

蓄水条件下盐碱土中盐分空间变化特征

董起广, 张 扬, 高红贝

(陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司,
国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室,
陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安 710075)

摘 要: 根据陕西卤泊滩地区盐碱地整治工程, 修建模拟装置, 通过测定土体中盐分含量的空间变化, 研究蓄水条件下土壤盐分的运移特征, 为当地盐碱地治理提供理论支撑。结果表明, 盐碱土土体一侧蓄水后, 土体中的盐分顺着盐分梯度向水体中弥散, 水体中的含盐量变化呈现由低到高的趋势, 最终与土体间达到动态平衡; 在土体垂直方向上, 0~60 cm 土体盐分减少, 盐分含量主要集中在距地表 100 cm 左右处; 在水平方向上, 水体对于土体的作用范围为 9 m, 除此以外土体盐分含量变化不大。说明在试验该模型下, 蓄水条件对距其一定范围内的盐碱土体具有改善效果。

关键词: 蓄水条件; 盐碱土; 盐分分布; 水盐运移

中图分类号: S155.2⁺93

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 06-0082-06

治理改良盐碱土和防止土壤次生盐渍化是许多国家面临的重要难题。其中, 水利工程措施被认为是最为有效的治理盐碱土的措施, 如灌溉排水、降低地下水位, 将土壤盐分冲洗排走, 并防止盐分表聚, 在理论和实践上都取得了成功^[1-2]。罗纨等^[3]研究了宁夏银南灌区控制排水可行性及其水盐平衡; 雷志栋等^[4]通过对新疆叶尔羌河流域平原绿洲典型洼地水量平衡的观测, 提出在绿洲排水规划时, 可以将旱排 (或内排水) 作为一种重要的排水方式, 选择合适的洼地作为主要的旱排规划区。上述理论都需要有排水条件, 消耗大量的淡水资源, 而且存在投入成本高, 工程维护费用高, 排走的水易造成下游污染等问题。而在卤泊滩地区, 由于不具备良好的排水条件, 韩霖昌等^[5], 解建仓等^[6], 李娟等^[7]提出了“以蓄为主”的盐碱地治理模式, 并取得了实践成功。“以蓄为主”的盐碱地治理模式, 通过改排为蓄, 调控土壤水分运行规律, 实现了水土分离, 水盐动态平衡。

排水洗盐盐碱地改良模式已经有了坚实的理论基础, 前人对蒸发、降水、植被覆盖以及淋洗引起的土壤水盐运移规律的研究已经比较深入^[8-12]。而蓄水条件下水体与相邻土壤盐分扩散及平衡规律方面的研究目前仅限于室内模拟实验, 该研究模拟装置小, 壁流干扰大, 不能模拟长时间、长距离的水盐运移, 研究不够深入。因此, 本研究根据卤泊滩土地整治工程设计, 修建模拟试验装置, 研究蓄水条件下水盐运移特征, 为“以蓄为主”盐碱地治理模式提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验模型根据卤泊滩土地整治工程设计, 试验装置几何尺寸为 23.0 m × 1.5 m × 2.0 m (长 × 宽 × 高), 由砖砌而成, 装置四周及底部以混凝土做防水处理, 以防止装置内土壤盐分随水渗出。试验装置包括两部分 (图 1), 一侧为蓄水池, 其纵剖面为一直角梯形, 上部宽为 3 m, 下部宽为 2 m, 用来模拟蓄水沟, 另一侧为试验土槽, 上部宽 20 m, 下部宽 21 m, 土体与水池接触面铺设一层密目式安全网, 起到保护土体的作用。

收稿日期: 2017-01-13; 最后修订日期: 2017-03-14

基金项目: 陕西省重点科技创新团队计划项目 (2016KCF23)。

作者简介: 董起广 (1988-), 男, 河北邢台人, 工程师, 硕士, 主要从事水文水资源及土地工程领域研究。E-mail: 908521352@qq.com。

