

不同蓄水位下水体-土壤循环压盐 数值模拟研究*

孙博¹ 解建仓¹ 汪妮¹ 李春娇²

(1 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710048)

(2 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要 “改排为蓄”是盐碱地治理方法的重大创新,为揭示不同蓄水位条件下蓄水沟水体与相邻土壤之间动态循环压盐的机理,自制实验装置模拟水体与土壤之间盐分运移实验,通过对蓄水水位高低的循环变化,研究不同土层盐分的运移规律。结果表明:蓄水位循环变化对土壤盐分迁移起着至关重要的作用,当蓄水位70 cm→40 cm→20 cm的循环变化时,表层0~65 cm土壤的盐分逐渐扩散至水体,盐分再由水体中逐渐向底层65~100 cm土壤迁移,改变盐分在垂直方向的分布,逐渐向下压盐。针对研究对象,建立盐分运移数学模型,采用Hydrus-2D软件进行数值模拟,经分析比较,不同土层盐分运移数值模拟结果与实验结果数值基本一致,模拟效果较好。因此,不同蓄水位下,水体-土壤间循环压盐机理是成立的,“改排为蓄”治理模式是可行的,可以达到盐碱地改良的效果。

关键词 水体-土壤;蓄水位;盐分运移;循环压盐;盐土脱盐;数值模拟

中图分类号 S274.1 **文献标识码** A

我国盐渍土面积之大,分布之广是世界罕见。由于不合理的灌溉方式、不完善的排水系统及大规模地表引水,导致地下水位急剧上升、兼之特殊的气候与土壤条件,产生了土壤次生盐渍化^[1-2]。治理盐渍化土壤刻不容缓,传统盐碱地的治理措施包括^[3-4]:水利工程措施、农业技术措施、生物措施、化学措施等。国内主要采用排水洗盐的水利措施,传统的“以排为主”方法治理盐碱地的同时也带来了许多问题。因此,近些年国内许多学者、专家对改良措施展开了深入研究,总结出:因地制宜综合治理、水利工程措施与农业生物措施相结合、排除盐分与提高土壤肥力相结合、利用与改良相结合等。本文基于盐碱水也是水资源这一理念,提出了“改排为蓄”盐碱地治理新模式^[5-9],认为蓄水沟高水位时,盐分浓度低,此时土壤盐分向水体运移;低水位时蓄水沟盐分浓度高,此时水体盐分向深层土壤运移,通过蓄水沟水位的升降,可以起到加速上层土壤脱盐,向深层压盐的目的,可以有效地改善上层土壤盐渍化问题。目前,对“改排为蓄”循环压盐的研究尚处于初级阶段,因此,对于水体与相邻土壤

间盐分迁移的规律是进一步认识改良技术的基础。

由于蓄水条件下,水体与相邻土壤之间盐分的迁移过程非常复杂、影响因素较多,为了分析单一因素变化条件下盐分的动态变化规律,在此不考虑温度、降雨、气候等变化,本研究通过自制实验装置模拟田间实际情况,在室内模拟研究水体和土壤之间盐分运移的规律,通过定期的变化蓄水位,监测土壤不同土层的含盐量,验证循环压盐机理,并应用Hydrus-2D软件进行数值模拟,以便为进一步研究盐分迁移规律以及“改排为蓄”治理模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

供试盐碱土土样,于2009年7月31日在卤泊滩地区实验基地采集,采集土样60个,土样均经过风干、碾压、筛分。实验在西安理工大学土壤实验室内进行,于8月26日对土样进行了土壤基本物理性质和主要组成成分的测定,土壤基本物理性质包

* 国家自然科学基金项目(51079120,51109177)、陕西省教育厅省级重点实验室项目(2010JS077)、公益性行业科研专项(201001011)资助

作者简介:孙博(1983—),男,河北唐山人,博士研究生,主要从事水文水资源研究。E-mail:sunbo325515@yeah.net

收稿日期:2011-09-03;收到修改稿日期:2012-01-03

括土壤质地、容重、比重、孔隙度、渗透系数以及全盐量,其中渗透系数采用实验室测定法中的变水头法测定,土壤质地采用吸管法测定;本实验土样组

成分依据土壤离子含量进行区分,土壤主要组成成分包括 pH、氯化物盐、硫酸-氯化物盐、氯化物-硫酸盐、苏打盐。测定结果如表 1、表 2 所示。

表 1 土壤基本物理性质

Table 1 Physical properties of test soils

质地 Texture	容重 Bulk density (g cm^{-3})	比重 Specific gravity	孔隙度 Porosity (%)	渗透系数 Permeation coefficient (cm min^{-1})	全盐量 Total salt content (g kg^{-1})
中黏土 Medium clay	1.396	2.698	48.26	6.391×10^{-3}	4.18

