

## 覆砂对土壤入渗、蒸发和盐分迁移的影响\*

宋日权<sup>1,2</sup> 褚贵新<sup>1†</sup> 张瑞喜<sup>1</sup> 白玲<sup>1</sup> 杨劲松<sup>3</sup>

(1 石河子大学农学院/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

(2 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

(3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 探讨覆砂厚度对土壤水分入渗、蒸发、盐分迁移的影响, 对新疆干旱区农田抑盐、保水及合理的覆砂制度制定具有重要意义。本文采用定水头法入渗和模拟稳定蒸发条件, 研究覆砂厚度对土壤水分入渗、蒸发过程以及盐分迁移的影响。以覆砂厚度为影响因子, 在土壤表层设置 4 个厚度, 分别是 0 (对照)、1.7、3.6、5.7 cm。研究表明: (1) 覆砂抑制了土壤水分净入渗能力, 这一抑制作用随着覆砂厚度增加而减弱; (2) 覆砂可以显著抑制土壤蒸发, 随着覆砂厚度的增加抑制力增大。在 20 天蒸发过程中, 覆砂处理蒸发呈稳定态势, 且累积蒸发量符合线性方程, 而对照符合 Rose 经验公式; (3) 覆砂可以改变土壤盐分在剖面中的运移, 尤其减弱了盐分的表聚。总之, 覆砂显著地抑制了土壤蒸发和盐分表聚, 即在覆砂厚 1.7 cm 上就可达显著效果, 但对土壤的净入渗能力具有抑制作用。

**关键词** 覆砂厚度; 入渗; 蒸发; 盐分运移**中图分类号** S152.7; S287 **文献标识码** A

土壤表层砂砾覆盖作为一种古老的覆盖制度, 在我国已有 300 多年的历史<sup>[1-2]</sup>。大量研究表明, 土壤表层覆砂砾可以减小地表产流<sup>[3-4]</sup>、抑制土壤蒸发<sup>[5-7]</sup>、改善土壤理化性质, 最终提高作物产量<sup>[8]</sup>等作用。因此研究覆砂在旱作农业节水、盐碱地改良和绿洲荒漠过渡带植被的恢复等方面具有重大意义。已有的研究砂砾覆盖对水分入渗、蒸发及其盐分迁移的影响主要以砾石 ( $R > 2$  mm) 或者砂 ( $R \leq 2$  mm) 和砾石的混合物为研究对象而开展<sup>[9-10]</sup>。土壤表层砂砾覆盖可以减弱雨滴对土壤表层的溅蚀、表层结皮和提高水分进入土壤的能力<sup>[11-13]</sup>。诸多研究表明在一定覆砂厚度下, 砂砾的平均粒径越小, 土壤的入渗能力越大, 产流量越小<sup>[3,5,14]</sup>; 覆盖度越大土壤的入渗率越大<sup>[4,13-14]</sup>。也有研究表明, 在没有植物覆盖和坡度的影响下, 入渗力与极细粒径子的砂砾 (2 ~ 12 mm) 覆盖呈负相关<sup>[15]</sup>; Abraham 等研究有植被的灌草丛下, 土壤表层入渗率与砾石覆盖呈负相关<sup>[16]</sup>; 若砾石覆盖层与表层土壤很好的镶嵌, 则会减小土壤的入渗能力<sup>[17]</sup>。对于蒸发而言, 砂砾可切断土壤毛管水的上升, 水分只能以

汽态形式扩散<sup>[6,18]</sup>。因此, 砂砾覆盖大幅削弱了土壤水分的蒸发, 砂砾覆盖的抑制效果随着砂砾的粒径增大而减小<sup>[6,19]</sup>; 覆盖厚度越大则蒸发抑制力越强<sup>[20]</sup>。

在西北绿洲农田和绿洲荒漠过渡带, 水盐矛盾极大地限制了该区域的农业生产和生态保护。利用便利的砂资源对北疆干旱绿洲质地较重的农田进行保水、抑盐的研究, 是高效利用水土资源的重要内容。纵观前人研究结果, 对于以粒径 ( $R \leq 2$  mm) 砂子为覆盖材料对定水头条件下的土壤水分入渗和蒸发过程及其盐分迁移的研究鲜有报道。本研究基于室内模拟条件下, 选取不同覆砂厚度为影响因子, 分别探讨了覆砂厚度对去离子水的入渗特性及其对微咸水的蒸发特性和盐分运移特性的影响。旨在为西北干旱区经济的覆砂厚度选取提供合理的理论依据和实践指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试土壤取自新疆乌兰乌苏气象站休闲地土