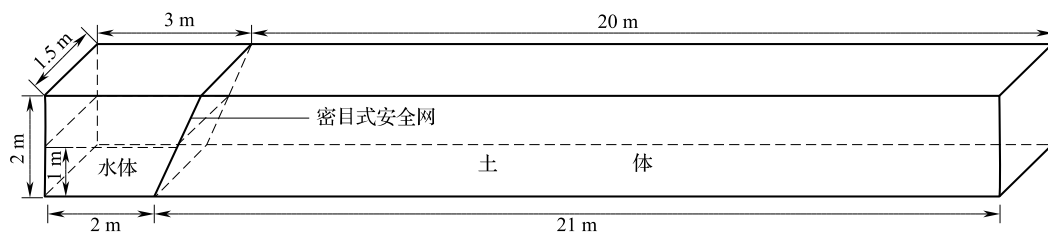


图1 试验装置示意图

1.2 试样采集与填装

试验土体采自卤泊滩地区。卤泊滩位于陕西省蒲城县和富平县境内,属半干旱大陆性气候,全年蒸发量 1 100 ~ 1 300 mm,是降水量的 2 ~ 2.3 倍。该地区地下水埋深在 1.2 ~ 2.5 m 之间,土壤含盐量呈现出表层至下层含盐量递减的状态,表层 40 cm 以内含盐量为 0.77%, 40 cm 以下至 2 m 处含盐量在 0.43% ~ 0.59% 之间;各层 pH 值平均为 9.33,容重从上到下的变化范围为 1.2 ~ 1.6 g/cm³,且下层容重高于表层容重;土壤质地为粉壤土。土样每 40 cm 为一层进行采集,共采集 5 层,经碾压、粉碎、风干、过筛(5 mm 筛),按照田间土层顺序分层填装土槽。

土槽填装完成后,经 2 个月的稳定期,开始向蓄水池蓄水,考虑到当地地下水位最小埋深及水盐运移的活跃层次,蓄水水深设定为 1 m,水源为黄河水,矿化度 1 034 mg/L。每隔一周测定一次水深,并采集水池中水样和土体中土样进行含盐量测定。土样采集方式为:沿土体与水池上方交界处向右每隔 1.5 m 设一采样点,并依次记为 1 号点、2 号点……12 号点,沿装置宽度方向不进行样点布置,试验主要考虑在水平和垂直方向盐分的二维运移过程。采样点取样深度为 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100、100 ~ 120、120 ~ 160、160 ~ 200 cm。为减少降水和蒸发等自然因素对试验的影响,试验测定时间选择在降水和蒸发均较少的 11 月进行。

1.3 测试分析方法

水中含盐量采用电导率仪法测定其 EC 值,土壤含盐量根据《土壤检测 第 16 部分:土壤水溶性盐总量的测定》NY/T 1121.16—2006 进行测定。利用 SPSS 13.0、Excel 2007 进行数据统计分析,并采用 Origin 8.0 及 surfer 8.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 蓄水池中水的含盐量变化特征

盐碱土土体一侧蓄水后,水中的盐分及水位的

动态变化见图 2。蓄入的黄河水初始 EC 值为 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 7 d 后 EC 值增加到 1 103 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 增加了 51.5%。水位由 100 cm 降至 83 cm, EC 值应增加到 877 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (两者无盐分交换时应为 1 103 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 表明土体中盐分向水中运移。

根据水体体积及水中含盐量,蓄水后的前 7 d,蒸发和侧渗使水位下降,同时,水中盐分总量上升,说明土壤盐分向水中弥散,7 d 以后,水中的含盐率保持相对稳定,水、土交界处两侧含盐量相同,认为土体与水体间盐分运移达到动态平衡。即土壤中的盐分在蓄水位较高时向水中运移,有效降低了地下水位过高时地表返盐现象的发生;而当蓄水位较低时,水中盐分浓度增大,盐分向相邻的下层土壤中运移,使盐分聚集在土壤下层,起到了一定的压盐作用。

