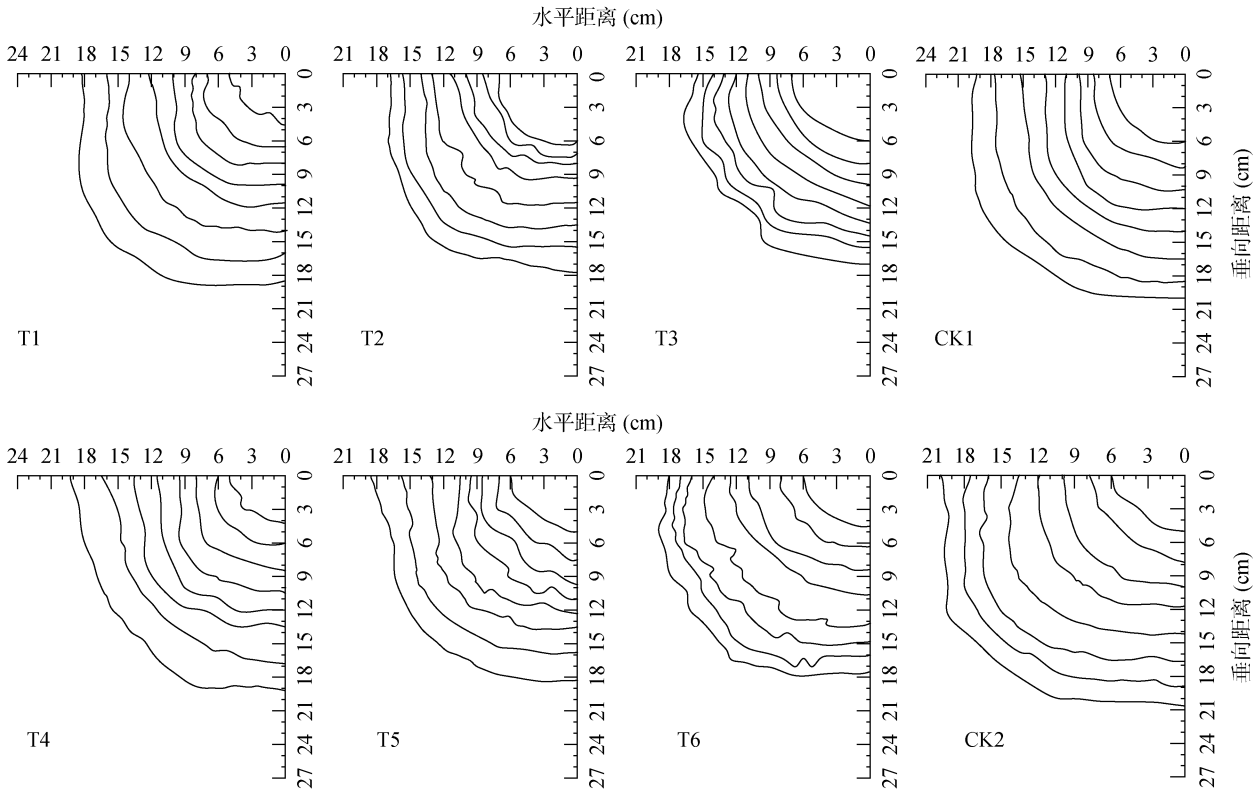
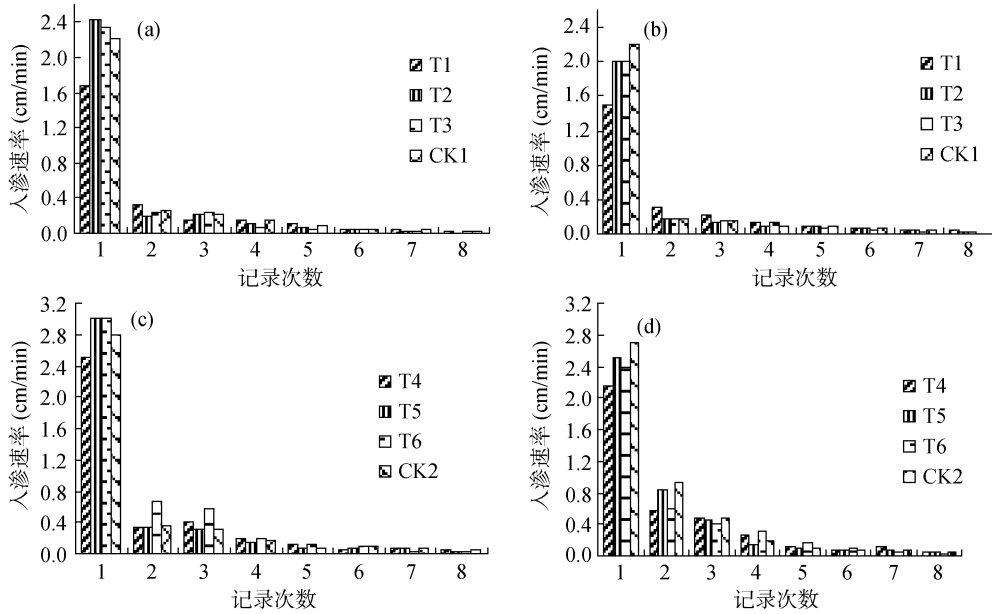