\* 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (200903001-04) 和国家自然科学基金项目 (50969008) 共同资助

† 通讯作者, E-mail: chuguixin@shzu.edu.com.cn, 石河子大学农学院, 832003, Tel: 09932057039

作者简介: 宋日权 (1984—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 助理工程师, 主要从事土壤改良和农田节水灌溉研究。E-mail: songriquan@sina.com.cn, Tel: 18047112161

收稿日期: 2010-10-19; 收到修改稿日期: 2011-03-17

壤,为北疆绿洲区域典型的灌耕灰漠土(灌淤旱耕入为土, Calcaric Fluvisols)。采集土层 0~50 cm 土样,土壤样品经风干(风干后土壤的初始体积含水量为 2.8%)、碾压、去除杂物后过 2 mm 筛。试验用砂采自玛纳斯河下游沉积砂,砂子经过风干(风干后砂子的初始体积含水量为 1.7%)、去除杂物后过 0.2~2 mm 筛。

表 1 试验土壤、砂子基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil and sand in the experiment

质地 Texture	各个粒径百分含量 Particle size distribution (%)						电导率 EC (mS cm <sup>-1</sup> )	饱和导水率 Hydraulic conductivity (cm min <sup>-1</sup> )	田间持水量 Field capacity (%)
	2.0~1.0 mm	1.0~0.5 mm	0.5~0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm			
黏壤土 Clay loam	0.07	0.38	2.54	36.99	39.16	20.86	0.100	2.8 × 10 <sup>-3</sup>	36.36
砂子 Sand	10.17	16.58	73.25	—	—	—	0.045	1.24	15.32

## 1.2 试验设计、装置和操作过程

### 1.2.1 入渗试验设计、装置和操作过程

土壤水分入渗试验装置包括土柱、马氏瓶、铁架台 3 部分(西安理工大学制)。试验土柱采用 5 mm 厚有机玻璃材料制作,内径为 10 cm,高为 50 cm。土柱侧面 5 cm 以下,每隔 5 cm 开一对圆形取样口,在垂直方向上呈 90°错开,其直径为 15 mm,便于取土进行水盐分析。利用马氏瓶供水,其截面积为 64 cm<sup>2</sup>,高为 80 cm,供水水头控制在 1.5 cm。水质为实验室制备的去离子水。装土时先在有机玻璃土柱底部装 5 cm 厚的 2~5 mm 的砾石,一是为了模拟当地自然条件下的砾石存在情况;二是在入渗过程中提供一个气流顺畅的入渗环境,并在土柱底部设有排气阀门。为了防止上层土粒掉入下层,在砾石上层铺薄层海绵。将土样按照设定容重 1.4 g cm<sup>-3</sup> 分层(5 cm)装入土柱中,并在层与层之间创毛。装至顶部时,将预备好的砂子依照 0、1.7、3.6、5.7 cm 的砂厚度装在底部,砂子容重设为 1.7 g cm<sup>-3</sup>。最后土柱中均质土和覆砂后总高为 43 cm。在试验过程中,分别记录各个覆砂处理的入渗时间、湿润锋进程和马氏瓶水位的变化。

### 1.2.2 蒸发试验设计、装置和操作过程

土壤水分蒸发和盐分迁移试验装置包括土柱、红外线灯泡热源、电子秤 3 部分。其中,土柱规格、装土及其覆砂处理与入渗试验的操作一致。蒸发所用的水是根据当地水质情况而配制的含八大盐分离子微咸水,其矿化度为 3 g L<sup>-1</sup>,电导率为 4.08 mS cm<sup>-1</sup>。

供试土壤和砂子的理化性状见表 1。颗粒分析中粒径大于 0.1 mm 的颗粒分析用筛分法,小于 0.1 mm 颗粒采用吸管法;土壤和砂子的田间持水量采用威尔科克斯法;土壤和砂子的饱和导水率均用定水头测定;电导率采用水土质量比为 1:5 浸提液于 DDSJ-308A 型电导仪测试;采用环刀法测定砂子饱和含水量,为 0.41 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)。

