

CaCl₂ 溶液灌溉对土壤水盐与斥水性分布的影响^{*}

巨娟丽¹ 李 毅^{1,2} 宋红阳^{1,2} 刘俊民¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西安市临潼区零河水库管理站, 西安 710600)

摘要: 选用砂土和盐碱土并添加斥水剂,采用0、1、3和6 g/L的CaCl₂溶液进行室内土柱入渗试验,对比灌水水质对土壤水盐及斥水性分布的影响。结果表明:咸水灌溉后,砂土1和亲水盐碱土的累积入渗量、湿润锋和入渗率曲线均较光滑;而砂土2和斥水盐碱土的入渗特征曲线不如砂土1的光滑,入渗过程比前者慢得多。灌水矿化度增加对盐碱土的入渗过程影响更明显。Philip模型与Kostiakov公式拟合亲水土壤入渗率过程都较好。砂土1和砂土2在咸水灌溉后剖面的滴水穿透时间都比初始值有所增加,但最大增加值仅3.6 s。盐碱土灌后剖面的滴水穿透时间增加明显,最大增加值为19 s。灌水矿化度增加对电导率、Ca²⁺质量浓度和Cl⁻质量浓度分布均有影响。研究表明咸水灌溉不仅影响水盐分布,而且对斥水性也有不同程度的影响。

关键词: 咸水灌溉 土壤水盐运移 土壤斥水性 入渗

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0159-08

引言

据《2011年中国水资源公报》统计,2011年北方六省区平原浅层地下水总补给量为1444.4亿m³,比1980—2000年平均值少10.6%。在水资源短缺和水危机的大背景下,(微)咸水成为农业水资源利用的一个可能途径^[1]。(微)咸水用于田间灌溉可缓解干旱,提供作物生长所需的水分。咸水灌溉可减少对淡水资源的过度消耗并改良盐碱土,但由于咸水本身也给土壤带入了盐分,使土壤存在潜在盐渍化的危险^[1-2]。不同化学成分的咸水溶液灌溉对土壤水-盐-养分运移^[3]和作物生长^[4]有重要影响。微咸水入渗可以改变土壤结构特性,从而增大土壤入渗能力^[5]。土壤初始含水率^[6]、不同含盐水的盐分浓度^[7]以及夹层土壤结构^[8]等均在不同程度上影响入渗特征和盐分运移过程。当分别采用Philip模型和Green-Ampt模型分析不同矿化度咸水入渗过程时,两模型中的参数也随矿化度的变化而改变^[9]。

土壤斥水性^[10-11]使降雨入渗降低、地面产流增加,导致地表更容易被冲刷侵蚀。由于土壤斥水性的存在,水分出现不均匀分布,对种子的萌发产生不利影响^[12]。斥水土壤中裂隙、根孔等的存在会产生土壤优先流,导致养分流失,加快局部淋洗过程,易

造成地下水污染^[13]。在斥水土壤中进行NaCl溶液灌溉对土壤水盐有重要影响^[14],其入渗模型有一定适用条件^[15]。但就目前国内外成果而言,对于其他咸水溶液灌溉条件下斥水土壤中水盐运移过程及斥水性的变化规律研究较少。

本文选取2种典型西北土壤—砂土与盐碱土,通过CaCl₂溶液灌溉条件下的土柱入渗试验,对比施加相同斥水材料后砂土与盐碱土的湿润过程及离子分布规律,同时探讨斥水性沿深度变化特征。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及前期处理

试验所用土样为砂土和盐碱土,分别取自陕西杨凌渭河河岸和新疆玛纳斯县北五岔镇,未作处理的田间土壤采回后测定均为亲水土壤。土壤经风干、研磨后过2 mm土壤筛。用干燥法测含水率;吸管法测定土壤颗粒组成,并按照国际制土壤质地分类对各供试土壤进行质地级别划分。按土水质量比例1:5配置土壤浸出液后,用DDS-303型电导率仪测上清液的电导率。初始有机质质量比(OMC)利用高温消煮、硫酸亚铁标准溶液滴定法测定。用莫尔法测定Cl⁻及Ca²⁺含量,测定时室内平均温度20℃左右。土壤基本理化性质见表1。

按每10 kg风干土6 g斥水剂(十八烷基伯胺)

收稿日期: 2013-11-08 修回日期: 2013-12-04
^{*} 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(SS2013AA100900)和西北农林科技大学基本科研业务费优秀青年基金资助项目(YQ2013006)
作者简介: 巨娟丽,博士生,主要从事水文水资源和环境岩土研究,E-mail: jujuanli@126.com
通讯作者: 刘俊民,教授,博士生导师,主要从事水资源与环境工程研究,E-mail: jmlslx@yahoo.com.cn

的比例配制,75℃下干燥 24 h 后室内放置 24 h。采用滴水穿透时间法^[10-11]测定土壤斥水性,斥水级别

的分类参照文献[13]。结果列于表 2, T_0 表示初始滴水穿透时间。

表 1 供试土样的质地及初始理化性质
Tab.1 Texture and the initial physico-chemical properties of the tested soils

