

# 根层铺多孔膜对和田风沙土水分入渗及蒸发的影响研究

秦佳豪<sup>1,2</sup>, 洪明<sup>1,2</sup>, 闫辰啸<sup>1,2</sup>, 艾孜买提江·左尔东<sup>1</sup>, 王辰宇<sup>1</sup>, 刘彦平<sup>1,2</sup>

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆水利工程安全与水灾害防治重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为探讨根层铺多孔膜对新疆和田风沙土水分入渗及蒸发的影响, 研究中设置了3个开孔度(30%、40%和50%)和3个埋深(10、15和20 cm), 以不铺多孔膜处理为对照, 开展了室内的人渗及蒸发试验, 研究了风沙土水分入渗及蒸发特征。结果表明: 根层铺多孔膜可以有效减缓土壤水分入渗, 随多孔膜埋深的增加, 土壤水分入渗速率呈先减小后增大的趋势, 而开孔度的增大则加快了土壤水分的入渗速率, 当开孔度与埋深组合为30%与15 cm时, 土壤水分入渗速率和渗漏量均最小; 铺多孔膜处理中, 埋深10 cm各处理的土面累积蒸发量较对照处理显著降低( $P < 0.05$ ), 其中开孔度40%处理的土面累积蒸发量较对照处理减少了18.67%, 体现了根层铺多孔膜技术具有较好的抑制蒸发作用; 累积蒸发量随着开孔度的增大先减小后增大, 随多孔膜埋深的增加先增大后趋于稳定。从减缓入渗和抑制蒸发的角度考虑, 对于和田风沙土, 适宜的铺多孔膜技术参数为开孔度40%, 埋深10 cm。

**关键词:** 多孔膜; 风沙土; 入渗; 蒸发; 和田地区

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)02-0233-08

## Effects of porous film mulching in root zone on water infiltration and evaporation of Hetian aeolian sandy soil

QIN Jiahao<sup>1,2</sup>, HONG Ming<sup>1,2</sup>, YAN Chenxiao<sup>1,2</sup>, Aizimaitijiang · ZUOERDONG<sup>1</sup>,  
WANG Chenyu<sup>1</sup>, LIU Yanping<sup>1,2</sup>

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security and Water Disaster Prevention, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of the porous film mulching in root zone (PFMRZ) on the water infiltration and evaporation of Hetian aeolian sandy soil, three porosity openings (30%, 40% and 50%) and three buried depth (10 cm, 15 cm and 20 cm) of this film, as well as one control without film were set up for the laboratory test to study the characteristics of water infiltration and evaporation of aeolian sandy soil. The test results show that PFMRZ can effectively slow down the infiltration of soil water, with the increase of the buried depth, soil water infiltration rate decreases first and then increases, and the increase of the porosity opening speeds up the soil water infiltration rate. When the porosity opening is 30% and the buried depth is 15 cm, the soil water infiltration rate and leakage reach the minimum. Among the treatments of PFMRZ, the cumulative evaporation of the soil surface of each treatment with the buried depth of 10 cm is significantly lower than that of the control treatment ( $P < 0.05$ ), among which it is reduced by 18.67% compared with the control treatment when the porosity opening is 40%, demonstrating that PFMRZ performs well in suppressing evaporation. The cumulative evaporation decreases first and then increases with the increase of the porosity opening, whereas it increases first and then tends to stabi-

收稿日期: 2021-01-04; 修回日期: 2021-03-04

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划项目(XJEDU2018Y024); 新疆维吾尔自治区重点研发项目(2018B01002-2); 新疆维吾尔自治区教育厅创新项目(XJEDU2017T004)

作者简介: 秦佳豪(1995-), 男, 四川广安人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉新技术研究。

通讯作者: 洪明(1980-), 男, 新疆玛纳斯人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。

lize with the increase of the buried depth of the porous film. In order to slow down infiltration and suppress evaporation, the suggested technical parameters of porous film for Hetian aeolian sandy soil are 40% porosity opening and 10 cm buried depth.

**Key words:** porous film; aeolian sandy soil; infiltration; evaporation; Hetian area

## 1 研究背景

新疆和田地区位于塔克拉玛干沙漠南缘,气候干旱少雨,空气干燥,多风沙,严酷的自然条件和人类不合理的经济活动致使该地区土地荒漠化严重,风沙土成为当地广泛分布的土壤类型之一<sup>[1]</sup>。风沙土颗粒粗大,质地松散,初始养分含量低,具体表现为保水保肥性差,再加之当地灌溉管理粗放,往往导致风沙土农田深层渗漏量大,灌溉水利用系数较低。目前提高风沙土农田灌溉水利用系数的主要技术措施有两类:一类是采用膜下滴灌、微润灌等节水灌溉技术<sup>[2]</sup>,通过减小灌水定额、增加灌水频率进而减小灌溉水的深层渗漏量;另一类是通过添加生物质炭<sup>[3]</sup>、砒砂岩<sup>[4]</sup>、粉煤灰<sup>[5]</sup>等提高风沙土的持水保水能力,如重庆交通大学易志坚<sup>[6]</sup>团队通过向风沙土中添加改性羧甲基纤维钠增加沙粒之间的约束力,进而实现沙地“土壤化”。然而膜下滴灌技术存在残膜污染环境的风险,而微润灌技术虽然可以解决深层渗漏的问题,却很难实现水肥同施,再加之上述两种节水灌溉技术对用户的应用能力要求高,很大程度上限制了其推广应用。另一类土壤改良技术虽然能够提高风沙土的保水保肥性,但其成本较高,在很长一段时间内难以大规模投入农业生产。鉴于此,进一步探索适应当地风沙土开发利用的技术措施显得尤为重要。