将各个覆砂处理好的土柱用马氏瓶控制 1.5 cm 高的水头灌溉至田间持水量。计算公式为:

$$I = V_{s_0} FC_{s_0} + V_{s_a} FC_{s_a} \quad (1)$$

式中, $I$  为灌水量 (cm<sup>3</sup>);  $V_{s_0}$ 、 $V_{s_a}$  分别为土柱中均质土壤和砂子折算烘干后总体积 (cm<sup>3</sup>);  $FC_{s_0}$ 、 $FC_{s_a}$  分别为土壤、砂子的田间持水量 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)。经计算,覆砂 0、1.7、3.6、5.7 cm,分别灌至田间持水量所需水量为 1 107、1 085、1 056、1 024 cm<sup>3</sup>。待全部水分入渗完毕后,用帕拉胶 (parafilm) 封口,放置 48 h<sup>[21]</sup> 待水分分布稳定后进行蒸发实验。利用 250 W 红外线灯泡模拟和调控  $E_0 = 10$  mm 的稳定大气蒸发能力,同时利用内径为 10 cm 的蒸发皿测定水面蒸发力。每日早上 10:00 用电子秤称量土壤蒸发水分损失量,电子秤的量程为 10 kg,最小称量为 0.000 1 kg。各个覆砂处理的日蒸发量计算公式为:

$$E = M_{\Delta} \times 10 / (5^2 \pi \rho) \quad (2)$$

式中, $E$  为土柱的日蒸发量 (mm);  $M_{\Delta}$  前后两次称量的差值 (g);  $\rho$  为水的比重,此处为 1 g cm<sup>-3</sup>。连续蒸发 20 d,最后分层取土柱表层 0~1 cm 和土柱侧面每隔 5 cm 开口的土样,并采用烘干法测定土壤含水量和利用电导率仪测定水土质量比 5:1 的电导率。

## 2 结果与分析

### 2.1 覆砂厚度对土壤入渗特性的影响

#### 2.1.1 覆砂厚度对土壤湿润锋运移的影响

壤积水入渗后,含水量剖面可分为4个区:饱和区、过渡区、传导区以及含水量瞬时减少到初始值的湿润区,湿润区的前端为湿润锋,可表征水分在土壤基质吸力和重力作用下的运动特征。

从图1中可见:在入渗过程中,包含砂层(G)每个时间记录点的湿润锋下移深度大小依次是 $G\ 5.7\text{ cm} > G\ 3.6\text{ cm} > G\ 1.7\text{ cm}$ 。而当入渗时间在60 min附近时,0 cm与G 1.7 cm有一转折点,小于60 min时, $G\ 1.7\text{ cm} > 0\text{ cm}$ ;大于60 min时, $0\text{ cm} > G\ 1.7\text{ cm}$ 。在入渗时间为340 min时,0 cm、G 1.7 cm、G 3.6 cm、G 5.7 cm的湿润锋深度分别是23.60、22.58、25.75、27.80 cm。若扣除砂层的厚度,土壤表层覆砂的每个记录点湿润锋(N)下移深度均小于均质土,即: $0\text{ cm} > N\ 5.7\text{ cm} = N\ 3.6\text{ cm} > N\ 1.7\text{ cm}$ 。从图1中可以看出覆砂N 3.6 cm和N 5.7 cm中各个数据点具有较大的重叠性。在入渗时间为340 min时,0 cm、N 1.7 cm、N 3.6 cm、N 5.7 cm的湿润锋深度分别为23.60、20.86、22.14、22.10 cm。覆砂厚度0~5.7 cm范围内,显著地抑制了水分向下的湿润过程,这主要是由于砂子的大颗粒减少了水分通过表层土壤的有效孔隙,且这一抑制作用随着覆砂厚度的增加,即增加水头(单位面积蓄水量)作用而呈现减弱的趋势。

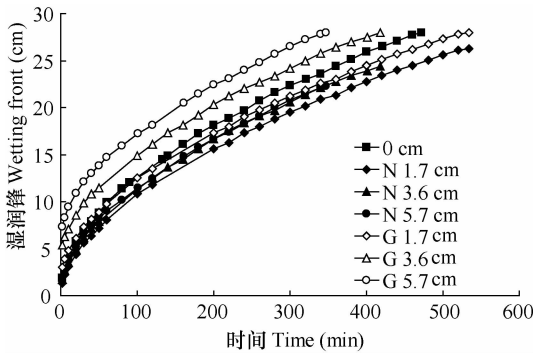


图1 覆砂厚度对土壤湿润锋深度随时间变化的影响

Fig. 1 Effects of thickness of the sand mulching on variation of wetting front with time