土壤	砂粒质量 分数/%	粉粒质量 分数/%	粘粒质量 分数/%	质地	有机质质量比 /(g·kg ⁻¹)	电导率 /(μS·cm ⁻¹)	Ca ²⁺ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ 质量浓度 /(mg·L ⁻¹)
盐碱土	21.0	67.0	12.0	粉壤土	7.39	984	0.98	4.12
砂土	93.7	6.3	0	砂土	5.60	30.7	0.24	0.8

表 2 供试土壤的斥水级别
Tab.2 Level of hydrophobicity for the tested soils

土壤	是否作 斥水处理	初始质量 含水率/%	T_0 /s	斥水 级别
盐碱土	否	2.5	2.7	亲水
	是	3.69	5.9	微弱斥水
砂土	否	2.0	0.7	亲水
	是	1.2	2.8	亲水

1.2 咸水入渗试验方案

为研究咸水对土壤入渗特征的影响,以不同CaCl₂溶液矿化度咸水进行入渗试验。试验装置由土柱和供水装置组成,为一维垂直入渗。利用 500 L 马氏瓶进行供水,压力水头 2 cm。土柱由高 50 cm、壁厚 5 mm、内径 8.5 cm 的圆形有机玻璃材料制成。

供试土壤风干研磨后过 2 mm 土壤筛,按盐碱土 1.45 g/cm³、砂土 1.35 g/cm³ 的容重分层(每层 5 cm)均匀装入土柱,每层夯实后打毛表面。

天然水矿化度分类:淡水 0 ~ 1.0 g/L,微咸水 1.0 ~ 3.0 g/L,咸水 3.0 ~ 10.0 g/L,盐水 10.0 ~ 100.0 g/L,卤水 100.0 g/L 以上。本试验配置的CaCl₂溶液矿化度分别为 0(蒸馏水)、1、3 和 6 g/L。

入渗过程中记录马氏瓶读数和湿润锋随时间的变化,记录时间按先密后疏原则。入渗水量为 740 mL 时结束入渗试验。入渗结束后每 2 cm 取一土样,用干燥法测各深度的土壤质量含水率。土样加热干燥后过 2 mm 筛,按每 20 g 土样加 100 mL 蒸馏水的比例混合后震荡 30 min;静置 48 h 取 2 组上层滤液。一组用于测定电导率,另一组用于测定Cl⁻及Ca²⁺含量。土壤斥水性用滴水穿透时间法测定。

1.3 入渗模型

常用的入渗模型可分为理论和经验型 2 种,Grren - Ampt 模型和 Philip 模型属于理论型,Kostiakov 公式则属于经验模型。本文用以下 3 种模型表达入渗率的时间变化:

Green - Ampt 模型

$$i = K_s [1 + (\theta_s - \theta_i) s_f / I]$$
 (1)

Philip 公式

$$i = 0.5 St^{-0.5} + A$$
 (2)

Kostiakov 公式

$$i = B t^{-a}$$
 (3)

式中 i ——入渗率,cm/min

t ——入渗时间,min

I ——累积入渗量,cm

s_f ——湿润锋处的吸力,cm

K_s ——饱和导水率,cm/s

θ_s ——饱和含水率 θ_i ——初始含水率

S 、 A 、 B 、 a 均为入渗参数。

2 结果分析

2.1 入渗过程及模型

入渗过程受供水强度和土壤入渗能力的影响。根据实测入渗数据,绘制砂土入渗特征随时间的变化,见图 1,图例表示不同矿化度。砂土 1 为自然亲水土壤,砂土 2 添加了斥水材料,但未达到斥水级别,仍为亲水土壤。

由图 1 可知:各灌溉水矿化度下砂土 1 的累积入渗量和湿润锋随时间变化曲线均较光滑,矿化度增加时累积入渗量有轻微增加,但湿润锋区别不大。不同矿化度下砂土 1 的入渗率随时间延长迅速减少,入渗 120 min 后已低至 0.03 cm/min 以下,不同矿化度下入渗率曲线相对平滑,矿化度较小时曲线稍低。砂土 2 累积入渗量在初期 500 min 增加较快,但入渗到与砂土 1 相同的累积入渗量需要更长的时间。砂土 1 在各矿化度下累积入渗量达 12 cm 的时间不足 500 min,而砂土 2 在各矿化度下累积入渗量达 12 cm 的时间需 21 000 min 以上。基本上矿化度增大时累积入渗量也增加,其增加幅度比砂土 1 大得多。砂土 2 在各矿化度下的入渗湿润锋变化与砂土 1 有明显区别。在各矿化度下砂土 1 的湿润锋达到 30 cm 时所需时间不足 500 min,而砂土 2 则需 25 000 min 以上。随矿化度的增加砂土 2 的湿润锋也有明显增加。砂土 2 在各矿化度下的入渗率随时间变化区别不大,当入渗时间达 10 500 min 后入渗率趋于稳定,全部时段内的入渗率数量级比砂