图 1 不同处理条件下湿润体分布图

Fig. 1 Distribution law of drip infiltration wetting pattern for different treatments



(a、b 水平和垂直方向，滴头流量为 0.5 L/h；c、d 水平和垂直方向，滴头流量为 2 L/h)

图 2 不同处理入渗速率在水平和垂直方向随时间变化过程

Fig. 2 Changes of horizontal and vertical infiltration rates with time under different treatments

到中下层的时候入渗速率本身就已经较小,尽管残膜存在对入渗速率有一定的影响,但是减小的程度难以到达显著差异。无残膜的对照处理基本与残膜在中下层的情况类似。由此可见,虽然无论是在表层还是在深层,残膜对水分阻隔作用是一样的,但是表层水分

流动速度更快,所以残膜在土壤表层时对土壤水分入渗速率阻碍作用更加明显。

滴灌条件下,不同残膜埋深对水分入渗速率平均变化率(速率平均变化率由记录速率变化及其所用时间计算而得)的影响不同,本研究分别在水平和

表 4 不同处理条件下滴灌入渗速率的平均变化率(mm/min<sup>2</sup>)  
Table 4 Average change rates of infiltration rate of drop-irrigation under different treatments

处理	残膜埋深(cm)					
	0~6		6~12		12~18	
	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
T1	5.556 c C (0.093)	5.000 b B (0.095)	0.053 a AB (0.004)	0.056 a A (0.004)	0.009 a A (0.001)	0.005 a A (0.002)
T2	7.910 a A (0.118)	6.667 a A (0.094)	0.045 b B (0.005)	0.036 c B (0.008)	0.006 b B (0.002)	0.004 a AB (0.001)
T3	7.777 b B (0.082)	6.667 a A (0.103)	0.050 ab AB (0.002)	0.049 b A (0.005)	0.002 c C (0.001)	0.002 b B (0.001)
CK1	7.912 a A (0.158)	6.672 a A (0.115)	0.055 a A (0.001)	0.053 ab A (0.003)	0.008 a AB (0.005)	0.005 a A (0.002)
T4	12.500 b B (0.127)	10.750 c C (0.205)	0.085 a A (0.015)	0.099 a A (0.007)	0.010 a A (0.005)	0.008 a AB (0.002)
T5	15.000 a A (0.093)	12.500 a A (0.182)	0.056 c B (0.008)	0.066 b B (0.005)	0.006 b B (0.003)	0.006 b BC (0.001)
T6	15.000 a A (0.105)	12.250 b B (0.098)	0.079 b A (0.011)	0.101 a A (0.042)	0.003 c C (0.001)	0.005 b C (0.002)
CK2	15.032 a A (0.131)	12.545 a A (0.152)	0.080 ab A (0.006)	0.098 a A (0.009)	0.008 a AB (0.002)	0.009 a A (0.003)