20世纪60年代以来,国外的土壤学家在地下50~60 cm范围内水平铺设不透水隔水层以实现沙土农业种植的目的<sup>[7]</sup>。陈彩富等<sup>[8]</sup>在宁夏沙坡头试验站的地下铺设塑料隔水层后,种植的农林作物产量增加,此后利用在地下铺设塑料薄膜实现沙地种植农林作物的方法逐渐发展为沙地衬膜栽培技术。近年来,沙地衬膜水稻栽培技术已在内蒙古科尔沁沙地得以大面积推广,大量学者<sup>[9-10]</sup>研究表明沙地衬膜具有提高水分利用效率、减少深层渗漏和灌水频率等作用。但满多清等<sup>[11]</sup>通过旱地种植樟子松试验观察到,全封闭地下隔层可能会出现根区土壤含水率过高,且不易排出的情况,从而导致苗木存活率下降。针对上述情况,有学者对旱地地下局部铺设塑料薄膜展开了研究。Barth<sup>[12]</sup>开发了一种新的地下灌溉系统,除了特殊的管路结构以防止根系和土壤颗粒堵塞地下滴灌管外,主要改进在于滴

灌管下铺设V型薄膜条带,结果表明滴灌管下铺设V型薄膜条带可以减少水分深层渗漏,另外条带的间隔可用于渗出多余的水。杜志达等<sup>[13]</sup>在漫灌条件下,研究了地下U型和平面条带铺设对深层渗漏的影响,结果表明地下铺设U型条带可以有效降低深层渗漏,减少灌水量。总体来说,现有关于地下薄膜的研究多集中于薄膜的铺设方式对单一土壤水分入渗的影响,针对薄膜孔隙率对土壤水分入渗及蒸发的影响还鲜有报道。

笔者所在的课题组在2012年提出“一种运动场草坪节水技术”<sup>[14]</sup>,即在地下根系层内水平铺设具有一定孔隙度的塑料薄膜,阻隔了土壤毛管的连通孔隙,当灌溉或雨水入渗时仅能从多孔膜开孔位置部分透过,降低了膜上水分的入渗速率,从而延缓其向深层渗漏,提高膜上土壤含水率;土壤水分蒸发时,多孔膜阻碍毛管水向上运动补给地表蒸发损失量,减少地表蒸发量,从而使更多水分停留在根系层供作物吸收利用。洪明等<sup>[15]</sup>通过盆栽试验表明了根层铺多孔膜具有良好的节水效果。基于此,本研究通过室内入渗及蒸发试验,分析多孔膜的开孔度与埋设深度(以下简称埋深)对土壤水分入渗及蒸发的影响,以期为该技术的推广提供理论依据。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料

试验于2020年5-7月在新疆农业大学水盐运移实验室内进行。供试土壤为风沙土,取自和田县经济开发区和谐新村(79°52'E,37°16'N,高程1370 m)温室大棚,经测定供试土壤干容重为1.58 g/cm<sup>3</sup>,孔隙率为38.5%,风干含水率为1.71%,饱和含水率为37.50%,田间持水率为20%,凋萎体积分含水率为1.27%。试验用土壤的机械组成见表1,渗析仪测得均质土饱和导水率为0.00425 cm/min。试验前将供试土壤过2 mm筛后备用。

### 2.2 试验装置

试验装置包括土柱、马氏瓶、铁架台、红外加热灯、多孔膜等。试验土槽为高70 cm、直径20 cm、壁厚0.4 cm的有机玻璃柱,底部开排气孔。试验装置详见图1。

表 1 试验用土壤的机械组成

粒径/mm	>1.00	1.00~0.50	0.50~0.25	0.25~0.10	0.10~0.075	<0.075
含量/%	0.12	0.62	3.70	79.63	5.17	10.76

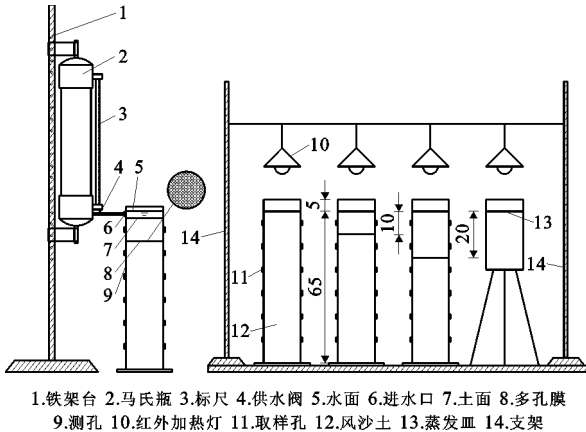


图 1 入渗、蒸发试验装置图(单位:cm)