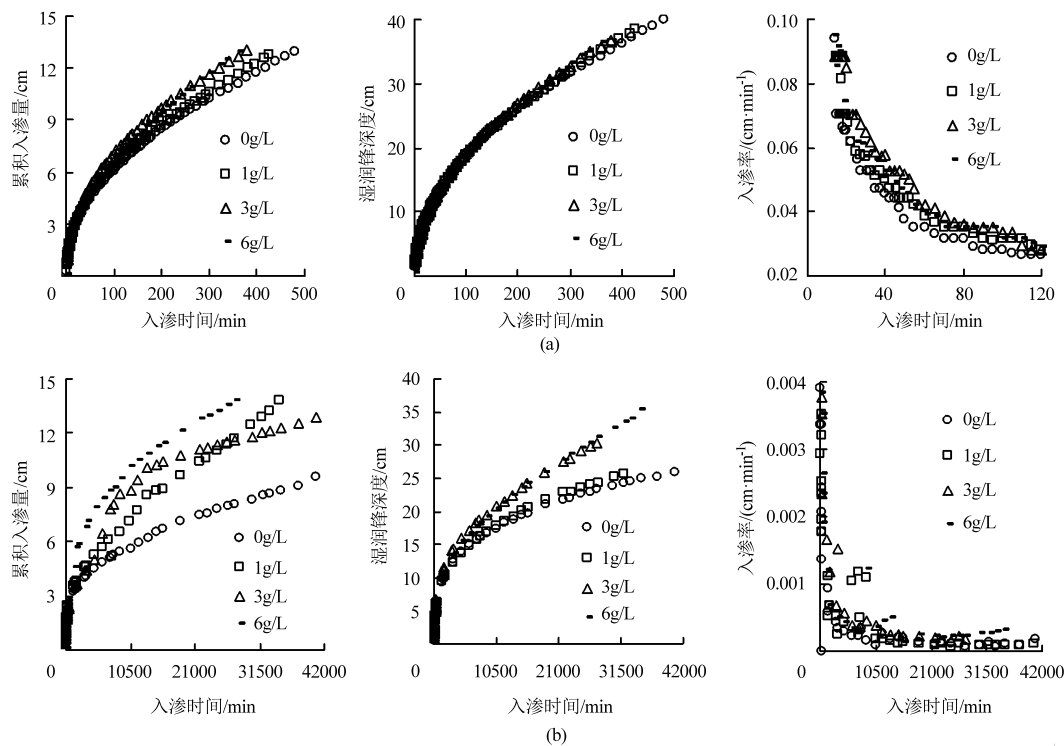


图 1 砂土入渗特征
Fig. 1 Infiltration characteristics of sand
(a) 砂土 1 (b) 砂土 2

土 1 的低,初始入渗率大于 0.001 cm/min,远小于砂土 1 的初始入渗率(约 0.1 cm/min)。

虽然砂土 2 入渗前为亲水土壤,初始滴水穿透时间为 2.8 s,但入渗过程中却表现出明显的斥水特征,入渗过程明显缓慢,入渗量、湿润锋和入渗率都远小于砂土 1,说明添加斥水材料后的砂土入渗特征受所添加斥水材料的影响很明显。

由图 2 可知,各矿化度下亲水盐碱土的累积入渗量、湿润锋和入渗率随时间变化曲线基本光滑,但其光滑程度不如砂土 1。矿化度增加时亲水盐碱土的累积入渗量、湿润锋和入渗率曲线都有所增加,矿化度对亲水性盐碱土入渗特征的影响较明显,在入渗历时较长时表现更明显。各矿化度下斥水盐碱土的入渗特征曲线不如亲水盐碱土光滑,矿化度增加时累积入渗量、湿润锋和入渗率曲线在前期变化不大。斥水盐碱土的入渗明显比亲水土壤慢。矿化度分别为 0、1、3 及 6 g/L 时,亲水盐碱土在入渗 1 800 min 时的累积入渗量相应为 7.5、10.6、10.7 和 12.9 cm,而斥水盐碱土在入渗 1 800 min 时的累积入渗量则分别为 1.4、1.7、2.1 和 2.9 cm,明显少得多。不同矿化度下斥水盐碱土的湿润锋推进速度也比亲水盐碱土慢得多。矿化度分别为 0、1、3 及 6 g/L 时,亲水盐碱土的初始入渗率分别为 1.18、1.52、1.89 和 2.08 cm/min,而斥水盐碱土的初始入渗率分别为 0.19、0.21、0.49 和 1.0 cm/min,后者明

显较低。亲水和斥水盐碱土的稳定入渗率约为 0.004 和 0.000 2 cm/min,后者也明显较慢。各矿化度下斥水盐碱土的入渗率曲线都在入渗较长历时后出现一段增加段,这可能是缘于斥水土壤在入渗历时较长时其斥水特性被弱化,从而出现入渗率抬升现象,该现象与 Clothier 等^[16]的研究结果相吻合。

对比不同土质可知,同条件下(是否斥水、矿化度一致否、入渗时间长短等)砂土比盐碱土入渗快。

基于实测数据的分析,砂土 2 和斥水盐碱土的入渗过程极其缓慢,用各入渗模型表达不佳,而亲水土壤的入渗过程用入渗模型表达较好。不同灌水矿化度下的亲水土壤入渗模型参数列于表 3。