注：同列不同大、小写字母分别表示同一滴灌流量下不同残膜埋深处理间差异在  $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$  水平显著。

垂直方向上分析了不同残膜埋深对水分入渗速率平均变化率的影响。方差分析显示含残膜土层入渗速率平均变化率明显变慢(表 4),无论是高滴头流量处理还是低滴头流量处理,含残膜土层水流在水平方向与垂直方向入渗速率平均变化率都明显低于其他处理该层入渗速率平均变化率,基本都达到极显著差异( $P < 0.01$ )。以滴头流量为 0.5 L/h 处理,残膜埋深为 6~12 cm 土层为例,T2 处理的水分入渗速率平均变化率在水平方向上依次较 T1、T3 和 CK1 处理低 17.78%、11.11%和 22.22%,在垂直方向上依次较 T1、T3 和 CK1 处理低 55.56%、36.11%和 47.22%,且与 T1、T3 和 CK1 处理存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。另外无论残膜存在表层还是底层,残膜层水分入渗速率与对应层相比均显著降低( $P < 0.01$ ),然而随着埋深增加水分入渗速率成曲线下降,由于表层水分入渗速率远大于底层入渗速率(图 2),故随着残膜埋深增加残膜对滴灌入渗速率平均变化率的影响逐渐降低,所以残膜阻水作用对整个土层滴灌水分入渗的影响更小。

### 2.3 残膜埋深对滴灌结束土体含水率分布的影响

由于残膜在土壤中埋深不同影响了水分入渗过程,所以必将影响水分在土壤中的分布。从入渗结束后土壤含水率等值线分布图(图 3)可知,不同处理都存在类似的现象,通过与无残膜处理对比,残膜存在区域含水率在整个土体内都相对较高,这是由于残膜的阻水作用,残膜区土壤水分不易入渗,导致残膜区积水现象。其中 T1、T4 处理在土壤上层(0~6 cm)土

壤含水率相对较高,T2、T5 处理在土壤中层(6~12 cm)土壤含水率相对较高,而 T3、T6 处理则在土壤下层(12~18 cm)土壤含水率较高;另外随着残膜埋深的增加,土体内的最高含水率也随之增大,比如 T1、T2、T3 处理土壤最大含水率依次为 10.1%、12.1%、14.7%,这是由于残膜埋深较浅时,阻水层水分入渗的时间越长,残膜埋深较深时,阻水层水分入渗时间越短所致。由以上可见,残膜埋深直接影响土体内的含水率的分布,残膜区在土体内含水率相对较高,随着残膜埋深的增加,土体内的最高含水率呈增加趋势,不同滴灌流量下都有类似结论。

## 3 结论

(1) 残膜在土壤中的埋深对水分入渗湿润曲线的影响较大。残膜埋深越浅滴灌结束时湿润体越大,反之滴灌结束时湿润体越小;同时试验显示残膜区入渗湿润曲线不规则较明显。

(2) 残膜区水分入渗速率明显低于对应其他处理该层的入渗速率。不同滴头流量、残膜不同埋深,残膜区水分入渗速率在横向和垂向均显著低于对应处理该层入渗速率,随着残膜埋深增加,残膜对水分入渗速率的变化率的影响逐渐降低,即残膜埋设越深对整个土层的阻水效应越小。