表 2 土壤主要组成成分

Table 2 Main constituents of the soil salt

pH	氯化物盐 Chloride salt (%)	硫酸-氯化物盐 Sulfate-chloride salt (%)	氯化物-硫酸盐 Chloride-sulfate salt (%)	苏打盐 Soda salt (%)
9.33	18.5	20.2	40.1	21.2

1.2 实验布置

本实验的装置由两个有机玻璃管组成,高 1.6 m,直径 20.8 cm,如图 1 所示,两个有机玻璃管 A 和 B 之间有个水槽连接,有机玻璃管壁上密布细孔,细孔之

间的间隔大约 1 cm,可以认为与实际情况十分接近,A 管蓄有一定深度的水,下部设有一个水龙头,以便控制水位,实验时取水样;B 管装土,有机玻璃管自上而下每隔 15 cm 打一个孔,以便测量土壤的电导率。

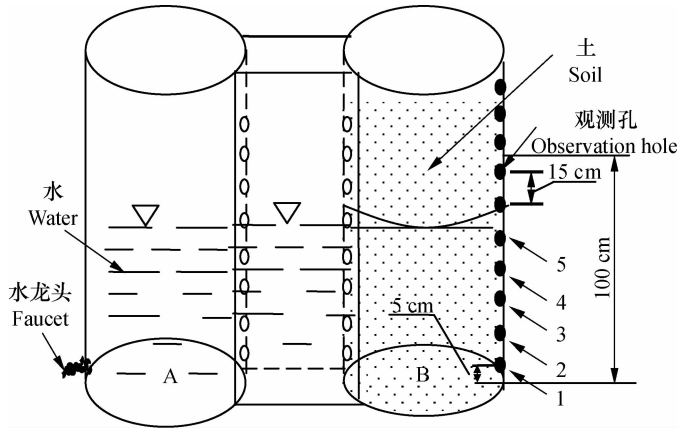


图 1 循环压盐实验装置

Fig. 1 Experimental device for salt suppression with cycling water

1.3 实验方法

B 有机玻璃管中装入从卤泊滩取回的供试土样,土样容重为 1.396 g cm^{-3} ,装入土样高度为 100 cm,分为 5 层,土层 95、80、65、50、35 cm 处分别设有 1~5 号观测孔,往有机玻璃管 A 中注入自来水,等 A 管和 B 管的水位平衡后,保持水位为 70 cm,此时测量 A 管中水体的电导率,以及 B 管 1~5 号观测孔土壤电导率,作为实验的初始值。一段时间后放出一部分水,使蓄水深度降

低到 40 cm,再过一段时间放出一部分水,降低蓄水深度到 20 cm,一段时间后,水体与土壤盐分基本平衡时,升高蓄水深度到 70 cm,如此反复的升降水位。每隔 1~2 d 观测一次,分别测量各个观测孔土壤电导率及水体电导率,进行 3 次重复试验。实验过程中,放出水的同时一部分的盐分也随着出来,为了保持水体中盐分总量的不变,测定放出水的盐分量,然后向 A 有机玻璃管中加入等量的盐,这样才能保证整个系统盐分总量不变。

为了单纯的考虑蓄水水位对盐分运移的影响,本实验不考虑蒸发、降雨等因素,所以实验过程中要在 A、B 管上端加上盖子,尽量避免蒸发。

土壤含盐量测量采用先取土样,然后在室内风干,将风干土用研钵研碎,采用 5:1 水土比例的浸出液电导法测定,根据含盐量与电导率的关系转化成含盐量,关系式, $s = 0.427 1 EC - 0.008 5$, 其中 s 为土壤含盐量 (g kg^{-1}); EC 为电导率 (mS cm^{-1})。

2 数值模拟

水盐运移数值模拟是以基本数学模型为前提,通过假设和简化,建立合适的数学方程^[10-11]。数值模拟一方面是为了与实验结果相互验证,另一方面是弥补实验处理数目的不足,通过数值模拟了解蓄水条件下水体与相邻土壤间盐分迁移规律。本文采用 Hydrus-2D^[12] 软件进行数值模拟,并与实测结果进行对比分析。