表 3 中的入渗参数随矿化度增加具有较一致的规律,但不同土壤表现不同。砂土 1 的 Philip 模型参数 S 随矿化度的增加而增加,而亲水盐碱土的 Philip 模型参数 S 随矿化度增加而递减。2 种土壤中,Philip 模型参数 A 与 Kostikov 公式的参数 B 均随矿化度增加而增加,但 Kostikov 公式的参数 a 则在一定范围内上下波动,与矿化度没有明确的递增或递减关系。Green - Ampt 模型参数 s_f 随矿化度的增加而轻微增加,且砂土 1 和亲水盐碱土都有此规律。对于亲水土壤而言,无论采用 Green - Ampt 模型、Philip 模型还是 Kostikov 公式表达其入渗关系,决定系数 R^2 都较高,最低为 0.925。

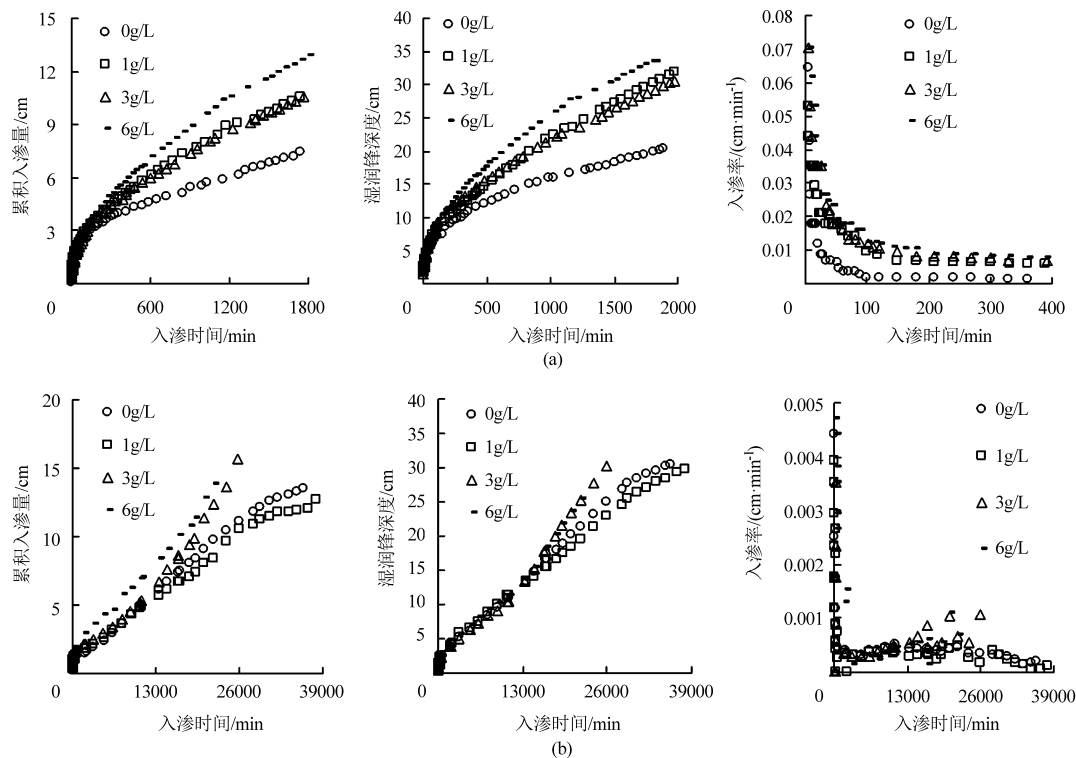


图 2 盐碱土入渗特征

Fig. 2 Infiltration characteristics of saline-alkali soil

(a) 亲水盐碱土 (b) 斥水盐碱土

表 3 亲水土壤入渗模型的拟合参数

Tab.3 Fitted parameters for infiltration equations for the wettable soils

土壤	矿化度 /(g·L ⁻¹)	Philip 公式			Kostiakov 公式			Green - Ampt 模型	
		S	A	R ²	B	a	R ²	s _f /cm	R ²
砂土 1	0	0.593	0.025	0.951	0.381	0.564	0.988	19.2	0.954
	1	0.695	0.030	0.976	0.407	0.550	0.954	20.1	0.981
	3	0.732	0.032	0.981	0.431	0.555	0.926	20.8	0.925
	6	0.744	0.037	0.959	0.466	0.577	0.969	21.2	0.937
亲水盐碱土	0	0.353	0.010	0.856	0.101	0.720	0.960	45.8	0.945
	1	0.309	0.012	0.982	0.107	0.485	0.981	47.3	0.962
	3	0.240	0.015	0.982	0.150	0.527	0.988	48.0	0.939
	6	0.151	0.019	0.983	0.166	0.520	0.987	48.5	0.974