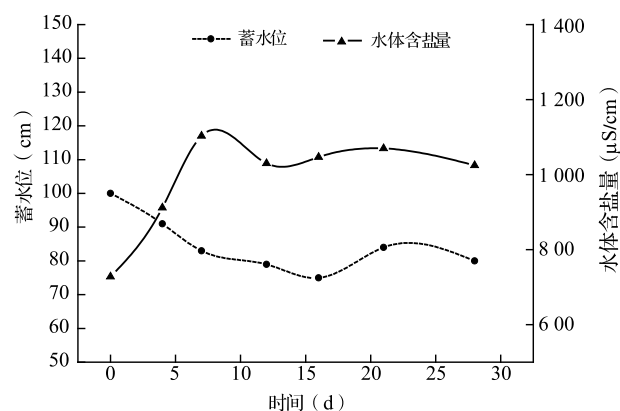


图2 蓄水位与水体中盐分总量变化

2.2 土壤含盐量变化特征

2.2.1 土壤含盐量的垂向变化特征

绘制蓄水前与蓄水 28 d 后土壤各采样点 (以距水体 1.5 m、9 m、16.5 m 处为例) 不同深度的含盐量对比曲线,如图 3。从图 3 可以看出,蓄水 28 d 后,距水体 1.5 m 处各层盐分均较蓄水前含量低,而以 0 ~ 120 cm 深度变化较为明显,其平均值由 4.18 g/kg 下降到 2.69 g/kg,较蓄水前下降了 35.5%,其中 0 ~ 60 cm 平均值由 4.18 g/kg 下降到

1.99 g/kg, 较蓄水前下降了 48.6%, 说明蓄水条件下, 对相邻土体的含盐量的垂直分布有明显的改善效果; 在土体水平方向的中间位置, 即距水体9 m 左右时, 蓄水条件使 0~60 cm 土层的土壤盐分减少, 含盐量平均值由 5.18 g/kg 下降到 3.16 g/kg, 下降

了 39.1%, 而 60 cm 以下的土体盐分含量平均值由 4.55 g/kg 增加到 4.85 g/kg, 增加了 6.5%; 在距水体较远处, 蓄水 28 d 后, 0~60 cm 土壤平均含盐量由 2.72 g/kg 下降到 2.08 g/kg, 较蓄水前下降了 23.4%, 而 60 cm 以下土壤含盐量基本不变。