2.1 基本方程

采用基本盐分运动方程:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left[x D_{sh}(\theta) \frac{\partial c}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{sh}(\theta) \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial(qc)}{\partial z} \quad (1)$$

式中, x, z 为平面坐标,规定 z 向下为正 (cm); θ 为土壤含水率 (%); t 为入渗时间 (d); D_{sh} 为水动力弥散系数 ($\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$); q 为土壤水流通量 (cm d^{-1}); c 为土壤盐分浓度 (g cm^{-3})。

2.2 初始条件与边界条件

由于本次实验涉及到水体和土壤两个介质,是研究它们之间盐分运移的规律。因此建立蓄水条件下平面示意图,根据示意图说明初始条件和边界条件。

初始条件: $c(x, z) = c_0, x \geq 0, z \geq 0$

边界条件: 由于计算区域较大,而且边界条件比较特殊,因此根据图 2 设定边界条件。

边界 MN、GN 为: $c = c_0, x > 0$

水体与土壤接触面为盐分入渗面,边界 CR, 可认为土壤饱和层含盐量浓度。

边界 CR: $c = c_s, t > 0$

水体与土壤不接触面,边界 RF, 不考虑蒸发入渗的影响,可看做零通量面。

边界 RF: $q = -D_{sh}(\theta) \frac{\partial c}{\partial x} = 0$

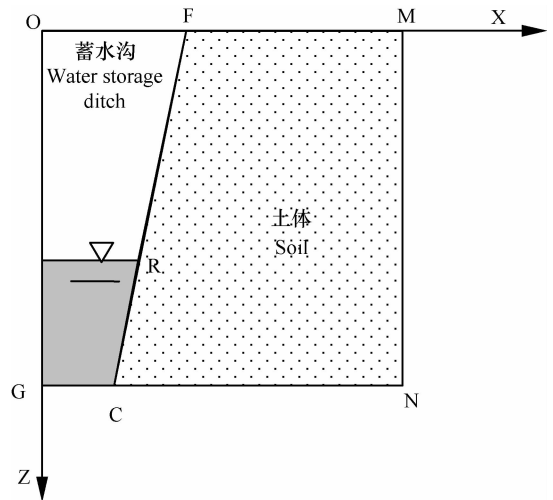


图 2 蓄水沟平面示意图

Fig. 2 Schematic plan of the water storage ditch with water

2.3 单元划分与区域离散

在 Hydrus-2D 软件界面,输入信息,供试土壤均质,模拟深度为 0 ~ 95 cm,总模拟时间 48 d,土柱垂直方向上划分 5 个单元,为 35、50、65、80、95 cm,初始时间步长 0.001 d,迭代控制标准取绝对误差 0.1 cm,最大迭代次数 20 次,迭代次数 < 3 次时,下次拟采用时间步长为上次时间步长的 1.3 倍,迭代次数 > 7 次时,下次拟采用时间步长为上次时间步长的 0.7 倍。

2.4 参数的确定

2.4.1 水动力弥散系数 $D_{sh}(\theta)$ 的确定 采用水平土柱吸渗法进行水动力弥散系数的测定。选用浓度为 5g L^{-1} 的氯化钠作为供水水源,溶液由马氏瓶水平进入土壤,时间为 820 min,测定结束后,迅速将土柱按节拆开取样,测定土壤含水率和土壤含盐量。根据实测数据拟合出电导率与土壤含盐量的换算关系为 $s = 2.888 2 EC + 0.101 6$,土壤溶液浓度 c 与土壤含盐量 s 换算关系为 $\theta c = \gamma s$ 。根据实测数据,按照上述算法进行计算,拟合出水动力弥散系数的经验公式, $D_{sh}(\theta) = 0.002 25 e^{10.144 \theta}$ 。

2.4.2 含水率的确定 土壤含水率采用烘干法,将土壤置于 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 的恒温箱中烘烤 6 ~ 8 h 后,土壤中的水分就会变成水汽被排出,其散失的水分重即为土壤含水量,含水量除以干土重量即土壤含水率。实验土壤初始含水率为 $\theta = 43.85\%$ 。

