有沙层土柱中钾离子运移的试验研究

沈 冰, 乔云峰, 黄领梅, 莫淑红, 宋孝玉

(西安理工大学 水资源研究所, 陕西 西安 710048)

[摘 要] 通过室内有沙层土柱入渗中钾离子运移试验,研究了有沙层土柱中钾离子随入渗水运移的过程和 特性。结果表明,入渗过程中,由于沙层阻水造成钾离子在沙层以上积累,而在沙层内钾离子浓度并不增加。经平衡 计算和有无沙层试验比较表明,粗沙基本不吸附钾离子,因沙层阻水而使钾离子暂时滞留在土- 沙界面上,随水量 增大钾离子浓度锋透过沙层。因此,干旱区农田洗盐需要一定水量并持续一定时间,方能使盐锋达到沙层以下,起 到抑制盐分的作用。

[关键词] 室内试验; 有沙层土柱; 钾离子运移; 农田洗盐 [中图分类号] S153 5 [文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)02-0127-06

在西北干旱区许多山前冲积平原上,土壤中分 布着沙土夹层。在入渗条件下,含盐土壤中的盐分是 随水分运动而迁移的。近年来,许多研究阐明了层状 土中水分入渗过程不同于均质土,而有其特殊性。王 文焰等[1,2]通过室内试验首先指出黄土中沙层对入 渗的影响,并从土壤水能量原理解释了这种现象,分 析测定了甘肃秦王川地区双层土壤机构的入渗参 数,并阐明了黄土中沙层的阻水作用; 王全九等^[3,4] 进一步论述了层状土入渗机制,并建立了相应的入 渗数学模型,还提出了用Green-Ampt公式计算层 状土入渗的方法: 张建丰等[5]则提出了具有砂质夹 层土壤的入渗计算方法。盐随水动,夹沙土层中盐分 运移特性也应有别于均质土壤中的运移[6]。本研究 主要通过室内土柱试验,分析研究了不同入渗条件 下, 钾离子(代表盐分)浓度锋透过夹沙土层的特征 及其运移规律,以期为干旱区农田洗盐提供科学依 据

1 材料与方法

试验所选土壤为陕西黄土, 去除表土, 风干后过 2 mm 细筛, 配置钾 (KCl) 溶液, 通过静置搅拌, 使 其成为含水量 6 5 g/kg, KCl 含量分别为 3 5, 7. 1 和 14 2 g/kg 的均匀土样。积水入渗试验中的水采 用去离子水, 其钾离子含量极低, 可认为对试验过程

没有影响^[7]。采用6个有机玻璃容器装填成土柱,其 规格相同,截面积为2.1 cm × 15 cm,高度为1 m。在 侧壁每间隔20 cm 开孔作为进水口,以便进行不同 入渗深度试验。采用马氏瓶供水,其截面积为20 cm^2 。试验时,积水深度为2 cm。6 个土柱同时试验, 并在实验结束后用水分入渗曲线检验其一致性。土 柱以5 cm 为一层装土, 每层土重量为227.05 g, 在分 层处刨毛以利于层与层之间的结合。 为了研究土沙 界面对钾离子运动过程的影响,分别在试验土柱20, 30,40 和50 cm 深度处设置粗沙层(厚10 cm)。试验 中,用马氏瓶的读数记录土壤在入渗过程中不同时 间的累积入渗水量,并利用容器边壁钢尺测定湿润 锋深度,作出各土柱的入渗曲线,以便进行一致性分 析:用 r-透射法测定不同深度处的含水量:取样测定 不同深度钾离子含量和电导率。6个土柱分别在不 同时间按从上到下、先疏后密原则取样,以湿润锋深 度为参考, 当湿润锋到达深度分别为 20, 30, 40, 50 和60 cm 时取样。用120 型原子分光光度计测定土样 钾离子含量,用电导仪测定土样电导率,测定钾离子 含量时,取干土样10g,碾碎后倒入玻璃瓶中,加水 100 mL 配制成1 10 的浸提液; 先用震荡器摇匀1 min. 然后静置约12 h. 再抽取浸提液测定钾离子含 量。对于浓度超过测量范围的样品要按一定比例(本 试验用1 5的体积比)加水进行稀释后再测定。

