

入渗水矿化度对土壤水盐运移影响的试验研究

郭太龙¹, 迟道才¹, 王全九², 马东豪², 杨武成¹

(1. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110161; 2. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048)

摘要: 合理开发利用咸水和微咸水资源已成为当今世界各国关注的热点问题。为了分析微咸水矿化度、水量及土壤初始条件等因素对土壤水盐运移的影响, 采用土柱在室内进行了微咸水入渗试验。该文分析了入渗水矿化度对入渗过程的影响, 分析了盐分的分布特征, 建立入渗水矿化度和土壤总盐量之间的数学模型, 总结了土壤剖面的盐分运移规律。分析结果表明: 入渗水矿化度的增加可增大土壤的入渗能力, 入渗水的矿化度在 1~5 g/L 时, 土壤积盐量随入渗水矿化度增加而增大; 不同矿化度的水入渗后, 土壤表层含水率基本相近, 接近饱和含水率。

关键词: 微咸水; 入渗; 水盐运移; 土壤含盐量; 土壤水分

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)ZK-0084-04

0 引言

由于淡水资源的缺乏, 合理开发劣质水, 包括微咸水资源成为了当今世界各国关注的热点问题。在世界许多干旱和半干旱地区, 对微咸水灌溉已经进行了大量的科研工作。中国在微咸水利用方面也有较快的发展, 新疆、河北、辽宁、内蒙古、甘肃、宁夏等地都有利用微咸水灌溉方面的报道^[1], 实践表明, 只要利用合理, 微咸水不但不会导致土壤盐渍化, 而且可使作物增产。

在田间试验中, 土壤盐分受蒸发和降雨的垂直运动剧烈, 主要表现为旱季蒸发积盐与雨季淋溶脱盐两种过程交替发生, 因此土壤盐分运移过程极为复杂, 不易就某些因子的影响程度进行准确分析。为了分析微咸水质、水量及土壤初始条件等因素对土壤水盐运移的影响, 开展了室内微咸水垂直入渗土壤水盐运移试验研究。Bower, Brooks, Filep 等人对土壤中水盐垂直运动的规律进行了模拟分析, 并对土柱中盐分的积累和淋溶过程进行了详细的论述^[2]。本文研究旨在分析在某单一因素影响下入渗水矿化度对入渗过程、土壤含盐量、土壤含水量的影响, 探讨微咸水入渗条件下水盐运移的规律, 为田间试验提供指导。

1 材料与方法

本研究在河北省中科院南皮生态试验站进行。采用有机玻璃土柱进行微咸水一维积水入渗试验。供试土壤取自站西小麦地, 从表层至 1 m 深度混合取土。所取土样经过风干、碾压、均匀混合后过 1 mm 的土筛。测定土壤的基本物理化学特性如表 1 所示。

试验所用的微咸水取自南皮生态试验站周边的水井, 矿化度分别为 1.09、1.91、2.57、3.76、5.81 g/L。

试验所用装置可分为 4 个组成部分: 土柱(内径分

别为 7.85 cm、8.0 cm、8.2 cm)、供水设备(截面积为 45 cm² 的马氏瓶)、秒表、含水量和含盐量测定装置。质量含水率采用烘干法测定; 所提取的样品按 1:5 浸提, 利用实验室 DDS-307 型电导仪测定浸提液的电导率值, 并通过转化获得土壤含盐量; 利用原子吸收分光光度计测定浸提液的阳离子(Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺)含量; 利用 DR/4000 紫外分光光度计测定浸提液的阴离子(SO₄²⁻、Cl⁻)含量。试验控制湿润锋的深度为 45 cm, 入渗水质分别为 0 g/L (蒸馏水)、1.09、1.91、2.57、3.76、5.81 g/L。

表 1 供试土壤的基本物理化学性质

Table 1 Basic properties of experimental soil

样品	干容重 /g·cm ⁻³	各级颗粒含量百分数/%			国际制土壤 质地分类			
		D > 0.02 mm	0.02 mm > D > 0.002 mm	D < 0.002 mm				
土样	1.35	60.5	22.1	17.4	砂质粘壤土			
土壤浸提液	含盐量	土壤盐分离子组成/mol·L ⁻¹						
EC	/mS·cm ⁻¹	/g·100 g ⁻¹	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺
0.22			0.113	0.039	0.0089	0.012	0.008	0.0079