3 数值模型的应用

3.1 不同蓄水位下土层盐分的变化

土层 0 ~ 65 cm 是受到耕作影响的土层;65 ~

100 cm 深度是底土层,为土壤中不受耕作影响的土层。蓄水水位由 70→40→20→70→40→20 cm 经历两次循环反复的变化,初始水位 70 cm 时,土层 35、50、65 cm 处初始含盐量分别为 4.20、4.19、4.16 g kg⁻¹。随着蓄水位 70→40→20→70→40→20 cm 的变化,时间的推移,土层 35、50、65 cm 处观测的含盐量一直呈逐渐降低的趋势,在第 48 天,蓄水位保持在 20 cm 时,土层 35、50、65 cm 处观测的含盐量依次为 2.68、2.78、3.34 g kg⁻¹,含盐量依次减少了 1.52、1.41、0.82 g kg⁻¹。通过蓄水位两次循环反复的变化,土层 0~65 cm 的含盐量逐渐减少,减少程度依次为土层 35 cm > 土层 50 cm > 土层 65 cm。前 26 d,蓄水位 70→40→

20 cm 一次循环变化,土层 80、95 cm 处初始含盐量为 4.15、4.21 g kg⁻¹,水位一次循环变化后,蓄水位在 20 cm 时,土层 80、95 cm 处的含盐量分别为 4.66、4.80 g kg⁻¹,依次增加了 0.051、0.082 g kg⁻¹;第二次水位循环变化后,土层 80、95 cm 处含盐量分别为 5.39、5.49 g kg⁻¹,与第一次水位循环变化后土层含盐量相比较,分别增加了 0.73、0.69 g kg⁻¹,两次循环土层 80、95 cm 处含盐量共增加了 1.24、1.51 g kg⁻¹。再次说明了水位循环变化,加速表层含盐量的降低及底层含盐量的增多,经过多次水位 70→40→20 cm 的循环变化,能够达到水体-土壤之间循环压盐,促进土壤盐分由上至下逐渐压盐的效果。

表 3 不同土层土壤含盐量变化

Table 3 Variation of the soil salt content at different soil layers

时间 Time (d)	土壤含盐量 Soil salt content (g kg ⁻¹)				
	95 cm	80 cm	65 cm	50 cm	35 cm
0	4.21 ± 0.02 ¹⁾	4.15 ± 0.03	4.16 ± 0.02	4.19 ± 0.04	4.20 ± 0.03
1	4.06 ± 0.02	4.00 ± 0.03	4.02 ± 0.02	4.00 ± 0.04	4.01 ± 0.03
2	3.91 ± 0.02	3.85 ± 0.03	3.82 ± 0.02	3.83 ± 0.04	3.83 ± 0.03
3	3.77 ± 0.02	3.73 ± 0.03	3.72 ± 0.02	3.71 ± 0.04	3.70 ± 0.03
5	3.64 ± 0.02	3.58 ± 0.03	3.56 ± 0.02	3.55 ± 0.04	3.55 ± 0.02
7	3.48 ± 0.02	3.44 ± 0.03	3.42 ± 0.02	3.41 ± 0.04	3.40 ± 0.02
10	3.27 ± 0.02	3.21 ± 0.02	3.19 ± 0.02	3.16 ± 0.03	3.12 ± 0.02
13	3.12 ± 0.02	3.04 ± 0.02	2.99 ± 0.02	2.95 ± 0.03	2.91 ± 0.02
15	3.41 ± 0.02	3.31 ± 0.03	3.23 ± 0.02	2.97 ± 0.03	2.93 ± 0.02
18	3.54 ± 0.02	3.44 ± 0.03	3.39 ± 0.02	3.00 ± 0.03	2.94 ± 0.02
20	3.64 ± 0.02	3.53 ± 0.03	3.46 ± 0.02	3.01 ± 0.03	2.97 ± 0.02
22	4.09 ± 0.02	3.95 ± 0.03	3.48 ± 0.02	3.01 ± 0.03	2.95 ± 0.02
25	4.51 ± 0.02	4.36 ± 0.03	3.49 ± 0.02	3.01 ± 0.03	2.94 ± 0.02
26	4.80 ± 0.03	4.66 ± 0.04	3.48 ± 0.02	3.02 ± 0.03	2.93 ± 0.02
28	4.29 ± 0.02	4.19 ± 0.03	3.35 ± 0.02	2.93 ± 0.03	2.86 ± 0.02
30	4.05 ± 0.02	3.93 ± 0.03	3.22 ± 0.02	2.85 ± 0.03	2.78 ± 0.02
32	3.88 ± 0.02	3.77 ± 0.03	3.14 ± 0.02	2.80 ± 0.03	2.72 ± 0.02
34	3.83 ± 0.02	3.72 ± 0.03	3.08 ± 0.02	2.74 ± 0.03	2.64 ± 0.02
36	3.91 ± 0.02	3.83 ± 0.03	3.23 ± 0.02	2.74 ± 0.03	2.65 ± 0.02
38	3.98 ± 0.02	3.88 ± 0.03	3.32 ± 0.02	2.75 ± 0.03	2.68 ± 0.02
40	4.52 ± 0.02	4.43 ± 0.03	3.33 ± 0.02	2.75 ± 0.03	2.65 ± 0.02
42	4.92 ± 0.03	4.82 ± 0.04	3.31 ± 0.02	2.74 ± 0.03	2.64 ± 0.02
44	5.21 ± 0.03	5.06 ± 0.04	3.32 ± 0.02	2.77 ± 0.03	2.67 ± 0.02
46	5.39 ± 0.03	5.28 ± 0.04	3.33 ± 0.02	2.78 ± 0.03	2.67 ± 0.02
48	5.48 ± 0.03	5.39 ± 0.04	3.34 ± 0.02	2.78 ± 0.03	2.68 ± 0.02