**2.1.2 覆砂厚度对土壤累积入渗量的影响** 图2表示定水头入渗条件下,不同厚度的覆砂对累积入渗量过程的影响。在积水入渗初期,由于砂层的存在,水分很快入渗到砂土界面处,并很快将砂层饱和,则水分穿过砂层进入到土体中的水分可用以式(3)表达:

$$NI = GI - DS_{sa} \quad (3)$$

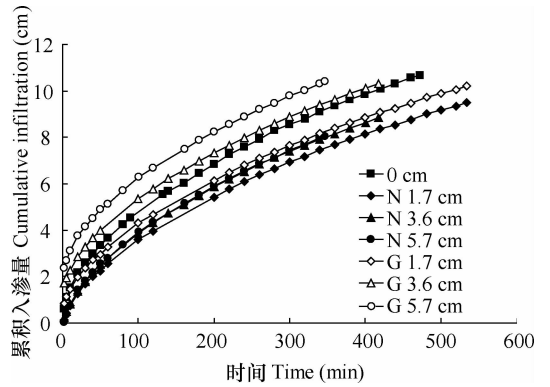


图2 覆砂厚度对土壤累积入渗量随时间变化的影响

Fig. 2 Effects of thickness of the sand mulching on variation of cumulative infiltration with time

式中, $NI$ 为入渗到均质土体中的水量(cm); $GI$ 为入渗到包含砂层土体中的总入渗量(cm); $S_{sa}$ 为砂层的饱和含水量( $\text{cm}^3\text{ cm}^{-3}$ ); $D$ 为砂层厚度(cm)。覆砂厚度对土壤累积入渗量的影响与湿润锋变化一致。从图2可见:在入渗过程中,包含砂层每个时间记录点的累积入渗量大小依次是 $G\ 5.7\text{ cm} > G\ 3.6\text{ cm} > 0\text{ cm} > G\ 1.7\text{ cm}$ 。在入渗时间为340 min时,0 cm、G 1.7 cm、G 3.6 cm、G 5.7 cm的累积入渗量分别是9.11、8.16、9.39、10.31 cm。若扣除砂层中的蓄水量,根据式(3)作出净入渗到土体中的水分与时间的关系图,可知:表层覆砂的每个记录点的累积入渗量均小于均质土,大小顺序为: $0\text{ cm} > N\ 5.7\text{ cm} = N\ 3.6\text{ cm} > N\ 1.7\text{ cm}$ 。N 5.7 cm与N 3.6 cm中各个数据点具有较大的重叠性,即两者不显著。在入渗时间为340 min时,0 cm、N 1.7 cm、N 3.6 cm、N 5.7 cm累积入渗量分别是9.11、7.45、7.91、7.97 cm。

覆砂厚度对土壤的净入渗能力的影响与湿润锋变化规律一致,覆盖于土壤表层的砂粒显著地抑制了土壤的累积入渗能力,且这一抑制作用随着覆砂厚度的增加,即增加水头作用而呈现减弱的趋势。

## 2.2 覆砂厚度对土壤蒸发特性的影响

**2.2.1 覆砂厚度对土壤日蒸发的影响** 图3描绘了在模拟稳定蒸发条件下( $E_0 = 10\text{ mm}$ ),历时蒸发20 d内,不同覆砂厚度处理下土壤的日蒸发量的变化过程。可明显看出,各个覆砂厚度处理的日蒸发量均有显著的差别。覆砂厚度0 cm日蒸发量呈现不同速率递减的规律,且符合脱水过程。在蒸发伊始,0 cm(对照)的土壤含水量在田间持水量附近,大气蒸发能力决定土壤蒸发力,土壤水分借助毛管力作用上升到土壤表层而产生的稳定失水过