2.3 试验设计

试验中重点考虑多孔膜开孔度和埋深两个因素。开孔度(薄膜孔隙面积与薄膜总面积的比值)设 30%、40% 和 50% 3 个水平(H1、H2 和 H3),埋深设 10、15 和 20 cm 3 个水平(M1、M2 和 M3),以不铺多孔膜的处理作对照。试验共设 10 个处理,为减少试验误差,每个处理设 3 次重复。具体试验处理设置见表 2。

表 2 试验处理设置

处理	开孔度/%	埋深/cm
CK		
M1H1	30	10
M1H2	40	10
M1H3	50	10
M2H1	30	15
M2H2	40	15
M2H3	50	15
M3H1	30	20
M3H2	40	20
M3H3	50	20

2.4 试验方法

试验分为两部分,分别为定水头入渗试验和蒸发试验,具体试验方法如下:

(1)入渗试验:将土槽用底座垫高下接塑料盆,装土前在土槽底部铺设等直径 200 目尼龙布后装填

5 cm 砂石反滤层用于通气透水,上铺 200 目尼龙布后按设计容重每 5 cm 分层装填风沙土,为防止土壤分层,层间经打毛后再填充下一层。同时将多孔膜按设计埋深水平铺设,并尽量全封闭土壤接触面。各处理土槽装土总高度均为 65 cm,最后在表面平铺一层定性滤纸防止水流冲刷土表。土槽装填完毕后开始入渗试验,以自来水为供水水源,采用马氏瓶供水,水层厚度控制在 3 cm。试验开始时,将预先计算并称量好的水迅速倒入土槽内,同时打开马氏瓶的供水阀,同时记录各时刻的马氏瓶读数与湿润锋位置。具体记录方式为:0~1 min 每 30 s 记录一次;1~10 min 每 1 min 记录一次;10~75 min 每 5 min 记录一次。以湿润锋到达距对照处理土柱底面 10 cm 处的水量作为各处理累积入渗量,即当累积入渗量达到设计水量(5.95 L)时关闭马氏瓶的供水阀,待土槽内的表层水全部入渗后视为定水头积水入渗阶段结束。灌水结束后,用塑料膜将土槽封口,防止水分蒸发,以静置 48 h 后的入渗土槽作为蒸发阶段的供试土槽。

(2)蒸发试验:采用 1 500 W 红外加热灯模拟自然光照,灯管下缘距离土表 50 cm,供试土槽如图 1 所示排开,昼夜连续蒸发,每 24 h 测定土壤剖面含水率,并对土槽称重。

2.5 参数及测定方法

采用 WET-2 土壤三参数仪测定土壤的体积含水率,测定前用烘干法校核。距离土表每隔 5 cm 绕柱打孔 3 处,相邻孔间水平夹角 120°,共 8 层。测定时将仪器探针水平插入测孔,读取并记录土壤含水率。为防止灌溉水从测孔流出,每次测定结束后用胶带封闭测孔。

2.6 数据统计与分析

采用 Excel 2013 软件进行试验数据的初步分析和图形绘制,采用 DPS 18.0 统计软件进行双因素方差分析,Duncan 新复极差法进行不同处理间的差异显著性分析。

3 结果与分析

3.1 多孔膜对土壤水分入渗特性的影响

图 2 为不同处理湿润锋推进深度和累积入渗量随时间的变化曲线。

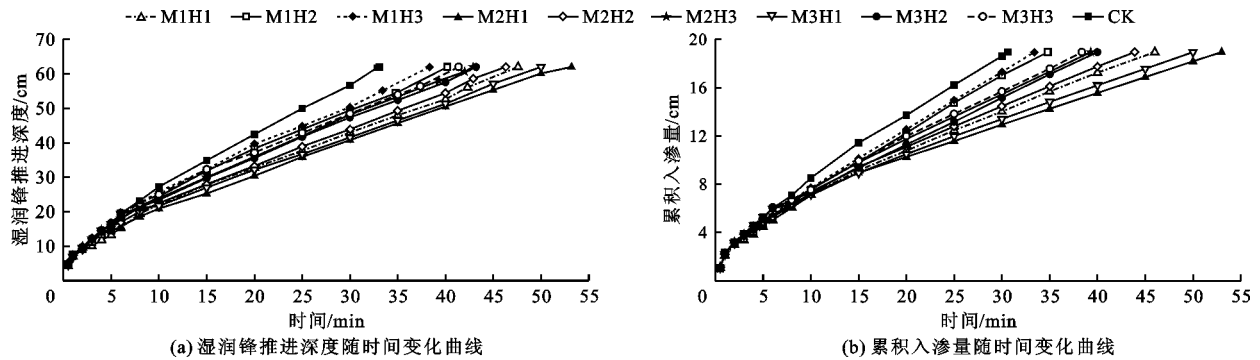


图2 不同处理湿润锋推进深度和累积入渗量随时间的变化曲线

对图2所示结果分析如下:

(1)湿润锋推进深度和累积入渗量均随时间的推移呈增大趋势。入渗初期,土水势梯度较大,各处理湿润锋推进深度和累积入渗量曲线较陡,入渗速率较大,且各处理曲线几乎重合。分析认为,由于此时湿润锋未到达根系层铺多孔膜所在位置,多孔膜并未对水分入渗产生影响,因此呈现上述现象。随着入渗时间的推移,湿润锋推进至多孔膜所在位置,多孔膜开始影响水分入渗:一方面铺多孔膜各处理的入渗速率下降,湿润锋推进深度随时间变化,曲线逐渐变缓,另一方面此时多孔膜“阻渗”效果开始显现,因此铺多孔膜各处理的湿润锋推进深度随时间变化的曲线较对照处理明显放缓,且随着时间的推移差异逐渐增大(图2(a))。

(2)多孔膜的开孔度对湿润锋推进深度和累积入渗量变化趋势的影响基本一致,不同开孔度处理下的湿润锋推进深度和累积入渗量随时间的变化曲线较对照处理均差异较大。整体来看,铺多孔膜的各处理中,湿润锋推进深度和累积入渗量均随开孔度的增大而增加,当入渗历时为30 min时(此时铺多孔膜各处理湿润锋均已穿过多孔膜),各处理湿润锋推进深度和累积入渗量的大小关系表现为:CK > 50%开孔度 > 40%开孔度 > 30%开孔度,其中30%开孔度能够明显降低风沙土的入渗速率。多孔膜与秸秆深埋、层状土<sup>[16-17]</sup>阻渗机理不同的是,由于多孔膜厚度较薄,且膜材料本身不吸水,所以阻渗效果不受材料吸水差异造成的水势差影响,仅与多孔膜的透过性有关,而多孔膜开孔度越大,多孔膜的透过性越好,阻渗效果越差,反之亦然。

(3)多孔膜的埋深对湿润锋推进深度和累积入渗量变化趋势的影响基本一致,不同埋深处理下的湿润锋推进深度和累积入渗量随时间的变化曲线较对照处理均差异较大。整体来看,铺多孔膜的各处

理中,湿润锋推进深度和累积入渗量均随埋深的增大先减小后增大,当入渗历时为30 min时,各处理湿润锋推进深度和累积入渗量的大小关系表现为:CK > 10 cm埋深 > 20 cm埋深 > 15 cm埋深,其中15 cm埋深能够明显降低风沙土的入渗速率。图2(a)中表现为当湿润锋推进至多孔膜位置时,埋深越大,曲线斜率变化越大。分析认为,多孔膜通过形成部分不透水的物理阻断层,切断了土壤毛细孔隙的连续性,当湿润锋推进至多孔膜上界面时受到阻滞,从而降低土壤水分的入渗速率。多孔膜埋深为10 cm时,湿润锋到达多孔膜时的入渗速率较大,阻滞作用不明显,而埋深15和20 cm时的入渗速率相差不多,但前者较后者先发挥作用,阻滞作用更明显。当入渗试验设定相同的水量时,铺多孔膜各处理入渗历时在33.4 ~ 53.0 min内变化,较对照处理的入渗历时增加了1.83% ~ 61.59%(图2(b))。表明根系层铺多孔膜具有一定的阻渗作用,且以30%开孔度和15 cm埋深作用最明显。

### 3.2 多孔膜对土壤剖面含水率的影响

表3为入渗结束后各处理不同深度土壤剖面含水率分布表。

由表3中数据可以看出,对于表层土壤,铺多孔膜各处理平均含水率在17.43% ~ 25.63%之间变化,较对照处理增加了11.02% ~ 63.25%,其中埋深15 cm的3个处理以及埋深10和20 cm中30%开孔度处理差异显著( $P < 0.05$ )。铺多孔膜各处理中也是上述处理与其他处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。对于膜上土壤含水率,铺多孔膜各处理平均含水率在23.13% ~ 29.30%之间变化,3种埋深下的各处理膜上土壤含水率分别较对照处理的含水率高14.81% ~ 26.76%、15.00% ~ 26.68%和9.45% ~ 15.37%,且均差异显著( $P < 0.05$ )。对于膜下土壤含水率,铺多孔膜各处理平均含水率在29.26% ~ 33.33%之间

变化,3 种埋深下的各处理膜下土壤含水率与对照处理的关系不尽相同,但差异均不显著 ( $P < 0.05$ )。当埋深一定时,铺多孔膜各处理中,表层及膜上的土壤剖面平均含水率均随着开孔度的增大而减小;当开孔度一定时,铺多孔膜处理中,表层及膜上的土壤剖