1) 平均值 ± 标准差 Mean ± SD

3.2 数值模拟结果与分析

利用建立的数学模型,模拟计算不同蓄水位条件下的土壤含盐量的变化规律。如图 3,文中模拟了两次水位循环变化下,不同时间、不同深度的土壤含盐量变化情况。从图中可知,前 13 d,不同土层土壤含盐量均逐渐降低;从第 13 天至第 28 天,95、80、65 cm 处土层含盐量又逐渐上升,35、50 cm 处土层含盐量基本没有变化,一次循环压盐的变化过程完成。从第 28 天至第 48 天,与前次循环压盐的变

化过程一样。运用数学模型、应用 Hydrus-2D 软件模拟不同土层盐分运移的变化规律与实验结果基本一致。为了对模拟值与实测值的吻合程度效果进行对比,采用均方根相对误差作为判断的依据。表 4 给出了不同深度、不同观测时间的各观测点土壤含盐量的模拟值与实测值的相对误差结果,由结果可知,模拟值与实测值相对误差不超过 5%,满足精度要求,模拟效果较好。这表明模拟值具有较高的精度,建立的模型具备良好的模拟计算性能。

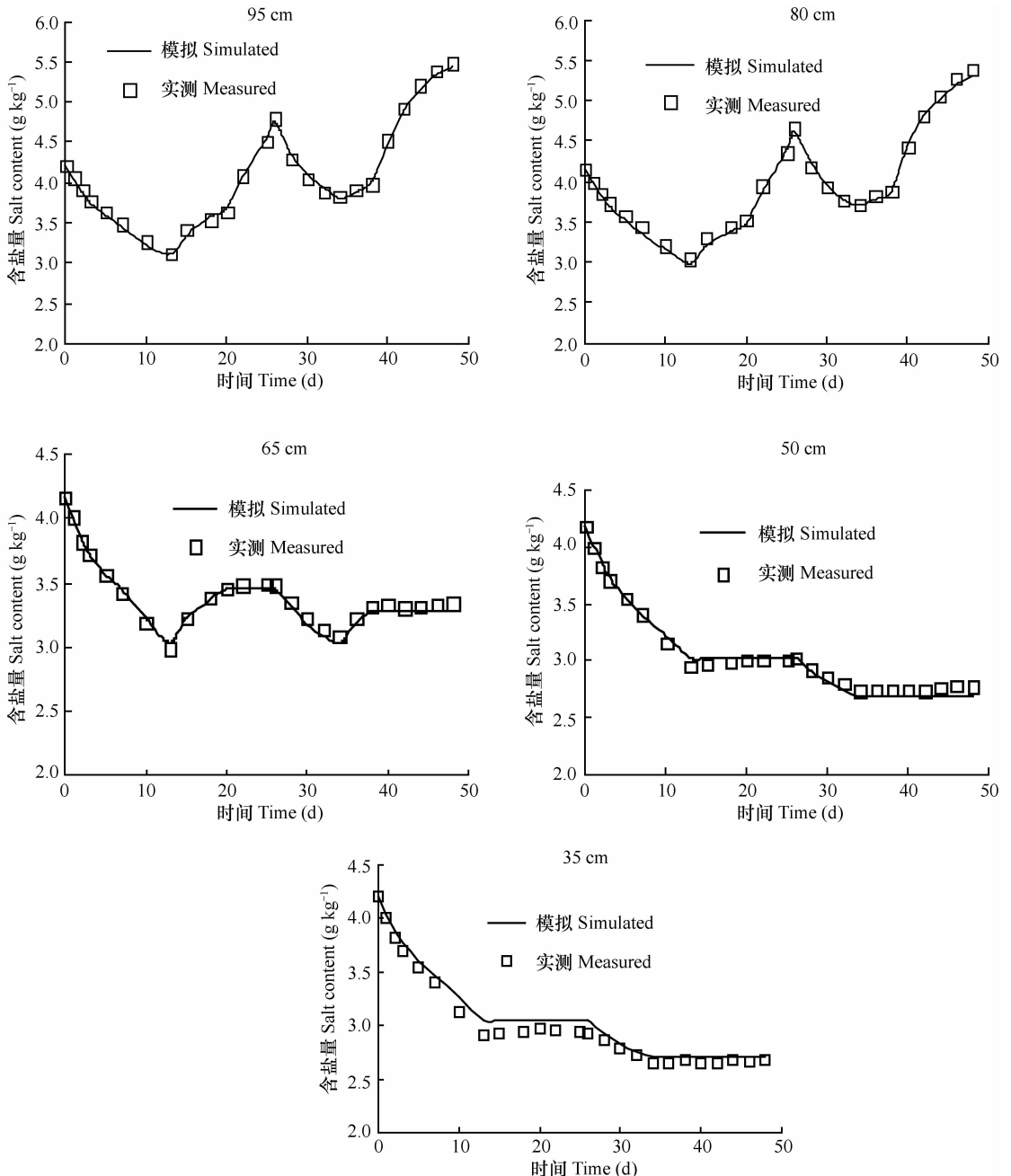


图 3 不同土层含盐量变化实测与模拟图

Fig. 3 Measured and simulated changes in soil salt content in different soil layers

表 4 模拟值与实测值的相对误差

Table 4 Relative errors between simulated values and measured values

时间 Time (d)	相对误差 Relative error (%)				
	95 cm 处土层 95 cm soil layer	80 cm 处土层 80 cm soil layer	65 cm 处土层 65 cm soil layer	50 cm 处土层 50 cm soil layer	35 cm 处土层 35 cm soil layer
0	0.323 5	0.112 0	0.029 0	-0.061 7	0.012 5
1	0.156 7	0.434 8	0.424 1	-0.565 9	-0.486 6
2	0.567 2	0.602 4	-0.773 6	-1.123 6	-1.646 2