程。这一阶段日蒸发量与大气蒸发能力的比值 ( $E_{\pm}/E_0$ ) 超过 80% ,且一直稳定持续至第 3 天。随着蒸发的进行,土壤表层逐渐变干,土表的水分蒸发散失逐渐从以毛管水上升至表层为主的蒸发向以水汽扩散通过土壤表层为主的蒸发转变。因此,日蒸发量呈现出递减的趋势,最终蒸发  $E_{\pm}/E_0$  降至 6.6% 左右。而覆砂厚度 1.7、3.6、5.7 cm 的日蒸发规律与对照不一致。在蒸发初期蒸发量较大,这主要是由于砂子的大孔隙结构,储存于砂层中的水分容易蒸发散失。随之,一定厚度的砂层切断了毛管水上升至砂层,迫使土壤中的水分以水汽扩散的形式向砂层移动,形成恒定的日蒸发量。从图 3 可见,砂层厚度越小,达到稳定蒸发的天数越小。即 1.7、3.6、5.7 cm 达到稳定的蒸发所需的天数分别为 0、1、3 d。且覆砂厚度的增加,  $E_c$  值加大,依次为: 0.99、2.83、10.09,呈指数级增长。

$$E_c = E_{\max} / E_{\text{con}} \quad (4)$$

式中,  $E_c$  为最大日蒸发量与稳定日蒸发量的比值;  $E_{\max}$  为覆砂处理日蒸发量中最大值 (mm),即蒸发开始的第 1 天的日蒸发量;  $E_{\text{con}}$  为覆砂处理稳定蒸发状态下的日蒸发量平均值 (mm),即达到稳定日蒸发量的天数持续至第 20 天的平均值。

从图 3 中也可看出,在蒸发初期,覆砂显著地抑制了土壤的日蒸发量。达到稳定时,1.7、3.6、5.7 cm 的稳定的日蒸发量与大气蒸发能力的比值 ( $E_{\pm}/E_0$ ) 分别为 9.5%、2.9%、1.4%,覆砂 1.7 cm 的日蒸发量 > 覆砂 3.6 cm 的日蒸发量 > 覆砂 5.7 cm 的日蒸发量,且这一值在蒸发超过 18 d 时 0 cm 覆砂的日蒸发量 < 覆砂 1.7 cm 的日蒸发量。

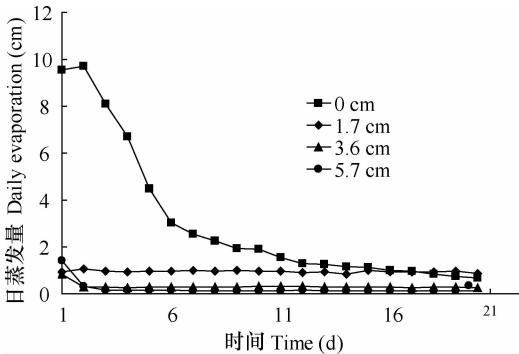


图 3 覆砂厚度对土壤日蒸发量随时间变化的影响  
Fig. 3 Effects of thickness of the sand mulching on variation of daily evaporation with time

化过程曲线。在连续稳定 20 d 蒸发条件下,覆砂厚度 0 (对照)、1.7、3.6、5.7 cm 的累积蒸发量分别为 60.80、19.03、6.38、4.25 mm,分别占同期大气蒸发能力 (200 mm) 的 30.40%、9.52%、3.19%、2.13%。

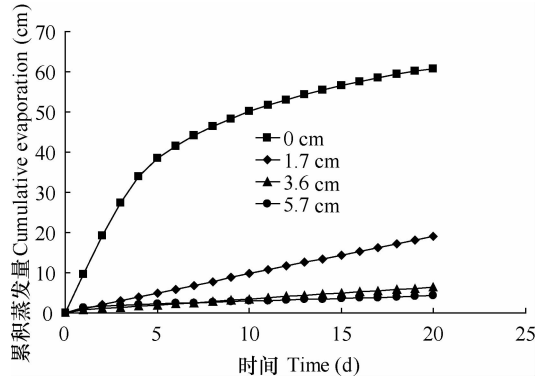


图 4 覆砂厚度对土壤累积蒸发量随时间变化的影响  
Fig. 4 Effects of thickness of the sand mulching on variation of cumulative evaporation with time

表 2 还给出了不同覆砂厚度处理累积土壤蒸发量与时间关系的拟合方程。方程如下:

$$Y = A \sqrt{X} + BX \quad (5)$$

$$Y = K(X - d) + c \quad (6)$$

式(5)为 Rose 经验公式,  $A$ 、 $B$  为参数;式(6)中  $K$  为参数,  $d$ 、 $c$  为常数,分别为达到稳定蒸发时的天数和前期非稳定时的累积蒸发量,即砂层原有自由水的蒸发量;两式中的  $X$ 、 $Y$  分别为蒸发天数 (d) 和累积蒸发量 (mm)。对照的累积蒸发过程可用 Rose 公式描述;而覆砂厚度 1.7、3.6、5.7 cm 的累积蒸发过程符合线性关系。这一差异反映了覆砂对土壤蒸发进程的影响。覆砂累积蒸发线性方程线率 ( $K$ ) 随着覆砂厚度的增加而减小 ( $K_{5.7} < K_{3.6} < K_{1.7}$ );常数  $d$ 、 $c$  随着覆砂厚度的增加而增加,且各个拟合方程的决定系数在 0.996 3 ~ 0.999 7 之间。