[收稿日期] 2004-03-16

2

[作者简介] 沈 冰(1948-),男,浙江湖州人,教授,主要从事旱区水文水资源研究。

阻碍作用(或称聚积作用)。将水分刚抵达土沙界面

到水分开始进入沙层为止的时间划分为1~3段,在

不同的时段取样; 分别把同一埋深、不同累积时间的

钾离子剖面绘于同一个坐标图中,如图 1~4 所示。

2 结果与分析

2 1 有沙层土柱入渗条件下钾离子的累积过程 鉴于粗沙夹层在水分运动过程中所起的阻水作 用, 拟通过试验研究粗沙层对钾离子运动是否也有



图 3 沙层在 40~ 50 cm 处不同时间的钾离子浓度锋 Fig 3 K⁺ content peak for different time of sand layer at 40- 50 cm

从图 1~4 可以看出,随着累积时间的增加,钾 离子浓度锋不断向土-沙界面靠近,表现出入渗水 分对土壤中钾离子的淋洗作用。与此同时,界面处的 相对钾离子含量也不断增加,表明淋洗过程中由于 沙层阻水作用,使钾离子在土-沙界面处不断累积。 为了探讨该过程是由沙层阻水作用或其他作用造 成,导致土沙界面上钾离子增加,现将各剖面的钾离 子相对含量分别除以各点所对应的重量含水量,得 sand layer at 40- 50 cm

Fig. 4 K^+ content peak for different time of

到 与含水量无关的相对浓度量,结果如图 5~ 8 所 示。由图 5~ 8 可知,尽管土- 沙界面处在淋洗时会 出现钾离子相对含量累积现象,但在该过程中钾离 子相对浓度锋在界面处并没有大的变化。这在一定 程度上说明,钾离子是溶解在水中与水分入渗过程 同步运移的。由于土- 沙界面阻挡了水分的继续下 渗,也就阻止了钾离子的下移,从而在界面处形成了 钾离子相对含量的累积,而沙层本身对钾离子的吸





2 2 钾离子剖面透过沙层的方式探讨

在夹沙土柱中, 当水分入渗到土沙界面后, 由于 沙层阻水作用使水分在沙层之上聚集。当达到一定 含水量时水分开始以" 指流 '的形式进入沙层, 其中 一些水流首先透过沙层进入下层土壤。随着时间的 推移, 指流数量不断增加, 最后将沙层全部浸湿。这 一过程中, 有时沙层中会出现干沙区, 而此区域经过 较长的时间才能浸湿。

钾离子主要随水分运移,积水区内总含水量、湿 润区内初始钾离子总含量及其他参数有一定关系。 将均质条件下对应的湿润锋位置与钾离子聚积区内 水量关系绘于图9。从图9可以直观看出,湿润锋位 置和钾离子聚积区内水量之间有一定的关系,用乘 幂关系进行拟合得:

h钾离子聚积区 = 7. $42z^{1 \ 412 \ 3}$, $R^2 = 0$ 973 7

式中, $h_{\text{#离子聚积区}}$ 为钾离子聚积区水量(cm); z为湿润锋位置(cm)。

如果水分在入渗过程中以指流的形式或其他形 式直接穿过沙层,而没有在沙层中形成"死区"(即其 中一部分水量停留在沙层中,不再下渗),那么当上 述水量进入沙层之后, 在沙层以上就不应该有大于 初始含量的钾离子。



不同深度沙层的钾离子运移试验中,湿润锋刚 通过沙层的钾离子浓度锋见图 10。从图 10 可以看 出,钾离子浓度锋未完全通过沙层。现将通过沙层的 钾离子浓度锋水量与沙层中水量(由水量平衡计算 得到)相加,然后与对应的钾离子浓度锋水量进行比 较,结果列于表 1。

表1 相应剖面水量比较

Table 1 Comparation of water quantity for

	corresponding profiles cm	
埋深 Sand layer	────────────────────────────────────	钾离子浓度锋 水量+ 沙层水量 Water of K ⁺ contents and sand layer
20	2 07	2 86
30	2 4	3.71
40	3.2	4.4
50	3.6	5 44

从表1可知,对于特定土壤深度,当钾离子浓度 锋通过沙层时,钾离子聚积区水量增加,将钾离子聚 积区水量(均质时)和湿润锋通过沙层后实际水量与 沙层深度的关系在同一个坐标系中进行比较,见 图11。从图11可以看出,有沙层土柱的曲线在均质 土柱的曲线上方,同样有较好的线相关关系。这说明 在水分通过沙层时,并非只有湿润锋附近的水分通 过之后,其余水分才依次通过。而湿润锋前水分以指 流形式通过沙层时,有一部分在指流周围向旁边扩 散,使向下的流速降低。这一部分水量只有在整个沙 层全部浸湿之后才透过沙层。这时,在沙层局部钾离 子聚积区以外的水量穿越沙层。这一部分水量在穿 过过程中与其他水分进行离子交换,使其中的钾离 子含量增加,从而这一部分水量也成为钾离子聚积 区水量,于是穿越沙层之后钾离子聚积区水量增加。