注: D 为土体颗粒直径, W_s / W_w = 1.5。

2 结果与分析

2.1 不同入渗水质对入渗过程的影响

1) 对湿润锋的影响

入渗水在土壤孔隙中发生重力运动, 在水压梯度和湿润边界向下作用的弯月面力的影响下, 湿润锋逐渐下移^[3]。土壤溶液通过土壤垂直迁移, 溶液中的离子和吸附在固相表面的离子之间发生动力学的相互作用, 其中的离子是对流(离子与水一起运动)、扩散(离子因浓度梯度而移动)或者二者兼有的形式迁移的^[4]。入渗水质矿化度的不同必然会导致溶液中离子和土壤固相离子之间相互作用的不同, 从而影响到土壤溶液在垂直土柱中的迁移过程。图 1 为 6 种不同入渗水质达到 45 cm 湿润锋面时所需时间对比。中国一般认为微咸水是指含盐量在 2~5 g/L 范围内的水资源, 小于 2 g/L 的为淡

收稿日期: 2004-09-14 修订日期: 2004-12-03

基金项目: 国家“863”计划项目(2002AA4061)

作者简介: 郭太龙(1979-), 男, 内蒙古乌兰察布市人, 主要从事灌溉排水原理与技术方面的研究。沈阳 沈阳农业大学水利学院, 110161



水^[5]。由图1可以看出,不论入渗水质为淡水还是微咸水,随着入渗水的矿化度的增加,土壤的入渗能力增加。但是在淡水与微咸水的交界处,土壤的入渗能力会产生突变值。导致这一现象的原因可能是随着土壤溶液中盐分浓度的增加,扩散双电子层向粘粒表面压缩,土壤颗粒之间的排斥力降低,从而增强了土壤胶体的絮凝作用,有助于形成团粒结构,使得土壤的导水能力增加^[6]。

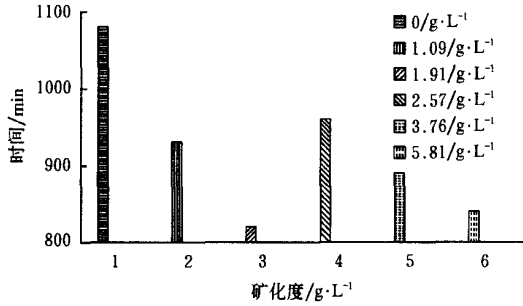


图1 不同水质入渗达45 cm 湿润锋面所需时间对比
Fig 1 Comparison of times spent in reaching 45 centimeter wetted surface of different regeneration water

2) 对累积入渗量的影响

为了定量分析入渗水质对入渗特征的影响,我们采用 Kostiakov 模型对试验资料进行拟合。Kostiakov 模型^[6]认为累积入渗量 I 与入渗时间 t 呈乘幂关系

$$I = kt^a$$

式中 k ——入渗系数; a ——入渗指数, a, k 均为无因次。

利用 Kostiakov 模型对试验数据进行拟合,拟合结果如表2所示,表中 R 为相关系数。

由表2可见,淡水与微咸水的入渗指数 a 随着入渗水矿化度的增加而增加,而入渗系数 K 却随着入渗水矿化度的增加而减小。尤其值得注意的是在淡水与微咸水的交界处附近,即入渗水质的矿化度为1.91 g/L 时,入渗指数 a 和入渗系数 K 分别取得各自的极大值0.5308和极小值0.5253。从变化幅度来看,入渗指数在淡水范围内随矿化度的增加而增长的幅度要大于其在微咸水范围内变化,入渗系数在淡水范围内随矿化度的增加而减小的幅度也要大于其在微咸水范围内的变化。

表2 不同入渗水质下 $I - t$ 拟合结果

Table 2 Fit result between infiltration and time of different water quality

入渗水的矿化度 / g·L ⁻¹	0	1.09	1.91	2.57	3.76	5.81
a	0.3460	0.4136	0.5308	0.4136	0.4631	0.4761
K	1.5408	0.9974	0.5253	0.9541	0.8541	0.6926
R	0.9816	0.9922	0.9846	0.9877	0.9934	0.9904
I	$1.5408t^{0.346}$	$0.9974t^{0.4136}$	$0.5253t^{0.5308}$	$0.9541t^{0.4136}$	$0.8541t^{0.4631}$	$0.6926t^{0.4761}$