面平均含水率均随着埋深的增大先增大后减小。表明与对照处理相比,根层铺多孔膜的各处理在一定程度上减缓了水分入渗速率,从而使更多水分蓄积在多孔膜以上土层,导致铺多孔膜各处理表层及膜上的土壤含水率大于对照处理。

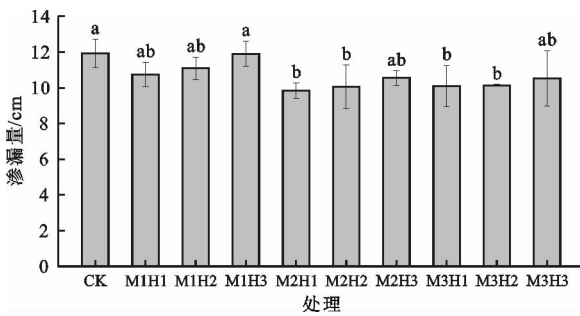
表 3 入渗结束后各处理不同深度土壤剖面含水率分布

处理	表层深度/cm		膜上深度/cm		膜下深度/cm		
	0~5	0~10	0~15	0~20	0~10	0~15	0~20
CK	15.70b	20.93b	23.13c	24.33b	30.80ab	31.90a	33.16a
M1H1	22.77a	26.53a			30.87a		
M1H2	18.70b	24.30a			31.47a		
M1H3	17.43b	24.03a			29.26b		
M2H1	25.63a		29.30a			31.57a	
M2H2	24.37a		28.40ab			32.07a	
M2H3	22.83a		26.60b			31.87a	
M3H1	25.50a			28.07a			31.80a
M3H2	21.33ab			27.27a			33.33a
M3H3	20.47b			26.63a			31.93a

注:表中数据为土壤剖面含水率的平均值(体积),同列不同小写字母表示不同处理间土壤剖面含水率之间差异性显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3.3 多孔膜对土壤水分渗漏的影响

图 3 为入渗结束 48 h 后各处理 65 cm 深度以下的渗漏量。



注:不同小写字母表示不同处理间渗漏量之间差异性显著 ( $P < 0.05$ ),下同。

图 3 各处理 65 cm 深度以下的渗漏量(入渗结束 48 h 后)

由图 3 可以看出,铺多孔膜各处理的渗漏量在 9.85 ~ 12.00 mm 之间变化,较对照处理减少了 1.07% ~ 17.48%,其中埋深 15 和 20 cm,开孔度 30% 和 40% 的 4 个处理较对照处理差异显著 ( $P < 0.05$ )。当开孔度一定时,铺多孔膜各处理中,渗漏量随着埋深的增大先减小后趋于稳定,但处理间差异不显著;当埋深一定时,渗漏量随着开孔度的增大而增大,处理间差异也不显著。表明通过调整多孔膜的开孔度和埋深,铺多孔膜处理能够一定程度上

减少风沙土的渗漏量,起到一定的阻渗作用。

### 3.4 根层铺多孔膜对土壤水分蒸发的影响

在实际农业生产中,尤其是在作物生长初期,地表覆盖度较低时,当灌溉水或降雨后,若未采用薄膜覆盖,则农田土壤水分的消耗主要以裸间蒸发为主,在此阶段降低农田的裸间蒸发就成为节水的重要途径。因此研究根层铺多孔膜处理对风沙土日蒸发量和累积蒸发量的影响也成为衡量其节水能力强弱的重要指标之一。图 4 为不同处理在土面蒸发条件下,日蒸发量和累积蒸发量随时间的变化过程。

由图 4(a)可以看出,各处理日蒸发量整体随时间呈现先剧烈下降,至第 3 d 后趋于平缓。蒸发初始时,对照处理和铺多孔膜各处理的 0 ~ 5 cm 深度平均含水率分别为 12.9% 和 10.6% ~ 17.9%,略低于试验土样的田间持水量(20%),表层蒸发的水分能够及时得到下层土壤水分的补给,因此蒸发能力较强。蒸发至第 1 d 结束时,对照处理和铺多孔膜各处理的 0 ~ 5 cm 深度平均含水率分别为 8.9% 和 8.8% ~ 13.7%,随着土壤表层土壤含水率下降,蒸发能力同时受表层土壤含水率及下层土壤水分补给的影响,由于受铺设多孔膜各处理不同程度的制约,下层土壤水分的供给能力产生了差异,从而导致了各处理的日蒸发量也相应地产生了差异。蒸发至第

2 d 结束时,对照处理和铺多孔膜各处理的 0~5 cm 深度平均含水率分别为 7.5% 和 7.0%~10.1%,此时下层土壤水分对表层土壤蒸发的补给能力继续减弱,与第 1 d 的原因相似,各处理的日蒸发量也相应地存在差异。蒸发至第 3 d 结束时,对照处理和铺多孔膜各处理的 0~5 cm 深度平均含水率分别为 6.0% 和 5.9%~8.5%,此时表层蒸发几乎不受下层土壤水分的影响,因此各处理间日蒸发量差异不大。其中埋深 10 cm 各处理第 1 d 后日蒸发量便迅速降低;埋深 15 和 20 cm 各处理第 1 d 后日蒸发量也呈减小趋势,但减小幅度较前者以及对照处理小,图 4(a)中表现为第 2 d 埋深 15 和 20 cm 的铺多孔膜处理的日蒸发量高于其余处理。