(3) 残膜埋深不同,滴灌土体内土壤水分分布不同。残膜存在区域含水率相对较高,随着残膜埋深增加,土体内的最高含水率呈增加趋势,不同滴灌流量下都有类似结论。

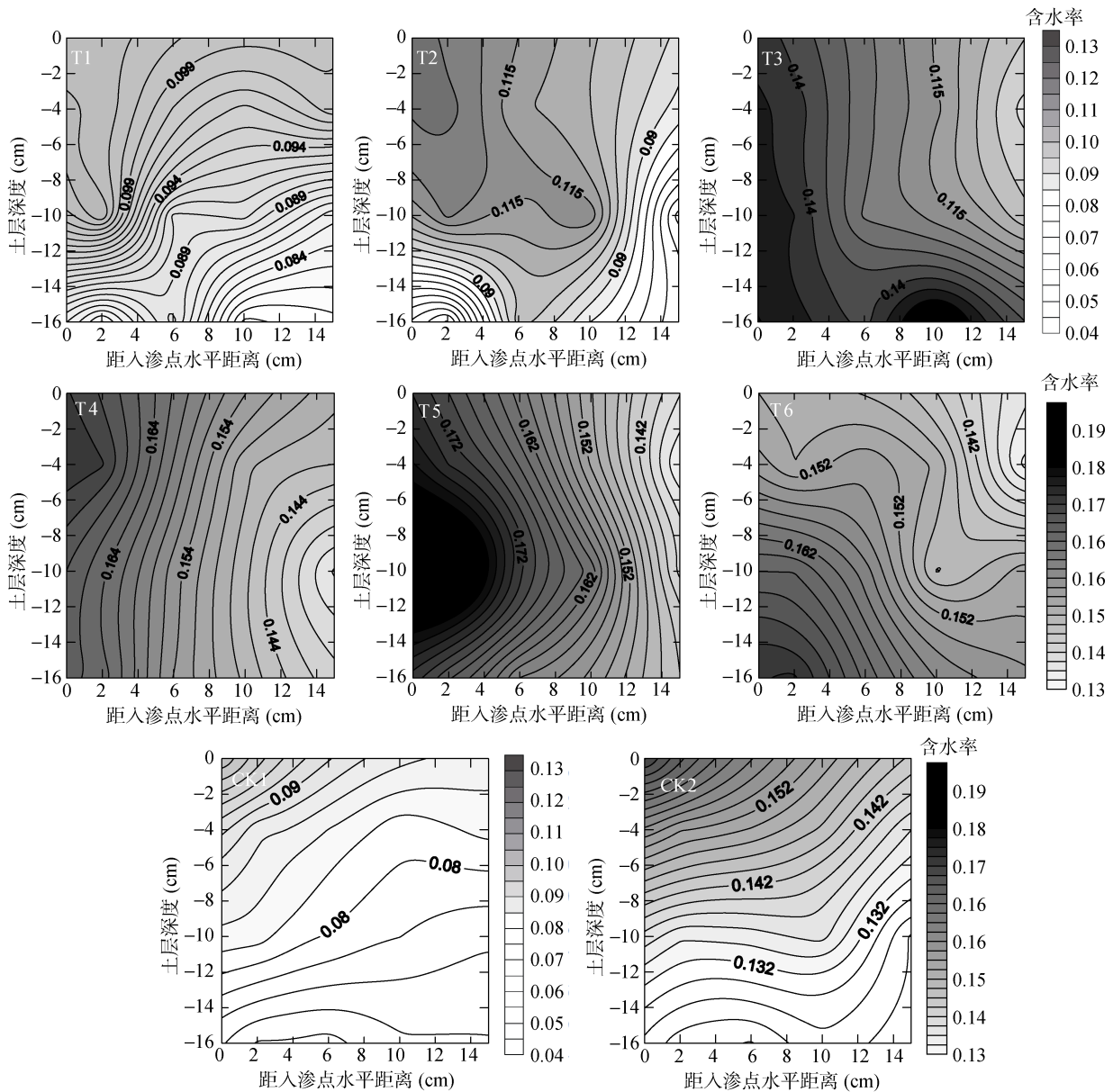


图 3 入渗结束后的含水率等值线图

Fig. 3 Isograms of soil water content at the end of infiltration under different treatments