2.2 土壤斥水性的分布规律

入渗水质的变化及土壤质地的差异等都会造成斥水性的变化^[14]。基于实测资料,将入渗结束后各矿化度下滴水穿透时间的剖面分布作图,如图 3 所示。

图 3 中,咸水灌溉后滴水穿透时间沿深度的分布因土壤质地、斥水程度和灌溉水矿化度而变化。表现为:灌后砂土和盐碱土斥水性均比灌前增加,其中砂土 1 和砂土 2 的滴水穿透时间分布较均一,最大增加值仅 3.6 s,滴水穿透时间整体增加较少,砂土 1 灌后斥水级别仍为亲水,但砂土 2 可达弱斥水级别。灌后盐碱土滴水穿透时间沿深度变化不均一,在 20 cm 深度上滴水穿透时间更大,且比初始值增加达 19 s。灌水矿化度增加对砂土和盐碱土滴水

穿透时间的影响均没有一致性规律。初始斥水的盐碱土比初始不斥水盐碱土在灌后滴水穿透时间增加更多,但不同矿化度下均未超 30 s。

为进一步分析咸水灌溉对土壤离子分布的影响,将灌后砂土在不同矿化度下土壤电导率及离子分布作图,如图 4 所示。

图 4 中,各矿化度下砂土 1 和砂土 2 的电导率、Ca²⁺ 质量浓度和 Cl⁻ 质量浓度最大值基本在 38 ~ 40 cm 深度,电导率、Ca²⁺ 质量浓度和 Cl⁻ 质量浓度在其他深度上变化不大,灌水矿化度增加则电导率、Ca²⁺ 质量浓度和 Cl⁻ 质量浓度数值沿剖面整体增加,剖面上未形成盐分质量浓度和离子质量浓度峰值。

灌后不同矿化度下盐碱土电导率及离子分布见

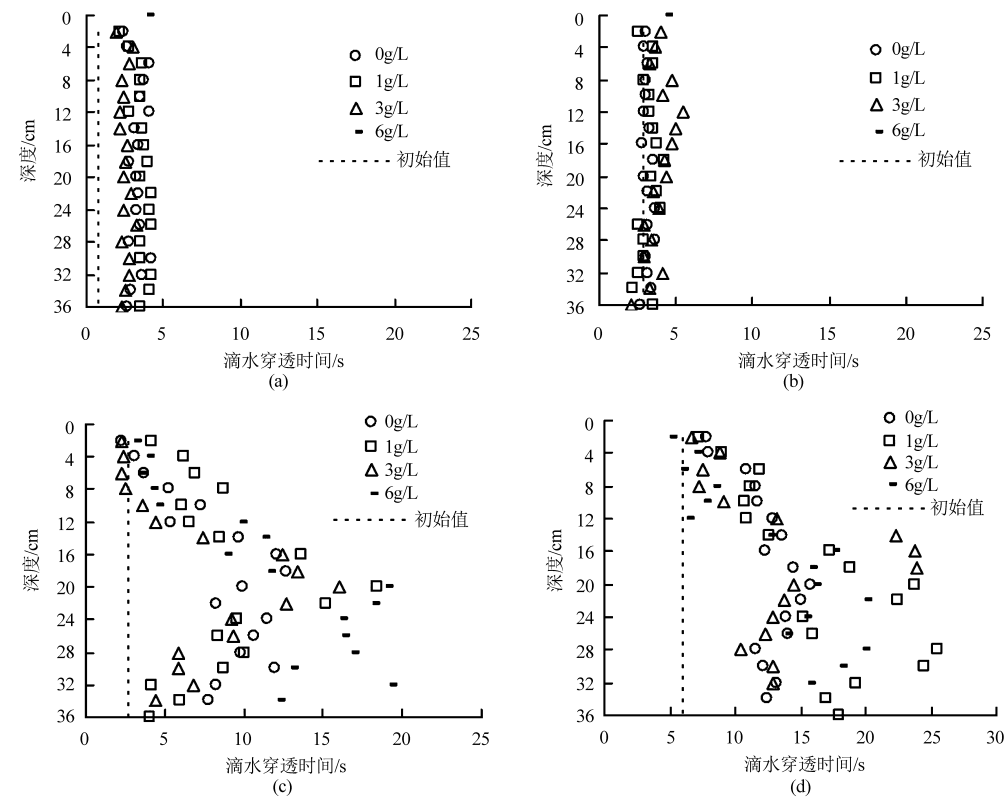


图 3 咸水入渗后亲水和斥水土壤的滴水穿透时间

Fig. 3 Water droplet penetration time of the wettable and hydrophobic soils after saline water infiltration