由图 4(b)可以看出,铺多孔膜各处理的 5 d 累积蒸发量较对照处理关系不尽相同:埋深 10 cm 各处理累积蒸发量在 16.68~18.81 mm 之间变化,较对照处理减少了 8.29%~18.67%,差异显著( $P < 0.05$ )。埋深 15 和 20 cm 各处理累积蒸发量在 20.61~21.96 mm 之间变化,较对照处理增加了 0.49%~7.07%,差异不显著。铺多孔膜各处理的累积蒸发量随着开孔度的增大先减小后增大。分析认为这是由于多孔膜的阻渗作用,30% 开孔度处理膜上含水率较 40% 和 50% 开孔度处理高,而累积蒸发量主要受土壤初始含水率和导水率的影响,土壤

初始含水率越大,累积蒸发量越高,30% 开孔度处理使更多的土壤水分滞留在表层及膜上,因此累积蒸发量大于 40% 和 50% 开孔度处理。由于 40% 和 50% 开孔度处理阻渗效果相差不大,当表层土壤水分蒸发散失,50% 开孔度处理阻碍下层毛管水补给的能力较其余开孔度处理弱,累积蒸发量增大。因此出现累积蒸发量 40% 开孔度处理小于 50% 开孔度处理。相同埋深,不同开孔度铺多孔膜处理中,埋深 10 cm 条件下,30% 开孔度处理的累积蒸发量较 40% 开孔度处理差异性显著( $P < 0.05$ ),但两者的累积蒸发量与 50% 开孔度处理差异不显著;埋深 15 和 20 cm 条件下,各处理间累积蒸发量差异不显著。当多孔膜开孔度一定,累积蒸发量随着埋深的增加先增大后趋于稳定,主要是因为当多孔膜埋深较浅时,其上土层储存水分较少,在强烈的蒸发条件下,表层土壤水分被很快消耗,而多孔膜的存在阻碍了毛管孔隙的连通性,下层水分补给表土的蒸发作用减弱,使得表层土壤水分提前进入汽态水分散失阶段。当多孔膜埋深较深时,其上层土壤储存水分较多,土壤水分累积蒸发量较大。相同开孔度,不同埋深铺多孔膜处理中,开孔度 30%、40% 和 50% 条件下,15 cm 埋深处理累积蒸发量较 20 cm 埋深处理差异不显著,但两者的累积蒸发量与 10 cm 埋深处理差异显著( $P < 0.05$ )。

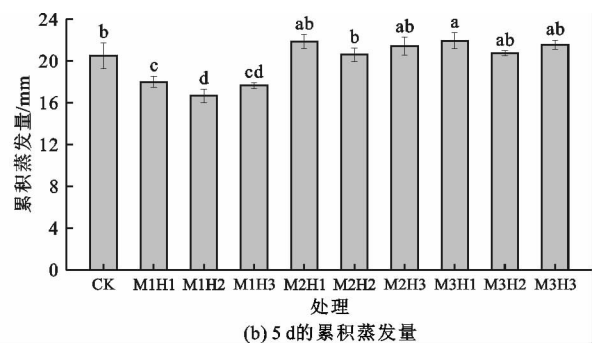
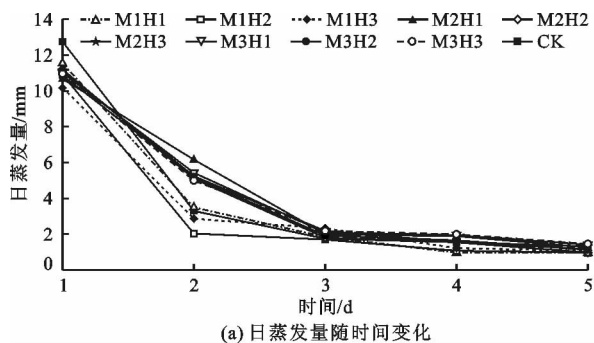


图 4 不同处理土壤水分日蒸发量与累积蒸发量随时间变化过程

## 4 讨论

多孔膜的存在阻断了土壤毛管,改变了土体的连续性和导水性,从而形成不连续的水分运移通道。不仅减缓了土壤水分入渗,而且抑制了土面蒸发。本研究发现,根层铺多孔膜可以减小同时段湿润锋推进深度和累积入渗量,增加膜上土壤剖面平均含水率,这与王伟等<sup>[18]</sup>和于国丰等<sup>[19]</sup>关于地下滴灌管或微润灌水器下铺设防渗布或塑料布可减少土壤水分向下的入渗深度,扩大土壤水分水平扩散和向