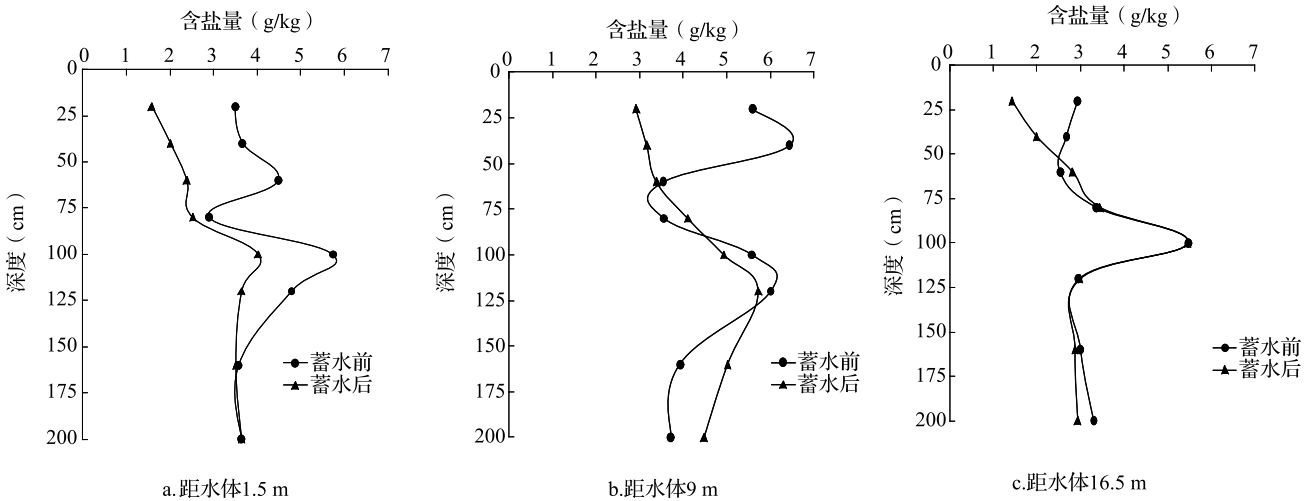


图3 距水体不同距离处蓄水前后土壤含盐量的变化特征

通过计算其他点位 0~60 cm、60~200 cm 土壤含盐量平均值, 可以得出, 0~60 cm 土壤含盐量平均值由 3.53 g/kg 下降到 2.75 g/kg, 降幅为 22.2%; 60~200 cm 土壤含盐量由 3.84 g/kg 增加到 4.15 g/kg, 增加了 8.2%。

2.2.2 土壤含盐量的水平变化特征

蓄水前后, 土壤含盐量在水平方向上表现为在 6 号点以内 (距离水体 9 m 内) 发生明显变化 (图 4)。从图 4 可以看出, 0~60 cm 土壤在距离水体 9 m 以内, 蓄水后盐分含量明显降低, 平均值由 4.29 g/kg 下降至 3.02 g/kg, 下降了 29.6%, 而在 6 号点以后含盐量保持稳定, 不再发生明显改变; 60~

200 cm 土壤在距水体 3 m 内, 蓄水后比蓄水前盐分含量低, 含盐量由蓄水前的 4.23 g/kg 下降至 3.64 g/kg, 减少了 13.9%; 在距水体 3~9 m 之间, 土壤盐分由 3.72 g/kg 增加至 4.51 g/kg, 增加了 21.3%; 距水体 9 m 以后蓄水对土壤盐分的影响不大, 主要是由于在 60~200 cm 土层, 靠近水体处, 受蓄水影响较大, 使盐分向土体内侧运移, 导致 1、2 号点处蓄水后盐分含量降低, 3 号点至 6 号点之间则由于盐分水平方向的迁移和其表层盐分的下移, 使得蓄水后盐分含量增加。总的来看, 在水平方向上, 蓄水对距水体 0~9 m 之间的土壤影响较大, 而 9 m 以上基本不受蓄水的影响。