(a) 砂土 1 (b) 砂土 2 (c) 亲水盐碱土 (d) 斥水盐碱土

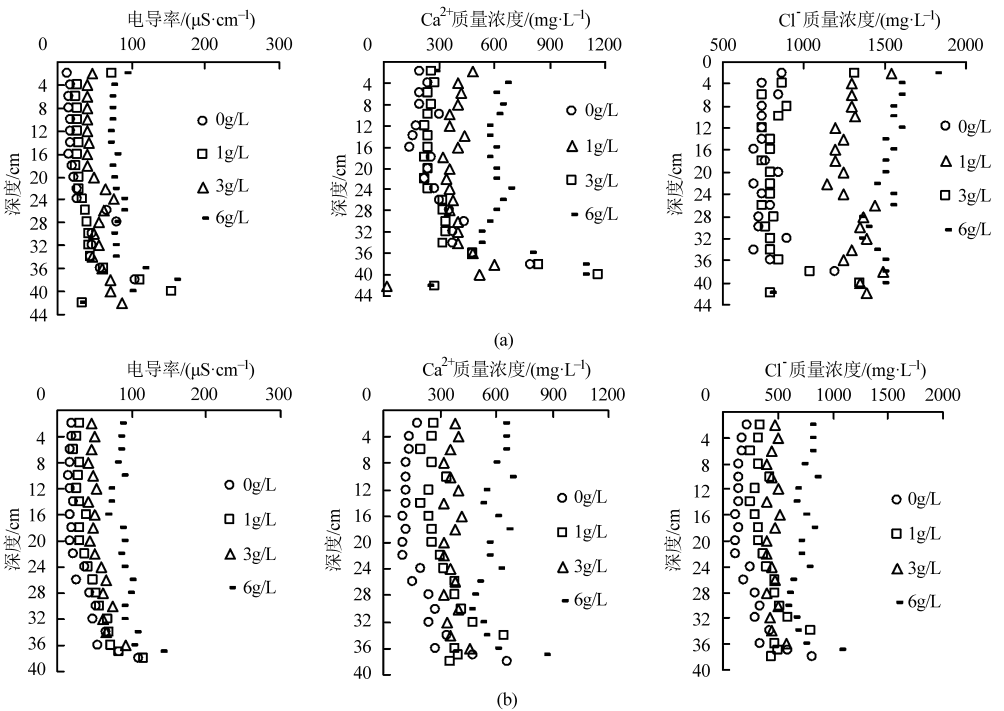


图 4 咸水入渗后砂土化学性质随深度的变化

Fig. 4 Chemical characteristics variations with depths for sand after saline water infiltration

(a) 砂土 1 (b) 砂土 2

图 5。由图 5 可知,①各矿化度下亲水盐碱土电导率曲线随深度变化有明显的峰值,在上层 12 cm 范围内电导率很低,基本为脱盐区。深度逐渐增加电导率也有所增加,在 28 ~ 32 cm 范围内为峰值区。矿化度分别为 0、1、3 及 6 g/L 时,亲水盐碱土电导率峰值分别为 1 511、1 752、1 882 和 1 862 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

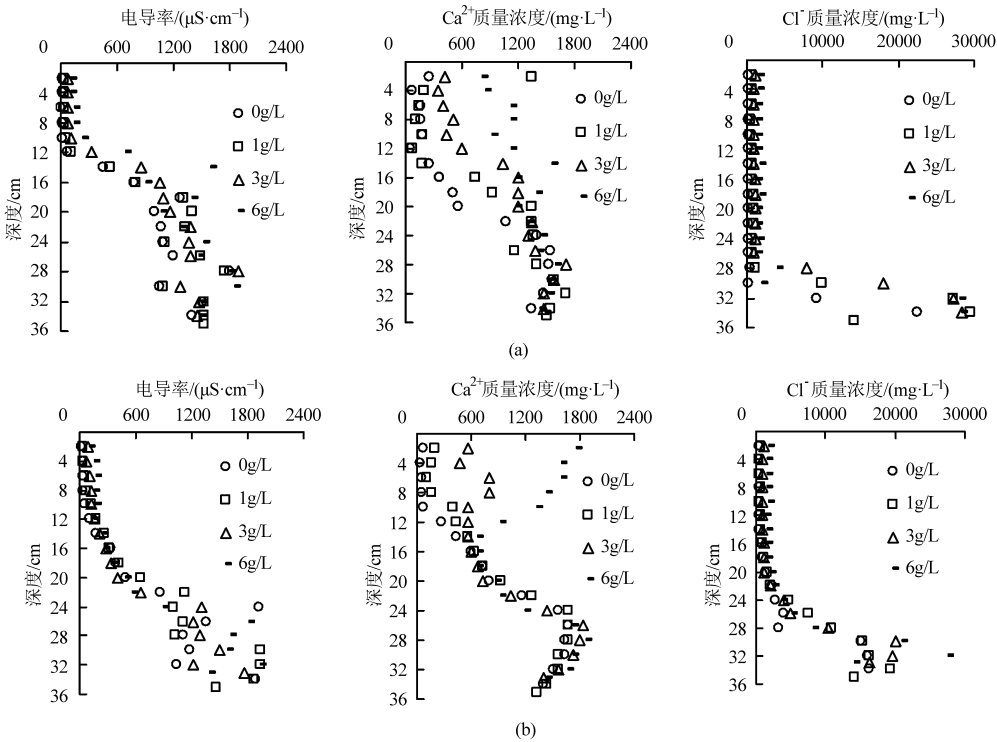


图 5 咸水入渗亲水和斥水性盐碱土化学性质随深度的变化

Fig. 5 Chemical characteristics variations with depths for wettable and hydrophobic saline-alkali soils after saline water infiltration
(a) 亲水盐碱土 (b) 斥水盐碱土