上运动的范围,从而增加灌水器上部及周围土壤含水率的结果一致,也表明地下铺膜在滴灌、微灌和地面灌 3 种灌溉条件下均可发挥阻渗作用。Barth<sup>[12]</sup>指出地下 30~70 cm 局部铺设 V 型条带可有效减少深层渗漏,与本研究中多孔膜 15 和 20 cm 埋深条件下,30% 和 40% 开孔度处理可明显减少渗漏量的结果一致。本研究发现,埋深 10 cm 各处理渗漏量较对照处理差异不大,这与 Barth<sup>[12]</sup>的研究结果不一致,可能是由于膜的透过性、铺设深度和铺设方式的差异造成的,因为 V 型条带为不可透膜,且凹陷的

铺设形状增大了其储水容量,从而减少了土壤水分的深层渗漏量。虽然多孔膜的开孔度和埋深会影响其减渗效果,但平面铺设的多孔膜储水作用较小,故产生上述研究结果的差异。杜志达<sup>[20]</sup>认为水平铺设条带的深层渗漏随着条带间宽度的增加而增大,当水平条带间隔宽度为40 cm时,其40 cm深层的渗漏量接近于对照处理,这与本研究关于多孔膜开孔度对渗漏量影响的研究结论相似,另外,本研究发现多孔膜的埋设深度也会对渗漏量产生影响,因而选择合理的铺膜技术参数对于减少深层渗漏量显得尤为重要。

在均质土中,蒸发前期,表层土壤含水率和导水率较大,土体内部水分源源不断地补给表层土壤蒸发,故蒸发强度较大;随着蒸发时间的推进,土壤含水率和导水率减小,致使土壤水分运动能力降低,蒸发强度逐渐减弱。根层铺多孔膜后,增加了膜上土层含水率,膜上土层水分散失速率较快,但由于多孔膜的阻碍作用,底层土壤毛管水上升至多孔膜处时,只能部分穿过多孔膜而上升,从而明显降低了蒸发强度。这与王娟等<sup>[21]</sup>对秸秆深埋的研究结果一致。本研究中,根层铺多孔膜各处理中埋深10 cm各处理能有效抑制土面蒸发,其中40%开孔度处理较裸土减少了18.67%的累积蒸发量,这与史文娟等<sup>[22]</sup>的研究结论类似。埋深15和20 cm各处理累积蒸发量较对照处理增加了0.49%~7.07%,这与乔海龙等<sup>[23]</sup>关于秸秆深层覆盖的研究结果相似。目前较好的解决方案是形成双层覆盖结构,即在地下覆盖的基础上于土壤表层加设一道覆盖层,起到阻碍大气与土壤间水分和能量交换的作用,从而减少土壤表面蒸发。王曼华等<sup>[24]</sup>研究表明秸秆双层覆盖能明显抑制土壤水分蒸发。赵永敢等<sup>[25]</sup>研究发现表层覆盖可以降低土壤累积蒸发量,且表层覆盖地膜抑制蒸发效果较表层秸秆覆盖更为显著,但考虑到地膜覆盖易产生环境污染,今后应重点开展根层铺多孔膜结合秸秆覆盖对土壤表面蒸发量影响方面的研究。

## 5 结 论

(1)根层铺多孔膜可以有效减缓土壤水分入渗,随多孔膜埋深的增加,风沙土水分入渗速率呈先减小后增大的趋势,而开孔度的增加则加快了水分入渗速率,当开孔度与埋深组合为30%与15 cm时,风沙土水分入渗速率达到最小,相应的膜上土层土壤剖面含水率达到最大,入渗速率和渗漏量均最小。

(2)铺多孔膜处理中,埋深10 cm各处理的土面累积蒸发量较对照处理显著降低( $P < 0.05$ ),其中开孔度40%处理的土面累积蒸发量较对照处理减少了18.67%,表明根层铺多孔膜技术能较好地抑制蒸发作用。铺多孔膜处理中,埋深一定,累积蒸发量随着开孔度的增大先减小后增大;开孔度一定,累积蒸发量随多孔膜埋深的增加先增大后趋于稳定。