3	0.597 3	0.908 0	-0.241 1	-0.472 8	-2.055 6
5	1.291 2	1.800 4	-0.328 2	0.049 8	-1.827 4
7	1.290 6	2.262 2	-0.733 1	0.059 1	-1.955 9
10	1.234 9	1.566 8	-1.290 7	-1.937 5	-4.658 0
13	0.326 0	1.739 1	-1.770 1	-2.614 8	-4.661 3
15	1.817 6	3.294 4	0.054 4	-1.874 5	-4.200 9
18	-1.107 9	1.803 0	0.480 4	-1.144 7	-3.744 5
20	-1.268 6	1.477 5	0.266 7	-0.568 4	-2.843 7
22	0.387 6	2.094 5	0.881 6	-0.711 8	-3.292 2
25	-1.092 3	-0.775 4	1.125 5	-0.568 4	-3.744 5
26	1.094 7	1.001 8	1.003 7	-0.282 7	-4.048 3
28	-1.456 5	-1.460 0	1.251 0	0.582 1	-2.506 0
30	-1.197 0	-0.839 3	1.339 5	1.194 0	-1.757 7
32	-1.438 7	-0.198 0	1.508 9	2.082 8	-1.064 7
34	0.590 1	0.296 4	1.672 7	1.760 2	-2.504 9
36	0.872 8	1.262 3	1.470 7	1.913 9	-2.173 1
38	-0.790 7	0.106 1	1.133 2	2.220 0	-1.190 7
40	1.627 1	0.207 4	1.515 5	2.220 0	-2.173 1
42	0.665 2	0.320 9	0.876 8	1.760 2	-2.504 9
44	1.075 8	1.073 7	1.133 2	2.826 4	-1.353 1
46	0.859 0	1.685 4	1.642 2	3.276 2	-1.679 5
48	1.002 3	1.415 9	1.894 7	3.126 7	-1.028 8