2.2 不同入渗水质对土壤盐分的影响

1) 湿润土层总盐量的变化

随着入渗水矿化度的增加,会使其中含有的大量的可溶性盐分带入土壤,土壤总盐量必然会增加,而且入渗后土壤含盐量与土壤初始含盐量和入渗水的矿化度密切相关^[7]。图2显示了入渗水矿化度与湿润土层总盐量的相关关系。

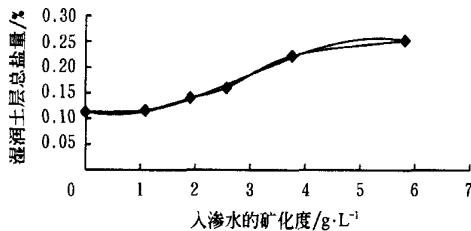


图2 土壤总盐量的变化
Fig 2 Changes of total salt content

由图2可知,在其它条件相同的情况下,入渗水矿化度越高,土壤积盐量就越大,而且在入渗水矿化度为1~5 g/L 范围内时,土壤积盐量随入渗水矿化度增加而增大的幅度最大。

对入渗水矿化度与湿润土层总盐量进行拟合,拟合结果如下

$$y = - 0.0026x^3 + 0.0227x^2 - 0.0209x + 0.1139$$

$$(R = 0.9982)$$

式中 y ——湿润土层总盐量, g/100 g; x ——入渗水矿化度, g/L; R ——相关系数。

2) 湿润土层内盐分的分布

微咸水入渗会造成土壤积盐,但整个土壤剖面含盐量并非都会增加,它与土层深度、土壤初始含盐量、含水率的大小分布和入渗水的矿化度密切相关^[8]。图3显示了不同矿化度水质入渗后土壤盐分的分布。由图可知,不同矿化度水入渗其土壤剖面盐分分布具有相似的变

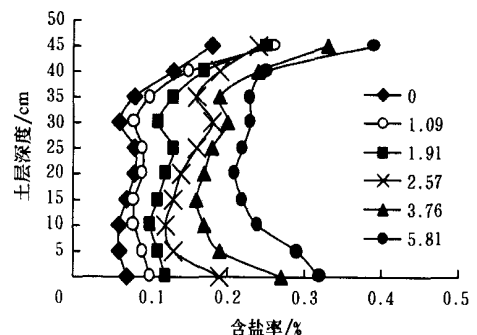


图3 土壤含盐率剖面的分布
Fig 3 Soil salt content profiles for distribution

化规律,即随着入渗深度的增加,土壤剖面的盐分运移大致可分为以下3个阶段:1)0~10 cm 表层处于脱盐状态,且脱盐程度随着入渗水矿化度的增加而增加;2)10~35 cm 土层处于较稳定的入渗状态;3)35~45 cm 土层处于积盐状态,积盐程度也随着入渗水矿化度的增加而增加,并且湿润锋处的含盐量达最大。

由于入渗水矿化度的差异而引起土壤剖面含盐量的不同,其影响的大小排列顺序基本为:5.81>3.76>2.57>1.91>1.09>0 g/L。这就表现了入渗水的矿化度越高,土壤剖面含盐量也越高的特性。风干土条件下,土壤的初始含水率极低,这说明土壤的初始溶液浓度处于相当高的水平,在入渗水的淋洗下上层土壤发生脱盐;随入渗锋面的向下推进,土壤溶液的浓度达到并保持一定水平,此时入渗处于相对较为稳定的状态;入渗锋面继续向下层土壤推进,入渗水的矿化度最终将决定土层含盐量的高低。

2.3 不同入渗水质对剖面含水率的影响

图4为同一湿润锋深度处(45 cm)6种水质的土壤水分剖面变化过程。由图可知,不同矿化度水质入渗后,土壤表层含水率基本相近,即接近饱和含水率。总体上变化规律是:1)在0~10 cm 深度范围内,含水率急剧减小;在10~30 cm 深度范围内,含水率基本稳定在一定值;在30~45 cm 深度范围内,含水率再次减小,不过减小的程度要较0~10 cm 深度范围小。2)相同湿润锋深度处,入渗水矿化度越高,剖面含水率也相对较大,尤其在10~30 cm 深度范围内表现的十分明显。