(3)从减缓土壤水分入渗和抑制蒸发的角度考虑,对于和田风沙土,适宜的铺多孔膜技术参数为开孔度40%,埋深10 cm。

## 参考文献:

- [1] 李新平,崔方让,魏迎春,等.新疆和田开发区土壤系统分类研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(12):133-137.
- [2] 周春生,史海滨.节水灌溉技术研究综述[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2009,30(4):314-320.
- [3] 王娟,黄成真.生物炭对土壤改良效果的研究进展[J].水资源与水工程学报,2020,31(3):246-253.
- [4] 贾俊超.砒砂岩添加对风沙土水分运动和苜蓿生长的影响[D].北京:中国科学院大学,2019.
- [5] 赵智,唐泽军,宋满刚,等.粉煤灰和聚丙烯酰胺对沙质土壤中玉米生长的影响[J].农业机械学报,2013,44(6):136-142.
- [6] 易志坚.沙漠“土壤化”生态恢复理论与实践[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(S1):27-32.
- [7] 程道远,陈文瑞,赵小玲,等.流沙地铺设沥青隔水层防渗试验报告[J].中国沙漠,1986,6(2):56-60.
- [8] 陈彩富,钱太涛.流动沙丘的改良利用与经济效益——以沙坡头地区为例[J].中国沙漠,1984,4(3):40-48.
- [9] ZHOU Xiaolei, WANG Hui, CHEN Quanguo, et al. Coupling effects of depth of film-bottomed tillage and amount of irrigation and nitrogen fertilizer on spring wheat yield[J]. Soil and Tillage Research, 2007,94(1):251-261.
- [10] TAO Ling, REN Jun. Wheat growth and yield under different depth film-bottomed cultivation in sandy land[J]. Soil and Tillage Research, 2004,76(2):139-145.
- [11] 满多清,徐先英,吴春荣,等.干旱荒漠区沙地衬膜樟子松育苗技术研究[J].水土保持学报,2003,17(3):170-173.
- [12] BARTH H K. Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system (SIS)[J]. Agricultural Water Management, 1999,40(2-3):283-290.
- [13] 杜志达,邵龙潭.地下铺膜对温室芹菜种植土壤深层渗漏的影响[J].南水北调与水利科技,2013,11(3):160-164.
- [14] 洪明.一种运动场草坪节水技术:中国,

- CN201220488657.3 [P]. 2013-06-05.
- [15] 洪明,赵经华,穆哈西,等. 根层铺多孔膜对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):21-25.
- [16] 赵永敢.“上膜下秸”调控河套灌区盐渍土水盐运移过程与机理[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
- [17] 卢修元,魏新平,邱王月,等. 粉粘土夹层对砂的减渗规律试验分析[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(2):22-25.
- [18] 王伟,李光永,段中琐,等. 利用工程措施改变地下滴灌土壤湿润模式的试验[J]. 节水灌溉,2000(3):22-24.
- [19] 于国丰,王保泽,李春龙,等. 微润灌水器的研制及沙地灌溉试验[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(11):218-222+229.
- [20] 杜志达. 地下条带式铺膜节水灌溉技术的试验与模拟研究[D]. 大连:大连理工大学,2014.
- [21] 王娟,仲昭易,张瑜,等. 新复垦区春玉米生产适宜耕作方式试验研究[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(5):236-242.
- [22] 史文娟,沈冰,汪志荣,等. 蒸发条件下浅层地下水埋深夹砂层土壤水盐运移特性研究[J]. 农业工程学报,2005,21(9):23-26.
- [23] 乔海龙,刘小京,李伟强,等. 秸秆深层覆盖对土壤水盐运移及小麦生长的影响[J]. 土壤通报,2006,37(5):885-889.
- [24] 王曼华,陈为峰,宋希亮,等. 秸秆双层覆盖对盐碱地水盐运动影响初步研究[J]. 土壤学报,2017,54(6):1395-1403.
- [25] 赵永敢,王婧,李玉义,等. 秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J]. 农业工程学报,2013,29(23):109-117.

(上接第232页)

- [61] RIGDEN J A, SALVUCCI G D, ENTEKHABI D, et al. Partitioning evapotranspiration over the continental United States using weather station data [J]. Geophysical Research Letters, 2018, 45(18):9605-9613.
- [62] WEI Zhongwang, YOSHIMURA K, WANG Lixin, et al. Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration [J]. Geophysical Research Letters, 2017, 44(6):2792-2801.
- [63] 沈竞. 中亚热带人工针叶林蒸散及其组分拆分的模拟研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.
- [64] SCOTT R L, BIEDERMAN J A. Partitioning evapotranspiration using long-term carbon dioxide and water vapor fluxes [J]. Geophysical Research Letters, 2017, 44(13):6833-6840.
- [65] SUN Xiangmin, WILCOX B P, ZOU C B. Evapotranspiration partitioning in dryland ecosystems: A global meta-analysis of *in situ* studies [J]. Journal of Hydrology, 2019, 576:123-136.
- [66] RAZ-YASEEF N, YAKIR D, SCHILLER G, et al. Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 157:77-85.
- [67] HU Hongchang, CHEN Lajiao, LIU Hui, et al. Comparison of the vegetation effect on ET partitioning based on eddy covariance method at five different sites of northern China [J]. Remote Sensing, 2018, 10(11):1755.
- [68] 王月月. 农田蒸散的测定与分解:茎流计和热脉冲传感器的应用[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [69] GONG Daozhi, MEI Xurong, HAO Weiping, et al. Comparison of ET partitioning and crop coefficients between partial plastic mulched and non-mulched maize fields [J]. Agricultural Water Management, 2017, 181:23-34.
- [70] WANG Lixin, CAYLOU K K, VILLEGAS J C, et al. Partitioning evapotranspiration across gradients of woody plant cover: Assessment of a stable isotope technique [J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37(9):L09401.
- [71] HU Zhongmin, WU Genan, ZHANG Liangxia, et al. Modeling and partitioning of regional evapotranspiration using a satellite-driven water-carbon coupling model [J]. Remote Sensing, 2017, 9(1):54-74.