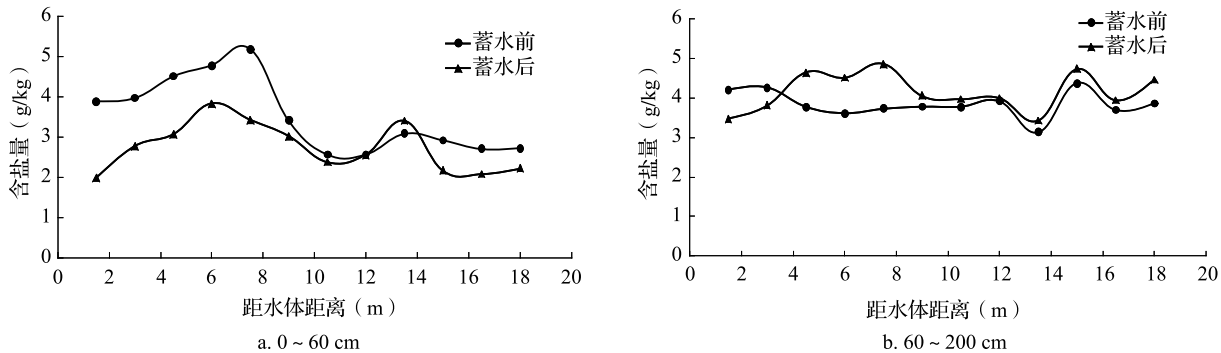


图4 不同深度土壤蓄水前后水平方向含盐量变化曲线

2.2.3 土体含盐量空间变异性

蓄水条件的存在, 可导致土壤盐分含量空间变

异性的改变。由图 5 可以看出, 蓄水前在距水体 4~8 m 内表层土壤盐分含量较大, 在 4 g/kg 以上,

蓄水后表层土壤盐分减少至 3 g/kg 以内, 整体上呈现出表层土体盐分含量减少, 深层土体盐分略有增加的现象, 且愈靠近蓄水体愈明显。

通过计算土体水平方向和垂直方向含盐量的空间变异系数 C_{vh} 和 C_{vv} , 来比较蓄水前后土壤空间变异性的变化 (表 1、表 2)。变异系数 C_v 值反映样点的离散程度, $C_v < 10\%$ 为弱变异性, $10\% \leq C_v \leq 100\%$ 为中等变异性; $C_v > 100\%$ 为强变异性^[13]。在水平方向上, 蓄水前土壤盐分空间变异性大多数为中等变异性, 120 ~ 160 cm 以及 160 ~ 200 cm 之间为弱变异性, 蓄水后, 土体盐分空间变异性整体增大, 0 ~ 60 cm 之间土体盐分的空间

变异性相对较大, C_{vh} 值变化幅度在 5.1% ~ 7.0% 之间, 60 ~ 200 cm 之间各层变化不大, 除 160 ~ 200 cm 之间为弱变异性外, 其他各层为中等变异性; 在垂直方向上, 蓄水前, 在距离水体 9 m 处, 土体盐分为弱变异性, 其他各处为中等变异性, 蓄水后, 各点的垂向变异性改变, 既有增大, 又有减小, 9 m 之前的空间变异性变化较大, C_{vv} 值变化幅度在 5.0% ~ 8.3% 之间, 9 m 处的土体盐分由弱变异性变为中等变异性, 说明其盐分在垂向上同样发生了改变, 而在距离水体 10.5 ~ 18 m 之间, 其垂向的空间变异性变化不大, 均在 4.0% 以内。

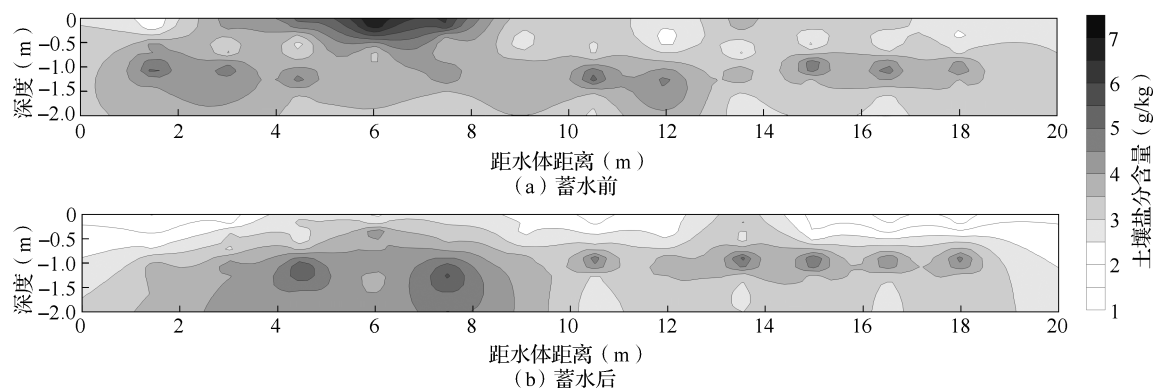


图5 蓄水前后土体盐分变化

表1 土体蓄水前后水平方向空间变异系数 C_{vh} 分布情况 (%)

项目	土壤深度 (cm)								平均值	标准差
	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 160	160 ~ 200		
蓄水前	18.4	26.6	13.5	11.2	21.5	13.1	8.5	1.1	14.2	7.9
蓄水后	25.4	31.9	18.6	14.5	19.1	14.7	10.6	3.4	17.3	8.8
变化值	7.0	5.3	5.1	3.3	2.4	1.6	2.1	2.3	3.1	1.9