Ca²⁺ 质量浓度在剖面上的分布因灌水矿化度而变化,矿化度越高,上层 Ca²⁺ 质量浓度较高的范围也越大,矿化度分别为 6 g/L 时,剖面 Ca²⁺ 质量浓度整体较高。各矿化度下 Cl⁻ 质量浓度在 28 cm 以上均较低,在 36 cm 出现最大值,与 Ca²⁺ 质量浓度分布规律差别较大。②各矿化度下斥水盐碱土的电导率在大于 12 cm 深度时逐渐增加,在 24 ~ 36 cm 深度时电导率更高,存在明显的峰值区。Ca²⁺ 质量浓度在剖面上的分布因灌水矿化度的变化而明显不同,矿化度为 0 和 1 g/L 时 12 cm 深度以上 Ca²⁺ 质量浓度小于 200 mg/L,而矿化度升高时 12 cm 深度以上范围内 Ca²⁺ 质量浓度大于 480 mg/L,在 16 cm 深度各矿化度下 Ca²⁺ 质量浓度基本接近,约为 6 000 mg/L,在更深范围内各矿化度下的分布基本一致,在 28 cm 处出现接近 1 800 mg/L 的峰值,从而反映出斥水盐碱土的 Ca²⁺ 质量浓度差异主要在上层。各矿化度下 Cl⁻ 质量浓度在 20 cm 深度以上均较低,在 32 cm 深度左右出现最大值,矿化度增加对 Cl⁻ 质量浓度的分布有微弱影响,但差别不大。

根据砂土和盐碱土的入渗特征和离子分布,总体上砂土 2 的入渗过程不如砂土 1 有规律,斥水盐

碱土的入渗过程比亲水盐碱土复杂。基本上可以判断,矿化度和斥水物质主要在微观上影响土壤和水的结合程度,斥水材料阻碍了水分在土壤中的运移速度,而且影响随水运移的溶质和离子。

3 结论

(1) 砂土 1 和亲水盐碱土入渗过程明显比砂土 2 和斥水盐碱土快,表现出斥水性对入渗的明显影响。从土质上对比,同条件下盐碱土入渗速率比砂土的慢。矿化度增加总体上增加土壤的入渗速率。

(2) 咸水灌溉后砂土 1 和砂土 2 的斥水性在垂直剖面上比初始值有所增加,这种斥水性的增加对盐碱土而言更明显,滴水穿透时间的增加最大达 19 s。但灌水矿化度对滴水穿透时间的增加没有一致规律。

(3) 灌水矿化度增加,砂土 1 和砂土 2 的电导率、Ca²⁺ 质量浓度和 Cl⁻ 质量浓度都在剖面上整体增加,而亲水盐碱土和斥水盐碱土的电导率和 Cl⁻ 质量浓度增加在峰值处(土体底部)差异更大。随灌水矿化度的变化,亲水盐碱土和斥水盐碱土的 Ca²⁺ 质量浓度差异在上层更明显。

参 考 文 献

1 Beltrán J M. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact[J]. *Agricultural Water Management*, 1999, 40(2 – 3): 183 – 194.

2 de Clercq W P, Van Meirvenne M, Fey M V. Prediction of the soil-depth salinity-trend in a vineyard after sustained irrigation with saline water[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(3): 395 – 404.

3 Mahdy A M. Soil properties and wheat growth and nutrients as affected by compost amendment under saline water irrigation[J]. *Pedosphere*, 2011, 21(6): 773 – 781.

4 Malash N, Flowers T J, Ragab R. Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non-saline water on tomato production[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78(1 – 2): 25 – 38.

5 毕远杰,王全九,雪静. 淡水与微咸水入渗特性对比分析[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(7): 70 – 76.
Bi Yuanjie, Wang Quanjiu, Xue Jing. Infiltration characteristic contrast analysis of fresh water and saline water[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(7): 70 – 76. (in Chinese)

6 吴忠东,王全九. 不同初始含水率条件下的微咸水入渗实验[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(1): 53 – 59.
Wu Zhongdong, Wang Quanjiu. Saline water infiltration with different initial moisture contents[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(1): 53 – 59. (in Chinese)

7 陈丽娟,冯起,王昱,等. 微咸水灌溉条件下黏土夹层土壤的水盐运移规律[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(8): 44 – 51.
Chen Lijuan, Feng Qi, Wang Yu, et al. Water and salt movement under saline water irrigation in soil with clay interlayer[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(8): 44 – 51. (in Chinese)

8 史晓楠,王全九,巨龙. 微咸水入渗条件下 Philip 模型与 Green – Ampt 模型参数的对比分析[J]. *土壤学报*, 2007, 44(2): 360 – 364.
Shi Xiaonan, Wang Quanjiu, Ju Long. Parameters of Philip and Green – Ampt models for soils infiltrated with brackish water[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(2): 360 – 364. (in Chinese)

9 Letey J, Feng G L. Dynamic versus steady-state approaches to evaluate irrigation management of saline water[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 91(1 – 3): 1 – 10.