表 2 不同覆砂厚度下累积蒸发量与时间的拟合方程

Table 2 Fitting equation of the relationship between cumulative evaporation and time under sand mulching different in thickness

覆砂处理 Sand mulching (cm)	拟合方程 Fitting equations	决定系数 $R^2$ Determination coefficient
0	$Y = 18.82 \sqrt{X} - 1.08X \quad (0 \leq X \leq 20)$	0.997 3
1.7	$Y = 0.97X \quad (0 \leq X \leq 20)$	0.999 7
3.6	$Y = 0.29(X - 1) + 0.83 \quad (1 \leq X \leq 20)$	0.999 6
5.7	$Y = 0.14(X - 3) + 1.73 \quad (3 \leq X \leq 20)$	0.996 3

2.2.2 覆砂厚度对土壤累积蒸发的影响 图 4 为不同砂层厚度覆盖条件下土壤累积蒸发量随时间变

### 2.3 覆砂厚度对土壤剖面盐分( EC)再分布的影响

从图 5 可见各个处理的剖面上的盐分呈现出“C”字形分布,出现两个峰值,分别位于剖面上部和下部,且土壤剖面 EC 值均大于未灌水时的土层本底值。这是由于土壤中的盐分主要是由灌溉中的微咸水带入,随着水分的向下入渗,盐分随之下移,这一特征在蒸发微弱的覆砂 5.7 cm 厚处理上尤为明显,表现出随土柱越深电导率呈增大的趋势。之后,在蒸发作用下,盐分随着毛管水的上升、蒸发,不断地向表层积累,呈现出“盐随水走,水去盐存”特点。

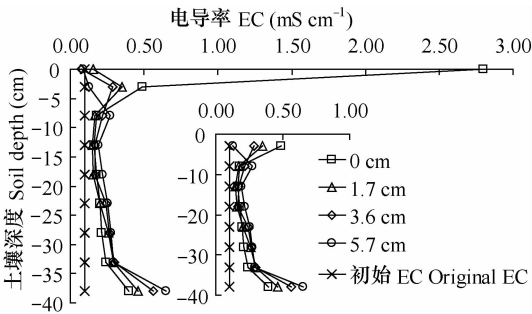


图 5 覆砂厚度对土壤剖面盐分(电导率)积累的影响  
Fig. 5 Effects of thickness of the sand mulching on salt (EC) accumulation in different soil layers

在土壤表层 0 ~ 1 cm 处,受蒸发强度影响,盐分的积累差别较大,尤其在对照土柱上,高达  $2.8 \text{ mS cm}^{-1}$ ,是初始值的 28 倍,也远远大于了覆砂下层电导率,即  $EC_{0 \text{ cm}} > EC_{1.7 \text{ cm}} > EC_{3.6 \text{ cm}}$ ,且覆砂处理的电导率大于砂层初始值。在本试验条件下,当覆砂厚度超过 3.6 cm 时,表层  $EC_{3.6 \text{ cm}} < EC_{5.7 \text{ cm}}$ ,但差别不大。随着取样剖面的下移以及覆砂层厚度的增加,抑制蒸发作用增强,盐分迁移的蒸发驱动力逐渐减弱,剖面上的盐分呈“L”形向下增加的趋势,且随着覆砂厚度的增加而增加。如在土柱底部 38 cm 处,  $EC_{5.7 \text{ cm}} > EC_{3.6 \text{ cm}} > EC_{1.7 \text{ cm}} > EC_{0 \text{ cm}}$ 。

### 3 讨论

砾石覆盖作为一种传统的农耕措施已普遍,并应用于世界多个国家<sup>[10]</sup>。在中国西北干旱区沙漠与绿洲交汇处即绿洲—荒漠过渡带,具有丰富的微咸水资源和砂资源。而砂子覆盖在该地植被恢复和生态保护的鲜有报道,且具有重大生态意义。前人研究在降水入渗条件下砂砾覆盖促进入渗<sup>[22-23]</sup>,而本试验中定水头入渗条件下,砂层覆盖