### 参考文献：

- [1] Liao YC, Zhang DQ, J ZK, Z Li, Lu Yang-ming. Effects of plastic film mulching of millet on soil moisture and temperature in semi-arid areas in south Ningxia of China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2005, 4(11): 865-871
- [2] Chaudhary TN, Chopra UK. Effect of soil covers on growth and yield of irrigated wheat planted at two dates[J]. *Field Crops Research*, 1983, 7: 293-304.
- [3] 赵聚宝, 李克煌. 干旱与农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995
- [4] 贺欢, 田长彦, 王林霞. 不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影响[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(6): 826-831
- [5] 贺军奇, 员学锋, 卫新东, 汪有科. 保墒灌溉对夏玉米地土壤水分迁移转化的影响[J]. *干旱区研究*, 2011, 28(2): 198-204
- [6] 康轩, 黄景, 吕巨智, 银秋玲, 梁和, 雷振甜, 李仍云. 保护性耕作对土壤养分及有机碳库的影响[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 2 339-2 343
- [7] 刘净贤, 周石砾, 晋绿生, 王进, 杨景辉. 新疆北部膜下滴灌棉田的蒸散特征[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(2): 360-368
- [8] 李巧, 周金龙, 栗现文, 郭晓静, 赵玉杰. 微咸水膜下滴灌棉田春灌压盐效果的初步分析[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(1): 167-172
- [9] Kenneth M, Thomas G. Arne holmstrom examination of a low density polyethylene(LDPE)film after 15 years of service as an air and water vapour barrier[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2001, 73(1): 69-74
- [10] 解红娥, 李永山, 杨淑巧, 王娟娟, 吴秀峰, 武宗信. 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): 153-156

- [11] 徐刚, 杜晓明, 曹云者, 汪群慧, 许端平, 卢桂兰, 李发  
生. 典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J].  
农业环境科学学报, 2005, 24(1): 79-83
- [12] 杨彦明, 傅建伟, 庞彰, 杨树筠, 曹建国. 内蒙古农田地  
膜残留现状分析[J]. 内蒙古农业科技, 2010(1): 10-12
- [13] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影  
响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 172-175
- [14] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 常蕊芹, 刘勤, 刘爽. 我国地  
膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学  
报, 2009, 28(3): 533-538
- [15] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 郑盛华. 农用地膜残留污染  
的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272
- [16] 尉海东, 伦志磊, 郭峰. 残留农膜对土壤性状的影响[J].  
生态环境, 2008, 17(5): 1 853-1 856
- [17] 薛少平, 朱琳, 姚万生, 韩文霆. 麦草覆盖与地膜覆盖  
对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):  
71-73
- [18] 徐荣乐, 海热提. 塑料地膜对小麦种子萌发及幼苗抗氧化  
酶系统的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2 702-2 707
- [19] 马辉, 梅旭荣, 严昌荣, 何文清, 李康. 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

## Study on Effect of Plastic Film Residue at Different Buried Depths on Silt Loam Drip Infiltration

WANG Zhi-chao, LI Xian-yue\*, SHI Hai-bin, LIN Yu-xin, LI Xin, LIANG Jian-cai

(Water Conservancy and Civil Engineering College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to study the effect of plastic film residue at different buried depths on silt loam drip infiltration. Two drip discharges (0.5, 2 L/h) and three buried depths of plastic film residue were planed. The wetting body shape, infiltration rate and soil water distribution were mainly studied according to the residue buried depth. The results showed that the deeper buried depth of plastic film residue caused the smaller the wet zone after drip irrigation. The wet zone around the plastic film was irregular. There was remarkable different between the drip infiltration in residue layer and the same layer's infiltration of corresponding other treatments ( $P < 0.01$ ). In addition, soil water around the residue zone was apparently higher, and maximum soil water in the study zone increased with deeper buried depth of plastic film residue, and there were the similar laws for different drip discharges. So it can be concluded that the buried depth of plastic film residue in soil has a large influence on the soil water infiltration. It is meaningful for designing the irrigation schedule to make clear the effect of burial depth of plastic film residue on drip infiltration.

**Key words:** Plastic film residue, Buried depth, Infiltration rate, Soil water