表2 土体蓄水前后垂直方向空间变异系数 C_{vv} 分布情况 (%)

项目	距水体距离 (m)												平均值	标准差
	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18		
蓄水前	22.5	22.6	16.8	25.2	25.4	6.7	22.6	32.3	19.0	31.5	28.3	29.8	23.6	7.1
蓄水后	30.8	30.0	23.7	20.2	20.2	14.4	26.7	28.2	21.6	36.6	31.5	32.2	26.3	6.4
变化值	8.3	7.4	6.9	5.0	5.2	7.7	4.1	4.1	2.6	1.1	3.2	2.4	2.8	2.3

3 讨论

排水洗盐方式是通过注入淡水, 使土壤中各种状态的盐分溶解于水中, 主要靠冲洗和对流作

用^[14]。蓄水则更加注重弥散作用, 通过蓄水装置中水位、含盐量的变化, 实现水体与相邻土体间盐分的动态平衡, 水位高时, 土壤表层盐分向水中运移, 水位低时, 水体和土体中盐分被压至下层, 使

耕作层土壤盐分含量减少,即在实际中结合降水、灌区退水、灌溉洗盐,根据蓄水水位高低和浓度大小的动态变化,改变土壤中盐分的垂直分布^[7]。国外关于蓄水下盐分变化的研究较少,多集中在控制排水上^[15]。韩霁昌等^[5]的研究,通过实践和数值模拟阐述了蓄水条件下循环加速压盐的机理,本文在此基础上设置野外田间试验模型,就蓄水条件对于盐碱土体盐分运移的影响范围进行了探讨和分析。工程实践中有诸多不可控因素,而室内模拟又难以考虑到气象因素,本文设置野外田间试验模型,弥补了两者的不足。研究显示,距蓄水体越近的部分,盐碱土体受到的影响越大,对其表层土壤改善效果也越明显。这主要是蓄水初期,水体与土体交界处盐分含量相差较大,存在较大的渗透压,致使盐分快速向水中扩散,而随着到水体距离的增大,土体间盐分含量差异逐渐变小,水体对其的影响也变小。

孙博等^[16]、王伟^[17]、叶校飞^[18]对蓄水条件下土壤盐分运移进行了研究,阐释了蓄水时土壤盐分去向的问题,均认为蓄水可使土壤表层盐分降低,底层盐分增多,这与本文研究结果相近。蓄水后,距离水体9 m以内的0~60 cm土壤盐分含量下降,60 cm以下土壤盐分含量增加,而距离水体9 m以外土壤盐分的变化不太明显。主要是由于蓄水和降水的共同作用使得表层土壤盐分下渗,导致上层盐分降低,下层盐分增多,而当降水结束后,蒸发作用使得蓄水体水位下降,盐分浓度也随之增高,由于土体与水体之间盐分运移的动态平衡,进一步使土体中盐分随水位向下迁移,故在水体影响范围内呈现出土壤表层盐分降低,底层盐分增多的现象,而未在水体影响范围内(距水体9 m以外)的土体盐分含量变化不明显。

通过蓄水方式改变盐分在土壤中的垂直分布,使盐分运移至蓄水装置,并逐渐富集在耕作层以下的土壤中,对探索盐碱地治理模式提供了新思路,在卤泊滩模式下,此方法已取得实践成功。实际中,各地区盐碱地的边界条件、土壤质地等影响因素众多,各有差异,因此,后期对其长时间尺度、作用效果及适用性可进行进一步分析,以完善研究成果。

4 结论

通过本文的试验模型研究表明,在土体一侧蓄水后,水中的盐分含量呈现由低到高的变化趋势,

并逐渐与相邻土层盐分含量达到动态平衡。盐分通过弥散作用向水中迁移,水中含盐量增加,土壤表层含盐量降低。

从土壤剖面垂直方向盐分的变化来看,在气象和蓄水体体的综合作用下,0~60 cm土壤盐分减少,盐分含量主要集中在距地表1 m左右处,形成一个相对的盐分富集层。从水平方向来看,水体对于土壤的作用范围为9 m,超过此范围的土体盐分含量变化明显减小。说明在该试验模型下,蓄水可改善在其9 m范围内的表层土壤,起到控制耕层盐分含量的目的。