均抑制了水分进入土壤的能力,这可能是由于砂子粒径相比砾石的粒径小的多,在入渗过程中细小的砂粒容易堵住砂土界面的土壤毛管,致使入渗能力降低。本试验中土壤中的水分是通过入渗过程带入而非通过土壤毛管作用吸入<sup>[19-20]</sup>,蒸发一开始失去的水分是砂层中自由水的散失,并非是稳定蒸发过程,这与存在高地下水水位的影响下的稳定蒸发过程有所不同<sup>[24]</sup>。盐渍化的形成与土壤蒸发密切相关,无论是潜水蒸发或是入渗后蒸发砂层均能显著地抑制蒸发<sup>[25]</sup>,同时降低了盐分表聚作用。微咸水是后备农田水资源,试验结果得出盐分分布呈“C”字形<sup>[26]</sup>,并在砂层下有较高的积累,能抑制表层盐渍化。

### 4 结论

- 1) 覆砂 1.7 ~ 5.7 cm 对土壤的净入渗能力起抑制作用,随着覆砂厚度的增加,抑制作用呈减弱趋势。
- 2) 覆砂厚度为 1.7 cm 可显著地抑制土壤的蒸发能力,且抑制能力随覆砂厚度的增加而增强。在蒸发历时 20 d 内,其累积蒸发过程可用线性方程描述。
- 3) 覆砂强烈地抑制了盐分的表聚,尤其在表层 0 ~ 1 cm 处,并在剖面上分布呈“C”字形。

**致谢** 本研究的实验系统受到了西安理工大学水资源研究所张建丰教授和史文娟副教授等的鼎力帮助和支持,在此特别致谢!

### 参考文献

- [1] 杨来胜,席正英,李玲,等. 砂田的发展及其应用研究: 综述. 甘肃农业, 2005(7): 72. Yang L S, Xi Z Y, Li L, et al. Development and practice search of sandy field: Summary (In Chinese). Gansu Agriculture, 2005(7): 72
- [2] 杜延珍. 砂田在干旱地区的水土保持作用. 中国水土保持, 1993, 4: 36—39. Du Y Z. Effect of sandy field in soil conservation in arid region (In Chinese). Soil Water and Conservation in China, 1993, 4: 36—39
- [3] Li X Y, Gong J D, Gao Q Z, et al. Rainfall interception loss by pebble mulch in the semiarid region of China. J Hydrol, 2000, 228: 165—173
- [4] de Figueiredo T, Poesen J. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. Soil Till Res, 1998, 46: 81—95
- [5] 原翠萍. 砾石覆盖对蒸发和入渗产流过程影响的实验研究. 北京: 中国农业大学, 2007. Yuan C P. Experimental investi-