4 循环压盐机理

通过上述的实验以及对其数值模拟,分析研究了土壤盐分的运移规律,揭示了不同蓄水位下水体-土壤的循环压盐机理。循环压盐作用主要是指蓄水沟高蓄水水位时,蓄水沟水的体积大,由于整个系统盐分总量是不变的,因此蓄水沟内水体盐分浓度相对较小,此时,水体与土壤之间存在盐分浓度差,盐分将从土壤中向水体中弥散,直到水

体与土壤之间的盐分浓度达到平衡状态;当蓄水沟内水位降至低水位时,蓄水沟水的体积变小,由于整个系统盐分总量是不变的,蓄水沟内水体的盐分浓度将变大,此时,水体与土壤之间存在盐分浓度差,盐分将向深层土壤里迁移,直到水体与土壤之间的盐分浓度达到平衡状态。因此,通过蓄水沟水位不断地高低变化,实现了盐分由表层土壤→水体→底层土壤的循环迁移。这样,表层土壤盐分逐渐减少,适宜种植作物,最终达到盐碱地治理目的。

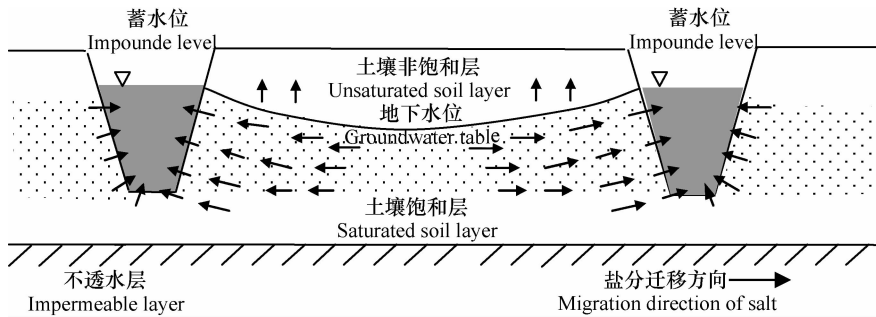


图 4 高蓄水位土壤盐分运移示意图

Fig. 4 Schematic diagram of soil salt movement in soil affected by high water level

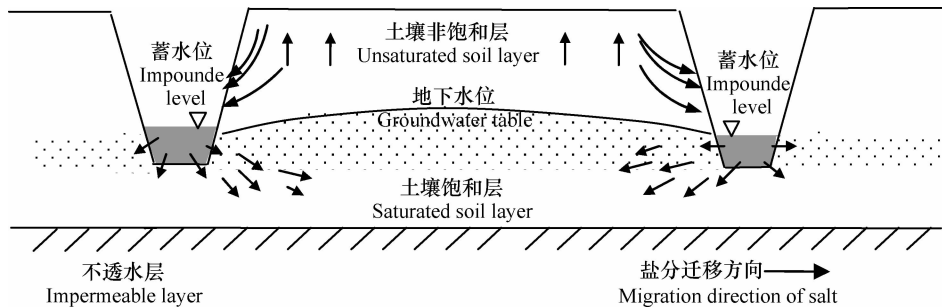


图 5 低蓄水位土壤盐分运移示意图

Fig. 5 Schematic diagram of soil salt movement in soil affected by low water level

5 结 论

通过蓄水条件下循环压盐室内模拟实验研究和数值模拟,得出以下结论:

1) 通过蓄水水位的变化,可以实现水体—土壤之间循环压盐的过程,减少土壤表层的盐分,使土壤脱盐。

2) 根据各层土壤含盐量的变化过程,蓄水水位 70→40→20 cm 循环变化,可以加速土壤 0~65 cm 土层脱盐,从上至下将盐分运移至土壤底层 65~100 cm,改变盐分在垂直方向的分布,逐渐向下压盐。

3) 蓄水位升高或降低,水体与土壤之间就产生盐分浓度差,高水位时表层土壤盐分向水体扩散,低水位时水体盐分向底层土壤扩散,循环地升降水位,持续地将表层土壤盐分带至底层土壤,表层土壤盐碱问题得到解决。

4) 建立了盐分运移数学模型,应用 Hydrus-2D 软件模拟的不同土层盐分运移变化规律与实验结果基本一致。模拟值与实测值相对误差不超过 5%,满足精度要求,模拟效果较好。建立的模型具

备良好的模拟计算性能。

对于蓄水条件下水体—土壤之间盐分的运移研究还很少,还处于探索阶段,本实验只进行了两次水位的升降,而且水体与土壤盐分未达到最后的平衡,如果进行多次的水位变化和长期的监测,将可以得到更好的土壤各层盐分运移变化规律曲线。更多的定量分析研究和实验模拟还有待于进一步完善。