参考文献:

- [1] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等.盐碱地可持续利用研究综述[J].地理学报,2011,66(5):673-684.
- [2] 王若水,康跃虎,万书勤,等.水分调控对盐碱地土壤盐分与养分含量及分布的影响[J].农业工程学报,2014,30(14):96-104.
- [3] 罗纨,贾忠华,方树星,等.灌区稻田控制排水对排水量及盐分影响的试验研究[J].水利学报,2006,37(5):608-612.
- [4] 雷志栋,胡和平,杨诗秀,等.以土壤水为中心的农区一非农区水均衡模型[J].灌溉排水,1999,18(2):47-51.
- [5] 韩霁昌,李晓明,孙剑虹,等.卤泊滩典型田块土壤盐分三维空间分布研究[J].自然资源学报,2014,29(5):847-854.
- [6] 解建仓,韩霁昌,王涛,等.蓄水和蒸发条件下土壤过渡层中水盐运移规律研究[J].水利学报,2010,41(2):239-244.
- [7] 李娟,韩霁昌,张扬,等.蓄排水条件下盐碱地土壤盐分运移特征研究[J].水土保持研究,2015,22(3):116-120.
- [8] 余根坚,黄介生,高占义.基于HYDRUS模型不同灌水模式下土壤水盐运移模拟[J].水利学报,2013,44(7):826-834.
- [9] 周和平,王少丽,吴旭春.膜下滴灌微区环境对土壤水盐运移的影响[J].水科学进展,2014,25(6):816-824.
- [10] 孙林,罗毅.膜下滴灌棉田土壤水盐运移简化模型[J].农业工程学报,2012,28(24):105-114.
- [11] 李远.基于HYDRUS模型的一维及三维入渗条件下土壤水盐运移规律研究[D].石河子:石河子大学,2015.
- [12] 解雪峰,濮励杰,朱明,等.土壤水盐运移模型研究进展及展望[J].地理科学,2016,36(10):1565-1572.
- [13] 吴向东,陈小兵,吕真真,等.黄河三角洲农田灌溉前后土壤盐分时空变异特征研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):194-199,243.
- [14] 吴晔.陕西创造盐碱地整理新模式[N].中国国土资源报,2008-6-27(1).

- [15] Santa - Cruz A, Acosta M, Rus A, et al. Short - term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1999, 37 (1): 65 - 71.
- [16] 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 [J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40 (2): 245 - 247.
- [17] 王伟. 蓄水条件下土壤过渡层水盐运移试验研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
- [18] 叶校飞. 蓄水条件下蓄水沟水体与相邻土壤的盐分运移规律研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2010.

Spatial variation characteristics of salt in saline and alkaline field under impounding condition

DONG Qi-guang, ZHANG Yang, GAO Hong-bei (Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd. /Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co. Ltd. /Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources/Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi 710075)

Abstract: According to the Lubotan saline and alkaline field consolidation project, the simulating device was built to study the distribution of salt under impounding by detecting salt content, which might provide theoretical support for local saline-alkali land management. The results showed that after impounding in the side of saline-alkali soil, the salt in soil layer dispersed to the water with the salt gradient, changes of water salt showed a trend from low to high, eventually the salt reached the dynamic balance between water and soil. In the vertical direction of soil profile, soil salt in 0 ~ 60 cm was reduced. Salt content of soil was concentrated in 100 cm below the surface. In the horizontal direction, water influential distance was 9 m, and soil salt which was more than 9 m away from the water was little changed. Therefore, saline and alkaline field could be improved under impounding condition in a certain range.

Key words: impounding condition; saline soils; distribution of salt; water and salt transport