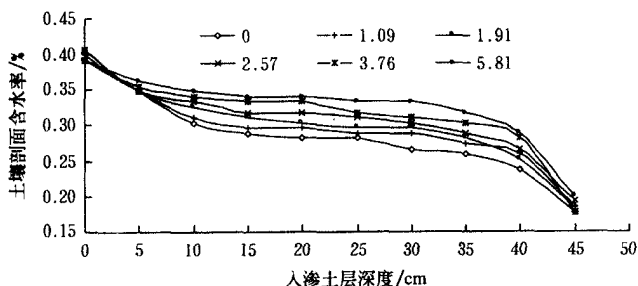


图4 土壤含水率剖面的分布

Fig. 4 Distribution of water content profiles

3 讨论

1) 随着入渗水矿化度的增加,相同入渗历时内的湿润锋、累积入渗量都在增加。这也就说明,不论入渗水质为淡水还是微咸水,随着入渗水矿化度的增加,土壤的入渗能力在增加。但是在淡水与微咸水的交界处,土壤的入渗能力会产生突变值。

2) 随着入渗水矿化度的增加,会使其中含有的大量的可溶性盐分带入土壤,土壤总盐量必然会增加,而且入渗后土壤含盐量与土壤初始含盐量和入渗水的矿化度密切相关。在其它条件相同的情况下,入渗水矿化度越高,土壤积盐量就越大,而且在入渗水的矿化度为1~5 g/L 范围内时,土壤积盐量随入渗水矿化度增加而增大的幅度最大。

3) 不同矿化度水入渗其土壤剖面盐分分布具有相似的变化规律,即随着入渗深度的增加,土壤剖面的盐分运移大致可分为以下3个阶段:1)0~10 cm 表层处于脱盐状态,且脱盐程度随着入渗水矿化度的增加而增加;2)10~35 cm 土层处于较稳定的入渗状态;3)35~45 cm 土层处于积盐状态,积盐程度也随着入渗水矿化度的增加而增加,并且湿润锋处的含盐量达最大。由于入渗水矿化度的差异而引起土壤剖面含盐量的不同,其影响的大小排列顺序基本为:5.81>3.76>2.57>1.91>1.09>0 g/L。这就表现了入渗水的矿化度越高,土壤剖面含盐量也越高的特性。

4) 不同矿化度水质入渗后,土壤表层含水率基本相近,即接近饱和含水率,总体上变化规律是:1)在0~10 cm 深度范围内,含水率急剧减小;在10~30 cm 深度范围内,含水率基本稳定在一定值;在30~45 cm 深度范围内,含水率再次减小,不过减小的程度要较0~10 cm 深度范围小。2)相同湿润锋深度处,入渗水矿化度越高,剖面含水率也相对较大,尤其在10~30 cm 深度范围内表现的十分明显。

[参 考 文 献]

- [1] 王全九,徐益敏. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 73-77.
- [2] V. A. 柯夫夫, I. 沙波尔斯著. 土壤盐化和碱化过程的模拟[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [3] 朱庭云,盛殿阁. 利用放射性同位素¹³¹I研究磁化水改良盐土的效果[J]. 土壤通报, 1982.
- [4] 李韵珠,李保国. 土壤溶质运移[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 张启海,周玉香. 微咸水灌溉发展的基础与措施探讨[J]. 中国农业水利水电, 1998, (10): 12-13.
- [6] I. 山伯格, J. D. 鲁斯特, 鲁光四译. 灌溉水质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [7] Joerl Cahoon, Kostikov. Infiltration parameters from kinematic wave model [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1998(3): 356-362.
- [8] Shalhevet J. Using water of marginal quality for crop production: Major issues [J]. Agricultural Water Management, 1994, 25(3): 233-269.

Experimental study on salt and water movement affected by mineralization degree of infiltration water

Guo Tailong¹, Chi Daocai¹, Wang Quanjiu², Ma Donghao², Yang Wucheng¹

(1. College of Water Resource Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2 Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Reasonable development and utilization of salt water and saline water resources have become a heat issue in the world recently. In order to study the effected of mineralization degree of saline water, soil moisture content and soil initial conditions on water and salt movement, the experiment of brackish water infiltration with earth pillar were conducted in doors. Impact of the salinity of the infiltration water on the process of infiltration was analyzed, the mathematical model between infiltration water mineralization degree and soil salt content was established, and the soil salt movement law in soil profiles were summarized. The results showed that ability of soil infiltration raised with the increasing of water mineralization degree. A mineralization degree is ranged from 1~5 g/L, the extent of accumulated salt increases along with increased mineralization degree of infiltration water. The surface soil water content was close with different mineralization degree levels water, which approached saturated water content.

Key words: brackish water; infiltration; water and salt movement; salt content; soil moisture