- gation on the effects of soil evaporation and rainwater infiltration-runoff under gravel mulches (In Chinese). Beijing: China Agricultural University, 2007
- [ 6 ] Yamanaka T, Inoune M, Kaihotsu I. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agric Water Manage*, 2004, 67: 145—155
- [ 7 ] 纪永福. 地面覆盖对盐渍土盐分和水分影响的研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2000. Ji Y F. A research of ground cover on salinity and water in the salinized soil (In Chinese). Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2000
- [ 8 ] Mathur O P, Mathur S K, Talati N R. Effect of addition of sand and gypsum to fine-textured salt-affected soils on the yield of cotton and jower (sorghum) under Rajasthan Canal Command Area condition. *Plant Soil*, 1983, 74: 61—65
- [ 9 ] Valentin C. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in west Africa. *Catena*, 1994, 23: 87—97
- [ 10 ] Li X Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*, 2003, 52: 105—127
- [ 11 ] Tejedor M, Jiménez C, Díaz F. Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma*, 2003, 117(3/4): 283—295
- [ 12 ] Cerdà A. Effects of rock fragment cover on soil in filtration, interrill runoff and erosion. *Eur J Soil Sci*, 2001, 52: 59—68
- [ 13 ] Li X Y, Shi P J, Liu L Y, et al. Influence of pebble size and cover on rainfall interception by gravel mulch. *J Hydrol*, 2005, 312: 70—79
- [ 14 ] Mandal U K, Rao K W, Mishra P K, et al. Soil infiltration, and run off and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. *Eur J Soil Sci*, 2005, 56: 435—444
- [ 15 ] Wilox B P, Wood M K, Tromble T M. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J Range Manage*, 1988, 41(3): 197—206
- [ 16 ] Abrahams A D, Parsons A J. Relations between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona. *J Hydrol*, 1991, 122: 49—59
- [ 17 ] Nachtergaele J, Poesen J, van Wesemael B. Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland. *Soil Till Res*, 1998, 46: 51—59
- [ 18 ] Modaihsh A S, Horton R, Kikham D. Soil water evaporation suppression by sand mulches. *Soil Sci*, 1985, 139: 357—361
- [ 19 ] Yuan C P, Lei T W, Mao L L, et al. Soil surface evaporation processes under mulches of different sized gravel. *Catena*, 2009, 78: 117—121
- [ 20 ] Diaz F, Jimenez C C, Tejedor M. Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. *Agric Water Manage*, 2005, 74: 47—55
- [ 21 ] Gill B S, Jalota S K. Evaporation from soil in relation to residue rate, mixing depth, soil texture and evaporativity. *Soil Technol*, 1996, 8: 293—301
- [ 22 ] Martínez-Zavala L, Jordán A. Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion form bare soil in western Andalusia, Spain. *Soil Use and Manage*, 2008, 24: 108—117
- [ 23 ] Brakensiek D L, Rawls W J. Soil containing rock fragments: Effects on infiltration. *Catena*, 1994, 23: 99—110
- [ 24 ] 史文娟, 沈冰, 汪志荣, 等. 夹砂层状土壤潜水蒸发特性及计算模型. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 17—20. Shi W J, Shen B, Wang Z R, et al. Characteristics and calculation model of phreatic evaporation of sand-layered soil (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(2): 17—20
- [ 25 ] 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. *农业工程学报*, 2005, 21(9): 23—26. Shi W J, Shen B, Wang Z R, et al. Water and salt transport in sand-layered soil underevaporation with the shallow under ground water table (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(9): 23—26
- [ 26 ] Öztürk S H, Özkan İ. Effects of evaporation and different flow regimes on solute distribution in soil. *Transport Porous Med*, 2004, 56: 245—255

## EFFECTS OF SAND MULCHING ON SOIL INFILTRATION, EVAPORATION, AND SALT DISTRIBUTION

Song Riquan<sup>1,2</sup> Chu Guixin<sup>1†</sup> Zhang Ruixi<sup>1</sup> Bai Ling<sup>1</sup> Yang Jingsong<sup>3</sup>

(1 Xinjiang Productive and Constructive Group Oasis Ecological Agriculture Key Lab.

& Depart. of Resource and Environmental, College of Agronomy, Shihezi University, Shehezi, Xinjiang 832003, China)

(2 Water Resources Research Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China)

(3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Soil secondary salinity and fresh water shortage are two major problems limiting crop growth and yield improvement. Therefore, analysis of effects of sand mulching on soil water infiltration, evaporation, and salt transportation is of some great significance to optimizing the method of sand mulching in arid regions. A laboratory simulation experiment was conducted to study processes of soil water infiltration, soil water evaporation, and salt transportation under sand mulchings different in thickness, in the condition of constant water head infiltration and simulating steady evaporation.

The sand used in this study varied from 0.2 mm to 2 mm in particle size. The experiment was designed to have four treatments in sand mulching, i. e., 0 (control), 1.7, 3.6 and 5.7 cm, in thickness of the sand layer on the surface of soil. Results show that (1) Sand mulching has an obvious inhibitory effect on soil water net infiltration, and the thicker the sand mulching the less the soil water infiltration, namely, the effect increases significantly with the thickness of the sand mulching; (2) Sand mulching dramatically reduces soil water evaporation, and the thicker the sand mulching the less the soil water evaporation, demonstrating a significant positive correlation between soil water evaporation from surface and the thickness of the sand mulching; and it was found that during the 20 days of experiment, the evaporation process in the sand mulching treatment was rather stable, and the soil water cumulative evaporation fitted a linear equation and the Rose empirical equation as well; (3) Sand mulching alters soil salt transportation and distribution in soil profile, especially reducing accumulation on the top-surface soil layer.

To sum up, sand mulching significantly inhibits soil water evaporation from soil, and surface accumulation of soil salt. Sand mulching, 1.7 cm or more in thickness, is sufficient to create the effect, but it also affects net infiltration of the soil.

**Key words** Sand mulching; Infiltration; Evaporation; Soil salt