参 考 文 献

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望. 土壤学报, 2008, 45(5): 837—845. Yang J S. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 837—845
- [2] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28—30, 107. Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(6): 28—30, 107
- [3] 刘阳春, 何文寿, 何进智, 等. 盐碱地改良利用研究进展. 农业科学研究, 2007, 28(2): 68—71. Liu Y C, He W S, He J Z, et al. Progress of improvement and utilization of saline-alkali land (In Chinese). Journal of Agricultural Sciences, 2007, 28(2): 68—71
- [4] 刘建红. 盐碱地开发治理研究进展. 山西农业科学, 2008, 36(12): 51—53. Liu J H. Research progress of development

- and control of saline land (In Chinese). *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(12):51—53
- [5] 孙博,汪妮,解建仓. 蓄水条件下土壤-水体水盐运移的室内试验. *沈阳农业大学学报*, 2009, 40(2):245—247. Sun B, Wang N, Xie J C. Salt and water movement of soil-water body under storage condition (In Chinese). *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2009, 40(2):245—247
- [6] 韩霁昌,解建仓,王涛,等. 蓄水条件下蓄水沟水体与相邻土壤的盐分运移规律研究. *水利学报*, 2009, 40(5):635—640. Han J C, Xie J C, Wang T, et al. Transport of salt between water and adjacent soil in canals of farmland under the condition of storage (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(5):635—640
- [7] 韩霁昌,解建仓,王涛,等. 陕西卤泊滩盐碱地“改排为蓄”后盐碱指标试验观测. *农业工程学报*, 2009, 25(6):59—65. Han J C, Xie J C, Wang T, et al. Experimental observation of saline alkali of soil in saline land after changing drainage to impoundment in Lubotan of Shaanxi Province (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(6):59—65
- [8] 韩霁昌,解建仓. 陕西卤泊滩盐碱地综合治理的和谐生态模式研究与实践. 西安:陕西科学技术出版社, 2008:8—10. Han J C, Xie J C. Research and practice for comprehensive and harmonious ecological model of saline land in Lubotan of Shaanxi Province (In Chinese). Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2008:8—10
- [9] 韩霁昌,解建仓,朱记伟,等. 陕西卤泊滩盐碱地综合治理模式的研究. *水利学报*, 2009, 40(3):372—377. Han J C, Xie J C, Zhu J W, et al. Comprehensive method for treatment of saline lands (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(3):372—377
- [10] Donald H Burn, Mohamed A Hag Elnur. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 2002, 255(1/4):107—122
- [11] Khan A A, Yitayew M, Warrick A W. Field evaluation of water and solute distribution from a point source. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 1996, 122(4):221—227
- [12] 周青云,孙西欢,康绍忠. 蓄水坑灌条件下土壤水分运动的数值模拟. *水利学报*, 2006, 37(3):342—347. Zhou Q Y, Sun X H, Kang S Z. Numerical simulation for soil water movement of water-storage-pit irrigation (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(3):342—347

NUMERICAL SIMULATION OF SALT SUPPRESSION IN WATER-SOIL CYCLING AFFECTED BY STORAGE WATER LEVEL

Sun Bo¹ Xie Jiancang¹ Wang Ni¹ Li Chunjiao²

(1 Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

(2 College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract “Change drainage to impoundment” is a significant innovation in saline land management. To expose mechanism of salt suppression by water cycling between the waterbody in the ditch different in impounded level and the soil of the neighboring ridges, a home-made apparatus was used to simulate salt movement between waterbody and soil for the study of laws of salt movement in the soil profile. It was found that regular changes in water level was an important factor driving salt movement in the soil. With the water level lowering from 70 cm to 40 cm and further to 20 cm, soil salt gradually dissipated from the 0 ~ 65 cm soil layer into the waterbody, and then back into the 65 ~ 100 cm soil layer, thus changing the soil salt in vertical distribution and suppressing the salt downwards in the profile. For the study, a mathematical model for simulation of salt movement in the soil using the Hydrus-2D software. Analysis and comparison demonstrated that the simulation was basically consistent with the experiment in result, land the model worked well in simulation. Therefore, the mechanism of salt suppression by cycling water between the waterbody and the soil along with changes in water level is solid, and the model of “changing drainage into impoundment” for management of soil salt is workable for amelioration of salt-affected soils.

Key words Water and adjacent soil; Storage water level; Salt movement; Salt suppression with cycling water; Desalinization; Numerical simulation