10 DeBano L F. Water repellency in soils: a historical overview[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 – 232: 4 – 32.

11 李毅,商艳玲,李振华,等. 土壤斥水性研究进展[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(1): 68 – 75.
Li Yi, Shang Yanling, Li Zhenhua, et al. Advance of study on soil water repellency[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(1): 68 – 75. (in Chinese)

12 Carrillo M L K, Letey J, Yates S R. Unstable water flow in a layered soil: I. Effects of a stable water-repellent layer[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 450 – 455.

13 Dekker L W, Ritsema C J. How water moves in a water-repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency[J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(9): 2507 – 2517.

14 刘春成,李毅,郭丽俊,等. 微咸水灌溉对斥水土壤水盐运移的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(8): 39 – 45.
Liu Chuncheng, Li Yi, Guo Lijun, et al. Effect of brackish water irrigation on water and salt movement in repellent soils[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(8): 39 – 45. (in Chinese)

15 刘春成,李毅,任鑫,等. 四种入渗模型对斥水土壤入渗规律的适用性[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 62 – 67.
Liu Chuncheng, Li Yi, Ren Xin, et al. Applicability of four infiltration models to infiltration characteristics of water repellent soils[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(5): 62 – 67. (in Chinese)

16 Clothier B E, Vogelier I, Magesan G N. The breakdown of water repellency and solute transport through a hydrophobic soil[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 231 – 232: 255 – 264.

Effects of CaCl_2 Solution Irrigation on Distributions of
Soil Water, Salt and Water Repellency

Ju Juanli¹ Li Yi^{1,2} Song Hongyang^{1,2} Liu Junmin¹

(1. College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
2. Linghe Reservoir Management Station at Lintong Region in Xi'an, Xi'an 710600, China)

Abstract: Saline water irrigation is one of the effective measures for relieving the crisis of agricultural water utilization. Sand and saline-alkali soils were selected and were added with hydrophobic materials. CaCl_2 solution with mineral degrees of 0, 1, 3 and 6 g/L were used for laboratory column infiltration

experiments, in order to compare the effects of irrigation water quality on the distributions of soil water, soil salt and soil water repellency. The results showed that the curves of cumulative infiltration, wetting front and infiltration rate for sand 1 and wettable saline-alkali soil were all smooth after saline water irrigation. But those for sand 2 and hydrophobic saline-alkali soil were not so smooth, and their infiltration process were much slower than those of sand 1 and wettable saline-alkali soil. The increase of irrigation water mineral degree affected the infiltration process of saline-alkali soil more than that of sand. Philip model and Kostiakov equation were both good for fitting the infiltration curves of wettable soils. After saline water irrigation, the water drop penetration time (WDPT) along the profile increased both for sand 1 and san 2, but the maximal increment was only 3.6 s. The increment of WDPT for saline-alkali soil was obvious and the maximal increment value was 19 s. The increase of irrigation mineral degrees affected electrical conductivity, concentration of Ca^{2+} and concengtration of Cl^- . In conclusion, this study indicated that saline water irrigation affected not only the distributions of soil water and salt, but also that of hydrophobicity.

Key words: Saline water irrigation Soil water and soil salt movement Soil hydrophobicity Infiltration

~~~~~

(上接第 131 页)

**Global Sensitivity Analyses of DSSAT – CERES – Wheat Model  
Using Morris and EFAST Methods**

Song Mingdan<sup>1</sup>   Feng Hao<sup>2,3</sup>   Li Zhengpeng<sup>1,3</sup>   Gao Jianen<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*

2. *Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China*

3. *Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

**Abstract:** Parameter sensitivity analysis is crucial to the process of model localization. In this study, both the Morris and EFAST (extended Fourier amplitude sensitivity test) methods were applied to test the sensitivities of outputs of CERES – Wheat model to its cultivar and ecotype parameters. The wheat crop planted during 2007—2010 was simulated under the potential, attainable and actual yield level at Yangling, Shaanxi Province. CERES – Wheat outputs of interest included anthesis date, maturity date, yield and above-ground biomass. The results showed that the anthesis and maturity dates were highly influenced by photoperiod response (P1D), accumulated temperature in the duration of emergence stage to terminal spike differentiation stage (P1), accumulated temperature in the duration of terminal spike differentiation stage to flag leaf stage (P2), and vernalization effect (VEFF). Moreover, maturity date was sensitive to grain filling phase duration (P5). Yield and above-ground biomass were highly influenced by PAR before and after flag leaf stage (PARUE, PARU2), P1D, P1 and P2. Moreover, biomass was sensitive to standard kernel size (G2) and kernel number per unit canopy weight at anthesis (G1). The correlation coefficient between the Morris mean and the EFAST total sensitivity index was high, indicating that the Morris method with less computation could be used to select the sensitive model parameters.

**Key words:** Crop model   Top-down concordance coefficient   Correlation coefficient   Goble sensitivity analysis