Fig 10 Comparison of K^+ contents for different sand layer positions

2



均质: *h*= 0 084 3*z*+ 0 309, *R*²= 0 993 8; 有沙层: *h*= 0 061 8*z*+ 0 062 4, *R*²= 0 981 4

Fig 11 Comparison of K⁺ relative content of columns with and without sand layer Homogeneous: $h= 0.084 \ 3z + 0.309$, $R^2 = 0.993 \ 8$;

Sand layer: h = 0 061 8z + 0 062 4, $R^2 = 0$ 981 4

将有沙层土柱中完全穿过沙层的钾离子剖面与均质 土柱钾离子剖面的钾离子总含量进行比较,可以发 现,在沙层中最后并不滞留钾离子,即湿润锋完全穿 过沙层之后,土柱中的总钾离子含量损失与均质条 件下基本相同。通过对两种土柱试验钾离子相对含 量(沙层部分除外)进行积分,得到了一系列对应于 不同埋深和不同入渗深度(不包括沙层)的钾离子相 对总含量值,把这些值与入渗深度表示在同一坐标 系中,得到图12。

从图 12 可以看出, 钾离子相对总含量的对应值 基本在一条直线上, 这在一定程度上说明, 沙层通过 阻止水分的下渗而对钾离子运移过程起到阻挡作 用, 同时增加了钾离子聚积区内的水量, 但沙层中未 吸附钾离子。



图 12 均质与夹沙土层中钾离子相对含量对比

Fig 12 Comparison of K⁺ relative contents for columns with and without sand layer

3 结 语

Ð

本试验在室内研究了层状土对钾离子运移的影响,结果表明: 钾离子剖面透过沙层以前钾离子含量在土- 沙界面处出现累积,随时间增加累积量也不断增加,当湿润锋开始进入沙层之后,上界面处累积现象停止。 在累积过程中钾离子浓度无明显变

化,证明钾离子的累积主要是由于水分累积造成的。 在土- 沙界面以上因水分增加,钾离子含量增加,沙 层中未发现钾离子滞留现象。 在钾离子浓度锋透 过沙层过程中,钾离子无明显损失,这说明沙层对钾 离子吸附作用甚小,可忽略不计。因此,在农田洗盐 过程中,必须保持一定水量并持续一定时间,以使盐 锋完全渗到沙层以下,才能不影响作物生长。

致谢: 本研究的试验工作是在张建丰高工、王全九教授协助下完成的, 在此深表谢忱。

[参考文献]

- [1] 王文焰, 张建丰, 汪志荣, 等. 黄土中砂层对入渗特性的影响[J]. 岩土工程学报, 1995, 17(5): 33-41.
- [2] 王文焰, 王全九, 沈 冰, 等 甘肃秦王川地区双层土壤结构的入渗特性[1]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 35-40
- [3] 王全九, 汪志荣, 张建丰, 等. 层状土入渗机制与数学模型[J]. 水利学报, 1998, (增刊): 76-79.
- [4] W ang Q J, Shao M ing an, Horton A modified green-ampt equation for layered soils and muddy water infiltration [J]. Soil Science America, 1999, 164(7): 445-453
- [5] 张建丰, 王文焰, 汪志荣, 等. 具有砂质夹层的土壤入渗计算[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 27-30.
- [6] 于天仁, 王振全 土壤化学分析[M] 北京: 科学出版社, 1988 127-131.

132

[7] 李韵珠,李保国 土壤溶质运移[M] 北京:科学出版社, 1998 274-277.

Experimental study on K^+ transport in soil column with sand layer

SHEN Bing, QIAO Yun-feng, HUANG Ling-mei, MO Shu-hong, SONG Xiao-yu

(Institute of W ater Resources, X i an University of Technology, X i an, S haanx i 710048, China)

Abstract: Based on experiments of water infiltration into a loss column with a sand layer, the characteristics of salt movement with the infiltration water is studied During the process, the salt is accumulated above the sand layer, but the concentration of salt is not increased By balance analysis and comparison with the results of experiments without sand layer, salt is resorted above the layer temporarily because the layer arrests water penetrating through it, and that sand doesn't adsorb salt

Key words: experiments in lab; loess column with sand layer; characteristics of K^+ movement; salt leaching of farm land